



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

2020

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

**RELEVER LE DÉFI DE L'EAU
DANS L'AGRICULTURE**

Cette publication phare fait partie de la série **L'ÉTAT DU MONDE** de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Référence bibliographique à citer:

FAO. 2020. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2020. Relever le défi de l'eau dans l'agriculture*. Rome.

<https://doi.org/10.4060/cb1447fr>

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 desdites sociétés ou desdits produits de préférence à d'autres de nature analogue qui ne sont pas cités.

Les appellations employées et la présentation des données sur les cartes n'impliquent de la part de la FAO aucune prise de position quant au statut juridique ou constitutionnel des pays, territoires ou zones maritimes, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

ISSN 0251-1460 [PRINT]
E-ISSN 1564-3360 [ONLINE]
ISBN 978-92-5-133645-8
© FAO 2020



Certains droits réservés. Ce travail est mis à la disposition du public sous la Licence Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les mêmes conditions 3.0 Organisations internationales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.fr>).

Selon les termes de cette licence, ce travail peut être copié, diffusé et adapté à des fins non commerciales, sous réserve de mention appropriée de la source. Lors de l'utilisation de ce travail, aucune indication relative à l'approbation de la part de la FAO d'une organisation, de produits ou de services spécifiques ne doit apparaître. L'utilisation du logo de la FAO n'est pas autorisée. Si le travail est adapté, il doit donc être sous la même licence Creative Commons ou sous une licence équivalente. Si ce document fait l'objet d'une traduction, il est obligatoire d'intégrer la clause de non responsabilité suivante accompagnée de la citation requise: «Cette traduction n'a pas été réalisée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). La FAO n'est pas responsable du contenu ou de l'exactitude de cette traduction. L'édition originale anglaise doit être l'édition qui fait autorité.»

Toute médiation relative aux différends en rapport avec la licence doit être menée conformément au Règlement d'arbitrage de la Commission des Nations Unies pour le droit commercial international (CNUDCI) actuellement en vigueur.

Documents de tierce partie. Les utilisateurs qui souhaitent réutiliser des matériels provenant de ce travail et qui sont attribués à un tiers, tels que des tableaux, des figures ou des images, ont la responsabilité de déterminer si l'autorisation est requise pour la réutilisation et d'obtenir la permission du détenteur des droits d'auteur. Le risque de demandes résultant de la violation d'un composant du travail détenu par une tierce partie incombe exclusivement à l'utilisateur.

Ventes, droits et licences. Les produits d'information de la FAO sont disponibles sur le site web de la FAO (www.fao.org/publications/fr/) et peuvent être acquis par le biais du courriel suivant: publications-sales@fao.org.

Les demandes pour usage commercial doivent être soumises à: www.fao.org/contact-us/licence-request.

Les demandes relatives aux droits et aux licences doivent être adressées à: copyright@fao.org.

PHOTOGRAPHIE DE COUVERTURE ©FAO/Giulio Napolitano

KENYA. Dans une région aride, près du lac Magadi, des pasteurs se rassemblent à un puits avec leurs troupeaux.

2020

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

**RELEVER LE DÉFI DE L'EAU
DANS L'AGRICULTURE**

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
Rome, 2020

TABLE DES MATIÈRES

AVANTPROPOS	v
MÉTHODE	ix
REMERCIEMENTS	x
SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xi
GLOSSAIRE	xii
MESSAGES PRINCIPAUX	xvi
RÉSUMÉ	xviii

CHAPITRE 1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE: POPULATIONS, EAU ET AGRICULTURE

Messages clés	
L'eau et le développement durable – Un sentiment d'urgence croissant	1
Pression humaine et disponibilités en eau – Un rapport déséquilibré	2
Améliorer la gouvernance pour assurer un accès équitable à l'eau	5
Eau, sécurité alimentaire et systèmes alimentaires	14
Objet du présent rapport: présentation	16
ZOOM	
Améliorer l'accès à une eau potable sûre dans les zones rurales	22

CHAPITRE 2 RARETÉ DE L'EAU ET PÉNURIE DANS LE SECTEUR AGRICOLE

Messages clés	29
Rareté de l'eau et pénuries: une préoccupation mondiale	30
Rareté de l'eau et pénuries dans des contextes qui évoluent	36
Les effets du changement climatique	46

Lutter contre la rareté de l'eau et les pénuries – contexte général	48
Conclusion	49

ZOOM
Agriculture, pollution de l'eau et salinité

CHAPITRE 3 PRISE EN CHARGE DES CONSTRAINTES HYDRIQUES DANS LE SECTEUR AGRICOLE

Messages clés	
Représenter les voies à suivre pour sortir des situations de rareté de l'eau et de pénurie	1
Concrétiser les possibilités qu'offre la production végétale pluviale	2
Systèmes irrigués – comprendre l'hétérogénéité des rendements	5
Adopter des approches intégrées au niveau de l'exploitation pour améliorer la productivité de l'eau des systèmes pluviaux et irrigués	14
Productivité de l'eau utilisée dans la production animale	16
Approches de gestion de l'eau et répercussions au-delà de l'exploitation	22
Remédier à la rareté de l'eau en faisant appel à des sources non conventionnelles	23
Faire en sorte que l'innovation, les communications et la technologie fonctionnent pour tous	29
Conclusion	88

ZOOM
L'aquaculture aux fins d'une utilisation durable de l'eau dans les systèmes alimentaires

CHAPITRE 4 AMÉLIORER LA GOUVERNANCE POUR GÉRER L'EAU DANS LE SECTEUR AGRICOLE

Messages clés	97
Rôle de la gouvernance dans la gestion des contraintes liées à l'eau	98
Transparence de la comptabilité et de l'audit de l'eau	100
Instruments de gestion de la rareté de l'eau dans l'agriculture irriguée	102
Dépasser le cadre de l'irrigation – gouvernance de l'eau dans les systèmes pluviaux et les systèmes intégrés	113
Conclusion	117

ZOOM
Trop d'eau? Inondations, engorgement et agriculture

CHAPITRE 5	
EAU ET AGRICULTURE: POLITIQUES ET PRIORITÉS	125
Messages clés	125
Harmoniser les politiques relatives à l'eau, à l'agriculture, à la sécurité alimentaire et à la nutrition	127
Définir les priorités en matière de politiques pour remédier aux contraintes hydriques dans le secteur agricole	137
Conclusion	145

ANNEXE TECHNIQUE	147
ANNEXE STATISTIQUE	150
BIBLIOGRAPHIE	168

TABLEAUX, FIGURES ET ENCADRÉS

TABLEAUX

- 1** Empreinte hydrique de divers produits alimentaires
- 2** Productivité mondiale moyenne de l'eau pour certaines catégories d'aliments
- 3** Avantages et inconvénients caractéristiques des systèmes d'irrigation
- 4** Productivité mondiale moyenne de l'eau pour certains produits animaux
- 5** Méthodes de tarification de l'eau
- 6** Effets de différents éléments de gouvernance liés à l'irrigation sur la pêche et l'aquaculture continentales
- 7** Améliorer la gestion de l'eau dans le secteur agricole: priorités d'action des pouvoirs publics
- A1** Zones agricoles soumises à des pénuries d'eau ou à des situations de rareté de l'eau: nombre de personnes vivant dans ces zones et nombre d'hectares, par pays ou territoire
- A2** Systèmes de production soumis à des situations de rareté de l'eau ou de pénurie, en nombre d'hectares et en pourcentage, par pays ou territoire

FIGURES

- | | | |
|------------|--|------------|
| 13 | 1 Ressources hydriques et cibles des objectifs de développement durable (ODD) | 43 |
| 67 | 2 Ressources en eau douce renouvelables par habitant, par région, 1997-2017 | 4 |
| 73 | 3 Prélèvements d'eau dans le monde par l'ensemble des secteurs | 8 |
| 81 | 4 Prélèvement total d'eau par habitant, par région, en 2010 et 2017 | 9 |
| 110 | 5 Fréquence des sécheresses sur les terres de culture pluviale, 1984-2018 | 10 |
| 117 | 6 Fréquence des sécheresses sur les terres de pâture pluviale, 1984-2018 | 32 |
| 138 | 7 Indicateur 6.4.2 des ODD – niveau de stress hydrique dans les zones irriguées, 2015 | 33 |
| 153 | 8 Contribution du secteur agricole au stress hydrique, par bassin hydrographique, 2015 | 34 |
| 159 | 9 Positionnement d'un échantillon de pays en fonction de la proportion de terres de culture, pluviale ou irriguée, soumises à des sécheresses fréquentes à très fréquentes ou à un stress hydrique élevé à très élevé | 35 |
| | 10 Proportion de terres cultivées soumises à des contraintes hydriques, par système de production, dans un échantillon de pays | 37 |
| | | 39 |
| | | |
| | | 44 |
| | | 49 |
| | | 53 |
| | | 62 |
| | | 63 |
| | | 64 |
| | | 68 |
| | | 71 |
| | | 166 |
- 11** Répartition des terres cultivées par système de production et niveau de pénurie et de rareté de l'eau, par région
 - 12** Répartition des terres cultivées par système de production et niveau de pénurie et de rareté de l'eau, par niveau de revenu des pays et par groupe de pays
 - 13** Mise en perspective des mesures de lutte contre la pénurie d'eau et la rareté des ressources en eau, dans le cadre politique général
 - 14** Gestion de l'eau à usage agricole, des systèmes pluviaux aux systèmes irrigués
 - 15** Rendement des cultures maraîchères par région, 2012
 - 16** Principales pratiques de gestion de l'eau dans l'agriculture pluviale
 - 17** Productivité économique de l'eau pour certaines cultures irriguées, par région
 - 18** Productivité économique effective de l'eau et écarts de productivité de l'eau par rapport à la valeur de référence, pour certaines cultures irriguées, par région
 - A1** Fréquence des épisodes de sécheresse dans les cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants, 1984-2018

TABLEAUX, FIGURES ET ENCADRÉS

A2 fréquence des épisodes de sécheresse dans les cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants, 1984-2018

166

A3 Indicateur 6.4.2 des ODD – stress hydrique, au niveau des pays, 2015

167

A4 Indicateur 6.4.2 des ODD – stress hydrique, au niveau des bassins hydrographiques, 2015

167

ENCADRÉS

1 La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 1993 – politiques de l'eau et agriculture

3

2 Cycle hydrologique et agriculture

6

3 La concurrence entre les demandes d'eau est déterminée par le niveau de revenu du pays

11

4 Les caractéristiques inhérentes à l'eau rendent sa gestion difficile

17

5 Lien eau-énergie-alimentation et production de biocarburants

18

6 Productivité des terres dans l'agriculture irriguée et pluviale en Afrique subsaharienne

40

7 Aperçu des différents systèmes de production du SPAM

41

8 Gestion de la pénurie d'eau: le potentiel du commerce

45

9 Contribution de l'irrigation d'appoint à la productivité de l'eau et à la résilience des systèmes pluviaux

66

10 Systèmes d'irrigation créés à l'initiative des agriculteurs – éléments factuels recueillis en Afrique subsaharienne

74

11 Avantages de l'irrigation moderne – éléments factuels recueillis en Chine, en Inde et aux États-Unis d'Amérique

75

12 Effets de la conduite des cultures sur l'évapotranspiration, le rendement et la productivité de l'eau – éléments factuels recueillis en Argentine et en Inde

77

13 Synthèse du potentiel d'amélioration de la production végétale pluviale et irriguée

78

14 Forêts et solutions s'inspirant de la nature

83

15 Portail de données en libre accès sur la productivité de l'eau (WaPOR) – la télédétection au service de la productivité de l'eau

89

16 Gouvernance de l'eau à l'appui de l'agriculture et de la sécurité alimentaire

99

17 Evolution de la gouvernance de l'eau au Maroc – production de carottes dans la province de Berrechid

103

18 Réfléchir à un régime foncier applicable à l'eau

104

19 Effets des marchés de l'eau souterraine sur l'équité et l'efficience d'utilisation de l'eau – cas de la Chine et de l'Inde

107

20 Gestion des eaux souterraines aux États-Unis d'Amérique

108

21 Les associations d'usagers de l'eau offrent des avantages, mais il est impératif de prêter attention à la gouvernance – des exemples en Asie

112

22 Mesures d'incitation et rareté et productivité de l'eau dans la région Proche-Orient et Afrique du nord

128

23 Des pompes d'irrigation à énergie solaire pour les petits agriculteurs – les exemples du Bangladesh et de l'Inde

133

24 Le rôle de l'eau virtuelle et du commerce dans l'utilisation optimale des ressources en eau

135

25 Le défi de la coordination des politiques – les exemples de la Bolivie (État plurinational de) et du Chili

136

AVANT-PROPOS

Notre existence même dépend de l'eau – l'eau dont nous avons besoin pour boire et celle dont nous avons besoin pour produire des aliments. La culture utilise l'eau douce des rivières, des lacs et des aquifères. L'agriculture pluviale et une bonne partie de l'élevage sont tributaires des eaux de pluie, qui sont limitées. En outre, les écosystèmes liés à l'eau sont eux aussi nécessaires aux moyens d'existence, à la sécurité alimentaire et à la nutrition, ne serait-ce qu'en tant que supports de la pêche continentale et de l'aquaculture. Nous avons besoin d'approvisionnements en eau douce non contaminée pour avoir à disposition de l'eau potable sûre, et pour assurer notre hygiène et garantir la sécurité sanitaire des aliments que nous consommons et, de ce fait, notre santé. Mais l'eau a bien d'autres usages et est indispensable à bien d'autres activités humaines.

Il apparaît clairement que l'eau est à la base de nombre d'objectifs de développement durable (ODD); l'ODD 6, en particulier – Garantir l'accès de tous à des services d'alimentation en eau et d'assainissement gérés de façon durable. Il ressort malheureusement du présent rapport que réaliser cet objectif d'ici à 2030 sera un véritable défi. Sous l'effet de l'accroissement démographique, les ressources en eau douce disponibles, par personne, ont diminué de plus de 20 pour cent au cours de ces vingt dernières années, rendant plus impérative encore la nécessité de «produire plus avec moins». Tandis que la demande croît, l'eau douce devient une ressource plus rare et fait l'objet d'une concurrence accrue, et des prélèvements excessifs menacent les écosystèmes liés à l'eau et les services qu'ils assurent. L'agriculture a un rôle important à jouer dans les progrès à faire vers la durabilité: elle entre en effet pour plus de 70 pour cent dans les prélèvements mondiaux d'eau, et, au niveau mondial, 41 pour cent des prélèvements ne sont pas compatibles avec le maintien des services écosystémiques. L'agriculture pluviale est appelée à compléter

l'agriculture d'irrigation, laquelle dépend de ressources en eau rares, or les précipitations sont elles aussi en volume limité. En outre, le changement climatique a d'ores et déjà sérieusement perturbé le régime des pluies. La fréquence accrue des sécheresses et les pénuries d'eau qui en résultent dans l'agriculture pluviale font peser des menaces importantes sur les moyens d'existence et la sécurité alimentaire, en particulier parmi les populations les plus vulnérables, dans les régions du monde les moins développées.

La rareté de l'eau (le déséquilibre entre l'offre et la demande d'eau douce) et les pénuries d'eau (qui prennent la forme de précipitations insuffisantes) doivent être prises très au sérieux, car c'est maintenant la réalité dans laquelle nous vivons. Grâce aux travaux menés par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), nous pouvons savoir combien de personnes et combien d'hectares de terres connaissent des situations de rareté ou de pénurie d'eau. D'après le présent rapport, 1,2 milliard de personnes vivent dans des régions agricoles soumises à des niveaux de stress hydrique très élevés (avec des répercussions sur les zones irriguées) ou à des sécheresses très fréquentes (avec des répercussions sur les terres agricoles et les pâturages pluviaux). Sur ce nombre, 520 millions vivent en zone rurale et 660 millions vivent dans de petits centres urbains entourés de terres agricoles. Si l'on ajoute à ces chiffres les régions qui connaissent des niveaux de stress hydrique et des fréquences de sécheresse élevés, on arrive à un total de 3,2 milliards de personnes, dont 1,4 milliard de ruraux. En valeurs relatives, 11 pour cent du total des terres cultivées et 14 pour cent des pâturages subissent des sécheresses récurrentes, et plus de 60 pour cent des terres irriguées sont soumises à un stress hydrique élevé. Ces premières estimations concernant l'indicateur 6.4.2 des ODD, relatif au

AVANT-PROPOS

stress hydrique, et le constat de pénurie d'eau persistante dans l'agriculture pluviale, montrent bien qu'il est urgent d'agir pour que l'eau soit gérée de manière durable. Si on n'agit pas, l'augmentation de la demande d'eau conjuguée aux effets du changement climatique risque d'aggraver la situation.

Par-delà l'ODD 6, il est essentiel de trouver des solutions au problème de la rareté de l'eau et des pénuries d'eau pour réaliser nombre d'autres objectifs inscrits dans le Programme de développement durable à l'horizon 2030 (le Programme 2030), le moindre n'étant pas l'objectif Faim zéro. Il nous reste dix ans pour atteindre ces objectifs, mais nous ne réussirons que si nous faisons meilleur usage de nos ressources en eau – eau douce et eau de pluie –, qui sont limitées, et si nous en faisons un usage plus productif. L'agriculture occupe une place centrale à cet égard, non seulement parce qu'elle est touchée au premier chef par les contraintes hydriques, mais aussi parce que le secteur agricole est le premier consommateur mondial d'eau. Autrement dit, l'usage que l'agriculture fait de l'eau douce est crucial du point de vue des volumes disponibles pour les autres activités et s'agissant de préserver les écosystèmes liés à l'eau. Et il est d'autant plus indispensable d'utiliser les ressources en eau dans des conditions durables que l'on cherche à adopter dans le monde des modes d'alimentation plus propices à la santé – qui souvent reposent sur des aliments relativement exigeants en eau tels que les légumineuses, les fruits à coque, la volaille et les produits laitiers. La plus grande partie de la production agricole provient de l'agriculture pluviale. Pour que celle-ci continue de jouer son rôle, nous devons améliorer la gestion des ressources en eau, limitées, fournies par les précipitations.

Par le présent rapport, la FAO envoie un message fort: si nous tenons à respecter l'engagement qui a été pris de réaliser les

ODD, alors nous devons nous attaquer vigoureusement et sans attendre aux pénuries d'eau et à la rareté de l'eau dans le secteur agricole. C'est la sécurité alimentaire mondiale et la nutrition qui sont en jeu. Les pénuries d'eau et la rareté de l'eau mettent en danger l'environnement qui rend possible l'accès à la nourriture pour des millions des personnes qui ont faim, dans de nombreuses régions du monde, et qui permet de réduire le coût des aliments nutritifs et de mettre une alimentation saine à la portée de milliards de personnes. La concurrence croissante dont l'eau fait l'objet – concurrence entre les secteurs, les usagers et parfois les pays – conduit aussi à de graves problèmes. En l'absence d'une gouvernance adaptée, la concurrence accrue risque d'exacerber des inégalités déjà profondes dans l'accès à l'eau. Là encore, les plus exposés sont les groupes les plus pauvres et les plus vulnérables, notamment les petits agriculteurs et les femmes. Les communautés et les individus qui dépendent des écosystèmes liés à l'eau, par exemple les pêcheurs qui exercent leur activité sur les rivières et les lacs, risquent aussi de subir un préjudice car ils sont souvent oubliés. Dans le pire des cas, la concurrence accrue peut conduire à des conflits à tous les niveaux – conflits locaux et conflits internationaux – entre les différents groupes.

Le présent rapport met donc l'accent sur l'amélioration de la gouvernance de l'eau, dont le but est d'assurer l'utilisation la plus productive possible de ressources en eau limitées tout en préservant les services rendus par les écosystèmes liés à l'eau et en assurant à tous un accès équitable. Dans le secteur agricole, la gouvernance de l'eau s'intéresse surtout à l'irrigation, mais le rapport élargit sa portée pour englober l'agriculture pluviale, y compris les pâturages. On y insiste sur la nécessité de maintenir ou de remettre en état les flux environnementaux et les services que rend l'environnement. La comptabilité et

l'audit de l'eau doivent figurer au centre de tout programme visant à trouver une solution aux contraintes hydriques. Les deux outils que constituent la comptabilité et l'audit de l'eau sont en outre conçus et appliqués au mieux lorsqu'ils s'inscrivent dans le cadre de processus de soutien mutuel. En plaçant les personnes et leurs liens avec les ressources en eau dans le cadre plus général de l'équilibre hydrique, le présent rapport montre par ailleurs que les régimes fonciers applicables à l'eau offrent un potentiel d'action face aux contraintes hydriques et peuvent compléter l'audit et la comptabilité. La gouvernance étant le thème de base, une action est suggérée à trois niveaux : i) questions techniques et gestion; ii) droit et institutions; et iii) politiques à suivre.

Au niveau technique et au niveau de la gestion, tirer parti du potentiel qu'offre l'agriculture pluviale, en améliorant la gestion de l'eau, est l'un des points clés. Il s'agira de mieux conserver l'eau dans le sol ou de mettre en place des techniques de collecte de l'eau de pluie. Par ailleurs, en investissant dans de nouveaux réseaux d'irrigation ou en rénovant ou modernisant les réseaux existants, il est possible d'accroître considérablement la productivité des systèmes irrigués. Dans tous les cas de figure, on obtient des résultats plus importants lorsqu'en plus d'améliorer la gestion de l'eau on améliore les pratiques culturales, par exemple en optant pour des variétés plus résistantes à la sécheresse. Divers moyens peuvent aussi être mis en œuvre dans le secteur de l'élevage pour accroître la productivité de l'eau, notamment un pâturage amélioré et un meilleur suivi de la santé des animaux. Toutefois, les mesures prises au niveau des exploitations doivent s'inscrire dans le cadre d'une approche qui doit se situer au niveau du territoire, afin de prendre en considération les effets sur l'équilibre hydrique de l'ensemble du bassin versant.

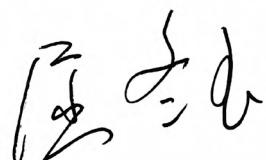
Cela suppose des cadres institutionnels et juridiques efficaces qui, une fois adaptés à chaque contexte particulier, permettront d'améliorer la gouvernance de l'eau, et par conséquent de mettre en place des stratégies de gestion novatrices. Pour être efficaces, les stratégies de gouvernance et de gestion de l'eau, quelles qu'elles soient, doivent avoir pour point de départ la comptabilité et l'audit des ressources en eau. Il faut aussi des institutions et des règlements qui favorisent la coordination entre les différents acteurs afin de gérer les demandes d'eau concurrentes, d'assurer un accès équitable aux ressources en eau et de protéger les écosystèmes. L'existence de régimes fonciers (pour la terre et aussi pour l'eau) sûrs, capables d'inciter à un usage efficient de l'eau, joints également à des mécanismes de tarification et à des mécanismes d'échanges, est à cet égard centrale. Souvent, les associations d'usagers de l'eau au niveau de la collectivité peuvent contribuer à améliorer la gestion de l'eau. Toutefois, il faut que les solutions soient adaptées aux conditions locales et il faut que ces solutions soient élaborées par les parties prenantes ou du moins avec elles.

Enfin, au niveau plus général des politiques, la cohérence et la coordination sont deux aspects essentiels, au plan sectoriel et au plan géographique. Il faut adopter des stratégies cohérentes visant à la fois les cultures irriguées et pluviales, l'élevage, les forêts, la pêche continentale et l'aquaculture. Les mesures d'incitation sont un élément clé de la cohérence des politiques et elles doivent favoriser la productivité de l'eau et la protection des écosystèmes. Or, les subventions en faveur des intrants, de l'énergie et de la production peuvent avoir pour effet de favoriser des inefficacités et une utilisation de l'eau non durable – par exemple des prélèvements excessifs d'eau souterraine.

AVANT-PROPOS

Face à la rareté de l'eau et aux pénuries, il n'y a pas de solution unique, applicable à toutes les situations. Les pays, voire les différentes régions à l'intérieur des pays, présentent des caractéristiques diverses et n'ont pas tous les mêmes problèmes. Les solutions qui sont proposées dans le rapport reposent sur l'approche territoriale préconisée par l'Initiative Main dans la main de la FAO, à savoir que les problèmes et les défis à relever sont abordés au niveau infranational. Le rapport propose des priorités d'action potentielles pour différents types de productions et ces actions peuvent être adaptées, dans l'agriculture irriguée et dans l'agriculture pluviale, à l'aide des données géospatiales mises à disposition par la FAO.

Pour paraphraser Benjamin Franklin, qui était aussi un scientifique de premier plan, n'attendons pas que le puits soit à sec pour découvrir combien l'eau est précieuse. Le présent rapport met en évidence l'urgence du problème et le rôle important que doit jouer l'agriculture dans les solutions à mettre en place face à la rareté de l'eau et aux pénuries. J'invite toutes les parties prenantes à lire le rapport afin d'y trouver les solutions qui leur permettront, compte tenu chacune de leur situation particulière, de relever le défi de l'eau et, surtout, à appliquer ces solutions, afin d'améliorer la sécurité alimentaire et la nutrition, et la durabilité écologique, dans l'esprit du Programme 2030.



Qu Dongyu
Directeur général de la FAO

MÉTHODE

L'élaboration de *La Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2020* a commencé avec une réunion tenue au Siège de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), à Rome, le 19 novembre 2019, à laquelle ont participé des spécialistes des services compétents de la FAO et au cours de laquelle a été examiné le plan du rapport. À la suite de cette réunion, un groupe consultatif, présidé par le Directeur adjoint de la Division de l'économie agroalimentaire et au sein duquel étaient représentées toutes les unités techniques compétentes de la FAO, a été formé afin de contribuer à la rédaction. Les avant-projets des différents chapitres ont été présentés au groupe consultatif et à un groupe d'experts extérieurs du 17 au 21 février 2020. Le projet de rapport au complet a ensuite été examiné lors d'un deuxième atelier, organisé les 26 et 27 février. Le rapport a été révisé sur la base des contributions issues de l'atelier, puis présenté à l'équipe de direction de l'axe Développement économique et social de la FAO. La version révisée a été soumise aux fins de commentaires aux autres axes de la FAO, aux bureaux régionaux pour l'Afrique, l'Amérique latine et les Caraïbes, l'Asie et le Pacifique, l'Europe et l'Asie centrale, et le Proche-Orient et l'Afrique du Nord, et à des réviseurs externes. Les commentaires ont été incorporés dans le projet final, qui a été examiné par le Sous-Directeur général chargé de l'axe Développement économique et social, puis soumis au Bureau du Directeur général de la FAO, le 3 novembre 2020. L'équipe chargée des recherches et de la rédaction a rédigé le rapport en s'appuyant sur des documents de référence élaborés par des experts de la FAO et des experts extérieurs.

REMERCIEMENTS

La Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2020 a été élaborée par une équipe multidisciplinaire de FAO, sous la direction de Marco V. Sánchez Cantillo, Directeur adjoint de la Division de l'économie agroalimentaire, et d'Andrea Cattaneo, Économiste principal et coordonnateur de la publication. Máximo Torero Cullen, Économiste en chef chargé de l'axe Développement économique et social, a donné des orientations générales. L'équipe de direction de l'axe Développement économique et social a aussi accompagné le projet.

Équipe chargée des recherches et de la rédaction

Laura D'Aietti, Paulo Dias, Giovanni Federighi, Theresa McMenomy, Fergus Mulligan (rédacteur consultant), Jakob Skøt et Sara Vaz.

Documents de référence, données et sections du rapport

K.H. Anantha (ICRISAT), Jennie Barron (Université suédoise des sciences agricoles), Sreenath Dixit (ICRISAT), Kaushal Garg (ICRISAT), Mesfin Mekonnen (Université du Nebraska), Yulie Meneses (Université du Nebraska), Christopher Neale (Université du Nebraska), Mark Rosegrant (chargé de recherche émeritus, IFPRI), Anna Tengberg (Institut international de l'eau de Stockholm - SIWI), Bing Wang (Université Nebraska-Lincoln) et Anthony Whitbread (ICRISAT).

Contributions supplémentaires de la FAO

Jiro Ariyama, Charles Batchelor, Riccardo Biancalani, Dubravka Bojic, Sally Bunning, Sara Casallas Ramírez, Piero Conforti, Marlos de Souza, Gianluca Franceschini, Simon Funge-Smith, Virginie Gillet, Leman Yonca Gurbuzer, Matthias Halwart, Sasha Koo-Oshima, Yanyun Li, Michela Marinelli, Anne Mottet, Marcel Mucha, Douglas Muchoney, Oscar Rojas, Rodrigo Roubach, Ahmad Sadiddin, Austin Stankus, John Valbo-Jørgensen, Domitille Vallée, Louise Whiting et Xinhua Yuan.

Groupe consultatif de la FAO

Mohamed Al-Hamdi, Fenton Beed, Dubravka Bojic, Riccardo Biancalani, Ruhiza Jean Boroto, Sally Bunning, Sara Casallas Ramírez, Camillo De Camillis, Marlos de Souza, Jean-Marc Faurès, Simon Funge-Smith, Kakoli Ghosh, Virginie Gillet, Matthias Halwart, Jippe Hoogeveen, Sasha Koo-Oshima, Yanyun Li, Mohamed Manssouri, Michela Marinelli, Chikelu Mba, Patricia Mejias Moreno, Anne Mottet, John Preissing, Oscar Rojas, Ahmad Sadiddin, Nuno Santos, Elaine Springgay, Francesco Tubiello, Olcay Ünver, John Valbo-Jørgensen, Sylvie Wabbes-Candotti et Louise Whiting.

Groupes d'experts extérieurs

Jennie Barron (Université suédoise des sciences agricoles), Mesfin Mekonnen (Université Nebraska-Lincoln), Audrey Nepveu (FIDA), Jean D'Amour Nkundimana (PAM), Cédric Pene (OMC), Claudia Ringler (IFPRI), Mark Rosegrant (chargé de recherche émeritus, IFPRI) et Bing Zhao (PAM).

Annexe statistique

L'annexe a été mise au point par Laura D'Aietti, Giovanni Federighi et Sara Vaz.

Appui administratif

Edith Stephany Carrillo et Liliana Maldonado.

Le Groupe de l'édition (OCCP) du Bureau de la communication de l'Organisation a prêté des moyens éditoriaux et s'est chargé de la conception et de la mise en page du document, ainsi que de la coordination de sa production dans les six langues officielles.

SIGLES ET ABREVIATIONS

covid-19	maladie à coronavirus 2019	LSMS-ISA	Mesure des niveaux de vie – Enquêtes intégrées sur l'agriculture
DESA	Département des affaires économiques et sociales de l'ONU	m³	mètre cube
EAH	eau, assainissement et hygiène	ODD	objectif de développement durable
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture	OMS	Organisation mondiale de la Santé
FIDA	Fonds international de développement agricole	ONU	Organisation des Nations Unies
GAEZ	Outil mondial d'analyse des zones agro-écologiques	PEID	petits États insulaires en développement
GES	gaz à effet de serre	PIB	produit intérieur brut
GLAAS	Analyse et évaluation mondiales d'ONU-Eau sur l'assainissement et l'eau potable	Programme 2030	Programme de développement durable à l'horizon 2030
GMIA	Carte mondiale des superficies d'irrigation	R-D	recherche-développement
GPS	système de positionnement mondial	SPAM	Modèle de répartition spatiale de la production
IFPRI	Institut international de recherche sur les politiques alimentaires	TIC	technologies de l'information et de la communication
IIASA	Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués	UNICEF	Fonds des Nations Unies pour l'enfance
IMPACT	modèle international d'analyse relative aux produits et aux échanges agricoles	USD	dollar des États-Unis
IWMI	Institut international de gestion des ressources en eau	WaPOR	Portail de données en libre accès sur la productivité de l'eau
IWMI	International Water Management Institute		
LEAP	Partenariat pour l'évaluation et la performance environnementales de l'élevage		
LEGS	Normes et directives pour l'aide d'urgence à l'élevage		

GLOSSAIRE

Audit de l'eau. Va plus loin que la comptabilité de l'eau (voir ci-après) en ce que l'offre et la demande d'eau, son accessibilité et son utilisation sont placées dans le contexte plus vaste de la gouvernance, des institutions, des dépenses publiques et privées, de la législation et de l'économie politique plus générale de l'eau, dans des domaines donnés⁵.

Comptabilité de l'eau. Étude systématique de l'état présent et des tendances actuelles de l'offre et de la demande d'eau, de son accessibilité et de son utilisation, dans des contextes spatiaux et temporels spécifiques⁵.

Débits écologiques. Flux d'eau douce nécessaires (volume et temps) au maintien des écosystèmes, ainsi qu'aux moyens d'existence et au bien-être des personnes qui dépendent de ces écosystèmes¹.

Droit d'utilisation de l'eau. Au sens juridique, droit d'extraire de l'eau d'une source naturelle donnée, ou de la dériver, et d'utiliser cette eau; de retenir ou de stocker un volume donné d'eau dans une source naturelle derrière un barrage ou autre structure hydraulique; et d'utiliser ou de maintenir de l'eau dans son état naturel (écoulement naturel d'une rivière, eau utilisée à des fins récréatives, pour la pratique religieuse ou spirituelle, pour boire, pour le lavage et le bain, ou pour donner à boire aux animaux)¹.

Eau bleue. Désigne l'eau des lacs, des rivières et des aquifères. Elle se présente sous deux formes: les eaux qui s'écoulent en surface et les eaux des nappes souterraines renouvelables¹.

Eau douce. Eau qui se trouve à la surface de la terre dans les glaciers, les lacs et les cours d'eau (eau de surface) et en sous-sol dans les aquifères (eau souterraine). Elle se caractérise principalement par une faible teneur en sels dissous. Sont exclues l'eau de pluie, l'eau stockée dans le sol (humidité

du sol), les eaux usées non traitées, l'eau de mer et les eaux saumâtres¹.

Eau verte. Part des eaux de pluie qui est stockée dans le sol et qui est disponible pour la croissance des végétaux¹.

Écoulement de retour. Partie de l'eau prélevée de sa source qui n'est pas consommée et qui retourne à sa source ou à une autre masse d'eau, superficielle ou souterraine. On peut distinguer les écoulements de retour non récupérables (écoulements vers des puits de sel ou vers des eaux souterraines sans valeur économique ou écoulements de qualité insuffisante) et les écoulements de retour récupérables (écoulements vers des cours d'eau ou infiltration dans des aquifères)¹.

Efficience d'utilisation de l'eau. Rapport entre l'eau effectivement utilisée à une fin donnée et l'eau effectivement prélevée. Dans le domaine de l'irrigation, l'efficience d'utilisation de l'eau correspond au rapport entre les besoins estimatifs en eau d'irrigation (évapotranspiration) et le prélèvement d'eau effectif. Cette variable sans dimension peut être appliquée à n'importe quelle échelle (plante, champ, réseau d'irrigation, bassin hydrographique, pays, etc.). Dans le domaine agricole, on peut chercher à obtenir une utilisation efficiente de l'eau en réduisant les déperditions d'eau dans la transmission et la distribution, ou encore en augmentant le rendement des cultures, en changeant les dates de semis ou en changeant de variété cultivée, entre autres moyens. Une augmentation de l'efficience d'utilisation de l'eau en agriculture ne signifie pas nécessairement qu'il y a «économie» d'eau¹. Il importe, pour la recherche d'une plus grande efficience, d'adopter une perspective plus vaste (au niveau du bassin hydrographique, par exemple) qui tienne compte de la contribution de ce qu'on appelle les «déperditions» à la productivité d'autres utilisateurs et dans d'autres parties du cycle de l'eau.

Gouvernance de l'eau. Processus, acteurs et institutions qui prennent part aux décisions relatives à la mise en valeur et à la gestion des ressources en eau et à la prestation de services des eaux, dans les domaines politique, administratif, social et économique et dans les systèmes et mécanismes formels et informels⁶.

Objectif de développement durable (ODD) – indicateur 6.4.1: Variation de l'efficacité de l'utilisation des ressources en eau. Valeur ajoutée par unité d'eau utilisée, exprimée en USD/m³, d'un secteur de l'économie donné (fait apparaître, sur la durée, l'évolution de l'efficience d'utilisation de l'eau)³. Cet indicateur a été conçu pour suivre l'avancement de la réalisation de la cible 6.4 des ODD et plus précisément l'élément de la cible ainsi énoncé: «augmenter de manière considérable l'efficacité de l'utilisation des ressources en eau dans tous les secteurs», ce en comparant la valeur ajoutée produite par l'économie aux volumes d'eau utilisés par cette même économie, y compris les déperditions dans les réseaux d'alimentation. En d'autres termes, cet indicateur donne une estimation de la dépendance de la croissance économique à l'égard de l'utilisation d'eau. Il diffère du concept de productivité de l'eau en ce qu'il n'envisage pas la productivité de l'eau utilisée comme moyen de production dans une activité donnée. En outre, la productivité de l'eau est calculée comme étant le rapport de la production économique au volume d'eau consommé, et non au volume d'eau utilisé³. Enfin, cet indicateur a amené à créer une définition distincte pour «efficience d'utilisation de l'eau» (voir plus haut).

Objectif de développement durable (ODD) – indicateur 6.4.2: Niveau de stress hydrique – prélèvement d'eau douce en proportion des ressources en eau douce disponibles.

Prélèvements d'eau douce totaux par tous les grands secteurs (agriculture, industrie, collectivités) par rapport au total des ressources en eau douce renouvelables, après prise en

compte des besoins en eau de l'environnement. Le stress hydrique est de nature anthropique; c'est une fonction du volume des prélèvements d'eau douce effectués par l'homme par rapport au volume des ressources en eau disponibles dans une zone donnée, déduction faite des besoins en eau des écosystèmes. Ainsi, une région aride dotée de peu d'eau mais n'entrant pas en compétition avec une activité humaine ne sera pas considérée comme étant en situation de stress hydrique; elle sera considérée comme étant une région aride. Le stress hydrique est une réalité physique objective qui peut être mesurée de la même manière dans toutes les régions et sur toutes les périodes. Cet indicateur a été conçu pour suivre l'avancement de la réalisation de la cible 6.4 des ODD et plus précisément l'élément de la cible ayant trait à l'environnement et qui est ainsi énoncé: «garantir des prélèvements et un approvisionnement en eau douce durables pour mettre fin aux pénuries d'eau». Il a pour origine l'ancien indicateur 7.5 des objectifs du Millénaire pour le développement: «taux d'utilisation de l'ensemble des ressources en eau»⁴. Le stress hydrique rend compte des disponibilités physiques en eau douce et ne prend pas en considération le fait que celles-ci soient aptes ou non à être utilisées.

Pénurie d'eau. Approvisionnement insuffisant en eau de qualité acceptable; faibles niveaux d'approvisionnement, en un lieu et à un moment donnés, par rapport aux niveaux attendus. La pénurie peut être due à des facteurs météorologiques ou à d'autres causes d'insuffisance des ressources en eau, comme par exemple un manque d'infrastructures ou le mauvais entretien des infrastructures, ou tout un ensemble d'autres facteurs hydrologiques ou hydrogéologiques¹. Dans le présent rapport on utilise un indicateur de la fréquence des épisodes de sécheresse pour mesurer les pénuries d'eau dans l'agriculture pluviale.

GLOSSAIRE

Prélèvement d'eau. Volume d'eau brut prélevé à quelque fin que ce soit (agriculture, industrie, collectivités)¹. Peut comprendre l'eau provenant de ressources en eau douce renouvelables, l'eau provenant d'un soutirage excessif d'eaux souterraines renouvelables, les prélèvements d'eaux fossiles, les eaux usées (traitées) directement utilisées, l'eau dessalée et les eaux de drainage agricoles directement utilisées.

Productivité de l'eau. Rapport entre les avantages nets tirés des cultures, des forêts, de la pêche, de l'élevage et des systèmes associant culture et élevage et le volume d'eau utilisé sous forme d'évapotranspiration effective pour produire ces avantages¹. Ces avantages peuvent être exprimés sous diverses formes: rendement (kilogrammes), teneur nutritionnelle (calories, protéines, calcium, etc.), revenu (USD) ou toute autre mesure convenue du bien-être procuré par les biens et services provenant du système agricole (les emplois, par exemple). Plus généralement, la productivité de l'eau reflète les objectifs que l'on cherche à atteindre en produisant plus de denrées alimentaires, de revenu, de moyens d'existence et de bienfaits écologiques à un coût social et environnemental moindre par unité d'eau consommée. Dans le contexte agricole, la productivité physique de l'eau est définie comme étant le rapport entre la production agricole et le volume d'eau consommé (kg de produits par mètre cube d'eau), et la productivité économique de l'eau est définie comme étant la valeur monétaire générée par chaque unité d'eau consommée (USD par mètre cube d'eau). La notion de productivité économique de l'eau est utilisée pour mettre en relation l'utilisation d'eau dans le secteur agricole et la nutrition, l'emploi, le bien-être et l'environnement.

Rareté de l'eau. Déséquilibre entre l'offre et la demande d'eau dans un secteur donné (pays, région, bassin versant, bassin hydrographique,

etc.) suite à une demande élevée par rapport à l'offre disponible, dans le cadre des dispositifs institutionnels en vigueur (y compris le prix) et de la situation sur le plan des infrastructures. Ses symptômes sont: une demande non satisfaite, des tensions entre les usagers, la concurrence pour les ressources en eau, l'extraction excessive d'eau souterraine et des écoulements insuffisants dans le milieu naturel. Le déficit peut être artificiel ou provoqué, lorsqu'il découle d'un surdéveloppement des infrastructures hydrauliques par rapport à l'eau disponible, entraînant une situation de pénurie croissante¹. Dans le présent rapport, le stress hydrique – indicateur 6.4.2 des ODD (voir ci-dessus) – est utilisé pour mesurer la gravité de l'état de rareté de l'eau dans l'agriculture d'irrigation.

Régime foncier. Relation, définie par la loi ou par la coutume, entre les personnes, en tant qu'individus ou en tant que groupes, en ce qui concerne la terre².

Régime foncier applicable à l'eau. Relation, définie par la loi ou par la coutume, entre les personnes, en tant qu'individus ou en tant que groupes, en ce qui concerne les ressources en eau².

Ressources en eau non conventionnelles. Eau qui peut être mise à disposition en vue d'être utilisée, sans que cela augmente la charge sur les ressources primaires en eau douce, à savoir: i) l'eau de mer ou l'eau saumâtre dessalées; ii) l'utilisation directe d'eaux usées (traitées); et iii) l'utilisation directe d'eaux de drainage agricoles¹.

Ressources en eau renouvelables extérieures. Part des ressources en eau renouvelables d'un pays (moyenne annuelle sur le long terme) qui ne provient pas de ce pays. Cette part comprend les flux provenant de pays situés en amont (flux souterrains et flux de surface) et une partie de l'eau des lacs et des cours d'eau frontaliers.

Elle prend en compte le volume réservé, par traité ou par accord formel ou informel, aux pays situés en amont (flux entrant) et aux pays situés en aval (flux sortant)¹.

Ressources en eau renouvelables intérieures. Dans un pays, moyenne annuelle sur le long terme des flux d'eau – cours d'eau et recharge des aquifères – qui proviennent des précipitations endogènes¹.

Ressources en eau renouvelables totales. Somme des ressources en eau douce renouvelables intérieures et des ressources en eau douce renouvelables extérieures. Ces ressources correspondent au volume annuel maximum d'eau dont dispose en théorie un pays à un moment donné¹.

Risque hydrologique: Dans le présent rapport, possibilité qu'une zone connaisse un problème lié à l'eau⁸. Les problèmes susceptibles d'être rencontrés sont la rareté ou la pénurie d'eau – mesurées dans le présent rapport au moyen d'indicateurs tels que le stress hydrique et la fréquence des sécheresses – mais aussi les risques naturels, comme par exemple les inondations – le problème étant alors un excès d'eau.

Services des eaux. Activité qui consiste à fournir aux usagers (ménages, entreprises, collectivités) des services de prélèvement, de stockage, de traitement et de distribution d'eau, y compris la gestion des eaux usées. L'alimentation en eau potable, l'irrigation pour les besoins de l'agriculture, la collecte, le traitement et l'évacuation des eaux usées, les activités de drainage, la gestion des eaux pluviales, des eaux souterraines et des eaux de surface ou de la salinité du sol, et le dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre, sont des exemples de services des eaux.

Tarification de l'eau. Action de fixer un prix pour un service des eaux. Le prix peut être calculé de façon à couvrir tout ou partie du coût du service des eaux ou de façon à inciter les usagers de l'eau à changer de comportement et à gaspiller moins d'eau. En ce qui concerne l'irrigation, le prix peut être calculé sur la base de la superficie du terrain, par type de culture ou sur une base volumétrique⁷.

Utilisation consommatrice d'eau. Part d'eau prélevée de sa source pour être utilisée dans un secteur spécifique (agricole, industriel, municipal, par exemple). Contrairement à une utilisation non consommatrice, elle ne pourra pas être réutilisée suite à une évaporation, une transpiration, une incorporation à des produits, un drainage direct vers la mer ou vers des surfaces d'évaporation, ou son retrait des ressources d'eau douce par d'autres moyens (voir ci-après Utilisation d'eau non consommatrice)¹.

Utilisation d'eau non consommatrice. Utilisation d'eau qui ne se traduit pas par de la consommation d'eau. L'eau, si elle est prélevée, retourne presque entièrement dans le système. La navigation, la pêche de capture et les usages récréatifs ou culturels sont des exemples d'utilisation d'eau non consommatrice. La production hydroélectrique est considérée comme faiblement consommatrice, sauf dans les cas où un réservoir artificiel a été créé en amont car celui-ci présente alors une superficie qui a pour effet d'accroître l'évaporation¹.

Utilisation de l'eau. Toute application ou utilisation délibérée d'eau à une fin particulière. Il y a une différence importante entre l'utilisation d'eau consommatrice et l'utilisation d'eau non consommatrice (voir plus haut)¹.

MESSAGES PRINCIPAUX

→ La réalisation des objectifs de développement durable se heurte à un défi considérable: 3,2 milliards de personnes vivent dans des régions agricoles qui connaissent une rareté de l'eau ou des pénuries d'un degré élevé à très élevé, et parmi elles 1,2 milliard de personnes – soit environ un sixième de la population mondiale – vivent dans des régions agricoles gravement touchées par des contraintes hydriques.

→ L'accroissement démographique est un facteur déterminant de la rareté de l'eau du fait qu'il crée une demande accrue, qui pèse sur cette précieuse ressource naturelle. En conséquence, le volume annuel des ressources en eau disponibles par personne a diminué de plus de 20 pour cent au cours de ces vingt dernières années.

→ Le développement socio-économique est un autre facteur important de l'augmentation de la demande d'eau. Il contribue en effet à ce que les habitudes alimentaires évoluent vers des denrées dont la production exige plus d'eau (notamment la viande et les produits laitiers). L'adoption d'une alimentation saine prenant en compte des considérations de durabilité au niveau du système alimentaire peut permettre de réduire la consommation d'eau liée à l'alimentation.

→ La concurrence accrue dont l'eau fait l'objet et les effets du changement climatique créent des tensions et des conflits entre les parties prenantes, exacerbant par là même les inégalités dans l'accès à l'eau, en particulier pour les populations vulnérables et notamment les pauvres des zones rurales, les femmes et les populations autochtones.

→ À dix ans de l'échéance de 2030, les premières estimations concernant l'indicateur 6.4.2 des ODD, qui concerne le stress hydrique, et la persistance de pénuries d'eau dans l'agriculture pluviale, donnent à penser qu'assurer une gestion durable de l'eau pour tous demeure un défi. La question de l'eau étant étroitement liée à plusieurs autres ODD, le moindre n'étant pas l'objectif Faim zéro, bien gérer des ressources en eau rares constituera un élément critique de leur pleine réalisation.

→ Il est encore possible de réussir, mais seulement si on assure une utilisation plus durable et plus productive de l'eau douce et de l'eau de pluie dans l'agriculture, secteur qui est le plus gros utilisateur d'eau dans le monde, à raison de plus de 70 pour cent des prélèvements d'eau au niveau mondial.

→ Utiliser l'eau de manière plus durable dans le secteur agricole, cela signifiera garantir les débits écologiques nécessaires au maintien des fonctions des écosystèmes, qui sont souvent négligés – on estime qu'à l'heure actuelle 41 pour cent de l'eau d'irrigation dans le monde est utilisée aux dépens des besoins de l'environnement. Il faudra réduire les prélèvements et améliorer l'efficience d'utilisation de l'eau dans les bassins versants où les débits écologiques ne sont pas assurés.

→ La comptabilité et l'audit de l'eau, qui sont rarement faits, doivent donc constituer le point de départ de toute stratégie qui se veut efficace dans la lutte contre la pénurie d'eau et les situations de rareté de l'eau. Le recueil récemment publié par la FAO sur la question offre un bon point de départ pour tous ceux qui souhaitent mettre en place ces pratiques.

➔ Les producteurs – dont beaucoup sont de petits agriculteurs – qui exploitent les 128 millions d'hectares (soit 11 pour cent) de terres agricoles pluviales touchées par des sécheresses récurrentes peuvent tirer un grand parti des techniques de collecte et de conservation de l'eau. D'après une estimation, ces techniques pourraient permettre d'augmenter la production de l'agriculture pluviale, mesurée en kilocalories, de 24 pour cent, voire de 40 pour cent si elles se doublent d'une expansion de l'irrigation.

➔ S'agissant des éleveurs qui évoluent sur les 656 millions d'hectares (soit 14 pour cent) de pâturages touchés par la sécheresse, il existe tout un ensemble de mesures concrètes susceptibles de modérer les effets de la sécheresse et d'améliorer la productivité de l'eau. Nombre de ces mesures sont indirectement liées à l'eau, notamment la lutte contre les maladies, la santé animale, la gestion de l'alimentation des animaux et de l'eau d'abreuvement, ou encore la mobilité et la stratification de la production, qui visent à réduire la pression sur les pâturages dans les zones arides.

➔ En ce qui concerne les 171 millions d'hectares (soit 62 pour cent) de terres irriguées soumises à un stress hydrique élevé ou très élevé, la priorité doit être donnée aux pratiques qui se traduisent par une augmentation de la productivité de l'eau – remise en état et modernisation des infrastructures d'irrigation et adoption de technologies innovantes, notamment. À cela il faut ajouter une meilleure gouvernance de l'eau afin de garantir une allocation des ressources en eau et un accès à l'eau équitables, et les débits écologiques voulus. En Afrique subsaharienne, la superficie des zones irriguées devrait au moins doubler d'ici à 2050 et ainsi profiter à des millions de petits agriculteurs.

➔ Investir dans les utilisations d'eau non consommatrices – ce qu'on peut faire dans l'aquaculture – et dans les sources d'eau non conventionnelles, notamment la réutilisation de l'eau ou le dessalement, est une stratégie de plus en plus importante face à la rareté de l'eau; toutefois, les exemples qui sont donnés dans le présent rapport montrent que les innovations doivent être rentables sur le plan économique, socialement acceptables, durables sur le plan de l'environnement, et adaptées au contexte.

➔ Les politiques et la réglementation jouent un rôle central dans la mise en place de technologies et d'innovations, par exemple par le biais du financement, de programmes de renforcement des capacités et de mesures visant à faire respecter les débits écologiques. Cela suppose toutefois que les droits sur l'eau soient alloués de manière appropriée et que le régime foncier applicable aux ressources en eau soit sûr, de manière à garantir un accès sûr, équitable et durable à l'eau, en particulier pour les plus vulnérables, tout en assurant les débits écologiques voulus.

➔ La cohérence des politiques et des mécanismes de gouvernance, à toutes les échelles de l'administration et dans tous les secteurs, sont essentiels pour assurer une gestion équitable, durable et efficace des ressources en eau. Dans le secteur agricole, en particulier, des stratégies cohérentes et inclusives applicables à l'agriculture d'irrigation et à l'agriculture pluviale, à l'élevage, à la pêche continentale, à l'aquaculture et aux forêts, sont nécessaires.

RÉSUMÉ

PÉNURIES D'EAU ET RARETÉ DE CETTE RESSOURCE DANS LE MONDE – QUE SAVONS-NOUS?

Des ressources hydriques d'importance critique subissent une pression croissante au niveau mondial

La gestion durable et équitable des ressources en eau joue un rôle clé dans la viabilité des systèmes alimentaires; elle est essentielle si l'on veut atteindre l'objectif Faim zéro. Or, la rareté des ressources hydriques (le déséquilibre entre l'offre et la demande d'eau douce) et les questions de qualité de l'eau menacent de plus en plus souvent la sécurité alimentaire et la nutrition en raison de leurs effets sur les systèmes alimentaires – des producteurs agricoles aux ménages et aux consommateurs, en passant par les transformateurs. Dans le même temps, des sécheresses graves et persistantes, accentuées par le changement climatique, provoquent des pénuries d'eau de plus en plus inquiétantes pour l'agriculture pluviale, car elles réduisent les rendements des cultures et de l'élevage et font ainsi peser sur les moyens d'existence des populations rurales un risque de plus en plus élevé. Si l'on ne prend pas des mesures immédiates, la situation ne fera que s'aggraver – c'est la raison pour laquelle l'édition 2020 de *La Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture* s'intéresse aux deux principaux enjeux de la production agricole et alimentaire: les pénuries d'eau et la rareté de cette ressource.

Compte tenu des problèmes que la question de l'eau soulève sur la voie non seulement de l'objectif Faim zéro, mais aussi d'un grand nombre d'objectifs de développement durable (ODD), la nécessité et l'urgence de mettre en place une gestion durable de l'eau pour tous occupent une place de premier plan dans le Programme pour le développement durable à

l'horizon 2030 (Programme 2030). En particulier, l'ODD 6 – Garantir l'accès de tous à des services d'alimentation en eau et d'assainissement gérés de façon durable – couvre un grand nombre de dimensions essentielles en rapport avec la disponibilité et la gestion de l'eau. Les préoccupations croissantes que suscitent la rareté de l'eau et le mauvais usage qui en est fait se retrouvent plus spécifiquement dans la cible 6.4 de l'ODD, qui appelle à utiliser cette ressource beaucoup plus efficacement et à garantir la viabilité des prélèvements et de l'approvisionnement en eau douce pour remédier aux pénuries.

Grâce aussi au travail effectué par la FAO, il est désormais possible de suivre les progrès accomplis en direction de cette cible 6.4 des ODD et d'évaluer combien de personnes et quelle superficie de terres agricoles font face à la rareté de l'eau (au moyen de l'indicateur 6.4.2, relatif au stress hydrique) et aux pénuries d'eau (via l'indicateur de fréquence des épisodes de sécheresse). À l'aune de ces mesures, le présent rapport établit que 3,2 milliards de personnes vivent sur des territoires agricoles touchés par un niveau élevé à très élevé de pénurie d'eau (avec des effets sur l'agriculture pluviale) ou de rareté de l'eau (qui pénalise l'agriculture irriguée). Sur ce nombre, 1,2 milliard de personnes – soit un sixième environ de la population mondiale – vivent sur des territoires subissant de graves contraintes hydriques.

La croissance démographique et le développement socio-économique sont des facteurs déterminants de la rareté de l'eau

La croissance démographique est un facteur déterminant de la rareté de l'eau, car une population en hausse entraîne une demande accrue d'eau. C'est ainsi que la quantité annuelle d'eau douce disponible par personne

a reculé de plus de 20 pour cent au cours des deux dernières décennies. Ce problème se pose avec une acuité particulière en Afrique du Nord et en Asie occidentale, où les disponibilités en eau douce par habitant ont baissé de plus de 30 pour cent et où le volume annuel moyen d'eau par personne atteint à peine les 1 000 m³, ce qui constitue généralement le seuil en dessous duquel la rareté de l'eau est considérée comme grave.

Les autres déterminants importants sont la hausse des revenus et l'urbanisation, qui aboutissent également à une demande accrue d'eau dans l'industrie, le secteur énergétique et les services, et à des changements d'alimentation. À mesure que les revenus, l'urbanisation et les normes nutritionnelles progressent, les populations adoptent une alimentation qui demande davantage de terres et d'eau, en raison notamment de la consommation d'une plus grande quantité de viande et de produits laitiers – encore que l'empreinte hydrique de ces produits puisse varier grandement selon leur mode de production. Une étude menée au Brésil, en Chine et en Inde a mis en évidence une évolution vers une alimentation plus riche en produits de l'élevage et en céréales et, conséquence de cette évolution, une augmentation de la consommation journalière d'eau de plus de 1 000 litres par personne. Par ailleurs, il faut que le monde s'oriente vers une alimentation saine – variée, comprenant des aliments dont la production demande beaucoup d'eau, comme les fruits et les légumes, les légumineuses, les fruits à coque, ainsi que les œufs, les produits laitiers et la viande de volaille, en quantité modérée – ce qui fait qu'il devient plus crucial encore d'utiliser les ressources en eau de façon durable.

Le changement climatique va aggraver les problèmes liés à l'eau

Les problèmes de rareté de l'eau et de pénuries doivent être traités en tenant compte des effets du changement climatique, dont on s'attend à ce qu'ils augmentent le risque d'événements météorologiques extrêmes, comme les inondations et les fluctuations climatiques. Cette évolution viendra accroître la pression sur la production agricole, puisque la croissance des plantes et le rendement des cultures sont extrêmement sensibles aux conditions climatiques. Bien que leur ampleur et les lieux où ils se feront sentir soient encore incertains, les effets du changement climatique devraient aggraver les pénuries d'eau et les situations de rareté et influer défavorablement sur la production agricole, en particulier dans les régions tropicales et les régions situées aux basses latitudes. Le changement climatique touche également les écosystèmes d'eau douce, les poissons et les autres populations aquatiques dont la capacité d'absorption des chocs est faible et qui sont sensibles aux chocs climatiques et à la variabilité du climat.

Le changement climatique va donc ajouter à la pression que subissent les systèmes de production agricole au moment où ceux-ci tentent de répondre aux besoins alimentaires d'une population croissante. Cette conjonction peut mettre en péril la sécurité alimentaire et la nutrition des populations tant rurales qu'urbaines; mais les ruraux pauvres, qui sont les plus vulnérables, pourraient être frappés de manière disproportionnée. C'est pourquoi, malgré l'incertitude qui entoure le changement climatique, une action immédiate s'impose, autant par prudence que par nécessité, pour s'assurer contre ces effets; elle demande de définir des stratégies et de les prioriser de façon souple, selon le contexte.

RÉSUMÉ

Combien de personnes et quelle part des terres agricoles subissent des contraintes hydriques, et où?

Comme indiqué au début de ce résumé, 1,2 milliard de personnes environ vivent sur des territoires où de graves pénuries d'eau et des situations sévères de rareté mettent l'agriculture à rude épreuve, que ce soit en raison de la très grande fréquence des épisodes de sécheresse dans les zones d'agriculture pluviale et de pâturages, ou d'un stress hydrique très élevé dans les zones irriguées. Cela signifie qu'une personne sur six environ sur la planète fait face à des situations de rareté de l'eau ou de pénurie qui représentent un péril grave pour l'agriculture, menaçant 15 pour cent environ de la population rurale.

Sur ce nombre, ils sont environ 520 millions à vivre en Asie du Sud et 460 millions en Asie de l'Est et du Sud-Est. En Asie centrale ainsi qu'en Afrique du Nord et en Asie occidentale, un cinquième de la population environ vit sur des territoires agricoles où les pénuries d'eau et les situations de rareté sont très importantes. En Europe, en Amérique latine et aux Caraïbes, en Amérique du Nord et en Océanie, ils ne sont que 1 à 4 pour cent à vivre dans des zones subissant des contraintes hydriques extrêmes. En Afrique subsaharienne, 5 pour cent seulement de la population vit dans des zones touchées. Dans cette partie de l'Afrique, la plupart des territoires agricoles sont non irrigués, ce qui indique que les contraintes hydriques sont déterminées par une sécheresse sévère ou un manque d'irrigation. Le chiffre de 5 pour cent peut sembler négligeable, mais il représente 50 millions de personnes environ vivant dans des zones où de graves épisodes de sécheresse ont des effets catastrophiques sur les terres cultivées et les pâturages.

Si l'on considère les terres agricoles touchées, 128 millions d'hectares de terres agricoles pluviales et 656 millions d'hectares de pâturages

subissent de fréquents épisodes de sécheresse, tandis que 171 millions d'hectares de terres cultivées irriguées sont soumis à un niveau élevé ou très élevé de stress hydrique. Cela signifie que 11 pour cent environ des terres cultivées pluviales et 14 pour cent des pâturages sont frappés par des sécheresses récurrentes graves, tandis que plus de 60 pour cent des terres cultivées irriguées sont en situation de stress hydrique élevé. Plus de 62 millions d'hectares de terres cultivées et de pâturages subissent à la fois un stress hydrique grave et un retour fréquent d'épisodes de grande sécheresse, une situation qui touche 300 millions de personnes environ.

Dans ces territoires, à moins que la demande et les pratiques des usagers de l'eau ne changent ou que l'on ne découvre de nouvelles ressources hydriques, les habitants pourraient être amenés à émigrer. Or, autant la migration peut contribuer au développement économique et améliorer les moyens d'existence quand elle est ordonnée et régulière, autant elle peut être déstabilisante en période de crise. De surcroît, l'émigration externe des hommes peut accroître la charge domestique qui pèse sur les femmes, transférant à celles-ci des responsabilités au sein du foyer et les contraignant à assumer des tâches supplémentaires, notamment les soins au cheptel.

L'analyse spatiale des contraintes hydriques est essentielle car les niveaux de stress hydrique et la fréquence des épisodes de sécheresse peuvent varier considérablement, même à l'intérieur d'un même pays, et une même zone peut connaître des niveaux différents de stress hydrique et de sécheresse. Un certain nombre de pays sont face à ce double problème de stress hydrique et de sécheresse graves; tous sont situés en Afrique du Nord et en Asie – ce sont notamment l'Afghanistan, l'Arabie saoudite, l'Égypte, le Kazakhstan, l'Ouzbékistan, la République

islamique d'Iran et le Yémen. Les évaluations réalisées au niveau national peuvent masquer cette réalité, il est donc essentiel de la faire apparaître au moyen d'une analyse spatiale, afin de recenser les points critiques et de déterminer les interventions les plus adaptées.

Les systèmes de production agricole se défendent contre les contraintes hydriques et sont touchés par celles-ci de différentes façons

Que l'agriculture pratiquée soit pluviale ou irriguée, il existe différents systèmes de production, qui ne seront pas nécessairement touchés de la même façon par le manque d'accès à l'eau et qui disposeront de capacités différentes pour faire face à cette situation. En réalité, on passe d'une production totalement irriguée à une production exclusivement pluviale par une succession continue de techniques et de technologies. Le présent rapport distingue trois grands types de systèmes de production végétale: i) production irriguée; ii) production pluviale à haut niveau d'intrants; iii) production pluviale à faible niveau d'intrants. Leur prévalence dans un pays donné est une indication du niveau de développement agricole de ce pays et de sa capacité à faire face aux risques hydrologiques.

Dans les pays à revenu élevé d'Europe et d'Amérique du Nord, dont l'agriculture est un secteur efficient et à haute intensité de capital et qui consacrent un taux élevé de dépenses publiques à la recherche-développement (R-D) agricole, la proportion des terres cultivées selon un système de production pluviale à haut niveau d'intrants est considérable. En conséquence, ils ont une plus grande capacité à faire face lorsque la fréquence des épisodes de sécheresse s'intensifie. Par contraste, en Afrique subsaharienne, où l'intensité de capital

de l'agriculture et la R-D agricole sont moindres, plus de 80 pour cent des terres cultivées relèvent de l'agriculture pluviale à faible niveau d'intrants et 3 pour cent seulement, de l'agriculture irriguée. Dans ces pays, les agriculteurs ont du mal à accéder aux équipements d'irrigation et à des intrants et des technologies modernes, y compris des technologies permettant d'optimiser l'efficience d'utilisation de l'eau dans l'agriculture pluviale. Cela étant, seule une part relativement faible des terres agricoles pluviales connaissent fréquemment de graves épisodes de sécheresse. À l'inverse, les pays d'Asie du Sud ont recours à l'irrigation et utilisent des intrants modernes sur la moitié environ des terres cultivées de la région, malgré le faible niveau de développement d'un grand nombre d'entre eux, mais la majeure partie des zones irriguées sont soumises à un stress hydrique élevé.

Au-delà de la production agricole, l'eau exerce sur la sécurité alimentaire et la nutrition de multiples effets

Au-delà de la production agricole, les problèmes d'accès à l'eau et de pollution de l'eau se retrouvent tout au long de la chaîne d'approvisionnement alimentaire, non sans effets sur la sécurité alimentaire et la nutrition et sur la santé.

Ainsi, l'industrie agroalimentaire est une activité gourmande en eau qui utilise une eau de qualité potable et rejette un volume important d'eaux usées par unité produite. Sans un traitement approprié, le rejet des contaminants dans les masses d'eau peut exposer les populations à des substances nocives et limiter l'accès à l'eau potable.

En aval de la chaîne d'approvisionnement alimentaire se trouvent les consommateurs, pour qui un approvisionnement en eau sûr et fiable à des fins de consommation, d'assainissement et d'hygiène est une nécessité de base et un

RÉSUMÉ

déterminant majeur de la sécurité alimentaire. Un manque d'accès à une eau propre est l'une des principales causes sous-jacentes de la malnutrition. Les maladies liées à l'eau sapent la productivité, creusant davantage encore de profondes inégalités et piégeant les ménages vulnérables dans la pauvreté. Un accès insuffisant à un approvisionnement élémentaire en eau de boisson sur le lieu de vie (à domicile, par exemple) est plus fréquent en milieu rural qu'en milieu urbain, et implique de consacrer un temps considérable à aller chercher l'eau de boisson là où elle est disponible, un temps qui est souvent celui des femmes.

QUELS SONT LES INVESTISSEMENTS ET LES INNOVATIONS NÉCESSAIRES À UNE UTILISATION DURABLE ET PRODUCTIVE DE L'EAU?

De meilleures stratégies de gestion de l'eau – si on les associe à des pratiques agronomiques telles que l'emploi de variétés améliorées – seront une composante d'importance cruciale pour réduire les risques hydrologiques et atteindre les rendements possibles dans le secteur agricole, aux fins d'une plus grande sécurité alimentaire et d'une meilleure nutrition. Ces stratégies devraient contribuer à l'adaptation au changement climatique, même s'il demeure une incertitude considérable quant aux effets de celui-ci et à l'efficacité des mesures d'adaptation. Les mesures prises pour amener les agriculteurs à adopter des stratégies de gestion de l'eau et à changer leur comportement en matière d'utilisation et de gestion de cette ressource dépendront du niveau d'accessibilité de celle-ci, de l'ampleur des pénuries et des situations de rareté, du niveau d'incertitude dans un contexte de changement climatique, ainsi que de la disponibilité et du coût des autres intrants, comme la main-d'œuvre et l'énergie.

La gestion de l'eau comprend tout un éventail d'options – conditions de production, depuis les systèmes intégralement pluviaux aux systèmes totalement irrigués, soutien de l'élevage, des forêts et de la pêche, ou encore interactions avec des écosystèmes importants – et tous les risques hydrologiques ne peuvent pas être gérés par les seuls agriculteurs. Certains nécessiteront peut-être une intervention publique-privée, par exemple, sous la forme d'investissements, d'information et de soutien aux exploitants, de façon à briser les freins à l'adoption.

Libérer le potentiel de l'agriculture pluviale demande que l'on améliore la gestion de l'eau

La production pluviale est prédominante dans l'agriculture, puisqu'elle concerne 80 pour cent du total des terres cultivées. Les agriculteurs, en particulier les petits exploitants, ont une influence limitée sur le volume d'eau apporté aux plantes et sur la répartition dans le temps de cet apport. Les défis inhérents à ce système sont de gérer la variabilité des conditions météorologiques et de s'y adapter, et d'utiliser l'eau de pluie de façon plus productive. Les agriculteurs qui s'engagent dans une production pluviale à haut niveau d'intrants ont davantage de chances de disposer des capacités nécessaires pour investir dans une meilleure gestion de l'eau que les exploitants qui travaillent en zone pluviale avec une faible consommation d'intrants.

Deux grandes stratégies permettent d'accroître les rendements de l'agriculture pluviale: i) collecter ou récupérer davantage d'eau et en gérer l'infiltration dans la zone racinaire; et ii) assurer une conservation de l'eau en accroissant la capacité d'absorption de la plante et/ou en réduisant l'évaporation au niveau de la zone racinaire et les pertes par drainage. Il peut être extrêmement efficace d'associer ces deux stratégies. Une étude

a établi que ces pratiques pouvaient se traduire par une augmentation de la production des zones pluviales, mesurée en kilocalories, de 24 pour cent, et de plus de 40 pour cent si on y adjoint une expansion de l'irrigation. Près de 20 pour cent de la superficie totale cultivée se prête aux stratégies de récupération et de conservation, en particulier dans de vastes zones d'Afrique de l'Est et d'Asie du Sud-Est.

Investir dans l'irrigation pour améliorer la productivité de l'eau sera essentiel pour faire face aux situations de rareté

Une utilisation plus productive de l'eau d'irrigation permet de produire plus avec moins d'eau. Cela peut se faire en accroissant les rendements des cultures et/ou en réduisant l'évapotranspiration. Les différences considérables de productivité de l'eau (volume produit par unité d'eau consommée) d'un pays à l'autre s'expliquent par l'accès des agriculteurs à des intrants agricoles modernes, à des systèmes d'irrigation efficents et à une meilleure gestion des sols et de l'eau. Cette productivité a connu des améliorations ces dernières années, mais des écarts de rendement demeurent. Combler ou réduire ces écarts peut concourir de façon importante à améliorer la sécurité alimentaire et la nutrition, ainsi que les moyens d'existence, et à réduire la vulnérabilité face aux fluctuations climatiques.

Cela étant, il faudra pour cela investir dans de nouveaux systèmes d'irrigation ou dans la remise en état et la modernisation des systèmes existants. Le choix des systèmes dépendra d'une série de facteurs, dont les conditions climatiques, les sources d'énergie et leur prix, la disponibilité de la main-d'œuvre, la profondeur des sources d'eau souterraine et les coûts d'infrastructure. En Afrique subsaharienne, par exemple, de nombreux petits agriculteurs élaborent leur propre équipement

d'irrigation à petite échelle – y compris des seaux, des arrosoirs et des pompes à pédales – dont le coût unitaire est généralement plus faible et dont les résultats ont tendance à être meilleurs que ceux des systèmes gérés par des organismes publics. Les possibilités de développement d'une irrigation à petite échelle rentable sont considérables dans la région, la zone d'expansion potentielle des motopompes allant jusqu'à 30 millions d'hectares, ce qui bénéficierait à des millions de ruraux.

Une étude a prévu par projection un doublement des zones irriguées entre 2010 et 2050 en Afrique subsaharienne. Cela étant, pour déboucher sur de réelles économies d'eau, la modernisation de l'irrigation doit être précédée d'instruments d'action publique tels qu'une répartition de l'eau visant à maintenir ou à réduire le volume utilisé à l'échelle des bassins hydrographiques après l'introduction des nouvelles technologies.

Améliorer la productivité de l'eau dans la production animale peut réduire la pression sur les ressources hydriques

La productivité – sur le plan physique et nutritionnel – de l'eau utilisée pour les produits animaux est très souvent inférieure à celle de l'eau utilisée pour les produits végétaux et dépend fortement du type de produit animal et du système de production. Ainsi, l'élevage peut compter sur des pâturages pluviaux pour nourrir les bêtes – souvent sans aucune autre utilisation productive de l'eau – ou sur des terres cultivées irriguées. Dans les systèmes mixtes de production, les animaux peuvent même consommer les résidus de récolte. Compte tenu des conditions décrites ci-dessus, différentes options sont possibles pour améliorer la productivité de l'eau du secteur, notamment un bon contrôle du pâturage, une amélioration de la santé animale ainsi que des changements apportés à l'alimentation et aux systèmes d'abreuvement.

RÉSUMÉ

L'autre domaine d'amélioration de la productivité est celui des systèmes intégrés de production aquacole et d'irrigation, dont le potentiel n'est pas encore pleinement exploité. L'irrigation et la pêche sont étroitement liées. L'irrigation peut modifier physiquement les habitats aquatiques et leur teneur en nutriments, non sans conséquences sur les ressources halieutiques. Dans la plupart des cas, l'intensification de la production végétale au moyen de l'irrigation a coïncidé avec une baisse de production de la pêche. Pourtant, l'irrigation peut aussi créer de nouvelles possibilités de production de poisson. Ainsi, dans une zone irriguée du Bangladesh, les riziculteurs ont remplacé l'un des trois cycles annuels de production de riz par une production de poissons juvéniles, ce qui leur a permis de diminuer les problèmes liés aux ravageurs et d'accroître leurs profits. Ce sont toutefois en grande partie les politiques et les structures de gouvernance nationales et régionales qui vont déterminer dans quelle mesure la production de poisson peut être intégrée aux systèmes d'irrigation.

La gestion de l'eau à usage agricole dépasse le cadre de l'exploitation et nécessite des approches innovantes

Les systèmes de production agricole sont des déterminants majeurs d'une série d'effets sur l'environnement, à la fois désirables et indésirables. Ainsi, les approches de gestion décentralisée de l'eau, comme certains programmes de récupération d'eau, peuvent avoir des effets préjudiciables sur le bilan hydrologique des bassins versants et des bassins hydrographiques, et donc, sur la pêche fluviale. Cependant, les stratégies de gestion de l'eau à usage agricole peuvent aussi avoir des effets bénéfiques sur l'environnement. Ainsi, la réduction ou l'interruption des périodes

d'inondation peut diminuer considérablement les émissions liées à la culture du riz, car des périodes d'inondation plus courtes et des interruptions plus fréquentes abaisse la production de méthane par les bactéries, et donc le volume des émissions. Les solutions s'inspirant de la nature – qui consistent à recourir à des processus naturels pour améliorer la gestion de l'eau et conserver ou remettre en état les écosystèmes et les processus naturels – en sont un autre exemple. Leur adoption nécessite toutefois une approche territoriale et un changement de paradigme, les forêts, les tourbières et les autres écosystèmes étant considérés et gérés comme des régulateurs de l'eau douce à différentes échelles. Les pratiques de gestion de l'eau, telles que les couloirs de végétation et les systèmes intégrés agricoles-aquacoles, peuvent apporter une aide supplémentaire pour retenir les nutriments en excès et réduire la pollution. Les avantages des solutions s'inspirant de la nature peuvent compenser les coûts d'opportunité de la mise en jachère, à des fins de conservation, de terres qui sans cela pourraient porter des cultures ou être valorisées.

L'innovation dans des sources non conventionnelles – eaux usées traitées et eau dessalée, par exemple – gagne du terrain dans certains pays et certaines régions, là où l'approvisionnement en eau est gravement limité. On prédit que la production d'eaux usées va augmenter considérablement. On ne dispose encore d'aucun chiffre probant, mais on a pu estimer qu'à l'échelle mondiale, 10 pour cent des zones irriguées recevaient des eaux usées non traitées ou partiellement traitées. Quand elles sont traitées conformément aux besoins des utilisateurs finals, les eaux usées s'avèrent être une option réaliste comme source non conventionnelle d'eau. Il n'en reste

pas moins que la faisabilité de la réutilisation de l'eau dans l'agriculture va dépendre des circonstances locales. Le dessalement représente une autre option intéressante pour accroître les disponibilités en eau. À l'échelle mondiale, on compte environ 16 000 usines de dessalement, qui produisent autour de 100 millions m³/jour. Le coût de cette technique a toujours été le principal obstacle limitant son application à l'agriculture. Cela étant, grâce à une demande en hausse et à des avancées technologiques, les coûts ont considérablement baissé et la tendance va se poursuivre, ce qui rend cette technique plus abordable pour les activités agricoles, en particulier pour la production de cultures de haute valeur. En moyenne, on estime que les grandes usines de dessalement peuvent produire de l'eau à un coût compris entre 0,5 et 2 USD/m³, selon la taille des installations. Le rapport coûts-avantages des usines de dessalement dépend fortement du contexte, mais plusieurs pays, comme l'Australie, la Chine, l'Espagne, le Maroc et le Mexique, utilisent déjà avec profit de l'eau dessalée dans l'agriculture.

SI DES SOLUTIONS EFFICACES SONT FACILEMENT DISPONIBLES, POURQUOI NE LES ADOpte-T-ON PAS?

Les innovations en gestion de l'eau sont largement influencées par le cadre institutionnel et juridique général – qui comprend les droits d'usage de l'eau, les permis, les règlements, les mesures incitatives et les services institutionnels. Elles sont également déterminées par le cadre global de l'action publique, qui comprend les choix sociétaux, les priorités, les politiques sectorielles et les arbitrages. Les différents rôles, points de vue et responsabilités des parties prenantes intervenant dans la politique et la gestion de l'eau sont éparses entre des secteurs, des lieux

et des juridictions différents, or il est essentiel d'avoir une bonne connaissance de chacun d'eux. L'une des préoccupations est celle de l'accessibilité économique et du respect du droit fondamental qu'est l'accès à l'eau. L'autre souci est de garantir les débits écologiques, les services écosystémiques et l'utilisation non consommatrice des ressources en eau douce, pour la pêche continentale, par exemple.

Une bonne gouvernance de l'eau est donc d'importance critique et demande une gestion adaptative au niveau des bassins versants pour que l'on puisse répondre aux besoins de tous les usagers de l'eau. Une telle gestion demande à son tour une collaboration complexe entre parties prenantes, sites et entités. Une meilleure coordination est nécessaire à la fois verticalement – du niveau sectoriel, des bassins hydrographiques et des systèmes d'irrigation jusqu'aux ménages –, et horizontalement, c'est-à-dire entre les secteurs – à savoir l'agriculture, l'industrie, les municipalités et les ménages. À cet égard, les associations d'usagers de l'eau, qui rassemblent les agriculteurs (en particulier les petits exploitants) afin de gérer un système d'irrigation partagé, ont leur rôle à jouer à la fois dans la planification et dans la mise en œuvre. Elles peuvent mettre en commun les ressources d'exploitation et d'entretien des systèmes d'irrigation ainsi que des bassins hydrographiques et des aires de drainage. L'une des difficultés majeures consiste à protéger les intérêts des groupes qui disposent de moins de pouvoir et d'influence, mais qui dépendent des services écosystémiques (les pêcheurs, par exemple), et à veiller à ce qu'ils soient associés à l'action et aux décisions.

RÉSUMÉ

Une comptabilité et un audit transparents de l'eau et un régime foncier applicable à l'eau clairement défini sont des composantes de base essentielles

Pour être efficaces, les stratégies de gestion de l'eau doivent reposer sur une connaissance plus précise du volume d'eau dont on dispose, de la façon dont les ressources sont utilisées et du caractère durable ou non de cette utilisation.

La comptabilité de l'eau – l'étude systématique de l'état et de l'évolution de l'offre, de la demande, de l'accessibilité et de l'utilisation de l'eau – est la clé qui permettra d'y parvenir. Cependant, la comptabilité de l'eau ne donnera de réels résultats que si elle s'inscrit dans un processus plus vaste d'amélioration de la gouvernance. Associer à la comptabilité l'audit de l'eau – le processus par lequel les données issues de la comptabilité de l'eau sont placées dans le contexte sociétal plus large des ressources en eau – peut fournir les bases d'une gestion de l'eau plus réaliste, durable, efficace et équitable.

Le coût global des programmes de comptabilité et d'audit de l'eau varie énormément en fonction, par exemple, de l'échelle et de l'ambition du programme, du coût du contrat d'exécution conclu avec l'équipe de mise en œuvre et de la nécessité de collecter des informations primaires et secondaires. Les avancées en matière de technologies de la télédétection et du comptage et l'existence d'un certain nombre de bases de données mondiales et régionales en accès libre réduisent ces coûts et facilitent le partage de l'information. Un recueil récemment publié par la FAO offre un bon point de départ à tous ceux qui souhaitent mettre en œuvre une comptabilité et un audit de l'eau.

Un régime foncier applicable à l'eau – établissant le rapport, défini par la loi ou la coutume, qui existe entre des individus ou des groupes

relativement aux ressources en eau – peut offrir une assise solide à une utilisation efficiente de l'eau et à un accès équitable et durable à cette ressource s'il repose sur une comptabilité rigoureuse de l'eau et un système de répartition équitable. La mise sur pied d'organisations communautaires pour gérer la répartition de l'eau peut aussi contribuer à une définition efficace des droits d'usage. Bien définis, ces droits renforcent la capacité d'action des utilisateurs et accroissent la valeur économique de l'eau, tout en incitant les agriculteurs à investir dans des technologies susceptibles d'améliorer l'efficience d'utilisation de l'eau et leurs revenus, et à réduire la dégradation des ressources. Malgré l'importance des régimes fonciers applicables à l'eau, et bien qu'il s'en trouve dans pratiquement tous les contextes où l'eau est rare, ces régimes, la plupart du temps, ne sont pas formellement reconnus ni appliqués, et ne sont pas toujours respectés. L'amélioration des technologies de dérivation, d'adduction et de comptage pour l'irrigation, en permettant un meilleur suivi, peut renforcer le respect des règles en vigueur.

Les marchés et la tarification de l'eau peuvent garantir une utilisation productive de cette ressource, mais assurer une mise en œuvre équitable est une tâche délicate

Dans les zones où les ressources en eau douce font déjà l'objet de répartitions, il peut être envisageable de mettre en place des instruments de marché autorisant les producteurs à échanger les droits qui leur ont été attribués. Les mécanismes de marché de l'eau peuvent être un moyen efficace de répartir cette ressource parce qu'ils sont économiquement efficents, que les transactions effectuées dans ce cadre sont volontaires et que le système réagit positivement, encourageant les usagers de l'eau à orienter leur consommation vers les utilisations les plus

productives. Ainsi, les marchés d'eau souterraine sont une option intéressante pour améliorer l'accès des agriculteurs à l'irrigation à partir d'eaux souterraines, à condition que leur mise en place intègre un plafonnement du volume total d'eau prélevé dans un aquifère. Parmi les aspects défavorables, on peut citer la possibilité que les fournisseurs d'eau locaux exercent un pouvoir de monopole dans certains endroits. À cet égard, vus sous l'angle de l'équité, les marchés de l'eau ne valent que ce que vaut le système de répartition initiale sur lequel ils reposent. Point particulièrement crucial, les marchés peuvent créer, pour certaines parties prenantes, une incitation à priver de leurs droits des titulaires plus vulnérables afin de s'approprier les dividendes de l'eau-ressource, faisant naître un conflit avec le principe qui veut que l'eau soit une nécessité de base et relève des droits de l'homme. À ce jour, le nombre de marchés de l'eau qui fonctionnent effectivement et depuis suffisamment longtemps est très faible.

Indépendamment de la question d'un marché des droits d'usage de l'eau, lorsque les prix de cette ressource reflètent sa valeur économique réelle, cela crée une incitation à faire de l'eau l'utilisation la meilleure sur le plan économique. La tarification de l'eau peut aussi aider à éviter une consommation excessive ainsi que l'épuisement et la dégradation de la qualité des ressources hydriques. De fait, la tarification de l'eau est de plus en plus souvent considérée non pas comme un simple mécanisme de recouvrement des coûts et un moyen d'assurer l'efficience économique, mais comme un instrument permettant de traiter les dimensions sociales et environnementales. Parmi les dimensions sociales à prendre en compte pour que la mise en œuvre d'un mécanisme de tarification soit équitable, on peut citer les effets de cette tarification sur les groupes disposant des revenus les plus modestes.

Le relèvement des prix de l'eau doit être étalé sur plusieurs années afin de laisser aux agriculteurs le temps de s'adapter, et doit s'accompagner d'une gestion intégrée associant les communautés pour veiller à ce que personne ne soit laissé de côté. Pour encourager le paiement de la gestion et des services de l'eau, il faut aussi maintenir une qualité constante de ces services et ne pas se contenter de réglementer et de sanctionner, mais expliquer clairement l'emploi qui est fait des recettes, au profit des usagers.

Le peu d'attention portée aux questions de gouvernance dans les zones pluviales s'est traduit par des occasions manquées

Jusqu'ici, l'action des pouvoirs publics et la gouvernance en matière de gestion des ressources hydriques utilisées par l'agriculture sont demeurées centrées sur l'irrigation. Cette situation a eu pour effet de limiter l'investissement et l'innovation dans la gouvernance, l'action publique, les institutions, les pratiques et les technologies susceptibles de soutenir les petits exploitants dans les zones non irriguées – y compris les zones de pâturages – et dans les utilisations non consommatrices, comme la pêche continentale. La planification des ressources en eau doit favoriser les solutions d'investissement dans l'ensemble de l'agriculture, des systèmes pluviaux aux systèmes irrigués, et prendre en compte la gestion de l'eau dans les zones pluviales et ses effets à l'échelle des bassins versants et des bassins hydrographiques. Comme pour les systèmes d'irrigation, il faut prêter attention aux régimes fonciers applicables aux terres, aux droits de propriété sur l'eau et à l'accès aux marchés, et adopter des approches communautaires de gestion des bassins hydrographiques pour remédier aux pénuries d'eau et à la dégradation des terres, ce qui ne peut se faire au niveau des exploitations uniquement. Ces approches doivent s'étendre à

RÉSUMÉ

la conservation et à la remise en état des forêts à l'échelle des bassins versants. Enfin, l'amélioration de la gestion de l'eau dans les systèmes pluviaux nécessite un soutien des pouvoirs publics sous forme d'investissement dans les infrastructures et dans l'accès à des routes reliant les agriculteurs aux marchés, et sous forme de subvention aux technologies de captage et de conservation de l'eau pour aider à atténuer les effets de la sécheresse tout en contribuant au développement agricole général.

Une série d'autres stratégies en matière d'institutions et de gouvernance peut améliorer la gestion de l'eau dans l'élevage, les troupeaux représentant un actif essentiel pour les éleveurs pastoraux et d'autres communautés. La participation de représentants des communautés et d'institutions locales peut aider à concevoir des interventions efficaces. De même, les institutions coutumières ou autochtones ont un rôle essentiel à jouer dans les interventions d'urgence et dans la gestion des ressources naturelles, y compris l'eau et les pâtures. Dans certains pays, des lignes directrices nationales portant sur les interventions d'urgence dans le domaine de l'élevage – en cas d'épisées de sécheresse par exemple – existent déjà et peuvent fournir une assistance rapide pour protéger et reconstituer le cheptel des éleveurs dans les communautés touchées par une crise. Enfin, le recensement et la cartographie des sources d'eau et l'utilisation de systèmes d'alerte précoce dans les zones sujettes à la sécheresse constituent un progrès essentiel. Au Kenya, par exemple, la sécheresse extrême de 2000 s'est soldée par la perte d'une part importante du bétail, jusqu'à 50 pour cent dans certains districts, et les organismes humanitaires sont restés impuissants, faute d'information pour guider leur action au pied levé.

Renforcer la cohérence des politiques est incontournable, que ce soit entre les secteurs ou dans l'ensemble du secteur agricole

Les choix d'action publique dans des secteurs qui demeurent souvent déconnectés les uns des autres exercent une influence sur le comportement des différents acteurs. Veiller à la cohérence des politiques entre secteurs et domaines d'action publique constitue donc la première condition d'amélioration de la gestion des ressources hydriques. Cela demande de coordonner les différentes politiques, les textes législatifs et les mesures fiscales qui influent sur la gestion de l'eau et sur l'offre et la demande de cette ressource, y compris les prix de l'énergie, les accords commerciaux, les régimes de subventions agricoles et les stratégies de réduction de la pauvreté. Il est également nécessaire d'intégrer les prises de décision de différentes entités sur les ressources en eau et les politiques y afférentes – y compris sur l'irrigation et sur les usages industriels de l'eau et ceux des collectivités.

Proposer des incitations appropriées est une composante essentielle de la cohérence des politiques. Les subventions en sont un bon exemple, car les pouvoirs publics subventionnent souvent largement des biens non publics, comme l'énergie, les engrains et le crédit, ce qui peut inciter les bénéficiaires à faire de l'eau une utilisation excessive et improductive et aboutir à une pollution de l'eau.

Il est nécessaire également de renforcer la cohérence des politiques entre sous-secteurs agricoles. Souvent, l'incidence des politiques se fait sentir de façon inégale d'un sous-secteur à l'autre, et tend à favoriser l'agriculture irriguée au détriment des systèmes pluviaux ou de la pêche continentale. Le développement de l'irrigation a certes amélioré la sécurité alimentaire et la

nutrition dans les pays à faible revenu, mais il a aussi contribué à faire disparaître des lieux de pêche continentale, à prélever l'eau souterraine de façon excessive et à modifier l'écoulement des eaux de surface et les écosystèmes. Il reste cependant des possibilités de parvenir à une plus grande synergie pour améliorer la productivité et les bienfaits nutritionnels de l'agriculture irriguée, tout en veillant à la connectivité des eaux, aux débits et à la préservation des habitats. À titre d'exemple, citons les systèmes intégrés d'aquaculture et d'irrigation, la conservation des forêts et la gestion en amont. Les innovations qui visent à améliorer la productivité de l'agriculture pluviale pourraient également avoir pour effet de réduire la nécessité d'irriguer.

Une réforme s'impose pour une plus grande cohérence des politiques

Si l'on veut renforcer la cohérence des politiques et améliorer la gestion de l'eau, il faudra en tout premier lieu harmoniser les incitations. À cet égard, les subventions générales devraient être remplacées par des subventions visant spécifiquement à stimuler l'adoption de nouvelles technologies d'irrigation et la fourniture de services environnementaux, tels que des structures d'irrigation respectueuses de la vie aquatique permettant d'atténuer les effets du développement de l'irrigation et de la construction de barrages. La rémunération des services environnementaux

– paiements aux agriculteurs ou aux propriétaires fonciers qui acceptent de gérer leurs terres ou les bassins versants de façon à protéger l'environnement – peut aussi concourir à une juste évaluation d'un bon état de fonctionnement des écosystèmes.

Une approche plus intégrée reposant sur une comptabilité et un audit de l'eau qui n'omettent aucun usager s'impose également. À titre d'exemple, citons une gestion des programmes d'irrigation qui maintient les niveaux de production alimentaire tout en apportant d'autres services environnementaux et écosystémiques.

Enfin, la cohérence des politiques demande des mécanismes et des processus rigoureux pour gérer et coordonner l'élaboration des politiques, des budgets et des règlements. Les étapes spécifiques sont notamment le renforcement des capacités des institutions publiques; la coordination interministérielle (eau, agriculture et énergie); l'amélioration des outils de planification et de suivi; et la mise à niveau et l'intégration des bases de données. Améliorer le profil des investissements dans l'irrigation de façon à tenir compte des résultats en matière de parité hommes-femmes, de santé et de nutrition pourrait aussi transformer les programmes d'irrigation et faire en sorte qu'ils deviennent partie intégrante des stratégies de réduction de la pauvreté, de la faim et de la malnutrition. ■



VIET NAM

Dans une pépinière,
un ouvrier arrose des
plants d'acacia.

©FAO/Joan Manuel Baliellas

Messages clés

→ La rareté de l'eau et les questions de qualité de l'eau ne cessent de s'aggraver, menaçant les systèmes alimentaires dans le monde entier. Le volume annuel d'eau douce disponible par personne a diminué de plus de 20 pour cent ces deux dernières décennies. Cette situation pèse lourdement sur l'Afrique du Nord et l'Asie occidentale et sur l'Asie du Sud et nécessite une action urgente.

→ L'agriculture doit s'adapter aux défis complexes que représentent l'accroissement démographique, la croissance économique, l'évolution des préférences des consommateurs et la concurrence pour l'eau. Des régimes alimentaires sains qui prennent en considération les questions de durabilité au niveau des systèmes alimentaires peuvent contribuer à réduire la consommation d'eau liée à la production d'aliments.

→ Les difficultés d'accès à l'eau et la pollution croissante se manifestent tout au long de la filière alimentaire – y compris au stade de la transformation – ce qui nuit à la sécurité alimentaire, à la nutrition, à la santé et aux services écosystémiques et fait courir de grands risques aux populations vulnérables.

→ À l'heure actuelle, 41 pour cent environ de l'irrigation, dans l'ensemble du monde, se fait au détriment des flux écologiques. Pour atteindre les objectifs du Programme 2030, il sera essentiel de concilier l'irrigation et les flux écologiques car ceux-ci sont nécessaires au maintien des écosystèmes, qui eux-mêmes remplissent des fonctions de maintien de la vie.

→ L'accès insuffisant et peu fiable aux ressources en eau grève les moyens d'existence de millions de petits agriculteurs, pêcheurs et éleveurs, et par conséquent les pays doivent adopter une gestion durable de l'eau qui soit inclusive et équitable.

→ Dans les pays les moins avancés, 74 pour cent de la population rurale n'a pas accès à de l'eau potable sûre, obligeant les femmes à passer une grande partie de leur journée à aller chercher de l'eau et exposant les populations rurales pauvres aux maladies véhiculées par l'eau et à la malnutrition.

CHAPITRE 1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE: POPULATIONS, EAU ET AGRICULTURE

PRÉSENTATION GÉNÉRALE: POPULATIONS, EAU ET AGRICULTURE

L'EAU ET LE DÉVELOPPEMENT DURABLE – UN SENTIMENT D'URGENCE CROISSANT

Les ressources en eau et la manière dont elles sont gérées sont décisives pour renforcer les moyens d'existence et assurer un développement durable. La nécessité de satisfaire les besoins accrus des êtres humains en eau, à partir de la ressource limitée qu'est l'eau douce, soulèvent des inquiétudes croissantes, au même titre que les menaces engendrées par le changement climatique (pluviométrie incertaine, disponibilités en eau, etc.), qui ont des répercussions sur l'agriculture, pluviale et irriguée. Les conséquences sur la sécurité alimentaire et la nutrition sont graves car elles touchent aux systèmes alimentaires, depuis la production agricole – culture pluviale et irriguée, élevage, pêche continentale, aquaculture – jusqu'aux ménages et aux consommateurs, en passant par la transformation.

Le présent rapport porte sur deux difficultés majeures auxquelles se heurtent l'agriculture et la production alimentaire: la rareté de l'eau et les pénuries d'eau. Par «rareté de l'eau», on entend le manque physique d'eau douce, qui peut avoir des conséquences graves sur la production et la productivité de l'agriculture irriguée. La rareté de l'eau concerne non seulement l'insuffisance des ressources d'eau douce, mais aussi le fait que les infrastructures et les capacités institutionnelles ne suffisent pas à garantir un accès équitable aux services liés à l'utilisation de l'eau, tels que l'eau potable et l'irrigation. Les pénuries d'eau engendrées par des précipitations insuffisantes (en volume et en fréquence) limitent la production

des cultures pluviales et la production animale provenant des pâturages. Parmi les autres risques liés au manque de ressources en eau figurent les catastrophes naturelles telles que les inondations pour lesquelles c'est l'excès d'eau qui pose problème (voir le glossaire pour les définitions des termes liés à l'eau).

Les ressources d'eau douce sont limitées, or la demande en eau pour répondre aux besoins essentiels des êtres humains en matière d'alimentation, d'eau potable et d'assainissement ne cesse de croître. Ces besoins comprennent non seulement l'eau destinée à l'agriculture irriguée, mais aussi aux systèmes alimentaires dans leur globalité, y compris l'étape de transformation des aliments. Ils englobent également l'eau potable domestique et celle destinée à l'assainissement et à l'hygiène (WASH). La gestion durable des ressources en eau doit trouver un équilibre entre ces besoins et la nécessité de préserver les biens et les services fournis par les écosystèmes aquatiques, qui, à leur tour, dépendent des eaux souterraines et du débit des cours d'eau. Il ne s'agit pas de préserver les ressources hydriques et de les gérer durablement en termes de volume uniquement, il faut aussi considérer la qualité de l'eau qui se révèle également être un problème de taille s'aggravant de jour en jour.

L'agriculture pluviale est exposée à des risques encore plus importants en raison de l'insuffisance des précipitations. Les répercussions pourraient se traduire par des sécheresses, des inondations, des pluies torrentielles et des phénomènes météorologiques extrêmes. L'irrégularité des précipitations sur les pâturages menace également la production animale.

Le présent rapport porte principalement sur ce double défi: d'une part la demande croissante d'eau douce, susceptible de créer des situations de

ENCADRÉ 1**LA SITUATION MONDIALE DE L'ALIMENTATION ET DE L'AGRICULTURE 1993 – POLITIQUES DE L'EAU ET AGRICULTURE**

Dans l'édition 1993 de *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture*, la partie III, intitulée «Politiques de l'eau et agriculture», portait sur des questions et des analyses qui sont encore très pertinentes dans le contexte actuel. On peut en conclure que l'édition 1993 était résolument tournée vers l'avenir mais aussi que bon nombre des problèmes énoncés dans le rapport ne sont toujours pas résolus aujourd'hui.

La Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 1993 part du postulat que l'eau est une ressource de plus en plus rare et de plus en plus précieuse, insiste sur le fait que la rareté croissante des ressources en eau et le mauvais usage que l'on fait de l'eau douce constituent une grave menace pour le développement durable. Le rapport s'intéresse également à la qualité de l'eau et à ses effets sur la santé. Les situations de rareté de l'eau sont principalement causées par: l'accroissement de la population, le gaspillage d'eau et l'accès inéquitable aux ressources en eau. Le rapport appelle par ailleurs l'attention sur l'incidence du changement climatique et du réchauffement de la planète sur le cycle hydrologique, mais les connaissances scientifiques de l'époque ne permettaient pas encore de tirer des conclusions claires.

SOURCE: FAO, 1993.¹

rareté, d'autre part le risque de sécheresse causé par l'insuffisance des précipitations dans les zones de culture pluviale, avec à la clé des pénuries. La dernière fois que *La Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture* a traité de façon exhaustive les problématiques liées à l'eau, c'était en 1993 (**encadré 1**). Il est frappant de constater que, plus de 25 ans après, le contenu du rapport est toujours autant d'actualité. Les difficultés liées à la gestion des ressources en eau persistent, ce qui laisse penser que les solutions n'ont pas été suffisantes pour y remédier. Cependant, si l'édition 1993 a mis en évidence un constat sur lequel tout le monde s'accorde, à savoir que «la rareté croissante de l'eau douce et le mauvais usage que l'on en fait menacent gravement le développement durable», il est plus que jamais urgent aujourd'hui de résoudre ce problème. Alors que le rapport de 1993 portait principalement sur les difficultés liées

L'édition 1993 est principalement axée sur l'utilisation de l'eau dans le secteur agricole et met l'accent sur l'agriculture irriguée, ainsi que sur les politiques et les institutions. Elle rappelle que le secteur agricole, principal consommateur d'eau, doit faire face à une concurrence accrue de la part des autres secteurs. Le rapport plaide également pour que l'agriculture parvienne à augmenter la production dans des conditions durables, en utilisant moins d'eau, afin de garantir la sécurité alimentaire du monde de demain. Il attache une importance toute particulière à la gestion de la demande, à savoir renforcer l'efficacité de l'utilisation des ressources en eau et améliorer la répartition dans le secteur de l'agriculture irriguée, par opposition à l'approche plus traditionnelle axée sur l'offre, qui vise à développer l'agriculture irriguée. Cependant, en 1993, s'agissant de la gestion et du développement de l'offre, les techniques du dessalage et du recyclage des eaux usées et de l'eau de drainage n'avaient pas encore acquis la place prédominante qu'elles ont aujourd'hui parmi les sources d'eau nouvelles.

à des approvisionnements limités et aux demandes concurrentes en eau douce destinée à l'agriculture irriguée, l'édition 2020 élargit le champ de réflexion pour inclure les difficultés relatives aux ressources en eau destinées à l'agriculture pluviale, y compris les systèmes pastoraux. Elle englobe les forêts, la pêche continentale et l'aquaculture, et souligne qu'il importe de restaurer et de préserver les débits écologiques et de garantir les services environnementaux des écosystèmes liés à l'eau.

Nombre des défis liés aux ressources en eau figurent en bonne place dans le Programme de développement durable à l'horizon 2030 (Programme 2030). La problématique de l'eau est étroitement liée à plusieurs objectifs de développement durable (ODD) et constitue un facteur déterminant de leur réalisation. »

FIGURE 1 RESSOURCES HYDRIQUES ET CIBLES DES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE (ODD)

Dépendant de l'ODD 6	Ont une incidence sur l'ODD 6
1 PAS DE PAUVRÉTÉ 	<ul style="list-style-type: none"> 1.1 Éliminer l'extrême pauvreté 1.2 Réduire de moitié la proportion de personnes vivant dans la pauvreté 1.4 Assurer l'équité dans les droits sur les ressources, l'accès aux ressources et le contrôle de celles-ci 1.5 Renforcer la résilience face aux phénomènes climatiques extrêmes et à d'autres chocs
2 FARM-ZERO 	<ul style="list-style-type: none"> 2.1 Faire en sorte que chacun ait accès à la nourriture 2.2 Mettre fin à la malnutrition 2.3 Doubler la productivité et les revenus des petits producteurs alimentaires 2.3 Doubler la productivité et les revenus des petits producteurs alimentaires 2.4 Assurer la viabilité de la production alimentaire
3 BONNE SANTÉ ET BIEN-ÊTRE 	<ul style="list-style-type: none"> 3.3 Lutter contre les maladies transmises par l'eau 3.9 Réduire le nombre de décès et de maladies dus à la pollution et à la contamination de l'eau et du sol
5 ÉGALITÉ ENTRE LES SEXES 	<ul style="list-style-type: none"> 5.1 Mettre fin aux discriminations
7 ENERGIE PROPRE ET D'UN COÛT ABORDABLE 	<ul style="list-style-type: none"> 7.2 Accroître l'énergie renouvelable 7.3 Améliorer l'efficacité énergétique
8 TRAVAIL DÉCENT ET CROISSANCE ÉCONOMIQUE DURABLE 	<ul style="list-style-type: none"> 8.1 Promouvoir une croissance économique durable 8.4 Améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources
9 INDUSTRIE, INNOVATION ET INFRASTRUCTURE 	<ul style="list-style-type: none"> 9.4 Utiliser les ressources de manière plus rationnelle
10 INÉGALITÉS RÉGIONALES 	<ul style="list-style-type: none"> 10.1 Faire en sorte que les revenus augmentent de manière durable 10.2 Promouvoir l'intégration sociale, économique et politique
11 VILLES ET COMMUNITÉS DURABLES 	<ul style="list-style-type: none"> 11.1 Assurer l'accès de tous à un logement et des services de base sûrs, à un coût abordable 11.6 Réduire l'impact environnemental négatif des villes
12 CONSOMMATION ET PRODUCTION RESPONSABLES 	<ul style="list-style-type: none"> 12.2 Parvenir à une utilisation durable et rationnelle des ressources naturelles 12.3 Réduire les pertes et le gaspillage de nourriture 12.4 Réduire le déversement de produits chimiques et de déchets dans l'air, l'eau et le sol
13 MESURES RELATIVES À LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES 	<ul style="list-style-type: none"> 13.1 Renforcer la résilience et les capacités d'adaptation 13.2 Introduire des mesures relatives aux changements climatiques dans les politiques
14 VIE AQUATIQUE 	<ul style="list-style-type: none"> 14.1 Réduire la pollution marine 14.2 Gérer et protéger les écosystèmes marins et côtiers 14.3 Réduire au maximum l'acidification des océans et lutter contre ses effets 14.5 Préserver les zones marines et côtières
15 VIE TERRESTRE 	<ul style="list-style-type: none"> 15.1 Préserver, restaurer et exploiter durablement les écosystèmes terrestres et les écosystèmes d'eau douce 15.3 Lutter contre la désertification et restaurer les terres et les sols dégradés 15.1 Préserver, restaurer et exploiter durablement les écosystèmes terrestres et les écosystèmes d'eau douce

SOURCE: FAO.

- » L'ODD 6 (Garantir l'accès de tous à des services d'alimentation en eau et d'assainissement gérés de façon durable) comprend l'ensemble des dimensions clés relatives aux disponibilités en eau et à la gestion de l'eau, y compris l'accès équitable à l'eau potable, l'amélioration de la qualité, le renforcement de l'efficacité de l'utilisation des ressources en eau, la gestion intégrée des ressources hydriques et la protection des écosystèmes liés à l'eau. La réalisation de l'ODD 6 devrait avoir des retombées positives sur les plans économique, environnemental et social et, ainsi, contribuer à la réalisation d'autres objectifs de développement durable, notamment l'ODD 2 (Éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable). La progression vers l'ODD 2 dépend essentiellement de la réalisation de l'ODD 6, puisque la productivité alimentaire et agricole dépend fortement des ressources en eau et des services rendus par les écosystèmes, qui eux-mêmes sont tributaires du maintien des apports en eau. Pour mettre un terme à la faim et à la malnutrition, il est nécessaire d'assurer l'accès à l'eau potable (cible 6.1 des ODD) ainsi qu'un accès équitable à l'assainissement et à l'hygiène (cible 6.2 des ODD). Les systèmes agricoles productifs (cible 2.3 des ODD) nécessitent des disponibilités suffisantes (cibles 6.4 et 6.6 des ODD) et une bonne qualité (cible 6.3 des ODD) des ressources en eau. Une meilleure gestion de l'eau pourrait avoir des retombées importantes sur différents ODD, tandis que les progrès accomplis vers la réalisation d'autres ODD pourraient permettre d'atteindre l'objectif 6. La [figure 1](#) résume les liens potentiels entre l'ODD 6 et les autres objectifs de développement durable. La colonne de gauche porte sur les objectifs qui pourraient dépendre principalement de la réalisation de l'ODD 6, celle de droite présente les ODD pouvant à l'inverse avoir le plus d'incidence sur l'ODD 6. ■

PRESSION HUMAINE ET DISPOBILITÉS EN EAU – UN RAPPORT DÉSEQUILIBRE

Les ressources en eau sont exposées à un stress et une dégradation croissants du fait de la pression exercée par la population et induite par une consommation et une production non durables. Le changement climatique aggrave ces facteurs et devrait modifier le régime des précipitations, les régimes hydrologiques et les disponibilités en eau douce. La rareté de l'eau et les pénuries sont étroitement liées au cycle hydrologique ([encadré 2](#)). Elles sont le fait de l'inadéquation croissante entre la demande humaine en eau et les ressources limitées qui proviennent du cycle hydrologique sous la forme d'eau douce renouvelable et d'eau pluviale. Elles deviennent un facteur limitant de plus en plus important pour l'agriculture au sein des systèmes de production à petite, moyenne et grande échelle. La rareté et les pénuries restreignent également les services environnementaux et les fonctions écosystémiques, qui sont cruciaux pour préserver les systèmes liés à l'eau et les moyens d'existence; autrement dit, on ne peut plus considérer l'environnement comme un utilisateur résiduel de l'eau.

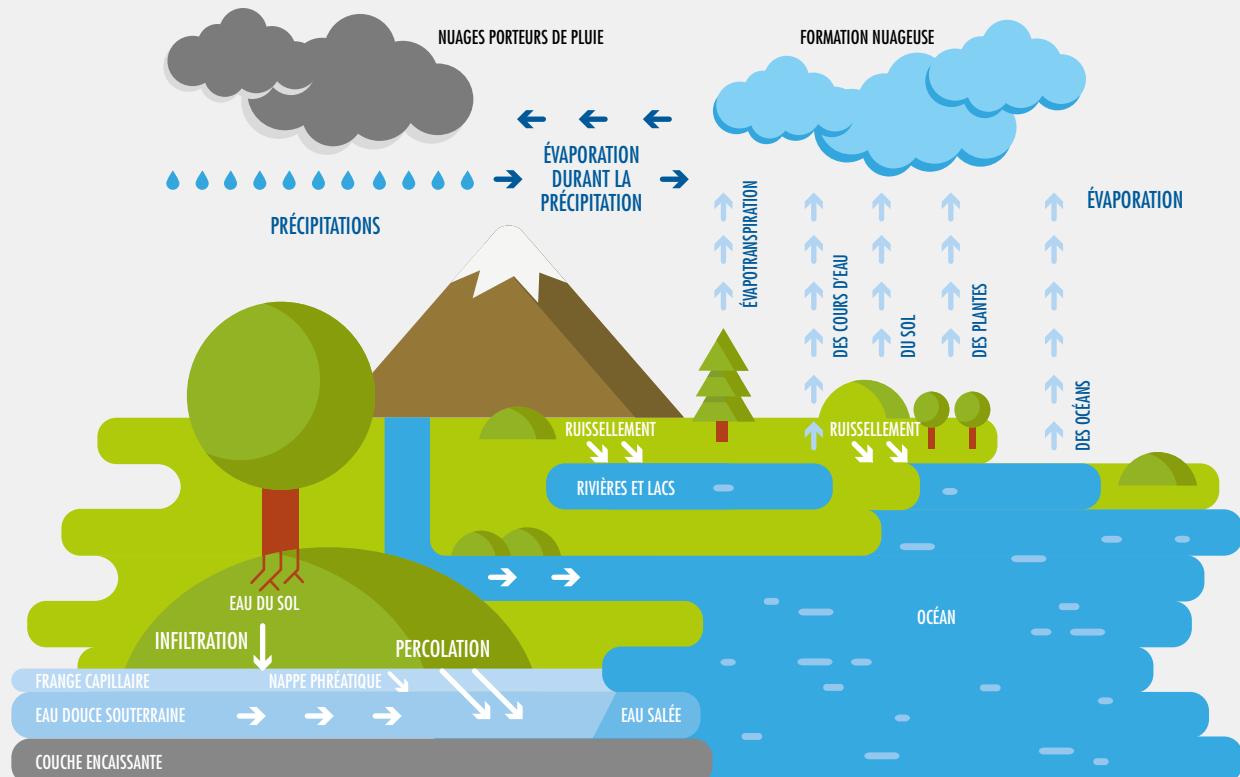
L'accroissement démographique est un facteur clé des situations de rareté de l'eau douce puisque la population qui augmente entraîne une hausse de la demande en eau destinée à être exploitée à diverses fins. La population exerce une pression toujours plus importante sur les ressources hydriques, à mesure que les revenus par habitant augmentent et que les sociétés s'urbanisent, ce qui se traduit par un changement des régimes alimentaires et une demande en eau accrue de la part des ménages et des secteurs de l'industrie, de l'énergie et des services. Ces tendances mettent sous pression l'agriculture pluviale, qui doit répondre à une demande alimentaire plus importante en raison de l'accroissement continu de la population et des revenus. Le changement climatique exacerbe ces difficultés, mettant en péril le régime des pluies et aggravant le risque de phénomènes météorologiques extrêmes³. Conjugués aux fluctuations des disponibilités

ENCADRÉ 2 CYCLE HYDROLOGIQUE ET AGRICULTURE

L'eau est une ressource renouvelable qui circule sur la planète en flux continu. Le cycle hydrologique est le cycle selon lequel l'eau circule des océans vers la terre en passant par l'atmosphère et enfin retourne à l'océan, par les flux de surface et les flux souterrains (voir la figure). La masse d'eau présente dans le cycle

hydrologique est quasiment constante; elle n'est produite ou détruite à aucune étape naturelle des processus hydrologiques naturels, et ses disponibilités mondiales augmentent faiblement chaque année du fait de la hausse des températures causée par le changement climatique.

LE CYCLE DE L'EAU



SOURCE: FAO. 1993, encadré 8¹.

en eau, ces phénomènes peuvent également conduire à une volatilité des prix des denrées alimentaires, au risque d'aggraver l'insécurité alimentaire et la malnutrition. Les petits États insulaires en développement (PEID) sont vulnérables face aux contraintes climatiques qui pèsent sur les ressources en eaux souterraines, avec les conséquences qui s'ensuivent sur les prix des denrées alimentaires et la dépendance

à l'égard des importations^{4, 5}. La rareté de l'eau, elle, est davantage due à la croissance démographique qu'aux effets du changement climatique^{6, 7}.

Nourrir une population qui ne cesse de croître et satisfaire la demande en eau n'a jamais été aussi difficile. D'après les projections de l'Organisation des Nations Unies (ONU),

ENCADRÉ 2 (SUITE)

L'eau douce est l'eau présente à la surface de la Terre dans les glaciers, les lacs et les rivières (eau de surface) et dans les aquifères souterrains (eau souterraine). L'eau douce disponible est rare: 99 pour cent de la masse totale d'eau est soit saline (97 pour cent de l'eau se trouve dans les océans), soit à l'état solide (2 pour cent dans les calottes glaciaires et les glaciers). La majeure partie de l'eau restante (1 pour cent) est souterraine, une proportion infime étant présente dans les lacs, les sols humides, les cours d'eau et les systèmes biologiques.

L'agriculture pluviale repose sur l'eau des précipitations qui ne s'écoule pas à la surface sous forme de cours d'eau (puis de fleuves et de lacs) ni ne s'infiltra dans les aquifères souterrains. L'agriculture irriguée puise l'eau douce dans l'eau de surface ou l'eau souterraine, ce qui la met en concurrence avec d'autres secteurs de l'activité humaine.

Certains aspects du cycle hydrologique sont cruciaux:

- ▶ Si on va au fond des choses, on s'aperçoit qu'il y a une seule et unique source d'eau et par conséquent seule une approche systémique peut garantir que la ressource sera gérée correctement. Les liens qui existent entre les eaux de surface, les eaux souterraines et la teneur en humidité du sol sont déterminants. Les eaux de surface et les eaux souterraines appartiennent à la même ressource et ne peuvent être considérées comme des sources distinctes. Encourager une utilisation efficace de l'eau dans un domaine, de manière isolée, sans analyser les conséquences possibles sur les bilans hydriques

SOURCES: FAO. 1993¹, et 2012².

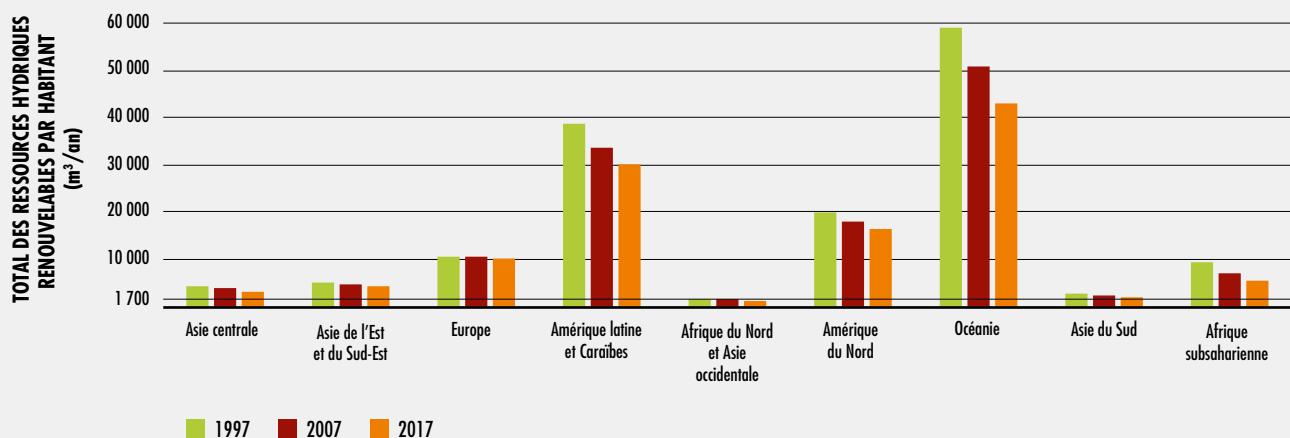
la population mondiale devrait atteindre 9,7 milliards de personnes en 2050, contre 7,8 milliards en 2020⁸. Alors que la population ne cesse d'augmenter, les ressources d'eau douce disponibles par personne diminuent, comme le montre la figure 2, qui présente leur évolution dans le temps. Cette tendance est particulièrement vraie pour l'Afrique subsaharienne et l'Afrique du Nord et l'Asie occidentale, régions où le total annuel des ressources hydriques renouvelables par habitant a diminué de 41 et de 32 pour cent, respectivement, de 1997 à 2017. La figure

au niveau systémique, peut conduire à des résultats tout autres que ceux recherchés. À titre d'exemple, le captage des eaux souterraines suivi d'une recharge dans les plaines alluviales peut avoir pour effet de réduire le débit des rivières.

- ▶ Les ressources hydriques doivent être gérées au niveau des systèmes hydrologiques, à savoir les bassins hydrographiques, les bassins versants et les aquifères. La gestion de l'eau dans une partie d'un système aura des répercussions sur les autres éléments du système. Le fait d'accroître l'utilisation de l'eau destinée à l'agriculture en amont dans un bassin fluvial peut avoir des répercussions sur les eaux de surface et les eaux souterraines en aval.
- ▶ L'épuration de l'eau et la dilution des substances polluantes dans les écosystèmes aquatiques ont leurs limites. Par le passé, de nombreuses villes s'en remettaient aux capacités d'autopurification et de dilution des rivières et des eaux côtières pour éliminer les effluents des villes. Cela était possible tant que la densité de la population et les industries étaient peu importantes. Dans de nombreux endroits, les fonctions de dilution ont atteint leurs limites et ces pratiques doivent maintenant être rigoureusement réglementées.
- ▶ Les écosystèmes liés à l'eau, qui fournissent nombre de services environnementaux, reposent sur le maintien du niveau des eaux souterraines et du régime d'écoulement des systèmes fluviaux. Il est essentiel de prendre en compte les débits écologiques (voir le glossaire).

montre également à quel point les quantités sont disparates d'une région à l'autre. En Océanie, le volume d'eau annuel moyen par personne en 2017 était de 43 000 m³ environ, tandis qu'en Afrique du Nord et en Asie occidentale, les disponibilités annuelles atteignaient à peine 1 000 m³. Pour certains hydrologues, cette dernière valeur correspond au niveau en dessous duquel il y a rareté de l'eau^{9, 10}. Selon Falkenmark et Widstrand (1992)⁹, la capacité d'un pays à satisfaire la demande est compromise lorsque les disponibilités annuelles par personne sont

FIGURE 2
RESSOURCES EN EAU DOUCE RENOUVELABLES PAR HABITANT, PAR RÉGION, 1997-2017



NOTE: Les ressources moyennes en eau douce renouvelables par personne sont mesurées en mètres cubes par personne et par an. Les données sur la population sont issues de «World Population Prospects: The 2019 Revision» (Perspectives de la population mondiale, 2019), du Département des affaires économiques et sociales (DESA) de l'ONU. L'Océanie comprend l'Australie et la Nouvelle-Zélande.

SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2020¹¹; et DESA, 2019⁸.

inférieures à 1 700 m³^a. Lorsque le volume est inférieur à 1 000 m³ par personne, la population est confrontée à une rareté chronique de l'eau, et lorsqu'il se situe en deçà de 500 m³, cette rareté est extrême.

Le volume d'eau moyen par personne peut donner une idée des disponibilités en eau douce, mais risque également de simplifier à l'excès la situation dans certains pays. Les moyennes établies à l'échelle des régions et même des pays peuvent ne pas être représentatives de la situation dans les grands pays, caractérisée par des disparités régionales majeures. Dans nombre de pays, la question de la rareté de l'eau n'est pas un problème d'ampleur nationale, mais peut toutefois concerner certaines zones ou certains bassins hydrographiques. Le Brésil en est un bon exemple. En moyenne, on estime que le volume d'eau douce renouvelable avoisine pour chaque Brésilien 42 000 m³ par an^{8, 11}. Or, les régions du pays où se déroule la majeure partie de l'activité économique (y compris l'irrigation) peuvent souffrir d'un stress hydrique et d'une

surexploitation de l'eau, alors même que le bassin de l'Amazone contient un grand volume d'eau, que les populations n'exploitent que très peu. Autrement dit, l'indicateur de l'approvisionnement annuel en eau par habitant ne tient pas compte des facteurs locaux qui déterminent l'accès aux ressources hydriques et du fait que les différents pays – et les différentes régions – n'utilisent pas les mêmes quantités d'eau.

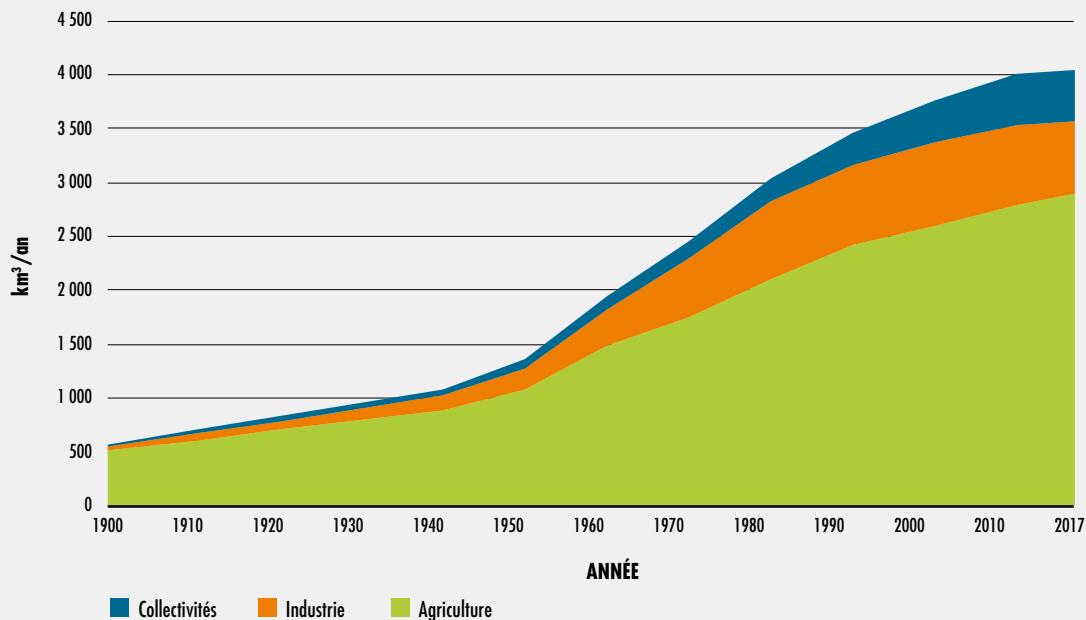
Ressources en eau: une concurrence croissante

Les tendances démographiques devraient exacerber la pression sur les ressources hydriques destinées à l'agriculture et à d'autres usages, y compris l'usage industriel et domestique.

La figure 3 fait apparaître les prélèvements totaux d'eau. Ceux-ci ont augmenté au même rythme que la hausse démographique et la croissance économique, et se sont considérablement accélérés au fil du temps, en particulier à partir du milieu du XX^e siècle. Le rythme de la croissance a ralenti au cours de ces dernières décennies mais l'augmentation se poursuit.

L'agriculture reste de loin le plus grand consommateur d'eau puisqu'elle représente plus de 70 pour cent des prélèvements d'eau dans le monde, qui ne cessent d'augmenter. Elle est cependant confrontée à une concurrence accrue

^a Au départ, cette valeur a été fixée à 600 personnes par unité de débit, une unité équivalant à 1 million de m³ par an⁹. La valeur annuelle de 1 700 m³ par personne est obtenue en divisant une unité de débit par le nombre de personnes qui se livrent concurrence pour cette eau.

FIGURE 3
PRÉLÈVEMENTS D'EAU DANS LE MONDE PAR L'ENSEMBLE DES SECTEURS


NOTE: Le prélevement d'eau à des fins agricoles correspond à la quantité annuelle d'eau prélevée par auto approvisionnement pour l'irrigation, l'élevage et l'aquaculture; le prélevement d'eau pour les usages industriels désigne la quantité d'eau prélevée par auto approvisionnement pour des usages industriels tels que le refroidissement des centrales thermoélectriques ou nucléaires (mais non des centrales hydroélectriques); et le prélevement d'eau pour les collectivités correspond à l'eau prélevée à l'usage direct de la population.

SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2020¹¹; et Shiklomanov, 2000, tableau 5¹².

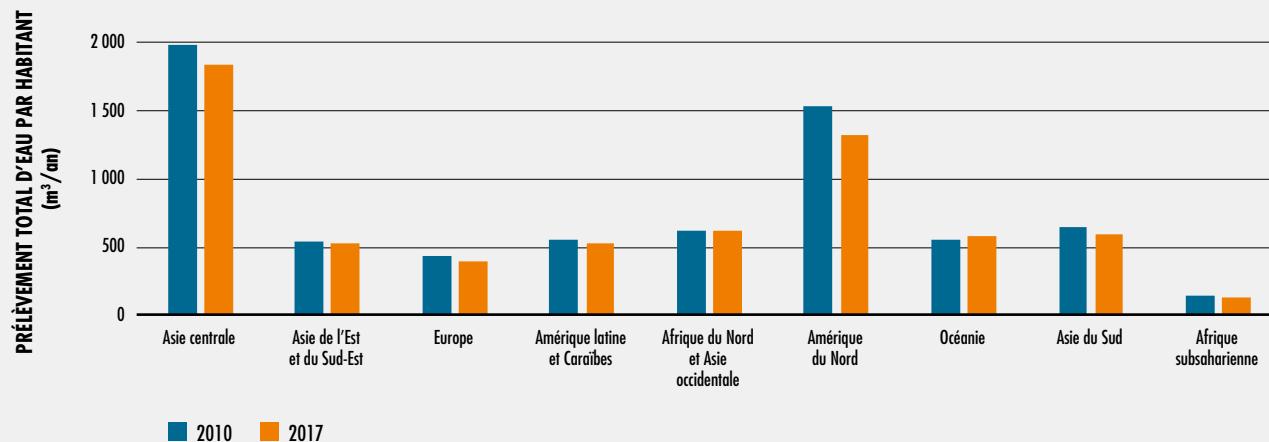
de la part d'autres secteurs, les prélevements provenant du secteur industriel et des collectivités ayant connu une hausse plus rapide, en particulier depuis le milieu du XX^e siècle. Au cours de ces dix ou vingt dernières années, les prélevements d'eau pour les usages industriels ont diminué, et les prélevements des collectivités n'ont que très légèrement augmenté depuis 2010. Les prélevements pour l'agriculture ont continué d'augmenter à un rythme plus soutenu, quoique plus lent depuis 1980, et la part des prélevements agricoles a enregistré une légère hausse depuis 2000.

La figure 4 met en relation les données relatives aux prélevements totaux d'eau et celles relatives à la population, en 2010 et en 2017. Au cours de la dernière décennie, selon les régions, les prélevements d'eau par habitant sont restés stables ou ont légèrement diminué – à savoir que la population a augmenté soit plus rapidement, soit au même rythme que les prélevements d'eau. Il existe des disparités régionales considérables,

l'Asie centrale affichant les prélevements d'eau par habitant les plus élevés, soit près de 2 000 m³ par personne en 2017. Vient ensuite l'Amérique du Nord, où les prélevements moyens ont été de plus de 1 300 m³ en 2017. En Afrique subsaharienne, cette valeur peine à atteindre 130 m³ par personne, principalement en raison des contraintes économiques qui pèsent sur l'accès à l'eau douce. Par ailleurs, les taux des prélevements en eau varient considérablement en fonction du niveau de revenus (encadré 3).

La figure 4 rend compte de l'eau prélevée dans les différentes régions, mais pas de l'accès local à l'eau ni de la concurrence entre les secteurs. La demande croissante en eau provenant du secteur agricole et d'autres secteurs donne lieu à une concurrence pour une eau douce déjà rare, qui peut aboutir localement à des conflits entre les agriculteurs et les autres usagers de l'eau, voire prendre une ampleur internationale et se traduire par des conflits transfrontaliers. La terre et l'eau suscitent une concurrence et des conflits

FIGURE 4
PRÉLÈVEMENT TOTAL D'EAU PAR HABITANT, PAR RÉGION, EN 2010 ET 2017



NOTE: Le prélèvement en eau total désigne le volume annuel d'eau prélevé pour l'agriculture, les usages industriels et les collectivités. Les données sur la population sont issues de «World Population Prospects: The 2019 Revision» (Perspectives de la population mondiale, 2019) du Département des affaires économiques et sociales (DESA) de l'ONU. L'Océanie comprend l'Australie et la Nouvelle-Zélande.

SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2020¹¹, et DESA, 2019⁸.

dans les pays qui connaissent de graves situations de rareté de l'eau et où l'accès à l'eau est limité. Dans la région pastorale du Sahel, en raison du surpâturage et de la forte dégradation des parcours, la production de fourrage a été faible ou nulle en 2018. Cette situation a poussé les éleveurs et leurs familles à migrer deux mois en avance, ce qui a engendré une concentration plus forte dans certaines zones et donné lieu à des conflits entre agriculteurs et éleveurs¹³.

Les pays en développement sans littoral et les pays les moins avancés sont ceux qui sont les plus susceptibles d'être en proie à un conflit international. Souvent, ces pays partagent des eaux transfrontalières, telles que le lac Tchad, le lac Victoria et le Nil, et se livrent une concurrence pour l'eau, notamment pour l'irrigation, sans compter les effets de la pollution¹⁴. Par ailleurs, ces pays sont fortement tributaires de la pêche continentale, qui leur fournit des protéines, des nutriments et des vitamines¹⁵. Il est à noter que les secteurs moins structurés, comme la pêche, sont souvent oubliés, en partie parce que leur valeur économique réelle est difficile à démontrer et que

leur capacité à concurrencer des parties prenantes puissantes telles que les secteurs de l'énergie et de l'irrigation est moindre¹⁶. La concurrence entre les secteurs se manifeste aussi le long du Nil: l'Éthiopie cherche à satisfaire ses besoins en électricité en construisant un grand barrage sur le Nil bleu, mais l'Égypte s'inquiète pour sa principale source d'irrigation. Les pourparlers internationaux entre les ministres de l'eau et de l'irrigation respectifs de l'Égypte, de l'Éthiopie et du Soudan, auxquels participent des observateurs d'Afrique du Sud, des États-Unis d'Amérique et de l'Union européenne, visent à empêcher qu'un conflit international n'éclate¹⁷.

Effets de l'évolution des modes d'alimentation sur l'utilisation de l'eau

La concurrence pour l'eau devrait s'intensifier en raison des changements qui interviennent dans les habitudes alimentaires. L'alimentation change à mesure que les pays se développent économiquement. Ce phénomène, bien connu, s'accompagne d'une augmentation des revenus,

ENCADRÉ 3

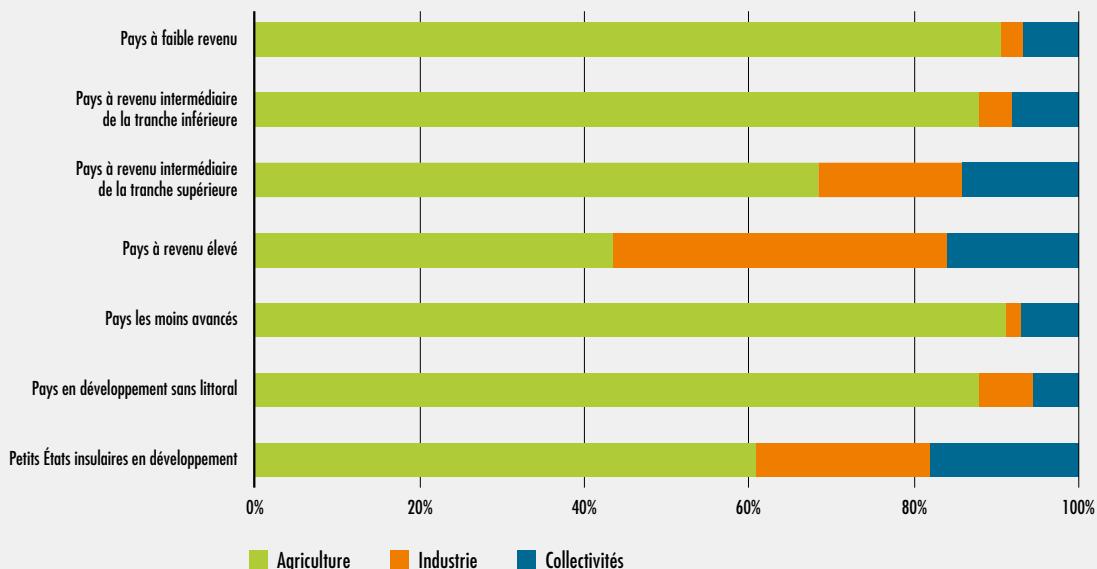
LA CONCURRENCE ENTRE LES DEMANDES D'EAU EST DÉTERMINÉE PAR LE NIVEAU DE REVENU DU PAYS

La demande croissante en eau se traduit notamment par une concurrence accrue entre les diverses utilisations. L'examen de la part de chaque secteur dans les prélèvements d'eau, pour les différents niveaux de revenu des pays, donne une idée générale de l'ampleur de la concurrence que se livrent les utilisateurs. La figure ci-dessous montre la répartition des prélèvements d'eau par secteur, selon le niveau de revenu des pays, et l'on constate que la part de chaque secteur peut varier considérablement. La répartition va de 91 pour cent, 2 pour cent et 7 pour cent pour l'eau destinée à l'agriculture, à l'industrie et aux collectivités, respectivement, dans les pays à faible revenu, à 43 pour cent, 41 pour cent et 16 pour cent,

respectivement, dans les pays à revenu élevé. À l'heure où les populations et les revenus augmentent et les effets du changement climatique se font de plus en plus sentir, la concurrence pour l'eau devrait encore se durcir^{18, 19}, surtout dans les pays à faible revenu et ceux à revenu intermédiaire de la tranche inférieure.

Dans les pays les moins avancés et les pays en développement sans littoral, l'agriculture représente environ 90 pour cent du volume total des prélèvements d'eau. Dans les petits États insulaires en développement, la proportion des prélèvements d'eau à usage agricole est moins importante, puisqu'elle représente 60 pour cent environ du total des prélèvements.

PRÉLÈVEMENTS D'EAU PAR LES DIFFÉRENTS SECTEURS, PAR NIVEAU DE REVENU ET CLASSEMENT DES PAYS, 2017



NOTE: Le prélèvement d'eau à des fins agricoles correspond à la quantité annuelle d'eau prélevée par auto approvisionnement pour l'irrigation, l'élevage et l'aquaculture; le prélèvement d'eau pour les usages industriels désigne la quantité d'eau prélevée par auto approvisionnement pour des usages industriels tels que le refroidissement des centrales thermoélectriques ou nucléaires (mais non des centrales hydroélectriques); et le prélèvement d'eau pour les collectivités correspond à l'eau prélevée à l'usage direct de la population.
SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2020²¹; ONU, 1998²⁰; et Banque mondiale, 2017²¹.

de l'accès à des produits alimentaires moins coûteux, du développement des marchés alimentaires mondiaux et de l'urbanisation^{22, 23}. Les changements dans les habitudes alimentaires se caractérisent par une modification des

préférences, matérialisée par le passage de la consommation de céréales non transformées à celle d'aliments hautement transformés, de produits issus de l'élevage et de cultures à valeur élevée (fruits et huile notamment), aliments et

produits dont la consommation devrait continuer d'augmenter, en particulier dans les pays à faible revenu et à revenu intermédiaire de la tranche inférieure. Cette évolution déterminera la demande future en eau dans le secteur agricole. En effet, comme le montre le **tableau 1**, l'élevage et les cultures oléagineuses sont plus gourmands en eau que ne le sont les céréales, les racines féculentes, les fruits et les légumes²⁴.

Le **tableau 1**, établi d'après Mekonnen et Hoekstra (2012), rend compte de l'empreinte hydrique annuelle moyenne sur un échantillon de produits, sur la base du volume total de l'eau (eau de pluie, eaux de surfaces et eaux souterraines) utilisée directement ou indirectement pour produire un produit donné²⁴. Ce calcul est utile pour la formulation de politiques dans les régions touchées par la rareté de l'eau, lorsqu'il s'agit de considérer les avantages d'une spécialisation dans certains produits plutôt que dans d'autres, de mettre en balance la production locale par rapport aux importations, et d'étudier les effets des modes de consommation sur les ressources en eau, etc.².

Le **tableau 1** met bien en évidence la complexité des effets de l'alimentation sur les ressources en eau. La quatrième colonne montre que les produits de l'élevage exigent nettement plus d'eau pour une tonne de produit et par calorie que les cultures. Seuls les fruits à coque font figure d'exception puisque ce sont eux qui consomment le plus grand volume d'eau par tonne, après la viande de bovins et de caprins. En ce qui concerne l'évaluation des besoins en eau pour les protéines, le **tableau 1** montre que la production d'un gramme de protéines sous forme de lait, d'œufs ou de viande de poulet est du même ordre de grandeur que pour les légumineuses. S'agissant de la viande bovine, le fait que les besoins en eau soient considérablement plus élevés démontre que les différences au sein même du secteur de la production animale sont également importantes, tandis que le beurre et les cultures oléagineuses ont une empreinte hydrique relativement faible par gramme de matière grasse. En termes purement «comptables», s'agissant de l'eau douce, il est souvent plus rentable d'obtenir des calories, des protéines et des matières grasses à partir des produits végétaux qu'à partir de l'élevage. Il s'agit là de moyennes regroupant

tous les types d'utilisations de l'eau et portant sur des systèmes de production et des régions où les problèmes de nutrition sont d'ampleur très diverse. Dans les pays à faible revenu, la qualité des protéines et la biodisponibilité des nutriments issus de différents aliments sont essentiels pour prévenir la malnutrition. Les pays à revenu élevé surconsomment de plus en plus de produits d'origine animale, exerçant une pression supplémentaire sur les ressources en eau. Une méta-analyse rassemblant 63 publications sur l'empreinte hydrique de différents types d'alimentation dans les pays à revenu élevé a montré que la réduction de la consommation d'aliments d'origine animale dans les régimes alimentaires occidentaux pourrait réduire la consommation d'eau de 18 pour cent²⁵.

Si les études réalisées sur la base de moyennes mondiales fournissent des indications intéressantes, elles ont toutefois été remises en question par des experts en évaluation environnementale de la production animale. Les estimations s'appliquent souvent à un contexte spécifique et ne peuvent être généralisées en raison des différences d'alimentation entre les espèces et les systèmes de production et au sein même d'une espèce ou d'un système de production. Dans le **tableau 1**, une partie de l'empreinte hydrique de la production animale correspond aux précipitations dont ont bénéficié les pâturages, lesquels, souvent, ne sont pas convertibles en terres cultivées. À savoir que, dans ces situations, seuls les animaux d'élevage peuvent utiliser l'eau issue des précipitations aux fins de la production alimentaire, et l'élevage est par conséquent un moyen d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau²⁶. Par ailleurs, les études prennent généralement en compte la consommation de différents aliments au niveau de la population, mais ne se penchent pas sur les besoins alimentaires de groupes spécifiques, par exemple les enfants, les femmes ou les personnes âgées. Les conclusions tirées de ces études sont à prendre avec précaution, et tout conseil qui serait donné doit tenir compte du contexte, de la situation alimentaire de la population et des contraintes liées à l'eau que rencontrent les producteurs, tout en considérant la viabilité économique des différents modes d'utilisation des terres.

TABLEAU 1
EMPREINTE HYDRIQUE DE DIVERS PRODUITS ALIMENTAIRES

Produits	Empreinte hydrique (m ³ /tonne)				Teneur nutritionnelle			Empreinte hydrique par unité de valeur nutritive		
	Eau verte	Eau bleue	Eau grise	Total	Calorie (kcal/kg)	Protéines (g/kg)	Matière grasse (g/kg)	Calorie (litres/kcal)	Protéines (litres/g de protéines)	Matière grasse (litres/g de matière grasse)
Plantes saccharifères	130	52	15	197	285	0	0	0,69	0	0
Légumes	194	43	85	322	240	12	2	1,34	26	154
Racines féculentes	327	16	43	387	827	13	2	0,47	31	226
Fruits	726	147	89	962	460	5	3	2,09	180	348
Céréales	1 232	228	184	1 644	3 208	80	15	0,51	21	112
Cultures oléagineuses	2 023	220	121	2 364	2 908	146	209	0,81	16	11
Légumineuses	3 180	141	734	4 055	3 412	215	23	1,19	19	180
Fruits à coque	7 016	1 367	680	9 063	2 500	65	193	3,63	139	47
Lait	863	86	72	1 020	560	33	31	1,82	31	33
Œufs	2 592	244	429	3 265	1 425	111	100	2,29	29	33
Viande de poulet	3 545	313	467	4 325	1 440	127	100	3,00	34	43
Beurre	4 695	465	393	5 553	7 692	0	872	0,72	0	6
Viande porcine	4 907	459	622	5 988	2 786	105	259	2,15	57	23
Viande ovine/caprine	8 253	457	53	8 763	2 059	139	163	4,25	63	54
Viande bovine	14 414	550	451	15 415	1 513	138	101	10,19	112	153

NOTE: L'empreinte en eau bleue correspond aux volumes d'eaux de surface et d'eaux souterraines absorbés dans le processus de production (eau évaporée après le prélèvement); l'empreinte en eau verte correspond au volume d'eau de pluie consommé; l'empreinte en eau grise correspond au volume d'eau douce nécessaire à la dilution de la charge de pollution, au regard des normes de qualité de l'eau en vigueur. Les types de protéines et de matières grasses peuvent varier d'un produit à l'autre.

SOURCE: Mekonnen et Hoekstra, 2012, tableau 3²⁴.

Le tableau 1 ne tient pas compte des produits de la mer car il existe peu d'analyses portant sur la quantité d'eau utilisée pour leur production. Les produits halieutiques sont une source importante de protéines, de matières grasses saines et de nutriments et jouent un rôle essentiel dans la nutrition¹⁵. La filière des produits de la mer est extrêmement hétérogène et l'utilisation de l'eau y est extrêmement variable, notamment (mais pas exclusivement) si on considère l'aquaculture par rapport à la pêche. En Chine, les empreintes hydriques bleue et verte (voir le glossaire) de l'aquaculture d'eau douce, associées aux aliments pour animaux et à l'évaporation,

varie entre 3 349 m³ et 21 215 m³ par tonne de produit²⁷. L'aquaculture marine quant à elle présente des niveaux nettement plus faibles et l'empreinte hydrique y est uniquement associée à l'alimentation. En ce qui concerne la pêche de capture, la consommation d'eau douce est négligeable, mais il demeure essentiel qu'elle dispose de quantités d'eau suffisantes. Pour la pêche continentale, qui assure la diversité alimentaire et sous-tend la sécurité alimentaire et la nutrition dans certaines régions, les volumes d'eau et le moment où ils sont nécessaires dépendent en grande partie du contexte et des espèces.

Leurs revenus augmentant, il faut s'attendre à ce que les populations se tournent vers une alimentation plus gourmande en terre et en eau, et notamment consomment davantage de viande et de produits laitiers²³. Il faut par ailleurs que le monde s'oriente davantage vers une alimentation saine – une alimentation souvent variée, comprenant des aliments nutritifs exigeants en eau, notamment des fruits et légumes, des légumes secs, des fruits à coque, et des quantités modérées de produits laitiers, d'œufs et de viande de volaille²⁸. La pression sur les ressources mondiales en eau douce devrait donc s'intensifier autant que les effets néfastes de l'élevage intensif sur la qualité de l'eau (voir Zoom: Agriculture, pollution de l'eau et salinité, p. 51)²⁹. Une étude publiée en 2015 par Gill *et al.* constate que la consommation d'eau (eau bleue, eau verte et eau grise)^b a évolué de pair avec une transition dans les habitudes alimentaires, entre 1961 et 2011, au Brésil, en Chine et en Inde³⁰. Les différences entre les trois pays sont très marquées, les produits issus de l'élevage jouant un rôle majeur dans l'augmentation de la demande en eau au Brésil et en Chine, alors que ce sont les céréales qui sont cause de l'augmentation en Inde. Dans les trois pays, la situation a entraîné une hausse de la consommation quotidienne d'eau de plus de 1 000 litres par habitant, pour une population totale de 3 milliards de personnes en 2019. C'est bien la preuve que l'évolution des habitudes alimentaires joue un rôle déterminant dans la demande d'eau destinée au secteur agricole. Des régimes alimentaires sains qui prennent en considération les questions de durabilité au niveau des systèmes alimentaires peuvent contribuer à réduire la consommation d'eau liée à la production d'aliments²⁸. ■

AMÉLIORER LA GOUVERNANCE POUR ASSURER UN ACCÈS ÉQUITABLE À L'EAU

Les situations de rareté de l'eau, qui vont croissant, et le changement climatique risquent d'accroître les inégalités d'accès à l'eau. Cette situation risque à son tour de compromettre les moyens d'existence, la résilience, la sécurité alimentaire et la nutrition en pesant sur le volume et la qualité des ressources en eau consacrées à la boisson, à l'assainissement et l'hygiène, à l'agriculture, à la production alimentaire et au fonctionnement des écosystèmes, et d'aggraver les inégalités de leur répartition entre les personnes et entre les secteurs³¹. La notion d'accès à l'eau comporte une dimension importante qui se rapporte aux droits de l'homme et qui a été reconnue par l'Assemblée générale des Nations Unies en 2010³². Le droit à l'eau concerne principalement l'eau potable, l'assainissement et d'autres usages personnels et domestiques, mais il englobe aussi la production alimentaire et agricole puisqu'il est lié à d'autres droits fondamentaux, notamment le droit à l'alimentation – qui revêt une importance toute particulière pour les femmes rurales et les peuples autochtones.

L'accès des populations rurales à l'eau est particulièrement inégal du fait des contraintes physiques ou économiques touchant les petits agriculteurs. Les petites exploitations de moins de deux hectares forment la majorité des exploitations agricoles dans le monde (soit 84 pour cent) et sont surtout présentes dans les pays à faible revenu et ceux à revenu intermédiaire de la tranche inférieure³³. Ces pays pâtissent davantage des contraintes liées à l'eau car ils n'ont qu'un accès limité aux technologies d'irrigation et aux solutions de récupération de l'eau pluviale. En Asie du Sud, où 60 pour cent des exploitations sont de petite taille³³, Li *et al.* (2011) ont constaté que la sécheresse constituait une entrave majeure au rendement des cultures³⁴. L'amélioration de l'accès à l'eau dans le secteur agricole et de la gestion sont des outils importants de la lutte contre la pauvreté^{35, 36}.

b L'étude utilise les mêmes définitions de l'empreinte en eaux bleues, vertes et grises que Mekonnen et Hoekstra, 2012²⁴ (voir les notes du tableau 1).

Les petits agriculteurs, que ce soit sur des terres irriguées ou non irriguées, ont du mal à se procurer du matériel d'irrigation et de récupération de l'eau. En Afrique subsaharienne, l'eau est présente mais rare, faute d'investissements permettant d'y accéder³⁷, alors que le développement de l'irrigation à petite échelle pourrait rapporter beaucoup et profiter à un nombre de ruraux compris entre 113 et 369 millions de personnes³⁸. De nombreux facteurs empêchent l'adoption de systèmes d'irrigation, y compris le régime foncier et l'accès au financement et au crédit³⁹. La récupération des eaux permet d'améliorer le rendement des cultures dans les régions semi-arides d'Afrique et d'Asie, mais les petits agriculteurs, qui ont un accès limité au marché, peuvent hésiter à investir dans la récupération des eaux car leurs recettes sont peu importantes et il faut quatre à cinq ans pour amortir l'investissement⁴⁰. Pour développer davantage l'accès à l'eau, les agriculteurs et les fournisseurs de services doivent être suffisamment qualifiés pour concevoir, exploiter, entretenir et réparer les systèmes d'irrigation. En effet, une mauvaise utilisation des systèmes d'irrigation entraînera des pertes d'eau et des baisses de rendement⁴¹.

Les femmes sont également confrontées à de graves difficultés d'accès aux ressources naturelles, notamment à l'eau, alors qu'elles constituent quasiment la moitié de la main-d'œuvre agricole dans les pays à faible revenu⁴². Souvent, elles ne détiennent aucun droit sur les terres qu'elles cultivent, ni ne disposent d'eau pour irriguer leurs champs. Les femmes n'ont pas non plus leur mot à dire concernant l'exploitation des ressources naturelles, y compris l'eau. Leur charge de travail dépasse celle des hommes, car elles ont davantage de responsabilités non rémunérées au sein du ménage (approvisionnement en eau et en bois et préparation des repas). Par ailleurs, en allant chercher de l'eau, les filles et les femmes s'exposent à des risques d'agression. L'irrigation peut permettre aux femmes de se consacrer davantage à des activités génératrices de revenus, à leur famille et à des activités sociales. Les spécialistes de l'eau, les agents de vulgarisation et les décideurs ne parviennent toujours pas à percevoir les femmes comme des agricultrices⁴³ et méconnaissent souvent la charge de travail et les besoins des femmes

et des groupes les plus vulnérables, ainsi que la somme de connaissances qu'ils et elles possèdent. La Recommandation générale n° 34 du Comité pour l'élimination de la discrimination à l'égard des femmes considère que l'accès des femmes à la terre et à l'eau sont des droits humains fondamentaux⁴⁴.

Une gouvernance solide et une bonne distribution des ressources en eau entre les différentes utilisations, notamment l'irrigation et l'hydroélectricité, sont primordiales pour remédier à la concurrence et aux tensions entre les secteurs et assurer un débit hydrique régulier et de qualité. Comme l'indique le rapport de 2015 du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition, dans de nombreux pays, les décisions prises dans les secteurs liés à l'eau le sont souvent par des services distincts, sans qu'il y ait une véritable réflexion sur les effets cumulatifs de l'eau³¹. La gouvernance doit trouver un juste équilibre entre la nécessité d'utiliser l'eau plus efficacement et celle d'assurer l'accès à celle-ci, de façon à respecter le droit des personnes à l'eau. La notion d'efficacité de la répartition s'intéresse à la quantité de richesses qu'une base de ressources naturelles donnée peut produire, tandis que l'équité correspond à la manière dont les richesses sont réparties dans la société⁴⁵. Il n'est peut-être pas facile de concilier efficacité et équité, car les politiques de l'eau, à savoir notamment la sous-évaluation du prix de l'eau et l'absence de réglementation de son utilisation⁴⁶, sont, malgré leurs faiblesses, profondément ancrées. Les marchés et les considérations liées à l'efficacité peuvent être prédominants et ainsi favoriser ceux qui exploitent les ressources hydriques pour en tirer un avantage économique maximum, en sacrifiant l'équité au profit de l'efficacité^{47, 48}. Le secteur agricole peut faire valoir ses multiples fonctions, qui vont au-delà de la production de denrées pour couvrir d'importants aspects d'ordre social, culturel et environnemental. Si l'on veut produire des aliments de qualité et en quantité suffisante pour tous, tout en respectant les débits nécessaires aux écosystèmes, aux moyens d'existence et au bien-être des personnes, il sera essentiel de renforcer l'efficacité d'utilisation de l'eau destinée à l'agriculture, l'équité et la productivité. Or, d'après les estimations, à l'heure actuelle, 41 pour cent de l'irrigation, dans

l'ensemble du monde, se fait au détriment des flux écologiques⁴⁹. Pour atteindre les objectifs du Programme 2030, il sera essentiel de concilier l'irrigation et les flux écologiques.

Si l'eau était abondante, la gestion de la demande poserait moins de problèmes puisque celle-ci pourrait être satisfaite à un faible coût. Lorsque la rareté est plus marquée, l'utilisation de l'eau suscite des rivalités plus grandes, car l'utilisation de l'eau par les uns risque de restreindre celle des autres. Il est important que l'eau soit considérée comme un bien économique ayant une valeur et un prix⁵⁰, et comme un élément vital pour les écosystèmes, dont tout le monde est tributaire. Ses caractéristiques uniques – elle est essentielle, non substituable, limitée **et** compte parmi les droits de l'homme⁵¹ – ont rendu cette entreprise difficile (*encadré 4*), mais il n'en demeure pas moins que l'eau doit être appréhendée d'un point de vue économique et social. Sa répartition ne peut pas dépendre uniquement des forces du marché. Cela ne signifie pas pour autant que, en qualité de droit fondamental, elle doit être gratuite. Or, cette erreur d'interprétation est assez courante.

Il est indispensable d'établir une tarification équitable, qui vise en premier lieu à permettre le recouvrement des coûts, mais aussi à garantir l'accès des pauvres à l'eau, tout en respectant les exigences environnementales⁵². La fixation d'un prix raisonnable envoie un signal clair aux consommateurs: l'eau doit être utilisée de manière avisée. Certaines politiques proposent des subventions croisées (un groupe de consommateurs paie plus pour permettre à un autre groupe de payer moins) pour assurer l'équité, ou bien subventionnent l'utilisation de l'eau (pour l'irrigation, par exemple). De ces critères dépend la mise en place d'un marché performant, efficace, équitable et durable. Les pouvoirs publics en sont les principaux responsables.

Alors que les ressources en eau se raréfient et que la demande augmente, les politiques sont désormais axées sur les interventions économiques, juridiques et institutionnelles de gestion de la demande, plutôt que sur l'augmentation de l'offre (*encadré 1*). Si on gère la ressource, on pourra fournir des ressources

en eau supplémentaires pour satisfaire les besoins de la population et, parallèlement, s'attaquer aux causes des problèmes, notamment la surexploitation des aquifères et la pollution. Pour remédier au manque d'eau dans le secteur agricole, il est nécessaire de contrôler l'offre par une gestion volontariste de la demande. ■

EAU, SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET SYSTÈMES ALIMENTAIRES

La notion de systèmes alimentaires peut servir à comprendre le rapport entre la sécurité alimentaire et la nutrition, la production et la consommation, et l'eau. Un système alimentaire comprend l'ensemble des acteurs impliqués dans la production, l'agrégation, la transformation, la distribution et la consommation des produits alimentaires provenant de l'agriculture, des forêts et de la pêche, et, en bout de course, la gestion des déchets, ainsi que certains aspects des environnements économiques, sociaux et naturels au sens large, dans lesquels ces activités s'inscrivent⁵⁹. Un système durable assure la sécurité alimentaire et la nutrition pour tous, sans pour autant fragiliser les fondements socio-économiques et environnementaux à l'origine de la sécurité alimentaire et de la nutrition. Une gestion durable et équitable de l'eau est essentielle aux systèmes alimentaires, à la réalisation de la sécurité alimentaire et nutritionnelle et à l'élimination de la faim.

L'attention mondiale a d'abord été portée sur les volumes d'eau, mais la qualité importe également en termes de sécurité alimentaire. La pollution a des répercussions sur les disponibilités en eau douce destinée aux activités économiques⁶⁰, y compris la production alimentaire^{61, 62, 63}. Par ailleurs, l'eau polluée nuit à la santé et au bien-être car elle menace la sécurité sanitaire des aliments et la santé⁶⁴. Elle compromet également la viabilité des pêcheries, des terres et des écosystèmes, notamment leur capacité à assurer la sécurité alimentaire et la nutrition³¹ (pour une analyse approfondie sur la qualité de l'eau, voir la section intitulée «Zoom: Agriculture, pollution de l'eau et salinité», p. 51).

ENCADRÉ 4 LES CARACTÉRISTIQUES INHÉRENTES À L'EAU RENDENT SA GESTION DIFFICILE

Dans les pratiques traditionnelles, les décisions politiques, la culture et les croyances religieuses, l'eau a toujours été considérée comme un bien gratuit, entraînant souvent un **mauvais fonctionnement du marché** – lorsque les marchés ne répartissent pas les ressources de manière efficace⁵³. Dans de telles circonstances, il est possible d'améliorer la situation de certaines personnes, sans pour autant aggraver celle des autres. Les grands systèmes d'irrigation, l'approvisionnement urbain ou les centrales hydroélectriques qui imposent des prix excessifs aux consommateurs sont un exemple de mauvais fonctionnement du marché. Il n'y a pas d'incitation à innover¹. L'utilisation de l'eau peut aussi générer des **coûts externes**, lorsqu'un individu, une entreprise ou un pays crée des problèmes pour un autre sans que celui-ci reçoive de compensation. Les effets sur la qualité de l'eau et sur l'environnement en sont un exemple.

Compte tenu de son importance pour les sociétés, l'eau est souvent subventionnée à très grande échelle, mais la plupart des services liés à l'eau (hydroélectricité, irrigation, drainage, etc.) nécessitent des infrastructures publiques et des investissements importants pour réaliser des économies d'échelle, ce qui conduit à des situations de monopole naturel. Le choix entre un monopole public ou privé, et son degré d'autonomie par rapport aux pouvoirs publics, varie considérablement d'un pays à l'autre. Pour des raisons politiques et culturelles et pour des raisons d'équité, le coût des services d'approvisionnement en eau n'est généralement pas facturé aux utilisateurs, ce qui pose un risque pour l'efficacité d'entretien des infrastructures et les investissements futurs. L'intervention des pouvoirs publics

est nécessaire pour corriger les défaillances du marché et les coûts externes tout en préservant le débit écologique.

Dans certains cas, l'eau est une ressource **commune**. Un groupe (souvent une communauté locale ou des éleveurs pastoraux) utilise et gère l'eau de façon collective, et les membres peuvent détenir certains droits, dans des limites fixes ou variables. Lorsque les règles ou le contrôle communautaire sont faibles, on peut se trouver en situation de «libre accès» – ce qui incite à adopter un comportement opportuniste qui conduit à la surexploitation des ressources (c'est ce qu'on appelle la «tragédie des biens communs»)⁵⁴. Les travaux d'Ostrom (1990) ont montré que l'action collective et des règles claires sont essentielles pour gérer les ressources communes⁵⁵. Le principe du libre accès prévaut toujours lorsque le bien appartient au secteur public ou à l'État et que les institutions qui régissent son utilisation ne sont pas reconnues par la loi. Les communautés ou les groupes risquent de se voir privés de leur droit d'utilisation coutumier ou d'en priver des utilisateurs extérieurs. Les politiques et les lois relatives à l'eau doivent tenir compte de la complexité, de la diversité et de la flexibilité du régime foncier des eaux, et reconnaître les droits et les responsabilités des groupes et des communautés à gouverner leurs propres ressources. (Voir, par exemple, FAO, 2016⁵⁶ et Morgera *et al.*, 2020⁵¹).

Le lien entre le régime foncier et les droits d'utilisation de l'eau peuvent avoir des conséquences sur la gestion durable de l'eau. Les projets d'irrigation, ou la création de points d'eau pour tel ou tel groupe, les pasteurs par exemple, peuvent porter atteinte aux droits à l'eau, et engendrer des conflits entre les groupes^{57, 58}.

Les sous-sections suivantes portent sur les différentes composantes du système alimentaire. Elles visent à montrer en quoi la gestion de l'eau a une incidence sur la sécurité et la nutrition. Au-delà du système alimentaire, le lien eau-énergie-alimentation et la production de biocarburants créent aussi une concurrence pour l'eau (**encadré 5**).

L'eau au centre de la production primaire

L'agriculture représente 70 pour cent environ des prélèvements d'eau dans le monde, une part qui est de 90 pour cent environ dans les pays à faible revenu et les pays à revenu intermédiaire de la tranche inférieure (voir la figure de l'**encadré 3**). La rareté de plus en plus grande de l'eau douce et la concurrence accrue, notamment dans les régions arides et semi-arides, pèsent considérablement sur la production agricole. L'agriculture pluviale est la principale source de production dans le monde. »

ENCADRÉ 5 LIEN EAU-ÉNERGIE-ALIMENTATION ET PRODUCTION DE BIOCARBURANTS

Le lien eau-énergie-alimentation est une dimension particulière de la concurrence pour l'eau. Les réservoirs et les barrages destinés à l'irrigation et à la production d'électricité sont un exemple de ce lien et illustrent l'interdépendance et l'équilibre à trouver entre les secteurs. L'eau utilisée pour l'irrigation fait baisser le niveau des réservoirs et réduit la production d'hydroélectricité, tandis que cette dernière peut entraîner une baisse des volumes d'eau destinés à la culture. Cinquante-quatre pour cent de la capacité hydroélectrique mondiale (environ 507 000 MW) est en concurrence avec l'irrigation, notamment dans le centre des États-Unis d'Amérique, en Europe du Nord, en Inde, en Asie centrale et en Océanie⁶⁵. Les causes multiples de cette concurrence dépendent en grande partie de la répartition spatiale et temporelle de l'eau, notamment le manque de synchronisation des calendriers de l'hydroélectricité et de l'irrigation et le faible débit des cours d'eau. Les conflits liés à l'eau en amont et en aval du Syr Darya, en Asie centrale, illustrent bien comment les dimensions temporelles et spatiales déterminent le lien eau-énergie-alimentation. Le Kirghizistan, pays qui se trouve en amont du fleuve, contrôle la plupart des réservoirs qui en régulent le débit et stocke l'eau en été pour produire de l'hydroélectricité en hiver. Celle-ci entre ensuite en conflit avec les besoins d'irrigation des pays situés en aval, pendant la période d'été⁶⁶. La situation risque également de compromettre, voire d'interrompre la pêche continentale si les débits sont perturbés du fait que les barrages retiennent l'eau dans des proportions plus ou moins grandes^{67, 68, 69, 70}.

L'hydroélectricité peut compléter l'irrigation lorsque les réservoirs augmentent le volume d'eau disponible pour la production alimentaire^{65, 71}. Selon une étude récente portant sur le bassin hydrographique de l'Himalaya, l'hydroélectricité a permis d'accroître la production des cultures irriguées et de mieux lutter contre les inondations⁷². Une étude de l'équilibre entre eau, alimentation et énergie, menée sur des réservoirs polyvalents installés sur le cours d'un affluent du Mékong, a montré un potentiel d'irrigation considérable, assorti d'une faible perte en énergie hydroélectrique⁷³. Cependant, l'étude n'a pas tenu compte de la disparition des ressources halieutiques du fleuve Sesan, une pêcherie locale importante et une source de sécurité alimentaire. De nombreux réservoirs sont construits aujourd'hui à des fins multiples (cas des barrages hydroélectriques en Afrique), prouvant que, face au changement climatique, l'interdépendance géographique et sectorielle doit éclairer les politiques visant à renforcer la sécurité hydrique, énergétique et alimentaire^{65, 74}.

Un autre exemple qui illustre le lien eau-énergie-alimentation est le rapport entre la demande en biocarburants et l'utilisation de l'eau dans l'agriculture. Les biocarburants ont été présentés comme une alternative plus propre face aux combustibles fossiles, entraînant une hausse de la production au début des années 2000. La production mondiale de biocarburants s'est accrue, mais leurs exigences en terres et en eau soulèvent des préoccupations sur le plan de la sécurité alimentaire^{75, 76, 77, 78}. Là où les terres et l'eau sont peu abondantes, les cultures destinées aux biocarburants risquent de réduire la production alimentaire⁷⁹.

L'eau, plus que les terres, peut limiter la production des matières premières destinées à être transformées en biocombustibles⁸⁰. Les biocarburants consomment entre 70 et 400 fois plus d'eau que les combustibles fossiles qu'ils remplacent⁸¹, quoique ces quantités varient selon le type de matière première et le lieu où elle est cultivée. Xie *et al.* (2017) ont constaté de grandes variations dans l'empreinte hydrique de l'éthanol tiré du manioc, celle de l'éthanol tiré du sorgho à sucre et celle du biocarburant tiré du pourghère, cultures que l'on trouve dans différentes régions de Chine; ils en ont conclu que ces variations étaient dues aux différences de climat et de sols⁸².

L'eau est consommée tout au long de la chaîne de production des biocarburants, de la culture des matières premières aux étapes industrielles de la production. L'eau est majoritairement utilisée au stade de la culture, et il importe de déterminer si la matière première est cultivée en agriculture pluviale ou irriguée⁸³. La production pluviale de biomasse ne modifie que très peu le cycle de l'eau, mais la biomasse produite sur des terres irriguées peut avoir des conséquences néfastes sur les ressources en eaux souterraines et en eaux de surface. Des études menées aux États-Unis d'Amérique ont montré que les biocarburants issus de matières premières irriguées sont les plus gourmands en eau, et consomment jusqu'à deux fois plus d'eau que les matières premières non irriguées⁸⁴. L'eau utilisée pour le traitement industriel des biocarburants est un concurrent puissant à l'utilisation locale de l'eau. Après avoir été exploitée, l'eau peut servir à d'autres usages, mais les flux de réalimentation ont souvent des effets néfastes en raison de la pollution chimique et thermique⁸⁵.

L'avenir des biocarburants dépend du choix des cultures: il faudra opter pour des plantes qui permettront de produire plus d'énergie, sous forme de carburant, en utilisant moins de terres agricoles, d'enfrais et d'eau.

- » Elle représente plus de 80 pour cent des terres cultivées (voir le chapitre 2) et 60 pour cent de la production végétale mondiale¹⁹. Une productivité accrue dans le secteur de l'agriculture pluviale peut alléger la pression exercée par l'irrigation sur une eau douce déjà rare. Cela suppose d'accroître la productivité des eaux de pluie. Mais il faut avoir à l'esprit que les problèmes auxquels sont confrontés les systèmes de production pluviale et irriguée sont en grande partie (mais pas totalement) différents.

L'agriculture pluviale dépend entièrement des précipitations. Le changement climatique, qui entraîne une modification des précipitations et des températures⁸⁵, la rend donc extrêmement vulnérable aux difficultés liées à la gestion de l'eau. Il est impératif d'exploiter le potentiel des ressources hydriques en récupérant l'eau, en préservant l'humidité du sol et en mettant en place une irrigation d'appoint ou une irrigation déficiente, et d'optimiser l'utilisation de l'eau⁸⁶. L'amélioration de la gestion de l'eau pluviale et des pratiques agricoles peut permettre de conserver davantage d'eau dans le sol. Par ailleurs, le manque de précipitations nuit aussi à l'agriculture irriguée – puisque l'eau d'irrigation provient des précipitations – mais les agriculteurs qui ont accès à l'irrigation maîtrisent davantage les volumes et le calendrier et peuvent donc gérer plus efficacement la teneur du sol en humidité. Il existe une autre dimension liée à certaines formes d'aquaculture et de production animale, où la productivité de l'eau des secteurs de l'aquaculture et de l'élevage repose sur l'utilisation efficace et durable de l'eau dans la production végétale, comme cela sera exposé dans les sections suivantes.

L'eau destinée à la production animale

Dans le secteur de l'élevage, on distingue l'eau à usage direct (entretien des animaux et eau potable) de l'eau à usage indirect (production d'aliments pour animaux, d'engrais, de pesticides et d'autres intrants)⁸⁷. Les régimes des pluies revêtent une importance cruciale pour les terres couvertes de prairies et de pâturages permanents, où les animaux d'élevage broutent et dont la plupart ne peuvent être converties en terres arables en raison du climat, de l'inclinaison, de la profondeur du sol et d'autres facteurs. Selon Mottet *et al.* (2017), les animaux d'élevage

broutent environ 2 milliards d'hectares de prairies et de pâturages²⁶. Dans des régions arides comme le Sahel, l'élevage peut être la seule option qui permette de transformer une biomasse clairsemée et fluctuante en produits comestibles. Les régimes des pluies sont également déterminants dans la fixation du carbone dans le sol. Et, par ailleurs, les effluents d'élevage peuvent accroître l'efficacité d'utilisation de l'eau dans les terres arables, renforcer la résilience, les rendements et la fixation du carbone dans le sol⁸⁸.

Comme le secteur exploite une grande partie des terrains agricoles, sous forme de pâturages ou pour la production d'aliments pour animaux, il est très gourmand en eau. Il importe au plus haut point d'adopter une approche intégrée pour améliorer la productivité de l'eau et l'efficacité de tous les secteurs de la production alimentaire. Réduire l'emploi d'aliments pour animaux qui exigent une irrigation et la consommation d'eau par les animaux sont deux stratégies qui permettraient de réduire l'impact de l'élevage sur la rareté de l'eau⁸⁹. Le choix des espèces et des races, la teneur en humidité des aliments pour animaux et la production de fourrage sont autant de facteurs qui jouent sur la consommation d'eau. La diversité des systèmes de production pose un défi majeur pour les évaluations mondiales ou régionales menées sur la consommation d'eau dans le secteur de l'élevage⁸⁹. Le Partenariat pour l'évaluation et la performance environnementales de l'élevage a récemment mis au point des directives sur l'évaluation qui tiennent compte d'un grand nombre d'éléments en la matière⁸⁷.

L'eau et la pêche continentale

Pour assurer la pérennité de la pêche continentale, il faudra limiter l'impact des autres secteurs sur les ressources en eau. Cela suppose d'assurer des débits écologiques suffisants, une eau de qualité et la préservation des habitats. Les débits nécessaires aux différentes espèces ichthyologiques étant variables, il en résultera une modification des assemblages d'espèces et, de ce fait, des prises⁶⁷. Le fait de convertir un cours d'eau en réservoir peut bouleverser, voire, souvent, causer la disparition d'une partie de la faune aquatique. Pour préserver la pêche continentale et atténuer les pertes, il pourrait s'avérer indispensable de remplacer les espèces perdues par d'autres espèces mieux adaptées aux eaux non courantes⁶⁸.

L'eau et les forêts

Les problèmes, et les solutions, liés à la gestion de l'eau en ce qui concerne l'alimentation ne se limitent pas à l'agriculture primaire et doivent être appréhendés au niveau de l'ensemble d'un territoire. Les forêts sont partie intégrante du cycle de l'eau et peuvent jouer un rôle crucial dans la gestion durable de cette ressource et des écosystèmes liés à l'eau, comme le retour des précipitations dans l'atmosphère, qui aide à stabiliser et à prolonger les saisons de végétation des cultures. La rétention et la libération de l'humidité par les forêts, y compris en période sèche, sont essentielles dans les zones en situation de rareté de l'eau et de sécheresse. Par exemple, la régénération des forêts dans les zones arides du Burkina Faso a permis de rétablir la productivité des terres agricoles dégradées et a fourni un moyen de diversifier les sources d'aliments, ce qui a permis de renforcer la sécurité alimentaire⁹⁰. Compte tenu de l'importance des forêts pour le cycle hydrologique, l'adoption d'une approche exhaustive et intégrée, au niveau de l'ensemble d'un territoire, permettrait de mieux tirer parti des avantages hydriques offerts par les forêts. Le lien entre forêt et eau est de nature géographique. L'étendue des forêts et leur emplacement peut engendrer toute une série d'avantages environnementaux en rapport avec l'eau. Les forêts situées dans les bassins versants en amont des rivières offrent des avantages au niveau local et au niveau de l'ensemble du territoire considéré, et leur présence est souvent garante d'une eau de qualité en aval. Les forêts des grands bassins hydrographiques – Amazone, Congo, Yangzi – sont d'importantes sources de vapeur d'eau pour les régions situées sous le vent et, par conséquent, pour l'agriculture pluviale. Sous l'action du vent, l'humidité qui se dégage du sol peut parcourir une distance allant jusqu'à 5 000 km⁹¹.

Utilisation de l'eau le long de la chaîne d'approvisionnement – Un enjeu crucial pour la sécurité sanitaire des aliments et la qualité de l'eau

On dispose de peu d'informations sur l'utilisation totale de l'eau dans le secteur de la transformation des aliments. L'industrie représente moins de 20 pour cent des prélevements d'eau dans le monde ([figure 3](#)),

mais ce taux atteint 40 pour cent environ dans les pays à revenu élevé (voir la figure de [l'encadré 3](#)). La transformation dans le secteur alimentaire étant un sous-secteur industriel, les prélevements d'eau sont largement inférieurs à ceux du secteur agricole. Les recherches menées sur l'utilisation de l'eau dans la transformation des produits alimentaires portent généralement sur un produit en particulier – la sauce tomate, les jus de fruits ou les produits à base de pomme de terre^{92, 93} – et visent à mettre en évidence les étapes où l'eau est la plus consommée plutôt que la quantité d'eau utilisée aux différents stades de la transformation. Le secteur des produits alimentaires manufacturés consomme de grandes quantités d'eau. Il utilise de l'eau potable et génère un grand volume d'eaux usées par unité de produit, dont plus de 70 pour cent finissent en rejets⁹⁴. La quantité utilisée pour un produit alimentaire donné dépend d'un certain nombre de facteurs: l'origine du produit (animale ou végétale); les conditions de transformation (sèches ou humides), le type de transformation (peu transformé, entièrement cuit ou séché); la technique employée; les procédés de nettoyage et les activités de recyclage. Par ailleurs, le volume et la charge polluante des effluents varient considérablement⁹⁵.

La qualité de l'eau joue un rôle crucial dans la production et la transformation des denrées alimentaires. La transformation des produits alimentaires peut nécessiter de l'eau pour nombre d'opérations (lavage, évaporation, extraction et filtration notamment)⁹⁶ et la plupart, si ce n'est la totalité, des maladies d'origine alimentaire sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau utilisée pour la production, la transformation et la préparation des aliments⁹⁷. Alors même qu'il est primordial d'en garantir la qualité si l'on veut produire des aliments nutritifs et sans danger pour la santé, le secteur produit des eaux usées⁹⁸. Le rejet des effluents dans les écosystèmes terrestres et aquatiques nuit également à la qualité de l'eau^{96, 97, 98}. Les eaux usées transportent des contaminants (de l'azote par exemple), des substances qui réduisent la teneur de l'eau en oxygène et des agents pathogènes, qui se retrouvent dans les lacs et les rivières⁹⁹, altérant la qualité de l'eau, nuisant à la biodiversité et diminuant la quantité et la qualité des produits halieutiques et aquacoles¹⁰⁰.

Les effluents contaminés rejetés dans l'eau sans avoir été épurés au préalable font courir un risque aux populations et entraînent une réduction de l'accès à une eau salubre et potable, notamment pour les personnes les plus vulnérables. Les populations risquent également de consommer des aliments, notamment du poisson, contaminés^{101, 102}. Pour lutter contre la pollution de l'eau et protéger les écosystèmes, il convient d'appliquer des techniques de traitement des eaux usées (digesteurs ou boues activées) pour éviter que celles-ci ne soient déversées telles quelles dans la nature⁹⁷.

Dans une situation d'augmentation de la demande dans le secteur de la transformation, il est d'autant plus important de réaliser des économies d'eau. Cette constatation pousse souvent les entreprises agroalimentaires à soutenir les programmes de conservation de l'eau. Les changements culturels et opérationnels comptent parmi les approches les plus intéressantes, car ils nécessitent peu d'investissements et permettent des réductions de la consommation d'eau pouvant atteindre 30 pour cent⁶¹. On peut citer comme exemples les programmes de sensibilisation et de surveillance et les robinets dotés d'un système de fermeture automatique lorsqu'ils sont inutilisés. D'autres solutions permettent de réaliser des réductions d'eau plus importantes, qui peuvent aller de 50 à 80 pour cent, selon la technologie employée^{103, 104}. Elles nécessitent toutefois des investissements plus considérables, et il convient de tenir compte de l'incidence sur la qualité et la salubrité du produit fini⁶¹. Parmi les stratégies internes visant à accroître l'efficacité et la productivité de l'eau, on peut citer: i) la réduction de son utilisation par l'analyse de la consommation (cartographie des ressources en eau); ii) l'amélioration de la planification; iii) le recyclage de l'eau; iv) la réutilisation de l'eau après traitement; v) la conception du matériel et la configuration des usines⁹⁵.

Utilisation de l'eau par les consommateurs – Lien entre accès à l'eau et sécurité alimentaire et nutrition

Des pratiques sûres et fiables en matière d'eau, d'assainissement et d'hygiène (EAH) sont indispensables au développement humain et à la santé. Le manque d'accès à une eau propre et potable, à l'assainissement et à l'hygiène est une des causes premières de malnutrition, notamment chez les enfants. Les maladies diarrhéiques sont directement causées par des environnements où l'eau, l'assainissement et l'hygiène sont médiocres, notamment dans les pays à faible revenu, où l'accès à l'eau propre pose un problème majeur. Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), dans la plupart des pays à faible revenu, les maladies diarrhéiques sont la troisième cause de mortalité infantile, après les infections respiratoires aiguës et le paludisme. Il en est de même pour toutes les tranches d'âge¹⁰⁵. Dans un environnement où l'eau, l'assainissement et l'hygiène sont de mauvaise qualité, les aliments consommés risquent de ne pas être assimilés par l'organisme en raison de la diarrhée ou d'une autre entéropathie. Les maladies liées à l'eau compromettent la productivité et la croissance économique, car elles creusent les inégalités, qui sont déjà profondes, et enferment les ménages vulnérables dans des cycles de pauvreté^{106, 107}.

Lorsque l'accès aux sources d'approvisionnement en eau domestique est limité, l'eau d'irrigation comble parfois les besoins. Si certaines études ont démontré que l'utilisation de l'eau d'irrigation à des fins domestiques peut avoir des retombées positives du point de vue eau/assainissement/hygiène, la qualité ne sera pas suffisante pour une consommation humaine et la santé risque d'en pâtir^{108, 109, 110}. Ce constat s'impose en particulier là où l'eau d'irrigation destinée à la consommation domestique n'est pas planifiée. Le fait d'incorporer plusieurs utilisations au système d'irrigation peut présenter des avantages; par exemple, le temps que passent généralement les membres du foyer, souvent les femmes, à collecter l'eau diminue. Cela leur permet de se consacrer à des activités productives ou à la famille, et d'obtenir de meilleurs résultats nutritionnels¹⁰⁸. L'importance de l'eau, de l'assainissement et de l'hygiène est abordée de

manière plus approfondie dans la partie intitulée «Zoom: Améliorer l'accès à une eau potable sûre dans les zones rurales, p. 23». ■

OBJET DU PRÉSENT RAPPORT: PRÉSENTATION

Le présent chapitre a mis l'accent sur l'urgence de s'attaquer à la rareté de l'eau et aux pénuries, ainsi qu'aux inégalités d'accès à l'eau entre les parties prenantes, et a défini les principaux défis à relever pour parvenir à une gestion durable et inclusive de l'eau. Il a insisté sur le rôle de la gestion de l'eau tout au long de la chaîne d'approvisionnement alimentaire, gestion qui permet d'assurer la sécurité alimentaire et la nutrition. Il ressort clairement de cet aperçu que l'agriculture joue un rôle durable et central en matière de gestion de l'eau et que cette ressource reste une contrainte qui pèse sur nombre de petits producteurs. Par conséquent, le rapport met l'accent en particulier sur la gestion de l'eau dans le secteur agricole, qui constitue le principal consommateur d'eau à l'échelle mondiale et dans la plupart des pays. Il aborde l'agriculture irriguée et pluviale, ainsi que les secteurs de l'élevage, de la pêche continentale et de l'aquaculture, et met en perspective le double enjeu qu'est l'accès à l'eau destinée à la production agricole d'une part, et la durabilité économique, sociale et environnementale, d'autre part.

Le chapitre 2 porte sur les tendances en matière de rareté de l'eau et de pénurie, et sur les schémas qui se dégagent, dans les secteurs de l'agriculture irriguée et de l'agriculture pluviale, et présente un aperçu de leurs effets sur les différents systèmes de production. On y utilise un indicateur du stress hydrique pour mesurer la rareté de l'eau douce en ce qui concerne les cultures irriguées, et un indicateur de la fréquence des sécheresses graves pour mesurer les pénuries d'eau dues à des précipitations insuffisantes en ce qui concerne les cultures pluviales et les pâturages. Le chapitre contient une représentation de l'indicateur 6.4.2 sur le stress hydrique, réalisée pour la première fois selon une désagrégation spatiale et qui met en relation l'indicateur et les systèmes de production irriguée. Le chapitre 3 s'intéresse aux stratégies et aux techniques de gestion de l'eau dans les domaines de l'agriculture irriguée et pluviale, des systèmes de production animale, de la pêche continentale et de l'aquaculture, tandis que le chapitre 4 est axé sur la gouvernance et les institutions qui pourraient permettre d'améliorer la gestion des ressources en eau. Enfin, le chapitre 5 présente le cadre stratégique général propre à renforcer la gouvernance des ressources hydriques, tire des conclusions et énonce ce qui en découle sur le plan des politiques. ■

ZOOM

AMÉLIORER L'ACCÈS À UNE EAU POTABLE SÛRE DANS LES ZONES RURALES

PAKISTAN

Dans un camp où sont réfugiées des familles chassées par les inondations, une petite fille va chercher de l'eau potable.

©FAO/Truls Brekke

L'eau est fondamentale pour la sécurité alimentaire et la nutrition. Il est crucial de disposer d'une eau de qualité suffisante et en quantité suffisante pour la production agricole, ainsi que pour la préparation et la transformation des produits alimentaires. Parallèlement à l'assainissement et aux bonnes pratiques d'hygiène, l'accès à l'eau potable est également indispensable pour assurer une bonne nutrition. Une eau de mauvaise qualité peut causer de nombreuses maladies, qui se transmettent par l'ingestion d'eau contaminée, et peut entraîner la malnutrition, la morbidité, voire la mort. Les principales maladies véhiculées par l'eau sont les maladies diarrhéiques, le choléra, la shigellose, la fièvre typhoïde, l'hépatite A et E et la poliomyélite. Selon l'OMS, les maladies diarrhéiques représentent à elles seules environ 3,6 pour cent de la charge mondiale de morbidité et sont responsables de 1,5 million de décès chaque année. On estime que 58 pour cent de ces décès – soit 842 000 décès par an, dont 361 000 enfants âgés de moins de 5 ans – sont imputables à l'insalubrité de l'eau, à un mauvais assainissement et à un manque d'hygiène, principalement dans les pays à faible revenu et à revenu intermédiaire de la tranche inférieure¹¹¹.

La pandémie de coronavirus (covid-19) a également mis en lumière l'importance que revêt la salubrité de l'eau, non seulement pour prévenir les maladies véhiculées par l'eau, mais aussi parce



AMÉLIORER L'ACCÈS À UNE EAU POTABLE SURE DANS LES ZONES RURALES

qu'elle permet d'adopter l'une des mesures de précaution simples – le lavage fréquent des mains – qui aident à prévenir la transmission du virus. Toutefois, il est peu probable que cette mesure soit appliquée, ou qu'elle soit efficace, en l'absence d'une source d'eau salubre. Selon un rapport publié conjointement en 2019 par le Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF) et l'OMS, en 2017, 1,6 milliard de personnes disposaient d'installations pour se laver les mains, sans eau ni savon, au moment de l'enquête, et 1,4 milliard de personnes ne disposaient d'aucune installation pour le lavage des mains¹¹². Dans la majorité des pays pour lesquels on dispose de données ventilées, on constate que l'accès au lavage des mains était plus limité dans les zones rurales que dans les zones urbaines.

La cible 6.1 de l'ODD est formulée comme suit: «D'ici à 2030, assurer l'accès universel et équitable à l'eau potable, à un coût abordable». Selon le rapport commun de l'UNICEF et de l'OMS publié en 2019, une personne sur trois dans le monde n'a pas accès à de l'eau potable salubre, et plus de la moitié de la population mondiale n'a pas accès à des services d'assainissement sûrs¹¹². L'accès à l'eau potable peut être décrit comme étant le fait de disposer d'eau sur place ou moyennant un certain trajet.

En 2017, 90 pour cent de la population mondiale avait accès au moins aux services d'approvisionnement en eau potable de base – c'est-à-dire la collecte à partir d'une source améliorée, le cas échéant, nécessitant moins de 30 minutes de trajet aller-retour – contre 82 pour cent en 2000. Le non-accès à l'eau potable peut se rencontrer dans les zones urbaines et rurales, mais la population rurale est la plus touchée. Huit personnes privées de services de base sur dix vivent en milieu rural, et quasiment la moitié d'entre elles vivent dans les pays les moins avancés. Dans les zones rurales, 19 pour cent de la population n'a pas accès aux services de base, contre 3 pour cent dans les zones urbaines. Dans 17 pays (pour la plupart situés en Afrique subsaharienne), plus de la moitié de la population rurale n'a pas accès à l'eau potable (voir la figure A)¹¹². Le fait de ne pas avoir l'eau potable à domicile engendre (surtout en milieu rural) des temps de trajet considérables, souvent à la charge des femmes. Selon un récent rapport de l'ONU, ce

constat est valable pour toutes les régions du monde pour lesquelles on dispose de données, à l'exception de l'Europe de l'Est et du Sud, et de l'Amérique latine et des Caraïbes, où la collecte de l'eau est répartie de manière quasiment égale entre les hommes et les femmes¹¹³.

L'objectif devrait être de garantir à chacun l'accès à l'eau potable dans son foyer. Une mesure plus ambitieuse consiste à gérer les services d'alimentation en eau en toute sécurité, c'est à dire garantir l'accès des ménages ruraux à une eau disponible sur place, disponible en cas de besoin et exempte de toute contamination^c. Pour que l'eau soit considérée comme étant gérée en toute sécurité, elle doit répondre à trois critères. C'est ce que mesure l'indicateur 6.1.1 des ODD, qui évalue à 71 pour cent la proportion de la population qui utilise une eau potable gérée en toute sécurité. Dans les zones urbaines, 85 pour cent de la population mondiale utilise des services d'alimentation en eau gérés en toute sécurité; dans les zones rurales, ce taux n'atteint que 53 pour cent, avec des chiffres bien inférieurs dans les pays les moins avancés, les pays en développement sans littoral et les petits États insulaires en développement (voir la figure B).

Au niveau régional, l'Afrique subsaharienne présente le plus faible niveau d'accès à de l'eau gérée en toute sécurité, puisque seulement 12 pour cent de sa population rurale a accès à une eau potable gérée dans les conditions requises. Étant donné que, par ailleurs, 34 pour cent de la population n'a qu'un accès de base (nécessitant un trajet aller-retour de moins de 30 minutes), plus de la moitié de la population rurale de la région doit choisir entre aller chercher de l'eau se trouvant à plus d'une demi-heure de trajet, ou la prendre à des points d'eau de surface non améliorés. L'accès à une eau potable salubre est difficile pour plus de 300 millions de personnes qui vivent dans les zones rurales d'Afrique subsaharienne. Ce n'est pas sans incidences sur la santé et sur le temps passé à aller chercher de l'eau. Une étude de cas a fait apparaître que dans les ménages sans eau potable au Cameroun, au Sénégal et au Tchad,

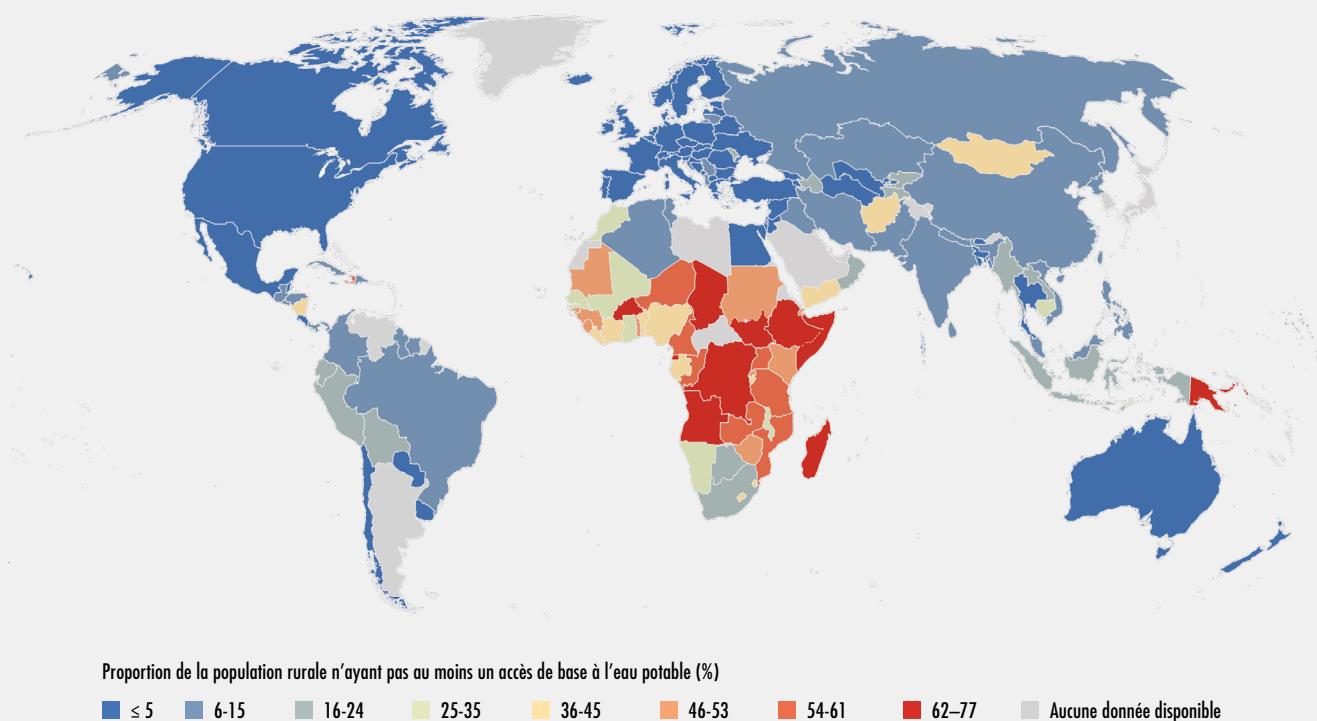
^c D'après le rapport de 2019 de l'UNICEF et de l'OMS, une alimentation en eau améliorée suppose: une alimentation par tuyaux, forage ou pompage, des puits protégés, des sources protégées, l'emploi d'eau de pluie, l'emploi d'eau en bouteille ou des livraisons d'eau¹¹².

les enfants sont beaucoup plus susceptibles de souffrir de diarrhées que dans les ménages ayant l'eau potable¹¹⁴. La corrélation entre la prévalence de la diarrhée et la malnutrition est bien établie et montre à quel point il importe de disposer d'eau de qualité pour la nourriture et qu'il ne suffit pas que les gens aient de quoi manger.

Nombre de pays s'efforcent de renforcer la couverture en eau potable. D'après l'analyse et l'évaluation mondiales sur l'assainissement et l'eau potable, publiée par l'ONU-Eau en 2019, les pays se fixent des objectifs pour améliorer le niveau des services d'approvisionnement en eau potable gérée en toute sécurité et des services d'assainissement¹¹⁵. En ce qui concerne l'eau potable, environ la moitié d'entre eux se sont fixé pour objectif une couverture universelle d'ici 2030, au-delà des simples services de base. Le manque de financement reste un sérieux obstacle à la réalisation des objectifs nationaux.

Il faudra du temps pour garantir des services d'approvisionnement en eau gérés en toute sécurité, notamment dans les zones rurales. Des solutions provisoires sont donc nécessaires pour améliorer la qualité de l'eau, tant pour ceux qui n'ont pas accès aux services de base que pour ceux qui peuvent avoir accès à la ressource mais qui sont exposés à un risque élevé de contamination. L'UNICEF et l'OMS (2019) estiment que près de la moitié de la population rurale dans le monde n'a pas accès à une source d'eau potable améliorée et exempte de toute contamination¹¹². La qualité de l'eau est déterminante pour permettre l'accès à une eau offrant toutes les conditions de sécurité dans les zones rurales, conformément à la cible 6.1 des ODD. Une action concertée est nécessaire pour y parvenir.

FIGURE A
PROPORTION DE LA POPULATION RURALE N'AYANT PAS AU MOINS UN ACCÈS DE BASE À L'EAU POTABLE, 2017



SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après UNICEF et OMS, 2019, annexe 3.1¹¹².

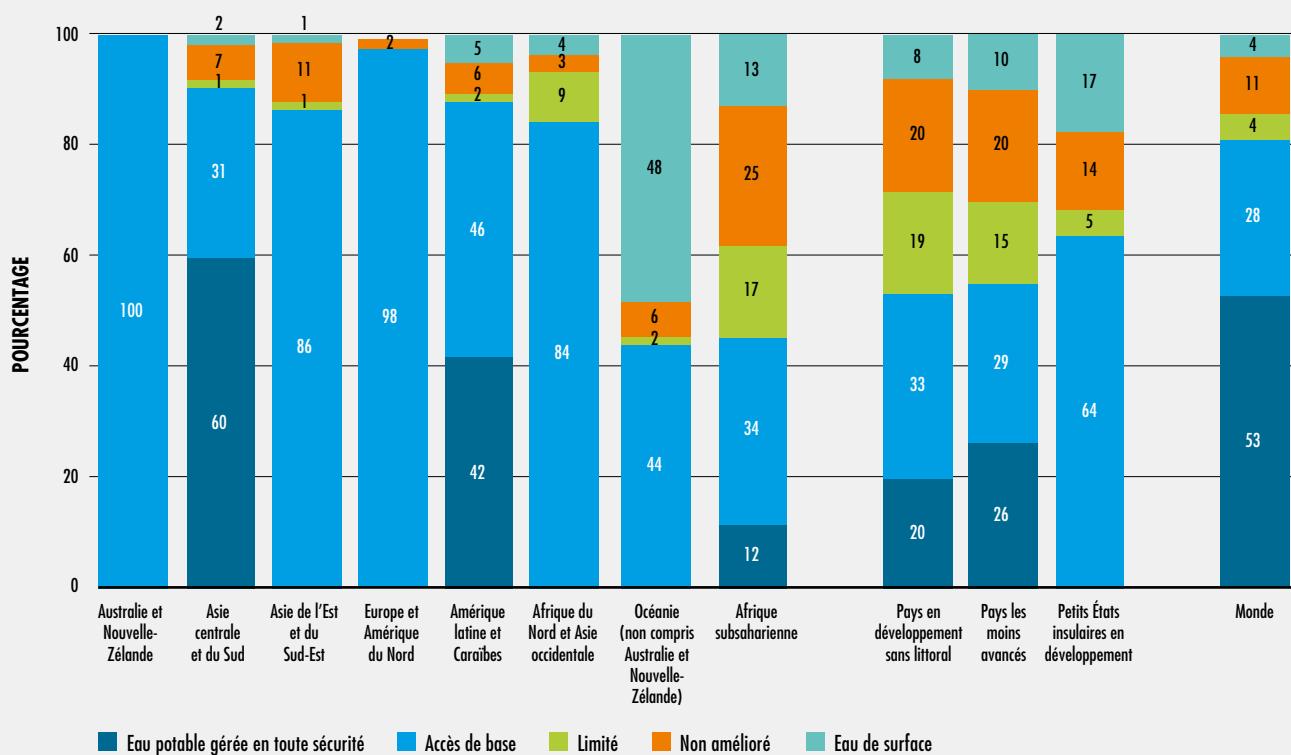
ZOOM AMÉLIORER L'ACCÈS À UNE EAU POTABLE SURE DANS LES ZONES RURALES

Les pays intègrent le secteur EAH à leurs plans de développement nationaux. En ce qui concerne l'eau potable, plus de 80 pour cent des pays déclarent que leurs politiques et leurs plans d'aménagement, urbains et ruraux, abordent la question des services d'approvisionnement en eau gérés en toute sécurité. S'agissant de l'eau potable en milieu rural, 91 pays sont dotés de plans nationaux, et 77 d'entre eux les ont chiffrés. Cependant, seuls 9 de ces 77 pays ont alloué des ressources suffisantes pour financer leur plan. La situation est comparable en ce qui concerne les plans relatifs à l'eau potable dans les zones urbaines. Par ailleurs, d'après les données fournies dans l'analyse et l'évaluation mondiales sur l'assainissement et l'eau potable (GLAAS, 2019), une grande majorité des pays manquent de ressources humaines pour mettre en œuvre les plans EAH nationaux¹¹⁵. Il sera donc difficile d'atteindre les objectifs fixés d'ici à 2030, même si des progrès sont réalisés avant cette date.

Les responsables politiques et les collectivités peuvent être amenés à améliorer la qualité de l'eau en ayant recours à des solutions intermédiaires, comme par exemple le traitement et la bonne conservation de l'eau à domicile. Selon les données recueillies entre 2005 et 2009, la pratique est répandue dans les régions du Pacifique occidental (66,8 pour cent) et de l'Asie du Sud-Est (45,4 pour cent), mais elle l'est moins en Méditerranée orientale (13,6 pour cent) et en Afrique (18,2 pour cent). Dans les pays d'Afrique subsaharienne, où un grand nombre de personnes sont contraintes d'utiliser une eau insalubre, le traitement de l'eau à domicile est recommandé pour réduire l'incidence de la diarrhée¹¹⁶.

Certaines options de traitement et de bonne conservation de l'eau à domicile sont jugées prometteuses par l'OMS, à savoir les filtres en céramique; la chloration (eau stockée dans un

FIGURE B
PROPORTION DE LA POPULATION RURALE AYANT ACCÈS À L'EAU POTABLE, 2017



SOURCE: UNICEF et OMS, 2019, figure 50¹¹².

récipient amélioré); la désinfection solaire dans des bouteilles en plastique transparentes; la désinfection thermique (ou pasteurisation) dans des cuisinières ou des réflecteurs solaires; et les systèmes associant flocculation et chloration¹¹⁷. Ces méthodes, à utiliser à domicile, ne seront efficaces que si les personnes les appliquent systématiquement. Selon Daniel *et al.* (2018), les facteurs sociaux et environnementaux liés à l'adoption des pratiques de traitement de l'eau à domicile sont complexes et interdépendants¹¹⁸.

De nombreux pays ont ouvert la voie à l'amélioration de la santé et de la nutrition en milieu rural en renforçant l'accès aux services d'approvisionnement en eau gérée en toute sécurité. Toutefois, les responsables politiques devront consacrer davantage de ressources pour exécuter les plans EAH nationaux. Le traitement et

la bonne conservation de l'eau à domicile contribue à doter les personnes vulnérables d'un outil leur permettant d'améliorer la sécurité sanitaire de leur eau. Il faudra toutefois trouver des solutions qui soient efficaces sur le plan microbiologique, accessibles aux populations ciblées et qui puissent être utilisées de manière cohérente et durable¹¹⁹. Du point de vue des politiques, ce domaine mériterait que des cibles claires soient fixées et que des ressources lui soient allouées. En 2012, l'OMS a constaté que seulement 43 pour cent des pays avaient fixé des cibles spécifiques en matière de traitement et de bonne conservation de l'eau à domicile¹²⁰. L'Organisation a également souligné que l'on pourrait progresser davantage si un appui supplémentaire était fourni pour renforcer les principaux éléments des politiques en la matière.



SÉNÉGAL

Des femmes membres de Japo Ande Liggeye, une association qui bénéficie du soutien de l'organisation non gouvernementale locale Symbiose, tirent de l'eau d'une citerne pour arroser leur potager.

©FAO/Benedicte Kurzen/
NOOR



CHAPITRE 2

RARETÉ DE L'EAU ET PÉNURIE DANS LE SECTEUR AGRICOLE

Messages clés

- ➔ Plus de 3 milliards de personnes vivent dans des régions agricoles qui connaissent des pénuries d'eau ou une rareté de l'eau élevées ou très élevées; parmi elles, 1,2 milliard, soit un sixième environ de la population mondiale, vivent dans des régions agricoles soumises à des contraintes hydriques graves.
- ➔ Près de la moitié des 1,2 milliard de personnes susmentionnées vivent en Asie du Sud et 460 millions environ vivent en Asie de l'Est et en Asie du Sud-Est. Si on n'agit pas rapidement, bien plus de personnes encore seront touchées. Pour beaucoup, migrer deviendra une nécessité.
- ➔ Les contraintes hydriques nuisent de diverses manières aux systèmes de production agricole. Les épisodes de sécheresse récurrents sont un facteur limitant pour les zones de culture pluviale, de même que le stress hydrique pour l'agriculture irriguée, touchant de plein fouet les groupes marginalisés, notamment les femmes et les éleveurs pastoraux.
- ➔ Plusieurs facteurs déterminent la capacité d'un pays à faire face aux pénuries et à la rareté de l'eau: son exposition aux contraintes hydriques, son niveau de développement, son cadre politique, socio-économique et culturel et sa capacité d'investir dans le secteur agricole.
- ➔ En quels lieux se manifesteront les effets du changement climatique et quelle sera leur ampleur, on l'ignore, mais on sait que ces effets seront probablement très importants et qu'il faudra donc adopter des politiques de gestion de l'eau vigoureuses et flexibles, mais aussi équitables et inclusives.

RARETÉ DE L'EAU ET PÉNURIE DANS LE SECTEUR AGRICOLE

Comme indiqué dans le chapitre 1, il est essentiel de disposer d'eau en quantité suffisante et de la qualité voulue pour garantir à tous la sécurité alimentaire, la nutrition et la santé. En outre, l'eau est l'élément vital des écosystèmes, dont dépendent tous les êtres humains. À mesure que l'eau se raréfie, la concurrence entre usagers et les conflits risquent de s'intensifier, tout comme les inégalités d'accès, qui touchent principalement les ruraux pauvres et d'autres populations vulnérables. L'inquiétude croissante que suscitent la rareté des ressources en eau et leur mauvais usage se retrouve dans le Programme 2030 sous la cible 6.4, qui appelle à utiliser l'eau de manière plus rationnelle et à effectuer des prélèvements plus durables. Les sécheresses graves, que le changement climatique accentue, engendrent des pénuries d'eau et nuisent au rendement des cultures et de l'élevage, en particulier dans les zones rurales pauvres.

Grâce aux efforts consentis par la FAO, il est maintenant possible de suivre la progression vers la cible 6.4 des ODD, au moyen de l'indicateur 6.4.2, qui rend compte du niveau de stress hydrique. Le présent chapitre apporte de nouvelles estimations spatiales de l'irrigation. La pénurie d'eau est le premier frein à la production et à la productivité agricoles dans les zones pluviales, c'est pourquoi ce chapitre évalue l'incidence des sécheresses fréquentes sur les cultures et les pâtures pluviales. L'agriculture est le premier consommateur d'eau dans le monde, et la majorité des populations pauvres sont tributaires de ce secteur pour vivre et assurer leur sécurité alimentaire et leur nutrition. L'eau, pour les agriculteurs, présente des défis différents et offre aussi des perspectives différentes selon les systèmes de production. Ce chapitre jette un nouvel éclairage sur la répartition des principaux systèmes agricoles à l'échelle de la planète (irrigués, pluviaux [à faible ou forte intensité

d'intrants] et pâturages) et aborde brièvement les questions relatives à leur vulnérabilité face aux risques liés à l'eau. Le chapitre s'intéresse ensuite à la façon dont le changement climatique aggrave les pénuries d'eau et la rareté des ressources hydriques. Il aborde par ailleurs la question de la gouvernance, des cadres institutionnels et de l'environnement dans lequel s'inscrit l'action contre la rareté de l'eau et les pénuries. Enfin, il s'achève sur l'examen des problèmes de qualité de l'eau liés à l'agriculture et propose des actions et des stratégies de gestion possibles. ■

RARETÉ DE L'EAU ET PÉNURIES: UNE PRÉOCCUPATION MONDIALE

La pénurie d'eau est principalement due à des facteurs biophysiques (des précipitations insuffisantes, par exemple) et se concrétise par un manque d'eau de qualité acceptable. La rareté découle de la pénurie d'eau et d'une multitude de facteurs qui déterminent la demande en eau (l'accroissement démographique, par exemple). Divers indicateurs en rendent compte. Le rapport se fonde sur deux d'entre eux: la fréquence des épisodes de sécheresse, sur une période passée déterminée, et l'indicateur 6.4.2 portant sur le niveau de stress hydrique, qui permettent de mesurer, respectivement, les niveaux de pénurie et de rareté de l'eau, dans les zones pluviales et dans les zones irriguées.

La FAO a mis au point l'indicateur ODD 6.4.2 qui porte sur le stress hydrique. Il s'agit de mesurer la pression exercée par les activités humaines sur les ressources naturelles d'eau douce, sur la base des prélèvements d'eau douce effectués

par l'ensemble des secteurs et compte tenu des débits écologiques. Sachant que l'indice de stress hydrique ne concerne que les prélevements d'eau de surface et d'eau souterraine, l'indicateur ODD 6.4.2, au niveau des bassins versants, est un moyen d'évaluer le degré de rareté de l'eau dans les zones irriguées. Pour mesurer la gravité de la pénurie sur les terres de culture pluviale et les pâturages^d, le rapport s'appuie sur les données relatives à la fréquence des sécheresses qui permettent d'estimer, d'après la série 1984-2018, la probabilité qu'une grave sécheresse touche plus de 30 pour cent des terres occupées par des cultures ou des pâturages^e. Sur les terres de culture pluviale, une probabilité de 25 pour cent signifie qu'une sécheresse grave entraînera de mauvaises récoltes sur plus de 30 pour cent des terres une année sur quatre.

Les figures 5, 6 et 7 mettent en relation ces deux éléments – fréquence des épisodes de sécheresse et stress hydrique, que mesure l'indicateur 6.4.2 – et les systèmes de production concernés (pour un aperçu de la méthode, voir les notes dans l'annexe technique, p. 147). La figure 8 complète la figure 7 sur le stress hydrique dans les zones irriguées en mettant en évidence la contribution de l'agriculture au stress hydrique sur la base des volumes d'eau consommés (voir le glossaire) en proportion des ressources en eau douce renouvelables, après prise en compte des débits écologiques. Dans la figure 8, un stress hydrique faible ne signifie pas forcément que le secteur

^d Aux fins du présent rapport, les pâturages correspondent aux zones de prairies et de forêts claires, qui comprennent les herbages, les couverts arbustifs et la végétation herbacée, d'après la définition de la FAO et de l'IISAS (2020)¹.

^e D'après cette définition, une sécheresse agricole grave se produit lorsque l'indice de santé végétale tombe en deçà de 35 pour cent. L'indice rend compte du niveau de gravité d'après la santé des végétaux et les effets de la température sur l'état des plantes. Pour plus de renseignements sur la construction de l'indice de santé des végétaux et la méthode utilisée, voir FAO, 2018².

agricole est exempt de stress, car la figure ne tient pas compte de la concurrence des autres secteurs utilisateurs d'eau^f.

Si on ajoute à ces données les données démographiques spatiales – tirées des figures 5 et 7 – on constate qu'environ 1,2 milliard de personnes vivent dans des zones où des niveaux graves de pénurie ou de rareté de l'eau menacent l'agriculture, en raison de la fréquence élevée des épisodes de sécheresse dans les zones de culture et de pâtures pluviales ou en raison d'un niveau de stress hydrique très élevé dans les zones irriguées. Plus de la moitié de ces personnes, soit 660 millions, vivent dans de petits centres urbains entourés de zones agricoles, et près de 520 millions habitent en milieu rural^g. Autrement dit, une personne sur six dans le monde est confrontée à des pénuries ou à une rareté de l'eau graves touchant le secteur agricole, et 15 pour cent environ de la population rurale est exposée³.

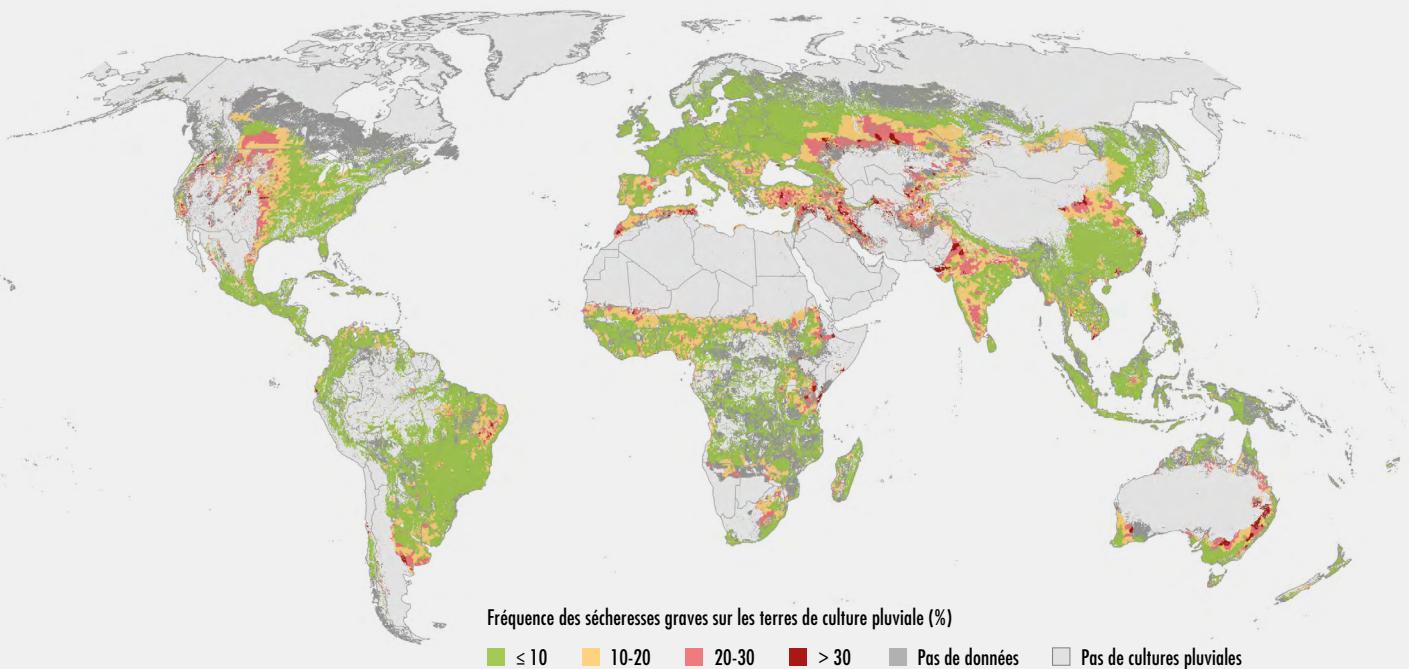
Sur les 1,2 milliard de personnes susmentionnées, quelque 520 millions vivent en Asie du Sud. Dans des pays comme le Pakistan ou le Sri Lanka, 80 pour cent environ de la population vit dans des zones agricoles touchées^h. Quelque 460 millions de personnes vivant dans des zones agricoles touchées se trouvent en Asie du Sud et du Sud-Est, dont 200 millions en zone rurale. En Asie centrale, Afrique du Nord et Asie de l'Ouest, un cinquième de la population environ habite des zones agricoles

^f Pour l'indicateur 6.4.2 des ODD au niveau des pays et des bassins hydrographiques, voir les figures A3 et A4 de l'annexe statistique.

^g Le nombre total est obtenu par addition de la population de chaque pixel de 10 x 10 km correspondant à des terres cultivées ou à des pâturages. La taille du pixel permet d'intégrer les petits centres urbains et les zones périurbaines agricoles. La population n'est donc pas rurale au sens strict du terme.

^h Pour une ventilation par pays du nombre de personnes vivant dans des zones agricoles soumises à de graves contraintes hydriques, voir le tableau A1 de l'annexe statistique.

**FIGURE 5
FRÉQUENCE DES SÉCHERESSES SUR LES TERRES DE CULTURE PLUVIALE, 1984-2018**



NOTE: La carte indique la fréquence à laquelle plus de 30 pour cent des terres cultivées (où les zones de culture occupent au moins 5 pour cent de la zone de pixels) ont connu une sécheresse grave, comme suit: faible – lorsque la probabilité qu'une sécheresse grave touche les terres cultivées est inférieure ou égale à 10 pour cent; moyenne lorsqu'elle est comprise entre 10 et 20 pour cent; élevée lorsqu'elle est comprise entre 20 et 30 pour cent; et très élevée lorsqu'elle est supérieure à 30 pour cent. L'indicateur prend en compte deux saisons de culture et retient celle des deux qui présente la valeur de sécheresse la plus élevée. Lorsqu'il n'y a qu'une saison, il n'y a qu'une valeur, qui est celle utilisée. La mention «pas de données» correspond aux pixels pour lesquels il n'existe pas de donnée sur le niveau de sécheresse mais qui comprennent des cultures pluviales, d'après FAO et IIASA, 2020¹. La fréquence des sécheresses graves est basée sur l'ensemble de la série chronologique (1984-2018).

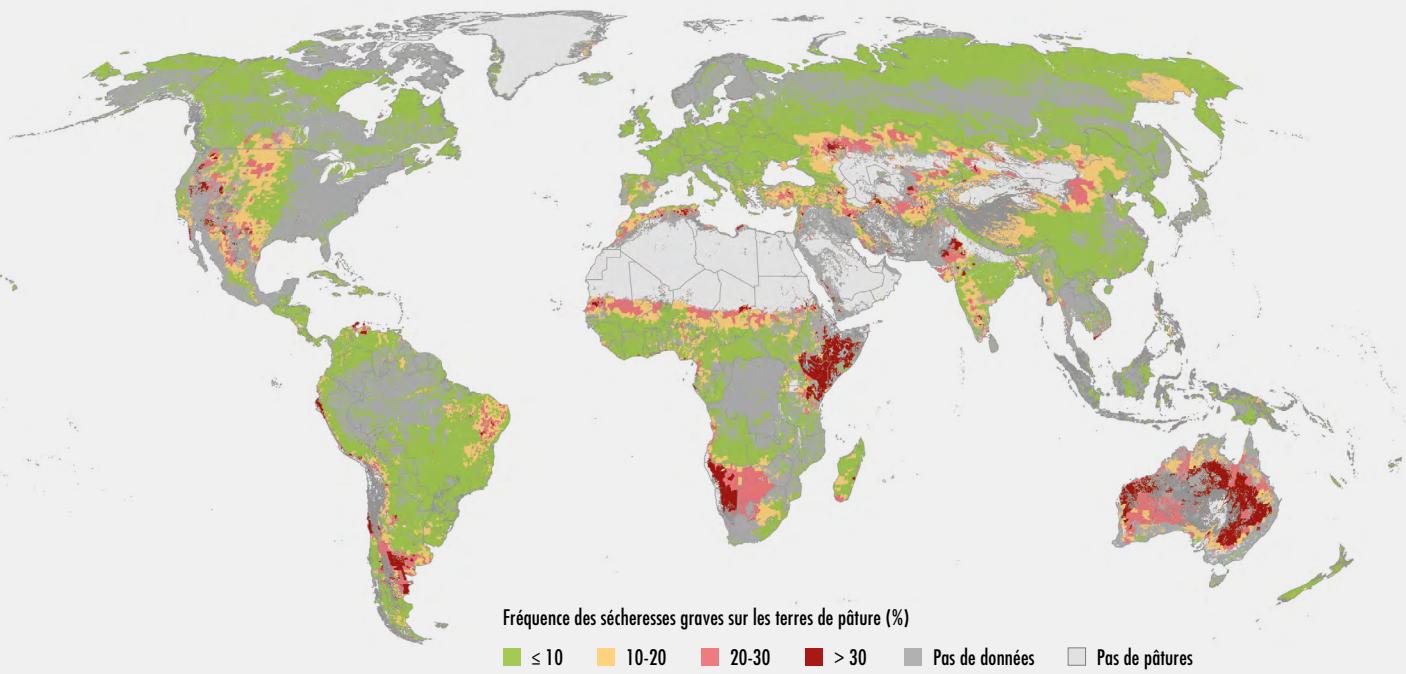
SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2019²; et FAO et IIASA, 2020³.

enregistrant des niveaux élevés de pénurie ou de rareté des ressources en eau. En Europe, en Amérique latine et aux Caraïbes, en Amérique du Nord et en Océanie, 1 à 4 pour cent seulement de la population vit dans des zones en proie à de grandes contraintes hydriques. Quant à l'Afrique subsaharienne, 5 pour cent seulement de sa population vit dans des zones touchées. Dans cette région, la majorité des terres sont pluviales, laissant penser que les contraintes hydriques sont dues à des sécheresses graves ou à une irrigation insuffisante. Ce taux peut sembler négligeable, mais il signifie tout de même qu'environ 50 millions de personnes vivent dans des zones où les épisodes de sécheresse grave ont des effets désastreux sur les terres cultivées et les pâturages, un an sur trois. La zone pastorale en fait tout

particulièrement les frais, puisque plus de la moitié de la population rurale est pauvre, principalement en raison du climat variable et de la grande vulnérabilité de ces terres à la sécheresse⁴.

Si l'on considère également les régions où la fréquence des épisodes de sécheresse et le stress hydrique sont élevés (ou très élevés), le nombre de personnes touchées passe à 3,2 milliards, dont plus de 40 pour cent (soit 1,4 milliard) vivent en milieu rural. Ces chiffres peuvent tenir lieu d'évaluation au niveau mondial de l'ampleur des effets que pourrait avoir le changement climatique du fait des contraintes hydriques qu'il crée. La question de l'eau dans ces régions risque de mettre en difficulté les populations qui vivent de l'agriculture et la majorité des ménages

FIGURE 6
FRÉQUENCE DES SÉCHERESSES SUR LES TERRES DE PÂTURE PLUVIALE, 1984-2018



NOTE: Les pâturages englobent des superficies de prairies et de forêts claires (d'après FAO et IIASA, 2020¹), qui comprennent des herbages, des couverts arbustifs et de la végétation herbacée (d'après Latham *et al.*, 2014)⁸. La somme des superficies de pâturages comprises dans un pixel peut être inférieure à la taille du pixel. La carte indique la fréquence à laquelle plus de 30 pour cent des prairies ont connu une sécheresse grave, comme suit: faible lorsque la probabilité qu'une sécheresse grave touche les pâturages est inférieure ou égale à 10 pour cent; moyenne lorsqu'elle est comprise entre 10 et 20 pour cent; élevée lorsqu'elle est comprise entre 20 et 30 pour cent; très élevée lorsqu'elle est supérieure à 30 pour cent. L'indicateur prend en compte deux saisons de culture et retient celle des deux qui présente la valeur de sécheresse la plus élevée. Lorsqu'il n'y a qu'une saison, il n'y a qu'une valeur, qui est celle utilisée. La mention «pas de données» correspond aux pixels pour lesquels il n'existe pas de donnée relative au niveau de sécheresse mais qui comprennent des cultures pluviales. La fréquence des sécheresses graves est basée sur l'ensemble de la série chronologique (1984-2018).

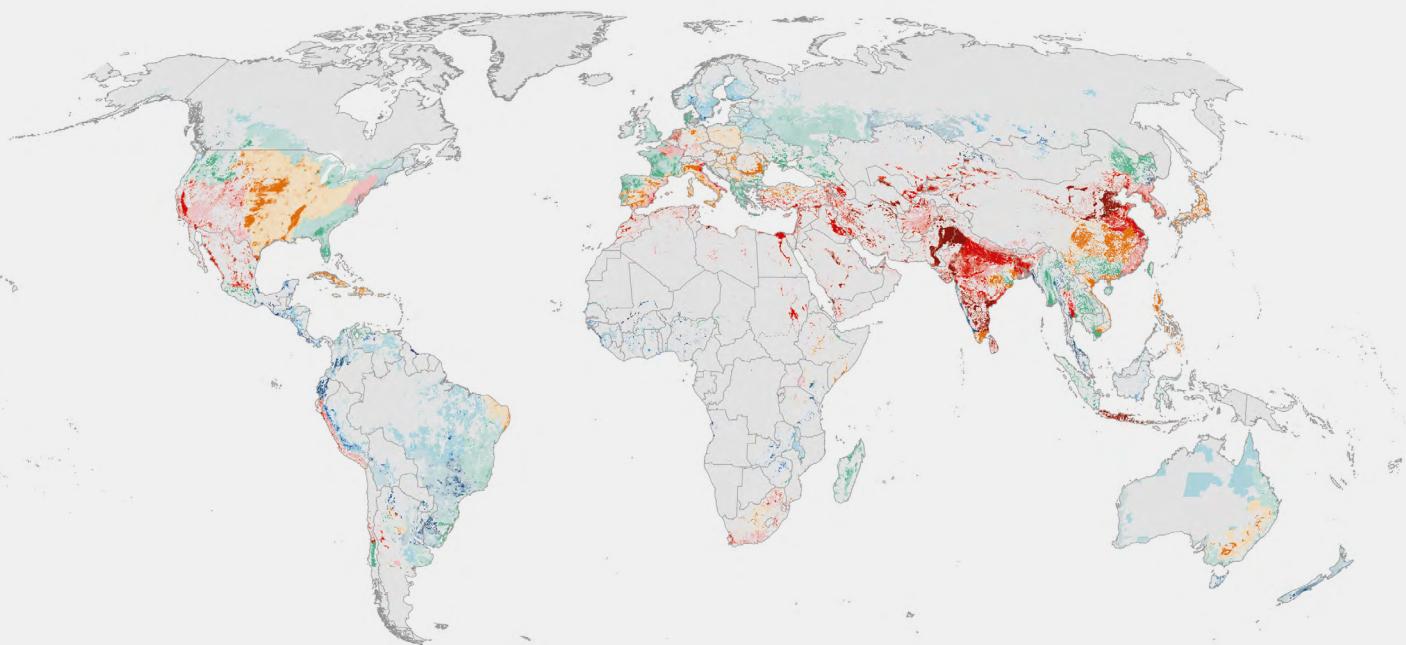
SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2019⁷; et FAO et IIASA, 2020¹.

se verrait contraints de migrer, à moins que la demande et les pratiques des utilisateurs ne changent ou que d'autres ressources en eau ne soient trouvées. L'examen géoréférencé de certaines études a montré que les périodes sèches, les grandes sécheresses, la variabilité des précipitations et les phénomènes météorologiques extrêmes jouent bel et bien sur les mouvements migratoires, principalement de par leurs effets sur la productivité du secteur agricole⁵. Des migrations ordonnées et régulières peuvent contribuer au développement économique et à l'amélioration des moyens d'existence. Mais en cas de crise, elles risquent d'engendrer des perturbations. Lémigration des hommes se répercute sur la charge de travail des femmes et

modifie la répartition des responsabilités au sein du foyer, les femmes devant assumer des tâches supplémentaires comme le soin des bêtes⁶.

En ce qui concerne les superficies, 128 millions d'hectares de terres de culture pluviale et 656 millions d'hectares de pâturages sont fréquemment touchés par des sécheresses. Parallèlement, 171 millions d'hectares de terres de culture irriguée sont soumis à un niveau de stress hydrique élevé ou très élevé. Autrement dit, 11 pour cent environ des terres de culture pluviale et 14 pour cent des pâturages connaissent des épisodes de sécheresse récurrents, et 60 pour cent des terres irriguées sont soumises à un stress hydrique élevé. Plus de 62 millions d'hectares de

**FIGURE 7
INDICATEUR 6.4.2 DES ODD – NIVEAU DE STRESS HYDRIQUE DANS LES ZONES IRRIGUÉES, 2015**



NOTE: Le gradient de couleurs montre l'étendue des terres de culture irriguée par pixel: plus la couleur est foncée, plus le nombre d'hectares de terres irriguées dans un pixel de 10 km x 10 km est élevé. L'indicateur 6.4.2 des ODD est le rapport entre la quantité d'eau douce totale prélevée par les principaux secteurs (agriculture, industrie et collectivités) et le volume total des ressources en eau douce disponibles, après prise en compte des débits écologiques. L'indicateur 6.4.2 mesure le stress hydrique de la façon suivante: le stress hydrique est nul lorsque les prélevements d'eau effectués par l'ensemble des secteurs par rapport aux ressources hydriques disponibles sont inférieurs ou égaux à 25 pour cent; il est moyen lorsque les prélevements sont compris entre 25 et 50 pour cent; élevé lorsqu'ils sont compris entre 50 et 100 pour cent; et très élevé lorsqu'ils sont supérieurs à 100 pour cent. Le niveau de stress hydrique est celui de l'année 2015. Pour plus de renseignements sur la construction de l'indice et la méthode utilisée, voir FAO, 2018⁹.

SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2020¹⁰, et FAO et IIASA, 2020¹.

terres cultivées et de pâturages souffrent d'un stress hydrique et également d'une fréquence de sécheresses, élevés à très élevés, touchant ainsi quelques 300 millions de personnes.

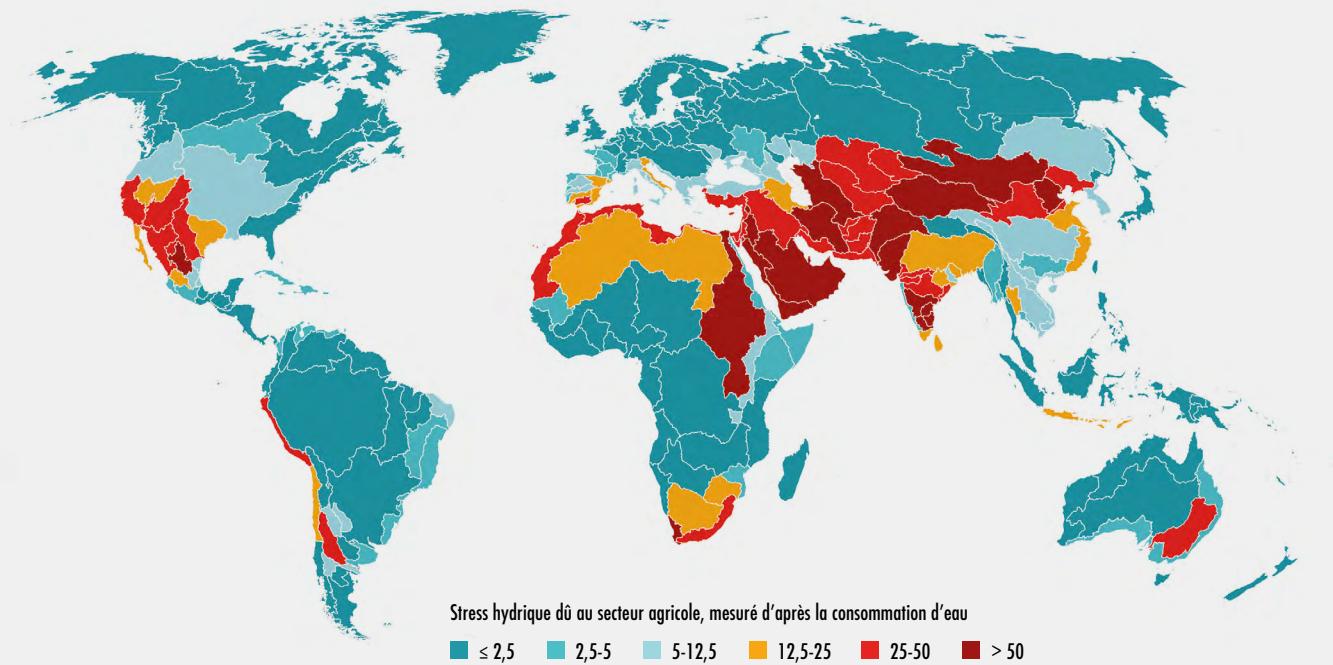
D'une région à l'autre, des contraintes hydriques hétérogènes

Dans les figures 5 à 7, le grand éventail de couleurs d'un pays à l'autre et au sein même des pays souligne à quel point il importe d'utiliser des

séries de données spatiales lorsqu'on mesure les contraintes hydriques. En effet, ce type de données permet de mettre en évidence les disparités au niveau infranational. Il s'agit d'informations que les évaluations nationales peuvent parfois ignorer alors qu'elles sont essentielles pour identifier les zones critiques et déterminer les interventions à mener.

La situation de certains pays andins (Argentine, Bolivie [État plurinational de], Chili et Pérou) et du couloir de la sécheresse d'Amérique centrale (El Salvador, Guatemala, Honduras et Nicaragua)

FIGURE 8
CONTRIBUTION DU SECTEUR AGRICOLE AU STRESS HYDRIQUE, PAR BASSIN HYDROGRAPHIQUE, 2015



NOTE: La contribution de l'agriculture au stress hydroIQUE est calculée d'après le rapport entre le volume d'eau douce consommée par le secteur agricole et le volume total des ressources en eau douce renouvelables, après prise en compte des débits écologiques. L'indicateur mesure la contribution de l'agriculture au stress hydroIQUE, au niveau des bassins hydrographiques, comme suit: le stress hydroIQUE est nul lorsque les prélevements d'eau à usage agricole sont inférieurs ou égaux à 12,5 pour cent; il est moyen lorsque les prélevements sont compris entre 12,5 et 25 pour cent; élevé lorsqu'ils sont compris entre 25 et 50 percent; et très élevés lorsqu'ils sont supérieurs à 50 pour cent. Le niveau de stress hydroIQUE est celui de l'année 2015.

SOURCE: FAO, 2020¹¹.

illustre parfaitement le problème. Au Pérou, le niveau de stress hydroIQUE à l'échelle nationale est très faible (environ 1 pour cent)⁹, or la figure 7 montre que la zone côtière du Pacifique, où le ruissellement est faible, est soumise à un stress hydroIQUE extrême. C'est là qu'habite la majeure partie de la population et que se déroule l'activité économique (dont l'irrigation et l'exploitation minière)⁹. Par conséquent, les politiques ne peuvent être conçues sur la base d'une estimation moyenne du stress hydroIQUE. Voir les tableaux A1 et A2 de l'annexe statistique pour connaître les données au niveau des pays sur les zones touchées par la sécheresse ou soumises à un stress hydroIQUE pour chaque système de production.

Il arrive qu'une seule et même zone n'affiche pas les mêmes niveaux pour le stress hydroIQUE et pour la fréquence des sécheresses – sachant aussi qu'il faut se référer à des couches cartographiques différentes (terres cultivées et pâturages). C'est pourquoi il importe de disposer de plusieurs indicateurs et de différencier les systèmes de production. La plupart des pays du Sahel ne connaissent pas de stress hydroIQUE, or les figures 5 et 6 montrent qu'il existe une probabilité moyenne à élevée qu'ils soient touchés par une sécheresse grave. Les communautés les plus vulnérables vivent dans des régions sujettes aux sécheresses et sont fortement tributaires de l'agriculture pour gagner leur vie et assurer leur sécurité alimentaire et leur nutrition. Les communautés

- » qui dépendent de l'élevage sont particulièrement menacées. En effet, la reconstitution des troupeaux décimés par une sécheresse prend un temps considérable¹². Près de 90 pour cent des pertes et des préjudices subis par le secteur de l'élevage sont attribuables à la sécheresse¹³.

La probabilité qu'une sécheresse grave se produise risque aussi d'avoir des répercussions sur les zones irriguées, car la sécheresse provoquera une baisse de l'offre et de la qualité des ressources en eau. Ainsi, la sécheresse qui a frappé le Tadjikistan en 2011 a gravement nui à l'agriculture irriguée, car les niveaux d'eau du réservoir de Nurek ont considérablement diminué. En raison des faibles précipitations, la production de blé, d'orge et de riz dans les zones irriguées a diminué d'au moins 75 pour cent par rapport aux années précédentes¹⁴. Les systèmes d'irrigation qui dépendent de ressources en eau libre (fleuves, lacs et réservoirs) sont aussi plus vulnérables à la sécheresse, laquelle réduit la quantité des eaux de surface distribuées. En Afrique, où 80 pour cent environ des systèmes dépendent des eaux de surface¹⁵, les aquifères doivent servir de première zone tampon contre la sécheresse. Pour brosser un tableau plus exhaustif des défis liés à l'eau que les pays doivent affronter, et mieux les cerner, il convient de prendre en considération les deux dimensions à la fois (stress hydrique et fréquence des sécheresses). ■

RARETÉ DE L'EAU ET PÉNURIES DANS DES CONTEXTES QUI EVOLUENT

Faire face aux défis multiples de l'eau – Profils de pays

La figure 9 situe les pays selon les caractéristiques de leur secteur agricole et leurs difficultés d'alimentation en eau, de façon à mieux cerner les contraintes de chacun d'eux et ainsi, trouver des solutions. La figure indique la proportion de terres de culture pluviale et de culture irriguée exposées à une fréquence de sécheresse ou à un stress hydrique élevés ou très élevés, respectivement, dans un certain nombre de pays. On a appliqué un seuil de 33 pour cent, pour les deux indicateurs,

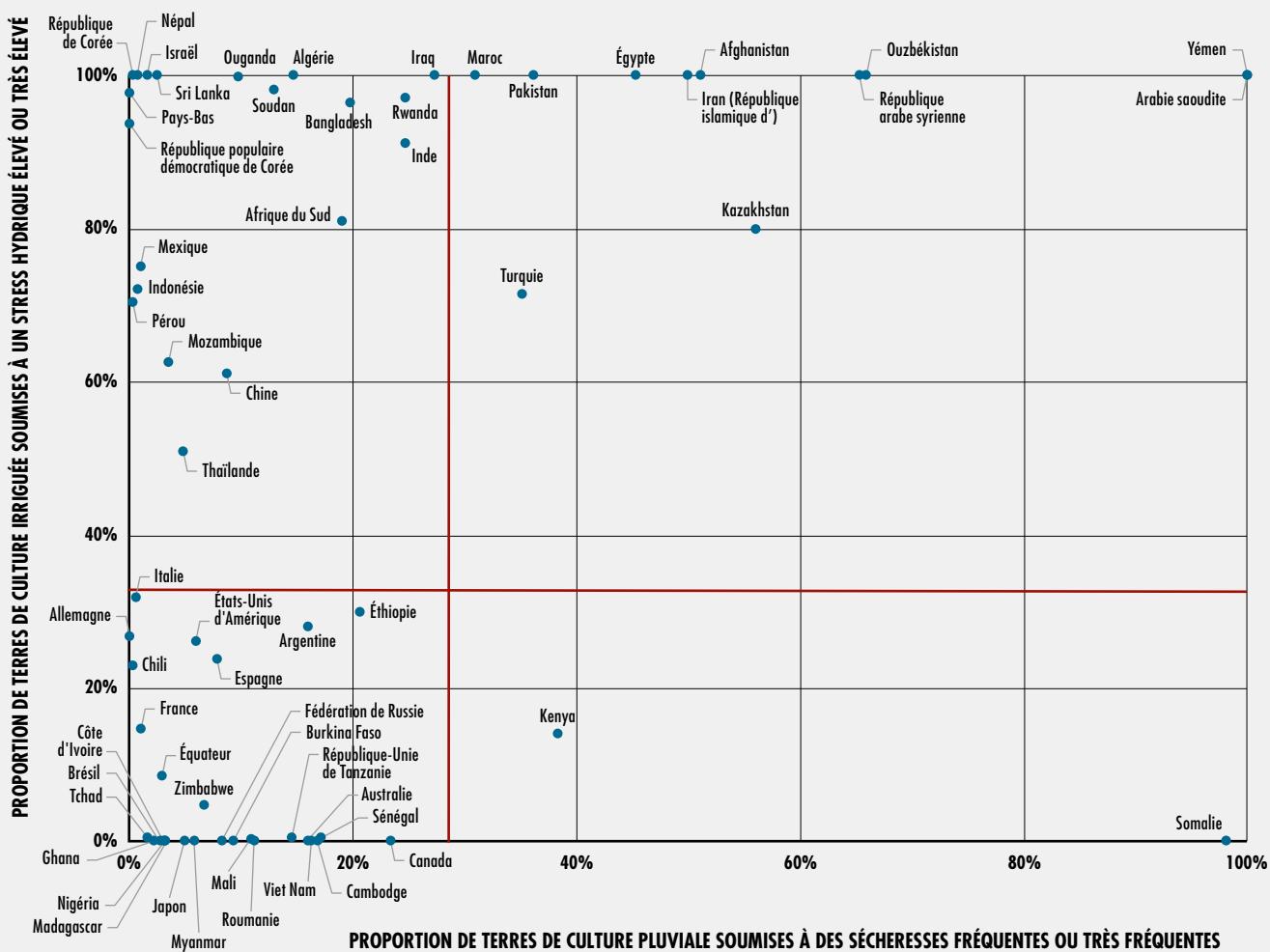
pour rendre compte de la gravité. Ce qui compte, cependant, c'est l'emplacement des pays sur le graphique.

Les pays situés sur le premier quadrant (en haut, à droite) de la figure 9 sont confrontés à une double difficulté: la fréquence des épisodes de sécheresse grave et le niveau de stress hydrique présentent une incidence élevée. Onze des pays représentés subissent cette situation et tous se trouvent en Afrique du Nord ou en Asie. Pour neuf d'entre eux, 100 pour cent de leurs terres irriguées sont soumises à un niveau de stress hydrique élevé ou très élevé. Dans ces pays, il faudrait mettre en place une solide comptabilité de l'eau (voir le glossaire), répartir les ressources convenablement, adopter des technologies modernes, passer à des cultures moins gourmandes en eau et ayant moins besoin d'irrigation, et investir pour accroître les sources d'approvisionnement en eau, notamment grâce au dessalement.

D'autres pays, qui ne sont pas confrontés à cette double difficulté, peuvent avoir d'autres options. Dans nombre d'entre eux, l'incidence des sécheresses graves est relativement faible mais le stress hydrique est élevé (quadrant supérieur gauche). Plutôt que de se concentrer sur la production irriguée, les responsables politiques peuvent choisir d'axer les efforts sur la conservation des ressources en eau (méthodes de culture nécessitant peu d'eau, modification du calendrier des semis, adoption de nouvelles variétés, par exemple) ou d'investir dans des ressources non conventionnelles (le dessalement de l'eau de mer, par exemple). Pour cela, il est impératif d'éliminer les obstacles et de créer un environnement favorable en faisant en sorte que la législation et la réglementation permettent de financer l'application de ces solutions à plus grande échelle (voir les chapitres 4 et 5). Pour les pays où de petites superficies de terres cultivées connaissent des sécheresses graves et un stress hydrique grave (quadrant inférieur gauche), les difficultés liées à l'eau peuvent encore susciter des inquiétudes mais elles se manifestent probablement au niveau infranational. Les pays où l'irrigation est peu développée et ayant peu de terres irriguées peuvent afficher un faible niveau de stress hydrique, mais cela ne signifie pas pour autant que l'eau y est suffisante. Ces derniers ont la possibilité de développer l'irrigation, soit

FIGURE 9

POSITIONNEMENT D'UN ÉCHANTILLON DE PAYS EN FONCTION DE LA PROPORTION DE TERRES DE CULTURE, PLUVIALE OU IRRIGUÉE, SOUMISES À DES SÉCHERESSES FRÉQUENTES À TRÈS FRÉQUENTES OU À UN STRESS HYDRIQUE ÉLEVÉ À TRÈS ÉLEVÉ



NOTE: Les pays ont été sélectionnés sur la base du critère démographique (population supérieure à 12 millions de personnes). Les pays où la proportion de terres cultivées soumises à des contraintes hydriques élevées ou très élevées se situe entre 0 et 1 pour cent ont été exclus (c'est-à-dire Angola, Cameroun, Colombie, Guatemala, Guinée, Malaisie, Malawi, Niger, Philippines, Pologne, République démocratique du Congo, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Ukraine, Venezuela [République bolivarienne du] et Zambie). La figure tient uniquement compte des hectares pour lesquels il existe des données sur la fréquence des épisodes de sécheresse ou le niveau de stress hydrique. L'axe horizontal représente la proportion de terres de culture pluviale, dans un pays donné, sur lesquelles la probabilité qu'une sécheresse grave se produise est élevée ou très élevée (soit supérieure à 20 pour cent). L'axe vertical représente la proportion de terres irriguées, dans un pays donné, où le stress hydrique est élevé ou très élevé (à savoir que l'eau prélevée au total est supérieure à la moitié des ressources d'eau douce renouvelables). Un palier de 0,33 (ou 33 pour cent) est considéré comme un seuil permettant de distinguer les pays où plus d'un tiers des terres cultivées sont exposées à une probabilité élevée ou très élevée de sécheresse grave ou de stress hydrique. Le niveau de stress hydrique concerne l'année 2015¹⁰, tandis que la fréquence des sécheresses est calculée sur l'ensemble de la série chronologique (1984-2018)¹¹. Les statistiques sur les systèmes de production agricole sont ventilées au niveau mondial selon la version 2010 du modèle de répartition spatiale de la production (SPAM), de l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI)¹².

SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2020¹⁰; FAO, 2019⁷; FAO et IIASA, 2020¹; et IFPRI, 2019¹².

par l'intermédiaire d'infrastructures permettant de puiser des volumes plus importants d'eaux de surface et d'eaux souterraines, soit en exploitant l'eau des précipitations (systèmes de récupération, petits barrages, réservoirs, etc.). En Afrique, l'eau à usage agricole reste relativement négligée alors qu'il y a un potentiel et que la superficie des terres irriguées pourrait être étendue, dans des conditions viables. Au moins 1,4 million d'hectares pourraient être mis en valeur grâce aux barrages existants ou prévus pour l'hydroélectricité, et au moins 5,4 millions d'hectares pourraient se prêter à l'irrigation à petite échelle¹⁶. Mais cela dépendra des financements, des sources d'énergie, du prix de l'énergie et de la main-d'œuvre disponible (voir chapitre 3).

De façon générale, la figure 9 montre qu'en termes d'hectares touchés, les niveaux élevés de stress hydrique sont plus problématiques, pour un plus grand nombre de pays, que ne l'est l'incidence des sécheresses graves. Cependant, dans de nombreux pays, la superficie des terres pluviales cultivées est nettement supérieure à celle des cultures irriguées. Par conséquent, une petite proportion de terres pluviales exposées à la sécheresse peut concerner des millions d'hectares. La figure 10 met en évidence la part respective des cultures pluviales et des cultures irriguées soumises à des contraintes hydriques élevées ou très élevées. En Afrique du Sud, les zones irriguées sont certes davantage soumises au stress hydrique (figure 9) mais la superficie des terres pluviales exposées à la sécheresse est deux fois plus grande que celle des terres irriguées en situation de stress. La figure 9 doit donc être interprétée pour chaque système de production – irrigué ou pluvial – séparément, sans prendre en considération les superficies.

Il ressort en outre de la figure 10 que les contraintes hydriques ne suffisent pas à déterminer les priorités des pays. Au Viet Nam, l'ensemble des cultures pluviales sont touchées, mais plus d'un tiers des terres cultivées sont irriguées. L'irrigation joue un rôle prépondérant dans le développement socio-économique du pays car elle permet de réduire la pauvreté, d'assurer la sécurité alimentaire et la nutrition, de parvenir à l'égalité des sexes dans les régions rurales et d'améliorer les modèles cultureaux et l'environnement. C'est pourquoi, au cours de ces

dernières décennies, le Viet Nam a massivement investi dans de nouvelles infrastructures, ainsi que dans la remise en état des systèmes d'irrigation existants¹⁸.

Des systèmes de production agricole très divers

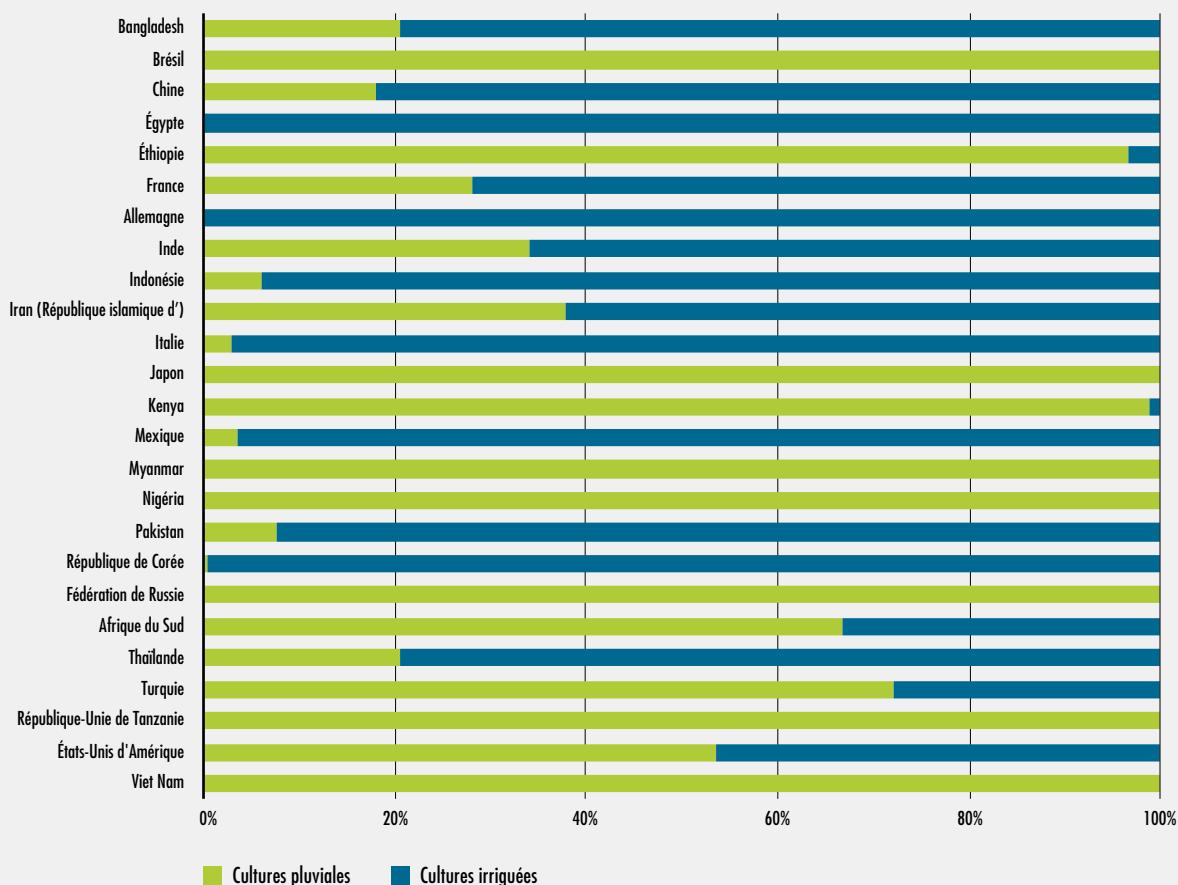
La figure 9 mesure les difficultés des pays, en distinguant les terres irriguées des terres pluviales. Il convient de tenir compte des différences qui existent entre la production irriguée et la production pluviale, car elles déterminent les activités agricoles et les choix des agriculteurs en matière d'investissement. Les exploitants agricoles qui travaillent des terres pluviales sont entièrement tributaires du volume et du calendrier des pluies et doivent prendre des décisions au début de chaque saison en se fondant sur les prévisions météorologiques. Au contraire, ceux qui ont accès à l'irrigation peuvent mieux maîtriser ces deux aspects. Dans les zones d'irrigation, les difficultés d'accès à l'irrigation, les droits d'utilisation de l'eau, qui sont variables, les débits annuels des cours d'eau, la productivité des aquifères et les demandes concurrentes en eau sont des facteurs déterminants pour la production végétale^{19, 20}. Par rapport aux zones de culture pluviale, les zones irriguées sont souvent (mais pas toujours) synonymes d'une meilleure productivité (encadré 6)^{21, 22, 23}. C'est pourquoi, lorsque qu'il s'agit d'évaluer les systèmes hydriques exposés à des risques, les cultures irriguées et les cultures pluviales sont souvent analysées séparémentⁱ.

Par ailleurs, il peut exister différents systèmes de production au sein d'une même culture (pluviale ou irriguée), ou un éventail de technologies allant de l'irrigation à la production pluviale²⁵. En zone pluviale, certains agriculteurs gèrent les eaux de pluie pour augmenter leur production (par la redirection, la collecte, le stockage ou la réutilisation des eaux pluviales pour éviter qu'elles ne se dispersent), d'autres pas. En zone irriguée, les agriculteurs n'ont pas tous les mêmes méthodes, certains pratiquant une irrigation plus fréquente et plus intensive que d'autres. Le fait qu'ils utilisent des techniques différentes et qu'ils extraient l'eau à partir de sources différentes peut

i Voir, par exemple, FAO et Earthscan, 2011²⁴.

FIGURE 10

PROPORTION DE TERRES CULTIVÉES SOUMISES À DES CONTRAINTES HYDRIQUES, PAR SYSTÈME DE PRODUCTION, DANS UN ÉCHANTILLON DE PAYS



NOTE: Les pays ont été sélectionnés sur la base du critère démographique (plus de 50 millions d'habitants). Seuls les hectares pour lesquels la fréquence des épisodes de sécheresse (pour les cultures pluviales) ou le niveau de stress hydrique (pour les cultures irriguées) sont élevés ou très élevés ont été pris en compte.

SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2020¹⁰; FAO, 2019⁷; FAO et IIASA, 2020¹; et IFPRI, 2019¹⁷.

se répercuter sur la qualité de l'eau²⁶ (voir Zoom: Agriculture, pollution de l'eau et salinité, p. 51).

Ces différences jouent un rôle déterminant dans la réussite de la production et devraient s'accentuer à mesure que la rareté de l'eau et les pénuries seront plus marquées. Il importe de faire la distinction entre les différents systèmes de production, car chacun d'eux subira les contraintes hydriques différemment et disposera de capacités différentes pour y faire face. Se fondant sur les données SPAM de l'IFPRI²⁷, le rapport distingue trois systèmes,

qu'il définit selon la source d'approvisionnement en eau et les intrants utilisés: i) système irrigué; ii) cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants; iii) cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants. Pour plus d'informations sur la méthode SPAM, voir l'[encadré 7](#).

Les différents systèmes de production sont un indicateur du niveau de développement d'un pays et de sa capacité à réagir face aux contraintes hydriques. Dans les pays où la proportion de terres consacrées à la production irriguée ou à

ENCADRÉ 6

PRODUCTIVITÉ DES TERRES DANS L'AGRICULTURE IRRIGUÉE ET PLUVIALE EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

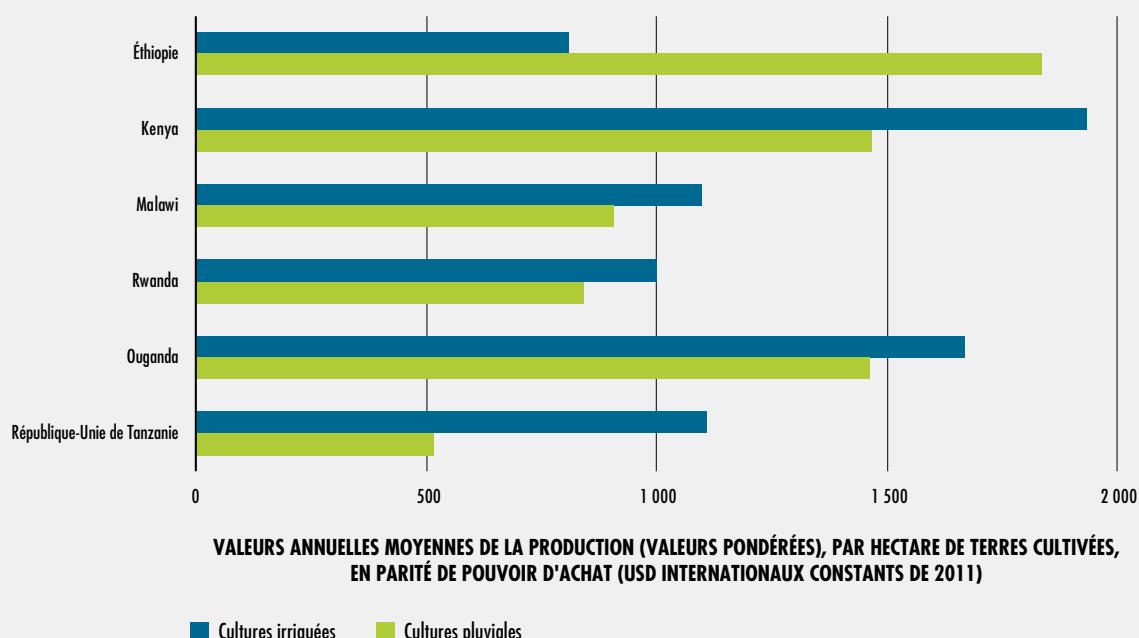
La productivité agricole est complexe car la production repose sur toute une série d'intrants différents – la terre, la main-d'œuvre, les engrais, les produits chimiques et l'irrigation. Une étude récente publiée par la Banque mondiale montre que, sans surprise, l'irrigation conduit à une diminution de la volatilité globale de la production agricole, accentue l'intensité des cultures et encourage la culture de produits à valeur élevée²⁸. L'irrigation joue un rôle important dans la croissance de la production agricole mondiale^{28, 29}.

Le présent encadré expose les écarts constatés dans la productivité des terres – c'est-à-dire la valeur de la production végétale par hectare cultivé* – entre l'agriculture irriguée et l'agriculture pluviale. Pour cela, il se fonde sur des données recueillies auprès des ménages dans les zones rurales d'Éthiopie, du Kenya, du Malawi, de l'Ouganda, de la République-Unie de Tanzanie et du Rwanda entre 2004 et 2014. Comme on peut s'y attendre, la productivité est plus grande dans les zones irriguées (voir la figure de l'encadré), sauf en Éthiopie.

Des six pays, l'Éthiopie enregistre le pourcentage le plus faible de ménages ayant recours à l'irrigation (soit

9 pour cent), après l'Ouganda et la République-Unie de Tanzanie. En Éthiopie, quasiment la moitié de la surface irriguée repose sur des techniques traditionnelles; une très petite superficie est exploitée au moyen de systèmes de haute technologie, tels que l'irrigation par aspersion et la micro-irrigation³². Les cultures pratiquées expliquent en partie que la productivité des cultures pluviales soit meilleure. En Éthiopie, les cultures à valeur élevée telles que le café, les oléagineux et les légumineuses, sont principalement pluviales³³, à l'inverse des cultures industrielles, telles que la canne à sucre, le coton et les fruits, qui sont principalement irrigués^{32, 33}. Les deux systèmes agricoles produisent des légumes et des céréales. Néanmoins, le teff – sans doute la culture céralière la plus importante en Éthiopie – est principalement cultivé sur des terres pluviales et a une valeur plus élevée que les autres céréales^{33, 34}. Il ressort de ce constat que l'irrigation seule ne suffit pas à accroître la productivité et que, selon le niveau des autres intrants (y compris les variétés cultivées et les services d'irrigation), elle peut avoir des avantages très limités par rapport à l'agriculture pluviale.

PRODUCTIVITÉ DES TERRES AGRICOLES, IRRIGUÉES ET PLUVIALES, 2004-2014



* Les valeurs de la production végétale sont calculées selon les coûts de production et peuvent provenir de plusieurs sources telles que la vente des récoltes ou les récoltes destinées aux semences. En règle générale, les enquêtes menées auprès des ménages sous-estiment la part et la contribution des exploitations agricoles moyennes et grandes^{30, 31}.

NOTE: Pour l'Ouganda, les estimations ont été calculées à partir de la moyenne des résultats des enquêtes menées en 2010, 2011 et 2014. Pour le Malawi, elles ont été calculées d'après les enquêtes de 2004, 2011 et 2013. Les estimations pour la République-Unie de Tanzanie sont tirées des enquêtes menées en 2009, 2011 et 2013. Pour l'Éthiopie (2014), le Kenya (2005) et le Rwanda (2014), on a utilisé une seule enquête.

SOURCE: FAO, 2020³⁵.

ENCADRÉ 7 APERÇU DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE PRODUCTION DU SPAM

S'appuyant sur l'outil mondial d'analyse des zones agro-écologiques (GAEZ) de la FAO et sur les travaux de l'Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués (IIASA)³⁶, les données SPAM de l'IFPRI distinguent quatre systèmes de production, selon l'approvisionnement en eau et les intrants utilisés par les agriculteurs.

- ▶ **La production irriguée** correspond à une zone de culture totalement ou partiellement irriguée, utilisant des intrants modernes tels que des variétés modernes et des engrains, et faisant l'objet d'une gestion avancée, par exemple avec conservation des sols et de l'eau.
- ▶ **La production pluviale à hauts niveaux d'intrants** utilise des variétés à haut rendement et a recours à la traction animale dans une certaine mesure et à la mécanisation. Dans ce type de production, on applique généralement des engrains chimiques afin de lutter contre les parasites, les maladies et les mauvaises herbes. La plus grande partie de la production est vendue.
- ▶ **La production pluviale à faibles niveaux d'intrants** utilise des variétés traditionnelles et repose principalement sur des travailleurs manuels. Ce type de production n'applique pas (ou peu) de nutriments, ni de produits chimiques pour lutter contre les parasites et les maladies. La production est principalement destinée à la consommation personnelle.
- ▶ **La production pluviale de subsistance** désigne la production à faibles niveaux d'intrants des petits agriculteurs, destinée à leur propre consommation. Cette catégorie englobe les agriculteurs qui doivent cultiver pour survivre mais qui ne disposent pas d'intrants suffisants ni de bonnes conditions de culture.

La répartition des terres de culture irriguée est basée sur la Carte mondiale des superficies d'irrigation (GMIA, version 5.0), élaborée par la FAO et l'Université de Francfort³⁷. La répartition entre la production pluviale à hauts niveaux d'intrants et celle à faibles niveaux d'intrants est établie d'après des hypothèses générales concernant les pays et les plantes cultivées, avec la fertilisation comme indicateur d'une forte intensité d'intrants. Lorsque les zones de cultures irriguées fertilisées et celles non fertilisées sont connues,

il est possible d'estimer la proportion de cultures pluviales à forts niveaux d'intrants en soustrayant les superficies irriguées des superficies fertilisées²⁷. La répartition des terres cultivées entre production pluviale à faibles niveaux d'intrants et production de subsistance est fondée sur des avis d'experts et des critères d'adéquation des cultures, et non sur les intrants effectivement utilisés. Aux fins du présent rapport, on a donc fusionné la production pluviale à faibles niveaux d'intrants et la production de subsistance.

La méthode part du principe que la majorité des systèmes irrigués, voire tous, ont recours à des intrants modernes et à une gestion avancée, même sans données à l'appui. En réexaminant l'utilisation des intrants agricoles modernes en Afrique subsaharienne, Sheahan et Barrett (2017) ont constaté que rares étaient les situations où les agriculteurs avaient recours à des synergies agronomiques, par exemple en associant irrigation, semences améliorées et engrains minéraux³⁸. Le projet GAEZ prend aussi en considération le fait que différents niveaux d'intrants et de gestion peuvent être appliqués en situation d'irrigation³⁶. Il importe de partir de ce constat afin d'éviter de placer les systèmes irrigués dans la catégorie des systèmes de production à hauts niveaux d'intrants, de repérer les interventions susceptibles de favoriser l'efficacité et la productivité de l'irrigation, et de protéger et gérer durablement les ressources en eau. En outre, l'utilisation d'intrants modernes ne rime pas toujours avec une productivité plus élevée, car les politiques suivies peuvent introduire des distorsions qui peuvent parfois aboutir à de mauvais choix de cultures ou à une exploitation inefficace des ressources, notamment de l'eau.

Une autre limite est que ces données font la distinction entre deux catégories de culture seulement : pluviale ou irriguée. Or, les exploitations agricoles gèrent les ressources hydriques sur un continuum, depuis les cultures exclusivement pluviales jusqu'aux cultures exclusivement irriguées²⁶. Entre ces deux extrêmes, certains agriculteurs auront recours à une irrigation complémentaire et sur une seule partie seulement de leurs champs, tandis que d'autres irrigueront très souvent²⁵.

Toutefois, ces données permettent d'estimer la superficie cultivée pour chaque système de production sur un large éventail de pays. Elles peuvent donc servir d'indicateur des niveaux de développement agricole dans différentes zones.

- » la culture pluviale à hauts niveaux d'intrants est plus importante, les agriculteurs ont un meilleur accès aux intrants et aux infrastructures modernes, y compris l'irrigation, et les cultures peuvent tolérer des températures plus élevées, générer un meilleur rendement et jouir d'une plus grande stabilité^{24, 28}. Partant des figures 5 et 7, les figures 11 et 12 indiquent la proportion relative de chaque système de production et l'incidence de la pénurie/rareté des ressources en eau dans chaque région du monde, selon les tranches de revenu des pays et les catégories de pays. La coloration des barres indique le niveau de pénurie ou le degré de rareté pour chaque système.

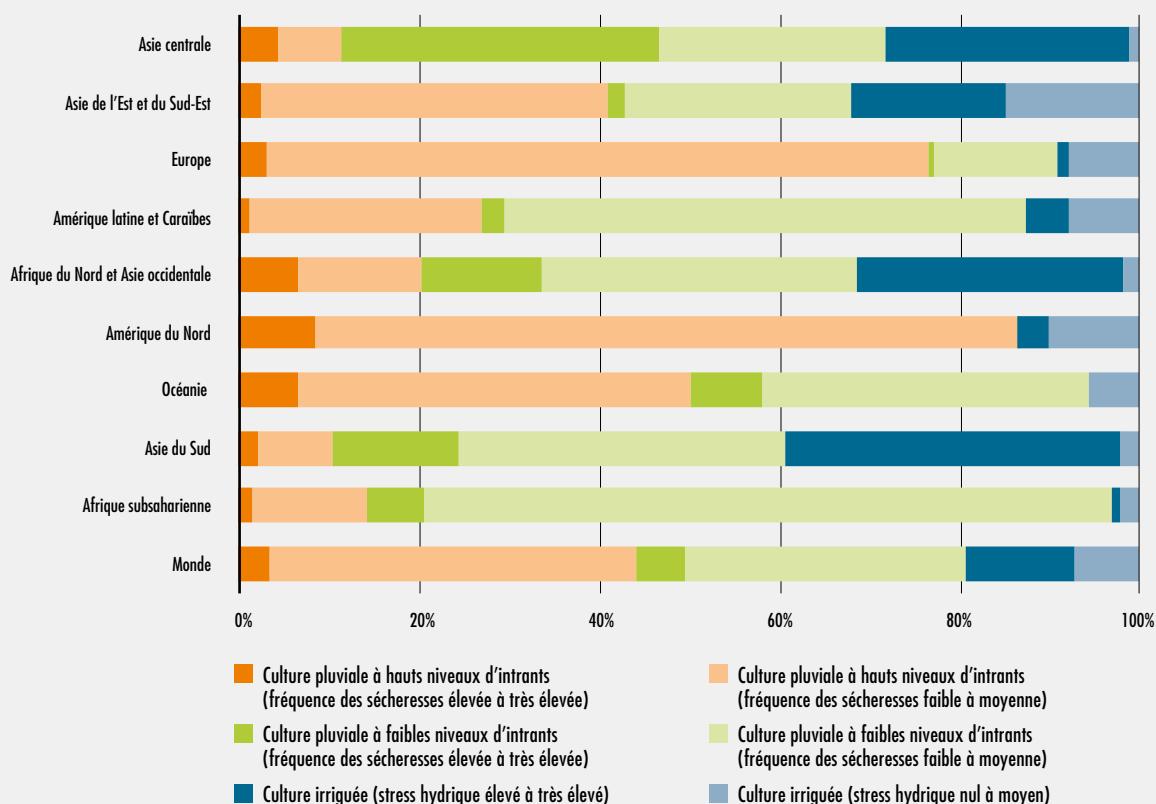
Les systèmes de production, le type et l'étendue des pénuries d'eau et de sa rareté varient considérablement d'une région à l'autre (figure 11). L'Asie centrale se caractérise par une sécheresse agricole récurrente sur plus de la moitié de ses cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants, et par un stress hydrique élevé ou très élevé sur la quasi-totalité des zones irriguées. L'Afrique du Nord et l'Asie de l'Ouest font face aux mêmes difficultés, et les systèmes de production irriguée dans l'ensemble des sous-régions asiatiques connaissent une situation de stress hydrique.

Les pays à revenu élevé, situés en Europe et en Amérique du Nord, pratiquent très largement la culture pluviale à hauts niveaux d'intrants. Ces pays jouissent d'un climat tempéré et présentent les dépenses publiques les plus élevées en matière de recherche-développement (R-D) agricole et d'investissement, en pourcentage du produit intérieur brut (PIB)³⁹. Leur agriculture se caractérise par une très forte intensité de capital ainsi que par son efficacité³⁹. À l'inverse, en Afrique subsaharienne, plus de 80 pour cent des terres cultivées sont consacrées à la culture pluviale à faibles niveaux d'intrants, et 3 pour cent seulement sont irriguées ou aménagées pour l'irrigation. L'intensité du capital et la recherche agricole sont beaucoup plus faibles que dans les pays à revenu élevé³⁹. Les agriculteurs, surtout les femmes, ont du mal à accéder au matériel d'irrigation, à la mécanisation et à des semences et des engrains améliorés, ou manquent de qualifications et ne disposent pas des techniques voulues pour retenir l'eau dans les sols. Cependant, seule une part relativement faible des terres de culture

pluviale en Afrique subsaharienne pâtissent de sécheresses fréquentes.

Tous les pays à faible revenu ou à revenu intermédiaire de la tranche inférieure ne sont pas sans accès à l'irrigation et aux intrants modernes (figure 12). Par exemple, les pays d'Asie du Sud utilisent des intrants modernes et irriguent 40 pour cent de leurs terres, et ce malgré un faible niveau de développement pour la plupart d'entre eux. La majorité des zones irriguées sont soumises à un stress hydrique élevé ou très élevé. Dans ces pays où l'eau est rare, les activités de R-D consacrées à la productivité des ressources en eau est primordiale, et elle doit aller de pair avec un effort en faveur de la production durable, consistant à préserver l'humidité des sols et à pratiquer une irrigation d'appoint pour surmonter les périodes sèches lorsqu'elles surviennent pendant la végétation. Le commerce d'eau virtuelle peut également être envisagé pour réduire l'utilisation et l'aménagement des ressources hydriques (encadré 8). Dans les pays où les agriculteurs sont peu incités à utiliser l'irrigation plus efficacement pour faire des économies d'eau, les politiques publiques détermineront les incitations à mettre en place, notamment un accès renforcé aux services de vulgarisation, au crédit et aux technologies. Par ailleurs, la gestion des demandes concurrentes revêt la plus haute importance, notamment dans les pays à revenu intermédiaire de la tranche inférieure qui possèdent une grande superficie de terres irriguées soumises au stress hydrique et où l'urbanisation devrait se poursuivre – sachant que les villes, l'industrie et un tourisme en plein essor pourraient avoir la priorité pour l'approvisionnement en eau. Les quantités d'eau disponibles pour l'agriculture irriguée, urbaine et périurbaine, diminueront, de sorte que la production végétale entrera en concurrence avec la demande des autres secteurs qui exploitent les ressources en eau et les terres²⁴, tandis que la dépendance à l'égard des importations alimentaires augmentera. Une part importante de l'eau utilisée par les villes correspond à une utilisation d'eau non consommatrice; sa réutilisation dans le secteur agricole présente donc un grand potentiel, notamment dans les pays où l'eau est rare⁴⁰.

FIGURE 11
RÉPARTITION DES TERRES CULTIVÉES PAR SYSTÈME DE PRODUCTION ET NIVEAU DE PÉNURIE ET DE RARETÉ DE L'EAU, PAR RÉGION



NOTE: Une fréquence élevée à très élevée de sécheresses graves correspond à une probabilité de sécheresse grave supérieure à 20 pour cent, sur plus de 30 pour cent des terres cultivées. Un stress hydrique élevé ou très élevé signifie que l'eau prélevée au total représente plus de 50 pour cent des ressources d'eau douce renouvelables. Seuls les hectares de terres cultivées pour lesquels on dispose de données sur les niveaux de fréquence des sécheresses et sur le stress hydrique sont pris en compte. Le niveau de stress hydrique concerne l'année 2015¹⁰, tandis que la fréquence des épisodes de sécheresse est calculée sur l'ensemble de la série chronologique (1984-2018)⁷. Les statistiques relatives aux systèmes de production agricole dans le monde sont fondées sur les données SPAM (version 2010) de l'IFPRI¹⁷. L'Océanie comprend l'Australie et la Nouvelle-Zélande.

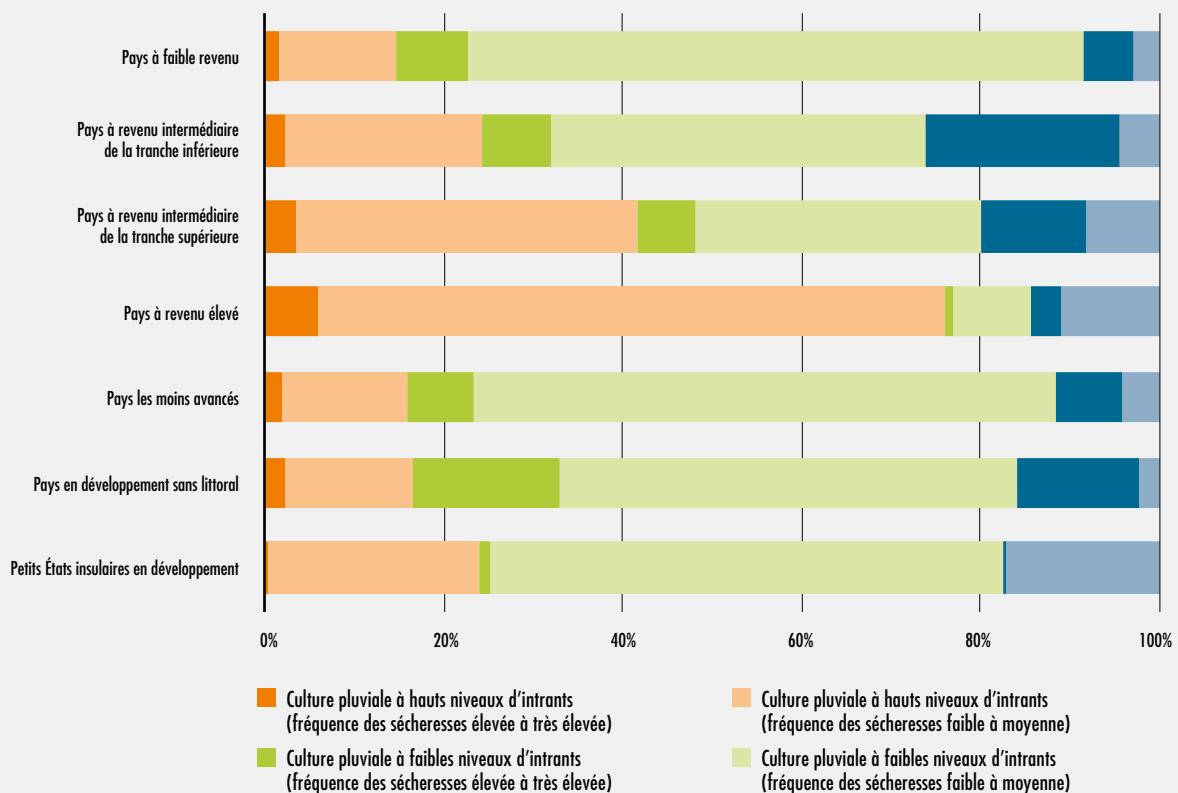
SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2020¹⁰; FAO, 2019⁷; FAO et IIASA, 2020¹; et IFPRI, 2019¹⁷.

En ce qui concerne les pays dont les efforts de développement présentent les mêmes caractéristiques et se heurtent aux mêmes contraintes, la répartition des systèmes de production dans les pays les moins avancés est presque équivalente à celle du groupe des pays à faible revenu – à savoir une production pluviale à faibles niveaux d'intrants associée à une faible proportion de terres irriguées (figure 12). Dans ces pays, les superficies irriguées, pourtant réduites, se trouvent déjà en situation de stress

hydrique. Les pays en développement sans littoral se heurtent à cette même difficulté, à laquelle s'ajoute la crainte de voir davantage de systèmes de culture pluviale pâtir de sécheresses, ce qui les rendrait particulièrement vulnérables aux effets du changement climatique. Jusqu'à 95 pour cent de leur consommation alimentaire totale provient de la production intérieure⁴⁹, et près de 70 pour cent de leurs terres de culture sont exploitées avec de faibles niveaux d'intrants, autant d'éléments qui soulignent la possibilité et même la nécessité

FIGURE 12

RÉPARTITION DES TERRES CULTIVÉES PAR SYSTÈME DE PRODUCTION ET NIVEAU DE PÉNURIE ET DE RARETÉ DE L'EAU, PAR NIVEAU DE REVENU DES PAYS ET PAR GROUPE DE PAYS



NOTE: Une fréquence élevée à très élevée de sécheresses graves correspond à une probabilité de sécheresse grave supérieure à 20 pour cent, sur plus de 30 pour cent des terres cultivées. Un stress hydrique élevé ou très élevé signifie que l'eau prélevée au total représente plus de 50 pour cent des ressources d'eau douce renouvelables. Seuls les hectares de terres cultivées pour lesquels on dispose de données sur les niveaux de fréquence des sécheresses et sur le stress hydrique sont pris en compte. Le niveau de stress hydrique concerne l'année 2015¹⁰, tandis que la fréquence des épisodes de sécheresse est calculée sur l'ensemble de la série chronologique (1984-2018)⁷. Les statistiques relatives aux systèmes de production agricole dans le monde sont fondées sur les données SPAM (version 2010) de l'IFPRI¹⁷. Les données concernant les groupes de pays par niveau de revenu sont tirées de la liste des économies de la Banque mondiale⁵⁸, et les données concernant les groupes de pays se rapportent aux Codes standard des pays et des zones à usage statistique (codes de l'ONU)⁵⁹.

SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2020¹⁰; FAO, 2019⁷; FAO et IIASA, 2020¹; IFPRI, 2019¹⁷; ONU, 1998⁵⁹; et Banque mondiale, 2017⁶⁰.

de transformer le secteur agricole. L'absence de débouchés sur la mer complique leur accès aux technologies, aux marchés, à l'information, au crédit et accroît les coûts^{50, 51}.

Les petits États insulaires en développement (PEID) connaissent des conditions géographiques, économiques et sociales singulières en raison de leur isolement ou de leurs ressources naturelles limitées. Du fait de leur superficie réduite et de leur éloignement, la

production agricole est limitée et peu diversifiée, et leur dépendance à l'égard des importations plus grande^{52, 53}. Ces pays utilisent davantage l'irrigation, ainsi que de hauts niveaux d'intrants sur les terres de culture pluviale, notamment du fait que certains d'entre eux s'efforcent d'améliorer l'irrigation, l'extraction des eaux souterraines et le captage des eaux de pluie⁵⁴. Ils ne sont quasiment jamais confrontés aux sécheresses récurrentes, ni au stress hydrique. Néanmoins, dans le contexte du

ENCADRÉ 8 GESTION DE LA PÉNURIE D'EAU: LE POTENTIEL DU COMMERCE

L'eau virtuelle désigne le volume d'eau nécessaire pour produire une denrée alimentaire. Cette eau est présente «virtuellement» dans ce produit⁴¹. Le commerce international de produits implique des transferts d'eau virtuelle sur de longues distances. Avec la hausse des échanges entre les nations et les continents et l'évolution des régimes alimentaires vers des produits alimentaires plus gourmands en eau, l'eau sert souvent à produire des biens exportés. Pour les régions où l'eau est rare, le fait d'importer des produits nécessitant de grandes quantités d'eau, au lieu de les produire en exploitant les ressources hydriques locales, peut être un moyen efficace de pallier les carences en eau. L'eau virtuelle peut être une source d'eau alternative, à condition que les importations de produits fassent l'objet d'un accès équitable et inclusif.

L'eau virtuelle peut aussi jouer un rôle déterminant dans la préservation des ressources mondiales lorsque le commerce a lieu entre des régions où la productivité de l'eau est élevée et d'autres où elle l'est moins. L'eau totale «économisée» grâce au commerce représente 5 pour cent environ de l'utilisation des eaux agricoles à l'échelle de la planète^{42, 43}. Jackson *et al.* (2014) affirment qu'on ne doit pas en surestimer l'impact; et leurs conclusions sont cohérentes avec la part que représente le commerce international par rapport à la consommation⁴⁴. Liu *et al.* (2019)⁴⁵ ont analysé de manière exhaustive les études qui ont été menées sur les économies et les pertes d'eau liées au commerce des produits alimentaires, et ont constaté que les économies d'eau sont limitées, sans pour autant que la rareté en soit la cause. Néanmoins, les auteurs ont constaté que le commerce international de produits alimentaires a permis d'atténuer la pression exercée sur les ressources d'eau douce. Certains pays tels que

l'Algérie, le Maroc et le Mexique ont pu réaliser des économies d'eau considérables grâce aux échanges commerciaux^{42, 43, 44}. Selon une autre étude récente, les pays ayant le PIB par habitant le plus élevé sont plus à même d'atténuer le stress hydrique grâce à l'importation de denrées alimentaires⁴⁶.

Yano *et al.* (2016) présentent une analyse globale sur la question de la structure du commerce international d'une région donnée et sa capacité à réduire ou à exacerber la rareté de l'eau⁴⁷. Les auteurs ont constaté que, tout en étant un importateur net d'eau virtuelle, l'Asie du Sud exporte davantage de nourriture produite à partir d'une eau plus rare que celle utilisée pour produire des aliments importés. Le fait que la région n'exploite pas ses ressources hydriques de façon durable accentue la rareté de l'eau. L'Amérique du Sud, une région exportatrice nette d'eau virtuelle, produit des denrées alimentaires à partir de ressources en eau abondantes, ce qui laisse penser que la structure de son commerce international n'aggrave pas la rareté de l'eau. Parmi les régions qui parviennent à atténuer la rareté de l'eau grâce au commerce international figurent certaines parties d'Asie, d'Afrique du Nord, d'Afrique de l'Est, d'Afrique de l'Ouest et d'Amérique centrale. Dalin *et al.* (2017) montrent qu'environ 11 pour cent des eaux souterraines non renouvelables utilisées pour l'irrigation sont intégrées dans le commerce international de denrées alimentaires, dont deux tiers exportés par les États-Unis d'Amérique, l'Inde et le Pakistan⁴⁸. Certains pays tels que la Chine, les États-Unis d'Amérique, l'Iran (la République islamique d') et le Mexique sont particulièrement exposés car ils produisent et importent des denrées issues de cultures irriguées à partir de couches aquifères qui se tarissent rapidement.

changement climatique et de la surexploitation des ressources, ces pays sont menacés par la hausse du niveau des mers, l'érosion du littoral et la diminution de la quantité d'eau douce à la disposition de l'agriculture⁵². À cause du changement climatique, les précipitations devraient décliner progressivement dans les PEID des Caraïbes et du Pacifique, menaçant la viabilité de leurs systèmes de production pluviale⁵⁵.

Il arrive que l'utilisation d'intrants, l'irrigation et les pratiques de gestion varient considérablement au sein d'une même région ou d'un même pays et qu'elles jouent ainsi sur la capacité des agriculteurs à faire face aux pénuries et à la rareté de l'eau. L'étude de la Banque mondiale sur la mesure des conditions de vie – Enquêtes intégrées sur l'agriculture (LSMS-ISA) – s'intéresse aux écarts au sein d'un même pays en matière d'intrants et d'irrigation,

écart qui sont impossibles à observer au niveau macro. En Éthiopie, le pourcentage des ménages utilisant des produits chimiques varie de 16 à 55 pour cent selon les régions, contre une moyenne nationale de 40 pour cent. Cet écart important vaut également pour les engrains inorganiques, dont l'utilisation varie de 20 à 70 pour cent, pour une moyenne de 60 pour cent à l'échelle nationale³⁵. Les ensembles de données spatiales permettent de visualiser l'hétérogénéité des niveaux d'intrants d'une région à l'autre et au sein d'une même région (voir les figures A1 et A2 de l'annexe statistique).

Plusieurs facteurs expliquent cette hétérogénéité: le prix des intrants et des produits, l'accès au marché ou encore les investissements dans les infrastructures et dans les services de vulgarisation agricole. Il importe que des politiques commencent à être mises en place pour soutenir les agriculteurs – en leur garantissant l'accès à des régimes fonciers, pour la terre et l'eau, au crédit et aux services de vulgarisation – afin de réduire les risques liés à l'eau. Au Bangladesh, il est possible d'atténuer les effets de la sécheresse en garantissant les droits fonciers et un meilleur accès à la vulgarisation agricole et à l'électricité⁵⁶. Les questions relatives à l'égalité entre les hommes et les femmes et l'accès des femmes aux ressources naturelles sont négligées, et sont parmi les principaux obstacles qui empêchent de résoudre les problèmes liés à l'eau. C'est pourquoi la Banque Grameen octroie des petits prêts aux femmes pauvres pour qu'elles soient à même de prendre des décisions sur la répartition des ressources dans un contexte climatique et économique qui évolue⁵⁷. ■

LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les pénuries d'eau et les situations de rareté de l'eau extrêmes touchent près de 1,2 milliard de personnes dans le monde. Le changement climatique agravera ce problème en accentuant le stress hydrique et les sécheresses récurrentes, et mettra davantage en difficulté les systèmes agricoles, qui doivent déjà répondre à une demande croissante en raison de l'accroissement

démographique et de l'évolution des modes d'alimentation. Les moyens d'existence, la sécurité alimentaire et la nutrition des communautés rurales et urbaines sont menacés. Les ruraux pauvres sont les plus vulnérables⁶¹ car ils dépendent fortement des ressources naturelles, sont peu résilients, et peu protégés face aux risques et aux chocs liés au climat. De plus, il existe un déséquilibre des rapports de force pour l'accès aux ressources naturelles (eau et terre).

Des évaluations issues de plusieurs modèles rendent compte des incidences que le changement climatique pourrait avoir sur les problèmes d'eau dans le monde. Une étude a montré qu'en raison des changements induits par le climat en matière d'évaporation, de précipitations et de ruissellement, le nombre de personnes qui devront survivre avec moins de 500 m³ d'eau par an augmenterait de 40 pour cent, ce qui s'apparente à un niveau «extrême» de rareté de l'eau (voir le chapitre 1, p. 5)⁶². Une autre étude a montré qu'entre 0,8 et 3,9 milliards de personnes supplémentaires seront confrontées au stress hydrique d'ici à 2050⁶³. D'après les auteurs, l'exposition à une situation de rareté de l'eau augmenterait fortement et s'accompagnerait d'une hausse de la température qui avoisinerait les 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels dans de nombreuses régions (y compris l'Afrique du Nord et de l'Est, la péninsule arabique et l'Asie du Sud) et se stabilisera à 4 °C. L'hypothèse des auteurs était qu'au-delà de cette température, il n'y aurait plus de zones où on constaterait une diminution notable des précipitations.

D'après Schewe *et al.* (2014), avec un réchauffement climatique de 2 °C par rapport à la période actuelleⁱ, le débit annuel moyen (c'est-à-dire le ruissellement accumulé dans le réseau fluvial) chuterait, ce qui augmenterait la pénurie dans plusieurs régions, dont la Méditerranée, le Proche-Orient et de grandes parties de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud⁶². En revanche, l'Inde, l'Afrique de l'Est et les hautes latitudes de l'hémisphère Nord pourraient s'attendre à recevoir des quantités d'eau accrues dans un monde en proie au réchauffement.

ⁱ L'expression «période actuelle» correspond à la moyenne de la période 1980-2010, soit un réchauffement de la planète d'environ 0,7 °C par rapport à l'ère préindustrielle⁶².

Ces modèles comportent beaucoup d'incertitude, certains laissant penser que le niveau de rareté de l'eau dans le monde doublerait quand d'autres ne prévoient qu'un léger changement. Les modèles ne tiennent pas compte des disponibilités et de la variabilité interannuelles et saisonnières de l'eau. Fung, Lopes et New (2011) constatent que les effets du changement climatique varient considérablement d'un bassin hydrographique à l'autre, et le caractère saisonnier du ruissellement serait plus prononcé si la température de la planète augmentait de 4 °C au lieu de 2 °C⁶⁴. Même là où il y a hausse du ruissellement annuel moyen, il peut y avoir stress accru pendant les saisons sèches.

Le changement climatique jouera aussi un rôle important en ce qui concerne les pénuries d'eau. Une étude récente montre que 129 pays seront touchés par des sécheresses accrues, principalement à cause du changement climatique⁶⁵. Celles-ci devraient augmenter en fréquence et en intensité à la fin du XXI^e siècle dans certaines régions d'Amérique du Sud, d'Europe centrale et occidentale, d'Afrique centrale et d'Australie⁶⁶. Elles risquent de se traduire par une croissance économique négative et d'avoir des répercussions durables, voire permanentes, sur le développement humain et l'autonomisation des femmes. En Afrique subsaharienne, les femmes qui ont été exposées à la sécheresse à un jeune âge ont des revenus bien moindres à l'âge adulte, sont de plus petite taille et ont suivi une scolarité plus brève⁶⁷. Il est par ailleurs inquiétant de constater que ces situations se transmettent d'une génération à l'autre, puisque les enfants de femmes exposées à la sécheresse souffrent plus souvent d'insuffisance pondérale à la naissance. Le changement climatique conditionnera également les risques liés aux inondations. Dankers *et al.* (2014) ont constaté que le changement climatique serait à l'origine d'une hausse des inondations sur plus de la moitié de la surface terrestre⁶⁸.

Personne n'est sûr de leur lieu ni de leur ampleur, mais ces changements auront des conséquences sur les disponibilités en eau et pèsieront fortement sur le rendement des cultures, que ce soit dans les zones pluviales ou dans les zones irriguées⁶⁹. Ils auront des effets directs sur les zones fortement irriguées, qui pourraient se traduire par le retour de 20 à

60 millions d'hectares de terres irriguées à la culture pluviale⁷⁰. Dans d'autres zones, l'eau douce pourrait compenser ces pertes, mais cela nécessitera des investissements importants (par exemple la mise en place d'une irrigation d'appoint). Le commerce peut compter parmi les mesures d'adaptation au changement climatique, avec des ramifications sur le plan des politiques (**encadré 8**)⁷¹. Le changement climatique a aussi des incidences sur les écosystèmes d'eau douce, les poissons et les autres populations aquatiques qui ont un faible pouvoir d'adaptation et qui sont vulnérables face aux chocs et à la variabilité liés au climat⁷². Il arrive exceptionnellement que ces incidences soient bénéfiques à la pêche continentale (pour certaines espèces de poisson, indigènes ou exotiques).

La gestion de l'eau sera essentielle pour donner aux personnes et aux sociétés les moyens de s'adapter, dans les différents systèmes et les différents secteurs, et aux différentes échelles, afin de résister aux effets du changement climatique, de les surmonter et de prendre des dispositions en prévision des difficultés⁷³. Il faut pallier le manque d'informations et de données scientifiques au niveau local pour pouvoir prendre des décisions multipartites⁷⁴. Les éléments dont on dispose peuvent parfois suffire à déterminer les approches à adopter ou le montant des investissements⁶¹. Si l'incertitude fait naître des difficultés quant aux mesures à prendre et aux investissements à favoriser, les solutions de gestion de l'eau, elles, sont toujours utiles et permettent d'appliquer des politiques qui ne laissent aucune place aux regrets. Elles affichent des résultats satisfaisants sur un ensemble d'options possibles, et renforcent la résilience de la production agricole face aux futurs effets du changement, de même que les mesures équitables et inclusives⁶¹. On peut citer comme exemple les plans en prévision des événements imprévus, qui permettront de faire face à des sécheresses d'intensité et de durée variables. Si ce type de planification est assorti d'une certaine souplesse, il permettra de préserver la capacité à réagir face aux phénomènes à venir, aux changements climatiques et hydrologiques, et au risque résiduel⁷³. Sachant que la plupart des effets du changement climatique sont susceptibles de modifier le cycle de l'eau, il est primordial de

réfléchir à une agriculture climato-intelligente – qui consiste à réorienter les systèmes agricoles pour renforcer le développement, la sécurité alimentaire et la nutrition dans un contexte de changement climatique – à travers la question de l'eau. ■

LUTTER CONTRE LA RARETÉ DE L'EAU ET LES PÉNURIES – CONTEXTE GÉNÉRAL

Il ressort de ce chapitre que près d'un sixième de la population mondiale vit dans des régions où la fréquence des sécheresses graves ou le stress hydrique sont très élevés. Les besoins en eau vont aller en augmentant sous l'effet de l'accroissement de la population et de la croissance économique, de l'évolution des habitudes alimentaires et du changement climatique. C'est pourquoi il est nécessaire d'adapter les politiques relatives à l'eau, les politiques sectorielles et les stratégies de gestion afin que l'utilisation des ressources en eau réponde aux besoins des populations et de l'environnement aujourd'hui, demain et à l'avenir. Il s'agit là d'un défi en matière de gouvernance, qui appelle des compromis et ouvre considérablement le champ des possibles.

Il se peut qu'une solution convienne parfaitement à un agriculteur, un pays ou une région, mais pas à l'autre, les situations pouvant être totalement différentes entre les systèmes de production – pluvial ou irrigué –, et que l'analyse et les propositions d'amélioration ne s'appliquent qu'à un contexte donné. Dans les zones irriguées, pour relever le défi de l'eau rare, il faudra, d'une part, gérer l'offre grâce à la mise en valeur et à l'utilisation des sources d'eau non conventionnelles (dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et réutilisation des eaux usées), et d'autre part, mener une gestion vigoureuse de la demande en ayant recours à des actions visant à optimiser les sources d'approvisionnement existantes⁷⁵. Il est primordial que la gestion de la demande tienne compte de la valeur économique de l'eau et du recouvrement des coûts, sans négliger le fait que faisant partie des droits fondamentaux, l'eau et

l'alimentation doivent être abordables et garanties pour tous, en particulier pour les pauvres. Il est tout aussi nécessaire que l'approvisionnement en eau soit assuré par la conservation des écosystèmes liés à l'eau. Dans les systèmes pluviaux, la conservation à même l'exploitation agricole, qui permet d'augmenter les infiltrations et le stockage des eaux dans le sol, semble être la meilleure option pour accroître la production. Les systèmes de collecte et de stockage des eaux peuvent aussi contribuer à améliorer la disponibilité en eau et la production agricole au niveau des ménages et des communautés et à lutter contre la sécheresse⁷⁶.

C'est en fonction des conditions locales qu'il faudra décider quel ensemble de solutions adopter pour gérer l'offre et la demande, sachant aussi qu'il n'y aura pas une seule et unique solution optimale⁷⁶ et que des options valables ne le seront pas forcément dans tous les contextes. Les politiques et stratégies seront essentiellement déterminées par des facteurs liés au niveau de développement du pays, aux contraintes hydriques, ainsi qu'aux institutions et aux structures politiques, socio-économiques et culturelles^{75, 77}. Les différentes parties prenantes appréhendent la rareté de l'eau différemment, et mettent en œuvre des stratégies d'adaptation et d'atténuation différentes, selon le pouvoir et les capacités dont elles disposent. Il importe au plus haut point de préserver les débits écologiques, les services écosystémiques et les utilisations d'eau douce non consommatrices, souvent négligés car ne faisant pas l'objet d'une véritable valorisation économique⁷². Pour soutenir les stratégies de gestion de l'eau, il est nécessaire d'instaurer un environnement inclusif, fondé sur un ensemble de politiques qui se renforcent mutuellement et sur un cadre juridique complet comportant des mesures d'incitation et de réglementation cohérentes, notamment un régime foncier, pour la terre et pour l'eau, qui soit sûr. Il faut en outre renforcer, ou créer, des institutions et des mécanismes qui dépassent les frontières traditionnelles entre les différents secteurs⁷⁵. Des mécanismes de gouvernance sont indispensables pour la coordination intersectorielle et la cohérence des politiques. Ils doivent associer les divers utilisateurs et toutes les parties prenantes afin de dégager des compromis et des synergies, et d'assurer

FIGURE 13
**MISE EN PERSPECTIVE DES MESURES DE
 LUTTE CONTRE LA PÉNURIE D'EAU ET LA
 RARETÉ DES RESSOURCES EN EAU, DANS
 LE CADRE POLITIQUE GÉNÉRAL**



SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2012, figure 2⁷⁶.

une gestion efficace, durable et équitable des ressources hydriques. Les stratégies relatives à la demande et à l'offre d'eau doivent s'accompagner d'une stratégie de financement pour permettre les investissements nécessaires.

La **figure 13** montre comment les différentes dimensions s'imbriquent les unes dans les autres. Les problèmes de pénuries et de rareté des ressources en eau (premier cercle, en partant du bas) imposent de gérer l'eau et de faire appel aux technologies (deuxième cercle) – dessalement, lutte contre la pollution et plus grande efficacité d'utilisation des ressources hydriques, ce qui suppose une planification technique et des investissements au niveau de l'organisation et de la gestion. Tout ceci dépend du cadre institutionnel et juridique

(troisième cercle) – qui englobe les droits d'utilisation de l'eau, l'octroi de licences, les réglementations, les mesures d'incitation et la structure institutionnelle – et du cadre politique général (quatrième et dernier cercle) – y compris les choix sociétaux, les priorités, les politiques sectorielles (par exemple pour l'agriculture, les collectivités et l'industrie) et l'équilibre des compromis⁷⁶. Le chapitre 3 passe en revue les technologies disponibles et les stratégies de gestion de l'eau dans le secteur agricole (deuxième cercle) qui permettent de s'adapter à la pénurie et à la rareté croissantes des ressources hydriques. Les derniers éléments compris dans les troisième et quatrième cercles sont abordés plus en détails dans les chapitres 4 et 5. ■

CONCLUSION

On retiendra du présent chapitre que 1,2 milliard de personnes vivent dans des zones soumises à des pénuries ou à une rareté de l'eau à des degrés élevés, qui menacent leurs moyens de subsistance et leur vie même. Les contraintes hydriques varient selon le lieu et le moment, certaines régions étant plus vulnérables que d'autres. La majorité des personnes touchées se trouvent en Asie du Sud, où 80 pour cent environ de la population de pays tels que le Pakistan et le Sri Lanka vit dans des zones agricoles où sévissent les deux phénomènes. L'Afrique du Nord et d'autres régions d'Asie sont elles aussi frappées de plein fouet.

Ce chapitre a permis de mieux cerner différentes dimensions liées aux questions de pénurie d'eau et de rareté de l'eau, à savoir la récurrence des sécheresses et le stress hydrique, et la manière dont elles touchent le secteur agricole et les différents groupes de population, selon qu'ils dépendent de l'irrigation ou des précipitations et qu'ils utilisent ou non des niveaux élevés d'intrants. Ce sont les niveaux très élevés de stress hydrique et de fréquence des sécheresses, dans l'agriculture irriguée et pluviale, respectivement, qui posent les problèmes les plus graves. La situation est particulièrement difficile pour l'agriculture pluviale à faibles niveaux d'intrants, qui occupe généralement le premier rang des systèmes de production dans les pays

à faible revenu et parmi les groupes pauvres et vulnérables. Il est probable que la production supplémentaire dont on aura besoin pour satisfaire la demande alimentaire future sera obtenue par augmentation de la productivité des cultures existantes. À mesure que les populations croîtront et que les économies se développeront, que les modes de consommation privilégieront davantage des aliments plus gourmands en eau et que les effets du changement climatique s'intensifieront, il faudra trouver des solutions

techniques d'adaptation pour accroître la productivité de l'eau dans les cultures pluviales et irriguées et, parallèlement, préserver les débits écologiques (voir le chapitre 3). Pour y parvenir, il faudra des institutions et des mesures d'incitation adéquates (présentées au chapitre 4). Dans certains cas, le commerce d'eau virtuelle pourra permettre de réduire l'utilisation de l'eau et de ralentir l'appauvrissement des ressources hydriques. ■

ZOOM

AGRICULTURE, POLLUTION DE L'EAU ET SALINITÉ

La qualité de l'eau est au cœur des objectifs de développement durable (ODD). Elle est essentielle au bien-être des hommes et des femmes ainsi qu'à l'agriculture – qui englobe l'élevage, la pêche continentale et l'aquaculture – à l'industrie, aux collectivités, ainsi qu'aux écosystèmes d'eau douce et aux services qu'ils fournissent. La pollution et la salinité posent des problèmes à l'échelle mondiale, dans les pays à revenu élevé comme dans les pays à faible revenu. Ces deux phénomènes menacent la croissance économique, la durabilité environnementale et la santé de milliards de personnes⁷⁸. Agriculture et eau sont étroitement liées et entretiennent des liens réciproques. De mauvaises pratiques agricoles entraînent une augmentation de la charge de polluants (nutriments, sels, sédiments, produits agrochimiques et agents pathogènes) dans les eaux souterraines et les eaux de surface. Dans de nombreux pays, l'agriculture est la principale cause de pollution des eaux. À l'inverse, la mauvaise qualité de l'eau peut gravement nuire au secteur agricole et de ce fait, accroître les coûts et diminuer la rentabilité. L'agriculture peut donc être à la fois cause de la pollution de l'eau et victime de celle-ci.

La pollution de l'eau – l'agriculture en cause

Les pressions exercées par le secteur agricole sur la qualité de l'eau proviennent de la culture, de l'élevage et de l'aquaculture. Ces activités se sont développées et intensifiées pour satisfaire la demande croissante découlant de la croissance démographique et économique et de l'évolution des

modes d'alimentation⁷⁸. Si la culture et l'élevage sont les principales sources de pollution, l'aquaculture pose également problème. À titre d'exemple, le Chili s'est appliqué à mettre en place des mesures de biosécurité dans sa production de saumon. Pourtant, le développement de la production de saumon continue de poser de sérieux problèmes sanitaires et environnementaux, avec notamment la propagation du virus de l'anémie infectieuse du saumon. Face à cette situation, le secteur s'est doté d'objectifs ambitieux afin de réduire progressivement l'utilisation d'antibiotiques, et des travaux de recherche ont été entrepris pour contribuer à instaurer une aquaculture qui soit durable, tant au plan social qu'au plan environnemental⁷⁹. Les polluants issus de l'agriculture (culture, élevage et aquaculture) atteignent les ressources hydriques de multiples manières. Le trajet suivi est généralement le suivant: i) dissolution dans le sol puis percolation profonde et recharge des aquifères; ii) ruissellement, drainage et inondations, puis passage dans les rivières, fleuves et estuaires; iii) érosion naturelle ou causée par l'homme, puis cours d'eau qui se chargent de sédiments⁷⁸. On distingue souvent la pollution ponctuelle de la pollution diffuse, selon la source et selon le chemin parcouru jusqu'au milieu receveur. Ce dernier point est un élément important des politiques relatives à la qualité de l'eau et de la réglementation en matière de pollution:

- ▶ La pollution ponctuelle provient d'une activité agricole identifiable et est libérée directement dans l'eau dans un endroit bien défini. On peut citer comme exemple les activités d'élevage intensif en milieu

ZOOM
**AGRICULTURE, POLLUTION
 DE L'EAU ET SALINITE**

confiné. On peut également citer les effluents (fumier, lisier et eaux usées) des parcs d'engraissement et des élevages intensifs à grande échelle; les rejets de l'aquaculture; le drainage des eaux d'irrigation; et l'élimination des carcasses d'animaux.

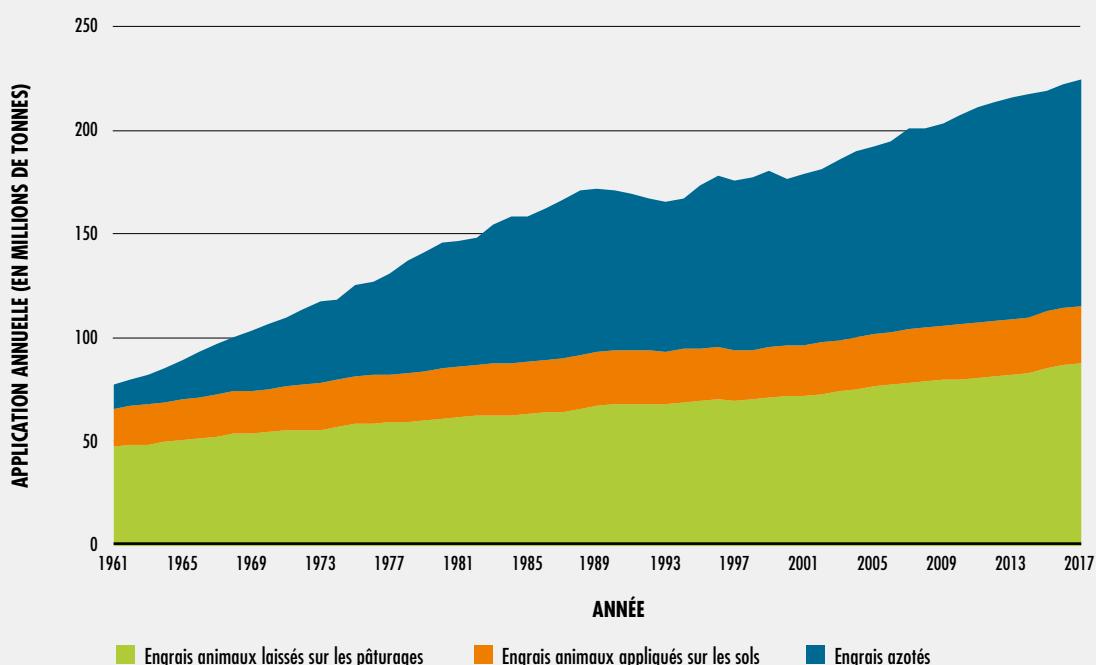
- ▶ La pollution diffuse a de multiples origines agricoles impossibles à identifier et difficiles à mesurer en raison de leur caractère diffus. C'est le cas, par exemple, de l'épandage de fumier; du déplacement des particules du sol, des engrais, des pesticides, des bactéries, des microorganismes et des antimicrobiens par le lessivage; et du ruissellement des terres cultivées et des pâturages jusqu'aux eaux souterraines.

Les principaux polluants de l'eau qui trouvent leur origine dans l'agriculture sont les éléments nutritifs, les pesticides, les sels, les sédiments, le carbone

organique, les agents pathogènes, les métaux lourds et les résidus de médicaments, et ce sont aussi les principales cibles de la lutte contre cette pollution⁷⁸. Typiquement, ils proviennent de sources de pollution diffuses, par des voies de pollution elles aussi diffuses^{78, 80}.

L'utilisation d'engrais chimiques et d'effluents d'élevage visant à apporter des éléments nutritifs (azote, phosphore et potassium) aux terres cultivées a fortement augmenté au cours des dernières décennies (voir la figure A). L'azote et le phosphore en excédent, non absorbés par les cultures, peut se répandre par ruissellement, et porter atteinte à la qualité de l'eau⁸¹. Sur les 115 millions de tonnes d'effluents d'élevage déposés ou épandus sur les sols en 2017, un tiers environ ont été perdus par lessivage ou emportés par le ruissellement des eaux de surface⁸².

FIGURE A
APPORTS D'ÉLÉMENTS NUTRITIFS AUX SOLS AGRICOLES (ENGRAIS ANIMAUX ET ENGRAIS DE SYNTHÈSE),
À L'ÉCHELLE MONDIALE, 1961-2017



NOTE: Les catégories «engrais animaux laissés sur les pâtures» et «engrais animaux appliqués sur les sols» fournissent une estimation des apports d'azote provenant des effluents d'élevage et des pertes par lessivage et par volatilisation. La catégorie «engrais animaux appliqués sur les sols» ne comprend pas les déjections laissées sur les pâtures et se limite aux applications effectuées sur les sols agricoles à l'issue des opérations de gestion du fumier.

SOURCE: FAO, 2020⁸³.

Par ailleurs, d'autres produits agrochimiques, les pesticides notamment, qui comprennent les insecticides, les herbicides, les fongicides et les régulateurs de croissance des plantes, sont largement utilisés par le secteur agricole⁷⁸. Depuis 1990, la consommation de pesticides à l'échelle mondiale a augmenté de 80 pour cent, mais leur utilisation s'est stabilisée au cours de ces dix dernières années⁸³. Les pesticides empruntent principalement cinq voies pour atteindre les ressources en eau: i) ils sont emportés par le ruissellement des eaux de surface; ii) ils se dispersent hors de la zone prévue lorsqu'ils sont pulvérisés; iii) ils sont lessivés dans le sol; iv) ils sont déversés accidentellement; v) ils sont emportés par l'érosion du sol⁸⁴. Certes, l'utilisation de pesticides a permis le développement de l'agriculture, mais lorsqu'ils sont mal utilisés, ceux-ci peuvent répandre dans la nature des substances toxiques qui polluent les eaux et nuisent aux populations.

La disponibilité et l'utilisation de médicaments antimicrobiens dans l'élevage, terrestre et aquatique, et dans la culture sont également essentielles pour la santé et la productivité⁸⁵. Toutefois, la résistance aux antimicrobiens – c'est-à-dire le fait que des micro-organismes (bactéries, champignons, virus et parasites) développent une résistance aux substances telles que les antibiotiques – pose un sérieux problème de pollution car elle a des répercussions sur les ressources terrestres et aquatiques, et donc sur la biodiversité, et nuit à la santé humaine et aux moyens de subsistance⁸⁶. La résistance aux antimicrobiens cause environ 700 000 décès chaque année⁸⁷. Il est vrai que ce phénomène peut se produire naturellement, par l'adaptation des microbes à l'environnement, mais il s'est exacerbé par une utilisation inadaptée et excessive des antimicrobiens⁸⁵. On estime que les deux tiers de la croissance de la consommation d'antimicrobiens devraient se produire dans le secteur de l'élevage, ce qui est particulièrement préoccupant⁸⁸. Souvent, les antimicrobiens ne sont que partiellement assimilés par les animaux d'élevage et sont excrétés dans l'environnement pratiquement sans avoir subi de modification⁸⁹. Les principales voies empruntées par les antimicrobiens pour atteindre les cours d'eau, dans les zones agricoles, sont les suivantes: i) déversement direct d'eaux usées non traitées (eau issue des activités d'élevage); ii) ruissellement des eaux de surface s'écoulant sur des terrains fertilisés à l'aide de fumier

ou de lisier non traités, ou sur des pâturages où se déposent les excréments des animaux.

Salinité et agriculture

On trouve des sols salinisés dans plus de 100 pays et à l'échelle mondiale, on estime qu'ils s'étendent sur environ 1 milliard d'hectares⁹⁰. Il est tout à fait naturel que les sels minéraux se dissolvent dans l'eau, à des niveaux de concentration différents, selon la source (par exemple les eaux souterraines), le lieu et le moment de l'année⁹¹. Lorsqu'ils sont mobilisés et du fait de leur concentration, les sels peuvent dégrader la qualité des eaux douces de surface – zones humides, cours d'eau, lacs, réservoirs et estuaires⁷⁸. Ils peuvent également nuire à la croissance des plantes car en s'accumulant au niveau des racines, ils réduisent la capacité de la plante de tirer du sol suffisamment d'eau⁹².

La salinisation des sols imputable à l'agriculture pose un problème majeur et peut avoir diverses causes: i) la surexploitation des eaux souterraines dans les zones côtières, qui entraîne des intrusions d'eau de mer dans les aquifères d'eau douce; ii) l'irrigation excessive, qui provoque une remontée des aquifères salins et augmente l'infiltration des eaux souterraines salines dans les cours d'eau, favorisant ainsi leur salinisation⁷⁸; et iii) l'eau d'irrigation rejetée par transpiration végétale ou évaporée, qui laisse dans le sol, si celui-ci n'est pas drainé, la plupart des sels dissous, causant une salinisation du sol. Là où il y a salinisation, une autre irrigation est nécessaire pour évacuer les sels situés au niveau des racines des plantes, ce qui accentue la raréfaction de l'eau⁹⁰.

Le drainage (naturel ou artificiel) pratiqué pour éliminer l'excès d'eau de surface et d'eau du sol se retrouve dans les systèmes d'irrigation bien conçus. Il permet de préserver des conditions d'humidité favorables à une croissance optimale des plantes, d'éviter l'engorgement, de pallier aux dysfonctionnements mécaniques et de maîtriser la salinité du sol. Le développement de l'irrigation doit s'accompagner d'une généralisation du drainage et des mesures de conservation et de recyclage de l'eau douce dans le cadre de la réutilisation des eaux de drainage^k. L'application excessive d'enfrais

^k Pour consulter un guide complet sur la gestion du drainage et de la salinité, voir Tanji et Kielien, 2002⁹³.

ZOOM
**AGRICULTURE, POLLUTION
DE L'EAU ET SALINITE**

SÉNÉGAL

Une agricultrice traite ses choux à
l'aide d'un pesticide organique.
©FAO/Olivier Asselin



» est susceptible d'augmenter la concentration de sels dans les eaux de drainage des zones irriguées et dans les eaux issues du ruissellement et de la percolation, dans les zones pluviales⁷⁸. Par rapport à l'irrigation, l'aquaculture et l'élevage sont peu responsables de la salinisation de l'eau (sauf par le biais de la production d'aliments destinés au bétail); des effets ne se font sentir que localement, dans les régions d'élevage ou d'aquaculture plus intensifs⁷⁸.

Parmi les mesures de lutte contre la salinisation des sols, on compte le lessivage des sels par irrigation supplémentaire, l'utilisation de produits chimiques et le recours à des solutions biologiques telles que la culture de plantes, de graminées et d'arbustes adaptés aux sols salins⁹⁰. L'Égypte et l'Iraq ont installé des systèmes de drainage superficiel et souterrain afin de lutter contre la remontée des nappes phréatiques et d'enrayer la salinité du sol. Pour dresser la carte mondiale de la salinité des sols et mieux comprendre les facteurs de salinisation des sols, les indicateurs et les méthodes de classification, la FAO collabore avec plusieurs pays, ce qui permettra d'établir des données qui serviront à cartographier la salinité des sols au niveau national⁹⁴.

La pollution de l'eau – l'agriculture victime

La qualité médiocre de l'eau menace la santé des populations et de l'environnement, la productivité agricole et les écosystèmes aquatiques.

Lorsqu'aucune précaution n'est prise, l'utilisation des eaux usées dans le secteur agricole peut entraîner une accumulation de substances microbiologiques et chimiques polluantes dans les cultures, les produits d'origine animale, ainsi que les sols et les ressources en eau, et peut par la suite avoir des répercussions graves sur la santé des consommateurs et des travailleurs agricoles. Elle risque également d'exacerber la résistance aux antimicrobiens. Okorogbona *et al.* (2018) ont constaté que les eaux usées non traitées et les eaux souterraines de mauvaise qualité utilisées dans la culture des légumes, et notamment du concombre, nuisaient à la croissance des plantes. Lorsqu'à la place on irrigue avec des eaux pluviales, les plants de concombres atteignent une hauteur deux fois supérieure⁹⁵. La qualité des eaux joue également sur la consommation totale de cette ressource et sur la santé générale des animaux d'élevage. Ces derniers peuvent globalement tolérer une qualité

d'eau médiocre, mais certains composants en particulier (matières solides dissoutes, par exemple) peuvent nuire à leur croissance, à la lactation et à la reproduction, entraînant une perte économique pour les producteurs⁹⁶. Par ailleurs, la mauvaise qualité de l'eau peut avoir des répercussions sur la production aquacole. L'eutrophisation des eaux due aux ruissellements agricoles peut, dans un premier temps, stimuler la productivité des poissons. Mais, si elle n'est pas contrôlée, elle peut entraîner une dégradation de l'environnement et des pertes pour la pêche.

Les sédiments organiques et inorganiques en suspension dans l'eau causent des problèmes dans les systèmes d'irrigation car ils bouchent les vannes, les têtes d'arrosage et les goutteurs⁹². Ils peuvent aussi entraîner une corrosion des conduits et des pompes, ainsi que des incrustations, et engorger les canaux et les fossés, obligeant à des opérations de dragage et à un entretien coûteux. Les sédiments ont tendance à réduire encore le taux d'infiltration de l'eau dans les sols déjà peu perméables⁹². Les systèmes d'irrigation qui utilisent des eaux de source fortement concentrées en sels peuvent saliniser les terrains si le sel s'accumule au niveau des racines des plantes à un degré qu'elles ne peuvent pas tolérer.

Des solutions à la pollution des eaux par l'agriculture

Complexe et multidimensionnelle, la pollution des eaux due à l'agriculture nécessite, si on veut être efficace, de mener un ensemble d'actions. Il s'agit de répondre à la demande en nourriture qui ne cesse de croître et, parallèlement, de limiter les rejets de contaminants dans les systèmes aquatiques. Il faudra pour cela que les responsables politiques et les agriculteurs prennent des mesures qui pèsent le moins possible sur la société, y compris les coûts de mise en conformité supportés par les agriculteurs et les coûts de transaction des politiques suivies, en gardant à l'esprit l'équité et les considérations sociales⁹⁷.

Il est primordial d'adopter les pratiques agricoles et les technologies les plus efficaces pour prévenir les émissions polluantes provenant des exploitations (en réduisant le lessivage des nitrates et du phosphore, par exemple)⁷⁸. Parmi les bonnes

pratiques on peut citer: i) les méthodes de conservation des eaux et des sols, telles que le travail minimal du sol ou le labour zéro, et d'autres méthodes de culture qui permettent de réduire l'érosion, à l'instar des terrasses et de l'agroforesterie; ii) les bandes filtrantes végétales qui préviennent les écoulements de surface, ou encore la remise en état des terres humides et le drainage des champs; iii) la mise en place de zones tampons le long des cours d'eau, pour réduire le lessivage des nutriments dans ces derniers. La restauration des terres humides a aussi prouvé qu'elle pouvait être une arme efficace contre les fuites d'azote des terres cultivées vers les eaux de surface^{98, 99, 100, 101}. En effet, la végétation absorbe l'azote et l'humidité des sols favorise la dénitrification. Les terres humides permettent par ailleurs de rétablir la biodiversité aquatique, ainsi que la faune et la flore qui lui sont associées.

La grande quantité d'effluents d'élevage produite sur la planète offre aussi une véritable opportunité sur les plans agronomique et économique. Il est essentiel d'améliorer la productivité de l'élevage et des ressources en eau, ainsi que la fertilité des sols et la gestion des nutriments (quantité, emplacement, forme et moment d'application des nutriments dans le sol)¹⁰². Les directives du partenariat LEAP, qui visent à évaluer les flux de nutriments et les effets de l'eutrophisation et de l'acidification dans les filières d'élevage, fournissent un cadre qui peut s'adapter aux contextes nationaux¹⁰³.

Ces pratiques et systèmes, s'ils sont mal gérés, sont responsables d'une pollution des systèmes aquatiques. Réduire la pollution de l'eau peut présenter un intérêt pour les agriculteurs, à savoir fournir une eau potable non contaminée aux animaux d'élevage, mais le plus souvent ils négligent les services écosystémiques. Pour faire évoluer les pratiques agricoles et la manière dont les territoires sont exploités, il faudra sans doute adopter une réglementation, mettre en place des instruments économiques, éduquer et sensibiliser, passer des accords de coopération, et investir dans la recherche et l'innovation⁷⁸. En Chine, une campagne nationale menée de 2005 à 2015 a rassemblé 65 000 agents de vulgarisation, 1 000 collaborateurs et 130 000 professionnels de l'agroalimentaire, qui ont travaillé auprès de

presque 21 millions d'agriculteurs à la mise en œuvre de pratiques de gestion intégrée des sols et des cultures¹⁰⁴. Ces nouvelles pratiques ont permis d'augmenter les rendements moyens (pour le maïs, le riz et le blé) de presque 12 pour cent, soit une augmentation de la production nette de céréales de 33 millions de tonnes. Les applications d'azote ont diminué de 15 à 18 pour cent, soit une économie de 1,2 million de tonnes d'engrais azotés. La hausse de la production de céréales et la diminution de la consommation d'engrais azotés, représentaient au total une valeur de 12,2 milliards d'USD.

Les instruments de réglementation les plus courants sont les normes de qualité de l'eau, les permis de rejets de polluants, les meilleures pratiques environnementales d'application obligatoire, les restrictions sur certaines pratiques agricoles et sur leur emplacement, et les restrictions sur la vente de produits dangereux⁷⁸. Selon une analyse récente, la synergie des différentes approches (réglementation, incitations économiques et information) est plus efficace que la réglementation seule^{97, 105}. Les instruments économiques, tels que les taxes sur la pollution, les subventions ciblées, les redevances et les droits d'utilisation de l'eau, pourraient être renforcés et utilisés plus largement pour améliorer le rapport coût-efficacité des mesures de lutte contre la pollution, promouvoir l'innovation et garantir l'accès des ménages les plus pauvres aux ressources en eau. Si l'application de ces instruments à la pollution diffuse est difficile, plusieurs approches novatrices peuvent apporter des solutions pratiques.

On peut considérer le principe pollueur-payeur comme un point de départ pour préserver la qualité de l'eau. On considère que la pollution a un prix, à savoir d'une part un coût qui incitera les pollueurs à moins polluer, et d'autre part un revenu qui servira à atténuer la pollution et à compenser les coûts sociaux (au moyen de redevances sur la pollution). L'application de ce principe pose cependant plusieurs problèmes: il est difficile d'identifier les pollueurs et de dégager des estimations fiables concernant les coûts de la pollution¹⁰⁵. Une partie de la solution consiste à mesurer les coûts et les avantages d'une réduction de la pollution de l'eau, et à déterminer qui doit supporter les coûts et qui doit profiter des avantages.

L'administration centrale a donc un rôle essentiel à jouer dans la transition vers une gestion plus efficace des risques liés à la pollution diffuse de l'eau¹⁰⁵. Plusieurs recommandations peuvent être formulées à cet égard:

- ▶ des orientations globales en matière de politiques nationales et une trajectoire claire concernant les améliorations à apporter à la qualité de l'eau, de manière à envoyer les bons signaux aux autorités locales, aux parties prenantes et aux investisseurs;
- ▶ des cadres réglementaires et l'application de normes minimales de qualité de l'eau devant permettre d'améliorer les résultats, les innovations et les investissements en matière de qualité de l'eau;

- ▶ un espace destiné aux parties prenantes – agriculture, environnement, usagers – et des moyens permettant l'engagement communautaire, afin de faire face aux risques réels ou perçus, et de dégager des solutions consensuelles;
- ▶ l'information sur les politiques mises en place et sur les options possibles pour faire appliquer les normes minimales, afin que la situation évolue et que les parties prenantes aient moins d'objections;
- ▶ un financement public d'amorçage et un espace d'expérimentation, afin de faire connaître à un grand nombre de ménages, en particulier les plus vulnérables, des techniques et des méthodes nouvelles qui réduisent les coûts de gestion de la qualité de l'eau (par exemple, des projets pilotes de réutilisation des eaux usées). ■



NIGER

Des agricultrices tirent de l'eau d'un puits pour arroser leurs champs.
©FAO/Giulio Napolitano



CHAPITRE 3

PRISE EN CHARGE DES CONTRAINTES HYDRIQUES DANS LE SECTEUR AGRICOLE

Messages clés

- ➔ Une gestion innovante de l'eau utilisée dans la culture, l'élevage et la pêche et l'aquaculture continentales ouvre de grandes possibilités de favoriser la résilience au changement climatique ainsi que des systèmes alimentaires durables, surtout si on l'associe à une utilisation optimale des intrants, à une bonne gestion des sols et une bonne conduite des cultures, et à un environnement porteur.
- ➔ La récupération et la conservation de l'eau, couplées aux meilleures pratiques agronomiques, peuvent accroître les rendements des terres cultivées sans irrigation. D'après une étude, ces pratiques pourraient augmenter la production pluviale mondiale en kilocalories dans une proportion qui peut atteindre 24 pour cent; si on les associe à un développement de l'irrigation, l'augmentation pourrait être de plus de 40 pour cent.
- ➔ Un investissement rentable et durable dans la remise en état et la modernisation de l'irrigation peut améliorer la productivité de l'eau dans les zones irriguées.
- ➔ La production animale présente de nombreuses possibilités d'accroissement de la productivité de l'eau, par un meilleur usage des pâturages, des aliments pour animaux et de l'eau d'abreuvement, une amélioration de la santé des animaux, et une intégration de la culture, de l'élevage et de l'aquaculture.
- ➔ Investir dans des utilisations non consommatoires d'eau, comme l'aquaculture, et dans des sources non conventionnelles, telles que la réutilisation et le dessalement, devient de plus en plus important pour compenser la rareté.
- ➔ La mise à profit des technologies de l'information et de la communication permet aux agriculteurs de gagner en autonomie, car elle améliore la gestion et la productivité de l'eau, les revenus, la sécurité alimentaire et la nutrition, et la durabilité environnementale.

PRISE EN CHARGE DES CONTRAINTES HYDRIQUES DANS LE SECTEUR AGRICOLE

Le chapitre 2 a montré que de nombreuses régions font face à de graves contraintes hydriques, qui vont de la sécheresse au stress hydrique. La croissance démographique, la hausse des revenus, l'urbanisation croissante, l'évolution de l'alimentation et le changement climatique pourraient agraver les risques hydrologiques, produisant sur les systèmes de production des effets préjudiciables qui ne sont pas encore décelables. Veiller à ce que l'agriculture et les systèmes alimentaires répondent aux besoins d'une population croissante de façon inclusive et durable nécessitera des transformations majeures. Celles-ci comprendront vraisemblablement des changements techniques et de l'innovation, mais seront aussi grandement influencées par la gouvernance, les cadres institutionnels et les cadres d'action publique (pour une analyse plus poussée, voir les chapitres 4 et 5). Le présent chapitre examine les technologies et les méthodes de gestion visant à remédier aux situations de rareté de l'eau et de pénurie dans l'agriculture, et à parvenir à la sécurité alimentaire et à la nutrition de façon durable. Il évalue les options possibles pour différents systèmes de production – culture, élevage, pêche et aquaculture continentales, en zones pluviales ou irriguées – compte tenu de problèmes hydrologiques distincts. Le chapitre se conclut sur un examen du rôle que l'aquaculture peut jouer dans la réduction des situations de contrainte hydrique et dans l'instauration d'un système alimentaire durable. ■

REPENSER LES VOIES À SUIVRE POUR SORTIR DES SITUATIONS DE RARETÉ DE L'EAU ET DE PÉNURIE

Près d'un sixième de la population mondiale vit dans des zones où sévissent un stress hydrique très élevé ou de fréquents épisodes de sécheresse grave, voire les deux, ce qui menace la croissance économique, la sécurité alimentaire et la nutrition, et les moyens d'existence des personnes. Ces problèmes doivent être abordés en tenant compte du changement climatique, qui va aggraver les problèmes de rareté de l'eau et de pénurie et influer défavorablement sur la production agricole, en particulier dans les régions tropicales et celles situées aux basses latitudes^{1, 2, 3}. Une gestion plus durable des zones irriguées est essentielle, mais la gestion de l'eau dans les zones de culture et de pâture pluviales représente également une part importante de la solution. Des possibilités d'amélioration des rendements existent, dans les systèmes pluviaux comme dans les systèmes irrigués, et pour toutes les cultures et les emplacements géographiques^{4, 5, 6}.

La qualité de la gestion de l'eau revêt une importance cruciale si l'on veut réduire les écarts de rendement. Son adoption par les agriculteurs va dépendre, entre autres, des facteurs suivants: i) accessibilité de l'eau; ii) risque hydrologique; iii) niveau d'incertitude entourant le changement climatique; iv) coût des autres intrants; et v) avantages nets des stratégies de gestion de l'eau. Un accès garanti mais limité à l'eau incite les agriculteurs à gagner en efficience dans leur utilisation de cette ressource et à réduire leurs prélèvements. Plus le risque hydrologique est

grand, plus les agriculteurs sont encouragés à changer leur usage et leur gestion de l'eau. Ces changements peuvent aussi exiger des variations dans d'autres intrants, notamment la main-d'œuvre et l'énergie. Au final, ce sont le coût et les avantages net associés qui pèseront sur la décision d'adopter de nouvelles stratégies de gestion de l'eau⁷.

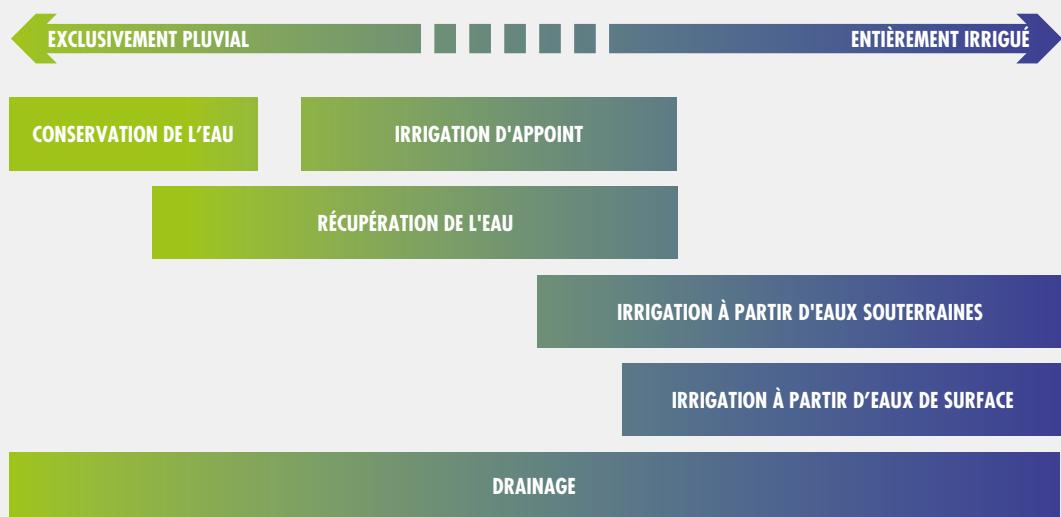
Tous les risques hydrologiques ne peuvent pas être gérés par les seuls agriculteurs, pas plus qu'ils ne dépendent exclusivement des décisions prises par ces derniers. Certains nécessiteront une intervention et des initiatives du secteur public. Les petites variations de rendement résultant d'une irrégularité dans les précipitations relèvent de décisions opérationnelles normales prises sur l'exploitation, mais les risques hydrologiques plus calamiteux, qui entraînent de grands dommages, peuvent imposer l'intervention des pouvoirs publics⁸. Les agriculteurs ne comprennent pas nécessairement l'état actuel et l'évolution future de l'offre et de la demande d'eau. L'investissement public dans la comptabilité de l'eau – l'évaluation systématique de l'état et de l'évolution des ressources – et la diffusion des résultats, accompagnés de campagnes de sensibilisation, sont des composantes vitales des politiques en matière de risques hydrologiques, de changement climatique et d'encouragement des agriculteurs à faire de l'eau une utilisation durable (voir le chapitre 4)^{9, 10}. Les pouvoirs publics peuvent aussi jouer un rôle important dans l'élimination des obstacles – un accès limité aux marchés, par exemple – qui découragent les agriculteurs de gérer les ressources en eau.

Les sections qui suivent examinent les options techniques et les stratégies de gestion qui s'offrent aux agriculteurs pratiquant une agriculture pluviale ou irriguée. Il n'existe pas de frontière nette entre ces deux systèmes, et

la gestion de l'eau comprend un large éventail d'options – conditions de production, d'un système intégralement pluvial à un système totalement irrigué, soutien de l'élevage, des forêts et de la pêche, ou encore interactions avec des écosystèmes importants¹¹. La figure 14 illustre la palette d'options disponibles lorsqu'on passe d'un système exclusivement pluvial (vert) à un système exclusivement irrigué (bleu). Le dégradé du vert au bleu renvoie aux pratiques des agriculteurs qui utilisent à la fois les précipitations et l'irrigation et qui ne sont pas totalement tributaires d'une pratique ou de l'autre, mais jouent sur les deux.

Le continuum commence avec les agriculteurs des zones purement pluviales, qui appliquent des pratiques de conservation sur leur exploitation dans le but de stocker l'eau de pluie dans le sol (voir la case Conservation de l'eau de la figure 14). Il se poursuit avec les exploitants des zones pluviales qui récupèrent l'eau de pluie ou gèrent les eaux de ruissellement (issues d'une source en surface ou d'un aquifère) pour pratiquer une irrigation d'appoint susceptible d'améliorer la production végétale. Cette eau douce supplémentaire a d'autres usages dans les systèmes intégrés d'aquaculture et d'élevage. (Pour un examen plus approfondi du rôle de l'aquaculture et des systèmes agricoles intégrés, voir Zoom: L'aquaculture aux fins d'une utilisation durable de l'eau dans les systèmes alimentaires, p. 91.) Dans les systèmes totalement irrigués, les agriculteurs ont accès à une eau de surface ou une eau souterraine abordable (voir les cases essentiellement bleues). Le drainage est une autre composante importante sur l'ensemble du continuum. Les agriculteurs situés en zone pluviale peuvent réduire au maximum le drainage vers la surface de la nappe phréatique en augmentant la quantité d'eau absorbée par les racines. Dans les systèmes irrigués, si les agriculteurs distribuent trop d'eau, le drainage

FIGURE 14
GESTION DE L'EAU À USAGE AGRICOLE, DES SYSTÈMES PLUVIAUX AUX SYSTÈMES IRRIGUÉS



NOTE: Les cases essentiellement vertes renvoient aux pratiques de gestion de l'eau des agriculteurs qui dépendent des précipitations, mais peuvent toujours recourir à une forme d'irrigation. Les cases essentiellement bleues renvoient à l'irrigation pratiquée par des agriculteurs opérant en zone exclusivement irriguée ou par des agriculteurs de zones pluviales ayant quelque accès à l'irrigation.

SOURCE: Élaborée par la FAO, d'après Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, 2007, figure 1.1¹¹.

déterminera le niveau de la nappe phréatique et la salinité du sol. (Voir Zoom: Trop d'eau? Inondations, engorgement et agriculture, p. 119.)

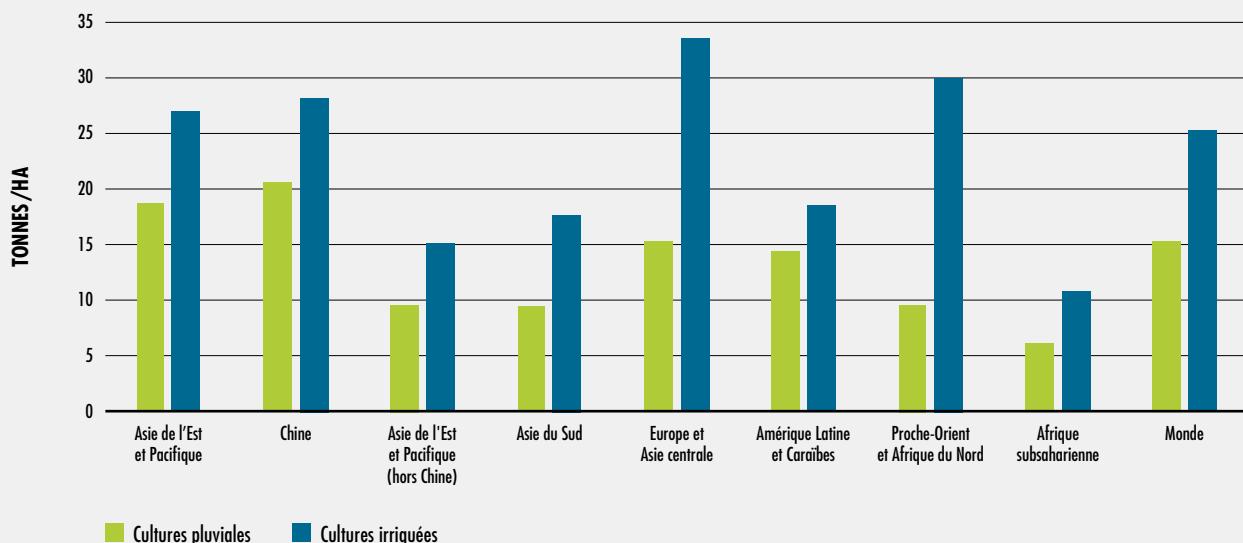
Les pratiques innovantes de gestion de l'eau doivent viser à i) réduire la consommation d'eau dans l'agriculture pour accroître la part disponible pour d'autres utilisateurs et ii) améliorer la résilience des systèmes de production face à des situations de rareté de l'eau et de pénurie de plus en plus fréquentes. La gestion de l'eau doit être couplée à de meilleures pratiques agronomiques (variétés résistantes à la sécheresse, adéquation du semis et de la plantation des cultures, etc.), à une amélioration de la durabilité environnementale par la réduction des charges de sédiments et des polluants, à une meilleure santé des sols, à une réduction des ruissellements de surface et à une réalimentation accrue des nappes phréatiques peu profondes. Les investissements doivent être économiquement, socialement et culturellement viables, ce qui demande des institutions et une

gouvernance solides pour garantir une répartition équitable des avantages, l'amélioration de la sécurité alimentaire et de la nutrition, et des moyens d'existence durables. Les Principes pour un investissement responsable dans l'agriculture et les systèmes alimentaires, approuvés par le Comité de la sécurité alimentaire mondiale, peuvent servir de cadre aux parties prenantes pour tout type d'investissement agricole¹². ■

CONCRÉTISER LES POSSIBILITÉS QU'OFFRE LA PRODUCTION VÉGÉTALE PLUVIALE

La production pluviale est prédominante dans l'agriculture, puisqu'elle se pratique sur 80 pour cent du total des terres cultivées (voir la figure 11, p. 43). Les agriculteurs, et en particulier

FIGURE 15
RENDEMENT DES CULTURES MARAÎCHÈRES PAR RÉGION, 2012



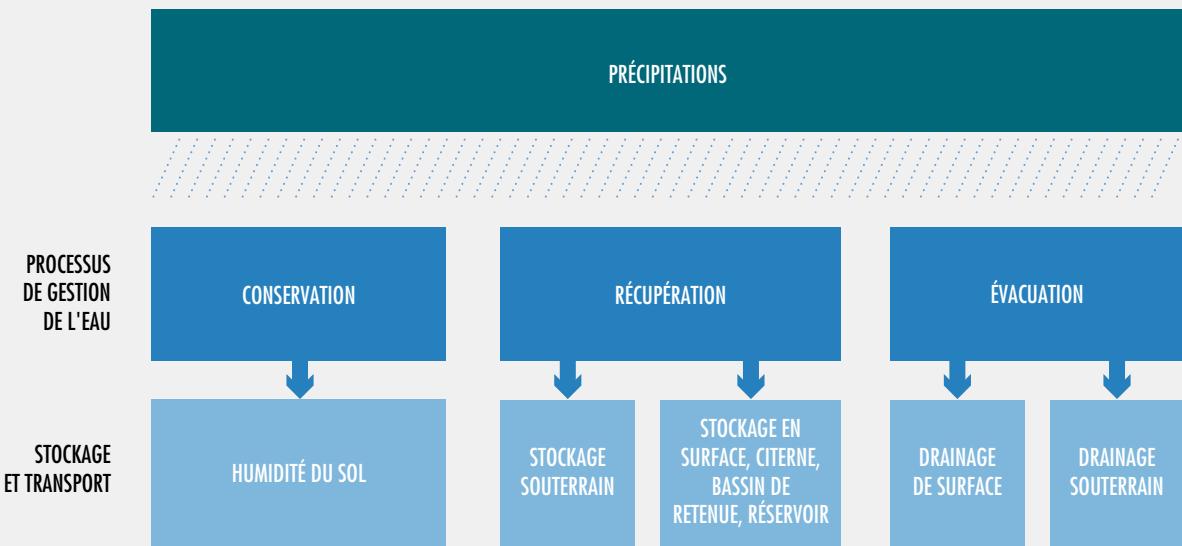
SOURCE: FAO, 2018, tableau S 2.1¹⁹.

les petits exploitants, ont une influence limitée sur le volume d'eau apporté aux plantes et sur la répartition dans le temps de cet apport¹³. Le principal problème consiste à gérer la variabilité des conditions météorologiques, les températures et les régimes des pluies, et à s'y adapter. Les analyses au niveau mondial estiment que les événements météorologiques extrêmes touchant les précipitations et la température peuvent expliquer entre 18 et 43 pour cent de la variation de rendement des principales cultures, notamment le maïs, le riz, le soja et le blé¹⁴. À mesure que les pénuries d'eau augmenteront et que la croissance démographique et le développement économique s'accéléreront, des pressions vont s'exercer sur tous les systèmes agricoles, et particulièrement les systèmes pluviaux, pour qu'ils utilisent l'eau de façon plus productive. Le chapitre 2 a établi une distinction supplémentaire entre les systèmes de production pluviaux à faible niveau d'intrants et à haut niveau d'intrants. La difficulté que présentent les pénuries d'eau est la même pour ces deux

catégories, mais la capacité à y faire face diffère. Il est en effet plus aisé pour les agriculteurs qui pratiquent une agriculture à haut niveau d'intrants d'investir dans l'amélioration de leur gestion de l'eau et de leurs pratiques agronomiques pour s'assurer que les rares précipitations seront utilisées de la façon la plus efficiente possible.

Les rendements de l'agriculture pluviale demeurent inférieurs à ceux des systèmes irrigués (figure 15), et des écarts de rendement considérables persistent à l'échelle mondiale et régionale^{5, 15}. On s'attend à ce que ces écarts correspondent largement à la catégorisation en systèmes à faible et à haut niveau d'intrants. Il est tout à fait possible d'augmenter les rendements en Afrique, en Europe de l'Est et du Sud-Ouest et dans certaines parties de l'Asie, où les écarts sont dus pour une grande part à une combinaison de pénuries d'eau et de déficits en éléments nutritifs^{5, 15, 16}. Dans les régions tempérées, comme en Europe de l'Ouest et en Amérique du Nord, où

FIGURE 16
PRINCIPALES PRATIQUES DE GESTION DE L'EAU DANS L'AGRICULTURE PLUVIALE



SOURCE: Élaborée par la FAO, d'après Barron, 2020²⁰.

une proportion considérable des terres cultivées le sont sans irrigation et avec un haut niveau d'intrants (voir la figure 11, p. 43), les rendements céréaliers dépassent souvent 6 tonnes par hectare, contre une moyenne mondiale de 4 tonnes par hectare¹⁷. En Europe centrale et en Europe de l'Ouest, une irrigation d'appoint permet de maintenir les rendements durant les étés secs¹⁸. En Europe de l'Est, ces rendements demeurent inférieurs, ce qui laisse penser que la réalisation du vaste potentiel de la région dépendra d'une nouvelle gestion de l'eau à usage agricole ainsi que de l'évolution technologique.

Alors que certains pays situés en zone tropicale dépassent souvent les 5 tonnes par hectare pour les céréales, d'autres n'excèdent pas 2 tonnes par hectare. Ce constat indique que les contraintes biophysiques à l'origine des rendements médiocres de l'agriculture pluviale, en particulier dans les pays tropicaux à faible revenu, peuvent être levées, entre autres, par une gestion de l'eau appropriée couplée à de meilleures pratiques agronomiques.

Exploiter au mieux la pluviosité pour améliorer la productivité des cultures pluviales

Deux grandes stratégies permettent d'accroître les rendements de l'agriculture pluviale: i) collecter ou récupérer davantage d'eau, par une infiltration dans la zone racinaire; et ii) assurer une conservation de l'eau en accroissant la capacité d'absorption de la plante et/ou en réduisant l'évaporation au niveau de la zone racinaire et les pertes par drainage. Lorsque le problème est un excès d'eau, les stratégies s'orientent plutôt vers des pratiques d'évacuation permettant de l'éliminer. La figure 16 illustre différentes options, décrites le long d'un continuum qui va d'une production exclusivement tributaire des précipitations à des situations dans lesquelles les agriculteurs comptent en partie sur une irrigation d'appoint.

Les techniques et technologies de conservation des sols et de l'eau – première case à gauche de la figure 16 – jouent un rôle clé pour optimiser l'utilisation des précipitations; elles contrôlent

l'eau disponible pour une culture en agissant sur la quantité d'eau présente dans la zone racinaire. La culture en terrasses, l'agroforesterie, la culture suivant les courbes de niveau et l'agriculture de conservation peuvent modifier et améliorer la teneur en eau du sol de façon à conserver l'humidité et prévenir l'érosion²¹. Le paillage organique – c'est-à-dire l'étalement naturel ou artificiel d'une couche de résidus de culture ou d'autres matériaux organiques de façon à couvrir le sol – peut également réduire l'évaporation à un minimum. En se décomposant, ces résidus accroissent la capacité de rétention d'eau du sol, ce qui améliore l'efficience²². Le paillage organique fournit aussi des éléments nutritifs aux sols et limite la croissance des adventices en les privant de lumière, ce qui contribue à accroître encore l'efficience de l'eau^{22, 23}.

La récupération de l'eau correspond au fait de recueillir l'eau de pluie ou les eaux de ruissellement (voir la case Récupération de la figure 16), qui peuvent être directement détournées, répandues dans les champs, ou collectées et stockées¹. Une récupération efficace de l'eau – couplée à de meilleures pratiques agronomiques – peut accroître les rendements des cultures, en particulier durant les périodes faiblement pluvieuses^{25, 26}. Associée à de petits bassins sur l'exploitation, la récupération d'eau peut aussi permettre la production de poisson et l'abreuvement du cheptel en parallèle de la production végétale. Ces mesures améliorent la résilience face au changement climatique et augmentent les revenus des petits agriculteurs^{27, 28, 29}.

On distingue souvent la récupération d'eau *in situ*, effectuée localement, sur les terres d'une exploitation, et la récupération *ex situ*, qui renvoie au captage des eaux pluviales en dehors des exploitations. La seconde utilise l'eau pour atténuer les périodes de sécheresse, protéger les sources, réalimenter les nappes phréatiques et permettre une irrigation hors saison et de multiples usages²¹. Ces pratiques comprennent les microbarrages de surface, les citernes enterrées, les bassins et étangs ainsi que les structures de détournement et de réalimentation. Ces systèmes sont habituellement

gérés par des agriculteurs à titre individuel ou par les communautés, et les uns comme les autres ont besoin d'information, de formation et de sensibilisation pour appliquer correctement et maintenir ces pratiques²⁴. Ainsi, dans la région du Tigré, au nord de l'Éthiopie, où les contraintes hydriques sont importantes, les pouvoirs publics ont donné la priorité à différents systèmes *ex situ*, dont la majorité sont gérés par des agriculteurs individuels. Ces systèmes ont contribué à accroître la productivité des cultures et de l'élevage, la diversification des cultures et l'accès à des points d'eau³⁰. Cela étant, les résultats dépendent de la participation des agriculteurs et des parties prenantes aux phases de planification, de mise en œuvre et d'utilisation³¹. Dans le Sahel, la FAO met en œuvre le programme «Un million de citernes» qui vise à promouvoir les systèmes de récupération et de stockage de l'eau de pluie au profit des communautés vulnérables³². L'objectif est de permettre à des millions de personnes dans cette région, en particulier les femmes, d'accéder à une eau de boisson sûre, d'accroître leur production agricole, d'améliorer leur sécurité alimentaire et leur nutrition, et de renforcer leur résilience.

L'eau ainsi collectée peut ensuite être utilisée pour une irrigation d'appoint lorsque les pluies se font rares (encadré 9). La récupération d'eau *in situ* couvre différentes techniques – impluviums, digues, planches larges et sillons – ainsi que des options de gestion telles que le travail du sol ou l'ajout de matière organique.

L'association de techniques de conservation et de récupération de l'eau peut être extrêmement efficace. Rost *et al.* (2009) estiment qu'une réduction de 25 pour cent de l'évaporation et la collecte de 25 pour cent des eaux de ruissellement pourraient accroître la production végétale de 19 pour cent³⁸. Jägermeyr *et al.* (2016) ont montré que la conservation de l'humidité du sol, à elle seule, pouvait augmenter la production pluviale mondiale en kilocalories de 3 à 14 pour cent³⁹. Les auteurs ont aussi découvert que l'association d'une récupération d'eau *in situ* et *ex situ* pouvait accroître la production en kilocalories de 7 à 24 pour cent supplémentaires. Selon le scénario le plus ambitieux (toutes mesures combinées, y compris le développement de l'irrigation), la production végétale mondiale en kilocalories pourrait augmenter de 41 pour cent.

¹ Pour une vue d'ensemble des bonnes pratiques de récupération d'eau qui ont fait leurs preuves ici ou là dans le monde, voir Liniger et Studer, 2013²⁴.

ENCADRÉ 9**CONTRIBUTION DE L'IRRIGATION D'APPONT À LA PRODUCTIVITÉ DE L'EAU ET À LA RÉSILIENCE DES SYSTÈMES PLUVIAUX**

Lorsque les précipitations sont insuffisantes, l'irrigation d'appoint apporte une humidité essentielle au sol et accroît de ce fait la productivité de l'eau^{21, 33}. En appliquant cette technique à toutes les terres cultivées non irriguées, on pourrait augmenter la production mondiale de céréales de 35 pour cent, et le potentiel serait particulièrement important en Afrique et en Asie³⁴. Même lorsqu'elle est relativement limitée, l'irrigation d'appoint peut conduire à un accroissement considérable des rendements agricoles. En République arabe syrienne, par exemple, on a constaté des augmentations de rendement pouvant aller jusqu'à 400 pour cent³⁵.

Dans l'État indien du Bengale-Occidental, les petits bassins de retenue de l'eau de pluie, utilisés pour une irrigation d'appoint, ont permis de doubler

les rendements de la moutarde et d'augmenter de 20 pour cent ceux du riz paddy³⁶. Ils ont également fait progresser les revenus des producteurs de 34 pour cent. Davantage d'agriculteurs envisagent de pratiquer différentes cultures maraîchères très rentables durant la saison sèche. Cette pratique a également augmenté l'approvisionnement en eau pour les jardins potagers, l'élevage, l'aquaculture et les utilisations domestiques.

Au Zimbabwe, l'irrigation d'appoint fait passer le risque de perte totale de récolte de 20 pour cent à 7 pour cent et augmente de près d'un tiers la productivité de l'eau, en particulier lorsque la pratique est associée à des engrains azotés chimiques³⁷. Elle représente donc une stratégie essentielle, quoiqu'encore sous-utilisée, pour concrétiser le potentiel de rendement de l'agriculture pluviale et accroître la productivité de l'eau²¹.

L'accès à une gestion de l'eau de pluie et à des techniques d'irrigation d'appoint présentant un bon rapport efficacité-coût peut donner aux agriculteurs des zones pluviales la sécurité nécessaire pour investir dans des engrains et des variétés à haut rendement. Abstraction faite de la gestion de l'eau, les résultats obtenus avec une culture donnée découlent des attributs inhérents à celle-ci (c'est-à-dire de gains génétiques, comme dans le cas des variétés améliorées) et des pratiques agronomiques mises en œuvre, y compris différents intrants. Sans l'apport des pratiques agronomiques, il est probable que la récupération d'eau *in situ* et la conservation des sols et de l'eau n'amélioreraient les rendements que marginalement, voire n'auraient aucun effet de cette nature^{40, 41}.

L'évacuation de l'eau est une autre pratique importante en complément de la récupération et de la conservation de l'eau (dernière case à droite sur la figure 16). Les agriculteurs combinent la récupération et la conservation avec le drainage pour éviter les inondations en cas de fortes précipitations, les systèmes de culture en terrasses pouvant également fonctionner comme des structures de drainage sur les terres en pente.

Près de 20 pour cent des terres cultivées dans le monde se prêtent à la récupération d'eau et à la conservation des sols et de l'eau, en particulier dans de larges zones d'Afrique de l'Est et d'Asie du Sud-Est⁴². Dans ces zones cultivées, la récupération de l'eau peut accroître la production dans une proportion comprise entre 60 et 100 pour cent. Ces pratiques étant susceptibles de réduire les écoulements de surface et les écoulements souterrains, l'adoption d'une comptabilité de l'eau doit précéder toute mise en œuvre. Dans de nombreuses zones pluviales, on s'efforce depuis des décennies d'instaurer une production pluviale durable. En Éthiopie, cela fait plus de quarante ans que des investissements publics, des contributions en nature des agriculteurs sous la forme de main-d'œuvre et des apports internationaux au titre du développement sont consacrés à la conservation des sols et de l'eau. Il en résulte que 20 pour cent des terres arables du pays sont cultivées en terrasses⁴³. On ne connaît toujours pas l'étendue des terres cultivées qui bénéficient de pratiques de gestion améliorées au niveau local et au niveau mondial. Les données mondiales sont également rares concernant les zones agricoles équipées pour le drainage de surface ou souterrain. ■

TABLEAU 2
PRODUCTIVITÉ MONDIALE MOYENNE DE L'EAU POUR CERTAINES CATÉGORIES D'ALIMENTS

Catégorie d'aliments	Productivité de l'eau			
	Masse (kg/m ³) ⁱ	Calories (kcal/m ³) ⁱⁱ	Protéines (g/m ³) ⁱⁱ	Valeur économique (USD/m ³) ⁱⁱⁱ
Cultures sucrières	5,49	1 566	0,0	0,141
Légumes	4,22	1 013	50,6	1,173
Racines féculentes	2,92	2 411	37,9	0,445
Fruits	1,15	527	6,1	0,433
Céréales	0,68	2 197	54,8	0,113
Cultures oléagineuses	0,45	1 296	65,1	0,103
Légumineuses	0,30	1 027	64,7	0,106
Fruits à coque	0,12	298	7,8	0,179

ⁱ Les valeurs relatives aux produits végétaux proviennent de l'empreinte mondiale moyenne en eau bleue et verte tirée de Mekonnen et Hoekstra, 2011⁴⁵. Productivité physique de l'eau sur la base du poids, humidité comprise. Tous les produits sont des produits primaires (les cultures sucrières, par exemple, comprennent la canne à sucre et la betterave sucrière, mais ne comprennent pas de produits transformés, comme le sucre brut ou raffiné). Ces données correspondent à une moyenne calculée sur la période 1996-2005.

ⁱⁱ Calculée à partir de la productivité de l'eau et de la composition nutritionnelle des aliments.

ⁱⁱⁱ Calculée à partir de la productivité de l'eau et du prix du produit à la production. Les compositions nutritionnelles et les prix à la production sont tirés de FAOSTAT¹⁷.

SOURCE: Mekonnen et Neale, 2020⁵⁰.

SYSTÈMES IRRIGUÉS – COMPRENDRE, L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DES RENDEMENTS

L'irrigation est essentielle pour permettre une adaptation au changement climatique et pour accroître la productivité de la terre et de l'eau. Les zones irriguées ne représentent que 20 pour cent environ de l'ensemble des terres cultivées (voir la figure 11, p. 43), mais génèrent plus de 40 pour cent de la production totale en valeur⁴⁴. Dans certains secteurs, l'irrigation contribue à plus de la moitié de la valeur agricole produite. Cela s'explique par une plus forte productivité dans les zones irriguées que dans les zones pluviales et par des rendements plus élevés et plus stables du fait d'une culture plus intensive et de cultures de plus grande valeur⁴⁴. La marge d'amélioration de l'efficience ainsi que de la productivité de la terre et de l'eau est considérable. La difficulté tient à la façon dont on peut accroître les résultats sans compromettre la durabilité.

Augmenter la productivité de l'eau dans l'agriculture irriguée

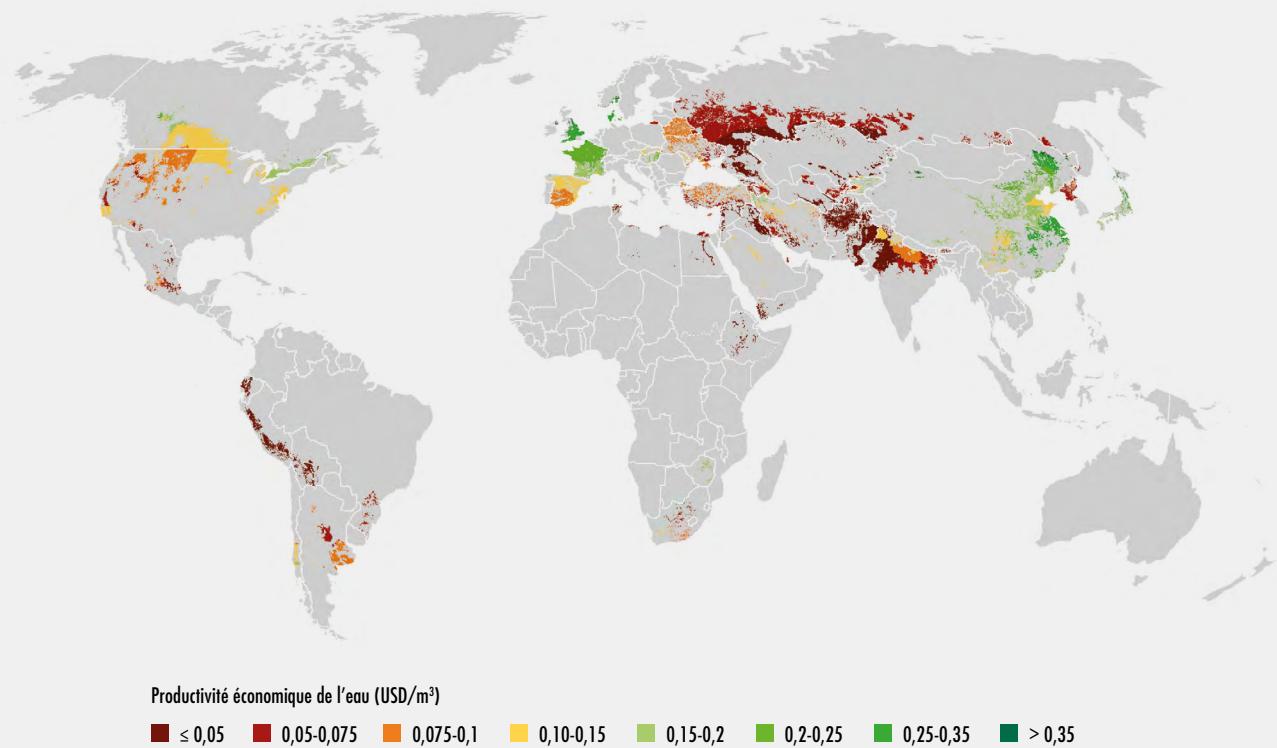
Une utilisation plus productive de l'eau d'irrigation permet de produire plus de cultures avec moins d'eau, en augmentant le rendement, en réduisant l'évapotranspiration saisonnière ou en associant les deux. Au niveau mondial, on constate une forte disparité dans la productivité de l'eau selon les cultures (tableau 2), comme le montre la grande variation observée dans les rendements, les résultats nutritionnels et la valeur en USD par litre d'eau consommée. La figure 17 illustre la productivité économique de l'eau utilisée pour cultiver des céréales irriguées, les taches vertes indiquant une forte productivité de l'eau – moins d'eau consommée par unité de valeur –, tandis que les champs jaunes et rouges correspondent à une faible productivité de l'eau.

L'eau est l'un des intrants utilisés pour produire un aliment, et certaines zones agroécologiques sont mieux adaptées à certaines cultures que d'autres. Pour le blé, la culture consommant le plus d'eau parmi celles qui sont présentées à la figure 17⁴⁵, presque toutes les régions font



FIGURE 17
PRODUCTIVITÉ ÉCONOMIQUE DE L'EAU POUR CERTAINES CULTURES IRRIGUÉES, PAR RÉGION

A. ORGE



B. MAÏS

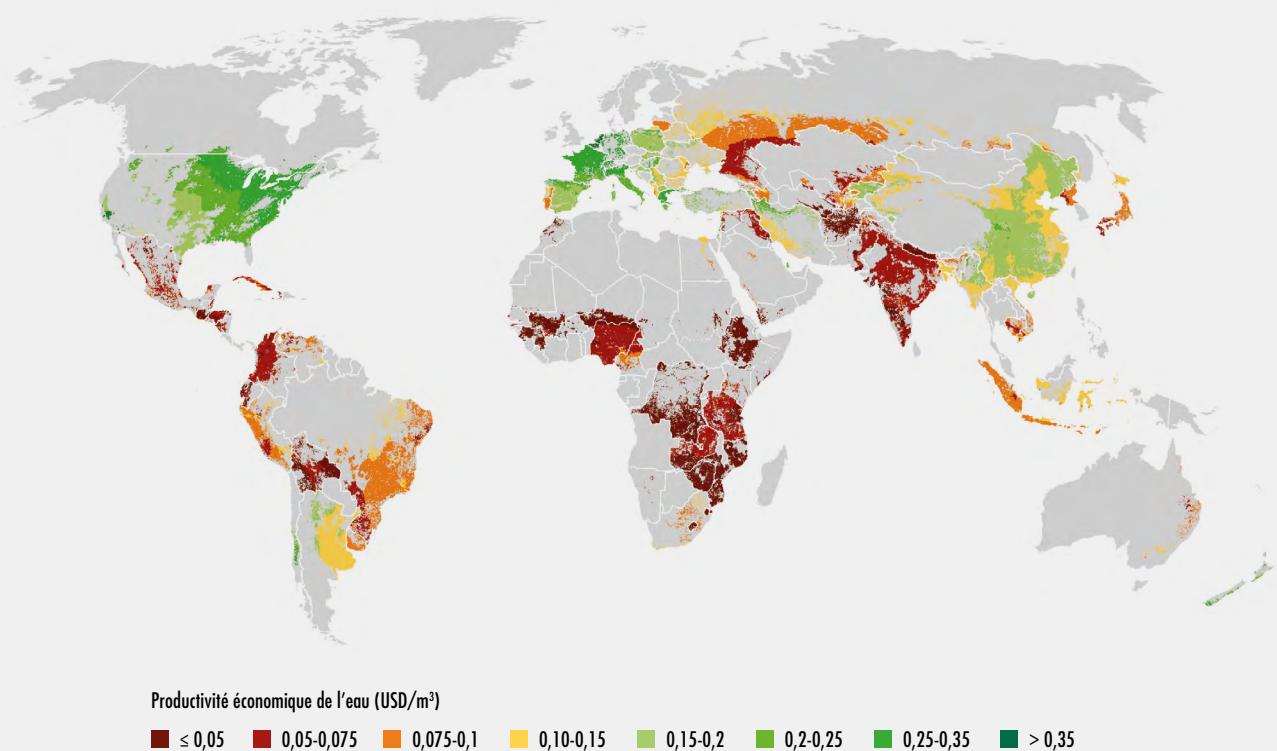
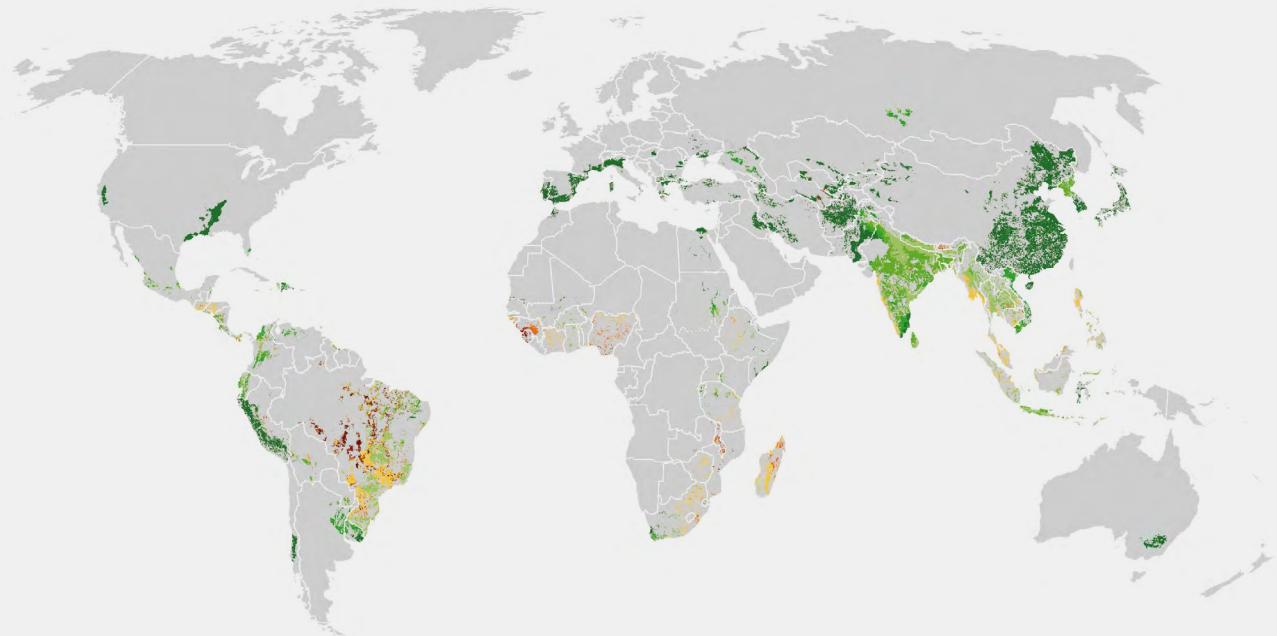


FIGURE 17
(SUITE)

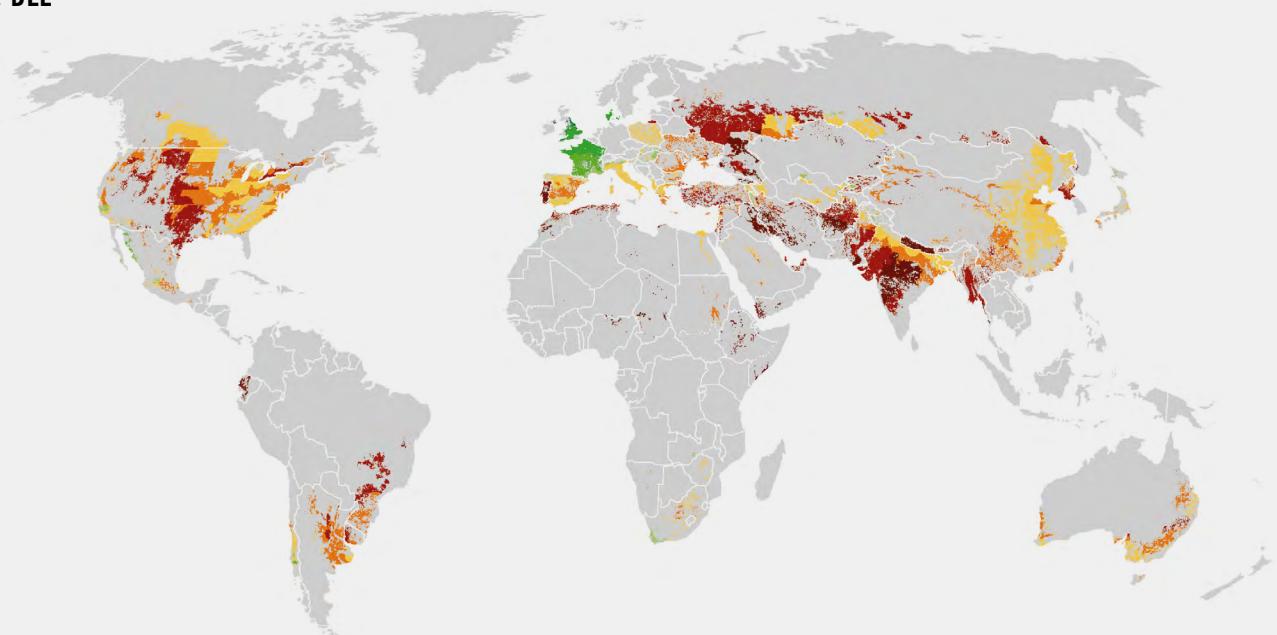
C. RIZ



Productivité économique de l'eau (USD/m³)

$\leq 0,05$ $0,05-0,075$ $0,075-0,1$ $0,10-0,15$ $0,15-0,2$ $0,2-0,25$ $0,25-0,35$ $> 0,35$

D. BLÉ



Productivité économique de l'eau (USD/m³)

$\leq 0,05$ $0,05-0,075$ $0,075-0,1$ $0,10-0,15$ $0,15-0,2$ $0,2-0,25$ $0,25-0,35$ $> 0,35$

NOTE: La productivité économique de l'eau d'une culture correspond à la valeur en USD de cette culture par unité d'eau consommée (évapotranspiration totale sur la saison de végétation). Les valeurs de productivité physique de l'eau (kg/m³) ont été converties en valeurs de productivité économique (USD/m³) à l'aide du prix mondial moyen de chaque culture, donné par FAOSTAT¹⁷. Les données correspondent à une moyenne calculée sur la période 1996-2005.

SOURCE: Mekonnen et Neale, 2020⁵⁰, d'après Mekonnen et Hoekstra, 2011⁴⁵.

» état d'une faible productivité économique de l'eau. Seules font exception quelques parties de l'Europe, où le blé représente la moitié de la production céréalière totale en valeur¹⁷. Un motif similaire se dégage pour l'orge, pour lequel, hormis l'Europe et certaines parties de la Chine, les taches rouges dans les autres régions témoignent d'une faible productivité. Pour le maïs, les pays à revenu élevé de l'Amérique du Nord et de l'Europe apparaissent très productifs, tandis que les pays à faible revenu et à revenu intermédiaire d'Asie, d'Amérique du Sud et d'Afrique subsaharienne affichent une plus faible productivité de l'eau. Cela soulève des préoccupations en Afrique, où l'insécurité alimentaire et la malnutrition sont nettement plus élevées⁴⁶ et où le maïs représente plus d'un tiers de la production céréalière totale en valeur¹⁷. Concernant le riz, le motif qui se dégage est différent, puisque l'Asie et l'Amérique du Sud sont aussi productives que certaines parties de l'Europe et de l'Amérique du Nord. En Asie, le riz représente près des deux tiers de la production céréalière totale¹⁷ et occupe une place centrale dans les moyens d'existence de millions de petits agriculteurs.

Un accès plus facile aux intrants, une irrigation efficiente, des variétés améliorées et une meilleure gestion des sols et de l'eau peuvent expliquer la plus forte productivité de l'eau de la plupart des cultures dans les pays à revenu élevé d'Amérique du Nord et d'Europe occidentale. En revanche, outre qu'ils travaillent dans des conditions de mauvaise gestion des sols et de l'eau, les agriculteurs d'Afrique subsaharienne peuvent n'avoir qu'un accès limité aux variétés à haut rendement, aux engrangements, aux pesticides, à la mécanisation et aux marchés. La variabilité de la productivité de l'eau des cultures à l'intérieur des régions et des pays est due à une série de facteurs, notamment: i) les conditions climatiques, telles que l'évaporation, le volume d'eau de pluie et/ou d'eau d'irrigation apporté aux cultures et la répartition dans le temps de ces apports, et la température de l'air; ii) les propriétés du sol, sa texture et sa teneur en matière organique; iii) les cultivars, car les variétés et les cultivars ont des rendements et des besoins en eau différents; iv) les pratiques de gestion des sols et de l'eau, qui influent sur la quantité d'eau disponible dans le sol ou sur

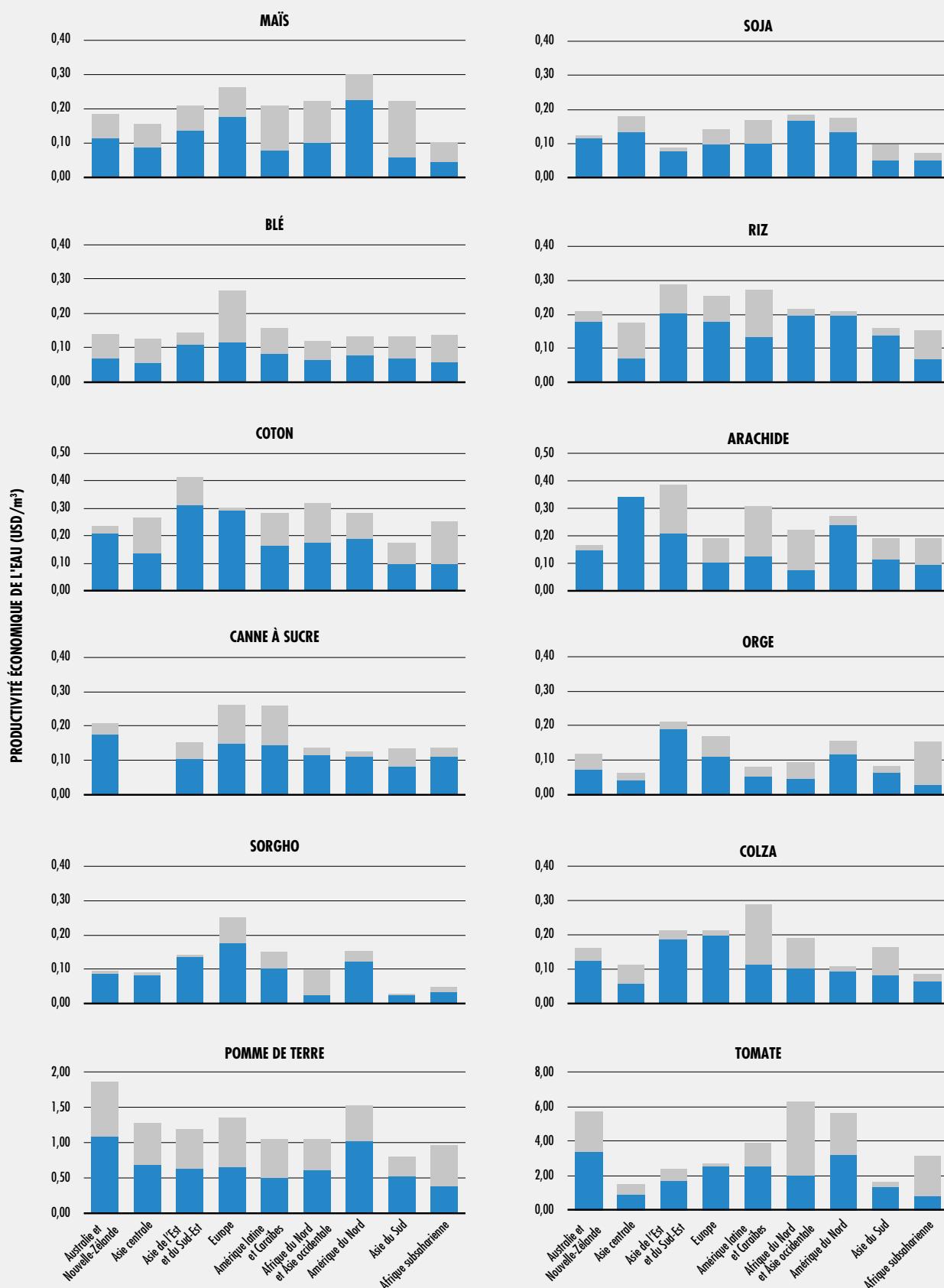
la capacité des racines à extraire cette eau et à réduire l'évapotranspiration du sol; et v) d'autres pratiques agronomiques, comme le calendrier de semis ou de plantation et le calendrier d'application des engrangements^{47, 48, 49}.

Malgré des progrès considérables en matière de productivité de l'eau, des écarts subsistent entre les rendements effectifs et les rendements réalisables par unité d'eau. La figure 18 indique, pour différentes cultures irriguées, la productivité effective de l'eau (en bleu) et les écarts de productivité (en gris), en termes économiques, par région. L'Australie et la Nouvelle-Zélande, l'Europe et Amérique du Nord affichent les écarts de productivité les plus faibles, tandis que l'Amérique latine et les Caraïbes, l'Afrique du Nord, l'Asie occidentale et l'Afrique subsaharienne présentent les écarts les plus grands pour la plupart des cultures. Le resserrement de ces écarts est susceptible de renforcer la sécurité alimentaire et la nutrition dans la plupart des pays, mais cette possibilité peut être plus pertinente dans certains pays que dans d'autres⁵¹. Les agriculteurs et les décideurs publics s'attacheront peut-être à prioriser les cultures pour lesquelles les gains économiques ont des chances d'être les plus importants.

L'Europe, par exemple, présente l'un des écarts de productivité de l'eau les plus importants pour le sorgho et le blé, en partie en raison du changement climatique⁵². Si le blé représente près de la moitié de la production céréalière en valeur, la production de sorgho y est négligeable¹⁷. L'Afrique subsaharienne, en revanche, affiche les plus hauts écarts de productivité pour l'orge et le blé, celui du sorgho étant plus faible que dans les autres régions. Le sorgho et le blé représentent presque un tiers de la production céréalière africaine en valeur, tandis que l'orge atteint à peine 3 pour cent. Ces constatations donnent à penser que le resserrement des écarts de productivité de l'eau du blé en Europe et en Afrique subsaharienne pourrait être du plus grand intérêt économique et améliorer la sécurité alimentaire et la nutrition, en particulier dans cette dernière région. Le coût de ce resserrement doit être considéré, en particulier pour le blé en Europe, où la productivité de l'eau est déjà très élevée comparée à celle d'autres régions.

FIGURE 18

PRODUCTIVITÉ ÉCONOMIQUE EFFECTIVE DE L'EAU ET ÉCARTS DE PRODUCTIVITÉ DE L'EAU PAR RAPPORT À LA VALEUR DE RÉFÉRENCE, POUR CERTAINES CULTURES IRRIGUÉES, PAR RÉGION



NOTE: La partie bleue indique la productivité économique effective de l'eau et la partie grise, l'écart de productivité. Les écarts de productivité sont estimés, par culture et par région, en calculant la différence avec la valeur de référence de la productivité de l'eau dans des conditions exemptes de stress hydrique. Ces données correspondent à une moyenne calculée sur la période 1996-2005.

SOURCE: Mekonnen et Neale, 2020⁵⁰, d'après Mekonnen et Hoekstra, 2011⁴⁵.

Une irrigation différente dans différents contextes

Aucun système d'irrigation ne s'impose comme le meilleur dans toutes les situations et, lorsqu'ils prennent leur décision, les agriculteurs doivent garder en tête les facteurs suivants, entre autres: l'état du sol et des ressources en eau et les conditions climatiques; les types de cultures; les possibilités de financement; les sources d'énergie et leur prix; la main-d'œuvre; l'efficience dans l'application de l'eau d'irrigation; les économies d'échelle; et la profondeur à laquelle se trouve l'eau à pomper⁵³. Les trois principales méthodes d'irrigation sont l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion et la micro-irrigation (au goutte à goutte). Dans les systèmes d'irrigation de surface, l'écoulement de l'eau sur le sol se fait par gravité. L'irrigation par aspersion consiste à envoyer des gouttelettes d'eau au moyen d'arroseurs ou d'asperseurs. La micro-irrigation repose sur de fréquentes applications d'un petit volume d'eau, au goutte à goutte, au moyen de barboteurs ou par pulvérisation, ce qui ne mouille généralement qu'une partie du sol⁵⁴. La quatrième méthode est l'irrigation souterraine, qui applique de l'eau sous la surface du sol pour relever le niveau de la nappe phréatique jusqu'à la zone racinaire des plantes ou à proximité de celle-ci⁵⁴. Le tableau 3 présente quelques-uns des avantages et des inconvénients de différents systèmes d'irrigation.

Les décisions des agriculteurs en matière d'investissement dans l'irrigation dépendent des coûts associés. Les études menées sur ces coûts et avantages peuvent être utiles. Au Texas (États-Unis d'Amérique), Armosson *et al.* (2011) ont étudié cinq systèmes courants d'irrigation⁵³ et ont ainsi découvert que l'irrigation par sillons demandait moins de capitaux que les autres systèmes, mais qu'elle était moins efficiente et nécessitait plus de main-d'œuvre. Les systèmes à pivot central (systèmes d'aspersion mobiles dans le tableau 3) sont plus efficaces et réduisent les opérations sur le terrain pour compenser les coûts supplémentaires. L'application précise à faible énergie est le type d'irrigation à pivot central qui génère les avantages les plus importants. Pour la plupart des cultures, du fait de l'importance de l'investissement et des faibles gains d'efficience, l'irrigation enterrée au goutte à goutte pourrait être limitée aux terres sur lesquelles l'installation de pivots est impossible.

En Afrique subsaharienne, où les projets d'irrigation à grande échelle enregistrent souvent des résultats décevants par rapport à l'investissement, les petits agriculteurs mettent en place et étendent leur propre système d'irrigation⁵⁵. Les systèmes d'irrigation à petite échelle conduits par les agriculteurs peuvent avoir un coût unitaire inférieur à ceux qui sont gérés par les organismes publics^{56, 57} et offrent des taux de rentabilité interne bien plus élevés (28 pour cent) que les dispositifs de grande ampleur fondés sur des barrages (7 pour cent)⁵⁸. Ils permettent également d'améliorer les rendements et les revenus, et réduisent les risques liés à la variabilité du climat (**encadré 10**). Les pouvoirs publics devraient soutenir ce type d'initiatives en s'employant, entre autres, à éliminer les obstacles liés au marché et à favoriser des mécanismes de crédit abordables et appropriés pour permettre aux petits agriculteurs de se lancer dans l'aventure. Les pouvoirs publics devraient aussi adopter des règlements pour faire en sorte que ces initiatives soient écologiquement durables⁵⁵.

En Asie, les programmes d'irrigation de surface à grande échelle financés par l'État sont en recul pour différentes raisons, notamment le mauvais entretien assuré par les pouvoirs publics. Nombre de ces programmes n'étaient pas définis pour apporter une réponse appropriée aux besoins des agriculteurs et ne sont pas parvenus à fournir suffisamment d'eau aux cultures⁵⁹. Les efforts visant à les remettre en état sont limités par l'insuffisance des services fournis et le manque d'efficacité de la gestion. Résultat, les agriculteurs se branchent directement sur les nappes phréatiques. Cette pratique les a aidés à augmenter leur efficience et leurs gains de productivité, mais au prix d'une pression excessive exercée sur les ressources souterraines⁶⁰. Pour remédier à ces problèmes, il va falloir moderniser les anciens dispositifs d'irrigation et mettre en place des politiques, des interventions et des investissements cohérents, efficaces et réalisables.

L'une des pratiques agronomiques influant favorablement sur la productivité de l'eau est l'irrigation déficitaire, qui assure une utilisation optimale de la ressource. L'irrigation déficitaire (ou irrigation déficitaire contrôlée) est une technique permettant de maximiser la productivité de l'eau⁶⁵. La culture est exposée

TABLEAU 3
AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES D'IRRIGATION

Type de systèmes	Description sommaire	Avantages	Inconvénients
Irrigation de surface			
Sillons ou rigoles d'infiltration	De petits canaux conduisent l'eau en bas de la pente, entre les rangs de culture ⁶¹ .	Faible investissement initial et faibles coûts d'entretien; l'eau circule dans de petits canaux.	Forte intensité de main-d'œuvre; moindre maîtrise de l'eau; érosion des sols; pertes possibles par ruissellement et percolation.
Bassin d'infiltration ou par submersion	Distribue l'eau dans un champ plat et peut donner lieu à des retenues de submersion pour une période prolongée.	Efficient si le système est bien conçu; nécessite moins de main-d'œuvre que la technique des sillons.	Retenues d'eau; les champs en pente doivent être nivelés.
Planche	L'eau s'écoule entre des billots qui divisent un champ en pente en bandes rectangulaires nivelées, avec un écoulement libre à l'extrémité.	Moins de main-d'œuvre nécessaire et moins de ruissellement qu'avec la technique des sillons; gestion plus aisée de la profondeur d'infiltration.	L'eau s'écoule sur toute la surface du sol.
Irrigation par aspersion			
Installation permanente (Couverture intégrale)	Distribue fréquemment de petites quantités d'eau pour répondre aux besoins des plantes.	Bonne maîtrise de l'eau; possibilité d'automatiser et d'irriguer fréquemment; adapté aux champs de forme irrégulière.	Investissement initial élevé; système susceptible de gêner les travaux des champs.
Installation déplaçable (Enrouleur)	Distribue l'eau lentement durant la séquence d'irrigation. Celle-ci terminée, l'installation est déplacée sur une zone contiguë pour la séquence suivante.	Investissement initial inférieur à celui des autres systèmes d'aspersion.	Besoin de main-d'œuvre plus important que pour les autres systèmes d'aspersion; mauvaise uniformité de l'application d'eau en conditions venteuses; plus grande profondeur d'application.
Installation mobile ⁱ (pivot, rampe)	Distribue l'eau à mesure que le système se déplace à travers le champ.	Grande uniformité; faible besoin de main-d'œuvre.	Investissement initial et coûts d'entretien élevés; non adapté aux champs de forme irrégulière; pertes potentielles sous l'effet du vent et de l'évaporation.
Micro-irrigation			
Irrigation de surface au goutte à goutte	L'eau sous pression est transportée par des tuyaux jusqu'aux champs et s'écoule par petites quantités dans le sol par des goutteurs situés à proximité des plantes ⁶² .	Excellent maîtrise de l'eau; applications fréquentes possibles.	Investissement initial élevé; nécessite de l'eau propre ou un système de traitement et de filtration.
Irrigation enterrée au goutte à goutte	L'eau est distribuée au moyen de tubes ou de gaines de micro-irrigation enterrés, situés au niveau ou en dessous du niveau des racines des plantes ⁶³ .	Application extrêmement efficace et uniforme de l'eau; évaporation de surface et incidence des adventices et des maladies réduites ⁶⁴ .	Investissement initial supérieur à celui des systèmes à sillons; nécessite des vérifications régulières et un entretien soigneux.

ⁱ Comprend les systèmes à pivot central, les systèmes à déplacement linéaire et les systèmes d'application précise à faible énergie.

SOURCE: Élaboré par la FAO, d'après Bjorneberg, 2013⁵⁴.

ENCADRÉ 10**SYSTÈMES D'IRRIGATION CRÉÉS À L'INITIATIVE DES AGRICULTEURS – ÉLÉMENTS FACTUELS RECUEILLIS EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE**

En Afrique subsaharienne, seulement 3 pour cent des terres cultivées sont irriguées (voir la figure 11, p. 43), et les systèmes d'irrigation créés à l'initiative des agriculteurs se développent rapidement. Les agriculteurs investissent leurs propres ressources et prélèvent l'eau dans les nappes phréatiques peu profondes, les rivières, les lacs et les retenues. Cette solution est intéressante pour les petits exploitants, car elle repose sur un matériel simple et peu onéreux (seaux, arrosoirs, pompes à pédale et systèmes d'irrigation au goutte à goutte, par exemple) et sur des techniques d'agriculture de conservation (comme les cultures en terrasses et la collecte des eaux pluviales *in situ*). Plus de 80 pour cent des agriculteurs qui irriguent recourent à des techniques de puisage et d'arrosage manuelles, avec des seaux et des arrosoirs, mais la demande de solutions plus mécanisées augmente.

Au Burkina Faso, 170 000 agriculteurs – principalement des petits exploitants – irriguent 10 000 hectares de cultures maraîchères à l'aide de seaux, d'arrosoirs et de petites pompes motorisées.

SOURCE: Giordano *et al.*, 2012³⁶.

Ils sont ainsi parvenus à tripler leur production de légumes entre 1996 et 2005, et à augmenter leurs revenus durant la saison sèche d'un montant compris entre 200 USD et 600 USD. Au Ghana, 185 000 hectares, exploités principalement pour des cultures maraîchères pendant la saison sèche par un demi-million de petits agriculteurs, font l'objet d'une irrigation à petite échelle. Ces activités permettent un accroissement des revenus annuels des ménages compris entre 175 USD et 840 USD par an. En République-Unie de Tanzanie, plus de 700 000 agriculteurs prélèvent de l'eau dans des rivières et des puits à l'aide de seaux et d'arrosoirs pour irriguer 150 000 hectares de cultures maraîchères. Durant la saison sèche, la moitié des revenus en espèces des petits exploitants provient de ces cultures. En Zambie, 90 000 hectares sont exploités dans le cadre de systèmes d'irrigation privés, et les petits agriculteurs qui cultivent des légumes pendant la saison sèche (20 pour cent) ont des revenus supérieurs de 35 pour cent par rapport à ceux qui dépendent uniquement des précipitations.

à un certain niveau de stress hydrique soit sur une période donnée, soit pendant toute la saison de végétation. Toute réduction de rendement sera négligeable comparée aux avantages que procure le détournement de l'eau économisée vers d'autres cultures⁶⁶. Les études font état d'économies d'eau plus élevées sur les fruitiers que sur les cultures herbacées, qui enregistrent presque toujours quelque perte de rendement. Parmi les cultures de plein champ, le coton et le sorgho à grains se prêtent bien à l'irrigation déficiente⁶⁶. Les autres avantages de ce mode de culture sont un moins grand nombre de maladies cryptogamiques et une moindre perte d'éléments nutritifs, une maîtrise des dates de semis et une amélioration de la planification agricole⁶⁷. La réponse des cultures au stress hydrique étant extrêmement variable, l'irrigation déficiente demande une connaissance précise du bilan de salinité du sol et de l'eau ainsi que du comportement des cultures^{65 à 68}.

Investir dans une irrigation durable pour améliorer les moyens d'existence et préserver l'environnement

On fait couramment l'hypothèse qu'un accroissement de l'efficience d'irrigation à l'aide de techniques modernes, comme l'irrigation au goutte à goutte, conduit à économiser un volume d'eau considérable, qui est ainsi disponible pour d'autres usages⁶⁶. L'avantage constaté au niveau de l'exploitation peut être important, mais, lorsqu'elle est correctement comptabilisée à l'échelle du bassin hydrographique, la consommation totale d'eau d'irrigation tend à augmenter, réduisant l'écoulement restitué à d'autres utilisateurs, y compris l'environnement. Lorsque l'efficience de l'irrigation s'améliore, une grande partie de l'eau qui était précédemment «gaspillée» en raison de l'inefficacité du système est restituée au réseau; elle vient réalimenter les nappes phréatiques, les cours d'eau et les réseaux de drainage, et est souvent

ENCADRÉ 11**AVANTAGES DE L'IRRIGATION MODERNE – ÉLÉMENTS FACTUELS RECUEILLIS EN CHINE, EN INDE ET AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE**

Dans la province du Hebei (Chine), l'irrigation enterrée au goutte à goutte a permis de diminuer l'évapotranspiration de respectivement 26 pour cent et 15 pour cent par rapport à l'irrigation par submersion et à l'irrigation de surface au goutte à goutte, et d'augmenter la productivité de l'eau de 25 pour cent⁷⁷. Du fait de la réduction de l'évaporation, elle a permis en outre d'accroître le rendement en grains et la formation de biomasse, et peut donc être utilisée pour remédier aux problèmes de rareté de l'eau.

En Inde, des essais sur le terrain menés en 2012 et en 2013 à Coimbatore ont montré que l'irrigation au goutte à goutte augmentait les rendements en grains de près de 30 pour cent, doublait la productivité de l'eau et diminuait de 27 pour cent l'utilisation d'eau par rapport au système de production rizicole conventionnel⁷⁸. La rentabilité des investissements était également supérieure de 40 pour cent. Une autre étude sur le terrain menée dans le district de Sirsa (État de l'Haryana) a mis en évidence les avantages économiques de l'irrigation au goutte à goutte: plus rentable que l'irrigation par sillons pour la production de coton, elle réduisait le coût des cultures de 25 pour cent et permettait des économies d'eau et d'électricité de 33 pour cent⁷⁹. Elle facilitait en outre le

désherbage et freinait l'érosion des sols. Cependant, le manque de subventions pour l'achat de matériel et le savoir-faire limité des exploitants agricoles a restreint l'accès à cette technologie.

D'après une étude réalisée en Californie (États-Unis d'Amérique), l'irrigation enterrée au goutte à goutte augmente le rendement des cultures et la productivité de l'eau grâce à une meilleure gestion de cette dernière et un dosage plus précis des engrangés⁸⁰. Une autre étude, menée dans la vallée de San Joaquin, toujours en Californie, a montré que, à quantité d'eau égale, le rendement des tomates irriguées au goutte à goutte était supérieur de quelque 20 pour cent à celui obtenu avec l'irrigation par aspersion⁸¹. Les auteurs de l'étude ont également constaté une augmentation des bénéfices par hectare comprise entre 867 USD et 1 493 USD, selon les différences de rendements et de taux d'intérêt. Toutefois, la conversion à l'irrigation au goutte à goutte permet peu d'économies d'eau, voire aucune. Luhach *et al.* (2004) encouragent l'irrigation par aspersion pour la production de fruits en raison de la viabilité économique de cette solution, de la réduction de la pression exercée sur les ressources hydriques et des faibles coûts d'exploitation et de main-d'œuvre⁸².

réutilisée à des fins d'irrigation³³. En outre, comme l'irrigation moderne incite les agriculteurs à passer à des cultures qui consomment davantage d'eau, à étendre les superficies cultivables ou à augmenter le nombre de récoltes par an, cela entraîne une hausse des revenus des exploitants, mais aussi de la consommation d'eau^{69 à 73}. Sans un système de répartition de l'eau, les nouvelles techniques d'irrigation conduisent souvent à une plus forte consommation d'eau au niveau du bassin. Ce phénomène est attesté dans le bassin de l'Indus, au Pakistan⁷⁴, et en Andalousie, dans le sud de l'Espagne⁷¹, entre autres exemples.

Il n'est ici nullement question de recommander une irrigation inefficiente, mais d'encourager à prendre des mesures, pour limiter l'utilisation d'eau, par exemple, tout en améliorant les moyens d'existence ruraux (voir le chapitre 4). D'après une étude, la gestion intégrée de l'eau (le fait d'associer

la gestion des eaux pluviales à la modernisation de l'irrigation) permettrait d'accroître la production mondiale de kilocalories de 10 pour cent, tout en respectant les débits écologiques⁷⁵.

De surcroît, l'adoption de techniques de pointe en matière d'irrigation est source d'avantages importants qui doivent être mis en avant: i) elle économise souvent de la main-d'œuvre; ii) elle permet une application précise et économique d'engrais et de produits chimiques; iii) elle réduit au maximum le lessivage de nitrates et d'autres polluants; iv) elle réduit les coûts de pompage et économise de l'énergie; et v) elle permet à l'agriculteur de diversifier son activité dans des cultures de plus grande valeur, augmentant ainsi la valeur produite (**encadré 11**)⁶⁶. Si l'adoption demeure faible, la raison en est principalement un manque de sensibilisation à ces avantages, entre autres contraintes économiques et structurelles.

Pour être durables, les investissements dans les techniques d'irrigation de pointe doivent aller de pair avec une comptabilité rigoureuse de l'eau; un plafonnement des prélèvements; une évaluation des incertitudes; une évaluation financière des arbitrages; et une meilleure compréhension des incitations offertes aux irrigants et du comportement de ceux-ci (voir le chapitre 4)⁷⁶. ■

ADOPTER DES APPROCHES INTÉGRÉES AU NIVEAU DE L'EXPLOITATION POUR AMÉLIORER LA PRODUCTIVITÉ DE L'EAU DES SYSTÈMES PLUVIAUX ET IRRIGUÉS

La gestion de l'eau est particulièrement efficace lorsqu'elle est associée à une utilisation optimale des intrants et à une bonne conduite des cultures. L'efficience d'utilisation d'une ressource restreinte est à son maximum lorsque l'emploi de tous les autres intrants est optimisé⁸³. L'amélioration de la gestion de l'eau doit donc être associée à une gestion correcte des autres intrants. Les cultures modernes à haut rendement sont essentielles pour accroître la productivité de l'eau. Durant la révolution verte, l'adoption de variétés modernes, alliée à une augmentation de l'irrigation et de l'utilisation de produits agrochimiques, a joué un rôle majeur dans la hausse des rendements des principales cultures. La teneur en éléments nutritifs du sol a également des effets majeurs sur la productivité de l'eau utilisée pour les cultures. Sadras (2004) en a fait la démonstration pour des cultures de blé dans la région de Mallee, en Australie, où l'eau et l'azote expliquaient une partie de l'écart entre productivité effective et productivité réalisable de l'eau⁸⁴.

Plusieurs approches intégrées permettent aux agriculteurs, en particulier aux petits exploitants cultivant sans irrigation, de gagner durablement en productivité²⁵. Ces approches associent de

bonnes pratiques à une gestion améliorée des sols et de l'eau qui intensifie la production par une gestion intégrée de la fertilité des sols, une plus grande efficience d'utilisation de l'eau et une diversité de cultures. L'**encadré 12** illustre l'importance de la conduite des cultures dans le rendement, l'évapotranspiration et la productivité de l'eau.

Parmi les facteurs critiques de conduite des cultures primaires et de gestion des éléments nutritifs, on peut citer:

- ▶ une planification de la mise en place et de la récolte des cultures qui concorde avec la pluviométrie, un système de cultures multiples quand cela est possible pour utiliser l'humidité et récupérer les éléments nutritifs du sol, et le décalage du calendrier de semis ou de repiquage pour qu'il coïncide avec des périodes de faible évaporation^{68, 85, 86};
- ▶ l'espacement des plantes et l'orientation des rangs, pour une densité de plantation (espacement) optimale et une uniformité élevée;
- ▶ la sélection de variétés susceptibles de produire de hauts rendements et/ou résistantes à la sécheresse et/ou offrant une croissance plus rapide sous couvert forestier^{87, 88, 89};
- ▶ la distribution spatiale et la conduite des cultures par zone, en recensant et en excluant les champs où les rendements sont systématiquement plus faibles, afin d'aider à améliorer la productivité moyenne de l'eau des cultures⁸⁶;
- ▶ la gestion des éléments nutritifs, car la teneur en éléments nutritifs du sol influe sur la productivité de l'eau des cultures, le désherbage et les ravageurs.

Agriculture de conservation

L'agriculture de conservation peut améliorer l'efficience de l'eau et des éléments nutritifs en évitant au maximum de perturber les sols (aucun travail du sol) et en privilégiant une couverture permanente du sol, au moyen de résidus de culture et de paillis vivants, et une diversification des espèces cultivées^m. L'agriculture de conservation s'est développée rapidement, jusqu'à atteindre

^m Pour plus d'informations sur l'agriculture de conservation, voir FAO, 2020⁹².

ENCADRÉ 12**EFFETS DE LA CONDUITE DES CULTURES SUR L'ÉVAPOTRANSPIRATION, LE RENDEMENT ET LA PRODUCTIVITÉ DE L'EAU – ÉLÉMENTS FACTUELS RECUEILLIS EN ARGENTINE ET EN INDE**

Une étude en Argentine s'est penchée sur les effets d'une réduction de l'espacement entre les rangs sur le rendement du maïs, l'évapotranspiration des cultures et la productivité de l'eau pour différentes quantités d'eau et d'azote⁹⁰. Les gains de rendement en grains obtenus grâce à la réduction de l'espacement entre les rangs (35 cm au lieu de 70 cm) sont compris entre 0 pour cent et 23 pour cent, et sont supérieurs pour les cultures pluviales (recevant moins d'eau) et/ou déficitaires en azote (non fertilisées). Les rangs étroits augmentent l'évapotranspiration des cultures de 8 pour cent durant les phases initiales de la croissance, tandis que la fertilisation azotée n'a pas d'incidence. La réduction de

l'espacement entre les rangs augmente la productivité de l'eau de 17 pour cent pour les céréales. L'effet est encore plus important si la culture est déficitaire en azote et/ou bénéficie de quantités d'eau limitées, mais il est négligeable pour les cultures fertilisées et irriguées.

Van Dam *et al.* (2006) ont simulé la croissance des cultures avec différentes dates de semis (entre le 10 novembre et le 10 décembre) dans le district de Sirsa (Inde)⁹¹. Les semis précoces accroissent le rendement en grains et, combinés à une petite intensification de l'évapotranspiration durant la croissance, augmentent la productivité de l'eau de 20 pour cent.

environ 180 millions d'hectares dans 79 pays⁹³. Les principales raisons en sont une plus forte productivité de l'eau et des facteurs; des coûts de production plus faibles et une rentabilité plus élevée; et une plus grande stabilité des rendements. En Chine, l'agriculture de conservation a contribué à des augmentations de rendement qui vont de 2 à 8 pour cent pour le blé, le maïs et le riz⁹⁴. En Inde, elle a permis de réduire nettement les coûts de production des agriculteurs et d'accroître la productivité de l'eau d'irrigation⁹⁵.

Le travail du sol sans labour (conservation du sol) peut permettre de renforcer la capacité de celui-ci à stocker de l'eau, améliorer sa qualité et le rendement des cultures et réduire l'évaporation^{96 à 100}. Les animaux élevés sur des pâturages améliorés par des rotations cultures-pâturages, dans le cadre d'une agriculture de conservation, produisent davantage de viande par unité de pâturage et émettent moins de gaz à effet de serre (GES)¹⁰¹. Les conséquences sur la productivité de l'eau dépendent du contexte et des effets sur l'évapotranspiration et les rendements^{50, 102}. L'agriculture de conservation pourrait rencontrer des difficultés en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud, où les résidus de cultures servent d'aliments pour les animaux d'élevage ou de combustible domestique^{103, 104, 105}. Parmi les autres

problèmes, on peut citer la multiplication des adventices et la main-d'œuvre supplémentaire nécessaire lorsqu'on n'emploie pas d'herbicides, deux problèmes qui touchent principalement les femmes¹⁰⁶. La réussite de l'agriculture de conservation tient souvent au choix des régions agroécologiques et des types de sol où ce système peut être facilement adopté. Il pourra également être utile d'élaborer des programmes propres à chaque site et de sensibiliser la communauté agricole et le grand public aux avantages que ce système procure.

L'agriculture de conservation peut aussi contribuer à renforcer la résilience des systèmes agricoles au changement climatique. Dans de nombreux cas, elle a permis de réduire les émissions de GES des systèmes agricoles et d'améliorer le rôle de ces derniers dans le stockage du carbone^{101, 107}. L'agriculture irriguée intelligente face au climat est une autre option importante d'adaptation aux effets du changement climatique. Elle vise en priorité à améliorer la productivité et la rentabilité des systèmes irrigués existants et à renforcer la résilience des agriculteurs face au changement climatique¹⁰⁸. L'**encadré 13** estime les avantages que l'on peut attendre de la mise en œuvre des stratégies améliorées de gestion décrites dans le présent chapitre. ■

ENCADRÉ 13 SYNTÈSE DU POTENTIEL D'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTION VÉGÉTALE PLUVIALE ET IRRIGUÉE

À partir des systèmes de production pluviaux et irrigués illustrés à la figure 5 (p. 32) et à la figure 7 (p. 34), on peut estimer le pourcentage de terres agricoles sur lesquelles il est possible d'augmenter les rendements au moyen de différents types de technologies et de pratiques d'irrigation et de gestion de l'eau (pour une ventilation des terres par pays en fonction du système de production et des contraintes hydriques, voir le tableau A2 de l'annexe statistique, p. 159.) Les projections d'amélioration des rendements sont fondées sur les investissements destinés à augmenter les surfaces irriguées et à remettre en état les systèmes d'irrigation et sur l'adoption potentielle des technologies et des pratiques de gestion suivantes: i) irrigation au goutte à goutte; ii) irrigation par aspersion; iii) récupération de l'eau; iv) variétés résistantes à la sécheresse; v) variétés résistantes à la chaleur; vi) culture sans labour; vii) gestion intégrée de la fertilité des sols (combinant des engrains chimiques, des résidus de récolte et du fumier/compost); et viii) agriculture de précision (pour une définition, voir la section intitulée «Faire en sorte que l'innovation, les communications et la technologie fonctionnent pour tous», p. 87).

Les figures du présent encadré indiquent les résultats qui pourraient être obtenus d'ici à 2030 en fonction du pourcentage de terres sur lesquelles ces technologies seront utilisées, d'après les projections du modèle international d'analyse relatif aux produits et aux échanges agricoles (IMPACT) de l'IFPRI. Une description plus détaillée de cette modélisation et une vue d'ensemble d'IMPACT sont données à l'annexe technique (p. 147).

Les projections indiquent que les investissements dans la remise en état et la modernisation des systèmes d'irrigation sont légèrement plus importants lorsque le niveau de stress hydrique est élevé que lorsqu'il est faible, car le retour sur investissement est potentiellement plus

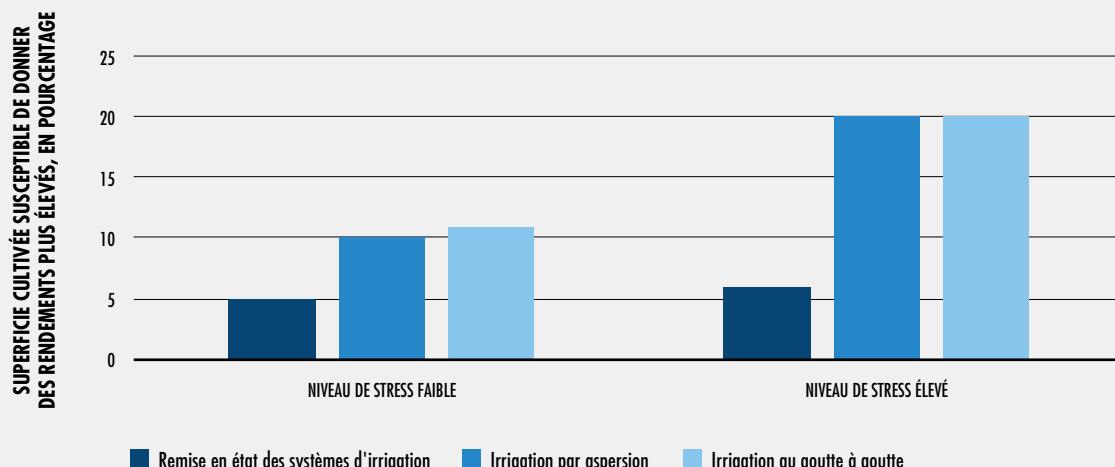
grand. Elles font également état d'un investissement plus important dans l'irrigation au goutte à goutte et l'irrigation par aspersion dans les systèmes irrigués exposés à un niveau de stress hydrique élevé. Lorsque l'eau est abondante, les investissements risquent de ne pas être rentables; lorsqu'elle est rare, l'adoption de ces techniques offre aux agriculteurs une plus grande maîtrise et une plus grande efficience de l'irrigation, qui leur permettent d'opter pour des cultures de plus forte valeur et d'obtenir de plus hauts rendements. Pour que les investissements se traduisent par des économies d'eau à l'échelle d'un bassin versant, il faut qu'ils soient subordonnés à une comptabilité et une répartition de l'eau (voir le chapitre 4). Ils doivent également être accompagnés d'une analyse socio-économique prenant en compte les besoins locaux et le contexte.

La récupération de l'eau et les variétés résistantes à la sécheresse ont été modélisées uniquement pour la production pluviale. Les projections font apparaître un taux d'adoption supérieur dans les systèmes de production pluviale à faible niveau d'intrants, ce qui indique que les petits exploitants pourraient tirer profit de ces techniques. Pour les variétés résistantes à la sécheresse, les projections donnent un pourcentage de superficie considérablement plus important dans les zones pluviales exposées à un grand risque de sécheresse, que le niveau d'intrants soit élevé ou faible.

La culture de variétés résistantes à la chaleur est avantageuse dans toutes les zones, qu'elles soient pluviales ou irriguées. L'augmentation de la fréquence des sécheresses est corrélée à une évaporation et à des températures plus élevées; cependant, les avantages pourraient être plus importants dans les régions qui font face à de fréquentes sécheresses et être particulièrement intéressants dans les systèmes à faible niveau d'intrants.

SUPERFICIE CULTIVÉE SUSCEPTIBLE DE TIRER PROFIT D'UN INVESTISSEMENT DANS CERTAINES TECHNOLOGIES ET PRATIQUES DE GESTION À L'HORIZON 2030, EN POURCENTAGE

A. Options possibles pour les zones actuellement irriguées

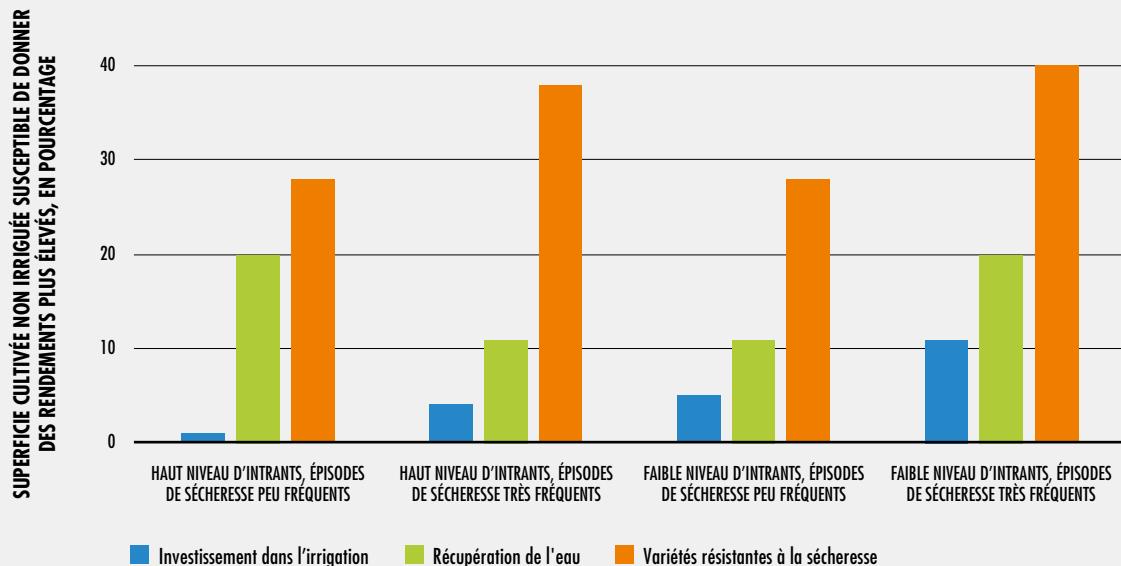


ENCADRÉ 13 (SUITE)

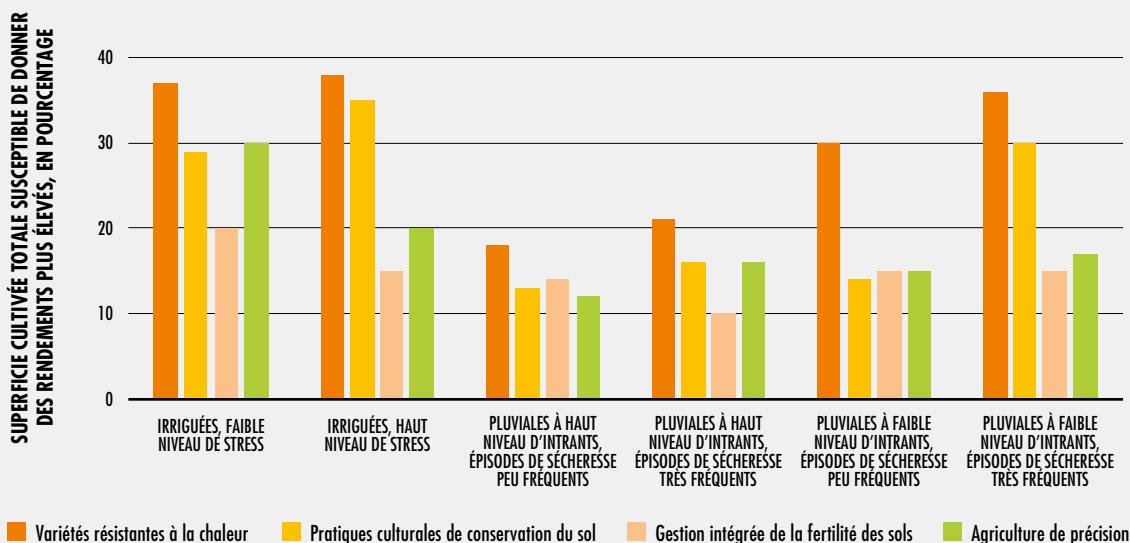
Le travail de conservation du sol, zéro labour, est avantageux sur les terres cultivées avec ou sans irrigation; dans les systèmes pluviaux, cette pratique est plus intéressante dans les systèmes à faible niveau d'intrants et sujets à la sécheresse, et pourrait donc profiter aux petits exploitants. La gestion intégrée de la fertilité des sols est intéressante dans toutes les zones, et notamment dans celles où le niveau de stress hydrique est peu important, mais aucune tendance claire ne se dégage des différents profils. D'après les projections, l'agriculture de précision est l'option la plus profitable, et par conséquent elle est surtout adoptée dans les systèmes irrigués où l'eau est appliquée de manière très ciblée.

Les investissements, les technologies et les pratiques de gestion qui ont été évalués peuvent apporter des avantages dans tous les systèmes de production, pour différents niveaux de contrainte hydrique. Ces solutions ne permettront pas à elles seules de résoudre les problèmes de rareté de l'eau et de pénurie entre 2020 et 2030, mais elles peuvent avoir un impact important sur des millions d'agriculteurs dans les systèmes irrigués et pluviaux. Les effets positifs varient considérablement d'un pays à l'autre, ce qui montre à quel point il est important d'adapter la gestion de l'eau aux systèmes irrigués et pluviaux, aux capacités et aux contextes locaux, ainsi qu'aux défis liés aux ressources hydriques.

B. Options possibles pour les zones actuellement non irriguées



C. Options applicables aux zones pluviales et aux zones irriguées



SOURCE: Rosegrant, 2020¹⁰⁹.

PRODUCTIVITÉ DE L'EAU UTILISÉE DANS LA PRODUCTION ANIMALE

La productivité de l'eau des produits animaux est plus faible que celle des cultures si l'on compare les quantités respectivement produites (en kg) par mètre cube d'eau (voir le [tableau 4](#) par rapport au [tableau 2](#)). La productivité des cultures va de 0,12 kg/m³ pour les fruits à coque à 5,49 kg/m³ pour le sucre, tandis que celle des produits animaux va de 0,07 kg/m³ pour la viande bovine à 1,05 kg/m³ pour le lait. Après le lait, la productivité de l'eau la plus élevée est celle des œufs et du tilapia. Selon le système de production, la productivité de l'eau du tilapia varie considérablement. Elle est plus faible, par exemple, lorsque ce poisson est élevé dans des bassins alimentés et aérés¹¹⁰. Pour la pêche et l'aquaculture, le calcul de la consommation d'eau est moins simple et direct que pour la culture et l'élevage, car il faut considérer les aliments, l'énergie et le niveau de circulation et de rejet. Pour une analyse plus approfondie de l'utilisation de l'eau par le secteur de la pêche, voir Zoom: L'aquaculture aux fins d'une utilisation durable de l'eau dans les systèmes alimentaires, p. 91.

Mesurée sur une base calorique, la productivité de l'eau des cultures est généralement plus forte que celle des produits de l'élevage. Si l'on considère la valeur protéique, le tilapia enregistre la valeur la plus élevée du [tableau 4](#) et est plus efficient que le poisson-chat brun. Le lait, les œufs et la viande de poulet affichent des valeurs relativement élevées. La productivité économique de l'eau (exprimée en USD/m³) est souvent plus importante pour les produits animaux que pour les végétaux, sauf dans le cas des fruits, des légumes et des racines féculentes. La demande mondiale de produits de l'élevage est en hausse (comme l'est celle des aliments pour animaux), ce qui peut peser sur les ressources en eau douce. Il est donc nécessaire d'améliorer encore la productivité de l'eau utilisée pour les produits de l'élevage.

Options possibles pour les systèmes de production animale

La production animale repose sur différents systèmes qui utilisent l'eau de façon variée. Concernant l'alimentation des animaux, l'élevage peut se faire à l'herbe et/ou au moyen d'aliments produits avec ou sans irrigation. Dans les systèmes mixtes, le cheptel consomme des résidus de culture et des sous-produits végétaux, et produit du fumier utilisé comme engrais sur les cultures. Plus d'un tiers des terres libres de glace de la planète sont utilisées pour faire paître des animaux¹¹⁴. Le bétail pâture sur approximativement 2 milliards d'hectares de pâturages et de prairies qui, pour les deux tiers, ne se prêtent pas à la culture. Dans ces zones, la production animale est le seul moyen de transformer les précipitations en aliments. Outre une grande part des terres agricoles, la production animale utilise de grandes quantités d'eau¹¹⁵. Bien souvent, à la différence des terres cultivées, les terres d'élevage ne sont pas considérées comme étant soumises à une gestion de l'eau à usage agricole, alors même qu'il existe de nombreuses possibilités d'améliorer leur productivité de l'eau et leurs résultats environnementaux. L'élevage représente aussi un sérieux atout en matière de résilience, car il permet d'amortir les effets de la sécheresse sur la production agricole et les moyens d'existence des agriculteurs grâce, entre autres, à la mobilité des animaux, à la lutte contre les maladies, à la gestion de la santé, de l'alimentation et de l'abreuvement des troupeaux, et à la stratification de la production pour réduire la pression de pâturage dans les zones arides¹¹⁶. Dans de nombreuses sociétés pastorales, la mobilité est une stratégie essentielle pour accéder à des pâturages et des points d'eau dispersés sur de vastes territoires, ce qui est particulièrement important durant un épisode de sécheresse grave¹¹⁷.

Dans les pâturages, une bonne maîtrise de la saison, de la pression et du rythme du pâturage ainsi que de la répartition des troupeaux peut améliorer la couverture végétale, réduire l'érosion du sol et maintenir ou accroître la qualité de l'eau et les disponibilités en eau¹¹⁸. La gestion des animaux implique une amélioration de leur santé et un élevage attentif^{115, 119}. Les choix d'alimentation peuvent

TABLEAU 4
PRODUCTIVITÉ MONDIALE MOYENNE DE L'EAU POUR CERTAINS PRODUITS ANIMAUX

Aliment	Productivité de l'eau			
	Masse (kg/m ³) ⁱ	Calories (kcal/m ³) ⁱⁱ	Protéines (g/m ³) ⁱⁱ	Valeur économique (USD/m ³) ⁱⁱⁱ
Poisson-chat brun	0,16	216	24,8	–
Viande bovine	0,07	101	9,2	0,166
Beurre	0,19	1 491	0,0	0,828
Viande de poulet	0,26	373	32,9	0,316
Œufs	0,35	502	39,1	0,310
Lait	1,05	591	34,8	0,309
Viande porcine	0,19	519	19,6	0,263
Viande ovine	0,10	199	13,4	0,254
Tilapia (poids frais)	0,30	288	60,3	–

ⁱ Les valeurs relatives à l'élevage et aux produits de la pêche et de l'aquaculture sont tirées de Mekonnen et Hoekstra, 2012¹¹¹ et de Lemoalle, 2008¹¹⁰, respectivement.

ⁱⁱ Calculée à partir de la productivité de l'eau bleue et verte et de la composition nutritionnelle des produits animaux.

ⁱⁱⁱ Calculée à partir de la productivité de l'eau et du prix des produits animaux à la production. Les compositions nutritionnelles et les prix à la production sont tirés de FAOSTAT¹¹².

NOTE: Pour les produits de la pêche et de l'aquaculture, les conversions en kilocalories et en valeurs protidiques ont été calculées conformément aux éléments fournis par le Nutrient Data Laboratory du ministère de l'agriculture des États-Unis¹¹³.

SOURCES: Mekonnen et Neale, 2020⁵⁰ et Lemoalle, 2008¹¹⁰.

aussi permettre de relever le double défi de l'augmentation de la productivité de l'eau du secteur et de la conservation de l'eau, grâce à une gestion améliorée et à un resserrement des écarts de rendement sur les cultures fourragères. Une étude menée à Santa Catarina, au Brésil, sur la période 2001-2011, a fait apparaître que des stratégies nutritionnelles pouvaient réduire l'empreinte hydrique de l'élevage porcin de 18 pour cent et augmenter la productivité de l'eau – en termes nutritionnels – de plus de 20 pour cent¹²⁰. Une autre étude réalisée dans le nord de l'Allemagne a établi qu'un accroissement du rendement laitier, associé à une alimentation des animaux à l'ensilage d'herbe et de maïs, augmentait nettement la productivité de l'eau sur les exploitations laitières par rapport à une alimentation fondée sur le pâturage et des aliments concentrés¹²¹. Dans les systèmes agricoles mixtes associant cultures et élevage, la productivité de l'eau peut être améliorée par un choix soigneux des types d'aliments donnés aux animaux, une amélioration de la qualité et de la provenance de ces aliments, une augmentation de la productivité de l'eau utilisée pour les produire

et une gestion du pâturage^{119, 122}. Ces pratiques renforcent l'efficience d'utilisation de l'eau et des terres et réduisent considérablement les émissions de GES.

Un emploi efficace de l'eau stockée dans des citernes et des réservoirs, de l'eau de pluie et de l'eau de qualité marginale pour l'élevage est essentiel, étant donné qu'une grande quantité de l'eau utilisée dans l'élevage est destinée aux animaux¹¹⁵. Réduire la quantité consommée au moyen de dispositifs d'abreuvement plus efficaces (dispositifs à bol et de type sucette, par exemple) et entretenir et réparer les abreuvoirs pour éliminer les fuites constituent des stratégies de conservation importantes. Outre les changements qu'il est possible d'apporter dans l'alimentation et les systèmes d'abreuvement des animaux, les autres options portent sur l'ombrage des aires d'attente et des parcs d'engraissement, et sur la régulation de la température dans les locaux de stabulation¹¹⁵. Gérer le nettoyage, les systèmes à haute pression ou le recyclage peut aussi réduire la consommation et la vulnérabilité aux pénuries, et l'utilisation d'eau issue d'autres sources allège la

pression sur les sources déficitaires. Les tentatives pour améliorer la productivité de l'eau à usage agricole doivent tenir compte des différences entre les systèmes et optimiser l'utilisation des ressources par leurs composantes¹²². Le fait de prendre les institutions, les politiques et la parité hommes-femmes en considération peut assurer la réussite des interventions¹¹⁹. ■

APPROCHES DE GESTION DE L'EAU ET REPERCUSSIONS AU-DELÀ DE L'EXPLOITATION

Lier les paysages agricoles et les fonctions écosystémiques

Les systèmes de production agricole sont des facteurs majeurs qui déterminent une série d'effets sur l'environnement, désirables ou indésirables. Les cultures et les pâturages pluviaux peuvent avoir une incidence considérable sur la biodiversité et la qualité de l'eau¹²³. Certaines stratégies en matière d'eau ont aussi parfois des effets préjudiciables. Les mesures décentralisées, comme les citernes d'eau de pluie et la récupération des eaux d'orage, même à petite échelle, peuvent avoir des effets défavorables sur le bilan hydrologique d'un bassin versant si elles ne sont pas associées à d'autres solutions (remise en état des écosystèmes amont, par exemple). Les grands programmes de récupération d'eau à petite échelle, tels que la gestion locale de bassin mise en œuvre dans l'État d'Andhra Pradesh et dans d'autres parties de l'Inde, ont des effets considérables sur l'hydrologie en général et sur les volumes d'eau disponibles en aval¹²⁴, et peuvent compromettre gravement la productivité de la pêche fluviale. Il n'en reste pas moins que les données probantes sont nuancées et qu'il faut de nouveaux outils de modélisation et de collecte de données sur le terrain^{125, 126}.

Une gestion améliorée de l'eau à usage agricole peut aussi amener des changements environnementaux souhaitables. Ainsi, dans

le bassin versant de Kothapally, dans le sud de l'Inde, les interventions dans ce domaine ont permis de réduire la charge sédimentaire arrivant dans les cours d'eau, ce qui s'est traduit par d'importants effets favorables sur l'écologie fluviale et la durée de vie des retenues¹²⁵. Une gestion de l'eau appropriée peut aussi réduire sensiblement les émissions de GES. La réduction ou l'interruption des périodes d'inondation des rizières, par exemple, est l'une des techniques les plus prometteuses pour faire baisser les émissions liées à la culture du riz, car elle permet de diminuer la production de méthane par les bactéries et donc les émissions de ce gaz^{127, 128}. Plusieurs approches prennent en compte la relation entre les paysages agricoles, l'utilisation des ressources et les fonctions des écosystèmes. Les solutions s'inspirant de la nature utilisent ou imitent des processus naturels pour favoriser une gestion améliorée de l'eau. Il peut s'agir de conserver ou de réhabiliter les écosystèmes naturels et/ou d'améliorer ou de créer des processus naturels dans des écosystèmes modifiés ou artificiels¹²⁹. Ces solutions peuvent produire des effets favorables en cascade pour l'agriculture, la biodiversité, la sécurité alimentaire et l'environnement. Cependant, bien qu'elles soient de plus en plus reconnues, leur mise en œuvre à grande échelle se heurte toujours à quelques problèmes. Des voix s'élèvent pour demander un changement de paradigme qui conduise à considérer les forêts, les tourbières et d'autres écosystèmes comme des mécanismes de régulation de l'eau douce à l'échelle continentale aussi bien que locale, dans une approche paysagère intégrant de nombreuses parties prenantes (voir l'[encadré 14](#)). Les conditions propices placent les solutions s'inspirant de la nature au même niveau que les autres options de gestion de l'eau. Elles peuvent comprendre une réorientation de l'investissement, la rémunération des services écosystémiques et des pratiques et politiques agricoles durables destinées à soutenir ce type de solutions¹²⁹.

Gestion des ruissellements et lutte contre la sédimentation et l'érosion

L'un des avantages sous-évalué de la gestion de l'eau à usage agricole est son effet en matière de rétention des ruissellements de surface et de lutte contre la sédimentation. Le captage des ruissellements et des pluies extrêmes par

ENCADRÉ 14 FORÊTS ET SOLUTIONS S'INSPIRANT DE LA NATURE

Éléments essentiels du cycle de l'eau, les forêts et les arbres jouent un rôle central dans les solutions de gestion de l'eau qui s'inspirent de la nature. La gestion durable des forêts et des arbres peut contribuer à améliorer la qualité de l'eau et à augmenter les disponibilités hydriques, et à assurer un approvisionnement en eau en temps voulu tout en réduisant les risques tels que les inondations, l'érosion des sols et du littoral ainsi que les sécheresses. Les forêts de brouillard, que l'on trouve dans les zones tropicales et subtropicales, apportent de l'eau supplémentaire aux bassins versants en capturant la brume et en diminuant l'évapotranspiration¹³⁰.

Les forêts et les arbres améliorent également la qualité de l'eau en amplifiant l'infiltration et en réduisant les contaminants issus du lessivage des terres cultivées ainsi que l'érosion et la sédimentation, ce qui a des effets importants sur la biodiversité. On peut citer à titre d'exemple l'importance, pour la productivité aquatique, des forêts riveraines dans le Pacifique Nord-Ouest et en Amérique du Nord: elles maintiennent la température de l'eau, les nutriments, la morphologie des chenaux et les substrats, des facteurs qui doivent demeurer dans

certaines limites pour préserver les pêches continentales (celle du saumon, par exemple). Les solutions s'inspirant de la nature qui sont fondées sur les forêts peuvent également accroître la résilience des populations et de leurs cultures face au changement climatique et aux phénomènes météorologiques extrêmes. Sur le littoral, les forêts peuvent atténuer les effets des marées de tempête, de l'érosion côtière et de l'intrusion saline due à l'élévation du niveau de la mer, qui tous ont une incidence sur l'agriculture. Les écosystèmes de mangrove peuvent protéger les zones littorales habitées contre les effets du vent et de l'érosion par les vagues et autres phénomènes côtiers¹³¹. La végétation côtière, et en particulier les mangroves, peut jouer un rôle très important dans le traitement des eaux usées, la suppression des contaminants chimiques et l'atténuation de la pollution du littoral et de l'érosion des sols^{132, 133}. Leur remise en état peut être associée à des activités d'aquaculture – le repiquage, dans les bassins, de jeunes plants de palétuvier est un moyen rentable et respectueux de l'environnement de traiter les eaux usées issues de ces activités¹³⁴.

les systèmes de rétention réduit non seulement les pénuries d'eau en période de sécheresse, mais aussi les inondations, et présente une utilité pour la production de biomasse et pour la rétention d'éléments nutritifs¹³⁵. La lutte contre la sédimentation vise à remédier à l'érosion et à la fuite de sédiments, qui se traduisent par la perte d'une couche arable précieuse – perte qui réduit la productivité et la capacité des terres à retenir l'eau – et par des dommages aux infrastructures (centrales hydroélectriques et installations de traitement des eaux usées, par exemple). La sédimentation est également susceptible de dégrader la qualité de l'eau, du fait des déversements dans les cours d'eau, les lacs et les zones côtières, de réduire la capacité de stockage des retenues et d'aggraver les dommages causés par les inondations¹³⁶.

Une étude menée en Éthiopie a montré que la récupération d'eau et la conservation des sols et de l'eau – au moyen de digues et d'une

agriculture de conservation, par exemple – avaient des avantages notables en matière de rétention des ruissellements et de réduction (de l'ordre de 45 à 90 pour cent) des fuites de sédiments⁴¹. En Afrique australe, les sédiments et les ruissellements de surface ont été réduits de 80 pour cent et 60 pour cent respectivement⁴⁰. Une méta-analyse conduite par Joshi *et al.* (2008) et couvrant plus de 600 microzones de captage en Inde a indiqué que les ruissellements avaient diminué en moyenne de 45 pour cent et que le volume de terre végétale retenu s'élevait à 1,1 tonne par hectare¹³⁷. L'étude a également mis en évidence une relation positive entre la participation et les avantages de la mise en valeur des zones de captage, soulignant qu'obtenir la participation des parties prenantes était essentiel si l'on voulait éviter que les mesures prises par un groupe d'agriculteurs n'aient des conséquences désastreuses sur un autre groupe. L'utilisation de bandes herbeuses, d'arbustes et d'arbres est une autre pratique de conservation des sols et de

l'eau, une solution inspirée de la nature qui, en plus de retenir l'humidité et de prévenir l'érosion dans les pentes²⁵, permet de réduire nettement la fuite de sédiments¹³⁸. Les plantations le long des berges des cours d'eau peuvent aussi améliorer fortement la qualité de l'eau pour les poissons. Dans le bassin de la rivière Zarqa en Jordanie, la gestion durable des parcours s'est traduite par une augmentation de la biomasse comestible et du stockage du carbone et/ou par une plus grande stabilisation des sédiments¹³⁹.

Ces constatations sont difficiles à transposer à l'échelle d'un bassin versant et au-delà¹⁴⁰. Les déficits de données concernant les régions agricoles tropicales et subtropicales, mais aussi les zones de captage de petite et moyenne taille (comprises entre 0,01 km² et 100 km²), sont importants¹⁴¹. Le suivi à long terme des paysages dans l'ensemble des régions et pour tous les systèmes de production fait également défaut, or il serait particulièrement précieux dans les pays à faible revenu et les pays les moins avancés, où l'agriculture évolue rapidement.

Gérer les accumulations d'éléments nutritifs issus de l'agriculture

La production agricole peut perturber le cycle naturel des éléments nutritifs – azote et phosphore –, ce qui fait craindre une dégradation des ressources en eau par accumulation excessive d'éléments nutritifs et eutrophisation. Il est probable que la croissance démographique et la création de richesse accentueront encore ces problèmes. La croissance est plus rapide dans les pays à faible revenu puisque, d'après les projections, elle pourrait aller jusqu'à 118 pour cent et 47 pour cent pour l'azote et le phosphore respectivement¹⁴². Il s'agit ici des pays dont la population augmente le plus vite, entraînant la demande de produits alimentaires et la production agricole. On ne pourra pas assurer la sécurité alimentaire et la nutrition ni la durabilité environnementale sans aborder la question de la pollution agricole.

La gestion de l'eau, au moyen par exemple de bandes de végétation, de fossés/bassins d'infiltration et de terres humides créées par l'homme, peut contribuer à retenir les éléments

nutritifs en excès, en particulier l'azote et le phosphore (les polluants de l'eau les plus courants), réduisant ainsi la pollution diffuse¹³⁸. Ces techniques ont une efficacité variable, qui dépend souvent de leur conception et du paysage local, mais elles sont largement appliquées dans les systèmes de production agricole d'Europe et d'Amérique du Nord.

L'intégration de l'aquaculture dans les systèmes agricoles peut aider à retenir les accumulations excessives d'éléments nutritifs et améliorer la qualité de l'eau¹⁴³. Dans certains systèmes, la présence de poisson concourt à la rizipisciculture, au cycle des éléments nutritifs et à la circulation. Les poissons permettent de réduire l'utilisation de pesticides et les coûts associés, d'empêcher la croissance des adventices dans les rizières et d'améliorer la fertilité du sol. Cela étant, cette technique peut aussi complexifier la gestion des systèmes en question. Pour plus d'informations sur la pollution de l'eau imputable à l'agriculture, voir Zoom: Agriculture, pollution de l'eau et salinité, p. 51. ■

REMÉDIER À LA RARETÉ DE L'EAU EN FAISANT APPEL À DES SOURCES NON CONVENTIONNELLES

Face à une demande croissante, le recours à des sources non conventionnelles d'eau, comme les eaux usées traitées ou l'eau dessalée, monte en puissance. La plupart des activités humaines utilisant de l'eau produisent des eaux usées qu'il est possible de récupérer pour un usage secondaire, dans l'agriculture par exemple. Si toute cette eau était récupérée, cela permettrait de réduire fortement les pressions qui s'exercent sur les ressources en eau douce et de pallier la rareté, à condition toutefois que les évaluations comptables attestent que l'écoulement restitué n'assurait pas une fonction environnementale.

Réutilisation de l'eau

On prédit que la production d'eaux usées va augmenter considérablement avec la croissance démographique et l'urbanisation. En moyenne,

les pays à revenu élevé traitent 73 pour cent environ de leurs eaux usées. Ce chiffre tombe à 54 pour cent dans les pays à revenu intermédiaire de la tranche supérieure, et à 28 pour cent dans les pays à revenu intermédiaire de la tranche inférieure. Au niveau mondial, 80 pour cent environ des eaux usées sont rejetées sans avoir été correctement traitées^{144, 145}. En 2019, la capacité nouvelle prévue de réutilisation de l'eau était de 7,5 millions m³/jour. La Chine arrive en tête (3,7 millions m³/jour), suivie par les États-Unis d'Amérique (880 000 m³/jour) et par l'Inde (680 000 m³/jour)¹⁴⁶. Il s'agit pour la majeure partie d'une eau faisant l'objet d'un traitement tertiaire et/ou d'un traitement de pointe. Ce phénomène s'inscrit dans une tendance plus large en faveur d'un traitement avancé, déterminé par la demande industrielle d'une eau de plus haute qualité et la demande de l'agriculture.

Les chiffres précis de réutilisation de l'eau dans l'agriculture sont difficiles à trouver, mais on sait que 10 pour cent environ de la superficie totale irriguée à l'échelle mondiale reçoit des eaux usées non traitées ou partiellement traitées, ce qui représente plus de 30 millions d'hectares répartis dans 50 pays^{144, 147}. Depuis des décennies, le principal avantage d'une réutilisation de l'eau dans l'agriculture est de faire baisser la pression sur les sources d'eau douce¹⁴⁸.

L'économie circulaire place cette réutilisation dans une logique différente, proposant un modèle dans lequel la valeur des produits, des matériaux et des ressources est prolongée aussi longtemps que cela est faisable et le gaspillage est réduit, voire éliminé¹⁴⁹. Les eaux usées traitées sont facilement accessibles pour l'agriculture, notamment pour l'irrigation. Le recours à cette source d'eau d'irrigation augmente la certitude que les disponibilités en eau se maintiendront tout au long de l'année, même durant les épisodes de sécheresse. Les éléments nutritifs peuvent être récupérés à partir des boues d'épuration (biosolides) et réutilisés comme engrains, une pratique largement répandue dans un grand nombre de pays¹⁵⁰. En Europe, plus d'un quart des boues d'épuration produites en 2017 ont été utilisées dans l'agriculture¹⁵¹. Enfin, la valorisation énergétique – production de biogaz à partir du traitement des déchets sur l'exploitation, par exemple – constitue aussi un avantage.

Quand elles sont traitées conformément aux besoins des utilisateurs finals (et sont donc adaptées à leur finalité), les eaux usées constituent une option réaliste comme source non conventionnelle d'eau, d'éléments nutritifs et d'énergie pour l'agriculture. Réutiliser dans l'agriculture des eaux usées traitées de façon adaptée à cet usage est une situation avantageuse pour toutes les parties car cela repose sur des systèmes améliorés d'évacuation des eaux usées (systèmes de collecte), des installations de traitement, une réutilisation des éléments chimiques (azote et phosphore) et une mise à disposition d'eau pour des usages à plus forte valeur ajoutée. Dans certains pays, toutefois, l'utilisation des eaux usées traitées pour irriguer des cultures vivrières n'est toujours pas culturellement acceptable. Associées à des voies de communication fiables, une réglementation par les pouvoirs publics et la participation des parties prenantes contribueraient à changer les points de vue défavorables à l'utilisation de sources d'eau non conventionnelles pour la production alimentaire. En outre, les questions d'évaluation des critères de qualité de l'eau, d'effets potentiels sur l'environnement et de réglementation doivent être résolues pour favoriser les bonnes pratiques et la mise en œuvre.

Les politiques actuelles concernant l'utilisation des eaux usées traitées sont extrêmement fragmentées et, dans de nombreux pays, incomplètes, ce qui tend à entraver le développement¹⁵². Il serait souhaitable d'élaborer à la fois des cadres d'action et des cadres de planification destinés aux États, aux municipalités et aux groupements chargés des ressources en eau, afin de développer le recyclage des eaux usées, susceptible à terme d'approvisionner l'agriculture en eau d'irrigation. Des programmes de formation et de renforcement des capacités peuvent encourager l'utilisation de ces techniques via des filières locales et internationales, en tenant compte des conditions et des besoins locaux. Lever les obstacles et créer un environnement porteur nécessitera des lois et règlements appropriés pour permettre le financement nécessaire à l'adoption de ces techniques.

Dessalement

Le dessalement désigne l'élimination de solides (principalement des sels inorganiques) et d'autres contaminants dissous d'une eau qui peut provenir de plusieurs sources: eau de mer, eau saumâtre (eau de surface et eau souterraine) et eau d'irrigation drainée. Aristote, dans son fameux traité *Météorologiques* (rédigé aux alentours de 350 avant J.-C.), décrivait le processus de distillation qui visait à éliminer les sels et autres composants pour produire de l'eau douce. Depuis lors, le dessalement est devenu une solution majeure pour approvisionner les villes en eau, en particulier dans les régions désertiques et sujettes à la sécheresse. Étant donné la quantité presque illimitée d'eau de mer, le dessalement semble une solution intéressante pour relever le défi vieux comme le monde que représente cette eau abondante mais impropre à la consommation¹⁵³. On compte quelque 16 000 usines de dessalement, qui produisent aux alentours de 100 millions m³/jour d'eau potable pour 5 pour cent de la population mondiale, dont 48 pour cent se trouvent au Proche-Orient et en Afrique du Nord^{154, 155}. Depuis 2018, plus de 400 projets de dessalement ont été conclus dans le monde, représentant une capacité nouvelle de 4 millions m³/jour au premier semestre 2019¹⁴⁶.

La principale méthode de production d'eau douce a été la distillation, qui consistait à transformer l'eau de mer en vapeur, puis à condenser cette vapeur pour obtenir de l'eau pure. Dans les années 1950 sont apparus les procédés membranaires, tels que l'électrodialyse et l'osmose inverse. Dans l'électrodialyse, un courant électrique isole les sels dissous dans l'eau. Dans l'osmose inverse, la pression force le passage de l'eau à travers une membrane semi-perméable qui extrait la majeure partie des sels¹⁵⁶. Contrairement à la distillation, les membranes modernes utilisent très peu d'énergie pour produire de l'eau douce; en revanche, l'élimination des sels extraits continue de poser un problème environnemental majeur¹⁵⁷.

Le principal obstacle au dessalement a toujours été le coût. Son application dans l'agriculture s'est limitée à un petit nombre de domaines, comme certaines cultures de grande valeur et nécessitant des aides publiques à l'investissement¹⁵⁶. Au cours des dernières

décennies toutefois, le dessalement est devenu beaucoup plus efficient et rentable en raison d'une plus forte demande, d'améliorations technologiques, d'une baisse des coûts et de l'énergie consommée, de l'installation d'usines de grande ou de très grande taille, et de la réalisation de projets plus compétitifs¹⁵⁸. Une étude de 2008 a fait apparaître une réduction constante du coût du dessalement sur près de trois décennies et estime que les grandes usines de dessalement sont à même de produire de l'eau à un coût compris entre 0,5 et 2 USD/m³, selon la taille des installations¹⁵⁹. De même, une étude plus récente estime que le coût de l'eau dessalée varie entre 0,5 et 1,5 USD/m³¹⁶⁰. Du point de vue du coût, le dessalement d'eau saumâtre est mieux adapté à la production agricole que celui de l'eau de mer. Les membranes et les énergies renouvelables, telles que l'énergie solaire, ont rendu le dessalement plus accessible, en particulier pour des cultures commerciales à forte valeur ajoutée, comme les légumes produits sous serre. Les agriculteurs jugent intéressant ce procédé qui permet d'éliminer les sels (en particulier le sodium et les chlorures) susceptibles d'endommager les sols, de retarder la croissance des plantes et de nuire à l'environnement¹⁶¹.

Plusieurs pays, comme l'Australie, la Chine, l'Espagne, le Maroc et le Mexique, utilisent déjà avec profit de l'eau dessalée dans l'agriculture. Dévora-Isiordia *et al.* (2018) ont calculé le coût du dessalement (0,338 USD/m³) et son utilisation économique dans l'agriculture de l'État de Sonora, au Mexique¹⁶². Ils ont conclu que, pour s'assurer de sa viabilité, les agriculteurs devaient opter pour des cultures à haut rendement présentant un rapport avantages-coûts positif, comme les légumes (tomates et piments, par exemple), et mettre en place une irrigation au goutte à goutte. Des exploitations pratiquant l'agriculture et l'aquaculture de façon intégrée testent actuellement l'utilisation directe d'eau salée sur des cultures tolérantes au sel¹⁵². Les politiques et les réglementations ont un rôle puissant à jouer pour stimuler ces deux techniques au moyen de projets publics, d'un accompagnement du secteur privé et d'un échange de connaissances¹⁵². Les partenariats public-privé permettent également de réduire les risques d'investissement.

Le dessalement de l'eau peut avoir des effets préjudiciables sur l'environnement (élimination de la saumure et des résidus, et émissions de GES). Même s'il existe des technologies et des options de gestion permettant de réduire ces effets, il y a besoin de normes et d'études d'évaluation d'impact (local et régional)¹⁵⁶, ainsi que de travaux de recherche sur l'élimination de la saumure et sur le suivi permanent des effluents. ■

FAIRE EN SORTÉE QUE L'INNOVATION, LES COMMUNICATIONS ET LA TECHNOLOGIE FONCTIONNENT POUR TOUS

De plus en plus, l'agriculture devient une activité nécessitant une somme de connaissances, et les décisions que les agriculteurs doivent prendre ne cessent de se complexifier, que ce soit à propos des sols et de l'eau, du choix de cultures à produire et de la façon dont il faut procéder ou de l'endroit où acheter leurs intrants et vendre leurs produits; aussi les besoins d'information sont-ils appelés à croître. La nature locale de l'agriculture requiert une information adaptée à chaque contexte¹⁶³. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) offrent de grandes possibilités d'augmentation de la productivité agricole et de préservation des ressources naturelles, y compris de l'eau.

L'acronyme TIC est un terme générique couvrant des technologies aussi diverses que la radio-imagerie, l'imagerie par satellite, le téléphone portable, l'échange d'informations via des services de messagerie ou le transfert électronique de fonds¹⁶³. En Inde, Nano Ganesh, un système d'automatisation de l'irrigation, permet aux agriculteurs de mettre leur pompe en service ou hors service à distance et d'obtenir des informations sur la consommation d'eau et d'électricité. Il leur permet également de programmer la durée d'irrigation pour répondre aux besoins des cultures. En 2015, ce dispositif était utilisé par 20 000 agriculteurs environ,

et son rapport avantages-coûts était estimé à 6:1¹⁶³. L'utilisation de ce système peut ouvrir des possibilités d'activités rémunératrices, dans l'installation, la réparation, la formation et les présentations, par exemple, ainsi que des possibilités d'emploi pour les femmes.

L'agriculture de précision fait appel à d'autres outils des TIC, comme le GPS, les satellites, les capteurs et les images aériennes, qui fournissent aux agriculteurs des informations spécifiques à chaque site et propres à étayer leurs décisions de gestion^{163, 164}. Déterminer l'état du sol et des conditions de culture, en ayant le souci de limiter au maximum les effets sur la vie sauvage et l'environnement, c'est la base même de l'agriculture de précision. Certains outils de précision sont principalement utilisés dans les pays à revenu élevé; ils offriraient pourtant de grandes possibilités dans les pays à faible revenu. Un grand nombre de ces applications ont été réservées aux grandes exploitations, mais elles présentent là encore des possibilités pour les petits agriculteurs. Les réseaux de capteurs sans fil – qui regroupent de petits dispositifs de détection, ou nœuds, recueillant des données – en sont un exemple. Non seulement cette technologie est relativement bon marché (certains appareils coûtent moins de 100 USD), mais elle peut fonctionner avec des piles et des sources d'énergie de substitution, ce qui revêt une importance cruciale dans les pays à faible revenu¹⁶⁵. Les capteurs sans fil peuvent aussi être utilisés dans l'aquaculture pour surveiller l'oxygène, les courants de marée, la température, le comportement des poissons et l'état de l'eau. AKVA, une entreprise norvégienne spécialisée dans l'aquaculture commerciale, se sert de capteurs dans lesquels une caméra est intégrée pour détecter les aliments non consommés dans les cages d'élevage¹⁶⁶. À partir de cette information, les signaux des capteurs peuvent interrompre la distribution d'aliments, permettant ainsi de doser avec plus de précision les apports de nourriture et les achats d'aliments. Les capteurs peuvent aussi permettre d'adapter avec précision le taux d'alimentation des poissons au fil du temps¹⁶³.

Les technologies satellitaires sont un autre groupe d'outils susceptibles de recueillir, de gérer et d'analyser des données en rapport

avec la productivité des cultures et les intrants utilisés sur le terrain. Leur coût initial et les exigences techniques qui y sont associées constituent toutefois un problème pour les petits agriculteurs. Les efforts déployés pour rendre ces technologies inclusives et efficaces doivent se concentrer sur la série complète de capacités et de ressources nécessaires aux petits exploitants. Un exemple d'informations satellitaires figure sur le portail récemment élaboré par la FAO et intitulé «Portail de données en libre accès sur la productivité de l'eau» (WaPOR), qui permet d'accéder à une base de données ouverte à tous et contenant des données satellitaires (*encadré 15*)¹⁶⁷.

Les progrès et la diffusion mondiale des outils des TIC, comme les méthodes statistiques géospatiales, font qu'il est désormais possible de recueillir, d'analyser et de partager des données plus efficacement, mais aussi de visualiser et de comprendre ce que ces informations signifient pour l'agriculture¹⁶⁸. La batterie de capteurs intégrée dans les smartphones s'est étendue et comprend désormais des baromètres et des thermomètres susceptibles de collecter des données météorologiques très localisées. Les petits agriculteurs équipés d'un téléphone portable commencent à tirer profit d'outils améliorés. Cela étant, l'accès aux données demeure un défi.

Le secteur public comme le secteur privé ont un rôle essentiel à jouer pour aider à combler ces lacunes. Intégrer les TIC dans les programmes nationaux, créer un environnement propice et concevoir des systèmes numériques compatibles et faciles à utiliser peut contribuer à améliorer l'accès. À titre d'exemple, on peut citer l'initiative Données ouvertes mondiales pour l'agriculture et la nutrition, lancée en 2013, qui milite en faveur des politiques d'ouverture de l'accès aux données dans les secteurs public et privé. Autre exemple, Open Ag Data Alliance, lancée en 2014, a pour but d'aider les agriculteurs à accéder à leurs données et à les contrôler¹⁶⁹. Lancée en 2008, Digital Green permet aux agents de vulgarisation et aux groupes d'agriculteurs pairs de mettre des vidéos en ligne pour partager des connaissances sur des pratiques agricoles améliorées. En juin 2020, l'organisation avait atteint 1,8 million de petits agriculteurs en Inde – dont 90 pour cent étaient des femmes –

représentant 15 200 villages¹⁶⁸. Les clubs Dimitra de la FAO cherchent à autonomiser les communautés rurales, en particulier les femmes et les jeunes, au moyen de téléphones portables et de stations de radio qui leur permettent de partager l'information. L'âge crée des asymétries dans l'accès aux TIC, les jeunes adoptant souvent plus aisément les nouvelles technologies; il est possible de tirer parti de ce décalage et de l'utiliser comme un outil d'apprentissage au sein des communautés. ■

CONCLUSION

Il est possible de répondre à la demande future de produits alimentaires sans fragiliser davantage l'environnement, mais il faudra pour cela transformer la gestion de l'eau. Le présent chapitre a étudié les options technologiques et les nouvelles pratiques de gestion de cette ressource qui permettent de remédier à la rareté de l'eau et aux pénuries auxquelles font face la culture, l'élevage et la pêche et l'aquaculture continentales, que ce soit en zones irriguées ou pluviales, et d'améliorer la production agricole, la sécurité alimentaire et la nutrition, ainsi que la résilience face au climat, et ce de façon durable. Certains points essentiels ressortent.

Premièrement, si l'agriculture pluviale prédomine, des écarts de rendement considérables dans les systèmes de culture pluviale persistent. Associée à de bonnes pratiques agronomiques, l'amélioration de la gestion de l'eau offre de grandes possibilités d'accroître ces rendements, en particulier en Afrique subsaharienne, en Europe de l'Est et dans certaines parties de l'Asie, où les écarts sont les plus importants, en tenant compte des conditions et des besoins locaux.

Deuxièmement, même si les zones irriguées offrent des rendements plus élevés et plus stables comparés à ceux des zones pluviales, on constate là aussi des écarts importants, ce qui donne à penser qu'il existe une grande marge d'amélioration, en particulier en Afrique subsaharienne, en Afrique du Nord et en Asie occidentale, et en Amérique latine et aux Caraïbes. Des investissements s'imposent dans la comptabilité de l'eau et la répartition de cette ressource; une irrigation efficiente;



ENCADRÉ 15

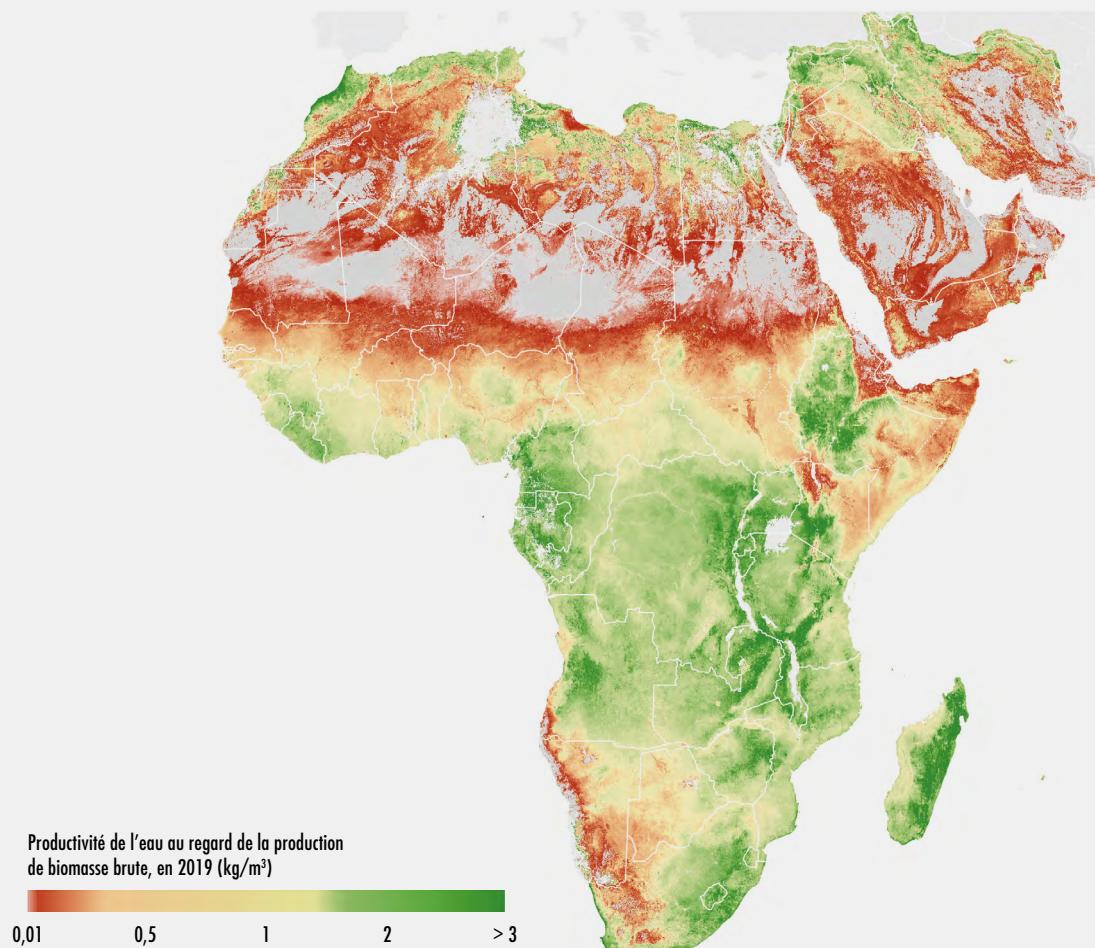
PORTAIL DE DONNÉES EN LIBRE ACCÈS SUR LA PRODUCTIVITÉ DE L'EAU (WaPOR) – LA TÉLÉDÉTECTION AU SERVICE DE LA PRODUCTIVITÉ DE L'EAU

La plateforme WaPOR de la FAO permet un accès ouvert et opérationnel à une base de données sur la productivité de l'eau et à des milliers de couches cartographiques. Elle permet de rechercher directement des données, d'analyser des séries chronologiques, d'obtenir des statistiques de superficie et de télécharger des données sur les principales variables liées à la productivité des terres et de l'eau¹⁶⁹. En fournissant presque en temps réel des informations au niveau du pixel pour l'ensemble de l'Afrique et du Proche-Orient, la plateforme WaPOR permet à des prestataires de services d'aider les agriculteurs à bénéficier de rendements plus fiables et à améliorer leurs moyens d'existence. Parallèlement, les autorités ont accès à des informations qui leur permettent de moderniser les systèmes d'irrigation, et les organismes

gouvernementaux peuvent renforcer l'efficience de l'utilisation des ressources naturelles.

La figure du présent encadré illustre la variation spatiale de la productivité de l'eau, telle que mesurée par WaPOR. Les taches de couleur jaune-vert correspondent aux zones qui présentent la productivité de l'eau la plus élevée, c'est-à-dire une faible consommation d'eau par produit agricole et des champs qui ont un rendement d'au moins 1 kg de produit par mètre cube d'eau. Les champs en orange-rouge présentent des performances insuffisantes et une faible productivité de l'eau qui peut être due à des pratiques agronomiques peu efficaces. Pour améliorer les zones en rouge, on peut analyser les zones en vert et les référencer en vue d'une reproduction à plus grande échelle.

PRODUCTIVITÉ DE L'EAU AU REGARD DE LA PRODUCTION DE BIOMASSE BRUTE, EN 2019



NOTE: La productivité de l'eau au regard de la production annuelle de biomasse brute correspond à la quantité produite (production totale de biomasse) par rapport au volume total d'eau consommée pendant l'année (évapotranspiration réelle). La frontière définitive entre la République du Soudan et la République du Soudan du Sud n'a pas encore été arrêtée.
SOURCE: FAO, 2019¹⁷⁰.

- » des variétés à haut rendement et résilientes; des engrains et des pesticides appropriés; et une meilleure gestion des sols et de l'eau. La pression sur les ressources d'eau douce peut aussi être allégée par un recours à des sources non conventionnelles.

Troisièmement, l'élevage consomme des quantités considérables d'eau, en particulier pour produire les aliments nécessaires aux animaux; cela permet donc de nourrir de grands espoirs d'amélioration de la productivité de l'eau dans ce secteur. Les options possibles à cette fin comprennent une meilleure utilisation des pâturages; une amélioration de la santé des animaux et des soins qu'ils reçoivent; une distribution efficace d'aliments et d'eau d'abreuvement; et l'intégration des systèmes de culture, d'élevage et d'aquaculture.

La productivité, que ce soit en zone pluviale ou irriguée, et la durabilité environnementale demandent aussi à être améliorées à l'aide

d'approches intégrées, adaptées aux capacités et aux ressources des producteurs. Ces approches comprennent l'agriculture de conservation et les solutions s'inspirant de la nature, comme l'agroforesterie et la gestion des sols et de l'eau, qui renforcent la durabilité de la production. Quatrièmement, les TIC ont un rôle à jouer pour aider les agriculteurs à prendre des décisions complexes sur les ressources en terre et en eau.

Les stratégies de gestion de l'eau nécessitent de renforcer les institutions et mécanismes intersectoriels pour que les utilisateurs et les parties prenantes s'impliquent efficacement, en se souciant de l'accessibilité économique et du respect du droit humain d'accès à l'eau, en particulier pour les plus vulnérables. Enfin, qu'elles agissent sur l'offre ou sur la demande, les stratégies relatives à l'eau nécessitent des fonds qui soient consacrés à des investissements essentiels et responsables. Ces aspects sont examinés plus en détail dans les deux chapitres qui suivent. ■

ZOOM

L'AQUACULTURE AUX FINS D'UNE UTILISATION DURABLE DE L'EAU DANS LES SYSTEMES ALIMENTAIRES

Aquaculture et usage de l'eau

L'aquaculture comprend à la fois l'élevage d'animaux (poissons, crustacés et mollusques notamment) et la culture de plantes aquatiques (dont les algues et les macrophytes d'eau douce). Tandis que l'agriculture repose essentiellement sur l'eau douce, l'aquaculture se pratique en eau douce, en eau saumâtre et en milieu marin. Toutes les formes d'aquaculture nécessitent de l'eau et la pisciculture intensive (élevage à forte densité de poisson-chat, par exemple) en consomme, mais d'autres pratiques aquacoles sont: i) soit non consommatrices, ce qui signifie qu'elles ne prélèvent pas d'eau dans l'environnement; ii) soit intégrées dans une autre production agricole, ce qui signifie que deux produits au moins sont produits avec la même quantité d'eau.

L'aquaculture fournit une nourriture nutritive et de qualité¹⁷¹. La gamme de ses produits s'est progressivement développée et élargie dans des écosystèmes agricoles et des contextes économiques divers, sous l'effet des différences culturelles, de la demande et des préférences des consommateurs. L'aquaculture elle-même prend de multiples physionomies et se pratique partout dans le monde, sous des formes infiniment variées. Elle fait appel à des systèmes de production extrêmement différents, comme des étangs, des cages ou des raceways. Le

nombre d'espèces élevées dépasse les 600, mais, comme c'est le cas dans l'agriculture, la majeure partie des exploitations aquacoles reposent sur un petit «noyau» d'espèces, telles que le tilapia, la carpe, la crevette, les bivalves et les algues. En 2018, les 20 pour cent d'espèces les plus produites représentaient plus de 80 pour cent de la production mondiale¹⁷².

Pour débattre d'une utilisation durable de l'eau dans l'aquaculture, il est essentiel de comprendre deux grandes distinctions. Tout d'abord, la distinction entre les systèmes aquacoles avec et sans alimentation d'appoint. L'aquaculture avec alimentation d'appoint, qui repose sur des espèces que l'on doit nourrir, est généralement plus intensive et se démarque en matière d'efficience d'utilisation des intrants, y compris l'eau, par rapport à l'aquaculture sans alimentation d'appoint. Les systèmes aquacoles sans alimentation d'appoint sont particulièrement intéressants sur le plan de l'efficience d'utilisation de l'eau car les espèces filtreuses et omnivores (carpe et tilapia, par exemple) qui y sont élevées utilisent la productivité naturelle des masses d'eau. La seconde distinction majeure est entre l'eau douce et l'eau salée. La production mondiale de poisson d'élevage destiné à l'alimentation (c'est-à-dire à la consommation humaine) repose principalement sur l'aquaculture continentale en eau douce. En 2018, cette dernière a produit 51,3 millions de tonnes de poisson destiné »

ZOOM

L'AQUACULTURE AUX FINS D'UNE UTILISATION DURABLE DE L'EAU DANS LES SYSTÈMES ALIMENTAIRES

ÉGYPTE

Une exploitation aquaponique fonctionnant à l'énergie propre et selon les principes de la durabilité associe culture et élevage de poissons sous serre.
©FAO/Khaled Desouki



» à l'alimentation, soit 62,5 pour cent de la production mondiale de poisson d'élevage, contre 57,9 pour cent en 2000¹⁷³.

On peut aussi faire d'importantes distinctions selon le système de production. L'élevage en cage ou en nasse et les systèmes marins, dans lesquels poissons ou autres animaux aquatiques sont élevés à l'intérieur de structures flottantes ou fixes immergées (dans des bassins de retenue, des lacs et des rivières), peuvent aussi être considérés comme des pratiques non consommatrices, tout comme la pêche fondée sur l'élevage, dans laquelle l'utilisation de l'eau peut être améliorée moyennant un bon suivi et des décisions de gestion correctes. Les étangs en terre et les étangs excavés restent l'installation la plus répandue dans l'aquaculture continentale, bien que les bassins de type *raceway*, les réservoirs hors-sol, les enclos et les cages soient aussi souvent utilisés lorsque les conditions le permettent. L'aquaculture en circuit recirculé est l'une des pratiques aquacoles qui économisent le plus d'eau. Elle utilise des bassins, des pompes et des filtres pour stocker, faire circuler et épurer l'eau, de sorte que celle-ci puisse être recirculée ou recyclée, et n'ait pas besoin d'être changée. Selon la technologie et l'intensité d'élevage, la consommation d'eau peut être divisée par 100, comparée à celle des systèmes ouverts¹⁷⁴. Ainsi, certains systèmes super-intensifs récemment mis au point utilisent 300 litres d'eau nouvelle seulement, et parfois même moins, par kilogramme de poisson produit. Les sites aquacoles traditionnels en plein air convertis ou reconstruits pour devenir des systèmes à recirculation déclarent une consommation de 3 m³ d'eau par kilogramme de poisson. Un système ouvert classique pour l'élevage de la truite consommera généralement 30 m³ par kilogramme de poisson produit annuellement¹⁷⁴. L'élevage en circuit recirculé présente l'inconvénient d'être extrêmement complexe sur le plan technologique et plus onéreux que les autres systèmes, mais les économies d'eau sont considérables.

Les systèmes associant agriculture et aquaculture prennent différentes formes: production intégrée de bétail et de poisson, ou d'oiseaux et de poisson, ou rizipisciculture notamment¹⁷⁵. La culture aquaponique, qui intègre la production de poisson et la production de plantes cultivées hors sol dans des systèmes à recirculation, offre encore une autre

approche. Les produits d'un sous-système, qui autrement pourraient être considérés comme des déchets, deviennent les intrants d'un autre sous-système, améliorant la productivité de l'eau. La partie agricole est généralement considérée comme la plus importante, l'élevage de poisson constituant une production secondaire et fournissant des eaux usées riches en éléments nutritifs dont la culture tire profit.

Cette intégration permet une plus grande efficience dans l'utilisation de la terre et de l'eau placées sous le contrôle de l'agriculteur. À mesure que l'eau est fertilisée par les rejets des poissons, elle se charge en éléments nutritifs organiques, augmentant la production végétale et diminuant la nécessité d'ajouter un autre engrais¹⁷⁶. Il est fait état d'installations intégrant agriculture et aquaculture, y compris dans des zones désertiques ou arides, qui ont permis de réduire la consommation d'eau dans une proportion comprise entre 80 et 90 pour cent par rapport à une aquaculture traditionnelle¹⁷⁷.

Ainsi, en Égypte, une grande exploitation intégrant agriculture et aquaculture et fonctionnant presque entièrement en milieu clos élève des tilapias dans des viviers reliés à des bassins où l'on fait croître une fougère aquatique particulière appelée *Azolla*, qui est utilisée comme fourrage^{178, 179}. L'*Azolla* est une plante aquatique cosmopolite qui absorbe les éléments nutritifs présents dans l'eau tout en fixant l'azote atmosphérique, créant littéralement de l'engrais à partir de l'air. Cette eau est utilisée pour irriguer des vignes, des oliviers, des orangers et des manguiers¹⁸⁰.

À condition que la température le permette, les systèmes agricoles-aquacoles intégrés peuvent être particulièrement importants dans des zones montagneuses et reculées où la pauvreté et la malnutrition prévalent. Ainsi, l'intégration et la diversification de l'aquaculture permettent de produire du riz et du poisson dans une même rizièrie en terrasse, et les espèces aquatiques non nourries enrichissent l'apport nutritionnel des populations locales tout en développant l'économie rurale¹⁸¹.

Point important dans une optique d'utilisation durable de l'eau, l'aquaculture peut, dans des cas précis, être pratiquée dans une zone où, sans cela, les terres ou l'eau seraient imprévisibles à l'agriculture. Dans certains pays (la Chine et l'Égypte, par

L'AQUACULTURE AUX FINS D'UNE UTILISATION DURABLE DE L'EAU DANS LES SYSTÈMES ALIMENTAIRES

exemple), l'aquaculture en eau salée est menée dans des zones où les conditions pédologiques et les propriétés chimiques de l'eau disponible ne se prêtent pas à d'autres types de cultures vivrières, comme les cultures céréalières ou fourragères^{182, 183}. Le plus souvent, les espèces élevées sont alors le tilapia ou la crevette. Dans les plaines soumises à des inondations saisonnières et dans les zones côtières inondables, l'aquaculture peut offrir une stratégie agricole qui permet de rendre productives ces terres marginales.

Utilisation de ressources en eau saline-alcaline pour la production vivrière et comme sources de revenu

Dans de nombreux endroits du monde, les sols deviennent impropre à la culture de végétaux, et l'une des principales causes en est la salinisation, autrement dit la concentration croissante de sels dans le sol¹⁸⁴. Cela se produit souvent lorsque l'eau d'irrigation contient des sels dissous qui augmentent le pH du sol (le rendant alcalin) et réduisent sa capacité à porter des cultures. On compte environ 950 millions d'hectares de terres salines-alcalines sur la planète, soit un tiers de l'ensemble des terres émergées^{182, 183}. Plusieurs solutions sont possibles pour gérer des terres salinées; la conversion à l'aquaculture est l'une d'elles et présente un réel intérêt. Les initiatives de développement de l'aquaculture sur des terres alcalines ont donné lieu à de nombreuses réussites. Recourir à l'aquaculture améliore la productivité des terres et par conséquent l'économie rurale, en augmentant la production globale¹⁸⁵.

On peut aussi produire des artémies, un animal aquatique qui vit dans l'eau salée et que l'on utilise comme aliment dans l'aquaculture. L'artémie croît partout dans le monde et est largement utilisée vivante pour nourrir les larves de crustacés marins et de crustacés d'eau douce ainsi que les poissons. Cet aliment est considéré comme essentiel pour la réussite de la production aquacole. La collecte et l'utilisation des cystes (œufs dormants) d'artémie sont devenues des moyens d'existence et des sources de revenu considérables pour les personnes vivant à proximité de zones côtières, de lacs et autres plans d'eau salés-alcalins, et le système offre de grandes possibilités de renforcement des moyens de subsistance en l'absence d'eau douce¹⁸⁶.

L'aquaponie, pour une production intégrée de poissons et de légumes

L'aquaponie associe l'aquaculture et la culture hydroponique en un système unique de production hors sol, dans lequel les poissons fournissent les éléments nutritifs nécessaires aux plantes, tandis que les plantes épurent l'eau nécessaire aux poissons. Le raccordement de ces deux systèmes de production distincts permet un recyclage complet de l'eau. Rien ne se perd en ruissellements, en saturation ni dans la croissance d'aventices, et l'évaporation est réduite à un minimum. Les légumes ainsi produits utilisent environ 90 pour cent d'eau en moins que s'ils étaient cultivés en pleine terre, tout en fournissant un second produit¹⁷⁹. L'autre aspect de conservation de l'eau tient à l'absence totale de rejet d'effluents à l'extérieur du système aquaponique, qu'il s'agisse d'effluents issus de l'élevage de poisson ou de ruissellements à partir des cultures. Cette caractéristique est un point positif pour le bassin versant et prévient la pollution liée aux rejets d'éléments nutritifs et la pollution chimique.

L'aquaponie est donc une pratique efficace pour économiser l'eau, mais elle n'est pas appropriée dans tous les environnements et ne convient pas à toutes les cultures ni à tous les producteurs. Elle est particulièrement adaptée à l'élevage de poissons d'eau douce ainsi qu'à la culture de légumes et d'herbes de haute qualité et à forte valeur ajoutée, mais ne se prête guère à la culture de légumineuses et de céréales¹⁷⁹. Les coûts plus élevés associés à la transposition à grande échelle d'activités d'aquaponie sont toutefois dissuasifs. Il n'en reste pas moins que ce système s'est révélé économiquement réalisable dans de nombreux endroits du monde, en particulier ceux où la terre et l'eau sont rares¹⁷⁹. On trouve ainsi des exemples réussis en Arabie saoudite, à la Barbade, aux États-Unis d'Amérique et en Indonésie, ce qui démontre l'adaptabilité et l'efficacité de ce système de production intégrée¹⁸⁷.

La rizipisciculture, pour une amélioration des moyens d'existence et de la nutrition

L'intégration de l'aquaculture et de l'agriculture n'est pas une innovation récente. Étant donné la pression croissante qui s'exerce sur les ressources

naturelles, la terre et l'eau, aggravée par le changement climatique, cette intégration offre des possibilités d'élaborer des systèmes alimentaires plus durables à partir de pratiques nouvelles et améliorées qui accroissent la production tout en procurant des avantages socio-économiques et environnementaux¹⁸⁸. La rizipisciculture continue de s'étendre, en particulier en Chine, en République démocratique populaire lao et à Madagascar, où les parties prenantes locales et les communautés autochtones se sont alliées pour apporter des améliorations. En Chine, la culture du riz est de plus en plus souvent associée à l'élevage de nouvelles espèces nourries et à forte valeur ajoutée, comme le crabe chinois et l'écrevisse. En Guinée, la rizipisciculture a été adaptée pour permettre le développement de techniques offrant une production de poisson plus importante¹⁸⁸. Étant donné l'efficience d'utilisation des ressources et les avantages considérables¹⁸⁹ qui les caractérisent, ces systèmes intégrés présentent de grandes possibilités d'expansion, en particulier en Afrique¹⁹⁰. La rizipisciculture a produit des résultats encourageants au Burkina Faso, en Guinée-Bissau, au Mali et en Ouganda.

Le plus souvent, l'élevage de poissons est conduit en parallèle de la culture du riz, mais il existe aussi des systèmes fonctionnant en rotation. Des fossés creusés dans la rizières servent de refuges aux poissons et ceux-ci peuvent circuler entre les rangs de riz, se nourrissant d'insectes et d'escargots, aérant le sol et oxygénant l'eau, et par là même accroissant les rendements céréaliers. L'un des avantages importants de la rizipisciculture sur le plan de l'utilisation de l'eau tient à ce que ce système réduit la quantité nécessaire d'engrais et de pesticides, dans une proportion comprise entre 30 et 50 pour cent, avec des conséquences directes sur la santé du bassin versant, puisque la pollution

s'en trouve réduite¹⁹¹. Deux aliments distincts, le poisson et le riz, sont produits pour la même consommation d'eau. Lorsqu'elle est mise en œuvre selon une approche agroécologique, la rizipisciculture, comme les autres types de systèmes associant agriculture et aquaculture, contribue à soulager la pauvreté et la faim, tout en fournissant des avantages sociaux et écologiques¹⁹². Certains systèmes sont internationalement reconnus pour leur intérêt culturel, agricole et environnemental, et ont été inscrits parmi les Systèmes ingénieux du patrimoine agricole mondial¹⁹³.

En résumé, l'aquaculture peut être source de nombreux avantages en termes d'utilisation durable de l'eau, notamment:

- ▶ Les systèmes associant cultures et aquaculture permettent de réutiliser l'eau de l'activité aquacole pour cultiver des légumes et produire une quantité accrue d'aliments à partir du même volume d'eau (si celle-ci est recyclée).
- ▶ L'aquaculture peut être mise en œuvre dans des zones où aucune culture nécessitant de l'eau douce ne peut pousser, dans des zones inondées par de l'eau salée, par exemple, ou dans lesquelles l'eau est alcaline.
- ▶ Des techniques nouvelles et améliorées, telles que l'aquaculture en circuit recirculé, augmentent les économies d'eau grâce à une gestion attentive et une réutilisation des ressources en eau.
- ▶ L'aquaculture sans alimentation d'appoint réduit l'empreinte carbone en élevant des espèces situées à des niveaux trophiques inférieurs, mais le temps nécessaire à la croissance de ces animaux est plus long¹⁹⁴.
- ▶ Certains systèmes aquacoles sont non consommateurs, ce qui signifie qu'ils ne soustraient pas d'eau à l'écosystème agricole (élevage en cage ou en nasse, par exemple).

**ÉTHIOPIE**

À l'aide d'une pompe, une agricultrice tire de l'eau d'un étang pour arroser de jeunes plants qui produiront du fourrage.
©FAO/Tamiru Legesse



CHAPITRE 4

AMÉLIORER LA GOUVERNANCE POUR GÉRER L'EAU DANS LE SECTEUR AGRICOLE

Messages clés

- ➔ À mesure que la demande d'eau s'accroît et que la tension montre entre les usagers, la gouvernance devient de plus en plus essentielle pour garantir une utilisation durable, efficiente et équitable des ressources en eau.
- ➔ La comptabilité et l'audit de l'eau – pour comprendre l'état des ressources hydriques et la situation, les tendances et le contexte sociétal plus large dans lesquels elles s'inscrivent – devraient être le point de départ de toute stratégie efficace de gestion et de gouvernance.
- ➔ Les règlements qui favorisent la coordination entre entités et acteurs – à l'intérieur et à l'extérieur du secteur agricole – joueront un rôle essentiel dans la gestion des demandes concurrentes d'eau, de l'équité d'accès et des services écosystémiques.
- ➔ Des régimes fonciers sûrs applicables à l'eau et aux terres – assortis de marchés et de tarification de l'eau soigneusement étudiés – peuvent créer des incitations à utiliser l'eau de façon efficiente et durable aussi bien dans les zones irriguées que dans les zones pluviales.
- ➔ Le transfert de la gestion de l'eau à des associations communautaires peut être bénéfique du fait qu'il permet une adaptation aux conditions locales des parties prenantes, en particulier les femmes, qui demeurent sous-représentées et défavorisées.

AMÉLIORER LA GOUVERNANCE POUR GÉRER L'EAU DANS LE SECTEUR AGRICOLE

Le chapitre 3 a énoncé diverses options de gestion de l'eau susceptibles de réduire les risques hydrologiques et d'améliorer la productivité des terres cultivées, irriguées et pluviales, des systèmes d'élevage ainsi que de la pêche et de l'aquaculture continentales, tout en veillant à la durabilité environnementale. Chaque option présentera un intérêt plus ou moins grand en fonction d'une série de facteurs, parmi lesquels les conditions agroclimatiques locales, les situations de pénurie ou de rareté, les systèmes de production agricole et les avantages des différentes stratégies. Doivent aussi être pris en compte les facteurs externes, comme les échanges mondiaux et le changement climatique, ainsi que la gouvernance, les institutions et le cadre de l'action publique.

Le présent chapitre met l'accent sur la nécessité d'une gouvernance efficace et d'institutions fortes pour garantir une utilisation durable et efficace de l'eau et une répartition équitable des avantages. Il offre une vue d'ensemble des possibilités offertes, des problèmes rencontrés et des effets produits par les instruments et les mesures dont on dispose pour gérer une ressource rare, notamment une tarification de l'eau permettant de maîtriser la demande et de couvrir les coûts, et des outils de répartition tels que les droits d'usage et les contingents pour protéger la ressource et sa qualité et veiller à l'équité d'accès. Ce chapitre dépasse le cadre des systèmes irrigués pour s'intéresser aux options de gouvernance de l'eau en ce qui concerne les cultures pluviales, l'élevage, la pêche continentale et l'aquaculture, et examiner les effets d'un excès d'eau dans l'agriculture. Le cadre global d'action est présenté au chapitre 5. ■

RÔLE DE LA GOUVERNANCE DANS LA GESTION DES CONTRAINTES LIÉES À L'EAU

La figure 13 (p. 49) montre que réduire les pénuries d'eau et les situations de rareté va demander des transformations majeures associant évolution technologique et gestion innovante, le tout sous l'influence des cadres politiques, institutionnels et juridiques. Les enjeux liés à l'eau font généralement intervenir de nombreuses parties prenantes (c'est le cas, par exemple, des bassins hydrographiques qui relèvent de plusieurs régions administratives, voire de plusieurs pays) et de nombreuses institutions, et bien souvent aussi soulèvent des considérations d'économie politique et suscitent des désaccords entre acteurs publics et privés.

Protéger la contribution de l'eau à la sécurité alimentaire et à la nutrition présentera d'importants défis de gouvernance, que ce soit au niveau local ou à plus grande échelle (encadré 16)¹. Les institutions à différents niveaux devront se préoccuper de la dégradation continue des sols dans les zones irriguées, de la détérioration des écosystèmes d'eau douce et de la durabilité de l'utilisation de l'eau. Organiser par la négociation la concurrence croissante autour des ressources en eau douce, notamment entre l'agriculture et les villes, nécessitera une volonté politique forte, des débats et une collaboration intersectorielle. Les décideurs publics et les organismes de réglementation doivent être informés des besoins, des capacités opérationnelles et de l'importance des différents secteurs, et notamment des groupes qui ne disposent pas d'un poids politique suffisant »

ENCADRÉ 16**GOVERNANCE DE L'EAU À L'APPUI DE L'AGRICULTURE ET DE LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE**

La gestion de l'eau s'est imposée dans les débats, les initiatives et les solutions, sans toutefois que l'on prenne en considération la gouvernance. Au début du siècle, il est progressivement apparu que la gouvernance de l'eau constituait un enjeu de premier plan pour la communauté internationale et qu'elle avait des conséquences sur la sécurité alimentaire et la nutrition, et sur le développement économique. Par gouvernance on entend les règles, les organisations et les processus, tant formels qu'informels, par l'intermédiaire desquels les acteurs publics et privés expriment leurs intérêts et prennent leurs décisions. La notion de gouvernance de l'eau renvoie aux processus, aux acteurs et aux institutions qui interviennent dans la prise de décisions intéressant les ressources en eau et la fourniture des services liés à l'usage de l'eau, ce qui englobe les sphères politique, administrative, sociale et économique, ainsi que les systèmes et les mécanismes structurés et non structurés qui entrent en jeu⁵.

À la FAO, le Comité de la sécurité alimentaire mondiale a pris acte de l'importance de la gouvernance, et a demandé au Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition de lui présenter un rapport sur l'eau et la sécurité alimentaire à sa quarante-deuxième session, en 2015¹. La gouvernance était ainsi reconnue comme étant l'une des principales composantes d'une meilleure sécurité alimentaire et d'une meilleure nutrition.

La démarche visant à soutenir la gouvernance nationale et internationale dans le secteur de l'eau a pris de l'ampleur, donnant lieu à plusieurs initiatives:

- ▶ La FAO a mis en œuvre le projet de gouvernance des eaux souterraines, avec le soutien du Fonds pour l'environnement mondial, du Programme hydrologique international de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), de l'Association internationale des hydrogéologues et de la Banque mondiale. Son but est d'attirer l'attention des décideurs sur la nécessité d'une gouvernance pour préserver les avantages socio-économiques tirés des eaux souterraines et pour prévenir la crise de l'eau qui menace. Opérationnel depuis 2011, le projet a permis d'élaborer le Cadre mondial d'action, un ensemble de

lignes directrices, de recommandations et de pratiques en matière d'action publique et d'institutions, qui tendent à améliorer la gestion et la gouvernance des eaux souterraines à tous les niveaux⁶.

- ▶ La Facilité pour la gouvernance de l'eau de 2005, une initiative conjointe du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et de l'Institut international de l'eau de Stockholm (SIWI), vise quant à elle à fournir aux pays un soutien aux politiques et des conseils, et à renforcer les connaissances et les capacités nécessaires pour améliorer la gouvernance de l'eau au sein des administrations et de la société civile ainsi qu'entre les organismes des Nations Unies⁷.
- ▶ L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a lancé l'Initiative sur la gouvernance de l'eau, un réseau international multipartite réunissant des membres issus de différents secteurs (secteur public, secteur privé et organismes sans but lucratif) pour une mise en commun des bonnes pratiques susceptibles d'améliorer la gouvernance dans le secteur de l'eau⁸.
- ▶ En complément des partenariats existants noués autour de bassins hydrographiques (comme l'Initiative du Bassin du Nil), l'indicateur 6.5.2 des objectifs de développement durable (ODD) suit la coopération transnationale portant sur des fleuves, des bassins lacustres et des aquifères transfrontaliers, et évalue la proportion des bassins hydriques traversés par une frontière qui font l'objet d'un dispositif de coopération opérationnel.

Ces initiatives contribuent à faire avancer la connaissance et une gouvernance efficace des ressources en eau. Cela étant, elles n'intègrent pas suffisamment les liens primordiaux entre ressources en eau, agriculture et sécurité alimentaire⁵, qui font toute la complexité de la gouvernance de l'eau. La répartition de cette ressource dépend d'aspects plus larges de l'économie politique, tels que les prix de l'énergie. Les pays devraient envisager d'intégrer la gouvernance de l'eau à l'appui de la sécurité alimentaire, d'une nutrition adéquate et d'une agriculture durable dans les politiques et les cadres, et en collaboration avec la FAO et d'autres partenaires.

» (les pêcheurs, par exemple)^{2, 3}. En collaboration avec la FAO, la Jordanie, grâce à une meilleure connaissance des usages qui sont faits de l'eau dans le secteur agricole et des capacités nécessaires pour améliorer les techniques d'irrigation et de récupération de l'eau, parvient à améliorer ses capacités nationales, régionales et locales pour faire face à la rareté de l'eau, notamment les capacités des agriculteurs et des éleveurs⁴.

La décentralisation des responsabilités vers les administrations compétentes au niveau des provinces ou des districts accroît encore la complexité de la gouvernance de l'eau, d'où la nécessité de processus décisionnels horizontaux et verticaux englobant les institutions responsables de l'eau, de l'agriculture et des terres¹. La coordination et l'intégration doivent être améliorées, que ce soit verticalement, des secteurs et des bassins hydrographiques jusqu'aux systèmes d'irrigation et aux ménages, ou horizontalement, entre secteurs (agriculture, ménages et industrie). En outre, certaines zones arides de la planète deviennent encore plus sèches et les précipitations plus variables et plus extrêmes, ce qui implique une gestion de l'eau à la fois souple et rigoureuse, des techniques et des technologies novatrices, et des financements suffisants pour mettre en valeur de nouvelles ressources en eau.

La fragmentation et les conflits continuent de faire partie intégrante des systèmes de gouvernance de l'eau. La maîtrise de la terre et de l'eau est essentielle pour asseoir une allégeance politique, et ce n'est pas sans conséquences sur les groupes moins puissants. La situation des petits exploitants et d'autres groupes vulnérables, comme les femmes, les jeunes, les migrants et les populations autochtones, est particulièrement précaire au regard du régime foncier applicable à l'eau. Des stratégies, une gouvernance, des innovations et des politiques appropriées de gestion de cette ressource peuvent contribuer largement à faire en sorte que l'usage de l'eau soit inclusif, équitable et durable. Sachant que la comptabilité et l'audit de l'eau doivent être au centre de tout programme visant à relever le défi de la rareté de l'eau et des pénuries, la section suivante souligne leur rôle dans une bonne gestion et une meilleure gouvernance des ressources en eau.

Les sections qui suivent abordent les instruments et stratégies d'amélioration de la gouvernance et de gestion des contraintes hydriques et de la concurrence pour l'eau dans le secteur agricole. Étant donné que la gestion des situations de rareté de l'eau et des demandes concurrentes englobe la répartition et la gestion des prélèvements d'eau douce, les options de gouvernance sont d'abord examinées pour l'agriculture irriguée. Le chapitre se concentre ensuite sur la gouvernance de l'eau dans le contexte de la production végétale pluviale, de l'élevage, de l'aquaculture et de la pêche continentale. ■

TRANSPARENCE DE LA COMPTABILITÉ ET DE L'AUDIT DE L'EAU

Pour être efficace, la gestion des risques hydrologiques doit reposer sur une comptabilité rigoureuse de la ressource – l'étude systématique du cycle hydrologique ainsi que de l'état et des tendances futures de l'offre, de la demande, de l'accessibilité et de l'utilisation de l'eau⁹. La comptabilité de l'eau est vitale car elle permet de fournir des données de référence pour toute politique et intervention visant à s'attaquer à la rareté de l'eau, en particulier dans l'agriculture¹⁰. Faute de comprendre les volumes dont elles disposent, les sociétés risquent de produire des estimations excessivement optimistes, et donc d'allouer trop généreusement les droits d'usage, provoquant des déficits graves en période de sécheresse. Il est probable que le changement climatique futur viendra battre en brèche encore un peu plus les hypothèses hydrologiques sur lesquelles les droits d'usage de l'eau sont fondés⁹.

Cela étant, la comptabilité de l'eau ne donnera de réels résultats que si elle s'inscrit dans un processus plus vaste d'amélioration de la gouvernance. L'audit va plus loin que la comptabilité de l'eau en plaçant les tendances de l'approvisionnement, de la demande, de l'accessibilité et de l'utilisation en matière d'eau dans le contexte plus vaste de la gouvernance, des institutions, des dépenses publiques et privées, de la législation et de l'économie politique plus générale de l'eau¹¹.

Combiner comptabilité et audit peut fournir les bases d'une gestion de l'eau plus réaliste, durable, efficace et équitable.

Alors que l'information joue un rôle critique, les services ministériels – tels que l'agriculture, l'assainissement et l'environnement – partagent rarement une base d'information commune⁹. Des volumes et une distribution incorrectement cernés conduisent souvent à sous-estimer la pression sur les ressources et le recul des disponibilités en eau. La comptabilité et l'audit de l'eau sont nécessaires à la cohérence des politiques et à la constitution d'une base d'information utile à la planification et aux décisions des parties prenantes. Huit pays de la région Moyen-Orient et Afrique du Nord utilisent la comptabilité et l'audit de l'eau pour réduire leur consommation et utiliser la ressource de façon plus productive¹². En République islamique d'Iran, la comptabilité et l'audit de l'eau ont mis en évidence des problèmes d'efficience du transport de l'eau sur les exploitations, d'épuisement des ressources et également de disparité entre les disponibilités et les recommandations des pouvoirs publics. En Jordanie, la comptabilité de l'eau a fait apparaître des problèmes liés à la qualité de l'eau, et a laissé entrevoir les avantages qu'il y aurait à collecter l'eau de pluie pour les besoins de l'irrigation.

La comptabilité et l'audit de l'eau ne sont pas exempts de difficultés. Tout d'abord, la nature dynamique et l'incertitude qui caractérisent à la fois les processus physiques liés à l'eau et les réactions sociétales – notamment les stocks d'eau, les taux d'épuisement et de réalimentation, l'état des infrastructures et la demande des usagers – rendent particulièrement délicates la mesure des ressources en eau sur le long terme. Les plans de gestion de l'eau doivent donc être dynamiques et centrés sur les problèmes à résoudre⁹. En deuxième lieu, dans les pays à faible revenu, où les infrastructures et les institutions sont moins bien établies et où de vastes systèmes d'irrigation desservent un grand nombre de petits agriculteurs, mesurer la consommation d'eau peut être coûteux et constituer une contrainte majeure pour la gestion de la ressource. En troisième lieu, la nécessité d'allouer de l'eau au maintien des

débits écologiques demande que l'on comprenne plus finement les besoins hydrologiques et ceux des écosystèmes – ce qui dépasse souvent les capacités des ingénieurs chargés de l'irrigation et des gestionnaires de l'eau – et que l'on dispose de modèles d'analyse coûts-avantages. La comptabilité de l'eau est un processus itératif, qui doit s'améliorer constamment pour gagner en exhaustivité et en exactitude.

Comparé à la comptabilité, l'audit de l'eau requiert des informations sociétales, qualitatives et quantitatives, et impose de veiller à ce qu'un personnel motivé reçoive la formation nécessaire¹¹. La gestion et la collecte des informations relatives à l'eau demandent des ressources, des compétences et de la patience, car ces informations sont souvent fragmentées, proviennent de diverses organisations et sont de qualité variable. Le coût global des programmes de comptabilité et d'audit de l'eau varie énormément en fonction, par exemple, de l'échelle et de l'ambition du programme, du coût du contrat d'exécution conclu avec l'équipe de mise en œuvre et de la nécessité de collecter des informations primaires et secondaires. Les progrès réalisés dans les technologies numériques (télédétection, drones, bases d'information en ligne et téléphones portables équipés d'un GPS) permettent de réduire les coûts et de fournir des informations, même sur les zones reculées, en l'absence de réseaux ou de programmes de suivi biophysique et sociétal. Ils permettent également d'enrichir les bases de données mondiales et régionales en informations gratuites, avec la participation d'un plus grand nombre de scientifiques¹¹.

La comptabilité et l'audit de l'eau étant tributaires du contexte, différentes approches sont possibles et il n'existe aucune méthode standard. En 2017, la FAO a publié un recueil qui offre un bon point de départ à toute organisation qui voudrait: recourir pour la première fois à la comptabilité et à l'audit de l'eau; joindre l'audit à la comptabilité de l'eau; ou examiner, voire affiner, les processus de comptabilité ou d'audit déjà en place¹¹. ■

INSTRUMENTS DE GESTION DE LA RARETÉ DE L'EAU DANS L'AGRICULTURE IRRIGUÉE

L'eau doit être traitée comme un bien économique, et par conséquent dotée d'une valeur et d'un prix. Les droits d'usage non garantis, les inégalités, les subventions mal conçues et un mauvais recouvrement des coûts sapent les infrastructures de l'eau et les investissements. Il s'ensuit une utilisation non productive de l'eau et une irrigation excessive¹³. Si à cela s'ajoute un soutien à l'agriculture – des transferts publics liés à la production, par exemple un soutien des prix de cultures gourmandes en eau (le riz, par exemple) ou des subventions aux technologies d'irrigation ou aux carburants –, il peut aussi en résulter une utilisation excessive et une mauvaise répartition. En Inde, le soutien des prix du riz et les subventions aux intrants sont à l'origine d'une utilisation excessive des ressources en eau et d'une dégradation de l'environnement¹⁴.

Nombre de mécanismes et d'instruments permettent de gérer les situations de rareté de l'eau et les demandes concurrentes: instruments d'incitation ou de répartition par allocation, notamment droits d'usage et contingents; permis pouvant faire l'objet d'échanges sur un marché; licences; réforme des systèmes de protection sociale; et d'autres mesures encore, dont les règlements visant à protéger les ressources en eau et leur qualité¹. Le choix des instruments et des systèmes sociaux et légaux (formels et informels) peut influer sur les disponibilités en eau et sur la qualité de la ressource pour le secteur agricole et pour la sécurité alimentaire et la nutrition, ainsi que sur l'accès à l'eau des populations pauvres, vulnérables et marginalisées. Les règlements qui créent des coûts de mise en conformité élevés augmentent le risque de dégradation et de pompage illégal d'eau souterraine¹⁵.

La question de la répartition des ressources en eau se pose à différentes échelles: depuis la détermination des priorités nationales et de la répartition entre pays dans les bassins

hydrographiques communs, jusqu'à la répartition entre usagers à l'échelle d'un bassin ([encadré 17](#))¹. Les instruments mal adaptés peuvent perturber les systèmes existants. En période de sécheresse grave et de stress hydrique, les instruments de marché risquent de donner la priorité aux secteurs qui offrent la plus forte valeur économique (les villes et les secteurs industriels, par exemple), restreignant l'eau disponible pour l'agriculture^{1, 16}. Le défi consiste à prioriser la production alimentaire et les besoins essentiels des populations pauvres et vulnérables dans la répartition de l'eau.

Lorsque la santé des cours d'eau se dégrade en raison d'une perturbation de l'écoulement, il est essentiel de rétablir des débits susceptibles de satisfaire les besoins environnementaux et de maintenir l'abondance et la diversité des espèces, et de soutenir ainsi d'autres services écosystémiques fluviaux³. Malgré les problèmes que cela soulève sur le plan politique, la plupart des pays à revenu élevé et quelques pays à faible revenu possèdent désormais des règlements en matière de débit écologique^{3, 17}.

Rôle des régimes fonciers applicables à l'eau et aux terres et des droits d'usage de l'eau

Les droits d'usage de l'eau, qui sont associés à des droits sur les terres, sont au cœur des débats sur les allocations d'eau, les réallocations et l'équité dans la fourniture des services de l'eau. Un droit d'usage de l'eau est un droit reconnu par la loi de prélever de l'eau dans une source naturelle, cours d'eau ou aquifère, et de l'utiliser²⁰. Les droits d'usage de l'eau sont de plusieurs types, tout comme les relations relevant des régimes fonciers applicables à cette ressource; il peut s'agir notamment de licences annuelles (exploitation de l'eau dans un cadre contraignant), de contrats d'approvisionnement ou de pouvoirs dévolus à un organisme (habilitation légale des services de l'irrigation à exploiter l'eau)¹⁰. En raison de leur rapport avec la propriété, les droits d'usage de l'eau sont aujourd'hui sources de différends entre pays de tous niveaux de revenu. Dans le présent rapport, le régime foncier applicable à l'eau ([encadré 18](#)) est une notion plus vaste, qui vient compléter les droits d'usage. Il ne faut pas confondre ces termes avec le droit à l'eau qui découle du droit international des droits de l'homme.

ENCADRÉ 17**ÉVOLUTION DE LA GOUVERNANCE DE L'EAU AU MAROC – PRODUCTION DE CAROTTES DANS LA PROVINCE DE BERRECHID**

Le Maroc s'attaque à la gouvernance du trio eau-énergie-alimentation, aux niveaux national et infranational. Au niveau infranational, la cogestion des aquifères est un nouveau mode de gouvernance, qui passe par un contrat encourageant les parties prenantes à prendre en charge la réglementation et l'amélioration de la gestion des eaux souterraines. Cette action s'inscrit dans des plans de développement régional plus larges et dans la gestion des bassins hydrographiques pour assurer la cohérence des objectifs et des mesures prises.

Dans la province de Berrechid, l'Agence de bassin négocie les contrats relatifs aux aquifères, gérant les actions et les intérêts des parties prenantes des secteurs agricole et énergétique. L'inégalité d'accès à l'eau est au centre de la discussion, et les producteurs de carottes sont perçus comme étant relativement mieux lotis. On estime que la culture des carottes utilise entre 5 000 m³ et 15 000 m³ d'eau douce par hectare et occupe une grande

partie des terres arables. Malgré l'emploi d'une irrigation au goutte à goutte, la demande d'eau a entraîné une surexploitation de l'aquifère.

La FAO soutient la décision de l'Agence de bassin de transformer le contrat d'exploitation de l'aquifère et de conclure avec toutes les parties prenantes une nouvelle alliance, intégrant l'échange d'informations et le renforcement de la confiance et de la collaboration. Pour les parties prenantes, l'objectif est d'améliorer la productivité de l'eau utilisée dans les cultures grâce à des incitations économiques (diversification de l'agriculture, par exemple) ou à une participation des associations d'agriculteurs à la comptabilité de l'eau. Cette démarche fait ressortir la possibilité de réunir les divers acteurs, notamment ceux intervenant à l'articulation eau-énergie-alimentation, pour déterminer les principaux problèmes à résoudre, et la meilleure solution à adopter, y compris en matière d'investissements et de finance.

SOURCES: Bojic et Vallée, 2019¹⁸; et IAV Hassan II, 2019¹⁹.

Dans un monde où la demande ne cesse de croître, les régimes fonciers applicables à l'eau et aux terres peuvent donner une base solide à une utilisation efficiente de l'eau et à un accès garanti, équitable et durable à cette ressource. Ils permettent des ajustements par le jeu du marché, tandis que le mécanisme des prix – reflétant la valeur réelle de l'eau – incite les usagers à surveiller et à utiliser celle-ci de façon plus efficiente et plus productive²¹. En requérant le consentement des usagers pour toute nouvelle répartition et en indemnisant tout transfert, les régimes fonciers arment les usagers et accroissent la valeur économique de l'eau, à condition toutefois que les institutions publiques et les mécanismes de contrôle de l'application fonctionnent correctement. Les agriculteurs sont ainsi incités à investir dans l'irrigation, la gestion des terres et des sols, des technologies plus avancées et une moindre dégradation des ressources, entre autres^{22, 23}. Le fait de garantir les droits d'usage de l'eau peut aussi contribuer à développer l'usage de l'informatique, pour une gestion en temps réel des systèmes d'irrigation,

par exemple, et une cartographie des ressources en eau à l'aide des technologies satellitaires, de l'intelligence artificielle et des outils utilisant la chaîne de blocs.

Les droits d'usage de l'eau formellement et traditionnellement reconnus (**encadré 18**) sont toujours pertinents¹⁰. Liés aux droits fonciers sur les terres, ils ne requièrent aucun mécanisme structuré ni les lourdeurs administratives que cela engendre, puisqu'une personne titulaire d'un droit foncier sur une terre possède également un droit à l'eau. Les propriétaires fonciers doivent faire valoir leurs droits à l'encontre des tiers, sans intervention coercitive de l'administration chargée de l'eau. Souvent, les droits d'usage formellement et traditionnellement reconnus ne sont pas adaptés lorsqu'il s'agit de faire respecter l'accès. La plupart des lieux où l'eau est rare possèdent un régime foncier applicable à l'eau, mais ces systèmes ne sont pas reconnus officiellement ni ancrés dans la législation et protègent donc moins bien contre les empiétements et l'expropriation²⁵. L'établissement des droits doit être transparent et garanti de

**ENCADRÉ 18
RÉFLÉCHIR À UN RÉGIME FONCIER APPLICABLE À L'EAU**

Avant d'examiner le régime foncier applicable à l'eau, il est utile de s'intéresser de plus près à la notion de régime foncier. Le régime foncier détermine l'accès à différentes ressources naturelles et l'usage qui en est fait, ainsi que la façon dont l'un et l'autre s'articulent, au moyen de règles et d'accords formels et informels¹⁰. L'expression se rapporte le plus souvent aux terres. Les définitions de la notion de régime foncier applicable aux terres sont nombreuses. La FAO en donne la définition succincte suivante: «(...) rapport, défini par la loi ou la coutume, qui existe entre des individus ou des groupes relativement aux terres»²⁴. Dans le présent document, nous nous proposons de définir ainsi le régime foncier applicable à l'eau: «rapport, défini par la loi ou la coutume, qui existe entre des individus ou des groupes relativement aux ressources en eau»¹⁰.

Concernant l'utilisation de l'eau dans l'agriculture, la plupart des types de régimes fonciers sont pertinents. Les agriculteurs des pays à revenu élevé peuvent compter sur des droits d'usage de l'eau formellement et traditionnellement reconnus (ceux qui dérivent des droits établis par les régimes fonciers applicables aux terres), des droits d'usage modernes (droits à long terme, de douze à trente ans ou plus, fondés sur la délivrance de permis) ou des contrats d'approvisionnement massif en eau, comme dans le régime de copropriété (*commonhold*) fonctionnant par l'intermédiaire des associations d'usagers de l'eau. Dans les pays à faible revenu, les agriculteurs ont probablement moins de chances de détenir des droits d'usage modernes formellement reconnus, mais peuvent compter sur des droits coutumiers ou informels (en

Inde, par exemple)¹⁰, en particulier concernant les eaux souterraines. Ces droits peuvent être souples, socialement négociables et très adaptables, selon les circonstances locales, sociales et environnementales. La répartition locale de l'eau peut aussi être efficace et jouer un rôle important dans la résolution des litiges, car l'accès à l'eau se fait à travers un ensemble intriqué de relations sociales et de relations de reciprocité (entre chefs, anciens et autorités locales, par exemple).

Comparé à l'approche des droits d'usage, qui tend à fonctionner sur un mode descendant, dirigé par les pouvoirs publics, le régime foncier est un mécanisme ascendant, qui suit une logique centrée sur l'usager, mieux adaptée à la complexité de gestion de l'eau, et fait appel à une approche globale des relations aux ressources en eau et vise à une utilisation durable et inclusive. Le régime foncier applicable à l'eau prend également en considération les pays où le droit local est prépondérant dans la gestion et l'utilisation de l'eau, s'ajoutant aux mécanismes prévus par la loi, tels que permis, contrats d'approvisionnement et concessions.

Le régime foncier applicable à l'eau cible principalement l'accès et l'utilisation, alors que la gouvernance englobe les forces et les processus sociaux et économiques plus larges qui déterminent l'état des ressources en eau. Le régime foncier influe sur la gouvernance de l'eau et est également influencé par celle-ci. Sans une compréhension claire du régime foncier applicable à l'eau, les tentatives de réforme de la gouvernance ont toutes les chances d'échouer.

façon à protéger les petits usagers et à leur permettre d'en négocier les avantages ou d'être indemnisés. Un régime foncier communautaire applicable à l'eau peut apporter un soutien aux peuples autochtones, aux collectivités locales et aux femmes, qui, souvent, ne sont pas informés de leurs droits sur l'eau ou sont dans l'incapacité de les faire valoir.

Pour permettre la prise en compte de l'interface eaux-terres, la FAO a élaboré les Directives volontaires pour une gouvernance responsable des régimes fonciers applicables aux terres, aux pêches et aux forêts dans le contexte de la

sécurité alimentaire nationale²⁶. Ce texte couvre l'amélioration des cadres d'action publique et des cadres juridiques, l'objectif prépondérant étant la sécurité alimentaire pour tous et la concrétisation du droit à une nourriture suffisante. Young (2015) propose des pistes de réflexion sur les droits d'usage de l'eau et l'échange (achat et vente) de ces droits, en prenant comme point de départ le bassin du fleuve Murray-Darling, en Australie²⁷. Il souligne qu'il est important de répartir l'eau selon un processus transparent, en tenant compte des pertes par évaporation et des résultats environnementaux, notamment la qualité de l'eau et les débits jusqu'à la mer. Cela permet

d'expliquer de façon transparente les variations des volumes d'eau mis à la disposition de chacun des irrigants. Le régime foncier applicable à l'eau étant spécifique d'un contexte et d'un lieu, la situation en Australie peut être très différente de celle rencontrée dans d'autres pays, en particulier dans les pays à faible revenu. Les petits usagers répugnent souvent à enregistrer leur utilisation d'eau par peur de la redevance que cela pourrait entraîner, mais cette attitude met en danger leur accès à l'eau à mesure que les régimes fonciers applicables à cette ressource se déploient dans de nombreux pays^{1, 28}.

Autre difficulté sur la voie de la réforme, l'eau est souvent considérée comme un bien libre et est généralement subventionnée, ce qui fait obstacle à des droits d'usage garantis. Les intérêts solidement établis sont favorisés par les subventions et les répartitions existantes de l'eau²⁹. L'accès et les régimes fonciers sont souvent liés aux forces politiques en jeu ainsi qu'à différents groupes, intérêts et influences. À l'intérieur du secteur agricole, priorité peut être donnée aux usagers les plus productifs et les plus importants en taille plutôt qu'aux petits exploitants, aux femmes notamment, menaçant les moyens d'existence et la sécurité alimentaire de ceux-ci. Pour y remédier, on peut adopter une approche usager, établissant la priorité de façon égale sur une base territoriale, en tenant compte de l'utilisation visée (sécurité alimentaire et nutrition, par exemple) et de la productivité de l'eau. Cette méthode est conforme aux principes convenus, dont le droit d'avoir accès à une eau potable et à une nourriture suffisante^{30, 31}.

Un régime foncier applicable à l'eau peut favoriser la cohérence des politiques entre secteurs. L'interface terres-eaux est un exemple évident, dans lequel l'utilisation de l'une des ressources influe sur l'autre et est influencée par celle-ci¹⁰. Un régime foncier des eaux bien défini peut améliorer les technologies de transport, de dérivation et de mesure en matière d'irrigation, ainsi que les cadres institutionnels de gestion de l'eau, en particulier dans les pays à faible revenu. Il faut pour cela qu'une comptabilité de l'eau et un système de répartition soient en place **avant** tout investissement dans un nouveau dispositif d'irrigation. En l'absence de droits d'usage de l'eau garantis, les nouvelles technologies peuvent

en fait accroître la consommation d'eau. Il peut y avoir des avantages économiques à attribuer un plus grand volume d'eau à des utilisations de plus grande valeur, comme les fruits et les légumes. Le risque demeure toutefois d'accroître la consommation d'eau, avec des effets défavorables sur les petits exploitants et sur les femmes. Il est également possible d'améliorer la qualité de l'eau en réduisant les prélèvements, en gérant les niveaux des nappes phréatiques et en maintenant le débit de base des cours d'eau (c'est-à-dire la part du débit entretenu par la décharge d'une nappe).

Instruments économiques – réorienter les incitations qui s'adressent aux agriculteurs

Des instruments économiques peuvent encourager les producteurs à changer de comportement, l'objectif étant de parvenir aux résultats hydrologiques souhaités¹⁵. Ces mécanismes peuvent générer des recettes au profit de l'autorité de réglementation (via des taxes), entraîner des coûts pour cette même autorité (dans le cas de subventions) ou faire intervenir uniquement des paiements entre agriculteurs (système d'échanges sur un marché). En l'absence d'un régime foncier applicable à l'eau qui soit à la fois contraignant et dûment appliqué, les instruments incitatifs peuvent être difficiles à mettre en œuvre et leurs résultats impossibles à quantifier; en conséquence, ces instruments sont souvent utilisés associés à des stratégies réglementaires sous-jacentes de suivi et d'application, et non indépendamment.

Marchés de l'eau – possibilités et défis à relever

Dans les zones où les ressources en eau douce font l'objet de répartitions, on peut donner aux producteurs la possibilité de transférer des droits à d'autres producteurs. Les mécanismes envisageables sont la location et la vente de droits d'usage, les enchères, les banques d'eau, la tarification par tranches et un marché où puissent s'échanger des crédits de qualité de l'eau. Ces mécanismes traitent l'eau comme un bien transférable entre usagers sur la base d'un prix de marché²¹. Dans certaines circonstances et dans certains contextes nationaux, les marchés fonctionnent de façon économiquement efficiente et réagissent au changement, et sont donc en mesure de répartir l'eau efficacement. Lorsque les usagers peuvent décider d'acheter ou de vendre,

ceux qui vendent le font de leur propre initiative, ce qui est rarement le cas lorsqu'une autorité centrale procède à une nouvelle répartition de l'eau ou à une expropriation. Le mécanisme de marché peut donc permettre de réduire les conflits, encore que le nombre de marchés de l'eau opérationnels et possédant suffisamment d'expérience soit très faible³².

Parmi les exceptions, citons Camp de Tarragona, en Espagne, où les mécanismes de marché permettent une répartition convenable des ressources et une juste souplesse dans la concurrence entre différents usages, associées à un rendement économique élevé. La collaboration entre les bénéficiaires et les institutions chargées de la gestion forme la base du marché³².

L'analyse du marché de l'eau du Rio Grande, au Texas (États-Unis d'Amérique), durant la période 1954-2012, fait apparaître une réorientation vers des cultures plus productives et d'une plus haute valeur. Cette évolution a été plus marquée durant les épisodes de sécheresse et a représenté 30 pour cent environ des recettes dans les comtés couverts par le marché de l'eau³³. Toujours aux États-Unis d'Amérique, sur la période 1987-2008, la valeur annuelle moyenne des échanges d'eau sur les 12 états de l'ouest a été estimée à 406 millions d'USD³⁴. Sur une base annuelle, la valeur des transactions sur l'eau variait de moins de 1 million d'USD dans le Montana et le Wyoming à près de 40 millions en Arizona, dans le Colorado, dans le Nevada et au Texas, et à plus de 223 millions en Californie. En Australie, la taille du marché est considérable, puisque la valeur totale des marchés de l'eau était estimée à 1,7 milliard d'USD environⁿ en 2017-2018³⁵.

Cela étant, il y a des conditions préalables essentielles à remplir pour qu'un marché de l'eau fonctionne efficacement et que la répartition soit équitable. Ainsi, au Chili, de (nouveaux) droits d'usage sont mis aux enchères et adjugés au plus offrant, dans l'espoir que cela aboutira à une répartition équitable de l'eau, en partant du principe que le marché est ouvert à tous³⁶. Cette manière de faire est souvent préjudiciable à ceux qui pratiquent une agriculture de subsistance, leurs avantages étant difficiles à calculer en termes économiques. La façon dont on conçoit et surveille

les règles du marché est importante. Au Chili, les spéculateurs accaparent les droits d'usage de l'eau, l'enregistrement et le suivi de ces droits étant limités³⁷. Une étude portant sur la vallée du Limarí dans ce pays a établi que l'élimination des restrictions sur le commerce de l'eau entre districts entraînerait des gains de bien-être compris entre 8 et 32 pour cent de la contribution de l'agriculture au PIB régional³⁸.

En Australie, les marchés de l'eau du bassin Murray-Darling ont abouti à une réduction générale des avantages et ont entraîné des coûts environnementaux, en raison d'une allocation excessive de droits. Pour accroître l'efficience et libérer le volume d'eau nécessaire aux débits écologiques, des investissements publics importants ont été effectués dans l'irrigation³⁹. Les analyses indiquent qu'il serait beaucoup moins onéreux et plus efficace de racheter les droits en excès. Le coût des subventions aux infrastructures est près de 2,5 fois plus élevé que le coût d'achat de l'eau⁴⁰. De la même manière, le coût de l'augmentation des débits écologiques au moyen de subventions est six fois plus élevé que celui d'un achat direct⁴⁰. Le bassin Murray-Darling illustre les avantages tirés des marchés de l'eau et l'importance d'un séquencement correct des réformes et d'une définition pertinente des droits d'usage de l'eau et de leur volume.

Les principes de gestion des eaux souterraines sont plus complexes que ceux qui régissent les réseaux de surface en raison de problèmes d'information. En plafonnant les prélèvements dans les aquifères, ces marchés peuvent améliorer l'accessibilité de l'irrigation à partir d'eaux souterraines, en particulier pour les agriculteurs marginaux ou les petits exploitants. Parmi les aspects défavorables, on peut citer le pouvoir de monopole exercé par les vendeurs d'eau locaux et le fait que les marchés de l'eau joints à des subventions à l'électricité, sans réglementation de l'utilisation, conduit à une surexploitation des eaux souterraines (**encadré 19**). Le coût du tarissement des réserves d'eau souterraine peut être supporté de façon disproportionnée par les petits exploitants et les agriculteurs marginaux. Dans les cas extrêmes, la surexploitation peut aboutir à l'abandon de l'irrigation dans de nombreuses zones côtières (au Maroc et en Tunisie, par exemple)⁴¹.

ⁿ Convertie au taux de 2019, soit 1 USD = 1,44 AUD.

ENCADRÉ 19**EFFETS DES MARCHÉS DE L'EAU SOUTERRAINE SUR L'ÉQUITÉ ET L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU – CAS DE LA CHINE ET DE L'INDE**

En Inde, les marchés de l'eau utilisée par le secteur agricole se limitent presque totalement aux ressources en eau souterraine. Ces marchés sont informels et locaux, mais la superficie concernée est estimée entre 8,4 millions et 13 millions d'hectares, soit entre 14 et 22 pour cent de la superficie totale irriguée à partir d'eaux souterraines. La valeur totale des ventes d'eau d'irrigation en Inde est de 1,7 milliard d'USD environ, auxquels s'ajoutent 2,6 milliards d'USD par an découlant de l'achat de services d'irrigation⁴². Les effets varient, mais les marchés de l'eau souterraine peuvent améliorer l'accessibilité de cette forme d'irrigation, en particulier pour les agriculteurs marginaux et les petits exploitants, atténuant les vulnérabilités liées à l'eau⁴³. Les marchés permettent également aux agriculteurs d'augmenter leur productivité. Il a été constaté que les acheteurs d'eau étaient plus efficents dans leur utilisation de cette ressource, tandis que les vendeurs étaient plus efficents qu'un groupe témoin composé de propriétaires de pompe ne vendant pas d'eau⁴⁴. Malgré ces points positifs, dans le contexte d'une électricité subventionnée, les marchés de l'eau souterraine pourraient toujours avoir des conséquences défavorables en induisant une surexploitation susceptible de réduire les réserves d'eau souterraine nécessaires

aux usages agricoles futurs⁴⁵. Améliorer la productivité des ressources en eau souterraine peut réduire la consommation et la surexploitation, mais il faut une comptabilité claire.

Dans le nord de la Chine, les marchés de l'eau souterraine ont également connu une croissance rapide. Une étude a montré que, en 2004, 18 pour cent des propriétaires de puits tubulaires vendaient de l'eau et 77 pour cent de l'eau pompée dans des puits privés était vendue sur le marché de l'eau souterraine⁴⁶. L'analyse indique que les agriculteurs qui achètent de l'eau sur ces marchés en utilisent moins que ceux qui possèdent leur propre puits tubulaire. Les rendements des acheteurs d'eau n'ont pas subi d'effets négatifs, ce qui suggère que ces acteurs se sont efforcés d'améliorer l'efficience de leur utilisation d'eau. Les marchés de l'eau souterraine du nord de la Chine ne sont pas monopolistiques et permettent aux ménages ruraux pauvres de se procurer une eau d'irrigation à un prix abordable. Une autre analyse a constaté que les marchés de l'eau souterraine du pays avaient rapporté un peu d'argent aux vendeurs, tout en fournissant aux acheteurs de l'eau d'irrigation à un prix raisonnable, surtout pour les pauvres⁴⁷.

Les politiques visant à gérer la surexploitation nécessitent généralement un financement public, ainsi que des instruments réglementaires et incitatifs. Entrent dans cette catégorie les limites sur le forage de nouveaux puits ou sur la superficie irriguée, les droits et permis de pompage, la certification de la superficie irriguée et le comptage des quantités prélevées dans les puits. Un comptage à moindre coût peut être effectué via des mesures indirectes et des technologies avancées, telles que la télédétection, en particulier dans les zones arides. Contrôler l'augmentation du nombre de puits nécessite une volonté politique forte et un personnel de terrain fiable, ainsi que l'application de sanctions graduées. On peut réduire le nombre de puits en en rachetant certains. Les instruments incitatifs comprennent les taxes, les redevances, la mise hors production de terres cultivées, un

marché des autorisations de prélèvement dans les eaux souterraines et la répartition des coûts pour inciter à la gestion de l'eau. L'**encadré 20** expose deux exemples de gestion générale des eaux souterraines aux États-Unis d'Amérique.

Dans une analyse approfondie d'une réforme de la gestion des eaux souterraines, Molle et Closas (2017) montrent que la cogestion par les usagers et l'État a plus de chances de réussir lorsqu'elle s'accompagne des conditions suivantes: i) la menace de sanctions prévues par la loi, souvent liée à des mesures de protection de l'environnement ou à des accords/traités de partage des eaux; ii) une sécheresse ou une crise environnementale grave qui accroît la légitimité et l'acceptabilité d'une intervention de l'État; iii) des coûts de transaction plus faibles; iv) un nombre limité d'usagers et une relative homogénéité

ENCADRÉ 20
GESTION DES EAUX SOUTERRAINES AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Aux États-Unis d'Amérique, dans le Nebraska, l'Upper Republican Natural Resources District fait appel à différents instruments pour réduire le tarissement des eaux souterraines et satisfaire aux exigences d'une convention inter-états signée avec le Colorado et le Kansas sur les débits d'eau de surface. Ces instruments comprennent un moratoire sur le forage de nouveaux puits, un système de permis de forage, des taxes d'«occupation des terres», un plafonnement de l'eau souterraine pompée, applicable aux marchés de l'eau, structurés ou non, et des projets d'accroissement des débits. Le coût des sondes permettant de mesurer l'humidité du sol est subventionné pour inciter à l'adoption de meilleures pratiques de gestion. Un fort engagement de la communauté et un soutien vigoureux du suivi et de l'application des règles ont joué un rôle essentiel dans la réussite de l'opération. Le district a respecté la convention inter-états tout en réduisant à un minimum les effets sur les usagers de l'eau. Cela étant, le problème à long terme que pose la baisse du niveau des eaux souterraines demeure et, bien que cet épuisement soit moindre aujourd'hui que ce qui avait été prévu, le district n'est pas parvenu à ce jour à stabiliser les niveaux. Les allocations initiales excessives ont posé un problème car, de nombreux usagers étant sûrs de

disposer de gros volumes d'eau pour leurs usages futurs, l'incitation à sauvegarder la ressource s'en est trouvée réduite. Le district a tenté d'y remédier en imposant des restrictions sur les reports comptables⁴⁷. Des allocations initiales correctes compte tenu de la situation hydrologique et une souplesse dans la correction des surallocations sont deux points essentiels pour assurer la réussite des réformes de l'eau.

L'Edwards Aquifer Authority du Texas (États-Unis d'Amérique) gère le niveau des ressources en eau souterraine et les débits printaniers nécessaires à la survie de plusieurs espèces en danger. Des plafonds de pompage des eaux souterraines et des permis négociables permettent de limiter les prélèvements. Le programme a en outre institué des plafonds spécifiques, qui sont inscrits dans la loi de l'état, réduit au maximum les coûts de transaction, créé une plateforme d'échange en ligne et favorisé la souplesse sur la façon dont les usagers divisent leurs allocations. Le fait d'avoir rendu les données d'utilisation de l'eau accessibles au public a accru la transparence, renforcé la confiance et aidé à obtenir l'adhésion des participants au programme. L'Edwards Aquifer Authority est parvenue à maintenir les débits printaniers minimaux, même durant les périodes de sécheresse⁴⁷.

sociale; v) des ressources suffisantes pour offrir des incitations au-delà des règlements et des sanctions; vi) la possibilité de décomposer la gestion de l'aquifère en plus petites unités, à condition que des règlements et des incitations efficaces garantissent l'efficience d'utilisation de l'eau; vii) une information fiable et transparente sur les ressources hydriques; et viii) la mise en place d'une comptabilité agréée et une transparence dans la justification des mesures et la répartition des coûts et des avantages⁴¹.

Dans l'ensemble, qu'ils portent sur les eaux de surface ou les eaux souterraines, de nombreux mécanismes de marché sont encore assez nouveaux, et ces expériences permettront d'améliorer les stratégies de marché de l'eau. Un plus grand nombre d'entreprises

investissent dans des marchés de l'eau ou s'y déclarent favorables, signe que ceux-ci sont en progression²¹. La mise en place de mécanismes de marché de l'eau – que ce soit des ventes aux enchères d'eau, des banques d'eau ou d'autres formes de transferts fondés sur un prix – est une opération compliquée qui nécessite, pour chaque lieu, des compétences spécialisées, compte tenu notamment de la situation socio-économique, politique, juridique, hydrologique et environnementale, ou encore de l'hétérogénéité des régimes fonciers. Étant donné que la pression sur les ressources en eau va se maintenir et que les approches classiques de mise en valeur de ces ressources atteignent leur limite, il est probable que l'expérimentation et l'innovation dans d'autres approches reposant sur un marché de l'eau vont se poursuivre.

Tarification de l'eau – possibilités et défis à relever

La tarification de l'eau, c'est-à-dire la valorisation du droit d'usage de cette ressource, peut servir à recouvrir les coûts directs (approvisionnement en eau et infrastructures) et indirects (coûts environnementaux et sociaux et coûts d'opportunité)⁴⁸. Elle peut aussi contribuer à préserver les ressources et à encourager une utilisation plus durable, à gérer les problèmes de rareté et à stimuler les investissements dans d'autres cultures, moins gourmandes en eau, ou dans des technologies permettant d'économiser l'eau. La tarification de l'eau est difficile à mettre en œuvre dans le secteur agricole pour des raisons politiques et culturelles et pour des questions d'équité. De nombreux pays n'ont pas de prix de l'eau fixé au niveau national, car celui-ci peut varier largement d'une région à l'autre et selon les systèmes d'irrigation utilisés. Certains pays n'établissent aucun prix pour l'eau, malgré la nécessité d'investir dans les infrastructures et les technologies, qui demande des financements privés et publics massifs⁴⁹.

Dans certains contextes agricoles locaux et régionaux (où le coût de l'eau ne représente qu'une petite part du coût total de production), l'élasticité de la demande d'eau par rapport au prix peut être faible, surtout à court terme. Un prix de l'eau plus élevé ne conduirait alors pas nécessairement à une réduction significative de l'utilisation⁴⁸. Les tarifs à visée incitative sont plus utiles, car ils ciblent la façon dont les usagers paient leur eau et la pertinence des signaux-prix transmis, au lieu de s'occuper uniquement du recouvrement des coûts. Ces tendances témoignent d'une décentralisation de la gestion de l'eau, des administrations centrales vers les collectivités locales ou régionales, de l'investissement croissant du secteur privé dans les services de l'eau et du financement d'investissements importants dans le domaine de l'eau par le truchement de partenariats public-privé. Elles font ressortir l'importance de la tarification, mais appellent aussi une réglementation efficace pour garantir que l'intérêt général sera bien protégé⁴⁹.

Il peut être très difficile d'accroître la part des coûts facturés aux usagers. Dans la plupart des cas, même les coûts de fonctionnement et d'entretien ne peuvent pas être recouvrés⁵⁰.

Une répartition rigoureuse peut contribuer à transférer l'eau des cultures céréalières vers des utilisations de plus grande valeur, en gardant la souplesse nécessaire pour s'adapter à l'évolution de la situation⁵¹. Encourager les usagers à payer pour la gestion et les services de l'eau impose également de maintenir la qualité de ces services et de ne pas se contenter de réglementer et de sanctionner, mais d'informer sur l'emploi des recettes et d'expliquer qu'elles sont utilisées au profit des usagers. Pour que le mécanisme de tarification permette un recouvrement optimal des coûts et une utilisation durable, des paramètres tels que la structure tarifaire et le niveau de prix sont essentiels. Le tableau 5 présente un résumé des principales méthodes de tarification.

Un certain nombre de pays ont intégré les prix de l'eau dans leur prise en charge des situations de rareté. En Australie, on considère que des signaux-prix exacts et des marchés de l'eau efficaces sont essentiels si l'on veut améliorer l'efficience d'utilisation de l'eau et encourager les usagers à s'adapter au changement climatique⁹. En Israël, la Commission de l'eau fixe le prix au moyen d'un système à trois niveaux fondé sur la consommation (tarification volumétrique, voir le tableau 5) pour encourager les usagers à se montrer économies. Pour une allocation donnée, les agriculteurs paient l'eau potable à des prix différenciés. D'après un rapport de la FAO, la première tranche de 60 pour cent de l'eau allouée leur coûte 0,20 USD/m³, la deuxième, qui va de 60 à 80 pour cent, 0,25 USD/m³, puis la troisième, qui va de 80 à 100 pour cent, 0,30 USD/m³⁵⁴. Dans le domaine de l'irrigation, il n'y a pas de différence fondamentale entre le système où un organisme fixe les prix, laissant les agriculteurs choisir le volume d'eau à utiliser, et celui où l'organisme attribue des droits ou des contingents d'eau (négociables sur un marché), les coûts marginaux dépendant alors des décisions d'utilisation prises par l'exploitant. Le choix du système dépend de son efficacité. S'il y a un avantage à opter pour une maîtrise de la consommation par les prix plutôt que par le volume, ou l'inverse, cela est dû à une inadéquation ou une asymétrie de l'information, à une incertitude sur les coûts de transaction ou à un partage inégal du risque entre les usagers de l'eau^{55, 56, 57, 58}.

TABLEAU 5
MÉTHODES DE TARIFICATION DE L'EAU

Méthode de tarification	Résumé	Points forts	Points faibles
Prix déterminé par un marché	Le prix est déterminé de façon indirecte par un mécanisme décentralisé (un marché par exemple) et par le jeu de l'offre et de la demande.	Peut mettre en évidence les situations de rareté et les coûts d'opportunité. Peut être extrêmement efficace pour maintenir la valeur brute de l'agriculture irriguée durant les épisodes de sécheresse et pour faire basculer la répartition de l'eau, des utilisateurs enregistrant une plus faible productivité de l'eau vers ceux dont la productivité de l'eau est plus forte.	Nécessite des mécanismes de soutien des marchés, y compris la transparence des prix et du marché, ainsi que des informations exactes et disponibles en temps utile sur les approvisionnements, ce qui peut être coûteux.
Tarification non volumétrique	Le prix est fondé sur la production, les intrants, la superficie irriguée ou la valeur des terres.	Procédure assez facile et peu coûteuse à mettre en œuvre et à gérer ⁵² . Coûts de suivi et d'application réduits.	Peu ou pas d'incitation directe à la conservation des ressources en eau.
Tarification volumétrique	Le prix est fondé sur le volume d'eau extrait ou consommé.	Crée des incitations à améliorer la conservation des ressources en eau et à réorienter les pratiques agricoles vers une utilisation plus efficiente de l'eau.	Nécessite que le service des eaux fixe le prix, surveille l'extraction et collecte les redevances.

SOURCE: Tableau élaboré par la FAO, d'après Rosegrant, 2020⁵³.

Plusieurs facteurs expliquent la difficulté de mettre en œuvre une tarification volumétrique de l'eau d'irrigation. Tout d'abord, dans les systèmes d'irrigation, la valeur des droits d'usage a déjà été capitalisée dans la valeur des terres irriguées. Les titulaires des droits considèrent la tarification comme une expropriation, qui aboutit à des pertes en capital sur les exploitations²³. Les tentatives de mise en place d'une tarification se heurtent souvent à une forte opposition des irrigants, ce qui rend difficile le maintien d'un système de prix efficient²³. À cela s'ajoute le fait que les coûts de mesure et de suivi peuvent être prohibitifs, en particulier dans de nombreux pays à faible revenu. Enfin, la rareté de l'eau est souvent traitée par la mise en place de contingents, les prix étant principalement utilisés pour réguler l'utilisation à la marge, une fois le quota dépassé, plutôt que pour rationner une eau rare⁵⁹. Cette approche est particulièrement vraie pour les eaux de surface, car son application aux eaux souterraines peut être difficile.

La prédominance des contingents s'explique notamment par un souci de transparence et d'équité lorsque l'offre est insuffisante⁶⁰.

Les quotas permettent aussi de maintenir une concordance directe entre l'utilisation et des ressources qui varient, en utilisant pour ce faire les informations tirées de la comptabilité de l'eau, et de parvenir à de plus faibles pertes de revenu que ce ne serait le cas avec une régulation par les prix. Ainsi, en Grèce, une hausse des prix de l'eau a entraîné des baisses de revenu importantes⁶¹. En Chine, une étude a établi que le prix de l'eau avait dû être considérablement augmenté pour déclencher des économies d'eau, mais que cette augmentation s'était traduite par des pertes de revenu importantes chez les petits exploitants⁶². Dans les pays à revenu élevé, les agriculteurs peuvent s'adapter en réduisant les apports d'eau sur une culture donnée, en adoptant des technologies d'irrigation conservatrices, en passant à des cultures nécessitant moins d'eau et en accroissant la part de cultures de plus grande valeur. Dans les pays à faible revenu, ces solutions ne sont pas nécessairement possibles ou peuvent être trop coûteuses. Fixer les prix à un niveau suffisamment élevé pour induire des changements notables dans la répartition (ou pour recouvrer les frais d'investissement) peut avoir de graves effets sur les revenus des agriculteurs^{62, 63, 64, 65}.

C'est pourquoi le relèvement des prix de l'eau doit être étalé sur plusieurs années, afin de laisser aux agriculteurs le temps de s'adapter, et doit s'accompagner d'une gestion intégrée associant les communautés afin que personne ne soit laissé pour compte. Pour éviter les effets défavorables et maintenir les services écosystémiques, on pourrait considérer les paiements visant à rémunérer les services écosystémiques comme venant compléter la tarification incitative (voir le chapitre 5)⁴⁸.

On peut combiner volumes et prix pour obtenir l'allocation de ressources souhaitée. Le courtage en eau ou marché passif est une solution, qui reste toutefois à appliquer. Ce système incite à répartir l'eau de façon efficiente tout en protégeant les revenus des exploitations, à condition que l'agence de l'eau dispose d'informations exactes sur l'offre et la demande agrégées d'eau⁶⁶. Plutôt que d'imposer aux agriculteurs une tarification volumétrique, on les paie pour utiliser moins d'eau, sur le modèle de l'approche redevance-subvention utilisée dans la lutte contre la pollution. Si l'agriculteur consomme un volume d'eau en plus de celui correspondant à son droit de base, il le paie à un prix qui est un prix économique, fondé sur la valeur de l'eau pour les autres utilisations. S'il utilise moins d'eau que ce à quoi il a droit, ce même prix économique est utilisé pour rémunérer l'agriculteur à proportion de l'économie réalisée. Les droits de base plafonnent l'utilisation totale d'eau dans le bassin hydrographique ou sur le réseau considéré, ce qui permet de maintenir ou de réduire les volumes⁶⁷. Le marché passif se distingue des marchés structurés de l'eau car ni l'acheteur ni le vendeur n'ont à rechercher un vendeur ou un acheteur. Au lieu de cela, chaque agriculteur détermine simplement son utilisation d'eau au prix fixé par le gestionnaire sans dépendre d'un marché de l'eau unique.

Gestion collective – associer les agriculteurs à la gestion de l'irrigation

La gestion des ressources en eau passe aussi par l'organisation locale des usagers – organisations de gestion des bassins versants, par exemple, ou associations d'agriculteurs ou de pêcheurs –, autrement dit des associations d'usagers de l'eau. Ces groupements peuvent jouer un rôle

important dans la gestion des ressources, surtout aux niveaux local et communautaire. Les travaux d'Ostrom (1990)⁶⁸ ont montré que l'action collective est cruciale pour administrer les ressources communes⁶⁹. Il y a souvent une fracture entre les diverses parties prenantes (agriculteurs, pêcheurs, etc.), qui poursuivent des objectifs différents¹. La gouvernance doit permettre de concilier les intérêts divergents, de faire régner la transparence et la responsabilité et de veiller à une participation équitable et inclusive.

La gestion de l'eau nécessite une analyse, une planification et une action à l'échelle territoriale, pour lesquelles les groupes locaux jouent un rôle central. La contribution essentielle des associations d'usagers de l'eau à la gestion et à la gouvernance de cette ressource tient à leur capacité de rassembler les agriculteurs (en particulier les petits exploitants) pour gérer un système d'irrigation partagé. Grâce à des effets de synergie, les membres de ces associations peuvent mettre en commun leurs ressources financières, techniques, physiques et humaines pour faire fonctionner des dispositifs d'irrigation, y compris des réseaux hydrographiques locaux tels qu'un cours d'eau ou un bassin de captage. Les associations d'usagers permettent également d'accéder plus facilement au crédit pour les investissements visant à améliorer la gestion de l'eau d'irrigation. Elles renforcent le pouvoir de négociation de leurs membres, et en particulier des petits exploitants, face à des usagers plus importants et face aux autorités de réglementation. Cela étant, ceux qui font de l'eau une utilisation sans consommation (les pêcheurs par exemple) n'ont encore guère voix au chapitre lorsqu'il s'agit de définir comment les ressources sont gérées et comment sont répartis les coûts et les avantages.

Les données issues d'études de cas semblent indiquer que les associations d'usagers de l'eau ont amené des améliorations de rendement^{70, 71}, une utilisation plus efficiente de l'eau, une production plus importante lors des années de sécheresse⁷² et une meilleure résolution des litiges⁷³. Dans la province du Pendjab, au Pakistan, les associations d'usagers créées au

o Pour une étude des huit principes énoncés par Ostrom, aujourd'hui bien connus et dont le temps a confirmé la valeur, voir l'encadré 1 de FAO, 2017⁶⁸.

ENCADRÉ 21**LES ASSOCIATIONS D'USAGERS DE L'EAU OFFRENT DES AVANTAGES, MAIS IL EST IMPÉRATIF DE PRÊTER ATTENTION À LA GOUVERNANCE – DES EXEMPLES EN ASIE**

Le transfert de la gestion de l'irrigation entre les mains d'associations d'usagers de l'eau et d'autres associations d'agriculteurs peut concourir à un accès plus équitable et à la conservation de l'eau. Cela permet aussi de prendre en compte les besoins des usagers et l'état des ressources¹. Cependant, les résultats positifs ne sont pas toujours assurés car ils dépendent de la gouvernance de l'eau à un niveau plus général.

Des données probantes recueillies aux Philippines montrent que les associations décentralisées d'irrigants ont plus de chances de résoudre les problèmes que posent, par exemple, les resquilleurs, les litiges et le contrôle de l'application des règles, que des associations contrôlées par les autorités centrales⁷⁹. Les associations qui pouvaient établir des règles et imposer des sanctions (qui, par exemple, possédaient l'autorité nécessaire pour refuser de l'eau ou fixer des redevances), étaient plus susceptibles d'obtenir une plus forte participation des agriculteurs aux groupes de travail, de résoudre les différends sans assistance externe, d'assurer l'exploitation et la maintenance des réseaux d'irrigation et de faire respecter les règles.

D'autres études de cas d'associations d'usagers sont plus pessimistes quant aux chances de succès de ces groupements. Un examen de 108 cas pris dans 20 pays d'Asie a établi que seuls 43 transferts de gestion de l'irrigation ont été concluants, sur un continuum de notes

évaluant les effets⁸⁰. L'étude a conclu que les cas de réussite s'étaient produits dans un contexte caractérisé par un ensemble de facteurs spécifiques qu'il serait soit impossible soit très coûteux (et donc là encore impossible) de reproduire ailleurs. La recherche de la formule qui permettrait à tous les coups d'avoir des associations efficaces n'a donné aucun résultat, car inapplicable sur le plan social.

Dans de nombreux cas, les réformes opérées par un transfert de la gestion ne sont pas transparentes. Les politiques et les programmes ne sont pas toujours traduits dans les langues locales, entraînant des asymétries de l'information entre agriculteurs riches et pauvres, ce qui confère un avantage indu aux élites locales et leur permet de s'assurer les postes-clés. Shah *et al.* (2002) soutiennent que transférer la gestion de l'irrigation aux associations d'usagers a peu de chances de fonctionner pour les petits agriculteurs des pays à faible revenu, même lorsque les conditions préalables au succès sont réunies, notamment un cadre d'action et un cadre juridique propices, des droits de propriété garantis, une gestion locale, un renforcement des capacités et un transfert de la gestion^{81, 82}. Les auteurs affirment qu'il y a plus de chances d'assurer le succès de l'opération dans le contexte d'une culture de haute valeur et de grande envergure que dans celui d'une petite agriculture comprenant des milliers d'exploitants pauvres.

niveau des cours d'eau ont permis d'accroître le rendement des cultures de 10 pour cent sur les exploitations qui utilisent l'eau d'écoulement et de 8 pour cent sur celles qui utilisent l'eau souterraine⁷⁴. La délégation de la gestion de l'eau au niveau des sous-bassins à des associations d'usagers, des groupements d'agriculteurs ou d'autres acteurs du secteur privé à l'échelle communautaire peut aussi être profitable, quoique les données brossent un tableau nuancé (**encadré 21**). Des améliorations seront obtenues si les intérêts des parties prenantes sont représentés, par le moyen d'associations d'usagers. Ainsi, l'exclusion des pêcheurs du processus décisionnel fait baisser les rendements de la pêche.

Certaines tendances peuvent aider à déterminer les conditions de réussite des associations d'usagers de l'eau. De façon générale, une mise en œuvre du sommet vers la base ne donne pas de bons résultats, car cela sape le réel pouvoir mobilisateur de l'association et nuit à une participation équitable et inclusive des membres⁷⁵. D'après une étude d'associations opérant en Afrique subsaharienne, celles-ci ont plus de chances d'être efficaces quand leur conception et leur mise en œuvre se font avec la participation des futurs membres et mettent en avant l'amélioration des services de distribution d'eau, de sorte que la participation des agriculteurs ne se limite pas au paiement des redevances⁷⁵. Des services – infrastructures et

technologies – plus efficaces et les bienfaits d'une amélioration de l'inclusion, de la responsabilité, des capacités et de la gestion des différends sont pour les usagers autant d'incitations à payer et à participer. Le fait de participer à la conception peut aider les usagers, les gestionnaires de l'irrigation et les fonctionnaires à trouver, en matière d'infrastructures et de gestion, des solutions abordables comprenant innovations technologiques et mécanisation. La rotation du personnel chargé de gérer le réseau d'irrigation a plus de chances de bien fonctionner si les comités de direction sont élus par les agriculteurs, si l'équipe de direction se compose de spécialistes et si des systèmes juridiques permettent de gérer une complexité croissante (**encadré 21**)⁷⁶. Il est tout aussi important de définir clairement les rôles et responsabilités au moyen d'accords entre les services d'irrigation et les associations d'usagers. Les possibilités de conservation des ressources en eau sont meilleures lorsque les objectifs des régimes fonciers applicables à l'eau et des services sont clairs et garantis, que l'eau a un prix, comme tout bien économique, et que la consommation est suivie au niveau des exploitations et des bassins au moyen de techniques visant à économiser les ressources.

Les expériences de création d'associations d'usagers de l'eau donnant des résultats extrêmement variables, comme illustré dans l'**encadré 21**, cette opération doit faire l'objet d'un soutien attentif, de façon à permettre l'élaboration d'organisations décentralisées et inclusives, dotées d'une assise communautaire. Plusieurs conditions doivent être réunies: un contexte social et économique favorable; une dynamique d'équité; un contrôle local des droits d'usage de l'eau, des services et des redevances, et des moyens de lutte contre la fraude; des capacités de suivi; et une compétence juridique claire. L'efficacité des associations dépend également du sentiment des membres d'être parties prenantes ainsi que de l'attitude des services gouvernementaux, qui doivent leur rendre compte en tant que fournisseurs de services.

Il est essentiel de renforcer la participation des femmes aux associations d'usagers de l'eau et aux associations d'agriculteurs, où elles demeurent sous-représentées et désavantagées. Le recours à des quotas fixes par sexe fait partie des approches

possibles pour encourager les femmes à participer et à s'imposer, de même que le renforcement des capacités en matière de communication et de négociation^{77,78}. Il est essentiel de cibler les hommes, afin de les sensibiliser à la répartition des rôles, qui placent les femmes en situation désavantageuse, et de leur montrer, en les interpellant, qu'une plus grande participation des femmes peut être profitable à tous.

Des groupes composés exclusivement de femmes peuvent donner à celles-ci une nouvelle voix et produire de nombreux avantages. Si l'on crée des groupes de ce type en parallèle des associations d'usagers de l'eau, ils doivent être associés au processus décisionnel. Au Tadjikistan, les femmes ont commencé à former les jeunes à l'irrigation. Dans certains cas, c'est entré dans les mœurs, de sorte que la communauté accepte ce rôle qui leur est imparti et que certaines sont rémunérées pour ce travail⁷⁷. ■

DÉPASSER LE CADRE DE L'IRRIGATION – GOUVERNANCE DE L'EAU DANS LES SYSTÈMES PLUVIAUX ET LES SYSTÈMES INTÉGRÉS

L'action des pouvoirs publics et la gouvernance en matière de gestion des ressources en eau pour l'agriculture demeurent axées sur l'irrigation, tandis que le cadre d'action à l'échelle des bassins versants et des bassins hydrographiques vise principalement la répartition et la gestion de l'eau douce des cours d'eau, des nappes et des lacs⁸³. La gestion des ressources en eau relève normalement d'un ministère chargé des eaux et porte principalement sur l'irrigation à grande échelle, l'eau potable et l'énergie hydraulique. Cette situation a abouti à des investissements et des innovations limités dans la gouvernance, l'action publique, les institutions, les pratiques et les technologies susceptibles de soutenir les petits exploitants vivant dans des zones non irriguées et les utilisations non consommatrices comme la pêche continentale et l'aquaculture.

Institutions chargées de la gestion de l'eau dans la production végétale pluviale

L'agriculture pluviale fait face à des défis de plus en plus importants du fait de l'irrégularité, de l'insuffisance ou de l'inadéquation des précipitations. On s'attend à ce que la variabilité croissante du climat augmente encore la fréquence et la gravité des sécheresses, des précipitations extrêmes, des phénomènes météorologiques exceptionnels et des inondations, perturbant gravement les marchés et accroissant les risques de production (pour une étude des effets des inondations sur le secteur agricole, voir la partie intitulée «Zoom: Trop d'eau? Inondations, engorgement et agriculture» [p. 119]). Les anomalies pluviométriques touchant les pâturages représentent également une menace pour la production animale. Fortement tributaires d'une agriculture pluviale à faible niveau d'intrants⁸⁴, qui demeure le moyen d'existence de la majorité des ruraux pauvres, les pays à faible revenu sont particulièrement vulnérables face aux risques hydrologiques, d'autant que leurs mécanismes institutionnels sont souvent insuffisants.

Ce qu'il faut, c'est une intégration efficace, permettant de stimuler l'investissement dans une gestion de l'eau couvrant aussi bien l'agriculture pluviale que l'agriculture irriguée. Se préoccuper principalement de la planification de l'eau des bassins hydrographiques ne met pas assez en relief la gestion de l'eau dans les zones non irriguées. Celle-ci se produit généralement à une échelle inférieure à celle du bassin hydrographique, sur des exploitations de moins de 5 ha, opérant sur de petites zones de captage. Il faut donc se préoccuper de la gestion de l'eau tout autant à l'échelle des bassins versants qu'à celle des bassins hydrographiques⁸³.

Les gains potentiels des investissements dans l'eau utilisée par le secteur agricole sont plus importants lorsque ces investissements se combinent avec d'autres pratiques de production, comme l'utilisation de variétés végétales améliorées ou à haut rendement, une culture sans travail du sol ou la restauration du taux de matière organique des sols. On peut obtenir des améliorations par effet de synergie, mais pour recueillir tous les fruits de la gestion de l'eau, il

faut aussi prêter attention aux régimes fonciers applicables aux terres, aux droits de propriété sur l'eau et à l'accès aux marchés⁸³. Comme les interventions au niveau de l'exploitation ne suffisent pas à lutter contre la pénurie d'eau et la dégradation des terres dans les zones pluviales, une gestion communautaire du bassin versant est préférable⁸⁵. Cela vaut aussi pour la conservation et la restauration des forêts au niveau des bassins versants, en particulier dans les bassins hydrographiques de grande taille, et appelle de nouveaux investissements permettant la planification et la gestion de l'eau nécessaire à une agriculture pluviale. L'amélioration de la gestion de l'eau dans un contexte d'agriculture pluviale nécessite également des investissements publics dans les infrastructures et l'accès des agriculteurs à des routes les reliant aux marchés. Pour permettre cela, les organisations d'agriculteurs, les politiques financières et les autres mécanismes institutionnels doivent aller de pair avec la montée en puissance de l'action publique (voir le chapitre 5).

Une plus grande priorité est accordée à la gestion de l'eau de pluie et à d'autres investissements destinés à moderniser l'agriculture pluviale. En 2005, la National Commission on Farmers, en Inde, a adopté une approche de gestion intégrée des bassins versants, qui cible particulièrement la récupération de l'eau de pluie et l'amélioration de la santé des sols dans les zones pluviales exposées à la sécheresse⁸³. L'année suivante, l'Inde a mis en place la National Rainfed Area Authority, un organisme central chargé d'appuyer les plans stratégiques des projets de développement des bassins versants et de l'agriculture pluviale du pays. Cet organisme facilite la convergence des différents projets gouvernementaux et joue donc un rôle de coordination entre tous les organismes, les organisations, les agences et les ministères intervenant dans les programmes relatifs aux bassins versants^{85, 86}. Il est de plus en plus manifeste qu'il importe de réorienter la gouvernance et la gestion de l'eau vers une modernisation de l'agriculture pluviale, y compris l'élevage, comme expliqué à la section suivante.

Gestion de l'élevage durant les sécheresses

Les animaux d'élevage représentent un moyen d'existence essentiel pour les éleveurs pastoraux et d'autres communautés. Dans des situations d'urgence telles que celles provoquées par la sécheresse, les conditions d'élevage peuvent s'aggraver et la production animale chuter de façon spectaculaire en raison du manque de fourrage et d'eau. La mortalité du bétail peut être élevée et la reconstitution des troupeaux, extrêmement difficile. Sans un soutien préventif, des effets à long terme sont possibles⁸⁷. Étant donné qu'il est fréquent que les interventions d'urgence omettent de s'occuper des éleveurs, notamment pastoraux, il est primordial de planifier et de préparer ces interventions ainsi que les secours d'urgence. Les institutions, les politiques et les règlements nationaux peuvent influer sur la capacité d'utiliser le cheptel dans les situations d'urgence, notamment en cas de sécheresse. Que ce soit les services vétérinaires ou les politiques de taxation, de commercialisation et d'exportation, tous ces éléments ont des effets sur les moyens de subsistance reposant sur l'élevage. Pourtant, les mesures permettant de mettre en œuvre l'intervention la plus appropriée font souvent défaut. Tout un ensemble de stratégies de gouvernance peuvent permettre d'améliorer la gestion de l'eau nécessaire à la production animale, en particulier durant les périodes de sécheresse. Nous en verrons quelques-unes ci-après.

Faire participer des représentants des communautés et des institutions locales – Pour être efficaces, la détermination, la conception et la mise en œuvre des interventions en matière d'élevage nécessitent la participation des communautés locales, en particulier des groupes marginalisés ou vulnérables qui élèvent des animaux ou qui pourraient tirer profit d'un accès à l'élevage ou aux produits de l'élevage. Associer les communautés au processus de ciblage est un moyen efficace de s'assurer que les avantages seront équitablement répartis⁸⁷. Les institutions coutumières ou autochtones peuvent jouer un rôle essentiel dans les interventions d'urgence et dans la gestion des ressources naturelles, y compris les pâturages et l'eau. Leur participation est nécessaire pour soutenir les activités et contribuer aux moyens d'existence. En République-Unie de Tanzanie, le site agropastoral massaï d'Engaresero a mis en

place une organisation à assise communautaire pour gérer les ressources naturelles et l'élevage de façon durable, promouvoir le tourisme et préserver et développer les savoirs autochtones et le droit coutumier de la communauté locale⁸⁸.

Recenser et cartographier les sources d'eau, et instaurer des systèmes d'alerte précoce – Dans les zones exposées à la sécheresse, les données spatiales et les systèmes d'information géographique permettant de cartographier les points d'eau (y compris l'eau souterraine) constituent une étape importante vers la constitution d'une base de connaissances à des fins d'atténuation des urgences liées à l'eau et de planification des interventions⁸⁹. À titre d'exemple, citons l'extrême sécheresse qui a frappé le Kenya en 2000, et qui a conduit à la perte de 50 pour cent du cheptel dans certains districts. En raison d'un manque d'informations sur la localisation d'autres sources locales d'eau dans les zones les plus gravement touchées, les organismes de secours sont restés impuissants⁸⁹. Les systèmes d'alerte précoce permettent d'anticiper les situations d'urgence et d'avoir le temps de se préparer aux catastrophes, et de mieux en atténuer les effets. Ils peuvent aussi faciliter les interventions d'urgence⁸⁷.

Accès garanti et souple aux terres et aux ressources – Les éleveurs pastoraux faisant des terres et des autres ressources une utilisation collective, une conception restrictive de la propriété (c'est-à-dire du droit de contrôler une ressource complètement et exclusivement) ne cadre pas avec leurs traditions et leurs moyens d'existence⁹⁰. Dans un système pastoral, les droits de propriété sont perçus comme se chevauchant. Ils sont souvent nichés dans un autre ensemble de droits portant sur une autre ressource, relèvent d'autorités différentes et ont des fonctions différentes. L'accès aux ressources doit être suffisamment souple pour permettre, au moyen de négociations, de concilier différents droits qui souvent se chevauchent. La prise en compte des femmes dans les régimes fonciers et leur participation aux décisions devraient aussi être renforcées. Un programme conjoint de cinq ans mené par la FAO, le Fonds international de développement agricole (FIDA), ONU-Femmes et le Programme alimentaire mondial (PAM) fait progresser les droits des femmes sur les terres en Éthiopie, au Guatemala, au Kirghizistan, au Libéria, au Népal,

au Niger et au Rwanda, grâce à un travail de plaidoyer, des campagnes de sensibilisation et des formations⁹¹.

Élaborer des lignes directrices et des normes nationales pour prendre en compte les risques hydrologiques qui pèsent sur l'élevage – Dans certains pays, des directives de ce type existent déjà et peuvent aider toutes les personnes participant à des projets sur l'élevage, y compris les responsables de l'élaboration des politiques et les décideurs publics. C'est pour compléter les lignes directrices existantes ou en élaborer de nouvelles, que le projet Normes et directives pour l'aide d'urgence à l'élevage (LEGS) a été créé en 2005. Il est géré par un groupe directeur auquel participent la FAO, l'Union africaine, le Feinstein International Center, le Comité international de la Croix-Rouge et Vétérinaires sans frontières Europe⁹². Un réseau mondial réunissant plus de 1 500 organisations et individus dialogue avec un ensemble de parties prenantes. Le projet vise à fournir une assistance rapide pour protéger et reconstituer le cheptel des communautés touchées par une crise, et à améliorer la qualité des projets d'élevage et leurs effets sur les moyens d'existence en situation de crise humanitaire. Ce projet a donné deux produits principaux: un manuel et un programme de formation. Le manuel expose les normes, les lignes directrices et les outils permettant de concevoir, de mettre en œuvre et d'évaluer des interventions en matière d'élevage dans des situations d'urgence soudaines ou à développement lent, comme les inondations et la sécheresse. Il aborde l'évaluation, la détermination des solutions et les domaines techniques d'intervention, notamment la réduction des troupeaux, les services vétérinaires, l'eau, le fourrage, la mise à l'abri et la reconstitution des troupeaux⁹². Le programme de formation se concentre sur une série de cours de trois jours en Afrique, en Asie et en Amérique latine.

Gouvernance pour l'intégration de la pêche et de l'aquaculture continentales et des systèmes irrigués

Les effets de l'irrigation sur la pêche et l'aquaculture continentales peuvent être importants, dans un sens positif ou négatif. L'irrigation modifie la géomorphologie, l'hydrologie et l'affectation des terres, les habitats aquatiques

et les teneurs en éléments nutritifs des eaux, avec des conséquences pour la pêche continentale. Dans la plupart des cas, la productivité a décliné, soit parce qu'on ignore les effets de l'irrigation sur la pêche dans les eaux intérieures ou qu'on ne leur accorde qu'une priorité secondaire, soit à cause de la façon dont les systèmes d'irrigation sont conçus et exploités^{2, 93}. Les évaluations de l'impact de l'irrigation sur l'environnement mentionnent rarement la pêche continentale⁹⁴. Cela étant, malgré ces problèmes, l'irrigation peut ouvrir des perspectives à ceux qui vivent de ce type de pêche, en modifiant l'environnement économique et les mécanismes institutionnels qui contribuent à définir de quelle façon, par qui et dans quelle mesure les ressources halieutiques peuvent être utilisées⁹⁵.

Dans une zone irriguée au nord-est du Bangladesh, les riziculteurs ont en grande partie remplacé la culture du riz Aus (produit entre avril et juillet) par la production d'alevins, tout en continuant à produire du riz Aman (août-novembre) et Boro (décembre-mars). Cette évolution présente trois avantages: i) les alevins sont produits au début de la saison de pisciculture, lorsque la demande des propriétaires de bassins est élevée; ii) un cycle de production de poissons rompt le cycle de production du riz, réduisant la survie des organismes nuisibles (d'où moins de problèmes de ravageurs dans les cultures qui suivent); et iii) la production d'alevins rapporte beaucoup plus que la culture du riz Aus².

Les lois et les politiques nationales et régionales peuvent avoir une grande influence sur les structures de gouvernance qui visent à gérer les ressources en eau ainsi que sur l'ampleur de l'intégration de la pêche et de l'aquaculture continentales dans les systèmes d'irrigation ([tableau 6](#)). Certains pays et certaines régions encouragent une gouvernance intégrée des ressources naturelles, tandis que d'autres préfèrent les traiter séparément. Ainsi, au Cambodge et à Sri Lanka, les pratiques intégrées de rizipisciculture sont encouragées, et la création de refuges ichthyologiques communautaires – une mesure de conservation des poissons destinée à améliorer la productivité de la production piscicole dans les rizières – est devenue une orientation politique nationale⁹⁶. D'autres pays ne permettent pas la création de zones piscicoles dans les

TABLEAU 6

EFFETS DE DIFFÉRENTS ÉLÉMENTS DE GOUVERNANCE LIÉS À L'IRRIGATION SUR LA PÊCHE ET L'AQUACULTURE CONTINENTALES

Éléments de gouvernance	Intégration limitée entre irrigation et pêche et aquaculture continentales	Irrigation à l'appui de la pêche et de l'aquaculture continentales
Utilisation d'un bassin de retenue	Exclusivement réservé au stockage de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Création d'un habitat pour améliorer la pêche ▶ Empoissonnement pour améliorer la pêche ▶ Définition de zones pour l'aquaculture en cage ▶ Gestion prévoyant la pêche de loisir
Prélèvements d'eau	Ponctions dans les réservoirs et dans les cours/masses d'eau uniquement destinées à répondre aux demandes d'irrigation	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Maintien d'un niveau minimum dans les réservoirs pour protéger les populations de poissons et les écosystèmes aquatiques ▶ Maintien d'un débit minimum dans les cours d'eau pour protéger les poissons et le fonctionnement des écosystèmes ▶ Création de zones refuges et de terres humides
Utilisation de l'eau d'irrigation	Utilisation permise uniquement pour la culture	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Autorisation d'utiliser l'eau dans des systèmes de production diversifiés comprenant l'aquaculture ▶ Autorisation de pratiquer la rizipisciculture
Conversion de terres irriguées	Interdiction de pratiquer une activité autre que la production culturale primaire	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Modification visant à permettre une culture secondaire (canaux de rizipisciculture, par exemple) autorisée ▶ Conversion en étangs de pisciculture permise
Conception d'ouvrages de maîtrise de l'eau	Conception et construction à moindre coût, centrées uniquement sur la distribution d'eau	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Conception adaptée ou aménagements requis pour permettre le passage des poissons vers l'amont et l'aval ▶ Mesures supplémentaires (construction de passes migratoires pour les poissons) requises pour assurer la connectivité
Exploitation d'ouvrages de maîtrise de l'eau	Priorité à une exploitation visant à maximiser la distribution d'eau d'irrigation, sans tenir compte des autres services écosystémiques	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Maintien d'un débit minimal dans les cours d'eau pour protéger l'éologie aquatique ▶ Ouverture des vannes durant les périodes critiques de montaison des poissons ▶ Mancuvre des vannes exécutée de façon à être le moins préjudiciable possible à la montaison des poissons

SOURCE: Funge-Smith et Baumgartner, 2018².

rizières ni la conversion de rizières en sites de pisciculture⁹⁷, ou interdisent spécifiquement les activités relevant de la pêche, comme l'installation de cages d'élevage dans les canaux d'irrigation⁹⁸.

CONCLUSION

Malgré les liens clairs qui existent entre ses nombreuses fonctions, l'eau, à tous les niveaux, demeure gérée de façon fragmentée. Les responsabilités relatives à cette ressource sont disséminées sur plusieurs secteurs et l'existence d'une coordination efficace des processus décisionnels entre entités chargées de la mise

en œuvre et entre pays est l'exception et non la norme. Le comportement de différents acteurs au sujet de la gestion de l'eau résulte de choix politiques et de choix d'action publique opérés par des secteurs divers qui demeurent souvent coupés les uns des autres.

Le présent chapitre montre qu'il importe de faire davantage porter les efforts sur une gouvernance inclusive de l'eau, parce que la gestion seule est moins efficace pour résoudre les problèmes et parce que différents secteurs (parmi lesquels l'eau, l'alimentation et l'énergie), manifestement interdépendants, ne peuvent fonctionner isolément. Les solutions aux problèmes liés à l'eau

sont souvent extérieures au domaine de l'eau. Nous avons donc examiné dans le présent chapitre les voies d'amélioration de la gouvernance de l'eau, qui doivent cadrer avec l'efficience et l'équité, garantissant le droit à l'eau et à l'assainissement ainsi que le droit à l'alimentation, qui sont des droits fondamentaux. Les différents mécanismes et instruments, comme les droits d'usage de l'eau, les instruments reposant sur le jeu du marché, les régimes fonciers et les associations d'usagers de l'eau, peuvent permettre d'améliorer l'accès à l'irrigation et à l'eau de pluie, en particulier pour les agriculteurs marginaux et les petits exploitants, tout en atténuant les contraintes liées à cette ressource. Cependant, si l'eau n'est pas répartie correctement, si les usages ne sont pas réglementés et si les prix ne reflètent pas le coût réel de l'eau, ces mécanismes peuvent contribuer à une surexploitation des eaux de surface et des ressources en eau souterraine. Souvent, la majeure partie des avantages vont aux grands exploitants, qui utilisent davantage d'eau, d'engrais et d'énergie, aggravant un peu plus les inégalités.

Ce chapitre a mis en lumière la nécessité d'une comptabilité de l'eau rigoureuse et claire, et d'une analyse de la gouvernance, afin d'asseoir des mécanismes de reddition de comptes et d'assurer la transparence sur ce qui motive les mesures et sur la répartition des coûts et des avantages. Il est important également de favoriser une approche de la gestion de l'eau qui soit fondée sur les droits de l'homme et qui prête une attention particulière aux groupes vulnérables—petits exploitants, femmes et peuples autochtones. La notion de régime foncier applicable à l'eau peut fournir une approche globale qui permet de mieux saisir les relations entre les personnes et l'eau et d'offrir une assise solide à une utilisation équitable et efficace de l'eau. Ces mesures doivent être associées à des instruments viables reposant sur le jeu des marchés de l'eau et à des sanctions légales, liées, souvent, à des mesures de protection de l'environnement et des accords et traités de partage des ressources en eau. ■

ZOOM

TROP D'EAU? INONDATIONS, ENGORGEMENT ET AGRICULTURE

Échelonnement des événements liés à l'eau et conséquences des inondations

L'eau joue un rôle vital dans l'agriculture et un rôle tout aussi vital dans les écosystèmes, mais ces rôles ne sont pas toujours compatibles. Prenons l'exemple des inondations: elles peuvent contribuer à la santé des zones humides, en transportant et en déposant des sédiments riches en éléments nutritifs, essentiels pour la vie animale et végétale. En revanche, elles peuvent aussi être cause de difficultés économiques à long terme pour les différents acteurs du système alimentaire, en raison des pertes de bétail et de production végétale qu'elles entraînent et des dommages qu'elles occasionnent dans les installations de stockage de produits alimentaires et dans les entreprises industrielles et commerciales^{99, 100}. Toutes les inondations ne sont pas mauvaises pour l'agriculture, cependant, comme le démontrent les systèmes agricoles d'Afrique subsaharienne et d'Asie qui dépendent des crues pour améliorer la santé des sols, le cours d'eau contribuant alors à recharger la couche arable en éléments nutritifs, renforçant sa fertilité. En Afrique subsaharienne, on estime que 25 millions d'hectares sont irrigués par les eaux des crues¹⁰¹. Une inondation peut aussi reconstituer les ressources en eau souterraine et recharger les aquifères, en plus de profiter à la pêche continentale et de créer des habitats pour la faune sauvage¹⁰².

Il n'en reste pas moins que les inondations, et les dommages qu'elles causent, représentent une préoccupation majeure pour les sociétés en raison de leur plus grande fréquence. Le mot «inondation» évoque généralement un débordement temporaire d'eau, qui recouvre alors des terres normalement émergées¹⁰³. En examinant la superficie de la zone touchée et la durée de l'épisode pluvieux déclenchant, on peut faire une distinction entre des submersions de longue durée et des débordements locaux soudains¹⁰⁴. Les dimensions spatiale et temporelle des inondations déterminent pour une grande part leurs effets, qu'ils soient bénéfiques ou préjudiciables.

Le secteur agricole est particulièrement exposé aux aléas naturels, et la fréquence accrue des événements météorologiques extrêmes ces dernières décennies, dont les inondations, représente un défi considérable pour les systèmes agricoles. Les eaux qui stagnent après l'inondation rendent souvent les terres cultivées inutilisables et il devient difficile d'y garder des animaux d'élevage qui, privés d'abri, des soins vétérinaires et d'une alimentation adéquate, peuvent aisément être victimes de maladies ou d'inanition. Les inondations sont fréquemment associées à une contamination de l'eau et à une dégradation accélérée des sols, et peuvent éroder la couche arable dans des zones de culture de premier ordre, entraînant des dommages irréversibles sur les habitats. Ces conséquences sont particulièrement désastreuses pour les populations

ZOOM

TROP D'EAU? INONDATIONS, ENGORGEMENT ET AGRICULTURE

pauvres du globe, dont la plupart vivent en zone rurale et dépendent de l'agriculture pour leur alimentation et leur revenu. Beaucoup ont toutes les peines du monde à remplacer ce qui a été perdu ou endommagé – semences, outils, animaux d'élevage, aliments pour animaux, poisson des bassins piscicoles ou matériel de pêche.

Malgré les nombreuses actions déployées aux niveaux national et international, les informations disponibles sur les effets des catastrophes, y compris des inondations, sur l'agriculture et ses sous-secteurs – culture, élevage, pêche (continentale et maritime), aquaculture et forêts – sont limitées. L'examen de 74 évaluations des besoins après catastrophe, conduites dans 53 pays en développement au cours de la décennie 2006-2016, montre que l'agriculture et ses sous-secteurs supportent 23 pour cent de tous les dommages et pertes causés par des catastrophes d'origine climatique de moyenne à grande ampleur (inondations, sécheresse et orages tropicaux)¹⁰⁵. Les dommages peuvent s'exprimer en coûts de remplacement et/ou de réparation des actifs physiques, tandis que les pertes renvoient aux variations de flux économiques se produisant du fait d'une

catastrophe, notamment une baisse des récoltes (y compris la perte de poissons due à la submersion des bassins de pisciculture). Les dommages causés aux actifs agricoles représentent 16 pour cent des dommages tous secteurs confondus, et près d'un tiers de toutes les pertes liées aux catastrophes concerne les sous-secteurs agricoles.

L'importance économique relative de la sécheresse et des inondations par rapport aux autres aléas dépend de la façon dont les sous-secteurs agricoles sont touchés (figure A). Si l'on prend l'élevage, sur la période 2006-2016, la sécheresse a été de loin la principale cause de pertes et de dommages (86 pour cent). Pour la culture et la pêche, en revanche, les inondations ont entraîné des dommages proportionnellement plus élevés que les autres aléas, ayant provoqué près des deux tiers de l'ensemble des pertes et dommages enregistrés par les cultivateurs et 44 pour cent de ceux des secteurs de la pêche et de l'aquaculture. En valeur absolue, la catastrophe la plus préjudiciable aux cultures a été l'inondation de 2010 au Pakistan (4,5 milliards d'USD), suivie par la sécheresse de 2008-2011 au Kenya (1,5 milliard d'USD). Ces dernières années,

FIGURE A
DOMMAGES ET PERTES SUBIS PAR
LES SOUS-SECTEURS AGRICOLES,
PAR TYPE D'ALÉAS, 2006-2016

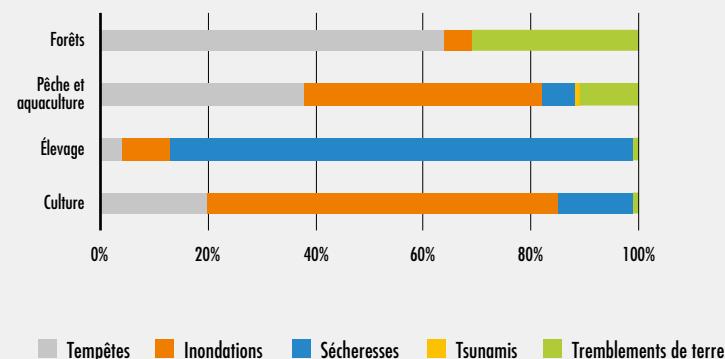
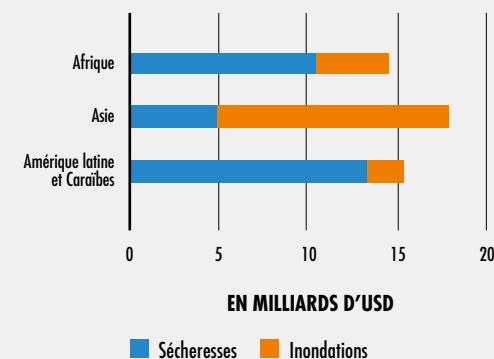


FIGURE B
PERTES DE PRODUCTION DUES AUX
SÉCHERESSES ET AUX INONDATIONS,
PAR RÉGION, 2005-2015



NOTE: La pêche comprend la pêche en mer et la pêche continentale.
SOURCE: FAO, 2018¹⁰⁵.

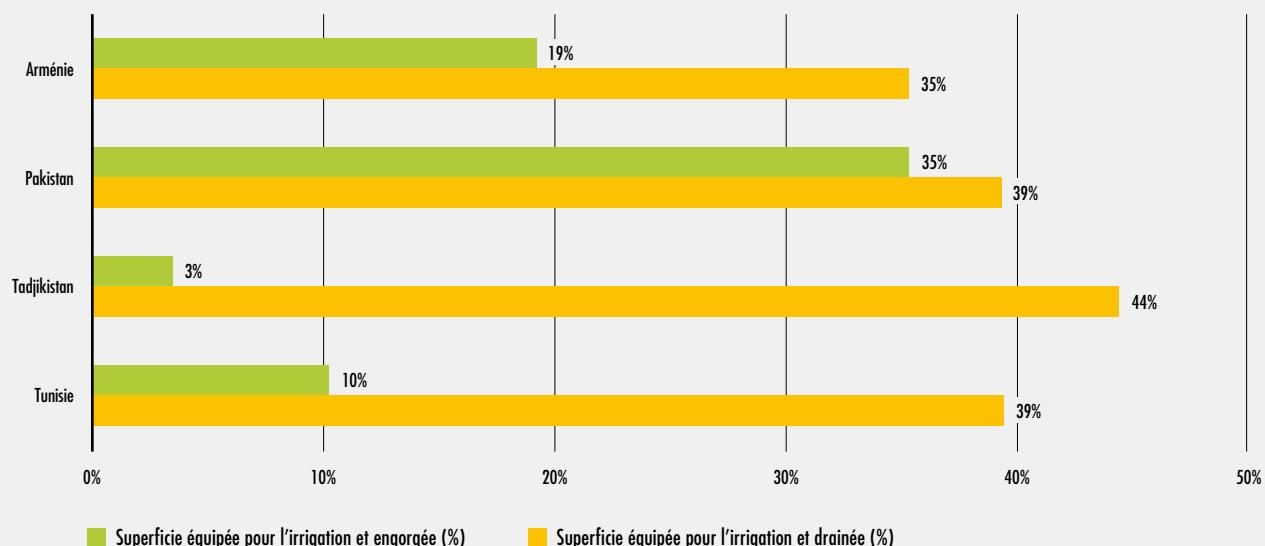
la production végétale mondiale a été gravement touchée par des événements tels que les inondations de 2015 au Myanmar (572 millions d'USD) et les inondations de 2014 en Bosnie-Herzégovine (255 millions d'USD). Dans les deux cas, les coûts avaient pour cause la baisse des rendements et le retard pris dans les ensemencements du fait que les terres arables n'étaient plus accessibles.

Entre 2005 et 2015, les baisses de production végétale et animale consécutives à des catastrophes naturelles dans les pays en développement ont représenté une perte de 96 milliards d'USD environ. La part due aux inondations s'élève à 20 pour cent, ce qui fait environ 19,5 milliards d'USD (figure B)¹⁰⁵. L'ampleur des pertes de production imputables aux inondations est plus élevée en Asie qu'en Afrique et qu'en Amérique latine et dans les Caraïbes.

On porte une attention croissante aux mesures de gestion naturelle de l'inondation, qui visent à

s'attaquer à ces problèmes de façon durable et à atténuer les risques en aval¹⁰⁶. Le principe de base est d'agir sur le débit des cours d'eau en intervenant à l'échelle du bassin versant. Les interventions en amont visent plutôt à réduire les submersions en aval qu'à protéger les plaines inondables contre les débordements¹⁰⁷. La gestion naturelle de l'inondation est une forme de gestion fondée sur les bassins versants qui comprend des mesures telles que: i) réduction de la génération de ruissellement sur les pentes des collines; ii) stockage d'eau durant les fortes crues; et iii) limitation de la connexion entre les sources de ruissellement et les zones inondables. L'efficacité de cette gestion est toutefois incertaine dans le cas de grands bassins versants¹⁰⁷. Si l'on applique cette stratégie, il est important d'examiner quelles pourraient en être les conséquences négatives pour les écosystèmes aquatiques et la pêche continentale. Les écosystèmes aquatiques dépendent des apports d'eau, qui doivent se faire au bon moment et pendant la durée voulue, de manière à ce que ces écosystèmes puissent fournir alimentation et nutrition.

**FIGURE C
ENGORGEMENT ET DRAINAGE DU SOL, DANS CERTAINS PAYS**



NOTE: Les données correspondent aux années les plus récentes: Arménie (2006), Pakistan (2006-2008), Tadjikistan (2009), Tunisie (2000).
SOURCES: FAO, 2020¹¹⁵; et CIID, 2018¹¹⁶.

ZOOM

TROP D'EAU? INONDATIONS, ENGORGEMENT ET AGRICULTURE

SERBIE

Un champ endommagé par une inondation, près de Jamena et de Sremska Raca, dans le nord-ouest de la Serbie.
©FAO/Igor Salinger



Pertes de production liées à l'eau sans lien avec des événements extrêmes: engorgement des sols

Même s'ils sont difficiles à quantifier, la variabilité des précipitations et la capacité de drainage des sols peuvent avoir sur l'agriculture des effets comparables à ceux des sécheresses et des inondations, en dehors de tout phénomène extrême. L'engorgement des sols, par exemple, peut réduire la productivité agricole si la quantité d'eau proche des racines des plantes est trop importante et restreint l'accès de ces dernières à l'oxygène¹⁰⁸. L'Australie a enregistré des baisses de rendement des cultures allant jusqu'à 80 pour cent, tandis qu'une autre étude, menée en Inde, constatait un accroissement des rendements du riz, du blé, du coton et de la canne à sucre à la suite d'un drainage souterrain, concluant que les rendements des champs drainés étaient nettement plus élevés que ceux des champs non drainés^{109, 110}. Le phénomène d'engorgement est considéré comme faisant partie des principaux obstacles sur le chemin d'une

agriculture durable, car il limite la croissance des plantes et fait baisser les rendements. Les effets de l'engorgement sont aggravés par la salinité, car alors l'absorption de sel augmente considérablement, de même que la concentration de sel dans les racines, d'où des plantes qui poussent moins bien ou meurent, tout simplement^{111, 112, 113}.

Malgré l'importance de ce phénomène, il n'existe pas de données détaillées sur l'étendue du problème dans l'ensemble des pays. Si l'on considère le petit nombre de pays qui disposent d'informations sur le sujet, l'engorgement touche une part appréciable des zones irriguées, jusqu'à 35 pour cent au Pakistan, par exemple (figure C). Ces éléments font ressortir l'importance d'un drainage correct dans les projets d'irrigation. L'engorgement ne se limite pas aux zones irriguées; l'estimation de son incidence dans les territoires agricoles et l'utilisation de données de télédétection peuvent donner aux pouvoirs publics des indications sur la gravité du problème et les mesures correctives possibles¹¹⁴.

Pour soutenir et améliorer la productivité de l'agriculture irriguée, l'intégration de l'irrigation et du drainage est essentielle, car la gestion de l'irrigation et les problèmes de drainage sont étroitement liés: i) une irrigation excessive ou inefficace peut être à l'origine de l'engorgement du sol; et ii) la gestion de l'irrigation et l'élimination des effluents sont liés¹¹⁷. Réduire autant que possible les effluents de drainage par une plus grande efficience de l'irrigation et réutiliser l'eau drainée au niveau des exploitations tout en maintenant la santé du sol est une option réaliste. Un examen approfondi des nombreuses options de drainage sort du cadre du présent rapport mais pour plus de précisions sur le sujet, se

reporter à l'ouvrage de Smedema, Vlotman et Rycroft (2004)¹¹⁸. Dans la plaine de la Chine du nord, le drainage est à la base des mesures générales visant à maîtriser la sécheresse, l'engorgement, la salinité et les eaux salées souterraines¹¹⁹. Cela étant, si l'engorgement persiste ou si le drainage n'est pas viable, comme ce peut être le cas dans des zones pluviales sujettes à l'engorgement, il est également possible d'adapter la gestion des cultures et des pâturages aux conditions d'hydromorphie. Les techniques de culture sélective et le génie agricole classique ou le génie génétique, par exemple, peuvent aider à cultiver des terres engorgées de façon efficace et économique¹⁰⁸.

**OUZBÉKISTAN**

Un cultivateur utilise du matériel d'irrigation au goutte à goutte moderne dans le verger de l'exploitation familiale.
©FAO/Rustam Shagayev

Messages clés

→ La gestion des ressources en eau nécessite des politiques cohérentes et une coordination entre les différents secteurs et sous-secteurs agricoles et entre les différents lieux, ainsi qu'une gouvernance efficace qui permette de gérer les équilibres et les relations d'interdépendance.

→ L'agriculture joue un rôle central du fait de sa consommation d'eau et de son action sur les territoires. Des stratégies plus cohérentes doivent être appliquées à la culture, pluviale et irriguée, à l'élevage, aux forêts, et à la pêche et à l'aquaculture continentales.

→ Les mesures d'incitation sont importantes: les subventions, quelles qu'elles soient, doivent encourager les investissements visant à renforcer la productivité de l'eau tout en préservant les débits écologiques, afin de garantir la durabilité. Le paiement des services écologiques – en particulier au niveau des bassins versants – peut jouer un rôle dans la préservation des fonctions écosystémiques.

→ En matière de politiques de l'eau, les priorités dépendront de la nature du risque (stress hydrique, sécheresse, inondation ou qualité de l'eau), ainsi que des systèmes de production agricole, du niveau de développement et des structures politiques de chaque pays.

→ Les producteurs qui exploitent les 128 millions d'hectares (soit 11 pour cent) de terres pluviales touchées par des sécheresses récurrentes pourraient tirer grandement parti des techniques de récupération et de conservation des eaux.

→ Pour les éleveurs qui occupent les 656 millions d'hectares (soit 14 pour cent) de pâturages touchés par la sécheresse, il existe tout un ensemble de mesures susceptibles d'atténuer les effets de la sécheresse et d'améliorer la productivité de l'eau, notamment l'amélioration de la santé animale. La préparation en prévision des sécheresses, dans les zones de culture et de pâture pluviales, doit être un élément essentiel des politiques.

→ En ce qui concerne les 171 millions (soit 62 pour cent) de terres irriguées soumises à un stress hydrique élevé ou très élevé, la priorité doit être donnée au renforcement de la gouvernance et à la mise en place d'une répartition efficace et équitable des ressources en eau, et, par la suite, à la remise en état et à la modernisation des infrastructures d'irrigation, et à l'adoption de technologies nouvelles. En Afrique subsaharienne, la superficie des zones irriguées devrait au moins doubler d'ici à 2050 et ainsi profiter à des millions de petits agriculteurs.

CHAPITRE 5 EAU ET AGRICULTURE: POLITIQUES ET PRIORITÉS

EAU ET AGRICULTURE: POLITIQUES ET PRIORITÉS

Les chapitres précédents ont permis de comprendre dans quelle mesure les pénuries d'eau et la rareté croissante des ressources hydriques sont alarmantes pour les systèmes agricoles et l'environnement. La pression démographique, l'urbanisation, l'évolution des modes d'alimentation et le changement climatique ne feront qu'aggraver ces problèmes. Toutefois, malgré la concurrence croissante des autres secteurs, l'agriculture, qui prélève toujours plus d'eau (actuellement 70 pour cent du total des prélevements) restera de loin le plus grand consommateur d'eau. Le secteur agricole (production animale et végétale et forêts) gère la majeure partie des terres dans les bassins hydrographiques. La lutte contre les pénuries et la rareté de l'eau doit reposer sur une stratégie qui comprenne une comptabilité et un audit rigoureux de l'eau, des technologies adaptées et une gestion des ressources hydriques dans laquelle l'agriculture doit jouer un rôle de premier plan. Le chapitre 3 a présenté un large éventail de solutions techniques et de stratégies de gestion devant permettre d'ajuster les systèmes d'utilisation de l'eau aux besoins des différents utilisateurs, tout en tenant compte des exigences en matière de débits écologiques. Mais les solutions et les techniques ne se mettront pas en place toutes seules. Leur mise en œuvre dépendra des institutions et de l'économie politique, comme on l'a vu au chapitre 4, mais aussi des incitations, qui devront viser à une utilisation plus efficace et plus durable des ressources hydriques. Le présent chapitre s'intéresse à la dimension supérieure, illustrée par la **figure 13** (p. 49), et est axé sur la cohérence des politiques et la définition des priorités.

Ces vingt-cinq dernières années, les modèles de gouvernance de l'eau ont évolué vers plus de coordination et vers des approches décentralisées, participatives et intégrées. Les ODD et le Programme 2030 ont insufflé un

nouvel élan au débat sur l'interconnexion des différents secteurs, et ont également permis de recentrer l'attention sur la nécessité de renforcer la coordination intersectorielle et la cohérence des politiques. À cet égard, la cible 6.4 des ODD, qui intéresse l'utilisation de l'eau et la pénurie d'eau, est étroitement liée à la cible 2.4, à savoir: «D'ici à 2030, assurer la viabilité des systèmes de production alimentaire et mettre en œuvre des pratiques agricoles résilientes qui permettent d'accroître la productivité et la production, contribuent à la préservation des écosystèmes, renforcent les capacités d'adaptation aux changements climatiques, aux phénomènes météorologiques extrêmes, à la sécheresse, aux inondations et à d'autres catastrophes et améliorent progressivement la qualité des terres et des sols.»

De toute évidence, l'eau est une ressource de plus en plus rare et de plus en plus limitée, et les pénuries posent des problèmes croissants pour l'agriculture pluviale et pour l'élevage, mais l'intégration de ces questions aux cadres stratégiques continue de se faire avec lenteur, même dans le secteur agricole. À l'échelle de la planète, si on considère à quel point ses propriétés sont précieuses (voir le chapitre 1), on n'accorde pas assez de prix à l'eau. Dans nombre de pays, l'eau est entièrement gratuite. Étant donné que les prix ne reflètent pas son coût réel, l'eau est mal répartie et les investissements consacrés aux infrastructures et à la gestion de la rareté de l'eau sont peu nombreux. Sachant que la rareté de l'eau donnera lieu à des tensions entre les différents utilisateurs, le présent chapitre aborde, dans un premier temps, la nécessité d'harmoniser les politiques relatives à l'utilisation des ressources hydriques entre les différents secteurs et sous-secteurs agricoles et entre les différents lieux. Sont ensuite passées en revue les politiques et pratiques qui devraient permettre de mieux gérer les ressources en eau dans le

secteur agricole, et de mieux ajuster les incitations individuelles destinées aux agriculteurs à l'objectif premier qui est d'optimiser l'utilisation de l'eau.

Après avoir abordé la cohérence des politiques et les mesures d'incitation à une utilisation plus efficace et plus durable de l'eau, le chapitre examine les possibilités d'action et d'investissement dans la gestion de l'eau à usage agricole, en se fondant sur l'analyse développée dans les chapitres précédents. Partant des difficultés, exposées au chapitre 2, concernant le risque de sécheresse dans les systèmes de culture et de pâture pluviales, et de stress hydrique dans les zones irriguées, le chapitre présente des stratégies politiques conçues pour s'adapter à des situations spécifiques. Il adopte une perspective qui considère l'agriculture dans sa globalité, met en exergue le rôle essentiel des solutions fondées sur la nature et montre que les intérêts de la pêche continentale et de l'aquaculture sont parfaitement compatibles avec les exigences en matière de débits écologiques. ■

HARMONISER LES POLITIQUES RELATIVES À L'EAU, À L'AGRICULTURE, À LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET À LA NUTRITION

Nécessité d'une cohérence intersectorielle des politiques

Le comportement des différents acteurs est conditionné par des choix stratégiques faits dans les différents secteurs, qui prennent souvent des décisions isolément les uns des autres. Il ne suffit pas de lutter contre la rareté de l'eau, il

faut aussi renforcer la cohérence en coordonnant mieux les politiques, les dispositions législatives et les mesures budgétaires qui interviennent dans la gestion de l'eau. Nombreuses sont les politiques qui peuvent influer sur l'offre et la demande d'eau: taxes sur l'énergie, accords commerciaux, subventions agricoles ou encore stratégies de réduction de la pauvreté¹. Or, malgré leur efficacité potentielle, elles sont rarement envisagées ([encadré 22](#)). Une plus grande intégration au niveau de la prise de décision est primordiale. En effet, chaque ministère prend des décisions dans le domaine relevant de sa compétence - irrigation, industrie, collectivités - sans tenir compte des effets cumulés sur la demande d'eau et sur la qualité de l'eau. Sans un effort d'intégration, les écosystèmes liés à l'eau continueront d'être soumis à la pression croissante des villes, de l'industrie et de l'agriculture, toujours plus exigeantes en eau, au risque de ne plus pouvoir fournir des services pourtant essentiels à la réalisation des ODD.

L'intégration intersectorielle, ou horizontale, permettra de réduire les retombées négatives qu'une décision prise dans un secteur peut avoir sur les autres secteurs, et donc de préserver les ressources et de trouver un meilleur équilibre². Le lien eau-énergie-alimentation est un élément essentiel pour parvenir à une meilleure cohérence des politiques. Les politiques relatives à l'agriculture jouent directement sur l'eau et l'énergie, lorsque, par exemple, elles favorisent à l'excès les cultures gourmandes en eau (le riz, par exemple), provoquant une surexploitation des ressources en eau, et une surconsommation d'énergie pour le pompage des eaux souterraines³. La hausse des prix de l'énergie peut entraîner une réduction des prélèvements d'eau dans les aquifères à cause du coût du pompage, et ainsi réduire la surexploitation des eaux souterraines⁴. Les pompes à énergie solaire

»

ENCADRÉ 22**MESURES D'INCITATION ET RARETÉ ET PRODUCTIVITÉ DE L'EAU DANS LA RÉGION PROCHE-ORIENT ET AFRIQUE DU NORD**

Dans la région Proche-Orient et Afrique du Nord, l'eau douce renouvelable par habitant est inférieure à 10 pour cent de la moyenne mondiale⁵. Des subventions élevées sur l'eau et l'énergie, ajoutées à des contrôles insuffisants, sapent les incitations à une utilisation efficace de l'eau dans la région et ont pour effet de favoriser la surexploitation des ressources et de perpétuer un système dans lequel l'eau a peu de valeur et une faible productivité^{6, 7}.

La sous-tarification des carburants qui servent à l'extraction des eaux souterraines et la sous-évaluation de l'eau font que les prélèvements d'eau dépassent les ressources renouvelables dans la plupart des pays de la région Proche-Orient et Afrique du Nord, ce qui entraîne l'épuisement des aquifères^{5, 8}. Dans le secteur agricole, les redevances ne reflètent ni la valeur de l'eau, ni le coût de sa distribution⁹. Les exploitants agricoles sont peu incités à faire des économies d'eau et ont tendance à produire des cultures gourmandes en eau dès lors qu'elles sont rentables, négligeant les techniques d'irrigation qui permettraient de faire des économies d'eau¹⁰.

Les gouvernements de la région Proche-Orient et Afrique du Nord ont accordé la priorité à l'autosuffisance nationale pour ce qui est des aliments de base, principalement en subventionnant la production céréalière par le soutien des prix à la production et les subventions aux intrants, en contrôlant les importations et en menant une politique d'achats publics. Atteindre l'autosuffisance en céréales pour réduire la dépendance à l'égard des importations a été au cœur des politiques agricoles de plusieurs pays de la région, dont l'Algérie¹¹, l'Égypte^{12, 13}, l'Iran (République islamique d')¹⁴, la République arabe syrienne¹⁵ et la Tunisie¹⁶.

En raison de l'absence de mesures incitant à utiliser l'eau efficacement et à accroître la productivité de l'eau, et compte tenu des besoins élevés en irrigation, l'utilisation d'eau en excès a été la norme. Il en est résulté un appauvrissement grave des aquifères, avec de sérieuses conséquences, en particulier pour les petits producteurs^{5, 17}.

La prédominance des céréales (notamment le blé), favorisée par des systèmes de subventions onéreux, entraîne des pertes importantes de PIB par rapport aux

politiques qui encouragent une production tenant compte des avantages comparatifs¹⁷.

La région affichant les prix de l'eau les plus faibles au monde, la manière dont l'eau est utilisée fait que la productivité économique de cette ressource est très faible. Les niveaux de productivité physique de l'eau sont élevés par rapport aux tendances mondiales, mais le rendement économique de l'eau est le plus faible dans le secteur agricole alors même que ce secteur représente presque 80 pour cent de l'utilisation d'eau de la région, soit un taux supérieur à la moyenne mondiale, qui est d'environ 70 pour cent^{7, 17}.

Selon une étude menée par la FAO, les cultures les plus rémunératrices par mètre cube d'eau sont les fruits et les légumes, pour lesquels la productivité économique de l'eau est comprise entre 1,07 USD/m³ et 6,18 USD/m³. Les céréales, à savoir le blé et le riz, ont la productivité économique la plus faible, avec des valeurs avoisinant 0,35 USD/m³. À ce jour, le faible coût de l'eau, associé aux politiques de soutien à la production céréalière, a dissocié l'utilisation de l'eau de sa productivité économique¹⁷.

Une étude moins récente a comparé la productivité économique de l'eau pour les principales cultures en Égypte, en Jordanie et au Liban, sur la base des quantités utilisées¹⁸. Les résultats ont montré qu'en Égypte, les cultures irriguées de base (blé, maïs, betterave à sucre et riz), qui consomment le plus d'eau, affichaient la productivité économique de l'eau la plus faible. En revanche, les légumes affichaient la productivité la plus élevée, tout en nécessitant une très faible quantité d'eau (voir la figure du présent encadré). L'étude a montré des résultats similaires dans le gouvernorat de Karnak, en Jordanie, où quatre cultures irriguées (orge, blé, olives et tomates) occupaient 85 pour cent des terres cultivées et consommaient 95 pour cent de l'eau douce, mais avaient la productivité économique de l'eau la plus faible, tandis que d'autres cultures légumières affichaient une meilleure productivité et consommaient moins de 5 pour cent de l'eau destinée à l'irrigation.

Les faibles tarifs de l'eau et les subventions à l'énergie élevées, associés à l'absence ou à l'insuffisance de dispositifs de mesure et de suivi, ont dissuadé les agriculteurs de pratiquer une irrigation plus efficace.

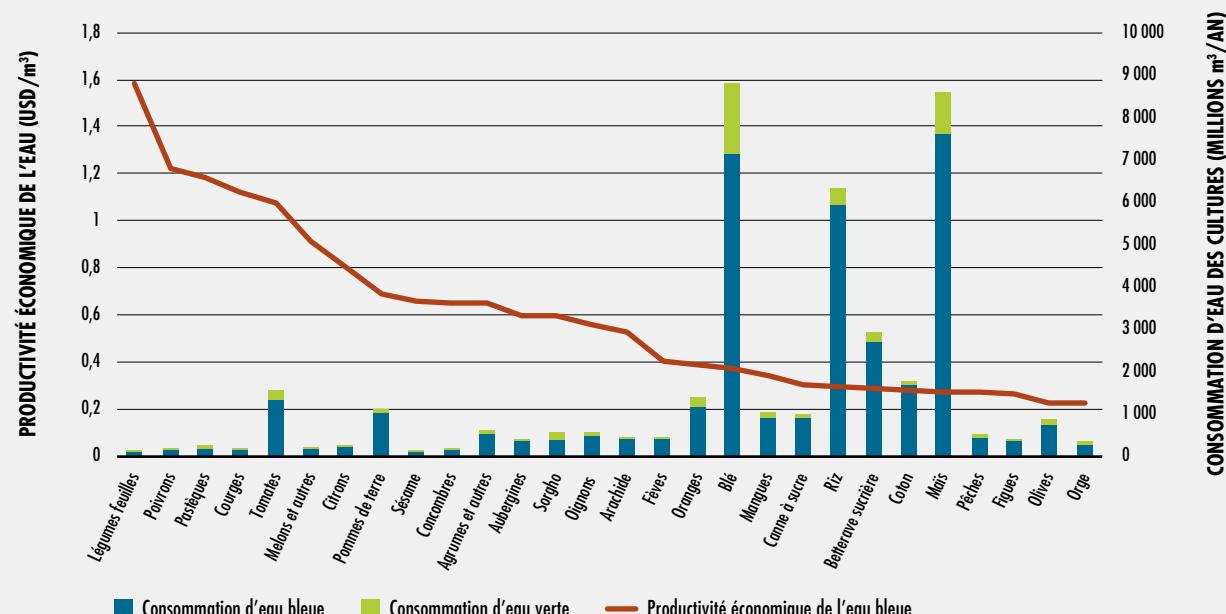
ENCADRÉ 22 (SUITE)

Selon des données de la FAO, le passage à des techniques d'irrigation modernes, telles que l'aspersion ou les systèmes d'irrigation localisée, s'est fait lentement, notamment dans les pays à faible revenu et les pays où les ressources en eau sont très rares. En Égypte, au Maroc et en République arabe syrienne, l'irrigation de surface est pratiquée sur plus de 70 pour cent des terres irriguées. Au Yémen, les systèmes d'irrigation plus efficaces sont quasiment absents²¹. Dans la région Proche-Orient et Afrique du Nord, la plupart des agriculteurs sont de petits exploitants et ne bénéficient pas d'incitations financières qui les encourageraient à investir dans la technologie. La fragmentation des terres affaiblit encore plus les incitations²².

Dans certains cas, les politiques visant à atteindre l'autosuffisance pour les cultures de base ont entraîné un appauvrissement extrême des ressources en eau et provoqué des déplacements massifs de population. Tel a été le cas en République arabe syrienne, où les

politiques qui visaient principalement l'autosuffisance en blé, ont joué un rôle considérable dans la dégradation des ressources naturelles. Plusieurs études ont montré que les politiques publiques en faveur de cultures nécessitant une irrigation intense (blé et coton) ont été la cause d'un effondrement du niveau des eaux souterraines^{15, 23}. Ainsi, les agriculteurs syriens se sont retrouvés impuissants face à l'épisode de sécheresse grave qui a frappé le Proche-Orient entre 2007 et 2009. La situation s'est encore aggravée en 2008, lorsque le gouvernement a supprimé les subventions au diesel (principal carburant utilisé pour l'irrigation), provoquant une hausse des prix de 300 pour cent du jour au lendemain^{15, 24}. Alors que cet épisode de sécheresse a eu des effets minimes dans d'autres pays de la région^{24, 25}, en République arabe syrienne, il a entraîné le déplacement d'environ 300 000 personnes, qui ont quitté les zones rurales pour les villes, laissant 60 à 70 pour cent des villages désertés dans les régions de Hassaké et Deir ez-Zor²⁶.

ÉGYPTE, PRINCIPALES CULTURES: PRODUCTIVITÉ ÉCONOMIQUE DE L'EAU ET CONSOMMATION D'EAU – MOYENNE 2007-2011



SOURCES: D'après Elbehri et Sadiddin, 2016¹⁸, dont les calculs sont fondés sur les données de FAOSTAT¹⁹; et Mekonnen et Hoekstra, 2011²⁰.

» pourraient toutefois déséquilibrer ce rapport en intensifiant l'extraction des eaux souterraines, avec pour conséquence une augmentation de la consommation d'eau douce par le secteur agricole. Pour éviter d'exacerber la rareté de l'eau, des systèmes intégrés d'information sur l'agriculture et l'irrigation, s'adressant aussi aux autres grands secteurs utilisateurs d'eau, peuvent permettre de prendre des décisions efficaces dans des situations caractérisées par l'incertitude. Les services de données et la gestion des connaissances à l'intersection eau-énergie-alimentation peuvent favoriser la prise de décisions solides et transparentes et peuvent permettre de prendre en compte les contraintes hydrologiques et les exigences en matière de débits écologiques.

Les subventions se justifient souvent lorsqu'il s'agit de fournir des biens publics, afin d'encourager l'adoption de nouvelles technologies, de favoriser la sécurité alimentaire, de fournir une aide aux revenus des petits agriculteurs et de compenser la faiblesse des infrastructures²⁷. L'**encadré 22**, explique que les subventions aux intrants agricoles permettent d'accroître la production et la rentabilité, mais qu'elles sont aussi responsables d'une utilisation de l'eau inefficace, excessive et improductive, avec des conséquences économiques et sociales importantes. Souvent, les pouvoirs publics réservent une grande partie des subventions à des biens qui relèvent du privé tels que l'énergie, les engrains et le crédit, négligeant des biens publics qui ont toute leur importance (investissements dans la recherche, infrastructures routières et éducation, par exemple) et proposent des incitations qui favorisent une exploitation inefficace et non durable des ressources naturelles, dont l'eau fait partie. L'utilisation de l'eau à des fins privées est aussi concernée, puisque l'eau d'irrigation bon marché ou gratuite fournie aux agriculteurs continue de faire obstacle aux incitations, et conduit ainsi à la pollution et à une utilisation excessive des ressources hydriques²⁸. Cette politique favorise en outre les cultures qui nécessitent de grandes quantités d'eau. Les subventions de l'électricité et de l'eau ont engendré une extraction excessive des eaux souterraines qui a entraîné des glissements de terrain, la salinisation des sols et la dégradation des terres et de l'eau. En Inde,

pays où le prélevement des eaux souterraines bénéficie de subventions qui dépassent le budget consacré à l'éducation, les subventions sont responsables d'une extraction non durable des eaux souterraines²⁹. Lorsque les subventions sont à large spectre ou sont mal ciblées, ce sont les gros exploitants qui en tirent les plus grands avantages car ils utilisent davantage d'eau, d'engrais et d'énergie²⁷. Les subventions qui visent l'alimentation en eau coûtent cher à la société. Dans l'État d'Andhra Pradesh (Inde), selon une estimation prudente de la *Global Subsidies Initiative*, le montant des subventions annuelles consacrées à l'irrigation s'élevait en moyenne à 300 millions d'USD environ sur la période 2004-2008³⁰ (voir l'**encadré 22** pour une analyse de l'incidence des politiques publiques sur l'utilisation de l'eau dans la région Proche-Orient et Afrique du Nord).

Il est crucial de proposer des incitations adéquates pour assurer la cohérence des politiques visant à une utilisation durable de l'eau. Pour gérer les nombreux défis liés à l'eau auxquels sont confrontés l'agriculture et l'ensemble de l'économie, il faudra repenser les incitations qui influent sur les décisions d'utilisation des ressources hydriques. Il s'agira de prendre en compte le rôle joué par l'eau, non seulement dans l'agriculture, mais aussi dans les écosystèmes et l'ensemble de la société, en gardant à l'esprit que les politiques menées dans d'autres domaines peuvent modifier les effets attendus des mesures d'incitation visant l'eau.

Une cohérence tout aussi nécessaire entre les sous-secteurs agricoles

Une meilleure intégration est nécessaire entre les sous-secteurs agricoles. En tant que premier consommateur d'eau, le secteur agricole est le principal bénéficiaire des subventions et des politiques relatives à l'eau. Or celles-ci ont des effets disparates sur les différents sous-secteurs agricoles, puisque les subventions profitent généralement à l'agriculture irriguée et négligent les autres systèmes tels que la pêche continentale et la production pluviale. Le rapport entre l'irrigation et la pêche continentale est un exemple de compromis à trouver qui traduit la nécessité de coordonner les secteurs. Depuis la

révolution verte, l'expansion des terres irriguées à travers le monde a permis de faire progresser la sécurité alimentaire dans les pays à faible revenu, mais les pertes essuyées par le secteur de la pêche semblent avoir partiellement contrarié ces progrès. Le Programme 2030 peut servir de point de départ à un dialogue multidisciplinaire et inclusif qui permette de parvenir à des compromis et de trouver des solutions équilibrées, fondées sur des données communes fiables³¹.

Dans le secteur agricole, la majeure partie des eaux gérées est utilisée pour l'irrigation. L'agriculture pluviale a aussi une incidence sur le volume d'eau, en provenance des précipitations, qui, après l'évapotranspiration, demeure et s'infiltra dans les couches souterraines ou ruisselle en surface. Néanmoins, l'irrigation a des effets plus directs car les prélevements d'eaux souterraines, pour alimenter réservoirs de barrage et dérivations, pèsent sur le débit des eaux de surface et les écosystèmes. Comme indiqué au début du présent rapport, aujourd'hui, 41 pour cent environ de l'eau utilisée aux fins de l'irrigation dans le monde l'est au détriment des débits écologiques³². L'irrigation – lorsqu'elle est présente dans un bassin hydrographique – joue donc un rôle essentiel dans la comptabilité de l'eau, laquelle, à son tour, doit permettre de déterminer les allocations d'eau dans une optique de durabilité. S'agissant des débits écologiques et des services écosystémiques, il est possible de prendre un certain nombre de mesures pour corriger les erreurs de conception et de fonctionnement des systèmes d'irrigation et ainsi améliorer la productivité et les bienfaits nutritionnels des produits issus de l'agriculture irriguée. Parmi elles figurent les interventions techniques et stratégiques qui visent à mieux intégrer la pêche et l'aquaculture dans les zones irriguées, à savoir: i) modifier la conception et le fonctionnement des infrastructures de distribution et de stockage de l'eau de manière à renforcer le réseau hydrique et les débits des cours d'eau; ii) établir des zones d'habitat et de refuge (c'est-à-dire des dépressions naturelles renforcées ou des habitats créés artificiellement) à l'intérieur et autour des systèmes irrigués, ou améliorer celles qui existent déjà; iii) réviser les politiques et la réglementation et revoir la gestion des systèmes d'irrigation pour mener à bien ces modifications.

L'intégration des poissons dans les systèmes d'irrigation permet de fournir des alevins à l'aquaculture. À l'échelle de la planète, la production et la distribution de quantités considérables d'alevins de qualité a contribué au développement de l'aquaculture. Les alevins provenant d'écloseries sont désormais si peu coûteux qu'ils peuvent être utilisés en grand nombre pour peupler les plans d'eau, notamment les réservoirs, dans ce qu'on appelle aujourd'hui la pêche fondée sur l'élevage. Dans toute l'Asie, les barrages d'irrigation contiennent des stocks d'alevins destinés à accroître la production halieutique et aquacole^{33, 34, 35}. Le Mexique ensemence systématiquement ses réservoirs à l'aide d'alevins et a mis en place des centres de production réservés exclusivement à cet effet³⁶. L'existence d'un vaste potentiel inexploité étant reconnue, il existe désormais des directives internationales visant à soutenir l'ensemencement des réservoirs et autres plans d'eau³⁷.

Élargir la coordination en matière de stratégies agricoles de manière à ne pas limiter celles-ci à l'irrigation aidera grandement à repenser l'utilisation de l'eau. La proportion de terres cultivées nécessitant une irrigation pourrait être réduite si des méthodes innovantes étaient proposées pour renforcer la productivité de l'agriculture pluviale. De même, la conservation et la gestion des forêts en amont auront des conséquences sur les ressources en eau situées en aval. Ce constat met en lumière la nécessité plus générale de faire converger les nombreux secteurs et parties prenantes intervenant dans la gestion de l'eau, la fourniture des services et la demande, au niveau des sous-secteurs. L'utilisation d'eau non consommatrice et la réutilisation de l'eau sont particulièrement pertinentes dans le contexte agricole.

Nécessité d'une cohérence entre les différents lieux – Approches intégrées

Il importe de mettre les incitations privées en conformité avec les coûts réels en ajustant les subventions et les prix de façon à rendre l'utilisation de l'eau plus durable. Cependant, il est peu probable que cela permette de traiter le problème dans tous ses aspects car l'eau exploitée par une partie prenante risque de

jouer sur la disponibilité de la ressource pour les autres utilisateurs situés en aval d'un bassin hydrographique. C'est pourquoi le présent rapport insiste sur l'importance des débits écologiques et de systèmes d'allocation de l'eau fondés sur la comptabilité de l'eau, condition sine qua non d'une gestion plus durable des ressources hydriques. À leur tour, ces éléments favorisent l'adoption d'une approche intégrée, qui prend en compte les différents usagers des bassins versants, y compris en ce qui concerne les utilisations d'eau non consommatrices et les ressources hydriques nécessaires aux services écosystémiques.

On peut citer comme exemple une gestion des périmètres d'irrigation qui permet de maintenir les niveaux de production vivrière ainsi que d'autres services environnementaux et écosystémiques^{38, 39}, depuis les fonctions de régulation (réalimentation des nappes souterraines et limitation des inondations, par exemple) jusqu'à l'approvisionnement en eau (arrosage de petits jardins, abreuvement des bêtes d'élevage, pêche continentale et aquaculture). Le développement de la pêche continentale (pêche de capture ou pêche fondée sur l'élevage) et de l'aquaculture dans les périmètres d'irrigation est une option très intéressante car elle permet d'augmenter la production moyennant peu de frais au titre des services des eaux, voire sans frais supplémentaires. Les effets positifs de l'irrigation sur la pêche continentale sont notables à Sri Lanka, par exemple⁴⁰, ou encore dans les grands réservoirs de Thaïlande et de la République démocratique populaire lao qui abritent le sprat autochtone du Mékong⁴¹, et dans le réservoir du lac Kariba, partagé par la Zambie et le Zimbabwe, dans lequel a été introduite la sardine allochtone du lac Tanganyika⁴². Pour évaluer ces interventions, il convient toutefois de prendre en compte les pertes subies par la pêche fluviale et la pêche des plaines d'inondation, en raison des barrages érigés sur les cours d'eau pour créer des réservoirs.

La gestion des bassins versants vise à utiliser les ressources de façon durable grâce à une approche intégrée des écosystèmes, axée sur une connaissance des interactions générales entre les facteurs biotiques (y compris l'homme) et abiotiques. Il est préférable de remédier aux inégalités entre les communautés au niveau

des bassins versants, s'agissant de leur statut socio-économique et de l'accès à l'eau, aux ressources et aux services, tous conditionnés par leur emplacement géographique. La gestion des bassins versants fournit un cadre pour comprendre les liens d'interdépendance entre les différents systèmes d'exploitation des terres, et les concilier, ainsi que pour prendre des mesures et des décisions concertées face aux revendications concurrentes concernant les ressources, notamment l'eau. Si elle est fondée sur une analyse rigoureuse des dynamiques qui se jouent au niveau des bassins, une vision à moyen et à long termes permettra de concevoir et de mettre en œuvre des mesures pour protéger les écosystèmes et la biodiversité, optimiser la productivité des ressources et améliorer les moyens d'existence et le bien-être des populations. La gestion des bassins versants est très liée au contexte mais peut aussi être très souple et s'adapter à différents domaines et à différentes échelles⁴³.

Des mécanismes et des outils pour améliorer la cohérence des politiques

En ciblant les subventions en faveur de biens privés, au lieu d'instituer des subventions générales, on peut atteindre des objectifs spécifiques, tels que l'adoption de nouvelles technologies d'irrigation et la fourniture de services environnementaux; ainsi, par exemple, la subvention de structures visant à atténuer les effets de l'expansion de l'irrigation et de la construction de barrages (systèmes d'irrigation respectueux des poissons, passes à poissons, zones humides artificielles, refuges de la biodiversité halieutique et aquatique, etc.). Lorsque les subventions générales laissent place à des aides davantage ciblées, il y a un risque de pertes de revenu pour les petits agriculteurs et d'autres populations vulnérables qui ne remplissent pas les conditions requises pour bénéficier des subventions ciblées. Ces pertes peuvent être compensées par le versement aux petits agriculteurs d'une partie des fonds économisés (par exemple grâce à l'emploi de cartes à puces ou de téléphones portables)²⁷. Il existe d'autres solutions, par exemple des prêts ciblés ou des subventions sur le prix du matériel, pour inciter les petits agriculteurs à investir dans

ENCADRÉ 23**DES POMPES D'IRRIGATION À ÉNERGIE SOLAIRE POUR LES PETITS AGRICULTEURS – LES EXEMPLES DU BANGLADESH ET DE L'INDE**

De récents programmes pilotes donnent à penser que des subventions bien ciblées permettraient d'encourager la mise au point et l'adoption de technologies destinées à l'exploitation des eaux souterraines. Les eaux souterraines sont abondantes au Bangladesh et dans l'État de Bihar (Inde), mais les pompes alimentées au diesel sont hors de prix pour les petits agriculteurs^{45, 46}. Des programmes pilotes ont permis aux agriculteurs pauvres dans ces deux régions de pratiquer l'irrigation à partir des eaux souterraines⁴⁷. Au Bangladesh, la Société de développement des infrastructures a piloté un programme d'irrigation à l'intention des pauvres qui fait appel à une approche fondée sur le marché. Dans le cadre de ce programme, une subvention publique de 50 pour cent et un prêt de 35 pour cent sont accordés aux entreprises privées et aux investisseurs pour l'achat de pompes à énergie solaire qui serviront à fournir aux petits agriculteurs des services d'irrigation à bas prix. Suite à ce programme, 300 pompes étaient en service au Bangladesh en 2016.

Un programme pilote similaire, mené par l'Institut international de gestion de l'eau dans l'État de Bihar, dans l'est de l'Inde, a permis aux agriculteurs de s'organiser pour créer un marché de l'eau favorable aux pauvres. Au Bangladesh et dans l'État de Bihar, on constate une baisse de 40 à 60 pour cent des prix de l'eau par rapport à ceux facturés par les propriétaires de

pompes au diesel, ce qui favorise une utilisation efficace de l'eau par les pauvres et l'expansion rapide des pompes à énergie solaire dans le secteur d'une agriculture irriguée favorable aux pauvres⁴⁷. Un autre projet pilote, également mené par l'Institut international de gestion de l'eau à Dhundi, une commune de l'État de Gujarat (Inde) où l'eau est rare, a débouché sur l'installation de pompes solaires exploitées collectivement. Dans une commune, les propriétaires de puits ont renoncé à utiliser le réseau électrique en échange de pompes solaires subventionnées de capacité équivalente. Les petites pompes solaires forment un micro-réseau géré par une coopérative, à laquelle la compagnie d'électricité achète le surplus d'électricité à partir d'un seul compteur. Le programme pilote visait à favoriser une irrigation moins émettrice de gaz à effet de serre, à réduire les subventions versées au titre de l'énergie agricole, à réduire les pertes techniques et commerciales sur le réseau électrique, à offrir aux agriculteurs une source supplémentaire de revenus qui ne présente aucun risque et à les inciter à utiliser l'énergie et les eaux souterraines de façon plus économique⁴⁷. Avant que l'énergie solaire ne soit proposée à la vente en mai 2016, les agriculteurs utilisaient leurs pompes uniquement pour irriguer leurs propres champs ou ceux de leurs voisins. Mais depuis, ils vendent autant d'électricité qu'ils le peuvent et utilisent 35 pour cent seulement de l'énergie solaire pour le pompage⁴⁸.

des pratiques telles que l'irrigation au goutte à goutte, ou pour couvrir les coûts de main d'œuvre et les coûts d'installation de systèmes de récupération des eaux.

L'octroi de subventions temporaires à un stade précoce pour l'utilisation des intrants et des technologies peut aider les agriculteurs à faire face aux coûts fixes et encourager l'apprentissage et l'expérimentation dans un contexte où les technologies évoluent rapidement. Ces subventions doivent être temporaires et supprimées au fur et à mesure que les technologies sont adoptées et utilisées comme il faut. Or, une fois que des subventions sont en place, il est difficile de les supprimer, c'est pourquoi la

prudence doit être de mise^{27, 44}. Une solution efficace consiste à relier les subventions à d'autres programmes. On peut par exemple associer des programmes de protection sociale, tels que les travaux publics ou les transferts monétaires, à des mécanismes ou des programmes consacrés à une meilleure utilisation des ressources en eau. L'**encadré 23** montre comment, grâce aux subventions ciblées, l'utilisation des pompes d'irrigation à énergie solaire a progressé au Bangladesh et en Inde. Mais, ce type d'intervention peut être contreproductif dans les zones soumises au stress hydrique car l'emploi de ces pompes peu coûteuses risque d'exacerber le risque d'extraction excessive d'eaux souterraines. Il importe donc d'avoir des systèmes de répartition de l'eau qui

reposent sur la comptabilité de l'eau pour éviter les effets indésirables, où l'adoption de technologies visant à économiser l'eau se solde par une plus grande consommation.

Dans le cadre d'approches intégrées et de la gestion des bassins hydrographiques, le paiement des services environnementaux est un autre instrument de politique ciblée qui présente des avantages économiques et écologiques. Il s'agit de rémunérer les agriculteurs ou les propriétaires terriens qui acceptent de gérer leurs terres ou leurs bassins versants de manière à protéger l'environnement et les ressources en eau, de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre, ou d'améliorer la qualité des sols et leur teneur en nutriments. La plupart des systèmes qui existent sont axés sur la réduction de la déforestation et l'amélioration des bassins versants, et s'inscrivent dans une perspective de gestion fondée sur la nature. Les incitations sont d'autant plus importantes lorsque les marchés n'arrivent pas à prendre en compte la situation de rareté des ressources naturelles et la valeur sociale d'écosystèmes qui fonctionnent bien. On trouve des exemples autant dans les pays à revenu élevé que dans les pays à faible revenu. La réussite et la rentabilité de ces programmes dépendent de la façon dont ils sont conçus^{49, 50}, mais il peut être difficile de les évaluer en vue de déterminer l'approche la plus efficace. La principale difficulté réside dans le fait que, pour être rigoureuses, ces évaluations doivent comparer les zones où les services environnementaux sont payants avec celles où ils ne le sont pas, une opération qui peut être coûteuse.

Le paiement des services environnementaux contribuera à protéger les écosystèmes là où, même avec une approche intégrée, les obstacles liés aux pratiques et aux droits de propriété font qu'il est difficile de régler l'ensemble des problèmes relatifs à l'environnement. Les retombées positives sont importantes, principalement en cas de paiements effectués aux niveaux local et infranational. À titre d'exemple, le Programme rural de Rio au Brésil vise à encourager des systèmes d'agriculture durables en intégrant la production de revenus et la conservation de l'environnement, dans 72 municipalités de l'État de Rio de Janeiro. Le programme permet de renforcer l'organisation

et la mobilisation des communautés au niveau de 366 bassins versants, de développer des compétences et d'encourager l'adoption de meilleures pratiques⁵¹.

De façon générale, les programmes menés à petite échelle et dont une partie au moins est financée par l'utilisateur, qui présentent des cibles rigoureusement fixées et des conditions strictes, produisent de meilleurs résultats. Leur réussite tient aussi aux faibles coûts d'opportunité sur d'autres usages des terres – ou à des paiements suffisamment élevés pour couvrir ces coûts –, à la mobilité limitée de la production et à des droits de propriété bien établis. Une surveillance et des sanctions appropriées, assorties de garanties sociales, augmentent également les chances de réussite. Le système aura plus de chances de réussir s'il y a clairement une demande de services environnementaux ayant une valeur économique pour au moins une partie prenante; des courtiers ou autres intermédiaires efficaces; des droits clairement établis sur la terre et sur les ressources en eau et des contrats en bonne et due forme; et des résultats pouvant être contrôlés et évalués.

Cependant, pour améliorer la cohérence des politiques, il faudra une gouvernance solide, des outils et des processus permettant d'assurer la gestion et la coordination des politiques, et établir des budgets et des réglementations. Il faudra un véritable engagement politique et un encadrement solide, et il faudra faire évoluer les mentalités, surveiller la situation et tirer les enseignements des expériences et des données disponibles à l'échelle internationale⁵². Il s'agira parfois de renforcer les capacités des institutions publiques; d'assurer la coordination entre les ministères de l'eau, de l'agriculture et de l'énergie; d'améliorer les outils de planification et de suivi; et de mettre à jour et de relier entre elles les bases de données des différents ministères, afin de faire la synthèse des données et des analyses. La mise en place de dispositifs réglementaires et de mesures d'incitation est une étape importante pour parvenir à une cohérence des politiques. Ainsi, lorsque les subventions générales seront supprimées, les secteurs de l'eau, de l'agriculture et de l'énergie seront confrontés aux mêmes coûts d'opportunité lorsqu'il s'agira d'évaluer la faisabilité des politiques, des programmes et des projets. Le rôle du commerce international

ENCADRÉ 24**LE RÔLE DE L'EAU VIRTUELLE ET DU COMMERCE DANS L'UTILISATION OPTIMALE DES RESSOURCES EN EAU**

La politique de développement du commerce peut aussi jouer sur l'eau, y compris en ce qui concerne sa rareté et sa qualité. L'importation de produits alimentaires, et avec eux l'importation d'eau virtuelle, a des incidences sur le secteur de l'eau et peut contribuer à réduire les contraintes hydriques et à améliorer la sécurité alimentaire et la nutrition⁵³. Certains pays confrontés à des contraintes hydriques et ayant par ailleurs une production interne, continueront à dépendre principalement des importations pour leur approvisionnement alimentaire. L'eau pourrait être déterminante dans les politiques nationales visant à accroître la sécurité alimentaire et la nutrition dans ces pays. L'équilibre optimal entre importations et production intérieure varie d'un pays à l'autre selon les dotations en terre et en eau, et compte tenu des autres utilisations productives. Au niveau des régions et des pays, les principaux exportateurs nets d'eau virtuelle sont l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud (Argentine, Brésil, Canada et États-Unis d'Amérique), l'Asie du Sud et du Sud-Est (Inde, Indonésie, Pakistan et Thaïlande) et l'Australie. Les plus grands importateurs nets d'eau virtuelle sont l'Europe, le Japon, le Mexique, le Proche-Orient et l'Afrique du Nord, et la République de Corée⁵⁴.

Le commerce international est davantage déterminé par des dynamiques économiques et politiques que par la rareté de l'eau. En effet, les mesures protectionnistes et les aides à l'agriculture (par exemple les droits de douane, le soutien des prix des produits de base et les subventions) jouent sur les mouvements d'eau virtuelle⁵⁵. Des études empiriques sur le rapport entre le commerce international et les dotations en eau au niveau national confirment qu'il existe d'autres facteurs plus importants que la question de l'eau, qui déterminent la structure des échanges commerciaux de denrées agricoles et d'eau virtuelle. Une analyse des données relatives aux disponibilités en eau douce et aux échanges nets d'eau virtuelle, portant sur 146 pays, montre que ce n'est pas la rareté de l'eau qui conditionne le commerce d'eau virtuelle d'un pays, mais l'accès aux terres arables⁵⁶. Une autre étude menée

à l'échelle internationale montre que la superficie des terres arables par personne est un meilleur indicateur des exportations agricoles que le volume des ressources en eau renouvelables d'un pays, par personne ou par hectare⁵⁷.

Les données montrent que la libéralisation des échanges commerciaux a entraîné une augmentation plus ou moins importante des flux d'eau virtuelle dans le monde^{55, 58}. Cette libéralisation a eu pour effet de réduire l'utilisation des ressources en eau dans les pays où elles sont rares, mais aussi d'accroître l'utilisation de ces ressources et les exportations d'eau virtuelle dans des régions où l'eau est relativement abondante, comme les États-Unis d'Amérique et l'Amérique du Sud, et d'augmenter les importations d'eau virtuelle dans les régions où l'eau est rare⁵⁸. Les possibilités de partage implicite d'infrastructures sont mises en évidence par le fait que les pays qui ont de faibles capacités de stockage de l'eau dans des barrages obtiennent une proportion plus élevée de leur eau agricole par les importations virtuelles⁵⁹.

Tous les échanges commerciaux ne sont pas garants d'une utilisation plus productive des ressources hydriques. L'importation d'eau virtuelle par les pays souffrant de situations de rareté de l'eau à partir d'autres pays dans la même situation ne fait que déplacer le problème de la rareté due à l'agriculture. Il faut mettre en relation commerce et utilisation durable de l'eau (par la création d'un label de l'eau, par exemple) afin d'améliorer la gouvernance des ressources hydriques dans le monde⁶⁰, ce d'autant plus que le prix de l'eau douce à usage agricole ne reflète pas sa véritable valeur économique ni les effets de son utilisation sur l'environnement^{61, 62}. L'eau virtuelle est un concept utile car il permet aux pouvoirs publics et aux citoyens de prendre en compte la rareté de l'eau. Toutefois, cette notion ne peut pas être le principal critère utilisé pour définir des politiques optimales en matière de commerce et de production agricoles⁵⁷.

et la manière dont il influe sur l'utilisation des ressources hydriques fait également l'objet de nombreux débats (**encadré 24**).

Réformer les politiques de gestion des ressources hydriques et les institutions mettra en jeu de manière complexe le secteur public, les marchés et la société civile (**encadré 25**), d'autant que

l'agriculture, la sécurité alimentaire et la nutrition sont étroitement liées entre elles et qu'elles sont aussi étroitement liées à l'eau. La sécurité alimentaire et la nutrition sont tributaires de l'accès à une eau propre (voir Zoom: Améliorer l'accès à une eau potable sûre dans les zones rurales, p. 23) mais elles sont également liées à l'eau par le biais des nombreux petits agriculteurs »

ENCADRÉ 25**LE DÉFI DE LA COORDINATION DES POLITIQUES – LES EXEMPLES DE LA BOLIVIE
(ÉTAT PLURINATIONAL DE) ET DU CHILI**

En Bolivie (État plurinational de), le Ministère de l'environnement et de l'eau, dans le cadre de son programme de gestion de l'eau (2017-2020) visant à lutter contre le changement climatique, a fait de la gouvernance un élément fondamental pour assurer la sécurité de l'eau⁶⁸. Il a considérablement investi dans les travaux et les technologies d'irrigation, le recensement des sources d'eau et les bilans hydriques, et dans l'inventaire des droits d'utilisation de l'eau. Le programme tient compte des organisations ancestrales dans le domaine de l'irrigation et de la planification des ressources en eau dans les bassins stratégiques, liées à une production durable. Une plateforme interinstitutionnelle dédiée au bassin stratégique du Guadalquivir, situé dans le département de Tarija, dans le sud du pays, vise à promouvoir la coordination entre les secteurs, les différentes administrations, les universités et les organisations non gouvernementales. La FAO, en partenariat avec l'Agence allemande de coopération internationale et l'Union européenne, promeut un dialogue multipartite et multisectoriel à différents niveaux, pour parvenir à une meilleure gouvernance de l'eau et à une gestion intégrée de ce bassin semi-aride menacé par le changement climatique.

Au Chili, la FAO, en collaboration avec l'autorité nationale de l'irrigation (Comisión nacional de riego), qui relève du Ministère de l'agriculture, a récemment mené une étude de cas sur la gouvernance de l'eau dans le sous-bassin versant de Tinguiririca, un affluent du Rapel⁶⁹. Ce bassin est menacé par une grave sécheresse car la demande en eau y est supérieure à l'offre, une situation caractéristique de la région centrale du Chili, confrontée à une sécheresse qui dure depuis dix à treize ans. L'étude participative menée en 2019 au niveau du sous-bassin versant du Tinguiririca a permis d'identifier cinq problèmes et besoins majeurs en matière de gouvernance de l'eau, à savoir qu'il faudrait:

- ▶ Renforcer la confiance entre les différents acteurs (eau potable, irrigation et hydroélectricité), les coordonner efficacement et prévenir ou résoudre les conflits provoqués par la crise de l'eau.

- ▶ Renforcer l'efficacité et les capacités des institutions publiques et privées, depuis la Direction générale de l'eau et le Ministère de l'agriculture jusqu'aux agents de vulgarisation; mettre en place une coordination entre les différents organismes d'appui; et améliorer la structure des organisations communautaires qui gèrent les eaux souterraines.
- ▶ Améliorer la planification territoriale et l'efficacité de la réglementation, protéger les sols contre les méthodes culturelles non durables et réglementer l'expansion de l'irrigation selon les disponibilités en eau et compte tenu du changement climatique.
- ▶ Réguler l'utilisation de l'eau et promouvoir des systèmes d'irrigation (goutte à goutte et aspersions) efficaces, des cultures à valeur élevée nécessitant moins d'eau et une réutilisation des eaux usées telle qu'elle ne présente pas de dangers pour la santé.
- ▶ Produire, diffuser et intégrer de nouvelles informations de meilleure qualité, moderniser la gestion de l'information pour permettre une prise de décision éclairée.

L'examen participatif a permis de dégager une série d'actions visant à pallier les carences dans l'infrastructure, les politiques, la planification, l'administration, les connaissances et l'information. Parallèlement au renforcement des institutions, trois interventions prioritaires ont été définies, à savoir: i) améliorer l'efficacité de l'eau afin de réduire la vulnérabilité face au changement climatique; ii) réguler la demande en eau destinée à l'agriculture/l'irrigation en fonction des projections relatives aux disponibilités; iii) faire en sorte qu'il y ait de l'eau pour la production et la consommation.

La FAO continue de soutenir ces pays andins et ceux du couloir de la sécheresse de Méso-Amérique afin de répondre aux besoins en matière de gouvernance et de gestion de l'eau. Le fait d'insister davantage sur la gestion des bassins versants et sur la gestion intégrée des eaux de surface et des eaux souterraines permettra aux secteurs et aux acteurs de lutter contre la dégradation des terres et la rareté ou l'épuisement des ressources hydriques, et de favoriser des systèmes agricoles durables et résilients.

» et ruraux pauvres qui dépendent de l'agriculture. Le présent rapport donne une idée du nombre de personnes qui vivent dans des zones où les agriculteurs sont menacés par des risques liés à l'eau. Des politiques macroéconomiques et des politiques de tarification des produits de base qui permettent aux différents secteurs et aux différents produits de faire jeu égal, créent une situation dans laquelle les petits agriculteurs ont la possibilité de prendre des décisions mieux éclairées et moins risquées en matière de ressources hydriques (adoption de systèmes de récupération de l'eau, par exemple) et d'investissement dans l'irrigation. Améliorer les investissements dans l'irrigation et les associer à des actions dans d'autres domaines – l'égalité des sexes, les jeunes, la santé, la nutrition – permettrait de transformer les programmes d'irrigation, de sorte qu'ils ne soient plus limités à la simple augmentation de la production alimentaire mais qu'ils soient intégrés aux stratégies visant à réduire la pauvreté et à améliorer la sécurité alimentaire et la nutrition⁶³. La vulgarisation agricole, les coopératives et les associations d'usagers de l'eau peuvent incorporer les questions de nutrition et d'alimentation aux messages qu'ils transmettent⁶⁴. Ces actions seraient tout aussi pertinentes pour les producteurs des zones pluviales et pourraient s'appliquer à leurs propres difficultés hydriques. Pour améliorer la qualité de l'alimentation et les résultats nutritionnels, il faudrait que les interventions relatives aux ressources hydriques ciblent davantage les femmes^{65, 66, 67}. Les interventions visant à alléger la charge de travail des femmes et à leur donner plus de contrôle sur la production permettront d'accélérer les résultats nutritionnels et d'obtenir plus d'avantages⁶⁴. ■

DÉFINIR LES PRIORITÉS EN MATIÈRE DE POLITIQUES POUR REMÉDIER AUX CONTRAINTES HYDRIQUES DANS LE SECTEUR AGRICOLE

Tous les pays et toutes les régions sont confrontés à des risques liés à l'eau (stress hydrique, sécheresse, inondation ou problèmes de qualité de l'eau), dont la nature et l'ampleur varient (pour un bref aperçu des problèmes liés aux inondations, voir la section intitulée «Zoom: Trop d'eau? Inondations, engorgement et agriculture», p. 119). Le choix concernant les politiques de gestion de l'eau les plus appropriées se fera en fonction du système de production: irrigation, agriculture pluviale (production à hauts ou à faibles niveaux d'intrants), élevage, ou pêche continentale et aquaculture. Il convient également de prendre en compte les risques encourus et les ressources et les moyens financiers disponibles, ainsi que la gouvernance et les capacités propres à chaque pays. Prendre des décisions en matière d'actions, d'interventions ou de politiques suppose d'établir un ordre de priorité concernant les objectifs, afin d'allouer les ressources, limitées, là où elles sont nécessaires et où elles peuvent être le plus efficaces. S'appuyant sur l'analyse spatiale qui figure au chapitre 2 en ce qui concerne l'agriculture pluviale, l'agriculture irriguée et l'élevage, le tableau 7 présente les politiques et les domaines d'intervention pouvant permettre d'atténuer la rareté de l'eau et les pénuries d'eau dans les systèmes de production végétale et animale, ainsi que les actions et stratégies pouvant s'appliquer à la pêche continentale et à l'aquaculture. Il s'agit là d'un portefeuille d'interventions établi dans la perspective d'une stratégie de gestion des ressources hydriques qui englobe tous les secteurs de l'agriculture, parallèlement à une action intersectorielle visant à promouvoir l'utilisation durable de l'eau. La comptabilité de l'eau, condition préalable à la gestion durable de l'eau, joue un rôle essentiel puisqu'il s'agit d'une question transversale qui concerne tous les types d'usagers.

TABLEAU 7
AMÉLIORER LA GESTION DE L'EAU DANS LE SECTEUR AGRICOLE: PRIORITÉS D'ACTION DES POUVOIRS PUBLICS

Stratégies/ actions	Zones pluviales		Zones irriguées	
	Terres cultivées	Pâturages		Pêche et aquaculture continentales
 Comptabilité et audit de l'eau	Fréquence élevée à très élevée des périodes de sécheresse sur 77 millions ha (à faible niveau d'intrants) et 51 millions ha (à haut niveau d'intrants)	Fréquence élevée à très élevée des périodes de sécheresse sur 656 millions ha	Stress hydrique élevé à très élevé sur 171 millions ha	Intégration d'évaluations appropriées des écosystèmes liés à l'eau et des débits écologiques dans la comptabilité de l'eau
 Bonnes pratiques agricoles	Meilleures pratiques agronomiques (variétés de semences améliorées, gestion des éléments nutritifs et des pesticides, restauration de la matière organique et de la couche superficielle des sols, par exemple)	Systèmes de suivi; évaluations de l'eau et du fourrage dans les zones arides; définition du principal intrant comme étant l'eau et non la terre dans les évaluations environnementales	Comptabilité rigoureuse et transparente	Stratégies responsables d'emboissonnement et d'amélioration pour la pêche de capture dans les plans d'eau artificiels grâce à un matériel génétique approprié et à l'utilisation d'espèces allochtones; amélioration de l'efficience de l'aquaculture par la productivité et la réutilisation de l'eau, l'intégration, et de meilleures pratiques d'aquaculture
 Instruments d'action publique	Services de vulgarisation; services financiers; assurance récolte; subventions ciblées; amélioration de l'accès aux marchés (au moyen de routes, par exemple)	Lignes directrices et normes nationales pour la prise en compte des risques liés à l'eau dans l'élevage; subventions ciblées (pour remettre en état les pâturages et pour encourager l'utilisation des résidus de culture comme aliments pour animaux, par exemple)	Services de vulgarisation; services financiers; assurance récolte; subventions ciblées	Ajustement des incitations et des politiques qui ont des effets préjudiciables sur la pêche et l'aquaculture
 Technologies de l'information et de la communication	Systèmes d'alerte précoce; applications mobiles fournissant des informations sur les marchés, la météo; agriculture de précision	Systèmes d'alerte précoce; technologies de gestion du pâturage extensif (système d'information spatial permettant de cartographier les points d'eau, par exemple)	Systèmes d'alerte précoce; applications mobiles fournissant des informations sur les marchés, la météo; agriculture de précision	Capteurs sans fil permettant de surveiller la situation hydrologique et le comportement des poissons
 Conservation de l'eau	Stratégies de conservation des sols et des eaux, par la culture en terrasses, la culture suivant les courbes de niveau et l'agriculture de conservation, entre autres	Dispositif d'abreuvement économique en eau; entretien et réparation des abreuvoirs et des systèmes de conservation de l'eau; approche intégrée des travaux d'amélioration hydraulique	Agriculture de conservation; systèmes d'irrigation économies en eau	Examen des avantages réciproques de la production végétale et de la production de poisson; création de zones refuges dans les rizières

TABLEAU 7
(SUITE)

Stratégies/ actions	Zones pluviales		Zones irriguées	
	Terres cultivées	Pâtures		Pêche et aquaculture continentales
 Collecte de l'eau et irrigation	Fréquence élevée à très élevée des périodes de sécheresse sur 77 millions ha (à faible niveau d'intrants) et 51 millions ha (à haut niveau d'intrants)	Fréquence élevée à très élevée des périodes de sécheresse sur 656 millions ha	Stress hydrique élevé à très élevé sur 171 millions ha	Solutions intégrées (collecte des eaux pluviales restituant de l'eau pour l'abreuvement des animaux)
 Gouvernance de l'eau	Participation communautaire; approches intégrées de gestion des bassins versants	Participation des communautés; institutions coutumières ou autochtones; organisations d'éleveurs pastoraux	Instruments de répartition et instruments de marché; associations d'usagers de l'eau	Associations de pêcheurs/d'aquaculteurs; attribution d'eau à l'aquaculture; règlements régissant le maintien des débits écologiques; intégration des résultats nutritionnels dans les politiques/la planification
 Échanges	Commerce international d'eau virtuelle	Commerce international d'eau virtuelle	Commerce international d'eau virtuelle	Commerce international d'eau virtuelle
 Ressources en eau non conventionnelles	-	Utilisation d'eau provenant de sources non classiques pour la production fourragère et l'abreuvement des animaux	Réutilisation et dessalement de l'eau; systèmes intégrés (rizipisciculture et aquaponie, par exemple)	Systèmes intégrés (rizipisciculture et aquaponie, par exemple) permettant une réutilisation de l'eau
 Solutions s'inspirant de la nature	Solutions s'inspirant de la nature	Solutions s'inspirant de la nature	Solutions s'inspirant de la nature	Solutions s'inspirant de la nature pour améliorer les services environnementaux et ceux rendus par la biodiversité

NOTE: Le tableau A2 de l'annexe statistique (p. 159) indique, par pays, pour chaque système de production agricole et pour l'élevage, le nombre d'hectares touchés par une situation de rareté de l'eau grave.

SOURCE: FAO.

Améliorer la gestion de l'eau dans les zones de culture pluviale

À l'échelle mondiale, la question se pose pour les 1,2 milliard d'hectares de terres pluviales, mais surtout pour les 77 millions d'hectares de culture pluviale à faibles niveaux d'intrants et

les 51 millions d'hectares de culture pluviale à hauts niveaux d'intrants qui connaissent des sécheresses fréquentes à très fréquentes. Dans ces zones, l'accent est tout particulièrement mis sur la conservation de l'eau et sur l'équilibre entre l'agriculture irriguée et l'agriculture pluviale, car compter seulement sur l'agriculture pluviale

expose considérablement au risque de sécheresse. Les techniques de récupération des eaux (pour l'irrigation complémentaire, par exemple) permettent de surmonter les courtes périodes de sécheresse et ainsi, de réduire les risques qui pèsent sur l'agriculture pluviale⁷⁰. La récupération des eaux permet d'améliorer les stratégies de gestion de l'eau, mais de telles stratégies supposent d'adopter les meilleures pratiques agronomiques, y compris l'utilisation de variétés améliorées, le choix des périodes de plantation et de récolte et la gestion des éléments nutritifs. Parfois, le risque de sécheresse et le manque de ressources empêchent les agriculteurs d'investir dans des activités présentant un rendement mais aussi un risque plus élevés. Il est alors difficile de briser le cercle vicieux de la production à faibles niveaux d'intrants. Des investissements publics dans des intrants modernes sont alors indispensables. Les pouvoirs publics peuvent limiter les effets des sécheresses en investissant dans le réseau routier et les marchés, afin de relier les agriculteurs à leurs clients, subventionner le captage et la conservation des eaux, et en parallèle, favoriser le développement du secteur agricole dans son ensemble. Les applications sur téléphone portable, peu coûteuses, permettent d'aider les agriculteurs à accéder aux informations relatives au marché, aux financements et à la météorologie. Lorsque le risque de sécheresse est grave, les bases de données et les systèmes d'information dotés de systèmes de suivi et d'alerte rapide comptent parmi les principales mesures de prévention. Les pouvoirs publics peuvent par ailleurs éliminer les obstacles à l'investissement en développant les prêts et les services de vulgarisation, en créant des assurances sur les cultures ou en mettant en place des dispositifs de protection sociale offrant d'autres sources de revenus aux petits agriculteurs.

Le développement des systèmes de récupération des eaux aura des conséquences sur la viabilité de la pêche continentale et d'autres écosystèmes liés à l'eau, ainsi que sur la sécurité alimentaire et la nutrition des personnes qui en sont tributaires. Toute décision concernant les investissements en matière de récupération des eaux devra prendre appui sur une comptabilité détaillée de l'eau. La récupération des eaux qui associe systèmes agricoles et aquacoles peut permettre de compenser les coûts environnementaux et

économiques, d'accroître les apports nutritionnels au niveau des ménages et des exploitations agricoles, et d'améliorer la productivité de l'eau.

Pour tirer le meilleur parti des interventions menées dans le secteur de l'agriculture pluviale, il importe de faire participer les agriculteurs au développement des technologies au sein de leur communauté locale et éventuellement au niveau du bassin hydrographique⁷¹. Il est nécessaire d'établir un nouveau cadre stratégique de gestion des ressources en eau afin de planifier et de répartir l'eau pluviale au niveau du bassin versant. En effet, les politiques et les réglementations sont généralement conçues pour répartir l'eau d'irrigation, et non l'eau pluviale⁷¹. S'agissant des 14 millions d'hectares de terres pluviales fréquemment touchées par des sécheresses très fréquentes, les pouvoirs publics pourraient aussi supprimer les distorsions sur le marché agricole afin de faciliter le commerce des produits exigeants en eau, de façon à compenser les pénuries et à assurer la sécurité alimentaire et la nutrition.

Se préparer à l'éventualité d'une sécheresse dans les zones pluviales, qui comprennent des terres de culture et des terres d'élevage, est un aspect essentiel de l'élaboration des politiques. Les politiques anti-sécheresse ne doivent pas être conçues en réaction aux catastrophes mais constituer une préoccupation permanente pour les gouvernements et pour la société. C'est hors période de sécheresse qu'il faut les mettre en place, lorsqu'on a plus de temps pour dresser des plans et pour cerner les difficultés. Pendant les épisodes de sécheresse, les efforts seront logiquement axés sur les programmes d'intervention. Si chaque pays dispose de politiques, conçues en tenant compte des conditions locales, certains éléments restent communs à toutes les politiques, quel que soit le pays. Ainsi, toute politique de lutte contre la sécheresse doit comporter trois piliers: i) des systèmes de surveillance, de prévision et d'alerte précoce; ii) une évaluation de la vulnérabilité et de l'impact; iii) la préparation préalable, l'atténuation et l'intervention. Ces trois éléments doivent être reliés entre eux par des politiques transversales qui intègrent, au minimum, les actions suivantes: coordination et développement des institutions; renforcement des capacités; financement; gestion

des connaissances, science, technologie, recherche et sensibilisation; coopération régionale et internationale; participation et inclusion des parties prenantes; et évaluation⁷².

Améliorer la gestion de l'eau dans les systèmes de production animale

Sur 4,6 milliards d'hectares de pâturages, près de 15 pour cent (soit 656 millions d'hectares) connaissent des épisodes de sécheresse grave de fréquence élevée à très élevée. Le secteur de l'élevage est un grand consommateur de ressources naturelles, qu'il s'agisse de terres (même si ce sont souvent des terres marginales où la culture ne serait pas viable) ou d'eau, celle-ci étant nécessaire à la pâture et à la production d'aliments pour animaux. L'utilisation de l'eau destinée à l'élevage doit faire partie intégrante de la gestion des ressources en eau du secteur agricole, et prendre en compte le type de production (système fondé sur les pâturages, système associant culture et élevage ou système d'élevage hors-sol) et son échelle (élevage intensif ou extensif), les espèces et les races d'animaux, et les dimensions sociales et culturelles de l'élevage dans les différents pays⁷³. Afin de mieux cerner la demande en eau douce dans une région donnée et d'améliorer les résultats produits par les exploitations et par la filière dans son ensemble, les parties prenantes doivent se doter d'une comptabilité sérieuse et transparente de l'eau, qui prenne en compte le climat, les pratiques agricoles et l'utilisation des aliments pour animaux. À cette fin, en 2012, la FAO a créé le partenariat LEAP dans le but d'améliorer la durabilité environnementale de l'élevage, notamment par une utilisation optimale de l'eau, et de définir les moyens d'améliorer la productivité des ressources hydriques destinées à l'élevage (voir le chapitre 4)⁷³. Les systèmes de suivi peuvent comporter des évaluations de l'eau et de l'alimentation animale en zone aride, en vue d'améliorer les systèmes d'alerte précoce et d'éclairer les stratégies de développement.

La consommation d'eau étant principalement liée à la production d'aliments pour animaux, il est crucial d'avoir une meilleure productivité de l'eau si l'on veut réduire les incidences environnementales de la production animale sur les ressources en eau⁷³. C'est pourquoi la gestion de l'eau dans le

secteur de l'agriculture pluviale et irriguée, exposée dans les sections précédentes et suivantes, est d'une très grande importance. Parmi les autres solutions figurent l'amélioration des variétés de semence et des systèmes de cultures fourragères, et des subventions ciblées favorisant le recours aux résidus végétaux et aux sous-produits des cultures pour nourrir les bêtes. D'autres objectifs importants des subventions sont la remise en état, la gestion durable et la préservation des écosystèmes pastoraux. En dehors de la production d'aliments pour animaux, la plus grande partie de l'eau utilisée dans l'élevage sert à abreuver les animaux. Le chapitre 3 présente plusieurs pratiques de gestion de l'eau susceptibles de réduire la quantité d'eau nécessaire aux animaux. Il est important d'améliorer la santé animale pour accroître la production globale, et donc la productivité de l'eau, puisque les animaux utiliseront plus efficacement le fourrage et les ressources en eau⁷³. Dans les situations où l'accès à l'eau fait défaut, il convient de renforcer les infrastructures (les forages, par exemple) et de préserver les systèmes traditionnels de récupération et de conservation des eaux, et d'améliorer les systèmes d'irrigation (canaux, terrasses et puits). La mise au point de technologies nouvelles destinées à améliorer la gestion des prairies (pompes mobiles et réservoirs) viendra compléter cette stratégie.

Les systèmes de production intégrés bénéficient à l'heure actuelle d'innovations concrètes, qui permettent de tirer parti des synergies entre l'agriculture, l'élevage et l'agroforesterie, et d'assurer la durabilité économique et écologique tout en fournissant des services écosystémiques⁷⁴. Pour mener à bien cette intégration, plusieurs options existent. Elle peut se faire à l'échelle de l'exploitation agricole ou d'une zone élargie, de manière relativement spécialisée. Il faudra une volonté politique et un appui stratégique et institutionnel pour adopter des techniques nouvelles et des pratiques liées à des systèmes prometteurs associant production agricole et élevage pour garantir la sécurité alimentaire et la nutrition. Il faudra aussi que les pouvoirs publics favorisent les liens entre intrants et production, sur les marchés, au sein des chaînes d'approvisionnement et compte tenu des fournisseurs de services publics et privés, pour différents systèmes de production et différents marchés.

La réussite de cette transposition à grande échelle s'appuiera sur des organisations d'agriculteurs solides, l'autonomisation des communautés et des approches multipartites et interinstitutionnelles. Il s'agit notamment d'échanger les connaissances, de renforcer les capacités, et de mener des recherches adaptatives et interdisciplinaires pertinentes⁷⁴. On peut citer comme exemple les fermes-écoles et les clubs d'agriculteurs.

Améliorer la gestion de l'eau dans les zones irriguées

Comme dans les systèmes de culture pluviale, il existe de nombreuses solutions pour lutter contre la rareté de l'eau dans le secteur de l'agriculture irriguée. À l'échelle mondiale, plus de 275 millions d'hectares de terres cultivées irriguées gagneraient à bénéficier d'une gestion améliorée des ressources en eau. Il est particulièrement urgent d'agir pour les 171 millions d'hectares soumis à un stress hydrique élevé à très élevé. Toute stratégie efficace, efficiente et pérenne de lutte contre le stress hydrique et d'amélioration de la gestion des ressources en eau doit avoir pour point de départ une comptabilité détaillée de l'offre et de la demande de ressources en eau. Une fois que les parties prenantes comprennent bien ce qu'est le bilan hydrique – y compris le cycle hydrologique et les besoins des écosystèmes en termes de quantité et de qualité de l'eau tout au long de l'année – il leur faudra mettre en place des systèmes d'allocation de l'eau clairs et transparents. Ces systèmes devront établir un équilibre entre la production alimentaire, les besoins essentiels des populations pauvres et vulnérables et les débits écologiques. Garantir les droits d'utilisation de l'eau et l'accès aux services écosystémiques au niveau des bassins fluviaux et des aquifères permettra également d'assurer la sécurité d'accès, de favoriser une consommation efficace de l'eau, et d'offrir de nouvelles possibilités sur les marchés de l'eau. Pour assurer une gestion efficace, il faut qu'additionnés les uns aux autres, les droits d'utilisation de l'eau soient inférieurs à l'utilisation actuelle d'eau au niveau du bassin ou de l'aquifère. Ce n'est qu'à ces conditions qu'il sera possible d'élaborer des mesures efficaces de conservation de l'eau.

Si l'extension de l'irrigation doit se faire avec prudence et s'inscrire dans le cadre d'une stratégie de gestion intégrée des ressources hydriques, de toute évidence, les ruraux pauvres peuvent en tirer un avantage considérable. En Inde, c'est l'irrigation, plus que l'adoption de variétés à haut rendement, l'application d'engrais, l'alphabétisation rurale et la création de routes dans 14 États, qui a permis de faire reculer la pauvreté rurale entre 1970 et 1993⁷⁵. D'autres études menées au Malawi et au Pakistan montrent que l'irrigation, si elle est bien gérée, permet de réduire les risques de retard de croissance chez les enfants et de diversifier l'alimentation des ménages^{76, 77}. Certaines régions du monde pourraient parfaitement se prêter au développement de l'irrigation. Entre 2010 et 2050, la superficie des terres irriguées devrait augmenter de 12 pour cent en Asie de l'Est et dans le Pacifique, de 35 pour cent en Amérique latine et dans les Caraïbes, de 22 pour cent au Proche-Orient et en Afrique du Nord, de 30 pour cent en Asie du Sud et de plus de 100 pour cent en Afrique subsaharienne⁷⁸. Ce potentiel est encore plus important lorsque des politiques appropriées sont mises en place. Une étude estime qu'au moins 16 millions d'hectares de terres pourraient se prêter à une irrigation à grande échelle rentable et 7 millions d'hectares à une irrigation de petite échelle en Afrique, avec un taux de rendement interne plus important pour les systèmes gérés par des individus ou par des communautés agricoles⁷⁹. D'après une autre étude, le potentiel d'expansion de l'irrigation à petite échelle est encore plus important en Afrique subsaharienne puisque la superficie des terres pouvant accueillir des motopompes s'élève à 30 millions d'hectares. Une telle expansion pourrait bénéficier à plus de 350 millions de ruraux⁸⁰. Compte tenu du fait que de nombreux pays sont tributaires de la pêche continentale pour assurer la sécurité alimentaire et la nutrition de leur population, et que la pêche est menacée par l'intensification de l'irrigation, il importe d'adopter une approche plus globale, qui permettra de compenser ou d'atténuer certaines de ces répercussions.

Au-delà de l'expansion, l'investissement doit aller en priorité à la remise en état des systèmes d'irrigation vieillissants et obsolètes et à la modernisation des autres systèmes afin de

mieux maîtriser l'eau et de rendre son utilisation plus productive. Cela passe notamment par l'investissement dans des technologies d'irrigation avancées, qui permettront d'accroître la productivité de l'eau sur les terres cultivées et de réduire l'utilisation consommatrice en limitant l'évapotranspiration. D'autres solutions consistent à produire des cultures à valeur plus élevée grâce à l'irrigation ou à limiter la superficie des cultures irriguées. Toutefois, la dernière solution est difficilement applicable et moins bien acceptée par la population¹. Lorsque c'est financièrement viable, le fait d'investir dans l'agriculture de précision permet aux agriculteurs d'améliorer l'efficacité de l'irrigation et, dans le même temps, de limiter ses effets sur la faune et la flore sauvages et sur l'environnement. Il convient également de privilégier un autre type d'infrastructure, à savoir les systèmes de données et d'information intégrés destinés à surveiller les ressources en eau et à contrôler les droits y afférents. Ces systèmes permettent d'allouer l'eau de manière efficace et sur une base rationnelle et de s'assurer que la consommation d'eau est durable à long terme. Les mesures visant à renforcer l'approvisionnement à partir de ressources non conventionnelles, à savoir le dessalement de l'eau de mer et la réutilisation des eaux usées, gagneront en importance mais nécessiteront des investissements conséquents.

Là où des capitaux sont nécessaires, notamment pour le développement de l'irrigation, de nouveaux mécanismes de financement peuvent permettre d'accroître les investissements dans la gestion des ressources hydriques. Les obligations sur les eaux vertes et bleues sont une source de financement qui mérite d'être examinée. Une autre option de financement consiste à recourir tout à la fois aux aides, aux prêts garantis par l'État et aux contributions des bénéficiaires. Le financement mixte, qui met en œuvre le financement du développement et le financement public de manière stratégique pour mobiliser des investissements privés (c'est le cas par exemple du Fonds mondial pour l'eau), apparaît comme une approche prometteuse pour développer les financements privés dans les pays à faible revenu⁸¹. Dans ces pays, les investissements ont été limités aux eaux souterraines et, dans une moindre mesure, aux petits systèmes commerciaux d'eau de surface. Plusieurs facteurs

entravent les investissements du secteur privé dans l'irrigation, y compris des taux de rendement incertains ou relativement faibles; l'ingérence de la politique dans la gestion des projets, qui fait que les redevances sont fixées en dessous d'un niveau viable pour les investisseurs privés et les banques; la crainte des pouvoirs publics de voir le secteur privé vendre les ressources en eau aux industries à des tarifs plus élevés qu'aux utilisateurs agricoles ou aux fournisseurs d'eau à usage domestique⁸². Même lorsque l'État continue d'être la principale source de financement, le fait d'attirer le secteur privé par l'intermédiaire de partenariats public-privé peut avoir des retombées économiques positives^p. Les contrats doivent être conçus spécialement pour protéger les petits agriculteurs. Le paiement de services écosystémiques peut constituer une source de financement supplémentaire pour les interventions relatives à l'eau. Cependant, à l'heure actuelle, aucune de ces sources n'a permis de fournir un financement conséquent pour le développement de l'irrigation²⁷.

Outre l'investissement dans les systèmes d'irrigation, il est nécessaire, pour mieux utiliser une eau d'irrigation rare, de procéder à une sélection active des plantes cultivées et des nutriments dans l'ensemble des zones irriguées – notamment celles soumises à un stress hydrique élevé – en diversifiant les cultures au profit de variétés à valeur plus élevée et moins gourmandes en eau (variétés résistantes à la sécheresse, notamment). L'agriculture de conservation figure parmi les principales solutions de gestion intégrée des cultures permettant d'optimiser l'efficacité d'utilisation de l'eau et des éléments nutritifs. D'autres systèmes de gestion intégrée permettent d'exploiter le potentiel de l'aquaculture et de la pêche continentale et de tenir compte des débits écologiques.

Alors que la demande en eau augmente, il est indispensable de renforcer les institutions pour garantir une répartition équitable des avantages et préserver les services environnementaux. Les réformes de la gouvernance de l'eau peuvent aider à résoudre les problèmes d'équité

^p Pour avoir un aperçu des formes contractuelles les plus courantes en matière de partenariats public-privé dans le secteur de l'irrigation, voir Banque mondiale, 2017⁸³.

et d'efficacité liés à l'eau, notamment dans les zones où le stress hydrique est élevé. Ces réformes prendront différentes formes selon le contexte: coordination des politiques entre les différents organismes publics en rapport avec le lien alimentation-eau-énergie; intégration des politiques relatives aux eaux agricoles et aux eaux urbaines, là où il y a concurrence directe; associations d'usagers de l'eau dotées de capacités solides (y compris le contrôle des droits d'utilisation, des services et des redevances au niveau local); mesure des débits et contrôles systématiques; et compétences juridiques clairement définies. Pour éviter une surexploitation des ressources en eau, les stratégies doivent aussi envisager la suppression des paiements couplés à la production (les mesures de soutien des prix, par exemple), en particulier pour les cultures qui nécessitent beaucoup d'eau, et commencer à supprimer progressivement les subventions générales sur l'eau, l'énergie et les engrains. Les responsables devraient également éliminer les distorsions du commerce agricole de manière à faciliter les échanges de produits agricoles de base là où subventionner l'eau offre des avantages comparatifs.

Améliorer la gestion de l'eau dans le secteur de la pêche et de l'aquaculture continentales

La pêche et l'aquaculture continentales sont un élément précieux des systèmes alimentaires et se révèlent très utiles dans de nombreuses initiatives de développement. L'utilisation de l'eau par le secteur de la pêche continentale est intrinsèquement liée à la protection et à la préservation des écosystèmes aquatiques. Tout projet de mise en valeur des ressources en eau doit, en premier lieu, cerner les besoins en eau de ce secteur en termes de qualité et de quantité. Si d'autres secteurs peuvent aussi avoir recours aux eaux souterraines et aux précipitations, la pêche continentale, elle, est cantonnée aux eaux de surface. Par conséquent, souvent, la seule évaluation de la quantité d'eau disponible n'est pas suffisante. L'emplacement des ressources hydriques, la dynamique des flux, les disponibilités, la qualité et la salinité de l'eau, et les effets des facteurs de changement et de la pression anthropique sont des aspects tout

aussi importants⁸⁴. Il est essentiel de déterminer les débits écologiques afin de préserver les écosystèmes aquatiques, et d'intégrer ces données à la gestion des ressources hydriques. La plupart des pays à revenu élevé et certains pays à faible revenu disposent désormais d'une réglementation stricte concernant les débits écologiques et les critères de qualité de l'eau⁸⁵, utiles pour assurer la pérennité de la pêche et de l'aquaculture. Les organismes de gestion des bassins versants disposent d'autres outils stratégiques, tels que la détermination du coût de l'eau allouée aux activités d'aquaculture et l'examen des mesures d'incitation et des politiques relatives aux technologies permettant d'économiser l'eau, en vue d'évaluer les incidences sur la pêche et l'aquaculture et sur la nutrition. Élargir la consultation des parties prenantes aux pêcheurs et aux aquaculteurs peut donner lieu à un processus décisionnel plus équilibré. Il s'agit, par exemple, de faire participer les spécialistes de l'aquaculture à la remise en état des vieux systèmes d'irrigation ou à la mise en place de nouveaux systèmes.

Il est souvent difficile de trouver une solution aux conflits entre irrigation et pêche et aquaculture, car les usages qui sont faits de l'eau dans ces deux secteurs ne sont pas les mêmes⁸⁵. Néanmoins, une meilleure planification et une approche qui appréhende simultanément le développement, l'agriculture et la pêche peuvent permettre d'atténuer les conflits. D'abord, il importe de réfléchir à des compromis entre l'utilisation de l'eau destinée aux cultures de plein champ et celle consacrée à la pêche continentale et à l'aquaculture, et d'examiner les solutions intégrées qui pourraient aboutir à une optimisation des résultats, notamment si on prend en compte les avantages nutritionnels pour les parties prenantes les plus pauvres et les plus marginalisées. Les systèmes rizicoles qui intègrent l'aquaculture à la production végétale et les plans d'eau partagés montrent clairement que les deux activités peuvent coexister. De nombreuses situations prouvent que les poissons ont des effets positifs sur les cultures rizicoles et permettent de réduire le recours aux pesticides et aux engrains.

Dans les systèmes pluviaux, l'intégration de l'aquaculture et de la pêche permettrait de créer des situations où tout le monde trouverait son compte. Entre autres approches intégrées,

on peut citer les suivantes: i) encourager les techniques de collecte des eaux (les petits étangs, par exemple) qui contribuent à diversifier les activités agricoles complémentaires, telles que la pisciculture, l'horticulture et l'élevage; ii) créer des zones de refuge au sein des systèmes de culture rizicole pluviale pour préserver et encourager la biodiversité aquatique; iii) créer et promouvoir des systèmes gérés par les communautés pour préserver les écosystèmes liés à l'eau; et iv) appréhender les plaines d'inondation de façon globale afin de reconnecter les systèmes en réduisant les obstacles, tels que ceux engendrés par les routes praticables en toute saison (avec passage de l'eau dans des conduits aménagés sous les routes, par exemple) ou les petits barrages de toute sorte.

Les responsables doivent aussi réfléchir à des solutions fondées sur la nature qui permettent de protéger les ressources naturelles et d'améliorer la situation et la qualité des écosystèmes liés à l'eau. Il s'agit, par exemple, de rétablir la circulation de l'eau, générée par les barrières et les goulets d'étranglement créés par les ouvrages de gestion des eaux; de gérer les débits et de créer des passages que les poissons pourront emprunter pendant la saison de reproduction et pour se disperser dans les différents systèmes; de créer des refuges dans les zones humides dans le cadre de solutions d'ingénierie de l'eau à grande échelle, qui s'inscrivent elles-mêmes dans de grands projets d'irrigation; et de renforcer l'intégration de l'aquaculture à la production végétale irriguée. Le coût des services environnementaux doit être intégralement pris en compte dans les systèmes de production alimentaire, et les subventions doivent être ajustées en conséquence. Ce n'est qu'après cela que les décideurs pourront envisager de modifier les politiques et la gouvernance pour promouvoir une approche agroécologique⁸⁶. ■

CONCLUSION

La gestion des ressources hydriques dans le secteur agricole jouera un rôle déterminant dans la réalisation des objectifs de développement durable liés à l'efficacité d'utilisation des ressources, à l'environnement et à la production alimentaire durable. La présente édition de

La Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture montre que l'agriculture contribue aux contraintes hydriques et qu'elle en subit aussi les conséquences, ce que démontrent les chiffres relatifs à l'étendue des superficies soumises à des sécheresses ou un stress hydrique graves et au nombre de personnes touchées. Il s'agissait d'identifier les difficultés rencontrées par les producteurs et de fournir des indications sur la gouvernance, les mesures possibles et les actions à mener en priorité, en gardant à l'esprit l'hétérogénéité des usagers de l'eau dans le secteur agricole (grandes exploitations, petits producteurs, femmes, hommes, peuples autochtones et communautés traditionnelles). Le rapport montre aussi que la compétition pour l'eau s'accentue avec l'accroissement démographique, le développement économique, l'évolution des modes de consommation, la dégradation de la qualité de l'eau et le changement climatique. La question des compromis à trouver entre les objectifs économiques, environnementaux et sociaux et d'une prise en compte équilibrée des intérêts de tous les acteurs du secteur de l'eau occupe une place de plus en plus importante dans les politiques. Face aux pressions croissantes exercées sur les ressources hydriques, il faudra privilégier les régimes d'allocation qui fonctionnent efficacement dans tout un ensemble de situations et qui peuvent s'adapter à moindre coût en cas de changement⁸⁷. Les divisions et les rivalités entre organismes, la pluralité des régimes fonciers applicables aux terres et à l'eau, les rapports de pouvoir au sein des institutions, les conflits d'intérêts, et l'accès et le recours aux données et aux informations sont autant d'éléments qui joueront sur l'efficacité des politiques relatives à l'eau, quelles qu'elles soient.

À côté de sa thématique principale, le rapport évoque des questions liées à l'eau qui sont extrêmement importantes mais qui n'ont pas pu être traitées de façon approfondie. Elles sont abordées au chapitre 1 (l'utilisation de l'eau dans le secteur de la transformation des produits alimentaires, par exemple), ou évoquées dans les résumés intitulés «Zoom» qui figurent à la fin de chaque chapitre et qui ont pour thèmes les eaux usées, l'assainissement et l'hygiène (EAH) en milieu rural, la pollution et la salinité de l'eau dans le secteur agricole, mais aussi les

inondations et le drainage et leurs incidences sur l'agriculture. Chacun de ces thèmes mériterait d'être traité dans un chapitre distinct.

Il est primordial de s'attaquer aux pénuries et à la rareté de l'eau selon une approche intersectorielle et au niveau des bassins. Si l'agriculture est le secteur qui consomme le plus d'eau dans le monde, avec environ trois-quarts des prélevements, il est aussi appelé à jouer un rôle déterminant dans les solutions à mettre en place. Il importe plus que jamais d'adopter une approche intégrée, qui tienne compte de l'eau disponible dans l'ensemble du bassin versant et de la manière dont les parties prenantes l'exploitent, et de préserver les fonctions des écosystèmes. Une meilleure intégration de tous les sous-secteurs agricoles (zones irriguées et pluviales, forêts, pêche et aquaculture continentales) est nécessaire, le Programme 2030 étant le point de départ d'un dialogue multidisciplinaire et inclusif, indispensable pour assurer une gestion des ressources hydriques efficace, équitable et durable.

L'un des principaux points à retenir de *La Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2020* est que 1,2 milliard de personnes vivent dans des régions de culture irriguée où l'eau est extrêmement rare, ou dans des zones pluviales touchées par des pénuries graves, et que, parmi elles, 520 millions vivent en milieu rural. Environ un sixième de la population mondiale est confrontée à de graves difficultés concernant l'eau, soit approximativement 15 pour cent de la population rurale de la planète. La conjonction d'une demande en eau qui ne cesse de croître

et de la variabilité des précipitations causée par le changement climatique fait qu'il y a urgence à agir, sur la base des priorités définies dans le présent rapport. Il est important que les politiques encouragent les investissements visant à accroître la productivité de l'eau et que cet effort s'accompagne d'une meilleure répartition de l'eau, qui respecte l'équilibre entre la productivité et l'accès équitable et inclusif à l'eau d'une part, et les débits écologiques d'autre part. Il s'agira donc de réformer les politiques de soutien, et notamment d'autres secteurs, qui contribuent à l'inefficacité d'utilisation des ressources hydriques. Dans nombre de régions, l'allocation de l'eau doit faire l'objet d'une réforme, ce qui ne sera pas toujours facile sur le plan politique. Par ailleurs, il est possible de recourir à d'autres sources d'eau, comme le dessalement ou la réutilisation des eaux usées, et de gérer la demande en eau de façon plus judicieuse par le biais d'une série d'interventions. Il faut s'intéresser davantage aux outils et aux innovations technologiques qui permettront d'améliorer les données dont on dispose sur les ressources hydriques et l'agriculture, ainsi qu'aux interactions et aux compromis, en fournissant des modèles qui permettent de refléchir à des solutions et aux meilleures actions à mener sur le plan des politiques et ainsi, trouver un équilibre entre les objectifs économiques, environnementaux et sociaux. Il faut également innover en matière de gouvernance, de sorte que les efforts déployés aboutissent à une transformation majeure du système alimentaire actuel et des schémas d'utilisation de l'eau, afin de progresser plus rapidement vers un développement durable qui ne laisse personne de côté. ■

ANNEXE TECHNIQUE

NOTE RELATIVE AU TRACÉ DES FRONTIÈRES

La clause de non-responsabilité ci-après concernant le tracé des frontières s'applique à la figure A du chapitre 1, aux figures 5 à 7 du chapitre 2, à la figure 17 du chapitre 3, et aux figures A1 à A3 de l'annexe statistique:

Le tracé définitif de la frontière entre la République du Soudan et la République du Soudan du Sud n'a pas encore été établi. La ligne pointillée correspond approximativement à la ligne de contrôle au Jammu-et-Cachemire convenue par l'Inde et le Pakistan. Les parties ne sont pas encore parvenues à un accord sur le statut final du Jammu-et-Cachemire. La souveraineté sur les îles Falkland (Malvinas) fait l'objet d'un différend entre le Gouvernement de l'Argentine et le Gouvernement du Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord. Les frontières telles qu'elles apparaissent sur ces cartes 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. Les lignes pointillées représentent des lignes frontalières au sujet desquelles il pourrait ne pas y avoir d'accord définitif.

MÉTHODE SUIVIE DANS L'ENCADRÉ 13

Le cadre de modélisation utilisé dans l'encadré 13 (p. 78) est basé sur Rosegrant (2020)¹. La proportion de terres cultivées sur lesquelles on obtient un meilleur rendement grâce à l'adoption de technologies et de pratiques de gestion a été estimée par extension de l'analyse

de Rosegrant *et al.* (2014)². Plus précisément, à l'aide du système de modélisation DSSAT (Système d'aide à la décision pour le transfert des technologies agricoles), on a simulé l'évolution des rendements du maïs, du riz et du blé dans les systèmes pluviaux et dans les systèmes irrigués par rapport à une base de référence correspondant à la pratique courante. Les résultats obtenus ont été incorporés à des séries de données mondiales maillées – dont le modèle SPAM de répartition spatiale de la production (présenté dans l'encadré 7, p. 41) mis au point par l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI), qui a permis de cartographier la répartition et le rendement des cultures ainsi que les scénarios climatiques et les données relatives aux sols, à l'échelle du monde. Les données concernant l'amélioration du rendement des cultures ont ensuite été agrégées par pays et par région, avec pondération en fonction des superficies. La modélisation a été faite sur la base du scénario de changement climatique A1B, issu du quatrième rapport d'évaluation (RE4) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)³, à l'aide du modèle élaboré par l'Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth.

S'agissant des investissements et du développement de l'irrigation, les projections concernant l'augmentation de la superficie des terres irriguées d'ici à 2030 ont été réalisées sur la base des zones pluviales actuelles, et sont fondées sur les analyses de Rosegrant *et al.* (2017)⁴ – d'après le modèle IMPACT (Modèle international d'analyse relative aux produits et aux échanges agricoles) (voir ci-après) – et de Palazzo *et al.* (2019), d'après le scénario de

soutien public modéré de GLOBIOM (Modèle de gestion de la biosphère mondiale)⁵. Pour ce dernier, les résultats de 2030 ont été obtenus par interpolation à partir de ceux de 2050. Les données relatives aux taux d'investissement – investissements dans la remise en état et la modernisation des systèmes d'irrigation – sont basées sur Rosegrant *et al.* (2017)⁴. Les plafonds d'adoption dans les terres cultivées, au niveau mondial, sont basés sur le tableau 3.3 de Rosegrant *et al.* (2014), tandis que la hausse des rendements au niveau régional, par système de production, est basée sur les figures 4.7 à 4.11². Pour plus de détails sur les résultats de la modélisation, voir Rosegrant (2020)¹.

IMPACT

Le modèle IMPACT a été mis au point par l'IFPRI au début des années 1990. Il permet d'étudier les effets de différents scénarios concernant l'investissement dans la R-D agricole, les politiques alimentaires, la démographie et la croissance des revenus sur l'offre et la demande alimentaires à long terme². Le modèle IMPACT utilise un système d'équations linéaires et non linéaires pour obtenir une approximation des liens qui sous-tendent la production et la demande agricoles mondiales. La production et la consommation alimentaires mondiales sont ventilées sur 115 pays et groupements régionaux, et 126 bassins hydrologiques. Aux fins de la présente étude, les projections relatives au développement de l'irrigation sont fondées sur les tendances récentes observées en ce qui concerne les zones irriguées et les investissements, ainsi que sur le potentiel de développement de l'irrigation compte tenu des disponibilités en eau de chaque bassin, avec des effets de rétroaction découlant de l'évolution des prix des denrées alimentaires, qui joue sur la rentabilité. Pour une description plus détaillée de la version la plus récente du modèle, voir Robinson *et al.* (2015)⁶.

MÉTHODE SUIVIE POUR LE CALCUL DES DONNÉES GÉOSPATIALES ET DES DONNÉES DES TABLEAUX

Pour cartographier la rareté des ressources hydriques et les pénuries dans les différentes régions du monde et les différents systèmes

de production, et déterminer la superficie, en hectares, des zones agricoles soumises à des contraintes hydriques et le nombre de personnes vivant dans ces zones, le présent rapport s'est appuyé sur six ensembles de données: i) l'outil mondial d'analyse des zones agroécologiques (GAEZ)⁷; ii) le modèle SPAM⁸; iii) le Système d'indice de stress agricole (ASIS), pour la fréquence des épisodes de sécheresse⁹; iv) l'indicateur 6.4.2 des objectifs de développement durable (ODD), sur le niveau de stress hydrique¹⁰; v) la contribution du secteur agricole au niveau de stress hydrique¹¹; vi) la grille de population GHS (établissements humains dans le monde) de Schiavina *et al.* (2019)¹². La plateforme géospatiale Main dans la main de la FAO – un bien public numérique qui permet de créer des cartes de données interactives, d'analyser les tendances et de mettre en évidence les lacunes et les possibilités en temps réel – offre un accès libre à plusieurs des ensembles de données susmentionnés¹³.

Cartographie des zones de culture, pluviales et irriguées, et des pâtures

À l'aide du système GAEZ, trois couches ont été utilisées comme données de référence pour évaluer les niveaux de pénurie et de rareté des ressources hydriques dans différentes régions du monde et pour différents systèmes de production agricole: i) la couche des cultures pluviales; et ii) la couche des prairies et des forêts claires – herbages, couverts arbustifs et végétation herbacée (pour étudier la fréquence des sécheresses dans les zones de cultures pluviales et dans les zones de pâturages, respectivement); iii) la couche des cultures irriguées, pour étudier le niveau de stress hydrique dans les zones irriguées. Les cultures pluviales, ensuite, ont été divisées en cultures à hauts niveaux d'intrants et cultures à faibles niveaux d'intrants, selon les proportions définies par le modèle SPAM. Ce modèle différencie la production à hauts niveaux d'intrants, la production à faibles niveaux d'intrants et la production de subsistance¹⁴. Aux fins du présent rapport, la culture de subsistance et la production à faibles niveaux d'intrants ont été regroupées.

Cartographie et quantification de la fréquence des sécheresses dans les zones pluviales

On s'est servi de l'indice ASIS pour cartographier les cultures pluviales et les pâturages touchés par la pénurie d'eau ([figures 5](#) et [6](#), p. 32 et 33) et déterminer le nombre d'hectares et le nombre de personnes exposés à la sécheresse ([tableaux A1](#) et [A2](#) de l'annexe statistique, p. 153 à 165). Les [figures A1](#) et [A2](#) de l'annexe statistique distinguent les cultures à hauts niveaux d'intrants de celles à faibles niveaux d'intrants. Cet indicateur mondial de la sécheresse prend en considération deux saisons végétatives, qu'on a regroupées en choisissant entre les deux celle qui présentait la valeur de fréquence des sécheresses la plus élevée. Lorsqu'il n'y a qu'une saison, une seule valeur a été prise en compte. Les pixels pour lesquels il n'y a pas de saison et par conséquent pas d'indication de fréquence des sécheresses entrent dans la catégorie «aucune donnée n'est disponible» dans les tableaux statistiques, et «pas de saison» dans les [figures 5](#), [6](#), [A1](#) et [A2](#). Dans les [figures 5](#) et [6](#), la mention «pas de données» correspond aux pixels pour lesquels le niveau de sécheresse n'était pas connu mais qui, d'après le système GAEZ, comprennent des terres cultivées ou des pâturages.

L'étendue et la résolution spatiale de l'indicateur ont ensuite été alignées sur les couches du système GAEZ, et reclassées comme suit: faible lorsque la probabilité qu'une sécheresse grave touche les cultures ou les pâturages est inférieure ou égale à 10 pour cent; moyenne lorsqu'elle est de 10 à 20 pour cent; élevée lorsqu'elle est de 20 à 30 pour cent; et très élevée lorsqu'elle est supérieure à 30 pour cent.

Cartographie et quantification du stress hydrique dans les zones irriguées

On s'est servi de l'indicateur 6.4.2 des ODD, sur le stress hydrique au niveau des bassins hydrographiques, pour cartographier les zones irriguées touchées par la rareté de l'eau ([figure 7](#), p 34), et déterminer le nombre d'hectares de terres irriguées et le nombre de personnes soumis au stress hydrique ([tableaux A1](#) et [A2](#)). Les [figures 8](#) (p. 35) et [A3](#) et [A4](#) (p. 167) illustrent en outre la contribution du secteur agricole au stress hydrique et les niveaux de stress

hydrique observés à l'échelle des pays et des bassins hydrographiques, respectivement. Les données relatives à l'indicateur 6.4.2 des ODD ont également été alignées sur les couches du système GAEZ et reclassées comme suit: pas de stress hydrique lorsque la part d'eau prélevée par l'ensemble des secteurs est inférieure ou égale à 25 pour cent; moyen lorsqu'elle est de 25 à 50 pour cent; élevé lorsqu'elle est de 50 à 100 pour cent; et très élevé lorsqu'elle est supérieure à 100 pour cent. De même, les données relatives à la contribution du secteur agricole ont été harmonisées comme suit: pas de stress hydrique lorsque la part d'eau prélevée pour l'agriculture est inférieure ou égale à 12,5 pour cent; moyen lorsqu'elle est de 12,5 à 25 pour cent; élevé lorsqu'elle est de 25 à 50 pour cent, et très élevé lorsqu'elle est supérieure à 50 pour cent.

Population vivant dans des zones soumises à une contrainte hydrique

On a rééchantillonné la couche démographique de Schiavina *et al.* (2019)¹² et on l'a ajustée de manière à exclure les établissements de plus de 20 000 habitants. L'arbre de décision suivant a servi à déterminer le nombre de personnes vivant dans des zones agricoles soumises à une contrainte hydrique: i) personnes vivant dans des zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes **et** personnes vivant dans des zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé; ii) personnes vivant dans des zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes **ou** vivant dans des zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé. Deux autres catégories ont été calculées suivant la même logique, mais en prenant en considération les personnes vivant dans les zones où la contrainte hydrique est élevée (et non très élevée). Une approche similaire a été utilisée pour estimer le nombre d'hectares de ces mêmes zones, en faisant la somme des fractions de pixels. Les résultats figurent aux [tableaux A1](#) et [A2](#) de l'annexe statistique.

ANNEXE STATISTIQUE

NOTES RELATIVES À L'ANNEXE STATISTIQUE

NOTES GÉNÉRALES

Les conventions ci-après sont utilisées dans les tableaux de la présente annexe:

0 ou 0,0 = nul ou négligeable

- = sans objet

Les chiffres présentés dans les **tableaux A.1 et A2** peuvent être reproduits à partir des sources de données originales, en les traitant au moyen du logiciel Rstudio, qui a été utilisé par les auteurs pour les opérations de gestion des données. Les chiffres décimaux sont séparés du nombre entier par une virgule (,).

NOTES TECHNIQUES

TABLEAU A1

Zones agricoles soumises à des pénuries d'eau ou à des situations de rareté de l'eau: nombre de personnes vivant dans ces zones et nombre d'hectares, par pays ou territoire

Sources: Tableau élaboré par la FAO, d'après: i) FAO. 2020. *SDG Indicator 6.4.2 on water stress* (Indicateur 6.4.2 des ODD, sur le stress hydrique); ii) FAO. 2019. Observation de la Terre. Indice de stress agricole (système ASIS): Fréquence historique des sécheresses agricoles (1984-2018). Dans: FAO [en ligne] [référencé le 5 août 2020]. http://www.fao.org/giews/earthobservation/asis/index_1.jsp?lang=fr; iii) FAO et Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués (IIASA). 2020. *Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v4.0)* (Outil mondial d'analyse des zones agroécologiques). Luxembourg (Autriche) et Rome; iv) Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI). 2019. *Global Spatially-Disaggregated Crop Production Statistics Data for 2010 Version 1.0*. Harvard Dataverse. Dans: *Harvard Dataverse* [en

ligne] [référencé le 5 août 2020]. <https://dataverse.harvard.edu/citation?persistentId=doi:10.7910/DVN/PRFF8V>; et v) Schiavina, M., Freire, S. et MacManus, K. 2019. GHS population grid multitemporal (1975-1990-2000-2015), R2019A. Dans: *Commission européenne* [en ligne] [référencé le 6 août 2020]. <http://data.europa.eu/89h/0c6b9751-a71f-4062-830b-43c9f432370f>.

Le premier groupe – **Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes ET zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé** – correspond: i) au nombre d'hectares (en milliers) touchés par des sécheresses très fréquentes dans les zones de cultures et de pâtures pluviales *et* soumis à un stress hydrique très élevé dans les zones irriguées; ii) au nombre de personnes (en milliers), populations rurales et urbaines comprises, vivant dans des zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes *et* des zones d'irrigation soumises à un stress hydrique très élevé. Les établissements humains de plus de 20 000 habitants sont exclus. Il est à noter que, en raison de la taille des pixels, les petits centres urbains et les zones périurbaines où l'agriculture est pratiquée sont compris dans la population. Il ne s'agit donc pas d'une population rurale au sens strict du terme.

Le deuxième groupe – **Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes OU zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé** – correspond: i) au nombre d'hectares (en milliers) touchés par des sécheresses très fréquentes dans les zones de cultures et de pâtures pluviales *ou* soumis à un stress hydrique très élevé dans les zones irriguées; ii) au nombre de personnes (en milliers), populations rurales et urbaines comprises, vivant dans des zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes *ou* des zones d'irrigation soumises à un stress hydrique très élevé. Les établissements humains

de plus de 20 000 habitants sont exclus.

Comme pour le premier groupe, en raison de la taille des pixels, la population considérée n'est pas rurale au sens strict du terme.

Le troisième groupe – **Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes ET zones irriguées soumises à un stress hydrique élevé** – correspond: i) au nombre d'hectares (en milliers) touchés par des sécheresses fréquentes dans les zones de cultures et de pâtures pluviales *et* soumis à un stress hydrique élevé dans les zones irriguées; ii) au nombre de personnes (en milliers), populations rurales et urbaines comprises, vivant dans des zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes *et* des zones d'irrigation soumises à un stress hydrique élevé. Les établissements humains de plus de 20 000 habitants sont exclus. Comme pour le premier groupe, en raison de la taille des pixels, la population considérée n'est pas rurale au sens strict du terme.

Le quatrième groupe – **Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes OU zones irriguées soumises à un stress hydrique élevé** – correspond: i) au nombre d'hectares (en milliers) touchés par des sécheresses fréquentes dans les zones de cultures et de pâtures pluviales *ou* soumis à un stress hydrique élevé dans les zones irriguées; ii) au nombre de personnes (en milliers), populations rurales et urbaines comprises, vivant dans des zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes *ou* des zones d'irrigation soumises à un stress hydrique élevé. Les établissements humains de plus de 20 000 habitants sont exclus. Comme pour le premier groupe, en raison de la taille des pixels, la population considérée n'est pas rurale au sens strict du terme.

TABLEAU A2

Systèmes de production soumis à des situations de rareté de l'eau ou de pénurie, en nombre d'hectares et en pourcentage, par pays ou territoire

Sources: Tableau élaboré par la FAO, d'après:
 i) FAO, 2020. *SDG Indicator 6.4.2 on water stress* (Indicateur ODD 6.4.2 sur le stress hydrique);
 ii) FAO. 2019. Indice de stress agricole (système ASIS): Fréquence historique des sécheresses agricoles (1984-2018). Dans: FAO [en ligne] [référencé le 5 août 2020]. http://www.fao.org/giews/earthobservation/asis/index_1.jsp?lang=fr; iii) FAO et Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués (IIASA). 2020. *Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v4.0)* (Outil mondial d'analyse des zones agroécologiques). Luxembourg (Autriche) et Rome; iv) Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI). 2019. *Global Spatially-Disaggregated Crop Production Statistics Data for 2010 Version 1.0*. Harvard Dataverse. Dans: *Harvard Dataverse* [en ligne] [référencé le 5 août 2020]. <https://dataverse.harvard.edu/citation?persistentId=doi:10.7910/DVN/PRFF8V>.

Le premier groupe – **Cultures irriguées soumises à un stress hydrique élevé ou très élevé** – correspond au nombre d'hectares (en milliers) soumis à un stress hydrique élevé ou très élevé dans les zones irriguées. La colonne «En pourcentage des cultures irriguées» se rapporte à la proportion d'hectares soumis à un stress hydrique élevé ou très élevé par rapport à la superficie totale des zones irriguées.

Le deuxième groupe – **Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes** – correspond au nombre d'hectares (en milliers) touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes dans les zones de

cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants. La colonne «En pourcentage des cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants» se rapporte à la proportion d'hectares touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes par rapport à la superficie totale des cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants.

Le troisième groupe – **Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes** – correspond au nombre d'hectares (en milliers) touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes dans les zones de cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants. La colonne «En pourcentage des cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants» se rapporte à la proportion d'hectares touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes par rapport à la superficie totale des cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants.

Le quatrième groupe – **Pâturages touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes** – correspond au nombre d'hectares (en milliers) touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes dans les zones de pâtures pluviales. La colonne «En pourcentage des pâturages» se rapporte à la proportion d'hectares touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes par rapport à la superficie totale des pâturages.

Le cinquième groupe – **Pourcentage de terres pour lesquelles aucune donnée n'est disponible** – correspond au pourcentage de terres pour lesquelles aucune donnée n'est disponible, par rapport à la superficie totale des zones irriguées, des zones de culture pluviale à faibles niveaux d'intrants, des zones de culture pluviale à hauts niveaux d'intrants et des zones de pâturages, respectivement.

TABLEAU A1

**ZONES AGRICOLES SOUMISES À DES PÉNURIES D'EAU OU À DES SITUATIONS DE RARETÉ DE L'EAU:
NOMBRE DE PERSONNES VIVANT DANS CES ZONES ET NOMBRE D'HECTARES, PAR PAYS OU TERRITOIRE**

PAYS/ TERRITOIRE	Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes ET			Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes OU			Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes ET			Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes OU		
	Hectares	Population		Hectares	Population		Hectares	Population		Hectares	Population	
		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine
	Milliers						Milliers					
MONDE	8 053	13 727	23 167	340 127	498 187	629 345	53 717	122 747	139 864	552 294	749 572	1 064 280
AFRIQUE	484	518	553	110 952	31 832	49 127	2 941	4 842	5 319	158 902	91 156	148 005
Afrique du Nord	483	518	553	3 161	14 352	19 429	1 911	2 753	3 612	22 681	38 039	89 486
Algérie	206	156	174	1 513	8 955	11 284	257	237	354	3 069	2 792	3 670
Égypte	0	0	0	100	55	44	6	51	296	3 273	22 189	61 550
Libye	101	89	24	606	1 492	2 007	0	0	0	587	587	155
Maroc	13	33	89	381	1 625	2 369	1 109	1 897	1 997	3 874	6 501	9 894
Soudan	0	0	0	143	106	48	540	568	964	10 998	5 278	13 484
Tunisie	164	240	266	418	2 119	3 678	0	0	0	880	692	732
Afrique subsaharienne	1	0	0	107 791	17 480	29 698	1 030	2 089	1 707	136 221	53 117	58 519
Afrique de l'Est	0	0	0	82 748	14 182	17 009	455	1 364	1 629	17 057	29 677	27 463
Burundi	0	0	0	0	0	0	5	35	0	6	584	579
Djibouti	0	0	0	78	11	44	0	0	0	0	0	0
Érythrée	0	0	0	491	102	262	58	9	21	912	261	1 493
Éthiopie	0	0	0	30 303	3 196	5 046	214	210	1 051	3 711	4 418	12 893
Kenya	0	0	0	32 947	8 071	4 961	12	186	0	2 288	10 977	2 295
Madagascar	0	0	0	129	204	30	0	0	0	2 573	984	435
Mozambique	0	0	0	20	7	0	50	142	74	137	488	514
Ouganda	0	0	0	146	152	37	71	623	404	765	3 488	4 623
République-Unie de Tanzanie	0	0	0	1 445	848	3 769	6	9	40	4 880	5 037	1 505
Rwanda	0	0	0	32	91	685	24	149	39	264	2 755	1 229
Somalie	0	0	0	16 044	1 436	2 150	0	0	0	719	194	109
Soudan du Sud	0	0	0	1 112	33	0	9	0	0	392	235	716
Zambie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	45	1 021
Zimbabwe	0	0	0	0	31	27	6	1	0	397	210	52
Afrique moyenne	0	0	0	1 514	196	302	0	0	0	10 514	1 297	6 764
Angola	0	0	0	437	6	0	0	0	0	3 341	504	1 275
Cameroun	0	0	0	1	0	0	0	0	0	313	174	2 378
Congo	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Gabon	0	0	0	60	16	37	0	0	0	60	16	0
Guinée équatoriale	0	0	0	97	59	245	0	0	0	69	20	0
République démocratique du Congo	0	0	0	10	46	0	0	0	0	31	128	2 279
Sao Tomé-et-Principe	0	0	0	1	1	0	0	0	0	10	30	25
Tchad	0	0	0	909	67	21	0	0	0	6 689	421	807
Afrique australie	1	0	0	21 986	1 145	1 679	503	710	31	74 277	8 676	5 564
Afrique du Sud	1	0	0	366	612	1 605	336	705	31	10 298	6 473	4 422
Botswana	0	0	0	1	0	0	167	5	0	48 055	1 044	663

TABLEAU A1
(SUITE)

PAYS/ TERRITOIRE	Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes ET Zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes OU Zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes ET Zones irriguées soumises à un stress hydrique élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes OU Zones irriguées soumises à un stress hydrique élevé		
	Hectares	Population		Hectares	Population		Hectares	Population		Hectares	Population	
		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine
Milliers												
Eswatini	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	326	62
Lesotho	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	112	51
Namibie	0	0	0	21 620	532	74	0	0	0	15 849	720	366
Afrique de l'Ouest	0	0	0	1 543	1 957	10 708	72	14	47	34 374	13 467	18 728
Bénin	0	0	0	34	142	1 045	0	0	0	30	130	182
Burkina Faso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 594	620	374
Côte d'Ivoire	0	0	0	34	158	3 547	0	0	0	235	376	160
Ghana	0	0	0	128	408	729	0	0	0	153	741	1 018
Guinée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	962
Guinée-Bissau	0	0	0	1	2	0	0	0	0	6	9	0
Libéria	0	0	0	33	53	689	0	0	0	215	179	212
Mali	0	0	0	152	129	0	0	0	0	9 115	2 025	561
Mauritanie	0	0	0	249	130	24	71	14	46	9 410	1 340	418
Niger	0	0	0	9	1	0	0	0	0	7 715	1 889	773
Nigéria	0	0	0	55	741	4 381	0	0	0	3 030	3 916	9 638
Sénégal	0	0	0	847	192	189	1	1	2	2 771	1 953	3 819
Sierra Leone	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	274	612
Togo	0	0	0	0	3	102	0	0	0	2	7	0
AMÉRIQUE	644	206	397	29 083	7 800	19 435	10 214	4 272	6 827	112 322	52 852	94 331
Amérique latine et Caraïbes	644	206	397	22 325	5 927	16 907	3 532	2 330	4 726	61 223	22 799	41 424
Caraïbes	0	0	0	111	171	403	0	0	0	458	821	476
Antigua-et-Barbuda	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Aruba	0	0	0	2	14	0	0	0	0	0	0	0
Bahamas	0	0	0	25	0	0	0	0	0	249	77	105
Cuba	0	0	0	63	47	403	0	0	0	30	22	0
Guadeloupe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	0
Haïti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92	234	137
Îles Vierges américaines	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Îles Vierges britanniques	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jamaïque	0	0	0	3	1	0	0	0	0	36	133	0
Porto Rico	0	0	0	10	67	0	0	0	0	9	143	7
République dominicaine	0	0	0	5	16	0	0	0	0	18	48	0
Saint-Kitts-et-Nevis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	0
Trinité-et-Tobago	0	0	0	3	24	0	0	0	0	20	145	227
Amérique centrale	132	44	42	1 621	1 832	3 496	2 196	1 592	2 908	10 861	12 585	27 649
Belize	0	0	0	5	10	0	0	0	0	0	0	0
Costa Rica	0	0	0	5	0	0	0	0	0	84	102	124
El Salvador	0	0	0	2	19	63	0	0	0	1	12	0

TABLEAU A1
(SUITE)

PAYS/ TERRITOIRE	Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes ET Zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes OU Zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes ET Zones irriguées soumises à un stress hydrique élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes OU Zones irriguées soumises à un stress hydrique élevé		
	Hectares	Population		Hectares	Population		Hectares	Population		Hectares	Population	
		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine
	Milliers			Milliers			Milliers			Milliers		
Guatemala	0	0	0	43	37	0	0	0	0	30	53	0
Honduras	0	0	0	17	4	0	0	0	0	5	8	0
Mexique	132	44	42	1 533	1 747	3 421	2 196	1 592	2 908	10 698	12 366	27 525
Nicaragua	0	0	0	4	0	0	0	0	0	32	36	0
Panama	0	0	0	11	15	12	0	0	0	10	8	0
Amérique du Sud	512	162	355	20 593	3 924	13 008	1 336	738	1 818	49 904	9 393	13 299
Argentine	0	0	0	14 967	443	1 039	786	171	230	29 063	1 877	3 230
Bolivie (État plurinational de)	0	0	0	269	30	10	0	0	0	1 247	264	19
Brésil	0	0	0	908	259	114	0	0	0	14 724	3 788	965
Chili	512	162	355	782	1 262	7 354	0	0	0	1 302	15	0
Colombie	0	0	0	1 035	153	418	0	0	0	198	208	272
Équateur	0	0	0	87	87	197	10	5	0	524	336	62
Guyana	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8	9	0
Paraguay	0	0	0	2	0	0	0	0	0	75	7	0
Pérou	0	0	0	1 548	1 372	2 804	539	563	1 588	1 314	2 251	5 736
Uruguay	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	9	10
Venezuela (République bolivarienne du)	0	0	0	993	318	1 072	0	0	0	1 359	630	3 005
Amérique du Nord	0	0	0	6 758	1 873	2 528	6 683	1 941	2 102	51 099	30 053	52 908
Canada	0	0	0	6	0	0	0	0	0	10 419	434	499
États-Unis d'Amérique	0	0	0	6 731	1 873	2 528	6 683	1 941	2 102	40 680	29 619	52 409
Groenland	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0
ASIE	6 924	13 003	22 217	71 964	452 630	557 364	40 422	113 420	127 696	171 878	557 154	776 446
Asie centrale	167	71	44	5 218	7 238	4 532	4 640	8 316	4 828	40 129	17 252	17 614
Kazakhstan	0	0	0	3 071	378	638	1 696	1 000	688	31 540	4 560	4 945
Kirghizistan	0	0	0	0	0	0	247	653	563	1 143	2 422	2 143
Ouzbékistan	0	0	0	716	3 769	1 948	1 916	5 006	3 194	3 640	7 381	8 192
Tadjikistan	0	0	0	12	864	278	527	1 365	349	515	2 220	2 222
Turkménistan	167	71	44	1 418	2 226	1 667	255	293	34	3 291	669	112
Asie de l'Est	447	1 516	6 830	17 654	153 247	146 966	2 453	17 507	15 247	45 133	194 497	227 326
Chine	439	1 516	6 830	17 466	151 722	137 433	2 394	17 314	15 027	40 272	176 587	185 937
Chine - RAS de Hong-Kong	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	84	1 755
Japon	0	0	0	72	1 132	5 545	0	0	0	139	2 011	6 861
Mongolie	7	0	0	83	89	24	0	0	0	2 766	67	24
Province chinoise de Taïwan	0	0	0	8	63	2 725	0	0	0	1	21	137
République de Corée	0	0	0	22	211	1 164	0	0	0	771	8 466	19 020
République populaire démocratique de Corée	0	0	0	3	32	75	59	193	220	1 181	7 261	13 591

TABLEAU A1
(SUITE)

PAYS/ TERRITOIRE	Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes ET Zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes OU Zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes ET Zones irriguées soumises à un stress hydrique élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes OU Zones irriguées soumises à un stress hydrique élevé							
	Hectares	Population		Hectares	Population		Hectares	Population		Hectares	Population						
		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine					
Asie du Sud-Est	46	330	3 003	4 170	43 036	103 878	717	1 619	1 248	5 380	25 488	24 174					
Brunéi Darussalam	0	0	0	1	11	0	0	0	0	0	0	0					
Cambodge	0	0	0	120	406	103	0	0	0	605	1 823	432					
Indonésie	46	330	3 003	3 255	37 712	91 453	0	0	0	212	581	326					
Malaisie	0	0	0	17	7	0	0	0	0	28	140	2					
Myanmar	0	0	0	84	511	689	0	0	0	1 094	2 799	2 580					
Philippines	0	0	0	54	173	649	0	0	0	121	2 342	2 789					
République démocratique populaire lao	0	0	0	1	1	0	0	0	0	7	23	0					
Singapour	0	0	0	0	0	1 368	0	0	0	1	7	357					
Thaïlande	0	0	0	70	571	2 749	717	1 619	1 248	2 418	10 045	9 392					
Timor-Leste	0	0	0	14	275	0	0	0	0	0	0	0					
Viet Nam	0	0	0	554	3 369	6 868	0	0	0	895	7 729	8 297					
Asie du Sud	5 918	10 070	10 361	40 617	230 036	267 946	26 417	78 110	96 042	62 419	289 545	457 423					
Afghanistan	90	328	54	943	5 970	9 333	2 367	3 915	3 383	3 976	4 906	3 312					
Bangladesh	0	0	0	0	0	0	1 741	14 328	8 820	2 763	42 425	76 351					
Bhoutan	0	0	0	8	0	0	0	0	0	36	457	185					
Inde	4 664	7 153	5 808	20 111	125 751	158 060	18 603	56 852	79 397	43 851	212 554	352 981					
Iran (République islamique d')	966	1 989	4 160	4 877	8 399	25 527	3 603	2 643	4 189	8 774	6 607	11 912					
Népal	0	0	0	21	0	0	11	21	5	1 136	19 565	8 372					
Pakistan	146	335	107	14 125	79 213	70 550	93	352	248	1 790	2 957	4 276					
Sri Lanka	52	265	233	534	10 702	4 476	0	0	0	94	74	32					
Asie occidentale	347	1 016	1 978	4 305	19 072	34 040	6 194	7 866	10 330	18 817	30 373	49 910					
Arabie saoudite	196	444	442	1 702	3 182	5 726	0	0	0	207	137	99					
Arménie	0	0	0	0	0	0	39	94	315	279	1 339	1 180					
Azerbaïdjan	0	0	0	269	375	1 021	1 425	1 205	691	1 304	2 346	2 185					
Bahreïn	0	0	0	1	54	546	0	0	0	0	0	0					
Chypre	0	0	0	0	0	0	22	35	53	50	479	363					
Émirats arabes unis	0	0	0	269	1 177	3 761	0	0	0	0	0	0					
Géorgie	0	0	0	0	0	0	17	95	137	260	511	93					
Iraq	0	0	0	107	747	1 273	393	786	1 166	3 420	6 142	19 632					
Israël	0	0	0	4	21	52	1	13	14	167	2 116	4 023					
Jordanie	0	0	0	45	229	1 932	60	236	513	86	1 336	1 124					
Koweït	0	0	0	4	109	156	0	0	0	2	3	0					
Liban	1	2	0	1	5	0	146	564	1 476	127	1 404	675					
Oman	0	0	0	59	1 664	1 375	0	0	0	5	10	0					
Palestine	0	0	0	0	0	0	2	18	32	42	769	1 858					
Qatar	0	0	0	12	304	905	0	0	0	0	0	0					
République arabe syrienne	130	484	1 172	584	3 078	4 613	1 004	1 932	1 008	2 027	2 945	1 985					

TABLEAU A1
(SUITE)

PAYS/ TERRITOIRE	Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes ET Zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes OU Zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes ET Zones irriguées soumises à un stress hydrique élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes OU Zones irriguées soumises à un stress hydrique élevé		
	Hectares	Population		Hectares	Population		Hectares	Population		Hectares	Population	
		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine
		Milliers			Milliers			Milliers			Milliers	
Turquie	0	0	0	866	496	2 253	3 086	2 889	4 926	10 834	10 780	16 644
Yémen	20	86	364	381	7 632	10 428	0	0	0	8	57	48
EUROPE	0	0	0	889	5 354	3 129	140	214	22	18 060	47 789	45 001
Europe orientale	0	0	0	711	170	70	7	0	0	12 789	4 649	4 496
Bulgarie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	52	38
Fédération de Russie	0	0	0	605	77	0	7	0	0	11 845	2 854	2 383
Pologne	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	46	0
Roumanie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	857	1 696	2 075
Ukraine	0	0	0	106	92	70	0	0	0	2	0	0
Europe septentrionale	0	0	0	3	15	0	0	0	0	148	245	794
Danemark	0	0	0	2	12	0	0	0	0	125	185	53
Irlande	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Lithuanie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	18	629
Suède	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	42	112
Europe méridionale	0	0	0	79	195	119	133	214	22	3 948	18 326	14 472
Albanie	0	0	0	4	2	0	0	0	0	72	367	564
Bosnie-Herzégovine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Croatie	0	0	0	2	1	0	0	0	0	5	17	0
Espagne	0	0	0	43	53	19	108	152	0	2 297	6 929	8 530
Grèce	0	0	0	1	0	0	0	0	0	173	265	172
Îles Madère	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	79	20
Italie	0	0	0	14	41	100	25	62	22	1 239	9 841	4 918
Macédoine du Nord	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	48	76
Malte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	17	0
Monténégro	0	0	0	4	32	0	0	0	0	1	4	0
Portugal	0	0	0	11	65	0	0	0	0	144	735	193
Saint-Marin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0
Serbie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Europe occidentale	0	0	0	96	4 975	2 940	0	0	0	1 175	24 569	25 240
Allemagne	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136	8 171	6 131
Antilles néerlandaises	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	41	64
Autriche	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	163	809
Belgique	0	0	0	32	2 912	1 239	0	0	0	8	396	44
France	0	0	0	36	1 566	1 402	0	0	0	563	8 374	9 767
Luxembourg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	21

TABLEAU A1
(SUITE)

PAYS/ TERRITOIRE	Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes ET Zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses très fréquentes OU Zones irriguées soumises à un stress hydrique très élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes ET Zones irriguées soumises à un stress hydrique élevé			Zones pluviales touchées par des sécheresses fréquentes OU Zones irriguées soumises à un stress hydrique élevé		
	Hectares	Population		Hectares	Population		Hectares	Population		Hectares	Population	
		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine		Rurale	Urbaine
Milliers												
Pays-Bas	0	0	0	29	498	299	0	0	0	408	6 844	8 106
Suisse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	457	299
OCÉANIE	0	0	0	127 239	571	290	0	0	0	91 133	621	497
Australie et Nouvelle-Zélande	0	0	0	127 116	532	132	0	0	0	90 851	547	463
Australie	0	0	0	127 057	489	131	0	0	0	90 851	547	463
Nouvelle-Zélande	0	0	0	58	43	0	0	0	0	0	0	0
Mélanésie	0	0	0	123	38	159	0	0	0	282	74	34
Fidji	0	0	0	2	1	0	0	0	0	61	35	0
Îles Salomon	0	0	0	2	7	0	0	0	0	0	0	0
Nouvelle-Calédonie	0	0	0	2	1	0	0	0	0	54	10	0
Papouasie-Nouvelle-Guinée	0	0	0	113	25	159	0	0	0	153	28	34
Vanuatu	0	0	0	5	5	0	0	0	0	14	0	0

NOTE: À des fins statistiques, les données relatives à la Chine excluent la Chine - RAS de Hong-Kong et la Province chinoise de Taïwan. Les données relatives au Portugal et aux Pays-Bas ne comprennent pas les îles Madère et les Antilles néerlandaises, respectivement.

TABLEAU A2

**SYSTÈMES DE PRODUCTION SOUMIS À DES SITUATIONS DE RARETÉ DE L'EAU OU DE PÉNURIE,
EN NOMBRE D'HECTARES ET EN POURCENTAGE, PAR PAYS OU TERRITOIRE**

PAYS/ TERRITOIRE	Cultures irriguées soumises à un stress hydrique élevé ou très élevé		Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pâturages touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pourcentage de terres pour lesquelles aucune donnée n'est disponible			
	Hectares	En % des cultures irriguées	Hectares	En % des cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Hectares	En % des cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Hectares	En % des pâturages	Cultures irriguées	Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Pâturages
	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage				
MONDE	170 887	62,0	77 093	14,0	50 708	8,0	655 502	14,2	0,1	5,3	1,7	27,8
AFRIQUE	9 560	72,2	12 632	7,5	4 351	12,9	246 735	22,0	0,0	10,2	6,6	28,4
Afrique du Nord	8 068	99,6	2 214	17,2	1 883	24,5	16 072	19,1	0,0	3,1	0,7	39,2
Algérie	565	99,9	442	14,6	18	9,9	4 018	28,7	0,1	1,8	1,2	45,1
Égypte	3 376	100,0	2	45,2	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	99,8
Libye	462	99,9	36	13,9	29	17,3	767	19,4	0,1	0,0	0,0	71,2
Maroc	1 459	99,9	949	31,4	1 158	30,0	1 810	16,9	0,1	1,1	0,5	42,0
Sahara occidental	-	-	-	-	-	-	0	0,0	-	-	-	100,0
Soudan	1 826	98,2	609	10,3	455	17,3	8 791	17,2	0,0	4,9	1,0	31,8
Tunisie	379	99,9	175	27,6	222	25,8	686	17,2	0,1	3,3	0,4	70,8
Afrique subsaharienne	1 493	29,0	10 418	6,7	2 468	9,5	230 663	22,2	0,0	10,8	8,3	27,5
Afrique de l'Est	219	9,1	5 261	11,1	1 256	13,4	93 522	21,9	0,0	18,9	16,1	35,2
Burundi	3	15,1	4	0,4	1	0,5	3	0,3	0,0	0,5	0,5	5,5
Comores	0	0,0	-	-	-	-	0	0,0	13,5	-	-	32,1
Djibouti	0	0,0	-	-	-	-	78	27,0	0,0	-	-	73,0
Érythrée	6	29,9	168	28,6	19	17,6	1 269	29,8	0,0	5,7	7,3	35,9
Éthiopie	88	30,0	1 818	18,0	552	19,3	31 771	40,4	0,0	11,9	7,7	38,5
Kenya	14	14,1	916	37,4	183	28,6	34 134	73,4	0,0	7,2	5,6	18,4
Madagascar	0	0,0	58	3,0	7	2,0	2 637	6,5	0,0	14,3	5,3	0,7
Malawi	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,8	0,4	56,8
Mayotte	-	-	-	-	-	-	0	0,0	-	-	-	100,0
Mozambique	74	62,5	49	1,4	41	3,8	42	0,1	0,0	39,8	58,7	64,3
Ouganda	9	99,9	555	8,4	37	7,9	381	4,4	0,0	13,6	14,8	30,1
République-Unie de Tanzanie	1	0,5	800	12,3	247	15,5	5 282	10,6	0,0	10,7	10,5	39,2
Rwanda	8	97,2	206	22,9	52	22,8	53	7,6	0,0	7,0	7,7	23,6
Somalie	0	0,0	160	27,8	4	32,0	16 599	40,8	0,1	71,9	60,0	53,4
Soudan du Sud	8	100,0	251	8,7	107	38,1	1 147	2,3	0,0	65,4	41,4	18,9
Zambie	0	0,0	12	0,3	1	0,1	0	0,0	0,0	35,9	23,8	25,6
Zimbabwe	8	4,7	264	6,1	4	1,7	126	0,6	0,0	12,7	7,2	75,7
Afrique moyenne	0	0,1	197	0,8	11	0,3	11 820	5,1	0,0	18,0	8,1	32,1
Angola	0	0,0	0	0,0	0	0,0	3 778	6,4	0,0	8,8	5,3	10,5
Cameroun	0	0,0	0	0,0	0	0,0	313	2,1	0,0	9,0	1,2	10,2
Congo	0	0,0	1	0,2	0	0,4	0	0,0	0,0	21,2	17,8	19,7
Gabon	0	0,0	11	3,4	3	4,1	106	2,7	0,0	37,2	22,3	20,9
Guinée équatoriale	-	-	32	19,4	1	8,6	132	21,8	-	0,2	0,1	10,0

**TABLEAU A2
(SUITE)**

PAYS/ TERRITOIRE	Cultures irriguées soumises à un stress hydrique élevé ou très élevé		Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pâturages touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pourcentage de terres pour lesquelles aucune donnée n'est disponible			
	Hectares	En % des cultures irriguées	Hectares	En % des cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Hectares	En % des cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Hectares	En % des pâtures	Cultures irriguées	Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Pâtures
	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage				
République centrafricaine	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	38,4	46,7	12,1
République démocratique du Congo	0	0,0	37	0,3	1	0,1	3	0,0	0,0	30,3	17,9	91,4
Sao Tomé-et- Principe	0	0,0	5	70,7	0	68,4	7	29,3	0,0	0,0	0,0	6,2
Tchad	0	0,5	110	1,6	7	1,1	7 481	17,1	0,0	4,0	2,7	4,4
Afrique australie	1 260	81,0	1 770	16,2	735	17,3	93 002	52,5	0,0	15,0	5,7	25,3
Afrique du Sud	1 207	81,0	1 676	17,4	730	17,4	7 388	9,7	0,0	9,4	5,4	55,5
Botswana	4	94,3	31	14,3	1	12,8	48 187	95,7	0,0	80,7	71,3	0,4
Eswatini	49	100,0	3	2,3	1	3,2	0	0,0	0,0	8,9	8,9	40,6
Lesotho	0	0,0	19	6,6	2	10,5	0	0,0	0,0	19,6	14,0	14,0
Namibie	0	0,0	40	6,4	1	7,5	37 427	80,1	0,0	77,3	54,6	3,0
Afrique de l'Ouest	13	1,3	3 190	4,5	466	5,1	32 318	16,0	0,0	2,2	1,5	8,1
Bénin	0	0,0	12	0,5	3	0,4	49	0,9	0,0	0,9	0,6	16,7
Burkina Faso	0	0,0	304	9,0	109	9,5	1 181	6,0	0,0	0,5	0,3	0,2
Côte d'Ivoire	0	0,0	189	2,6	46	3,7	34	0,3	0,0	8,8	3,1	8,6
Gambie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,1
Ghana	0	0,0	75	1,8	50	3,1	156	1,5	0,0	1,7	0,5	13,4
Guinée	0	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0,1	3,2	2,2	3,5
Guinée-Bissau	0	0,0	6	1,9	2	1,3	0	0,0	1,0	0,8	0,6	14,9
Libéria	0	0,0	29	5,8	3	5,3	216	4,7	0,0	14,3	8,5	6,1
Mali	1	0,3	691	11,4	70	6,0	8 505	22,8	0,0	3,2	2,5	3,5
Mauritanie	12	24,4	88	24,3	2	32,1	9 628	74,6	0,0	31,2	13,0	4,4
Niger	0	0,0	33	1,4	7	1,1	7 684	25,6	0,0	2,0	2,9	3,7
Nigéria	0	0,0	1 063	3,2	32	3,3	1 990	5,1	0,0	0,2	0,1	14,6
Sénégal	1	0,6	690	16,0	140	17,9	2 788	24,8	0,0	4,5	3,0	24,9
Sierra Leone	0	0,0	9	0,5	1	0,8	85	4,0	0,0	3,4	1,5	5,1
Togo	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	0,1	0,0	0,0	0,0	22,2
AMÉRIQUE	14 229	29,6	4 162	4,4	19 483	8,7	114 389	8,0	0,2	1,9	1,1	26,1
Amérique latine et Caraïbes	6 964	35,9	4 162	4,4	2 018	4,8	74 579	9,8	0,3	1,9	1,3	17,2
Caraïbes	0	0,0	65	1,6	11	0,7	492	6,9	0,3	4,4	2,1	18,1
Anguilla	-	-	-	-	-	-	0	0,0	-	-	-	0,0
Antigua-et- Barbuda	0	0,0	0	1,5	0	1,1	0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0
Aruba	-	-	-	-	-	-	2	100,0	-	-	-	0,0
Bahamas	-	-	0	0,0	0	0,0	274	95,2	-	100,0	100,0	4,8
Barbade	0	0,0	-	-	-	-	0	0,0	0,7	-	-	100,0

**TABLEAU A2
(SUITE)**

PAYS/ TERRITOIRE	Cultures irriguées soumises à un stress hydrique élevé ou très élevé		Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pâturages touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pourcentage de terres pour lesquelles aucune donnée n'est disponible			
	Hectares	En % des cultures irriguées	Hectares	En % des cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Hectares	En % des cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Hectares	En % des pâturages	Cultures irriguées	Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Pâturages
	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage				
Cuba	0	0,0	11	0,5	4	0,5	78	2,2	0,4	1,2	0,4	28,4
Dominique	-	-	0	0,0	0	0,0	0	0,0	-	4,2	6,0	100,0
Grenade	0	0,0	-	-	-	-	0	0,0	21,5	-	-	100,0
Guadeloupe	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	7,6	2,7	0,4	0,0	0,0
Haïti	0	0,0	6	1,1	5	1,2	81	7,5	0,7	1,5	0,8	2,9
Îles Turques-et-Caïques	-	-	-	-	-	-	0	0,0	-	-	-	26,2
Îles Vierges américaines	0	0,0	-	-	-	-	1	18,6	13,6	-	-	0,0
Îles Vierges britanniques	0	0,0	0	0,0	-	-	0	80,3	100,0	100,0	-	19,7
Jamaïque	0	0,0	29	12,4	1	11,6	9	2,8	0,0	20,3	14,3	24,1
Martinique	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	28,9	13,7	0,0	0,0
Montserrat	-	-	0	0,0	0	0,0	0	0,0	-	100,0	100,0	100,0
Porto Rico	0	0,0	9	9,6	0	10,1	9	3,6	0,2	9,9	1,7	5,9
République dominicaine	0	0,0	2	0,2	1	0,2	20	1,3	0,0	8,8	5,8	6,2
Sainte Lucie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	4,5	0,0	0,0	45,9
Saint-Kitts-et-Nevis	0	0,0	0	0,0	0	0,0	3	82,5	7,7	13,6	6,4	16,2
Saint-Vincent-et-les Grenadines	-	-	-	-	-	-	0	0,0	-	-	-	100,0
Trinidad and Tobago	0	0,0	8	9,0	0	2,7	15	17,8	1,1	7,8	9,2	4,4
Amérique centrale	4 780	70,2	98	0,8	135	0,9	9 798	9,9	0,0	3,1	1,7	50,1
Belize	0	0,0	0	0,0	0	0,0	5	0,9	0,0	7,5	1,9	15,4
Costa Rica	0	0,0	4	1,1	6	4,3	79	4,4	0,1	3,9	7,2	13,5
El Salvador	0	0,0	1	0,3	3	0,5	0	0,0	0,0	0,1	0,1	1,1
Guatemala	0	0,0	2	0,6	10	0,7	62	1,4	0,0	2,7	2,6	14,9
Honduras	0	0,0	3	0,4	2	0,2	17	0,5	0,0	1,2	1,2	9,3
Mexique	4 780	75,1	77	0,9	107	1,0	9 596	11,6	0,0	3,1	1,7	57,7
Nicaragua	0	0,0	4	0,5	5	0,4	28	0,7	0,1	0,2	0,0	8,7
Panama	0	0,0	7	1,6	3	0,8	11	0,7	0,0	11,6	8,5	15,1
Amérique du Sud	2 184	19,2	4 000	5,0	1 872	7,3	64 288	9,8	0,4	1,6	0,9	12,2
Argentine	490	27,5	2 256	16,1	1 675	15,5	40 396	22,9	2,0	0,5	0,2	19,4
Bolivie (État plurinational de)	0	0,0	17	1,0	36	3,2	1 464	3,9	0,0	9,5	2,8	14,0
Brésil	0	0,0	1 477	2,8	89	1,5	14 066	5,2	0,1	1,6	0,3	8,6
Chili	436	23,0	1	0,8	0	0,1	2 157	10,7	0,1	3,5	1,7	15,1
Colombie	0	0,0	36	1,3	16	0,7	1 180	3,0	0,1	3,5	3,7	7,6
Équateur	72	8,5	49	3,3	7	1,5	493	5,5	0,0	0,1	0,1	7,5

**TABLEAU A2
(SUITE)**

PAYS/ TERRITOIRE	Cultures irriguées soumises à un stress hydrique élevé ou très élevé		Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pâturages touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pourcentage de terres pour lesquelles aucune donnée n'est disponible			
	Hectares	En % des cultures irriguées	Hectares	En % des cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Hectares	En % des cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Hectares	En % des pâtures	Cultures irriguées	Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Pâtures
	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage				
Guyana	0	0,0	4	2,2	4	7,5	1	0,1	1,7	0,4	0,3	38,9
Guyane française	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	28,7	38,7	55,9
Îles Falkland (Malvinas)	-	-	-	-	-	-	0	0,0	-	-	-	0,4
Paraguay	0	0,0	50	1,7	25	1,3	2	0,0	0,0	1,1	0,8	15,9
Pérou	1 187	70,5	3	0,3	1	0,1	2 212	5,8	0,0	3,1	3,3	13,7
Suriname	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	6,0	0,3	44,7
Uruguay	0	0,0	89	7,7	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Venezuela (République bolivarienne du)	0	0,0	17	0,9	17	1,6	2 318	6,5	0,1	3,3	2,9	7,0
Amérique du Nord	7 265	25,4	0	99,0	17 465	9,6	39 810	5,9	0,2	0,0	1,0	36,2
Canada	0	0,0			9 069	23,2	1 357	0,4	0,0		0,9	36,0
États-Unis d'Amérique	7 265	26,1	0	99,0	8 396	5,9	38 433	12,0	0,2	0,0	1,1	35,6
Groenland	-	-	-	-	-	-	21	0,1	-	-	-	52,3
Saint-Pierre et Miquelon	-	-	-	-	-	-	0	0,0	-	-	-	7,7
ASIE	144 002	77,6	54 393	24,3	14 579	10,9	78 214	9,9	0,1	4,1	4,0	28,2
Asie centrale	9 214	95,9	11 979	58,0	1 459	37,2	27 502	23,7	0,0	1,0	1,9	14,7
Kazakhstan	1 577	79,9	11 753	58,6	1 036	33,7	21 940	23,8	0,0	1,0	2,2	14,7
Kirghizistan	1 064	100,0	32	20,2	39	19,7	255	2,9	0,0	0,7	0,1	1,2
Ouzbékistan	4 126	100,0	120	58,2	260	70,0	1 766	30,7	0,0	0,0	0,0	32,9
Tadjikistan	705	100,0	30	18,7	36	20,9	283	7,3	0,0	2,3	0,9	3,9
Turkménistan	1 742	100,0	44	82,4	88	80,3	3 259	61,9	0,0	2,6	2,3	25,4
Asie de l'Est	34 989	59,3	2 868	9,4	4 589	7,9	23 240	6,1	0,1	1,1	0,7	17,5
Chine	32 955	61,7	2 776	9,7	4 457	8,1	20 384	6,2	0,0	0,7	0,5	17,8
Chine - RAS de Hong-Kong	1	89,6	0	0,0	-	-	0	0,0	10,4	0,0	-	0,0
Japon	0	0,0	23	6,9	57	4,4	132	3,5	0,4	0,6	0,8	59,3
Mongolie	29	49,4	64	19,7	70	17,5	2 694	6,0	0,0	8,5	8,0	11,8
Province chinoise de Taïwan	0	0,0	4	3,4	4	1,7	1	0,4	0,7	69,9	65,3	49,9
République de Corée	771	99,2	0	0,1	2	0,4	19	1,1	0,8	0,2	0,0	0,4
République populaire démocratique de Corée	1 233	93,3	0	0,0	0	0,0	10	0,5	0,5	0,1	0,1	18,7
Asie du Sud-Est	5 636	34,5	1 507	4,3	1 464	3,4	1 705	1,5	0,2	7,5	10,9	69,4
Brunéi Darussalam	0	0,0	1	5,0	1	9,3	0	0,0	0,0	75,8	66,4	98,1
Cambodge	0	0,0	494	16,5	65	19,0	166	3,8	0,0	1,0	0,2	45,8

**TABLEAU A2
(SUITE)**

PAYS/ TERRITOIRE	Cultures irriguées soumises à un stress hydrique élevé ou très élevé		Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pâturages touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pourcentage de terres pour lesquelles aucune donnée n'est disponible			
	Hectares	En % des cultures irriguées	Hectares	En % des cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Hectares	En % des cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Hectares	En % des pâturages	Cultures irriguées	Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Pâturages
	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage				
Indonésie	3 104	72,0	92	0,7	109	0,7	208	0,5	0,2	7,2	8,1	72,4
Malaisie	0	0,0	10	0,7	31	0,6	3	0,1	0,5	35,3	31,3	86,3
Myanmar	0	0,0	354	4,9	162	9,5	662	3,7	0,6	0,7	0,2	45,6
Philippines	0	0,0	30	0,9	48	0,8	98	1,5	0,2	25,1	22,8	87,8
République démocratique populaire lao	0	0,0	5	1,1	1	1,3	1	0,0	0,0	7,7	2,7	68,4
Singapour	–	–	0	0,0	0	8,6	1	16,1	–	0,0	89,4	0,3
Thaïlande	2 518	50,9	266	4,8	382	4,5	40	0,3	0,0	5,0	2,2	97,6
Timor-Leste	14	98,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1,2	0,2	0,4	100,0
Viet Nam	0	0,0	256	14,8	666	16,8	527	5,2	0,4	0,5	0,5	47,6
Asie du Sud	81 598	94,1	30 822	26,7	4 458	19,4	18 494	16,6	0,0	4,6	0,9	38,7
Afghanistan	3 214	100,0	1 945	42,6	48	34,0	2 168	9,7	0,0	16,4	38,6	24,7
Bangladesh	3 564	96,4	548	20,6	372	17,9	20	2,2	0,2	2,0	0,3	48,3
Bhoutan	35	100,0	0	0,1	0	0,0	8	1,8	0,0	6,3	0,0	12,3
Inde	51 888	91,2	23 008	25,1	3 917	21,5	8 416	29,2	0,0	0,4	0,2	15,7
Iran (République islamique d')	6 899	99,9	4 112	41,8	83	24,7	7 126	21,3	0,1	17,5	14,4	38,7
Népal	1 138	100,0	8	1,3	2	0,2	21	0,3	0,0	1,4	4,4	41,8
Pakistan	14 319	100,0	1 196	21,3	1	11,5	637	3,8	0,0	41,2	1,7	90,8
Sri Lanka	541	99,5	5	2,4	35	2,5	99	5,9	0,5	1,4	0,7	84,4
Asie occidentale	12 566	90,9	7 217	32,7	2 608	40,5	7 272	11,1	0,0	3,9	0,6	27,2
Arabie saoudite	1 724	99,9	0	35,7	0	38,9	380	13,1	0,1	64,3	61,1	86,9
Arménie	286	100,0	13	6,7	3	8,0	16	0,8	0,0	0,2	0,0	0,6
Azerbaïdjan	1 437	100,0	149	33,6	33	38,6	1 379	28,1	0,0	0,9	5,0	1,5
Bahreïn	1	100,0	–	–	–	–	0	0,0	0,0	–	–	100,0
Chypre	43	99,6	0	0,0	0	0,0	28	6,0	0,4	0,2	0,0	34,6
Émirats arabes unis	269	99,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,1	100,0	100,0	100,0
Géorgie	224	74,9	34	6,8	1	0,4	19	0,7	0,0	3,6	1,4	2,0
Iraq	3 526	100,0	372	18,7	4	16,4	18	0,2	0,0	31,6	12,8	77,3
Israël	167	99,9	0	0,6	4	1,6	2	0,6	0,1	0,0	0,1	38,5
Jordanie	75	99,9	16	21,5	18	14,0	82	11,8	0,1	7,1	3,3	68,9
Koweït	6	100,0	–	–	–	–	0	0,0	0,0	–	–	100,0
Liban	107	100,0	26	21,3	6	7,7	136	25,3	0,0	0,0	0,0	4,6
Oman	59	98,2	0	0,0	0	0,0	5	1,9	1,8	100,0	100,0	94,4
Palestine	22	100,0	0	0,0	0	0,0	21	7,0	0,0	69,7	2,5	15,4
Qatar	12	100,0	–	–	–	–	0	0,0	0,0	–	–	100,0
République arabe syrienne	1 262	100,0	676	58,9	839	68,9	968	25,3	0,0	2,9	0,8	54,3

TABLEAU A2
(SUITE)

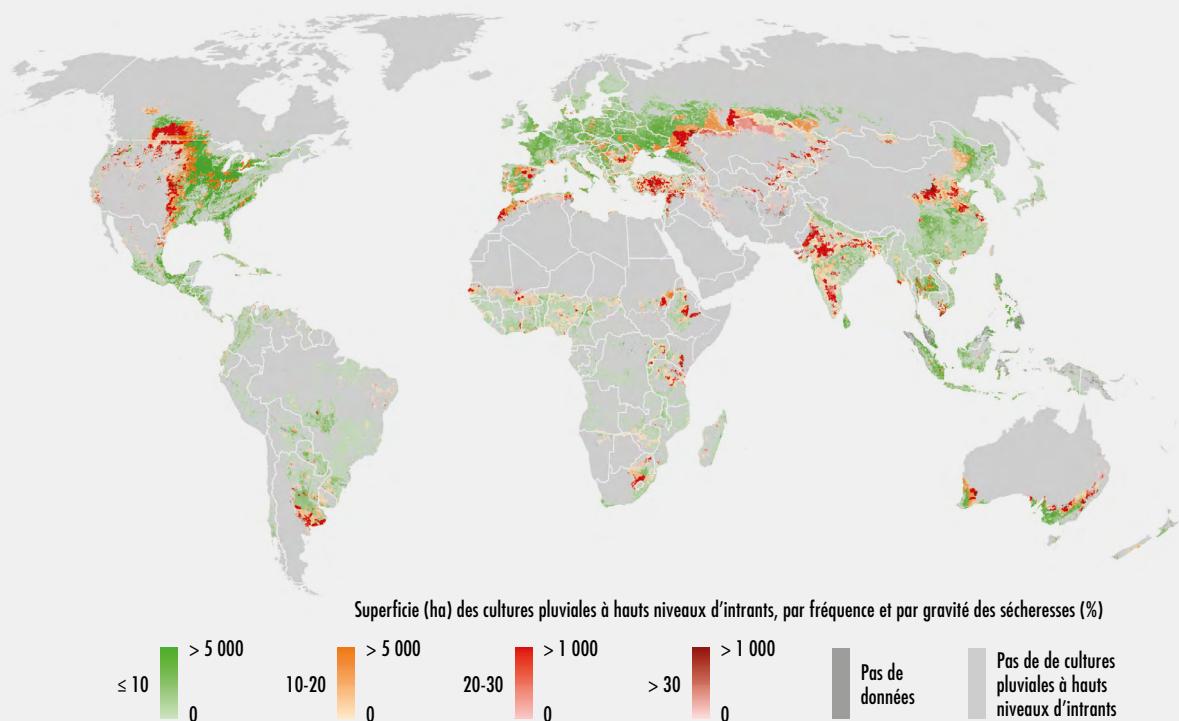
PAYS/ TERRITOIRE	Cultures irriguées soumises à un stress hydrique élevé ou très élevé		Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pâturages touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pourcentage de terres pour lesquelles aucune donnée n'est disponible			
	Hectares	En % des cultures irriguées	Hectares	En % des cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Hectares	En % des cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Hectares	En % des pâturages	Cultures irriguées	Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Pâturages
	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage				
Turquie	2 956	71,4	5 931	33,8	1 700	38,4	4 198	11,2	0,1	1,0	0,3	13,0
Yémen	390	100,0	0	18,8	0	0,0	20	3,2	0,0	81,2	100,0	96,5
EUROPE	3 095	11,8	2 372	5,7	9 332	4,2	4 289	0,6	0,1	1,1	0,2	17,3
Europe orientale	8	0,1	2 112	7,0	7 885	5,2	3 501	0,6	0,0	1,0	0,2	13,9
Bélarus	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5
Bulgarie	0	0,0	7	0,3	11	1,2	33	0,9	0,0	0,0	0,0	3,0
Fédération de Russie	8	0,2	1 981	10,9	7 001	7,7	3 467	0,6	0,1	1,6	0,2	14,7
Hongrie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2
Pologne	0	0,0	4	0,1	29	0,3	0	0,0	0,1	0,1	0,1	3,1
République de Moldova	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
Roumanie	0	0,0	104	7,9	753	11,8	0	0,0	0,0	0,5	0,0	3,0
Slovaquie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3
Tchéquie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9
Ukraine	0	0,0	16	0,4	91	0,3	0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3
Europe septentrionale	0	0,0	28	0,8	109	0,8	13	0,0	0,6	0,3	0,3	51,4
Danemark	0	0,0	22	7,4	91	6,3	13	1,4	0,8	0,4	0,3	56,7
Estonie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4
Finlande	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,3	0,4	0,2	97,3
Guernesey	-	-	-	-	-	-	0	0,0	-	-	-	0,0
Île de Man	-	-	-	-	-	-	0	0,0	-	-	-	0,0
Îles Féroé	-	-	-	-	-	-	0	0,0	-	-	-	0,0
Irlande	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,5	2,2	1,8	0,5
Islande	-	-	-	-	-	-	0	0,0	-	-	-	44,8
Jersey	-	-	-	-	-	-	0	0,0	-	-	-	0,0
Lettonie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,8
Lituanie	0	0,0	0	0,0	3	0,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0
Norvège	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1,1	0,1	0,3	96,8
Suède	0	0,0	6	1,0	11	0,6	0	0,0	0,6	0,4	0,1	66,6
Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	0	0,0	0	0,0	4	0,1	0	0,0	0,2	0,6	0,4	0,8
Europe méridionale	2 037	20,2	178	3,1	1 197	4,4	747	2,0	0,2	1,7	0,9	26,0
Albanie	0	0,0	40	9,1	7	8,1	29	2,7	0,0	1,3	0,1	3,5
Andorre	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7
Bosnie- Herzégovine	0	0,0	0	5,3	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4
Croatie	0	0,0	3	1,6	2	0,1	2	0,1	0,3	0,0	0,0	11,4

TABLEAU A2
(SUITE)

PAYS/ TERRITOIRE	Cultures irriguées soumises à un stress hydrique élevé ou très élevé		Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants touchées par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pâturages touchés par des sécheresses fréquentes ou très fréquentes		Pourcentage de terres pour lesquelles aucune donnée n'est disponible			
	Hectares	En % des cultures irriguées	Hectares	En % des cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Hectares	En % des cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Hectares	En % des pâturages	Cultures irriguées	Cultures pluviales à faibles niveaux d'intrants	Cultures pluviales à hauts niveaux d'intrants	Pâturages
	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage	Milliers	Pourcentage				
Espagne	837	23,8	86	4,0	1 024	8,3	500	3,6	0,2	3,5	1,8	39,1
Grèce	0	0,0	10	2,7	78	4,1	87	2,0	0,4	0,4	0,0	0,5
Îles Madère	3	98,1	–	–	–	–	0	0,7	1,9	–	–	11,9
Italie	1 197	31,7	13	0,6	25	0,5	42	0,6	0,2	0,1	0,2	21,2
Macédoine du Nord	0	0,0	1	0,6	2	0,5	10	1,2	0,0	1,3	1,0	1,2
Malte	0	0,0	1	29,9	0	34,2	0	0,0	0,3	0,0	0,0	66,7
Monténégro	0	0,0	0	1,9	3	0,9	2	0,4	0,0	0,0	2,0	2,7
Portugal	0	0,0	24	7,1	55	3,9	76	3,2	0,2	3,1	0,6	59,6
Saint-Marin	0	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	86,3
Saint-Siège	0	0,0	–	–	–	–	–	–	0,0	–	–	–
Serbie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,2	25,2
Slovénie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7
Europe occidentale	1 050	26,1	53	2,4	141	0,5	27	0,1	0,1	0,9	0,0	6,5
Allemagne	136	26,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1
Antilles néerlandaises	–	–	–	–	–	–	17	93,1	–	–	–	6,9
Autriche	0	0,0	5	5,9	24	1,9	0	0,0	0,0	1,0	0,2	9,0
Belgique	40	99,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0
France	423	14,7	48	4,3	117	0,8	10	0,1	0,0	0,3	0,1	5,6
Liechtenstein	–	–	0	0,0	0	0,0	0	0,0	–	0,0	0,0	0,0
Luxembourg	0	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Monaco	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	60,6	0,0	0,0	0,0
Pays-Bas	437	97,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,5	10,1	0,3	6,1
Suisse	13	32,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,3	0,1	14,4
OCÉANIE	0	0,0	3 533	17,2	2 963	12,9	211 876	40,3	0,1	2,4	0,9	45,0
Australie et Nouvelle- Zélande	0	0,0	3 521	17,6	2 960	12,9	211 485	41,4	0,1	1,6	0,6	44,9
Australie	0	0,0	3 519	18,6	2 957	13,6	211 432	42,4	0,0	0,2	0,1	45,5
Nouvelle-Zélande	0	0,0	2	0,2	3	0,3	53	0,4	0,2	25,4	10,3	19,4
Mélanésie	0	0,0	12	2,1	3	1,6	391	2,6	0,0	30,1	37,7	50,3
Fidji	0	0,0	0	0,0	0	0,0	63	19,3	0,0	0,0	0,0	36,3
Îles Salomon	–	–	0	0,8	0	0,4	1	1,7	–	76,9	79,1	36,2
Nouvelle- Calédonie	–	–	2	4,3	0	6,6	53	7,2	–	5,9	2,0	3,8
Papouasie- Nouvelle-Guinée	–	–	5	1,6	3	1,4	259	1,9	–	32,7	38,7	52,2
Vanuatu	–	–	5	5,9	0	5,3	14	4,5	–	57,3	58,4	95,5

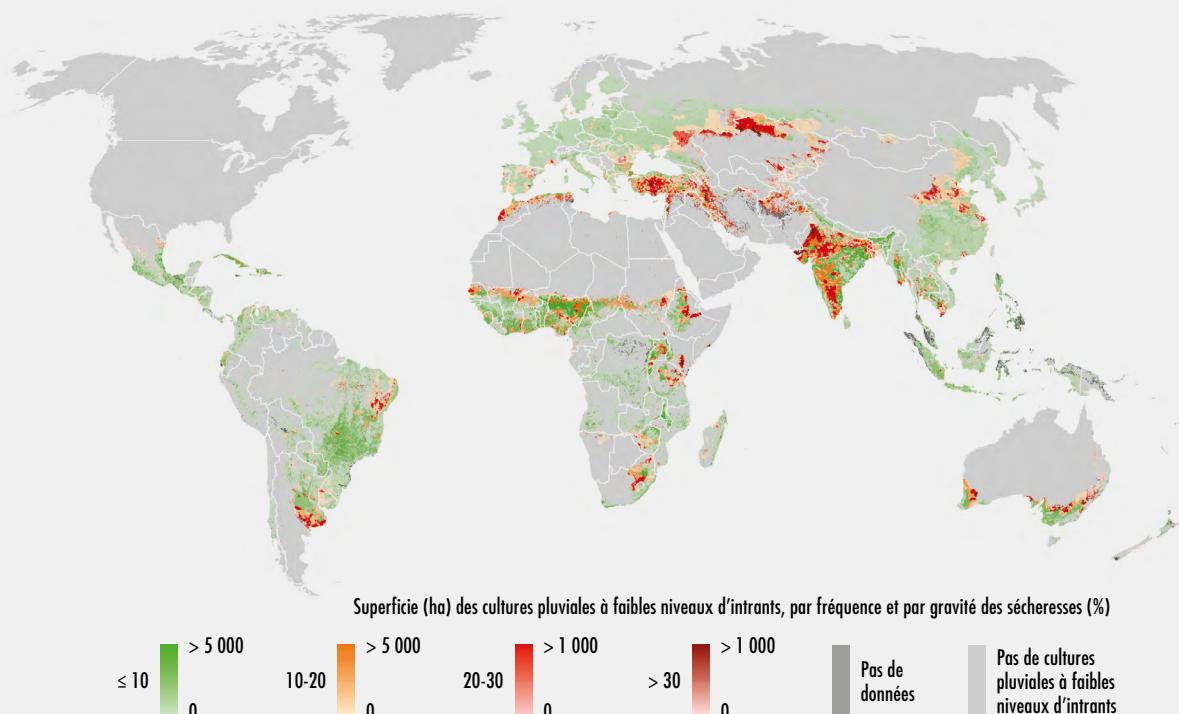
NOTE: À des fins statistiques, les données relatives à la Chine excluent la Chine - RAS de Hong-Kong et la Province chinoise de Taiwan. Les données relatives au Portugal et aux Pays-Bas ne comprennent pas les îles Madère et les Antilles néerlandaises, respectivement.

FIGURE A1
FRÉQUENCE DES ÉPISODES DE SÉCHERESSE DANS LES CULTURES PLUVIALES À HAUTS NIVEAUX D'INTRANTS, 1984-2018



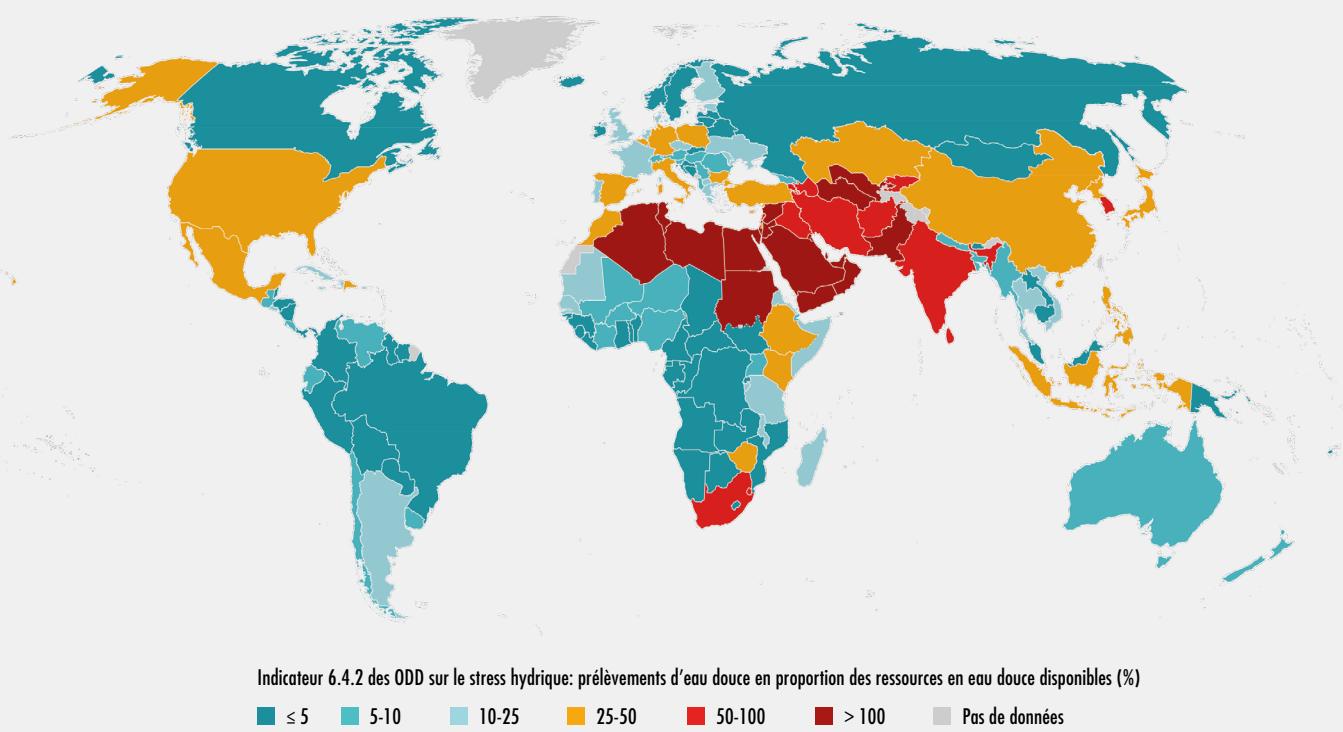
NOTE: Pour une description de la légende, voir les notes de la figure 5, p. 32.
SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2019¹; FAO et IIASA, 2020²; et IFPRI, 2019³.

FIGURE A2
FRÉQUENCE DES ÉPISODES DE SÉCHERESSE DANS LES CULTURES PLUVIALES À FAIBLES NIVEAUX D'INTRANTS, 1984-2018



NOTE: Pour une description de la légende, voir les notes de la figure 5, p. 32.
SOURCE: Figure élaborée par la FAO, d'après FAO, 2019¹; FAO et IIASA, 2020²; et IFPRI, 2019³.

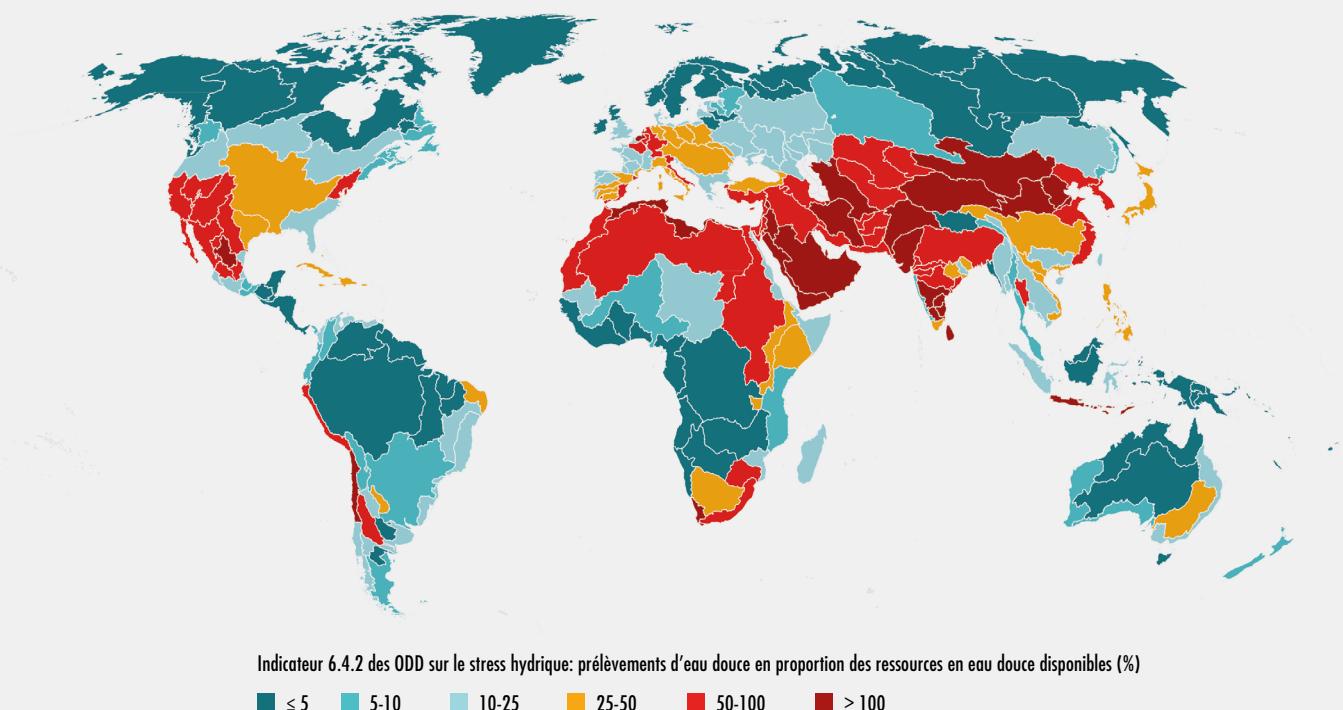
FIGURE A3
INDICATEUR 6.4.2 DES ODD – STRESS HYDRIQUE, AU NIVEAU DES PAYS, 2015



NOTE: Pour une description de la légende, voir les notes de la figure 7, p. 34.

SOURCE: FAO, 2020⁴.

FIGURE A4
INDICATEUR 6.4.2 DES ODD – STRESS HYDRIQUE, AU NIVEAU DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES, 2015



NOTE: Pour une description de la légende, voir les notes de la figure 7, p. 34.

SOURCE: FAO, 2020⁴.

BIBLIOGRAPHIE

GLOSSAIRE

1. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). 2020. AQUASTAT. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 15 août 2020] www.fao.org/aquastat/fr/databases/glossary/.
2. FAO. 2016. *Exploring the concept of water tenure*. Land and Water Discussion Paper No. 10. Rome. 89 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i5435e.pdf).
3. FAO. 2019. *GEMI - Suivi intégré de l'objectif de développement durable (ODD) 6: méthodologie par étape pour le suivi de l'indicateur 6.4.2* [en ligne] [référencé le 6 août 2020] www.fao.org/3/ca8483fr/ca8483fr.pdf.
4. FAO. 2018. *Progrès relatifs aux niveaux de stress hydrique – Cadre de référence mondial pour l'indicateur 6.4.2 des ODD*. Rome: FAO/ONU-Eau. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 60 pages (également disponible en ligne: www.unwater.org/app/uploads/2018/12/SDG6_Indicator_Report_642_Progress-on-Level-of-Water-Stress_2018_FRENCH.pdf.pdf).
5. Batchelor, C., Hoogeveen, J., Faures, J.M. & Peiser, L. 2017. Recueil de comptabilité et d'audit de l'eau. FAO, Rapport sur l'eau n° 43. Rome. 248 pages (également disponible en ligne: <http://www.fao.org/3/i5923fr/I5923FR.pdf>).
6. FAO. 2014. *Gouvernance des ressources en eau à l'appui de l'agriculture et de la sécurité alimentaire*. Comité de l'agriculture, Vingt-quatrième session, Rome, 29 septembre-3 octobre 2014 [COAG/2014/6] [en ligne] [référencé le 12 août 2020] www.fao.org/3/a-mk967f.pdf.
7. FAO. 2012. *Faire face à la pénurie d'eau: un cadre d'action pour l'agriculture et la sécurité alimentaire*. FAO, Rapport sur l'eau n° 38. Rome. 97 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i3015f.pdf).
8. CEO Water Mandate, United Nations Global Compact et World Resources Institute. 2014. *Driving Harmonization of Water-Related Terminology*. Discussion paper. Oakland (États-Unis d'Amérique), Pacific Institute.

CHAPITRE 1

1. FAO. 1993. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 1993. Politiques de l'eau et agriculture*. Rome. 332 pages (également disponible en ligne: <http://www.fao.org/3/a-i0800f.pdf>).
2. FAO. 2012. *Faire face à la pénurie d'eau: un cadre d'action pour l'agriculture et la sécurité alimentaire*. FAO, Rapport sur l'eau n° 38. Rome. 96 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i3015f.pdf).

3. FAO. 2016. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2016. Changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire*. Rome. 214 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i6030f.pdf).
4. Gohar, A.A., Cashman, A. et Ward, F.A. 2019. Managing food and water security in small island states: new evidence from economic modelling of climate stressed groundwater resources. *Journal of Hydrology*, 569: 239-251.
5. Holding, S., Allen, D.M., Foster, S., Hsieh, A., Larocque, I., Klassen, J. et Van Pelt, S.C. 2016. Groundwater vulnerability on small islands. *Nature Climate Change*, 6(12): 1100-1103.
6. Veldkamp, T.I.E., Wada, Y., Aerts, J.C.J.H. et Ward, P.J. 2016. Towards a global water scarcity risk assessment framework: incorporation of probability distributions and hydro-climatic variability. *Environmental Research Letters*, 11(2): 024006 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/2/024006>.
7. McDonald, R.I., Green, P., Balk, D., Fekete, B.M., Revenga, C., Todd, M. et Montgomery, M. 2011. Urban growth, climate change, and freshwater availability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(15): 6312-6317.
8. ONU, Département des affaires économiques et sociales (DESA), Division de la population. 2019. *World Population Prospects 2019*. Édition en ligne. Rev. 1. Division de la population. Dans: *Organisation des Nations Unies* [en ligne] [référencé le 1er août 2020] <https://population.un.org/wpp/>.
9. Falkenmark, M. et Widstrand, C. 1992. Population and water resources: a delicate balance. *Population Bulletin*, 47(3): 1-36.
10. Falkenmark, M. 1989. The massive water scarcity now threatening Africa: why isn't it being addressed? *Ambio*, 18: 112-118.
11. FAO. 2020. AQUASTAT. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 15 août 2020] www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=fr.
12. Shiklomanov, I.A. 2000. Appraisal and Assessment of World Water Resources. *Water International*, 25(1): 11-32.
13. Food Security Information Network (FSIN). 2019. *Global report on food crises 2019. Joint analysis for better decisions*. Rome et Washington. FAO, PAM et IFPRI.
14. Mugagga, F. et Nabaasa, B.B. 2016. The centrality of water resources to the realization of Sustainable Development Goals (SDG). A review of potentials and constraints on the African continent. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(3): 215-223.

- 15. Funge-Smith, S.J.** 2018. *Review of the state of world fishery resources. Inland fisheries*. FAO, Circulaire sur les pêches et l'aquaculture n° 942 Rev. 3. Rome, FAO [également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca0388en/CA0388EN.pdf].
- 16.** Lynch, A.J., Baumgartner, L.J., Boys, C.A., Conallin, J., Cowx, I.G., Finlayson, C.M., Franklin, P.A., Hogan, Z., Koehn, J.D., McCartney, M.P., O'Brien, G., Phouthavong, K., Silva, L.G.M., Tob, C.A., Valbo-Jørgensen, J., Vu, A.V., Whiting, L., Wibowo, A. et Duncan, P. 2019. Speaking the same language: can the sustainable development goals translate the needs of inland fisheries into irrigation decisions? *Marine and Freshwater Research*, 70(9): 1211-1228.
- 17. AP News Agency.** 2020. Egypt: Ethiopia rejecting 'fundamental issues' on Nile dam. *Aljazeera*, 14 juin 2020 [également disponible en ligne: www.aljazeera.com/news/2020/06/egypt-ethiopia-rejecting-fundamental-issues-nile-dam-200614113558814.html].
- 18. FAO.** 2017. *L'Avenir de l'alimentation et de l'agriculture – Tendances et défis*. Rome. 52 pages [également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i6881f.pdf].
- 19. FAO et Earthscan.** 2011. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Managing systems at risk*. Rome, FAO, et Londres, Earthscan. 309 pages [également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i1688e.pdf] [rapport de synthèse également disponible en ligne [L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde – Gérer les systèmes en danger]: www.fao.org/3/a-i1688f.pdf].
- 20. ONU.** 1998. Standard country or area codes for statistical use. Dans: *Division de la statistique de l'Organisation des nations Unies* [en ligne] [référencé le 1^{er} août 2020] <http://unstats.un.org/unsd/methods/m49/m49.htm>.
- 21. Banque mondiale.** 2017. Nouvelle classification des pays en fonction de leur revenu: actualisation 2017-2018. Dans: *Banque mondiale* [en ligne] <https://blogs.worldbank.org/fr/opendata/nouvelle-classification-des-pays-en-fonction-de-leur-revenu-actualisation-2017-2018>.
- 22. Global Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition.** 2016. *Food systems and diets: facing the challenges of the 21st century*. Londres (Royaume-Uni), Global Panel [note de synthèse *[Systèmes et régimes alimentaires: faire face aux défis du 21^{ème siècle]}*: www.glopan.org/wp-content/uploads/2019/06/ForesightSummaryFrench.pdf].
- 23. Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI).** 2017. *2017 Global Food Policy Report*. Washington (Rapport sur les politiques alimentaires mondiales – Synopsis: <http://ebrary.ifpri.org/utils/getfile/collection/p15738coll2/id/131133/filename/131344.pdf>).
- 24. Mekonnen, M.M. et Hoekstra, A.Y.** 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15(3): 401-415.
- 25. Aleksandrowicz, L., Green, R., Joy, E.J.M., Smith, P. et Haines, A.** 2016. The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: a systematic review. *PLOS ONE*, 11(11): e0165797 [en ligne] [référencé le 11 avril 2020] <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165797>.
- 26. Mottet, A., de Haan, C., Falccucci, A., Tempio, G., Opio, C. et Gerber, P.** 2017. Livestock: on our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security*, 14: 1-8.
- 27. Gephart, J.A., Troell, M., Henriksson, P.J.G., Beveridge, M.C.M., Verdegem, M., Metian, M., Mateos, L.D. et Deutsch, L.** 2017. The 'seafood gap' in the food-water nexus literature—issues surrounding freshwater use in seafood production chains. *Advances in Water Resources*, 110: 505-514.
- 28. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Fonds international de développement agricole (FIDA), Organisation mondiale de la Santé (OMS), Programme alimentaire mondial (PAM) et Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF).** 2020. *L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2020. Transformer les systèmes alimentaires pour une alimentation saine et abordable*. Rome, FAO [également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca9692fr/CA9692FR.pdf].
- 29. Thornton, P.K. et Herrero, M.** 2010. *The inter-linkages between rapid growth in livestock production, climate change, and the impacts on water resources, land use, and deforestation*. Policy Research Working Papers. Washington, Banque mondiale.
- 30. Gill, M., Feliciano, D., Macdiarmid, J. et Smith, P.** 2015. The environmental impact of nutrition transition in three case study countries. *Food Security*, 7(3): 493-504.
- 31. Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition (HLPE).** 2015. *L'eau, enjeu pour la sécurité alimentaire mondiale*. Rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition du Comité de la sécurité alimentaire mondiale. Rome, FAO. 151 pages [également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-av045f.pdf].
- 32. ONU.** 2010. Le droit de l'homme à l'eau et à l'assainissement. Résolution de l'Assemblée générale A/RES/64/292.
- 33. Lowder, S.K., Skoet, J. et Raney, T.** 2016. The number, size, and distribution of farms, smallholder farms, and family farms worldwide. *World Development*, 87: 16-29.
- 34. Li, X., Waddington, S.R., Dixon, J., Joshi, A.K. et de Vicente, M.C.** 2011. The relative importance of drought and other water-related constraints for major food crops in South Asian farming systems. *Food Security*, 3(1): 19-33.

BIBLIOGRAPHIE

35. Balasubramanya, S. et Stifel, D. 2020. Viewpoint: Water, agriculture and poverty in an era of climate change: Why do we know so little? *Food Policy*, 93: 101905 [en ligne] [référencé le 25 juin 2020] <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306919220301093>.
36. Burney, J.A. et Naylor, R.L. 2012. Smallholder irrigation as a poverty alleviation tool in sub-Saharan Africa. *World Development*, 40(1): 110-123.
37. Burney, J.A., Naylor, R.L. et Postel, S.L. 2013. The case for distributed irrigation as a development priority in sub-Saharan Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31): 12513-12517.
38. Xie, H., You, L., Wielgosz, B. et Ringler, C. 2014. Estimating the potential for expanding smallholder irrigation in Sub-Saharan Africa. *Agricultural Water Management*, 131: 183-193.
39. Nakawuka, P., Langan, S., Schmitter, P. et Barron, J. 2018. A review of trends, constraints and opportunities of smallholder irrigation in East Africa. *Global Food Security*, 17: 196-212.
40. Bouma, J.A., Hegde, S.S. et Lasage, R. 2016. Assessing the returns to water harvesting: a meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 163: 100-109.
41. Malabo Montpellier Panel. 2018. *Water-wise: smart irrigation strategies for Africa*. Un rapport du Panel Malabo Montpellier. Dakar [Résumé disponible en ligne: <https://fr.mamopanel.org/media/uploads/files/FR-WaterWise-Summary.pdf>].
42. FAO. 2011. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2010-11. Le rôle des femmes dans l'agriculture. Combler le fossé entre les hommes et les femmes pour soutenir le développement*. Rome. 174 pages [également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i2050f.pdf].
43. FAO. 2012. *Passeport pour l'intégration des considérations de parité dans les programmes de gestion de l'eau: questions essentielles pour les interventions dans le secteur agricole*. Rome. 68 pages [également disponible en ligne: www.fao.org/3/i3173f/i3173f.pdf].
44. Haut-Commissariat des Nations Unies aux droits de l'homme (HCDH). 2016. Recommandation générale n° 34 (2016) sur les droits des femmes rurales [en ligne] [référencé le 1^{er} août 2020] file:///C:/Users/HOME/AppData/Local/Temp/N1606190.pdf. CEDAW/C/GC/34. Genève, Comité pour l'élimination de la discrimination à l'égard des femmes [<https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N16/061/91/pdf/N1606191.pdf?OpenElement>].
45. Tsur, Y. et Dinar, A. 1995. *Efficiency and equity considerations in pricing and allocating irrigation water*. Policy Research Working Paper No. 1460. Washington, Banque mondiale. 40 pages.
46. Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). 2015. *Water resources allocation: sharing risks and opportunities*. OECD Studies on Water. Paris. 144 pages [également disponible en ligne: www.oecd-ilibrary.org/environment/water-resources-allocation_9789264229631-en].
47. Roa-Garcia, M. 2014. Equity, efficiency and sustainability in water allocation in the Andes: trade-offs in a full world. *Water Alternatives*, 7(2): 298-319.
48. Mehta, L. 2006. *Water and human development: capabilities, entitlements and power* [en ligne]. Document établi pour le Rapport sur le développement humain 2006. Institute of Development Studies [référencé le 1^{er} août 2020] www.hdr.undp.org/sites/default/files/mehta_l_rev.pdf.
49. Jägermeyr, J., Pastor, A., Biemans, H. et Gerten, D. 2017. Reconciling irrigated food production with environmental flows for Sustainable Development Goals implementation. *Nature Communications*, 8(1): 15900.
50. Conférence internationale sur l'eau et l'environnement. 1992. *Déclaration de Dublin sur l'eau dans la perspective d'un développement durable* [en ligne]. Dublin [référencé le 1^{er} août 2020] [[https://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/documents/francais/icwedecf.html#~:text=quatre%20grands%20principes.,Principe%20No.,et%20protection%20des%20%C3%A9cosyst%C3%A8mes%20naturels](http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/documents/francais/icwedecf.html#~:text=quatre%20grands%20principes.,Principe%20No.,et%20protection%20des%20%C3%A9cosyst%C3%A8mes%20naturels)].
51. Morgera, E., Webster, E., Hamley, G., Sindico, F., Robbie, J., Switzer, S., Berger, T., Silva Sánchez, P., Lennan, M., Martin-Nagle, R., Tsiontani, E., Moynihan, R. et Zydek, A. 2020. *The right to water for food and agriculture*. Rome, FAO. 143 pages [également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca8248en/CA8248EN.pdf].
52. van der Zaag, P. et Savenije, H. 2006. *Water as an economic good: the value of pricing and the failure of markets*. Value of Water Research Report Series No. 19. Delft (Pays-Bas), UNESCO-IHE.
53. Gravelle, H. et Rees, R. 2004. *Microeconomics*. Troisième édition. Harlow (Royaume-Uni), Financial Times/Prentice Hall.
54. Hardin, G. 1968. The tragedy of the commons. *Science*, 162(3859): 1243-1248.

- 55. Ostrom, E.** 1990. *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. New York (États-Unis d'Amérique), Cambridge University Press.
- 56. FAO.** 2016. *La gouvernance foncière des biens communs. Guide technique pour promouvoir la mise en œuvre des Directives volontaires pour une gouvernance responsable des régimes fonciers applicables aux terres, aux pêches et aux forêts dans le contexte de la sécurité alimentaire nationale*. Guide technique pour la gouvernance des régimes fonciers n° 8. Rome. 100 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i6381f.pdf).
- 57. Cotula, L.** 2008. The property rights challenges of improving access to water for agriculture: lessons from the Sahel. *Journal of Human Development*, 9(1): 5-22.
- 58. Vapnek, J., Aylward, B., Popp, C. et Bartram, J.** 2009. *Law for water management. A guide to concepts and effective approach*. FAO Legislative Study No. 101. Rome, FAO. 359 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i1284e.pdf).
- 59. FAO.** 2018. *Sustainable food systems: concept and framework* [en ligne]. Technical Brief. Rome [référencé le 1^{er} août 2020] www.fao.org/3/ca2079en/CA2079EN.pdf.
- 60. Mateo-Sagasta, J., Marjani Zadeh, S. et Turrall, H. (dir. pub.).** 2018. *More people, more food, worse water? A global review of water pollution from agriculture*. Rome et Colombo, FAO et Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI). 221 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca0146en/CA0146EN.pdf).
- 61. Kirby, R.M., Bartram, J. et Carr, R.** 2003. Water in food production and processing: quantity and quality concerns. *Food Control*, 14(5): 283-299.
- 62. Damania, R., Desbureaux, S., Rodella, A.-S., Russ, J. et Zaveri, E.** 2019. *Quality unknown: the invisible water crisis*. Washington, Banque mondiale [résumé analytique disponible en ligne [Qualité inconnue: la crise invisible de l'eau]: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/32245/211459ovFR.pdf?sequence=1&etisAllowed=y>].
- 63. Mateo-Sagasta, J. et Burke, J.** 2011. *Agriculture and water quality interactions: a global overview*. SOLAW Background Thematic Report No. 8. Rome, FAO. 46 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-bl092e.pdf).
- 64. Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau (WWAP).** 2019. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2019: ne laisser personne pour compte*. Paris, UNESCO [<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367305>].
- 65. Zeng, R., Cai, X., Ringler, C. et Zhu, T.** 2017. Hydropower versus irrigation—an analysis of global patterns. *Environmental Research Letters*, 12(3): 034006 [en ligne] [référencé le 1^{er} août 2020] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa5f3f>.
- 66. Cai, X., McKinney, D.C. et Rosegrant, M.W.** 2003. Sustainability analysis for irrigation water management in the Aral Sea region. *Agricultural Systems*, 76(3): 1043-1066.
- 67. Greimel, F., Schüttling, L., Graf, W., Bondar-Kunze, E., Auer, S., Zeiringer, B. et Hauer, C.** 2018. Hydropoeaking impacts and mitigation. Dans: S. Schmutz et J. Sendzimir (dir. pub.). *Riverine ecosystem management*, p. 91-110. Cham (Suisse), Springer International Publishing.
- 68. Schmutz, S., Bakken, T.H., Friedrich, T., Greimel, F., Harby, A., Jungwirth, M., Melcher, A., Unfer, G. et Zeiringer, B.** 2015. Response of fish communities to hydrological and morphological alterations in hydropoeaking rivers of Austria. *River Research and Applications*, 31(8): 919-930.
- 69. Yoshida, Y., Lee, H.S., Trung, B.H., Tran, H.-D., Lall, M.K., Kakar, K. et Xuan, T.D.** 2020. Impacts of mainstream hydropower dams on fisheries and agriculture in Lower Mekong Basin. *Sustainability*, 12(6): 2408 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] www.mdpi.com/2071-1050/12/6/2408.
- 70. Young, P.S., Cech, J.J. et Thompson, L.C.** 2011. Hydropower-related pulsed-flow impacts on stream fishes: a brief review, conceptual model, knowledge gaps, and research needs. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21(4): 713-731.
- 71. Yüksel, I.** 2010. Hydropower for sustainable water and energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1): 462-469.
- 72. Amjath-Babu, T.S., Sharma, B., Brouwer, R., Rasul, G., Wahid, S.M., Neupane, N., Bhattachari, U. et Sieber, S.** 2019. Integrated modelling of the impacts of hydropower projects on the water-food-energy nexus in a transboundary Himalayan river basin. *Applied Energy*, 239: 494-503.

BIBLIOGRAPHIE

73. Räsänen, T.A., Joffre, O.M., Someth, P., Thanh-Cong, T., Keskinen, M. et Kummu, M. 2015. Model-based assessment of water, food, and energy trade-offs in a cascade of multipurpose reservoirs: case study of the Sesan tributary of the Mekong River. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(1): 05014007 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29WVR.1943-5452.0000459>.
74. Conway, D., van Garderen, E.A., Deryng, D., Dorling, S., Krueger, T., Landman, W., Lankford, B., Lebek, K., Osborn, T., Ringler, C., Thurlow, J., Zhu, T. et Dalin, C. 2015. Climate and southern Africa's water-energy-food nexus. *Nature Climate Change*, 5(9): 837-846.
75. HLPE. 2013. *Agrocarburants et sécurité alimentaire*. Rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition, Comité de la sécurité alimentaire mondiale. Rome, FAO. 156 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i2952f.pdf).
76. Rulli, M.C., Bellomi, D., Cazzoli, A., De Carolis, G. et D'Odorico, P. 2016. The water-land-food nexus of first-generation biofuels. *Scientific Reports*, 6(1): 22521 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://doi.org/10.1038/srep22521>.
77. Stone, K. 2015. *Water at Risk: The impact of biofuels expansion on water resources and poverty*. Washington, ActionAid USA.
78. Eide, A. 2008. *The right to food and the impact of liquid biofuels (agrofuels)*. Right to Food Study. Rome, FAO. 54 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-ap550e.pdf).
79. FAO. 2017. *Water for sustainable food and agriculture: a report produced for the G20 Presidency of Germany*. Rome. 27 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i7959e.pdf).
80. FAO. 2008. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2008. Les biocarburants: perspectives, risques et opportunités*. Rome. 156 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/i0100f/i0100f.pdf).
81. Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y. et van der Meer, T.H. 2009. The water footprint of energy from biomass: a quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. *Ecological Economics*, 68(4): 1052-1060.
82. Xie, X., Zhang, T., Wang, L. et Huang, Z. 2017. Regional water footprints of potential biofuel production in China. *Biotechnology for Biofuels*, 10(1): 95 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0778-0>.
83. FAO. 2014. FAO at World Water Week 2014. Why water and energy matter for agriculture? Dans: FAO [en ligne] [référencé le 1^{er} août 2020] www.fao.org/land-water/news-archive/news-detail/en/c/267274/.
84. United States Department of Energy (USDE). 2014. *The water-energy nexus: challenges and opportunities*. Washington.
85. Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N.W., Clark, D.B., Dankers, R., Eisner, S., Fekete, B.M., Colón-González, F.J., Gosling, S.N., Kim, H., Liu, X., Masaki, Y., Portmann, F.T., Satoh, Y., Stacke, T., Tang, Q., Wada, Y., Wisser, D., Albrecht, T., Frieler, K., Piontek, F., Warszawski, L. et Kabat, P. 2014. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3245-3250.
86. FAO et Institut international de l'eau de Stockholm (SIWI). (À paraître). *Nutrition-sensitive water productivity – rationale, methodology, farmers and policy*. Stockholm International Water Institute. FAO Land and Water Discussion Papers. Rome.
87. FAO. 2019. *Water use in livestock production systems and supply chains – guidelines for assessment (Version 1)*. Rome, Partenariat pour l'évaluation et la performance environnementales de l'élevage (LEAP). 126 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca5685en/ca5685en.pdf).
88. FAO. 2019. *Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: guidelines for assessment (Version 1)*. Partenariat pour l'évaluation et la performance environnementales de l'élevage (LEAP). Rome. 170 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca2934en/CA2934EN.pdf).
89. Doreau, M., Corson, M.S. et Wiedemann, S.G. 2012. Water use by livestock: a global perspective for a regional issue? *Animal Frontiers*, 2(2): 9-16.
90. Kumar, C., Begeladze, S., Calmon, M. et Saint-Laurent, C. 2015. *Enhancing food security through forest landscape restoration: lessons from Burkina Faso, Brazil, Guatemala, Viet Nam, Ghana, Ethiopia and Philippines*. Gland (Suisse), IUCN.
91. Sheil, D. 2018. Forests, atmospheric water and an uncertain future: the new biology of the global water cycle. *Forest Ecosystems*, 5(1): 19.
92. Walker, C., Beretta, C., Sanjuán, N. et Hellweg, S. 2018. Calculating the energy and water use in food processing and assessing the resulting impacts. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(4): 824-839.

- 93. Manzardo, A., Mazzi, A., Loss, A., Butler, M., Williamson, A. et Scipioni, A.** 2016. Lessons learned from the application of different water footprint approaches to compare different food packaging alternatives. *Journal of Cleaner Production*, 112: 4657-4666.
- 94. Ölmez, H.** 2013. Water consumption, reuse and reduction strategies in food processing. Dans: B.K. Tiwari, T. Norton et N.M. Holden (dir. pub.). *Sustainable Food Processing*, p. 401-434. Chichester (Royaume-Uni), John Wiley & Sons.
- 95. Meneses, Y.E. et Wang, B.** 2020. Water use in the food industry. Document établi pour *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2020. Relever le défi de l'eau dans l'agriculture*. Nebraska (États-Unis d'Amérique), University of Nebraska-Lincoln.
- 96. Hansen, C.L. et Cheong, D.Y.** 2019. Agricultural waste management in food processing. Dans: M. Kutz (dir. pub.). *Handbook of farm, dairy and food machinery engineering*. Troisième édition, p. 637-716. Academic Press.
- 97. Noukeu, N.A., Gouado, I., Priso, R.J., Ndongo, D., Taffouo, V.D., Dibong, S.D. et Ekodeck, G.E.** 2016. Characterization of effluent from food processing industries and stillage treatment trial with *Eichhornia crassipes* (Mart.) and *Panicum maximum* (Jacq.). *Water Resources and Industry*, 16: 1-18.
- 98. Amabye, T.G.** 2015. Effect of food processing industries' effluents on the environment: a case study of MOHA Mekelle Bottling Company, Tigray, Ethiopia. *Industrial Chemistry*, 01(02) [en ligne] [référencé le 8 août 2020] doi: 10.4172/2469-9764.1000110.
- 99. Doorn, M., Towprayoon, S., Manso Vieira, S.M., Irving, W., Palmer, C., Pipatti, R. et Wang, C.** 2006. Wastewater treatment and discharge. Chapitre 5. Dans: H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara et K. Tanabe (dir. pub.). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, p. 6.1-6.28. Kanagawa, Japan, IGES.
- 100. Jackson, D.C. et Marmulla, G.** 2001. The influence of dams on river fisheries. Dans: G. Marmulla (dir. pub.). *Dams, fish and fisheries: Opportunities, challenges and conflict resolution*, p. 1-44. Fisheries Technical Paper No. 419. Rome, FAO. 166 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/tempref/docrep/fao/004/Y2785E/y2785e.pdf).
- 101. OMS.** 2006. *Wastewater and excreta use in aquaculture. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*. Genève (Suisse).
- 102. Marcussen, H., Holm, P.E., Ha, L.T. et Dalsgaard, A.** 2007. Food safety aspects of toxic element accumulation in fish from wastewater-fed ponds in Hanoi, Vietnam: toxic element accumulation in wastewater-fed fish. *Tropical Medicine & International Health*, 12: 34-39.
- 103. Meneses, Y.E. et Flores, R.A.** 2016. Feasibility, safety, and economic implications of whey-recovered water in cleaning-in-place systems: a case study on water conservation for the dairy industry. *Journal of Dairy Science*, 99(5): 3396-3407.
- 104. Lindgaard-Jorgensen, P., Kristensen, G.H. et Andersen, M.** 2018. Road map towards zero water milk-processing plants - experiences from a Danish public-private partnership. *Environmental Management and Sustainable Development*, 7(2): 157.
- 105. OMS.** 2018. *Global Health Estimates 2016: Deaths by cause, age, sex, by country, and by region, 2000-2016*. Genève (Suisse).
- 106. Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD).** 2006. *Human Development Report 2006. Beyond scarcity: power, poverty and the global water crisis*. New York (États-Unis d'Amérique) [résumé disponible en ligne [Rapport sur le développement humain 2006 – Au-delà de la pénurie: pouvoir, pauvreté et crise mondiale de l'eau]: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2006_summary_fr.pdf].
- 107. Sanctuary, M., Tropp, H. et Haller, L.** 2005. *Making water a part of economic development: the economic benefits of improved water management and services*. Stockholm, Institut international de l'eau de Stockholm (SIWI).
- 108. Bryan, E., Chase, C. et Schulte, M.** 2019. *Nutrition-sensitive irrigation and water management*. Water Global Practice Guidance Note. Washington, Banque mondiale.
- 109. Domènec, L.** 2015. Improving irrigation access to combat food insecurity and undernutrition: a review. *Global Food Security*, 6: 24-33.
- 110. van der Hoek, W., Feenstra, S.G. et Konradsen, F.** 2002. Availability of irrigation water for domestic use in Pakistan: its impact on prevalence of diarrhoea and nutritional status of children. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 20(1): 77-84.
- 111. OMS.** 2014. *Preventing diarrhoea through better water, sanitation and hygiene: exposures and impacts in low- and middle-income countries*. Genève (Suisse).
- 112. UNICEF et OMS.** 2019. *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: special focus on inequalities*. New York (États-Unis d'Amérique).

BIBLIOGRAPHIE

113. ONU. 2015. *The World's Women 2015: trends and statistics*. New York (États-Unis d'Amérique), ONU, Département des affaires économiques et sociales (DESA), Division de la statistique.

114. Ntouda, J., Sikodf, F., Ibrahim, M. et Abba, I. 2013. Access to drinking water and health of populations in Sub-Saharan Africa. *Comptes Rendus Biologies*, 336(5–6): 305-309.

115. ONU-Eau - Analyse et évaluation mondiales sur l'assainissement et l'eau potable (GLAAS). 2019. *Systèmes nationaux d'appui à l'eau potable, l'assainissement et l'hygiène: rapport sur la situation mondiale en 2019*. Genève (Suisse), OMS.

116. Geremew, A. et Damtew, Y.T. 2020. Household water treatment using adequate methods in sub-Saharan countries: evidence from 2013–2016 Demographic and Health Surveys. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 10(1): 66-75.

117. Sobsey, M.D. 2002. *Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply*. Genève (Suisse), OMS.

118. Daniel, D., Marks, S.J., Pande, S. et Rietveld, L. 2018. Socio-environmental drivers of sustainable adoption of household water treatment in developing countries. *Clean Water*, 1: 12 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://doi.org/10.1038/s41545-018-0012-z>.

119. Clasen, T. 2015. Household water treatment and safe storage to prevent diarrheal disease in developing countries. *Current Environmental Health Reports*, 2(1): 69-74.

120. OMS. 2012. *Status of national household water treatment and safe storage policies in selected countries: results of global survey and policy readiness for scaling up* [en ligne]. Genève (Suisse) [référencé le 1er août 2020] https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/205466/WHO_HSE_WSH_12.07_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Site web sur l'observation de la Terre. Rome (également disponible en ligne: www.fao.org/3/CA0941EN/ca0941en.pdf).

3. ONU, Département des affaires économiques et sociales (DESA), Division de la population. 2019. *World urbanization prospects: the 2018 revision*. No. ST/ESA/SER.A/420. New York (États-Unis d'Amérique), Organisation des Nations Unies.

4. FAO. 2008. *Eau et pauvreté rurale: interventions pour améliorer les moyens d'existence des populations d'Afrique subsaharienne*. Rome. 126 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/i0132f/i0132f.pdf).

5. Wrathall, D.J., Van Den Hoek, J., Walters, A. et Devenish, A. 2018. *Water stress and human migration: a global, georeferenced review of empirical research*. Land and Water Discussion Paper No. 11. Rome, FAO. 35 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/I8867EN/i8867en.pdf).

6. Salik, K.M., Qaisrani, A., Awais, M. et Ali, M. 2017. *Migration futures in Asia and Africa: economic opportunities and distributional effects – the case of Pakistan*. Islamabad, Sustainable Development Policy Institute (également disponible en ligne: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.22393.77922>).

7. FAO. 2020. Observation de la Terre. Indice de stress agricole (système ASIS): Fréquence historique des sécheresses agricoles (1984–2018). Dans: FAO [en ligne] [référencé le 5 août 2020] www.fao.org/giews/earthobservation/asis/index_1.jsp?lang=fr.

8. Latham, J., Cumani, R., Rosati, I. et Bloise, M. 2014. Global Land Cover (GLC-SHARE) Beta-Release 1.0 Database. Division des terres et des eaux. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 5 août 2020] www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1036355/.

9. FAO. 2018. *Progrès relatifs aux niveaux de stress hydrique – Cadre de référence mondial pour l'indicateur 6.4.2 des ODD*. Rome: FAO/ONU-Eau. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 58 pages (également disponible en ligne: http://www.unwater.org/app/uploads/2018/12/SDG6_Indicator_Report_642_Progress-on-Level-of-Water-Stress_2018_FRENCH.pdf.pdf).

10. FAO. 2020. SDG Indicator 6.4.2 on water stress (indicateur 6.4.2 des ODD, sur le stress hydrique). Rome.

11. FAO. 2020. Contribution of the agriculture sector to the level of water stress. Rome.

CHAPITRE 2

1. FAO et Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués (IIASA). 2020. Outil mondial d'analyse des zones agro-écologiques (Global Agro-Ecological Zones) (GAEZ v4.0). Luxembourg (Autriche) et Rome.

2. FAO. 2018. *Brief guidelines to the Global Information and Early Warning System's (GIEWS) Earth Observation Website*. Système mondial d'information et d'alerte rapide sur l'alimentation et l'agriculture (SMIAR).

- 12. Cumaní, M. et Rojas, O.** 2016. *Characterization of the agricultural drought prone areas at global scale: using the FAO Agricultural Stress Index System (ASIS) to enhance the understanding of, and boost resilience to water stress conditions in drought-prone areas*. Rome, FAO. 38 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i5764e.pdf).
- 13. FAO.** 2018. *The impact of disasters and crises on agriculture and food security 2017*. Rome. 144 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/l8656EN/l8656en.pdf).
- 14. FAO.** 2017. *Drought characteristics and management in Central Asia and Turkey*. FAO, Rapport sur l'eau n° 44. Rome. 110 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i6738e.pdf).
- 15. Maher Salman, M., Pek, E. et Lamaddalena, N.** 2019. *Field guide to improve water use efficiency in small-scale agriculture – the case of Burkina Faso, Morocco and Uganda*. Rome, FAO. 78 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca5789en/ca5789en.pdf).
- 16. Banque mondiale.** 2009. *Africa's infrastructure: a time for transformation*. V. Foster et C.M. Briceño-Garmendia (dir. pub.). Washington.
- 17. IFPRI.** 2019. Global Spatially-Disaggregated Crop Production Statistics Data for 2010 Version 1.0. Harvard Dataverse. Dans: *Harvard Dataverse* [en ligne] [référencé le 5 août 2020] <https://dataverse.harvard.edu/citation?persistentId=doi:10.7910/DVN/PRFF8V>.
- 18. FAO.** 2011. *AQUASTAT country profile – Viet Nam*. Rome. 16 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca0412en/CA0412EN.pdf).
- 19. Li, X., Waddington, S.R., Dixon, J., Joshi, A.K. et de Vicente, M.C.** 2011. The relative importance of drought and other waterrelated constraints for major food crops in South Asian farming systems. *Food Security*, 3(1): 19-33.
- 20. Wichelns, D.** 2015. Water productivity and food security: considering more carefully the farm-level perspective. *Food Security*, 7(2): 247-260.
- 21. Fuglie, K.O.** 2008. Is a slowdown in agricultural productivity growth contributing to the rise in commodity prices? *Agricultural Economics*, 39: 431-441.
- 22. Fuglie, K. et Rada, N.** 2013. *Resources, policies, and agricultural productivity in sub-Saharan Africa*. ERR-145. Washington, United States Department of Agriculture Economic Research Service.
- 23. FAO.** 2003. *L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2003: suivi des progrès accomplis en vue de la réalisation des objectifs du Sommet mondial de l'alimentation et du Millénaire*. Rome. 40 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/j0083f/j0083f00.pdf).
- 24. FAO et Earthscan.** 2011. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Managing systems at risk*. Rome, FAO, et Londres, Earthscan. 309 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i1688e.pdf) (rapport de synthèse également disponible en ligne [*L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde – Gérer les systèmes en danger*]: www.fao.org/3/a-i1688f.pdf).
- 25. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture.** 2007. *Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture*. Londres et Sterling (États-Unis d'Amérique), Earthscan et IWMI.
- 26. Vanschoenwinkel, J. et Van Passel, S.** 2018. Climate response of rainfed versus irrigated farms: the bias of farm heterogeneity in irrigation. *Climatic Change*, 147(1-2): 225-234.
- 27. Wood-Sichra, U., Joglekar, A. et You, L.** 2016. *Spatial Production Allocation Model (SPAM) 2005: technical documentation*. HarvestChoice Working Paper. Washington et St. Paul (États-Unis d'Amérique), IFPRI et International Science and Technology Practice and Policy (InSTePP) Center, University of Minnesota.
- 28. Fuglie, K., Gautam, M., Goyal, A. et Maloney, W.F.** 2019. *Harvesting prosperity: technology and productivity growth in agriculture*. Washington, Banque mondiale.
- 29. Siebert, S. et Döll, P.** 2010. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*, 384(3-4): 198-217.
- 30. Lowder, S.K., Skoet, J. et Raney, T.** 2016. The number, size, and distribution of farms, smallholder farms, and family farms worldwide. *World Development*, 87: 16-29.
- 31. Lowder, S.K., Sánchez, M.V. et Bertini, R.** 2020. *Farms, family farms, farmland distribution and farm labour: what do we know today?* FAO Agricultural Development Economics Working Paper No. 19-08. Rome, FAO. 76 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca7036en/ca7036en.pdf).

BIBLIOGRAPHIE

32. FAO et Société financière internationale (IFC). 2015. *Ethiopia: Irrigation market brief*. Rome. 67 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i5196e.pdf).
33. Yihun, Y.M. 2015. *Agricultural water productivity optimization for irrigated teff (ergoistic teff) in a water scarce semi-arid region of Ethiopia*. Leiden (Pays-Bas), CRC Press/Balkema.
34. Matsumoto, T. et Yamano, T. 2011. Fertilizer policies, price, and application in East Africa. Dans: T. Yamano, K. Otsuka et F. Place (dir. pub.). *Emerging Development of Agriculture in East Africa*, p. 58-72. Dordrecht (Pays-Bas), Springer.
35. FAO. 2020. RuLIS – Rural livelihoods information system. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 5 août 2020] www.fao.org/in-action/rural-livelihoods-dataset-rulis/en/.
36. FAO et IIASA. 2007. *Mapping biophysical factors that influence agricultural production and rural vulnerability*. Environment and Natural Resources Series No. 11. Rome. 95 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a1075e/a1075e00.pdf).
37. MapSPAM. 2019. Methodology: a look behind SPAM and what makes it run. Dans: *MapSPAM* [en ligne] [référencé le 5 août 2020] <http://mapspam.info/methodology/>.
38. Sheahan, M. et Barrett, C.B. 2017. Ten striking facts about agricultural input use in Sub-Saharan Africa. *Food Policy*, 67: 12-25.
39. FAO. 2017. *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. Rome. 185 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i6583e.pdf) (résumé également disponible en ligne [*L'avenir de l'alimentation et de l'agriculture – Tendances et défis*]: www.fao.org/3/a-i6881f.pdf).
40. WWAP. 2017. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017. Les eaux usées – Une ressource inexploitée*. Paris, UNESCO.
41. Hoekstra, A.Y. (dir. pub.). 2003. *Virtual water trade: proceedings of the international expert meeting on virtual water trade*. Value of Water Research Report Series No. 12. Delft (Pays-Bas), IHE.
42. Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. et Savenije, H.H.G. 2006. Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(3): 455-468.
43. Hoekstra, A. 2010. *The relation between international trade and freshwater scarcity*. Staff Working Paper ERSD-2010-05. Enschede (Pays-Bas), Organisation mondiale du commerce.
44. Jackson, L.A., Pene, C., Martinez-Hommel, M.-B., Tamiotti, L. et Hofmann, C. 2014. Water policy, agricultural trade and WTO rules. Dans: P. Martinez-Santos, M. Aldaya et M. Ramón Llamas (dir. pub.). *Integrated water resources management in the 21st century: revisiting the paradigm*, p. 59-78. Leiden (Pays-Bas), CMR Press. 321 pages.
45. Liu, W., Antonelli, M., Kummu, M., Zhao, X., Wu, P., Liu, J., Zhuo, L. et Yang, H. 2019. Savings and losses of global water resources in food-related virtual water trade. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(1): e1320 [en ligne] [référencé le 5 août 2020] <https://doi.wiley.com/10.1002/wat2.1320>.
46. Oki, T., Yano, S. et Hanasaki, N. 2017. Economic aspects of virtual water trade. *Environmental Research Letters*, 12(4): 044002 [en ligne] [référencé le 5 août 2020] <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa625f>.
47. Yano, S., Hanasaki, N., Itsubo, N. et Oki, T. 2016. Potential impacts of food production on freshwater availability considering water sources. *Water*, 8(4): 163.
48. Dalin, C., Wada, Y., Kastner, T. et Puma, M.J. 2017. Groundwater depletion embedded in international food trade. *Nature*, 543(7647): 700-704.
49. Barrett, C.B., Christiaensen, L., Sheahan, M. et Shimeles, A. 2017. On the Structural Transformation of Rural Africa. *Journal of African Economies*, 26(suppl_1): i11-i35.
50. Banque mondiale et ONU. 2014. *Improving trade and transport for landlocked developing countries: a ten-year review*. Washington.
51. OCDE. 2013. *Succeeding with trade reforms: the role of aid for trade. The development dimension*. Paris.
52. FIDA. 2014. *IFAD's approach in small island developing states: a global response to island voices for food security*. Rome.
53. FAO. 2016. *État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans les petits États insulaires en développement (PEID)* [en ligne] [référencé le 5 août 2020] www.fao.org/3/a-i5327f.pdf.

- 54.** ONU. 2010. *Trends in sustainable development: small island developing states (SIDS)*. New York (États-Unis d'Amérique).
- 55.** Bush, M.J. 2018. *Climate change adaptation in small island developing states*. Hoboken (États-Unis d'Amérique), John Wiley & Sons.
- 56.** Alam, K. 2015. Farmers' adaptation to water scarcity in drought-prone environments: a case study of Rajshahi District, Bangladesh. *Agricultural Water Management*, 148: 196-206.
- 57.** FIDA. 2012. *Gender and water. Securing water for improved rural livelihoods: the multiple-uses system approach*. Rome.
- 58.** Banque mondiale. 2019. *World Bank list of economies* [en ligne] [référencé le 21 août 2020] <http://databank.worldbank.org/data/download/site-content/CLASS.xls>.
- 59.** ONU. 1998. Standard country or area codes for statistical use. Dans: *Division de la statistique de l'ONU* [en ligne] [référencé le 1^{er} août 2020] <http://unstats.un.org/unsd/methods/m49/m49.htm>.
- 60.** Banque mondiale. 2017. New country classifications by income level: 2017-2018. Dans: *Banque mondiale* [en ligne] <https://blogs.worldbank.org/opendata/new-country-classifications-income-level-2017-2018>.
- 61.** Turrall, H., Burke, J.J. et Faurès, J.-M. 2011. *Climate change, water and food security*. FAO, Rapport sur l'eau n° 36. Rome, FAO. 200 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/i2096e/i2096e.pdf).
- 62.** Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N.W., Clark, D.B., Dankers, R., Eisner, S., Fekete, B.M., Colón-González, F.J., Gosling, S.N., Kim, H., Liu, X., Masaki, Y., Portmann, F.T., Satoh, Y., Stacke, T., Tang, Q., Wada, Y., Wisser, D., Albrecht, T., Frieler, K., Piontek, F., Warszawski, L. et Kabat, P. 2014. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3245-3250.
- 63.** Gosling, S.N. et Arnell, N.W. 2016. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, 134(3): 371-385.
- 64.** Fung, F., Lopez, A. et New, M. 2011. Water availability in +2 °C and +4 °C worlds. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1934): 99-116.
- 65.** Smirnov, O., Zhang, M., Xiao, T., Orbell, J., Lobben, A. et Gordon, J. 2016. The relative importance of climate change and population growth for exposure to future extreme droughts. *Climatic Change*, 138(1-2): 41-53.
- 66.** Prudhomme, C., Giuntoli, I., Robinson, E.L., Clark, D.B., Arnell, N.W., Dankers, R., Fekete, B.M., Franssen, W., Gerten, D., Gosling, S.N., Hagemann, S., Hannah, D.M., Kim, H., Masaki, Y., Satoh, Y., Stacke, T., Wada, Y. et Wisser, D. 2014. Hydrological droughts in the 21st century, hotspots and uncertainties from a global multimodel ensemble experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3262-3267.
- 67.** Hyland, M. et Russ, J. 2019. Water as destiny – the long-term impacts of drought in sub-Saharan Africa. *World Development*, 115: 30-45.
- 68.** Dankers, R., Arnell, N.W., Clark, D.B., Falloon, P.D., Fekete, B.M., Gosling, S.N., Heinke, J., Kim, H., Masaki, Y., Satoh, Y., Stacke, T., Wada, Y. et Wisser, D. 2014. First look at changes in flood hazard in the inter-sectoral impact model intercomparison project ensemble. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3257-3261.
- 69.** 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.
- 70.** Elliott, J., Deryng, D., Müller, C., Frieler, K., Konzmann, M., Gerten, D., Glotter, M., Flörke, M., Wada, Y., Best, N., Eisner, S., Fekete, B.M., Folberth, C., Foster, I., Gosling, S.N., Haddeland, I., Khabarov, N., Ludwig, F., Masaki, Y., Olin, S., Rosenzweig, C., Ruane, A.C., Satoh, Y., Schmid, E., Stacke, T., Tang, Q. et Wisser, D. 2014. Constraints and potentials of future irrigation water availability on agricultural production under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3239-3244.
- 71.** Konar, M., Hussein, Z., Hanasaki, N., Mauzerall, D.L. et Rodriguez-Iturbe, I. 2013. Virtual water trade flows and savings under climate change. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 10(1): 67-101.
- 72.** Ramírez, A., Harrod, C., Valbo-Jørgensen, J. et Funge-Smith, S. 2018. How climate change impacts inland fisheries. Dans: M. Barange, T. Bahri, M.C.M. Beveridge, K.L. Cochrane, S. Funge-Smith et F. Poulaing (dir. pub.). *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*, p. 375-392. FAO, Document technique sur les pêches et l'aquaculture n° 627. Rome, FAO. 628 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/i9705en/i9705en.pdf).

BIBLIOGRAPHIE

73. Smith, D.M., Matthews, J.H., Bharati, L., Borgomeo, E., McCartney, M., Mauroner, A., Nicol, A., Rodriguez, D., Sadoff, C., Suhardiman, D., Timboe, I., Amarnath, G. et Anisha, N. 2019. *Adaptation's thirst: accelerating the convergence of water and climate action*. Rotterdam et Washington (également disponible en ligne: www.iwmi.cgiar.org/Publications/Other/PDF/adaptations-thirst-gca-background-paper.pdf).
74. UNESCO et ONU-Eau. 2020. *The United Nations World Water Development Report 2020. Water and climate change*. Paris, UNESCO.
75. Thivet, G. et Fernandez, S. 2012. *Water demand management: the Mediterranean experience*. Technical focus paper. Stockholm, Global Water Partnership, Plan Bleu.
76. FAO. 2012. *Faire face à la pénurie d'eau: un cadre d'action pour l'agriculture et la sécurité alimentaire*. FAO, Rapport sur l'eau n° 38. Rome. 96 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i3015f.pdf).
77. Molle, F. 2003. *Development trajectories of river basins: a conceptual framework*. Research Report No. 72. Colombo, IWMI.
78. Mateo-Sagasta, J., Marjani Zadeh, S. et Turrall, H. (dir. pub.). 2018. *More people, more food, worse water? A global review of water pollution from agriculture*. Rome et Colombo, FAO et IWMI. 221 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca0146en/CA0146EN.pdf).
79. Quiñones, R.A., Fuentes, M., Montes, R.M., Soto, D. et León-Muñoz, J. 2019. Environmental issues in Chilean salmon farming: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11(2): 375-402.
80. Agence européenne pour l'environnement. 2018. *European waters: assessment of status and pressures 2018*. EEA Report No. 7/2018. Copenhague.
81. United States Environmental Protection Agency (EPA). 2020. The sources and solutions: agriculture. Dans: *Nutrient Pollution* [en ligne] [référencé le 5 août 2020] www.epa.gov/nutrientpollution/sources-and-solutions-agriculture.
82. FAO. 2019. Collecting, analyzing and disseminating data, one country at a time! Dans: *FAO Environment Statistics – Livestock manure* [en ligne] [référencé le 5 août 2020] www.fao.org/economic/ess/environment/data/livestock-manure/en/.
83. FAO. 2020. FAOSTAT. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 15 août 2020] <http://www.fao.org/faostat/fr/#home>.
84. Srivastava, A., Jangid, N., Srivastava, M. et Rawat, V. 2019. Pesticides as water pollutants. Dans: K.A. Wani et Mamta (dir. pub.). *Handbook of Research on the Adverse Effects of Pesticide Pollution in Aquatic Ecosystems*, p. 1-19. Hershey (États-Unis d'Amérique), IGI Global.
85. FAO. 2016. *Plan D'Action de la FAO contre la Résistance aux antimicrobiens 2016-2020. Aider le secteur de l'alimentation et de l'agriculture à mettre en œuvre le Plan d'action mondial contre la résistance aux antimicrobiens pour en atténuer les effets*. Rome. 28 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i5996f.pdf).
86. FAO. 2018. *Antimicrobial resistance in the environment: summary report of an FAO meeting of experts* [en ligne] [référencé le 5 août 2020] www.fao.org/3/BU656en/bu656en.pdf.
87. Review on Antimicrobial Resistance. 2016. *Tackling drug-resistant infections globally: final report and recommendations*. Londres.
88. Van Boekel, T.P., Brower, C., Gilbert, M., Grenfell, B.T., Levin, S.A., Robinson, T.P., Teillant, A. et Laxminarayan, R. 2015. Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(18): 5649-5654.
89. United States Environmental Protection Agency (EPA). 2013. *Literature review of contaminants in livestock and poultry manure and implications for water quality*. EPA Office of Water 820-R-13-002. Washington.
90. FAO et Groupe technique intergouvernemental sur les sols (ITPS). 2015. *Status of the world's soil resources: main report*. Rome. 649 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i5199e.pdf).
91. Hanson, B., Grattan, S. et Fulton, A. 2006. *Agricultural salinity and drainage*. Davis (États-Unis d'Amérique), University of California Irrigation Program.
92. Ayers, R.S. et Westcot, D.W. 1985. *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, rev. 1. Rome, FAO (également disponible en ligne: www.fao.org/3/t0234e/t0234e00.htm).
93. Tanji, K.K. et Kielen, N.C. 2002. *Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 61. Rome, FAO. 202 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-ap103e.pdf).
94. FAO. 2020. Novel initiative to map salt-affected soils globally. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 5 août 2020] www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/en/c/1269946/.

95. Okorogbona, A.O.M., Denner, F.D.N., Managa, L.R., Khosa, T.B., Maduwa, K., Adebola, P.O., Amoo, S.O., Ngobeni, H.M. et Macevele, S. 2018. Water quality impacts on agricultural productivity and environment. Dans: E. Lichifouse (dir. pub.). *Sustainable Agriculture Reviews*, p. 1-35. Sustainable Agriculture Reviews. Cham, Springer International Publishing.
96. Braul, L. et Kirychuk, B. 2001. *Water quality and cattle*. Agriculture et agroalimentaire Canada.
97. OCDE. 2012. *Qualité de l'eau et agriculture: un défi pour les politiques publiques*. Études de l'OCDE sur l'eau. Paris.
98. OCDE. 2019. *Accélération anthropique du cycle de l'azote: gérer les risques et l'incertitude*. Paris.
99. Jansson, M., Andersson, R., Berggren, H. et Leonardson, L. 1994. Wetlands and lakes as nitrogen traps. *Ambio*, 23(6): 320-325.
100. Hey, D.L., Urban, L.S. et Kostel, J.A. 2005. Nutrient farming: the business of environmental management. *Ecological Engineering*, 24(4): 279-287.
101. Mitsch, W.J. et Day, J.W. 2006. Restoration of wetlands in the Mississippi-Ohio-Missouri (MOM) River Basin: experience and needed research. *Ecological Engineering*, 26(1): 55-69.
102. United States Department of Agriculture (USDA). 2006. *Nutrient Management* (Ac.). No. Code 590. United States Department of Agriculture (également disponible en ligne: www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs143_022228.pdf).
103. FAO. 2018. *Nutrient flows and associated environmental impacts in livestock supply chains: guidelines for assessment*. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 199 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/CA1328EN/ca1328en.pdf).
104. Cui, Z., Zhang, H., Chen, X., Zhang, C., Ma, W., Huang, C., Zhang, W., Mi, G., Miao, Y., Li, X., Gao, Q., Yang, J., Wang, Z., Ye, Y., Guo, S., Lu, J., Huang, J., Lv, S., Sun, Y., Liu, Y., Peng, X., Ren, J., Li, S., Deng, X., Shi, X., Zhang, Q., Yang, Z., Tang, L., Wei, C., Jia, L., Zhang, J., He, M., Tong, Y., Tang, Q., Zhong, X., Liu, Z., Cao, N., Kou, C., Ying, H., Yin, Y., Jiao, X., Zhang, Q., Fan, M., Jiang, R., Zhang, F. et Dou, Z. 2018. Pursuing sustainable productivity with millions of smallholder farmers. *Nature*, 555(7696): 363-366.
105. OCDE. 2017. *Diffuse pollution, degraded waters: emerging policy solutions*. OECD Studies on Water. Paris.

CHAPITRE 3

1. 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(4): 287-291.
2. 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.
3. Stevanović, M., Popp, A., Lotze-Campen, H., Dietrich, J.P., Müller, C., Bonsch, M., Schmitz, C., Bodirsky, B.L., Humpenöder, F. et Weindl, I. 2016. The impact of high-end climate change on agricultural welfare. *Science Advances*, 2(8): e1501452 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501452>.
4. Rockström, J. et Karlberg, L. 2009. Zooming in on the global hotspots of rainfed agriculture in water-constrained environments. *Rainfed agriculture: unlocking the potential*, p. 36-43. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series No. 7. Wallingford (Royaume-Uni), CABI.
5. Schils, R., Olesen, J.E., Kersebaum, K.-C., Rijk, B., Oberforster, M., Kalyada, V., Khitrkau, M., Gobin, A., Kirchev, H., Manolova, V., Manolov, I., Trnka, M., Hlavinka, P., Palosuo, T., Peltonen-Sainio, P., Jauhainen, L., Lorgeou, J., Marrou, H., Danalatos, N., Archontoulis, S., Fodor, N., Spink, J., Roggero, P.P., Bassu, S., Pulina, A., Seehusen, T., Uhlen, A.K., Żyłowska, K., Nieróbca, A., Kozyra, J., Silva, J.V., Maçãs, B.M., Coutinho, J., Ion, V., Takáč, J., Minguez, M.I., Eckersten, H., Levy, L., Herrera, J.M., Hilbrunner, J., Kryvobok, O., Kryvoshein, O., Sylvester-Bradley, R., Kindred, D., Topp, C.F.E., Boogaard, H., de Groot, H., Lesschen, J.P., van Bussel, L., Wolf, J., Zijlstra, M., van Loon, M.P. et van Ittersum, M.K. 2018. Cereal yield gaps across Europe. *European Journal of Agronomy*, 101: 109-120.
6. 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.
7. Antón, J. et Cattaneo, A. 2019. Agricultural risk management and climate change: what role for policy? Dans: D. Blandford et K. Hassapoyannes (dir. pub.). *Global challenges for future food and agricultural policies*, p. 281-306. World Scientific Series in Grand Public Policy Challenges of the 21st Century. World Scientific. 440 pages (également disponible en ligne: www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789813235403_0015).

BIBLIOGRAPHIE

8. OCDE. 2012. *Gestion des risques en agriculture: évaluation et conception des politiques*. Paris (également disponible en ligne: <https://doi.org/10.1787/9789264174795-fr>).
9. FAO. 2012. *Faire face à la pénurie d'eau: un cadre d'action pour l'agriculture et la sécurité alimentaire*. FAO, Rapport sur l'eau n° 38. Rome. 96 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i3015f.pdf).
10. FAO et Conseil mondial de l'eau. 2018. *Water accounting for water governance and sustainable development*. Rome et Marseille. 50 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/i8868en/i8868en.pdf).
11. **Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture.** 2007. *Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture*. Londres and Sterling (États-Unis d'Amérique), Earthscan et IVM.
12. Comité de la sécurité alimentaire mondiale (CSA). 2014. *Principes pour un investissement responsable dans l'agriculture et les systèmes alimentaires*. Rome. 32 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-au866f.pdf).
13. Wichelns, D. 2015. Water productivity and food security: considering more carefully the farm-level perspective. *Food Security*, 7(2): 247-260.
14. Vogel, E., Donat, M.G., Alexander, L.V., Meinshausen, M., Ray, D.K., Karoly, D., Meinshausen, N. et Frieler, K. 2019. The effects of climate extremes on global agricultural yields. *Environmental Research Letters*, 14(5): 054010 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab154b>.
15. van Ittersum, M.K., van Bussel, L.G.J., Wolf, J., Grassini, P., van Wart, J., Guilpart, N., Claessens, L., de Groot, H., Wiebe, K., Mason-D'Croz, D., Yang, H., Boogaard, H., van Oort, P.A.J., van Loon, M.P., Saito, K., Adimo, O., Adjei-Nsiah, S., Agali, A., Bala, A., Chikowo, R., Kaizzi, K., Kouressy, M., Makoi, J.H.J.R., Ouattara, K., Tesfaye, K. et Cassman, K.G. 2016. Can sub-Saharan Africa feed itself? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(52): 14964-14969.
16. Haribu, H., Oweis, T., Wani, S., Barron, J., Bruggeman, A., Qiang, Z., Farahani, J. et Karlberg, L. 2007. Managing water in rainfed agriculture. Dans: D. Molden [dir. pub.]. *Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture*, p. 315-352. Londres, IVM et Earthscan. 48 pages.
17. FAO. 2020. FAOSTAT. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 15 août 2020] <http://www.fao.org/faostat/fr/#home>.
18. Eurostat. 2019. Agri-environmental indicator - irrigation. Dans: *Statistics explained* [en ligne] [référencé le 8 août 2020] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_irrigation.
19. FAO. 2018. *Future of food and agriculture 2018 - alternative pathways to 2050*. Supplemental Material. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 64 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/CA1564EN/CA1564EN.pdf) (version abrégée également disponible en ligne [*L'avenir de l'alimentation et de l'agriculture – Parcours alternatifs d'ici à 2050*]: www.fao.org/3/CA1552FR/ca1552fr.pdf).
20. Barron, J., Tengberg, A., Garg, K., Anantha, K.H., Sreenath, D. et Whitbread, A. 2020. Strengthen resilience in rainfed agricultural systems through agricultural water management: a review on current state and ways ahead. Document établi pour *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2020. Relever le défi de l'eau dans l'agriculture*. Uppsala (Suède), Université suédoise des sciences agricoles.
21. Rockström, J., Karlberg, L., Wani, S.P., Barron, J., Hatibu, N., Oweis, T., Bruggeman, A., Farahani, J. et Qiang, Z. 2010. Managing water in rainfed agriculture—the need for a paradigm shift. *Agricultural Water Management*, 97(4): 543-550.
22. Ranjan, P., Patle, G.T., Prem, M. et Solanke, K.R. 2017. Organic mulching: a water saving technique to increase the production of fruits and vegetables. *Current Agriculture Research Journal*, 5(3): 371-380.
23. Abouzienah, H.F. et Haggag, W.M. 2016. Weed control in clean agriculture: a review. *Planta Daninha*, 34(2): 377-392.
24. Studer, R. et Liniger, H. 2013. Water harvesting: guidelines to good practice. Bern, Amsterdam, Wageningen et Rome, Centre for Development and Environment (CDE), Rainwater Harvesting Implementation Network (RAIN), MetaMeta, FIDA.
25. FAO et Earthscan. 2011. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Managing systems at risk*. Rome, FAO, et Londres, Earthscan. 309 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i1688e.pdf).
(Rapport de synthèse également disponible en ligne [*L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde – Gérer les systèmes en danger*]: www.fao.org/3/a-i1688f.pdf).
26. Bouma, J.A., Hegde, S.S. et Lasage, R. 2016. Assessing the returns to water harvesting: a meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 163: 100-109.

- 27. FAO.** 2000. *Des petits étangs font toute la différence: intégrer le poisson aux cultures et à l'élevage du bétail*. Rome (également disponible en ligne: www.fao.org/3/x7156f/x7156f00.htm#TopOfPage).
- 28. FAO.** 2003. *Intégration agriculture-aquaculture: principes de base et exemples*. FAO document technique sur les pêches 407. Rome (également disponible en ligne: www.fao.org/3/y1187f/y1187f00.htm#Contents).
- 29. Shrestha, M.K. et Pant, J. (dir. pub.).** 2012. *Small-scale Aquaculture for Rural Livelihoods: Proceedings of The National Symposium on Small-scale Aquaculture for Increasing Resilience of Rural Livelihoods in Nepal*. Chitwan (Népal) et Penang (Malaisie), Institute of Agriculture and Animal Science, Tribhuvan University, Rampur et WorldFish Center.
- 30. Teka, K.** 2018. Household level rainwater harvesting in the drylands of northern Ethiopia: its role for food and nutrition security. AgriFoSe2030 Report No 11. Mekelle, Éthiopie, Agriculture for Food Security 2030.
- 31. Moges, G., Hengsdijk, H. et Jansen, H.C.** 2011. Review and quantitative assessment of ex situ household rainwater harvesting systems in Ethiopia. *Agricultural Water Management*, 98(8): 1215-1227.
- 32. FAO.** 2018. *Initiative "1 million de citernes pour le Sahel"*. Rome. 2 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca0882fr/ca0882fr.pdf).
- 33. Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A. et Kijne, J.** 2010. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, 97(4): 528-535.
- 34. Wisser, D., Frolking, S., Douglas, E.M., Fekete, B.M., Schumann, A.H. et Vörösmarty, C.J.** 2010. The significance of local water resources captured in small reservoirs for crop production – a global-scale analysis. *Journal of Hydrology*, 384(3-4): 264-275.
- 35. Oweis, T.** 1997. *Supplemental irrigation: a highly efficient water-use practice*. Aleppo, Syrian Arab Republic, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.
- 36. Giordano, M., De Fraiture, C., Weight, E. et van der Bliek, J.** 2012. *Water for wealth and food security: supporting farmer-driven investments in agricultural water management*. Synthesis report of the AgWater Solutions Project. Colombo, IWM.
- 37. Kahinda, J.M., Rockström, J., Taigbenou, A.E. et Dimes, J.** 2007. Rainwater harvesting to enhance water productivity of rainfed agriculture in the semi-arid Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 32(15-18): 1068-1073.
- 38. Rost, S., Gerten, D., Hoff, H., Lucht, W., Falkenmark, M. et Rockström, J.** 2009. Global potential to increase crop production through water management in rainfed agriculture. *Environmental Research Letters*, 4(4): 044002 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/4/4/044002>.
- 39. Jägermeyr, J., Gerten, D., Schaphoff, S., Heinke, J., Lucht, W. et Rockström, J.** 2016. Integrated crop water management might sustainably halve the global food gap. *Environmental Research Letters*, 11(2): 025002 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/2/025002>.
- 40. Magombeyi, M.S., Taigbenou, A.E. et Barron, J.** 2018. Effectiveness of agricultural water management technologies on rainfed cereals crop yield and runoff in semi-arid catchment: a meta-analysis. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 16(4-5): 418-441.
- 41. Abera, W., Tamene, L., Tibebe, D., Adimassu, Z., Kassa, H., Hailu, H., Mekonnen, K., Desta, G., Sommer, R. et Verchot, L.** 2020. Characterizing and evaluating the impacts of national land restoration initiatives on ecosystem services in Ethiopia. *Land Degradation & Development*, 31(1): 37-52.
- 42. Piemontese, L., Castelli, G., Fetzer, I., Barron, J., Liniger, H., Harari, N., Bresci, E. et Jaramillo, F.** 2020. Estimating the global potential of water harvesting from successful case studies. *Global Environmental Change*, 63: 102121 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378020307044>.
- 43. Adimassu, Z., Langan, S. et Barron, J.** 2018. Highlights of soil and water conservation investments in four regions of Ethiopia. Colombo, IWM.
- 44. FAO.** 2018. *Future of food and agriculture 2018 – alternative pathways to 2050*. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 244 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/l8429EN/l8429en.pdf) (version abrégée également disponible en ligne [L'avenir de l'alimentation et de l'agriculture – Parcours alternatifs d'ici à 2050]: www.fao.org/3/CA1552FR/ca1552fr.pdf).
- 45. Mekonnen, M.M. et Hoekstra, A.Y.** 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5): 1577-1600.
- 46. FAO, FIDA, OMS, PAM et UNICEF.** 2019. *L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2019. Se prémunir contre les ralentissements et les fléchissements économiques*. Rome, FAO. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 253 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca5162fr/ca5162fr.pdf).

BIBLIOGRAPHIE

47. Zwart, S.J. et Bastiaanssen, W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69(2): 115-133.
48. Sadras, V., Grassini, P. et Steduto, P. 2012. *Status of water use efficiency of main crops. The state of the world's land and water resources*. SOLAW Background Thematic Report No. 7. Rome, FAO. 45 pages [également disponible en ligne: www.fao.org/fileadmin/templates/solaw/files/thematic_reports/TR_07_web.pdf].
49. Hatfield, J.L., Sauer, T.J. et Prueger, J.H. 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. *Agronomy Journal*, 93(2): 271-280.
50. Mekonnen, M.M. et Neale, C.M.U. 2020. Closing the water productivity gaps of crop and livestock products: a global analysis. Document établi pour *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2020. Relever le défi de l'eau dans l'agriculture*. Lincoln [États-Unis d'Amérique], Robert B. Daugherty Water for Food Global Institute, University of Nebraska-Lincoln.
51. Pradhan, P., Fischer, G., van Velthuizen, H., Reusser, D.E. et Kropf, J.P. 2015. Closing yield gaps: how sustainable can we be? *PLOS ONE*, 10(6): e0129487 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0129487>.
52. Agence européenne pour l'environnement. 2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016: an indicator-based report. EEA Report No. 1. Copenhague.
53. Amosson, S., Almas, L., Girase, J., Kenny, N., Guerrero, B., Vimlesh, K. et Marek, T. 2011. Economics of irrigation systems. College Station [États-Unis d'Amérique], Texas A&M AgriLIFE Extension Service.
54. Bjorneberg, D.L. 2013. *Irrigation: methods. Reference Modules in Earth Systems and Environmental Sciences* [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://eprints.nwsl.ars.usda.gov/1568/1/1524.pdf>.
55. Osewe, M., Liu, A. et Njagi, T. 2020. Farmer-led irrigation and its impacts on smallholder farmers' crop income: evidence from southern Tanzania. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5): 1512.
56. Burney, J.A., Naylor, R.L. et Postel, S.L. 2013. The case for distributed irrigation as a development priority in sub-Saharan Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31): 12513-12517.
57. van Koppen, B.C.P., Namara, R. et Safilios-Rothschild, C. 2005. Reducing poverty through investments in agricultural water management: poverty and gender issues and synthesis of sub-Saharan Africa case study reports. IWMI Working Paper No. 101. Colombo, IWMI.
58. You, L., Ringler, C., Wood-Sichra, U., Robertson, R., Wood, S., Zhu, T., Nelson, G., Guo, Z. et Sun, Y. 2011. What is the irrigation potential for Africa? A combined biophysical and socioeconomic approach. *Food Policy*, 36(6): 770-782.
59. Tatolovic, M. 2009. Irrigation reform needed in Asia. Dans: *Nature* [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://doi.org/10.1038/news.2009.826>.
60. Facon, T. 2012. Forty years of irrigation and drainage system performance. Document présenté au *Asian Irrigation Forum*, 11 avril 2012, Manille.
61. FAO. 1989. *Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 45. Rome [également disponible en ligne: www.fao.org/3/T0231E/T0231E00.htm].
62. Brouwer, C., Prins, K., Kay, M. et Heibloem, M. 1988. Irrigation methods. Irrigation Water Management Training Manual No. 9. Rome, FAO [également disponible en ligne: www.fao.org/tempref/agl/AGLW/fwm/Manual5.pdf].
63. Goyal, M.R., Panigrahi, B. et Panda, S.N. (dir. pub.). 2017. *Micro irrigation scheduling and practices. Innovations and Challenges in Micro Irrigation*. Oakville (Canada), Apple Academic Press.
64. Reich, D., Godin, R., Chávez, J.L. et Broner, I. 2014. Subsurface drip irrigation (SDI). Crop Series | Irrigation Fact Sheet 4.716. Fort Collins [États-Unis d'Amérique], Colorado State University.
65. FAO. 2011. *Produire plus avec moins - Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne*. Rome. 116 pages [également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i2215f.pdf].
66. FAO. 2017. *Does improved irrigation technology save water? A review of the evidence*. Le Caire. 54 pages [également disponible en ligne: www.fao.org/3/I7090EN/i7090en.pdf].
67. Geerts, S. et Raes, D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, 96(9): 1275-1284.

68. Fereres, E. et Soriano, M.A. 2006. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2): 147-159.
69. Banque mondiale. 2010. *Rapport sur le développement dans le monde 2010. Développement et changement climatique*. Washington.
70. Perry, C., Steduto, P., Allen, R.G. et Burt, C.M. 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: agronomic constraints and hydrological realities. *Agricultural Water Management*, 96(11): 1517-1524.
71. Fernández García, I., Rodríguez Díaz, J.A., Camacho Poyato, E., Montesinos, P. et Berbel, J. 2014. Effects of modernization and medium term perspectives on water and energy use in irrigation districts. *Agricultural Systems*, 131: 56-63.
72. Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C., Rodríguez-Díaz, J.A., Camacho, E. et Montesinos, P. 2015. Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study. *Water Resources Management*, 29(3): 663-678.
73. Díaz, J.A.R., Urrestarazu, L.P., Poyato, E.C. et Montesinos, P. 2012. Modernizing water distribution networks: lessons from the Bembézar MD Irrigation District, Spain. *Outlook on Agriculture*, 41(4): 229-236.
74. Giordano, M., Turrall, H., Scheierling, S.M., Tréguer, D.O. et McCornick, P.G. 2017. Beyond 'more crop per drop': evolving thinking on agricultural water productivity. IWMI Research Report No. 169. Colombo, IWMI.
75. Jägermeyr, J., Pastor, A., Biemans, H. et Gerten, D. 2017. Reconciling irrigated food production with environmental flows for Sustainable Development Goals implementation. *Nature Communications*, 8(1): 15900.
76. Grafton, R.Q., Williams, J., Perry, C.J., Molle, F., Ringler, C., Steduto, P., Udall, B., Wheeler, S.A., Wang, Y., Garrick, D. et Allen, R.G. 2018. The paradox of irrigation efficiency. *Science*, 361(6404): 748-750.
77. Umair, M., Hussain, T., Jiang, H., Ahmad, A., Yao, J., Qi, Y., Zhang, Y., Min, L. et Shen, Y. 2019. Water-saving potential of subsurface drip irrigation for winter wheat. *Sustainability*, 11(10): 2978.
78. Parthasarathi, T., Vanitha, K., Mohandass, S. et Vered, E. 2018. Evaluation of drip irrigation system for water productivity and yield of rice. *Agronomy Journal*, 110(6): 2378-2389.
79. Pawar, N., Bishnoi, D.K., Singh, M. et Dhillon, A. 2015. Comparative economic analysis of drip irrigation vis-à-vis flood irrigation system on productivity of Bt. cotton in Haryana. *Agricultural Science Digest - A Research Journal*, 35(4): 300-303.
80. Ayars, J.E., Phene, C.J., Hut�acher, R.B., Davis, K.R., Schoneman, R.A., Vail, S.S. et Mead, R.M. 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management*, 42(1): 1-27.
81. Hanson, B. et May, D. 2004. Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. *Agricultural Water Management*, 68(1): 1-17.
82. Luhach, M.S., Khatkar, R.K., Singh, V.K. et Khatri, R.S. 2004. Economic analysis of sprinkler and drip irrigation technology in Haryana. *Agricultural Economics Research Review*, 17: 107-113.
83. de Wit, C.T. 1992. Resource use efficiency in agriculture. *Agricultural Systems*, 40(1-3): 125-151.
84. Sadras, V.O. 2004. Yield and water-use efficiency of water- and nitrogen-stressed wheat crops increase with degree of co-limitation. *European Journal of Agronomy*, 21(4): 455-464.
85. Fereres, E., Orgaz, F., Gonzalez-Dugo, V., Testi, L. et Villalobos, F.J. 2014. Balancing crop yield and water productivity tradeoffs in herbaceous and woody crops. *Functional Plant Biology*, 41(11): 1009.
86. Passioura, J.B. et Angus, J.F. 2010. Improving productivity of crops in water-limited environments. *Advances in Agronomy*, 106: 37-75.
87. Ritchie, J.T. et Basso, B. 2008. Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: the role of agronomic management. *European Journal of Agronomy*, 28(3): 273-281.
88. Sadras, V.O. et Angus, J.F. 2006. Benchmarking water-use efficiency of rainfed wheat in dry environments. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57(8): 847.
89. Grassini, P., Yang, H., Irmak, S., Thorburn, J., Burr, C. et Cassman, K.G. 2011. High-yield irrigated maize in the western US corn belt: II. Irrigation management and crop water productivity. *Field Crops Research*, 120(1): 133-141.

BIBLIOGRAPHIE

90. Barbieri, P., Echarte, L., Della Maggiora, A., Sadras, V.O., Echeverria, H. et Andrade, F.H. 2012. Maize evapotranspiration and water-use efficiency in response to row spacing. *Agronomy Journal*, 104(4): 939-944.
91. Van Dam, J.C., Singh, R., Bessembinder, J.J.E., Leffelaar, P.A., Bastiaanssen, W.G.M., Jhorar, R.K., Kroes, J.G. et Droogers, P. 2006. Assessing options to increase water productivity in irrigated river basins using remote sensing and modelling tools. *International Journal of Water Resources Development*, 22(1): 115-133.
92. FAO. 2020. Agriculture de conservation. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 1^{er} août 2020] www.fao.org/conservation-agriculture/fr/.
93. Kassam, A., Friedrich, T. et Derpsch, R. 2019. Global spread of conservation agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, 76(1): 29-51.
94. Li, H., He, J., Bharucha, Z.P., Lal, R. et Pretty, J. 2016. Improving China's food and environmental security with conservation agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 14(4): 377-391.
95. Sapkota, T.B., Jat, M.L., Aryal, J.P., Jat, R.K. et Khatri-Chhetri, A. 2015. Climate change adaptation, greenhouse gas mitigation and economic profitability of conservation agriculture: some examples from cereal systems of Indo-Gangetic Plains. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(8): 1524-1533.
96. Lampurlanés, J., Plaza-Bonilla, D., Álvaro-Fuentes, J. et Cantero-Martínez, C. 2016. Long-term analysis of soil water conservation and crop yield under different tillage systems in Mediterranean rainfed conditions. *Field Crops Research*, 189: 59-67.
97. Bottinelli, N., Angers, D.A., Hallaire, V., Michot, D., Le Guillou, C., Cluzeau, D., Heddadj, D. et Menasseri-Aubry, S. 2017. Tillage and fertilization practices affect soil aggregate stability in a humic cambisol of northwest France. *Soil and Tillage Research*, 170: 14-17.
98. Shao, Y., Xie, Y., Wang, C., Yue, J., Yao, Y., Li, X., Liu, W., Zhu, Y. et Guo, T. 2016. Effects of different soil conservation tillage approaches on soil nutrients, water use and wheat-maize yield in rainfed dry-land regions of North China. *European Journal of Agronomy*, 81: 37-45.
99. Peiretti, R. et Dumanski, J. 2014. The transformation of agriculture in Argentina through soil conservation. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(1): 14-20.
100. Yang, Y., Ding, J., Zhang, Y., Wu, J., Zhang, J., Pan, X., Gao, C., Wang, Y. et He, F. 2018. Effects of tillage and mulching measures on soil moisture and temperature, photosynthetic characteristics and yield of winter wheat. *Agricultural Water Management*, 201: 299-308.
101. FAO. 2010. *An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: the way forward for sustainable production intensification*. Integrated Crop Management. Vol. 13. Rome. 75 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/images/iclsd/documents/crop_livestock_proceedings.pdf).
102. Pittelkow, C.M., Liang, X., Linquist, B.A., van Groenigen, K.J., Lee, J., Lundy, M.E., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T. et van Kessel, C. 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517(7534): 365-368.
103. Duncan, A.J., Bachewe, F., Mekonnen, K., Valbuena, D., Rachier, G., Lule, D., Bahia, M. et Erenstein, O. 2016. Crop residue allocation to livestock feed, soil improvement and other uses along a productivity gradient in Eastern Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 228: 101-110.
104. Valbuena, D., Erenstein, O., Homann-Kee Tui, S., Abdoulaye, T., Claessens, L., Duncan, A.J., Gérard, B., Rufino, M.C., Teufel, N., van Rooyen, A. et van Wijk, M.T. 2012. Conservation agriculture in mixed crop-livestock systems: scoping crop residue trade-offs in sub-Saharan Africa and South Asia. *Field Crops Research*, 132: 175-184.
105. Erenstein, O. 2011. Cropping systems and crop residue management in the Trans-Gangetic Plains: issues and challenges for conservation agriculture from village surveys. *Agricultural Systems*, 104(1): 54-62.
106. Giller, K.E., Andersson, J.A., Corbeels, M., Kirkegaard, J., Mortensen, D., Erenstein, O. et Vanlauwe, B. 2015. Beyond conservation agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 6: 10 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.000870>.
107. FAO. 2012. *Conservation agriculture for climate change mitigation. Highlights from the learning event, September 2012* [en ligne] [référencé le 8 août 2020] www.fao.org/climatechange/35145-01475a57da304df922b9ea292fddc29fa.pdf.
108. Batchelor, C. et Schnetzer, J. 2018. *Compendium on climate-smart irrigation: concepts, evidence and options for a climate-smart approach to improving the performance of irrigated cropping systems*. Rome, Alliance mondiale pour une agriculture intelligente face aux changements climatiques (GACSA).

109. Rosegrant, M. 2020. Water management for sustainable irrigated and rainfed agriculture: opportunities, challenges, impacts and the way forward. Document établi pour *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2020. Relever le défi de l'eau dans l'agriculture*. Washington.

110. Lemoalle, J. 2008. Water productivity of aquatic systems. Final report for the project: Improved Fisheries Productivity and Management in Tropical Reservoirs. Penang (Malaisie), Challenge Program on Water and Food et WorldFish Center.

111. Mekonnen, M.M. et Hoekstra, A.Y. 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15(3): 401-415.

112. FAO. 2020. FAOSTAT. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 15 août 2020] <http://www.fao.org/faostat/fr/#home>.

113. United States Department of Agriculture (USDA). 2020. Nutrient Data Laboratory. Dans: *USDA National Agricultural Library - Food and Nutrition Information Center* [en ligne] [référencé le 8 août 2020] www.nal.usda.gov/fnic/usda-nutrient-data-laboratory.

114. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). 2019. Summary for policymakers. Dans: P. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H. Pörtner, D. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi et J. Malley (dir. pub.). *Climate change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*, p. 1-36. Genève.

115. FAO. 2019. *Water use in livestock production systems and supply chains – guidelines for assessment (Version 1)*. Rome, Partenariat pour l'évaluation et la performance environnementales de l'élevage (LEAP). 126 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca5685en/ca5685en.pdf).

116. FAO. 2016. *Climate change and food security: risks and responses*. Rome. 106 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ai5188e.pdf).

117. Livestock Emergency Guidelines. 2014. *Livestock Emergency Guidelines and Standards (LEGGS)*. Second edition. Rugby (Royaume-Uni), Practical Action Publishing.

118. FAO. 2006. *L'ombre portée de l'élevage: impacts environnementaux et options pour leur atténuation*. Rome. 494 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-a0701f.pdf).

119. Descheemaeker, K., Amede, T. et Haileslassie, A. 2010. Improving water productivity in mixed crop-livestock farming systems of sub-Saharan Africa. *Agricultural Water Management*, 97(5): 579-586.

120. Palhares, J.C.P. 2014. Pegada hídrica de suínos eo impacto de estratégias nutricionais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(5): 533-538.

121. Krauß, M., Kraatz, S., Drastig, K. et Prochnow, A. 2015. The influence of dairy management strategies on water productivity of milk production. *Agricultural Water Management*, 147: 175-186.

122. Haileslassie, A., Peden, D., Gebreselassie, S., Amede, T. et Descheemaeker, K. 2009. Livestock water productivity in mixed crop-livestock farming systems of the Blue Nile Basin: assessing variability and prospects for improvement. *Agricultural Systems*, 102(1-3): 33-40.

123. Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES). 2019. *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn (Allemagne), secrétariat de l'IPBES.

124. Rao, M.S., Batchelor, C.H., James, A.J., Nagaraja, R., Seeley, J. et Butterworth, J.A. 2003. *Andhra Pradesh rural livelihoods programme water audit report*. Hyderabad (Inde), APRLP.

125. Garg, K.K., Karlberg, L., Barron, J., Wani, S.P. et Rockstrom, J. 2012. Assessing impacts of agricultural water interventions in the Kothapally watershed, Southern India. *Hydrological Processes*, 26(3): 387-404.

126. Glendenning, C.J., van Ogtrop, F.F., Mishra, A.K. et Vervoort, R.W. 2012. Balancing watershed and local scale impacts of rain water harvesting in India—a review. *Agricultural Water Management*, 107: 1-13.

127. Searchinger, T., Adhya, T., Linquist, B., Wassmann, R. et Yan, X. 2014. *Wetting and drying: reducing greenhouse gas emissions and saving water from rice production*. Creating a Sustainable Food Future Installment No. 8. Washington, World Resources Institute.

BIBLIOGRAPHIE

128. Meijide, A., Gruening, C., Goded, I., Seufert, G. et Cescatti, A. 2017. Water management reduces greenhouse gas emissions in a Mediterranean rice paddy field. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 238: 168-178.
129. Programme mondial des Nations Unies pour l'évaluation des ressources en eau (WWAP) et ONU-Eau. 2018. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2018: les solutions fondées sur la nature pour la gestion de l'eau*. Paris, UNESCO.
130. FAO. 2009. *Les forêts et l'eau*. Étude FAO: Forêts n° 155. Rome (également disponible en ligne: www.fao.org/3/i0410f/i0410f00.pdf).
131. FAO. 2018. *Unasylva: forêts et villes durables*. Rome. 84 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/i8707fr/i8707FR.pdf).
132. Boonsong, K., Piyatirativorakul, S. et Patanaponpaiboon, P. 2003. Potential use of mangrove plantation as constructed wetland for municipal wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 48(5): 257-266.
133. Spalding, M., McIvor, A., Tonneijck, T., Tol, S. et van Eijk, P. 2014. *Mangroves for coastal defence. Guidelines for coastal managers and policy makers*. Wetlands International et The Nature Conservancy.
134. Ouyang, X. et Guo, F. 2016. Paradigms of mangroves in treatment of anthropogenic wastewater pollution. *Science of The Total Environment*, 544: 971-979.
135. Berry, P., Yassin, F., Belcher, K. et Lindenschmidt, K.-E. 2017. An economic assessment of local farm multi-purpose surface water retention systems under future climate uncertainty. *Sustainability*, 9(3): 456.
136. Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et Programme pour l'environnement des Caraïbes [CEP]. 1994. *Guidelines for sediment control practices in the Insular Caribbean*. CEP Technical Report No. 32. Kingston, PNUE et CEP.
137. Joshi, P.K., Jha, A.K., Wani, S.P., Sreedevi, T.K. et Shaheen, F.A. 2008. *Impact of watershed program and conditions for success: a meta-analysis approach*. Global Theme on Agroecosystems Report No. 46. Patancheru (Inde), ICRISAT. 24 pages.
138. Liu, Y., Engel, B.A., Flanagan, D.C., Gitau, M.W., McMillan, S.K. et Chaubey, I. 2017. A review on effectiveness of best management practices in improving hydrology and water quality: needs and opportunities. *Science of The Total Environment*, 601-602: 580-593.
139. Myint, M.M. et Westerberg, V. 2015. *An economic valuation of a large-scale rangeland restoration project through the Hima system in Jordan*. Nairobi, Union internationale pour la conservation de la nature.
140. Ran, L., Lu, X. et Xu, J. 2013. Effects of vegetation restoration on soil conservation and sediment loads in China: a critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 43(13): 1384-1415.
141. Senkondo, W., Tumbo, M. et Lyon, S. 2018. On the evolution of hydrological modelling for water resources in Eastern Africa. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 13(028): 1-26.
142. Xie, H. et Ringler, C. 2017. Agricultural nutrient loadings to the freshwater environment: the role of climate change and socioeconomic change. *Environmental Research Letters*, 12(10): 104008 [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa8148>.
143. Gregory, R., Funge-Smith, S.J. et Baumgartner, L. 2018. *An ecosystem approach to promote the integration and coexistence of fisheries within irrigation systems*. FAO, Circulaire sur les pêches et l'aquaculture n° 1169. Rome, FAO. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 62 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/CA2675EN/ca2675en.pdf).
144. FAO. 2020. AQUASTAT. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 15 août 2020] www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=fr.
145. WWAP. 2017. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017. Les eaux usées – Une ressource inexploitée*. Paris, UNESCO.
146. International Desalination Association (IDA). 2019. *IDA Water Security Handbook 2019–2020*. Topsfield (États-Unis d'Amérique).
147. FAO. 2013. *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* Informe sobre Temas Hídricos No. 35. Rome. 142 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i1629s.pdf).
148. Jaramillo, M.F. et Restrepo, I. 2017. Wastewater reuse in agriculture: a review about its limitations and benefits. *Sustainability*, 9(10): 1734.
149. ESPON, Interact, Interreg Europe et URBACT. 2016. *Pathways to a circular economy in cities and regions: a policy brief addressed to policy makers from European cities and regions*. Lille (France).

150. Neczaj, E. et Grosser, A. 2018. Circular economy in wastewater treatment plant – challenges and barriers. *Proceedings*, 2(11): 614.
151. Office statistique de l'Union européenne. 2019. Production et élimination de boues de stations d'épuration Dans: *EUROSTAT* [en ligne] [référencé le 8 août 2020].
152. FAO. 2019. *International Symposium on the Use of Nonconventional Waters for Achieving Food Security* [en ligne] [référencé le 8 août 2020] www.fao.org/3/ca7124en/ca7124en.pdf.
153. Kumar, M., Culp, T. et Shen, Y. 2017. Water desalination history, advances, and challenges. *Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2016 Symposium.*, p. 55-68. Washington, National Academies Press.
154. Voutchkov, N., Kaiser, G., Stover, R., Lienhart, J. et Awerbuch, L. 2019. *Sustainable management of desalination plant concentrate*. Desalination industry position paper. Topsfield (États-Unis d'Amérique), Energy and Environment Committee of the International Desalination Association (IDA).
155. Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M.T.H., Smakhtin, V. et Kang, S. 2019. The state of desalination and brine production: a global outlook. *Science of The Total Environment*, 657: 1343-1356.
156. Martínez Beltrán, J. et Koo-Oshima, S. 2006. *Water desalination for agricultural applications*. Proceedings of the FAO expert consultation on water desalination for agricultural applications, 26–27 April 2004, Rome. Land and Water Discussion Paper No. 5. Rome, FAO. 55 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-a0494e.pdf).
157. Morillo, J., Usero, J., Rosado, D., El Bakouri, H., Riaza, A. et Bernaola, F.-J. 2014. Comparative study of brine management technologies for desalination plants. *Desalination*, 336: 32-49.
158. Ward, C. et Debele, B. 2019. *The role of desalination in an increasingly water-scarce world*. Technical Paper. Washington, Banque mondiale (également disponible en ligne: <http://documents.worldbank.org/curated/en/476041552622967264/The-Role-of-Desalination-in-an-Increasingly-Water-Scarce-World-Technical-Paper>).
159. Wittholz, M.K., O'Neill, B.K., Colby, C.B. et Lewis, D. 2008. Estimating the cost of desalination plants using a cost database. *Desalination*, 229(1-3): 10-20.
160. Ghaffour, N., Missimer, T.M. et Amy, G.L. 2013. Technical review and evaluation of the economics of water desalination: current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309: 197-207.
161. Yermiyahu, U., Tal, A., Ben-Gal, A., Bar-Tal, A., Tarchitzky, J. et Lahav, O. 2007. Rethinking desalinated water quality and agriculture. *Science*, 318(5852): 920-921.
162. Dévora-Isiodia, G.E., Martínez-Macías, M. del R., Correa-Murrieta, M.A., Álvarez-Sánchez, J. et Fimbres-Weihs, G.A. 2018. Using desalination to improve agricultural yields: success cases in Mexico. Dans: M. Eyvaz et E. Yüksel (dir. pub.). *Desalination and Water Treatment*, p. 3-16. InTech.
163. Banque mondiale. 2017. *ICT in agriculture: connecting smallholders to knowledge, networks, and institutions*. Washington, Groupe de la Banque mondiale.
164. National Research Council. 1997. *Precision agriculture in the 21st century: geospatial and information technologies in crop management*. Washington, National Academies Press.
165. Dargie, W. et Zimmerling, M. 2007. Wireless sensor networks in the context of developing countries. Document présenté au troisième Forum mondial de l'IFIP sur les technologies de l'information. Addis-Abeba.
166. AKVA Group. 2019. Feed systems: Akvasmart CCS matches fish appetite. Dans: AKVA Group [en ligne] [référencé le 8 août 2020] www.akvagroup.com/penn-based-aquaculture/feed-systems.
167. FAO. 2019. WaPOR, remote sensing for water productivity. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 8 août 2020] [https://wapor.apps.fao.org/home/1](https://wapor.apps.fao.org/home/).
168. Digital Green. 2020. India. Dans: Digital Green [en ligne] [référencé le 8 août 2020] www.digitalgreen.org/india/.
169. FAO. 2019. *Utilisation de la télédétection à l'appui de solutions pour réduire les écarts de productivité de l'eau dans l'agriculture* [en ligne] [référencé le 8 août 2020] www.fao.org/3/ca5372fr/ca5372fr.pdf.
170. FAO. 2019. WaPOR: Gross Biomass Water Productivity 2019. Rome.

BIBLIOGRAPHIE

171. FAO. 2017. FAO Aquaculture Newsletter. No. 56. Rome. 66 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i7171e.pdf).

172. FAO. 2019. FAO yearbook. *Fishery and Aquaculture Statistics 2017 / FAO annuaire. Statistiques des pêches et de l'aquaculture 2017 / FAO anuario. Estadísticas de pesca y acuicultura 2017*. Rome. 109 pages (également disponible en ligne: available at www.fao.org/3/ca5495t/CA5495T.pdf).

173. FAO. 2018. *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2018. Atteindre les objectifs de développement durable*. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 244 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/i9540fr/i9540fr.pdf).

174. Bregnballe, J. 2015. *A guide to recirculation aquaculture: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems*. Rome et Copenhague, FAO et EUROFISH International Organisation. 95 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i4626e.pdf).

175. Corner, R., Fersoy, H. et Crespi, V. 2020. *Integrated agri-aquaculture in desert and arid lands: learning from case studies from Algeria, Egypt and Oman*. FAO, Circulaire sur les pêches et l'aquaculture n° 1195. Le Caire, FAO. 163 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca8610en/CA8610EN.pdf).

176. Chopin, T. et Robinson, S. 2004. Defining the appropriate regulatory and policy framework for the development of integrated multi-trophic aquaculture practices: introduction to the workshop and positioning of the issues. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, 104(3): 4-10.

177. Lin, Y.-F., Jing, S.-R., Lee, D.-Y. et Wang, T.-W. 2002. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system. *Aquaculture*, 209(1-4): 169-184.

178. FAO. 2016. *Report of the FAO technical workshop on advancing aquaponics: an efficient use of limited resources, Osimo, Italy, 27-30 octobre 2015*. FAO, Rapport sur les pêches et l'aquaculture n° 1132. Rome. 66 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i5337e.pdf).

179. FAO. 2014. *Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming*. FAO, Document technique sur les pêches et l'aquaculture n° 589. Rome. 262 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i4021e.pdf).

180. Soliman, N.F. 2017. *Aquaculture in Egypt under changing climate: challenges and opportunities*. Working Paper No. 4. Alexandrie [Égypte], Alexandria Research Center for Adaptation to Climate Change (ARCA)

(également disponible en ligne: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.18235.21284>).

181. FAO. 2015. *Mapping the vulnerability of mountain peoples to food insecurity*. Rome. 77 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i5175e.pdf).

182. Sumner, M. et Naidu, R. (dir. pub.). 1998. Sodic soils: distribution, properties, management, and environmental consequences. *Sodic Soils, The World Scene*, p. 19-34. Oxford University Press.

183. Yao, Z., Lai, Q., Hao, Z., Chen, L., Lin, T., Zhou, K. et Wang, H. 2015. Carbonic anhydrase 2-like and Na⁺-K⁺-ATPase α gene expression in medaka (*Oryzias latipes*) under carbonate alkalinity stress. *Fish Physiology and Biochemistry*, 41(6): 1491-1500.

184. FAO. 2020. Gestion des sols affectés par le sel. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 8 août 2020] www.fao.org/soils-portal/soil-management/gestion-des-sols-a-problemes/gestion-des-sols-affectes-par-le-sel/fr/.

185. Allan, G.L., Fielder, D.S., Fitzsimmons, K.M., Applebaum, S.L. et Raizada, S. 2009. Inland saline aquaculture. *New Technologies in Aquaculture*, p. 1119-1147. Elsevier (également disponible en ligne: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781845693848500361>).

186. FAO. 1996. *Manual on the production and use of live food for aquaculture*. FAO Fisheries Technical Paper No. 361. Rome. 295 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-w3732e.pdf).

187. Love, D.C., Fry, J.P., Genello, L., Hill, E.S., Frederick, J.A., Li, X. et Semmens, K. 2014. An international survey of aquaponics practitioners. *PLoS ONE*, 9(7): e102662 [en ligne] [référencé le 22 mai 2020] <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102662>.

188. FAO. 2019. *Report of the special session on advancing integrated agriculture aquaculture through agroecology: Montpellier, 25 August 2018*. FAO, Rapport sur les pêches et l'aquaculture n° 1286. Rome. 262 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca7209en/ca7209en.pdf).

189. FAO. 2017. WASAG: *The global framework on water scarcity in agriculture* [en ligne] [référencé le 8 août 2020] www.fao.org/3/a-i5604e.pdf.

190. Halwart, M. et van Dam, A.A. 2006. *Integrated irrigation and aquaculture in West Africa: concepts, practices and potential*. Rome, FAO. 181 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a0444e/A0444E.pdf).

191. Halwart, M. et Gupta, M.V. 2010. *L'élevage de poisson en rizière*. Rome et Penang (Malaisie), FAO et WorldFish Center. 98 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-a0823f.pdf).

192. FAO. 2020. *FAO Aquaculture Newsletter*. No. 61. Rome. 68 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca8302en/CA8302EN.pdf).

193. FAO. 2005. Rice fish culture, China. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 8 août 2020] www.fao.org/giahs/giahsaroundtheworld/designated-sites/asia-and-the-pacific/rice-fish-culture/en/.

194. Jones, R. 2017. *Aquaculture could feed the world and protect the planet - if we get it right* [en ligne] www.weforum.org/agenda/2017/10/how-aquaculture-can-feed-the-world-and-save-the-planet-at-the-same-time/.

CHAPITRE 4

1. HLPE. 2015. *L'eau, enjeu pour la sécurité alimentaire mondiale*. Rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition du Comité de la sécurité alimentaire mondiale Rome, FAO. 151 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-av045f.pdf).

2. Gregory, R., Funge-Smith, S.J. et Baumgartner, L. 2018. *An ecosystem approach to promote the integration and coexistence of fisheries within irrigation systems*. FAO, Circulaire sur les pêches et l'aquaculture n° 1169. Rome, FAO. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 62 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/CA2675EN/ca2675en.pdf).

3. Harrod, C., Simmance, F., Funge-Smith, S. et Valbo-Jorgensen, J. 2018. Options and opportunities for supporting inland fisheries to cope with climate change adaptation in other sectors. Dans: M. Barange, T. Bahri, M.C.M. Beveridge, K.L. Cochrane, S. Funge-Smith et F. Poulin (dir. pub.). *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*, p. 567-584. FAO, Document technique sur les pêches et l'aquaculture n° 627. Rome, FAO. 628 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/i9705en/i9705en.pdf) (résumé également disponible en ligne [*Impacts du changement climatique sur les pêches et l'aquaculture: synthèse des connaissances actuelles, options d'adaptation et d'atténuation*]: www.fao.org/3/ca0356fr/CA0356FR.pdf]).

4. FAO. 2016. *Coping with water scarcity – The role of agriculture Phase III: Strengthening national capacities*. Jordan. Rome. 32 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i5400e.pdf).

5. FAO. 2014. *Gouvernance des ressources en eau à l'appui de l'agriculture et de la sécurité alimentaire*. Comité de l'agriculture, Vingt-quatrième session, Rome, 29 septembre-3 octobre 2014 (COAG/2014/6) [en ligne] [référencé le 12 août 2020] www.fao.org/3/a-mk967f.pdf.

6. Groundwater Governance. 2019. About the project. Dans: *Groundwater Governance - A Global Framework for Action* [en ligne] [référencé le 12 août 2020] www.groundwatergovernance.org/about-the-project/en/.

7. Water Governance Facility. 2020. About the Water Governance Facility. Dans: *Water Governance Facility* [en ligne] [référencé le 12 août 2020] www.watergovernance.org/about-us/.

8. OCDE. 2020. Initiative de l'OCDE sur la gouvernance de l'eau. Dans: *OECD* [en ligne] www.oecd.org/fr/gov/politique-regionale/initiative-de-ocde-sur-la-gouvernance-de-eau.htm.

9. FAO. 2012. *Faire face à la pénurie d'eau: un cadre d'action pour l'agriculture et la sécurité alimentaire*. FAO, Rapport sur l'eau No. 38. Rome. 97 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i3015f.pdf).

10. FAO. 2016. *Exploring the concept of water tenure*. Land and Water Discussion Paper No. 10. Rome. 89 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i5435e.pdf).

11. Batchelor, C., Hoogeveen, J., Faurès, J.M. et Peiser, L. 2017. *Water accounting and auditing: a sourcebook*. FAO, Rapport sur l'eau n° 43. Rome, FAO. 234 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i5923e.pdf).

12. Ariyama, J., Batchelor, C. et Vallée, D. 2020. Huit rapports de pays sur la comptabilité rapide de l'eau, établis dans le cadre du projet financé par l'Agence suédoise de coopération et d'aide au développement international (ASDI) et intitulé «*Implementing the 2030 agenda on water efficiency, productivity and sustainability in the NENA region*». Le Caire, FAO.

13. Rosegrant, M. 2019. *From scarcity to security: managing water for a nutritious food future*. Chicago (États-Unis d'Amérique), Chicago Council on Global Affairs.

14. Pingali, P.L. et Rosegrant, M.W. 2001. Intensive food systems in Asia: can the degradation problems be reversed? Dans: D.R. Lee et C.B. Barrett (dir. pub.). *Tradeoffs or synergies? Agricultural intensification, economic development and the environment*, p. 383-397. Wallingford (Royaume-Uni), CABI. 560 pages.

BIBLIOGRAPHIE

15. OCDE. 2015. *Les périls du tarissement. Vers une utilisation durable des eaux souterraines en agriculture.* Études de l'OCDE sur l'eau. Paris.
16. Bureau of Reclamation. 2015. Reclamation announces initial water supply allocation for central valley project. Dans: *News Release Archive* [en ligne] [référencé le 12 août 2020] www.usbr.gov/newsroom/newsrelease/detail.cfm?RecordID=48986.
17. Valbo-Jørgensen, J., Marmulla, G. et Welcomme, R.L. 2008. Migratory fish stocks in transboundary basins — implications for governance, management and research. Dans: V. Lagutov (dir. pub.). *Rescue of Sturgeon Species in the Ural River Basin*, p. 61-86. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Dordrecht (Pays-Bas), Springer. 351 pages.
18. Bojic, D. et Vallée, D. 2019. Managing complexity for sustainability: experience from governance of water-food-energy nexus. Paper presented at Third World Irrigation Forum, 1^{er} septembre 2019, Bali (Indonésie).
19. Institut agronomique et vétérinaire (IAV) Hassan II. À paraître. Analysis of water productivity in Berrechid region, contribution to the FAO project "Implementing the 2030 agenda for efficiency, productivity and sustainability in the NENA region".
20. FAO. 2006. *Modern water rights: theory and practice.* FAO Legislative Study No. 92. Rome. 126 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-a0864e.pdf).
21. Lachman, B., Resetar, S., Kalra, N., Schaefer, A. et Curtright, A. 2016. Water market mechanisms. *Water Management, Partnerships, Rights, and Market Trends*, p. 127-188. Santa Monica (États-Unis d'Amérique), RAND Corporation.
22. Easter, K.W. et Huang, Q. (dir. pub.). 2014. *Water markets for the 21st century: what have we learned?* Global Issues in Water Policy. Pays-Bas, Springer.
23. Rosegrant, M.W. et Binswanger, H.P. 1994. Markets in tradable water rights: potential for efficiency gains in developing country water resource allocation. *World Development*, 22[11]: 1613-1625.
24. FAO. 2002. *Le régime foncier et le développement rural.* FAO Études sur les régimes fonciers n° 3. Rome. 62 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-y4307f.pdf).
25. Rosegrant, M. 2016. Challenges and policies for global water and food security. *Economic Review: Special Issue 2016: Agriculture's Water Economy.*
26. FAO. 2012. *Directives volontaires pour une gouvernance responsable des régimes fonciers applicables aux terres, aux pêches et aux forêts dans le contexte de la sécurité alimentaire nationale.* Rome. 49 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i2801f.pdf).
27. Young, M. 2015. *Unbundling water rights: a blueprint for development of robust water allocation systems in the Western United States.* NI R 15-01. Durham (États-Unis d'Amérique), Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions.
28. Ravnborg, H.M. 2016. Water governance reform in the context of inequality: securing rights or legitimizing dispossession? *Water International*, 41(6): 928-943.
29. Rosegrant, M.W., Ringler, C. et Zhu, T. 2009. Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1): 205-222.
30. Morgera, E., Webster, E., Hamley, G., Sindico, F., Robbie, J., Switzer, S., Berger, T., Silva Sánchez, P., Lennan, M., Martin-Nagle, R., Tsionumani, E., Moynihan, R. et Zydek, A. 2020. *The right to water for food and agriculture.* Rome, FAO. 143 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca8248en/CA8248EN.pdf).
31. WWAP. 2019. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2019: ne laisser personne pour compte.* Paris, UNESCO.
32. Marino, M. et Kemper, K. 1999. *Institutional frameworks in successful water markets - Brazil, Spain, and Colorado* (États-Unis d'Amérique). Technical Paper No. 427. Washington, Banque mondiale.
33. Debaere, P. et Li, T. 2017. The effects of water markets: evidence from the Rio Grande. Document sélectionné établi en vue d'une présentation à la réunion annuelle de 2017 de la *Applied Economics Association Annual Meeting*, Chicago, Illinois, 30 juillet-1^{er} août. University of Virginia.
34. Libecap, G., Cole, D. et Ostrom, E. 2012. Water rights and markets in the U.S. semi-arid West: efficiency and equity issues. Dans: D.H. Cole et E. Ostrom (dir. pub.). *Property in land and other resources*, p. 389-411. Cambridge (États-Unis d'Amérique), Lincoln Institute. 492 pages.
35. Australian Government. 2019. *Australian Water Markets Report 2017-18: National overview section.* Melbourne, Australia, Bureau of Meteorology.

- 36. Boelens, R. et Vos, J.** 2012. The danger of naturalizing water policy concepts: water productivity and efficiency discourses from field irrigation to virtual water trade. *Agricultural Water Management*, 108: 16-26.
- 37. Hearne, R. et Donoso, G.** 2014. Water markets in Chile: are they meeting needs? Dans: K.W. Easter et Q. Huang (dir. pub.). *Water Markets for the 21st Century*, p. 103-126. Global Issues in Water Policy. Dordrecht (Pays-Bas), Springer. 359 pages.
- 38. Hadjigeorgalis, E. et Lillywhite, J.** 2004. The impact of institutional constraints on the Limarí River Valley water market: constraints on the water market. *Water Resources Research*, 40(5) [en ligne] [référencé le 8 août 2020] <http://doi.wiley.com/10.1029/2003WR002701>.
- 39. Young, M.** 2014. Trading into trouble? Lessons from Australia's mistakes in water policy reform sequencing. Dans: K.W. Easter et Q. Huang (dir. pub.). *Water Markets for the 21st Century*, p. 203-214. Global Issues in Water Policy. Dordrecht (Pays-Bas), Springer. 359 pages (également disponible en ligne: http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-9081-9_11).
- 40. Grafton, R.Q.** 2019. Policy review of water reform in the Murray-Darling Basin, Australia: the "do's" and "do'nots". *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 63(1): 116-141.
- 41. Molle, F. et Closas, A.** 2017. Groundwater Governance: A synthesis. *Groundwater Governance in the Arab World Report No. 6*. Colombo, IWMI et USAID.
- 42. Saleth, R.M.** 2014. Water markets in India: extent and impact. Dans: K.W. Easter et Q. Huang (dir. pub.). *Water Markets for the 21st Century*, p. 239-261. Global Issues in Water Policy. Dordrecht (Pays-Bas), Springer. 359 pages.
- 43. Mukherjee, S. et Biswas, D.** 2016. An enquiry into equity impact of groundwater markets in the context of subsidised energy pricing: a case study. *IIM Kozhikode Society & Management Review*, 5(1): 63-73.
- 44. Manjunatha, A.V., Speelman, S., Chandranth, M.G. et Van Huylebroeck, G.** 2011. Impact of groundwater markets in India on water use efficiency: a data envelopment analysis approach. *Journal of Environmental Management*, 92(11): 2924-2929.
- 45. Wang, J., Zhang, Q., Huang, J. et Rozelle, S.** 2014. Assessment of the development of groundwater market in China. Dans: K.W. Easter et Q. Huang (dir. pub.). *Water Markets for the 21st Century: What have we learned?*, p. 263-282. Dordrecht (Pays-Bas), Springer. 359 pages.
- 46. Jianwei, M.** 2008. Participants in groundwater markets: who are sellers and who are winners? Fighting poverty through sustainable water use. Document présenté au *Challenge Program on Water and Food* du CGIAR, au deuxième Forum international sur l'eau et l'alimentation, 2008, Addis-Abeba.
- 47. Babbitt, C., Hall, M. et Hayden, A.** 2018. The future of groundwater in California: lessons in sustainable management from across the western U.S. Lincoln (États-Unis d'Amérique), Environmental Defense Fund Daugherty Water for Food Global Institute at the University of Nebraska.
- 48. Commission européenne.** 2013. The role of water pricing and water allocation in agriculture in delivering sustainable water use in Europe. Final report. Projet n° 11589. Bruxelles.
- 49. Dinar, A., Pochat, V. et Albiac-Murillo, J. (dir. pub.).** 2015. *Water pricing experiences and innovations*. Global Issues in Water Policy. Cham (Suisse), Springer International Publishing.
- 50. Molle, F. et Berkoff, J. (dir. pub.).** 2007. *Irrigation water pricing: the gap between theory and practice*. Wallingford (Royaume-Uni), CABI.
- 51. OCDE.** 2018. *Financing water: investing in sustainable growth*. OECD Environment Policy Papers No. 11. Paris.
- 52. Mamtimin, Y., Feike, T. et Doluschitz, R.** 2015. Bayesian network modeling to improve water pricing practices in northwest China. *Water*, 7(10): 5617-5637.
- 53. Rosegrant, M.** 2020. Water management for sustainable irrigated and rainfed agriculture: opportunities, challenges, impacts and the way forward. Document établi pour *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2020. Relever le défi de l'eau dans l'agriculture*. Washington.
- 54. FAO.** 2008. *AQUASTAT country profile – Israel* [en ligne] [référencé le 12 août 2020] www.fao.org/3/ca0341en/CA0341EN.pdf.
- 55. Weitzman, M.L.** 1974. Prices vs. quantities. *The Review of Economic Studies*, 41(4): 477.
- 56. Burness, H.S. et Quirk, J.P.** 1980. Water law, water transfers, and economic efficiency: the Colorado River. *The Journal of Law and Economics*, 23(1): 111-134.

BIBLIOGRAPHIE

57. Rosegrant, M., Li, M. et Xu, W. 2017. Beyond water markets: second-best water allocation policy. Dans: P. Pingali et G. Feder (dir. pub.). *Agriculture and Rural Development in a Globalizing World: challenges and opportunities*, p. 227-250. Part Three: Community and rural institutions. Chapter 12. New York (États-Unis d'Amérique), Routledge Earthscan.
58. Burness, H.S. et Quirk, J.P. 1979. Appropriative water rights and the efficient allocation of resources. *The American Economic Review*, 69(1): 25-37 (également disponible en ligne: <https://www.jstor.org/stable/1802494>).
59. Molle, F. 2009. Water scarcity, prices and quotas: a review of evidence on irrigation volumetric pricing. *Irrigation and Drainage Systems*, 23(1): 43-58.
60. Tsur, Y. et Dinar, A. 1995. *Efficiency and equity considerations in pricing and allocating irrigation water*. Policy Research Working Paper No. 1460. Washington, Banque mondiale. 40 pages.
61. Latinopoulos, P. 2005. Valuation and pricing of irrigation water: an analysis in Greek agricultural areas. *Global NEST Journal*, 7(3): 323-335.
62. Huang, Q., Rozelle, S., Howitt, R., Wang, J. et Huang, J. 2010. Irrigation water demand and implications for water pricing policy in rural China. *Environment and Development Economics*, 15(3): 293-319.
63. Rosegrant, M.W. et Hazell, P.B.R. 2000. *Transforming the rural Asian economy: the unfinished revolution*. New York (États-Unis d'Amérique), Oxford University Press. 512 pages.
64. Perry, C. 2001. Water at any price? Issues and options in charging for irrigation water. *Irrigation and Drainage*, 50(1): 1-7.
65. Lofgren, H. 1996. *Cost of managing with less: cutting water subsidies and supplies in Egypt's agriculture*. Trade and Microeconomics Division Discussion Paper No. 7. IFPRI.
66. Brill, E., Hochman, E. et Zilberman, D. 1997. Allocation and pricing at the water district level. *American Journal of Agricultural Economics*, 79(3): 952-963.
67. Rosegrant, M., Ringler, C. et Rodgers, C. 2005. The water brokerage mechanism – efficient solution for the irrigation sector. Paper presented at XII World Water Congress "Water for Sustainable Development - Towards Innovative Solutions", 2005, New Delhi (Inde).
68. FAO. 2017. *Community fisheries organizations of Cambodia: sharing processes, results and lessons learned in the context of the implementation of the SSF Guidelines*. FAO, Circulaire sur les pêches et l'aquaculture n° 1138. Rome. 99 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i7206e.pdf).
69. Ostrom, E. 1990. *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. New York (États-Unis d'Amérique), Cambridge University Press.
70. Liu, J., Meinzen-Dick, R., Qian, K., Zhang, L. et Jiang, L. 2002. The impact of irrigation management transfer on household production in central China. *China Economic Quarterly*, 17: 465-480.
71. Samad, M. et Vermillion, D.L. 1999. *Assessment of participatory management of irrigation schemes in Sri Lanka: partial reforms, partial benefits*. Colombo, IWMI.
72. Uphoff, N. et Wijayaratna, C.M. 2000. Demonstrated benefits from social capital: the productivity of farmer organizations in Gal Oya, Sri Lanka. *World Development*, 28(11): 1875-1890.
73. Chaudhry, W. 1998. *Water users' associations in Pakistan: institutional, organizational and participatory aspects*. Göttingen (Allemagne), Georg-August-Universität Göttingen.
74. Mekonnen, D.K., Channa, H. et Ringler, C. 2015. The impact of water users' associations on the productivity of irrigated agriculture in Pakistani Punjab. *Water International*, 40(5-6): 733-747.
75. Aarnoudse, E., Closas, A. et Lefore, N. 2018. *Water user associations: a review of approaches and alternative management options for sub-Saharan Africa*. Colombo, IWMI.
76. Araral, E. 2005. Water user associations and irrigation management transfer: understanding impacts and challenges. Dans: P. Shyamsundar, E. Araral et S. Weeraratne (dir. pub.). *Devolution of resource rights, poverty, and natural resource management*, p. 45-63. Environmental Economics Series No. 104. Washington, Banque mondiale. 121 pages.
77. Gómez, M. et Winkler, I. 2015. Gender equality, water governance and food security with a focus on the Near East and North Africa (NENA). Global Initiative for Economic, Social and Cultural Rights. Genève.
78. FAO. 2016. *How can women control water? Increase agriculture productivity and strengthen resource management* [en ligne] [référencé le 12 août 2020] www.fao.org/3/a-i6405e.pdf.

- 79. Araral, E.** 2011. *The impact of decentralization on large scale irrigation: evidence from the Philippines*. SSRN Scholarly Paper ID 1904755. Rochester (États-Unis d'Amérique), Social Science Research Network.
- 80. Mukherji, A., Fuleki, B., Suhardiman, D., Shah, T. et Giordano, M.** 2009. *Irrigation reform in Asia: a review of 108 cases of irrigation management transfer*. IWMI Research Reports No. 118.
- 81. Shah, T., van Koppen, B., Merrey, D., de Lange, M. et Samad, M.** 2002. *Institutional alternatives in African smallholder irrigation: lessons from international experience with irrigation management transfer*. Research Report No. 60. Colombo (Sri Lanka), IWMI. 24 pages.
- 82. Giordano, M., Samad, M. et Namara, R.** 2007. Assessing the outcomes of IWMI's research and interventions on irrigation management transfer. Dans: H. Waibel (dir. pub.). *International research on natural resource management - advances in impact assessment*. Londres et Rome, CAB International et FAO. 270 pages.
- 83. Hatibu, H., Oweis, T., Wani, S., Barron, J., Bruggeman, A., Qiang, Z., Farahani, J. et Karlberg, L.** 2007. Managing water in rainfed agriculture. Dans: D. Molden (dir. pub.). *Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture*, p. 315-352. Londres, IWMI et Earthscan. 48 pages.
- 84. Adegoke, J., Aggarwal, P.K., Rüegg, M., Hansen, J., Cuellar, D., Diro, R., Shaw, R., Hellin, J., Greatrex, H. et Zougmoré, R.B.** 2017. Improving climate risk transfer and management for climate-smart agriculture – a review of existing examples of successful index-based insurance for scaling up. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 12 août 2020] www.fao.org/3/a-bu216e.pdf.
- 85. Wani, S., Rockstrom, J. et Sahrawat, K.** 2017. *Integrated watershed management in rainfed agriculture*. Londres, CRC Press.
- 86. Government of India.** 2017. National Rainfed Area Authority. Dans: *Ministry of Agriculture and Farmers Welfare* [en ligne] [référencé le 12 août 2020] http://nraa.gov.in/Organization_Structure.aspx.
- 87. Livestock Emergency Guidelines.** 2014. *Livestock Emergency Guidelines and Standards (LEGs)*. Second edition. Rugby (Royaume-Uni), Practical Action Publishing.
- 88. FAO.** 2018. *Systèmes ingénieux du patrimoine agricole mondial. Une combinaison de biodiversité agricole, d'écosystèmes résilients, de pratiques agricoles traditionnelles et d'identité culturelle* [en ligne] [référencé le 12 août 2020] www.fao.org/3/i9187fr/i9187FR.pdf.
- 89. Mati, M., Muchiri, J., Njenga, K., Penning de Vries, F. et Merrey, D.** 2006. *Assessing water availability under pastoral livestock systems in drought-prone Isiolo District, Kenya*. Colombo, International Water Management Institute.
- 90. FAO.** 2016. *Améliorer la gouvernance des terres pastorales. Mettre en œuvre les Directives volontaires pour une gouvernance responsable des régimes fonciers applicables aux terres, aux pêches et aux forêts dans le contexte de la sécurité alimentaire nationale*. Guide technique pour la gouvernance des régimes fonciers n° 6. Rome. 148 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/i5771fr/i5771FR.pdf).
- 91. FIDA.** 2017. *The JP RWEE pathway to women's empowerment. The Joint Programme on Accelerating Progress towards the Economic Empowerment of Rural Women* [en ligne] [référencé le 12 août 2020] www.ifad.org/documents/38714170/39148759/ Five+years+of+the+AAF%E2%80%99S+technical+assistance+facility/+de6fa0c4-1398-4b0c-acdc-c9e227d73439.
- 92. Watson, C.** 2011. Protecting livestock, protecting livelihoods: the Livestock Emergency Guidelines and Standards (LEGs). *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, 1(1): 9.
- 93. McCartney, M.P., Whiting, L., Makin, I., Lankford, B.A. et Ringler, C.** 2019. Rethinking irrigation modernisation: realising multiple objectives through the integration of fisheries. *Marine and Freshwater Research*, 70(9): 1201.
- 94. Dougherty, T.C. et Hall, A.W.** 1995. *Environmental impact assessment of irrigation and drainage projects*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 53. Rome. 105 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/tempref/agl/AGLV/Morini/05_EIA.pdf).
- 95. Lorenzen, K., Smith, L., Nguyen Khoa, S., Burton, M. et Garaway, C.** 2007. *Guidance manual: management of impacts of irrigation development on fisheries*. Colombo (Sri Lanka) et Penang (Malaisie), IWMI et WorldFish Center.
- 96. Joffre, O., Kosal, M., Kura, Y., Sereywath, P. et Thuok, N.** 2012. *Community fish refuges in Cambodia – lessons learned*. Phnom Penh, WorldFish Center.
- 97. Belton, B., Filipski, M. et Hu, C.** 2017. *Aquaculture in Myanmar: fish farm technology, production economics and management*. Feed the Future Innovation Lab for Food Security Policy Research Brief No. 37. East Lansing (États-Unis d'Amérique), Michigan State University.

BIBLIOGRAPHIE

98. **Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture** 2007. *Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture*. Londres et Sterling (États-Unis d'Amérique), Earthscan et IVM.
99. **Doocy, S., Daniels, A., Murray, S. et Kirsch, T.D.** 2013. The human impact of floods: a historical review of events 1980-2009 and systematic literature review. *PLoS Currents and Disasters*, 5 [en ligne] [référencé le 12 août 2020] <https://currents.plos.org/disasters/index.html%3Fp=6695.html>.
100. **Svetlana, D., Radovan, D. et Ján, D.** 2015. The economic impact of floods and their importance in different regions of the world with emphasis on Europe. *Procedia Economics and Finance*, 34: 649-655.
101. **Spate Irrigation Network Foundation**. 2015. *Flood based farming systems in Africa* [en ligne] [référencé le 12 août 2020] http://spate-irrigation.org/wp-content/uploads/2015/03/OP5_Flood-based-farming-in-Africa_SF.pdf.
102. **Talbot, C.J., Bennett, E.M., Cassell, K., Hanes, D.M., Minor, E.C., Paerl, H., Raymond, P.A., Vargas, R., Vidon, P.G., Wollheim, W. et Xenopoulos, M.A.** 2018. The impact of flooding on aquatic ecosystem services. *Biogeochemistry*, 141(3): 439-461.
103. **Opolot, E.** 2013. Application of remote sensing and geographical information systems in flood management: a review. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 6(10): 1884-1894.
104. **Bronstert, A.** 2003. Floods and climate change: interactions and impacts. *Risk Analysis*, 23(3): 545-557.
105. **FAO**. 2018. *The impact of disasters and crises on agriculture and food security 2017*. Rome. 144 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/I8656EN/i8656en.pdf).
106. **Short Gianotti, A.G., Warner, B. et Milman, A.** 2018. Flood concerns and impacts on rural landowners: an empirical study of the Deerfield watershed, MA (États-Unis d'Amérique). *Environmental Science & Policy*, 79: 94-102.
107. **Lane, S.N.** 2017. Natural flood management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4(3): e1211 [en ligne] [référencé le 12 août 2020] <http://doi.wiley.com/10.1002/wat2.1211>.
108. **Ahmed, F., Rafii, M.Y., Ismail, M.R., Juraimi, A.S., Rahim, H.A., Asfaliza, R. et Latif, M.A.** 2013. Waterlogging tolerance of crops: breeding, mechanism of tolerance, molecular approaches, and future prospects. *BioMed Research International*, 2013: 1-10.
109. **Shaw, R.E., Meyer, W.S., McNeill, A. et Tyerman, S.D.** 2013. Waterlogging in Australian agricultural landscapes: a review of plant responses and crop models. *Crop and Pasture Science*, 64(6): 549.
110. **Ritzema, H.P., Satyanarayana, T.V., Raman, S. et Boonstra, J.** 2008. Subsurface drainage to combat waterlogging and salinity in irrigated lands in India: lessons learned in farmers' fields. *Agricultural Water Management*, 95(3): 179-189.
111. **Ashraf, M.A.** 2012. Waterlogging stress in plants: a review. *African Journal of Agricultural Research*, 7(13): 1976-1981.
112. **Bennett, S.J., Barrett-Lennard, E.G. et Colmer, T.D.** 2009. Salinity and waterlogging as constraints to saltland pasture production: a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(4): 349-360.
113. **Department of Primary industries and Regional Development (DPIRD)**. 2019. *Managing waterlogging in crops and pastures* [en ligne] [référencé le 12 août 2020] www.agric.wa.gov.au/waterlogging/managing-waterlogging-crops-and-pastures.
114. **Islam, M.R., Abdullah, H.M., Ahmed, Z.U., Islam, I., Ferdush, J., Miah, M.G. et Miah, M.M.U.** 2018. Monitoring the spatiotemporal dynamics of waterlogged area in southwestern Bangladesh using time series Landsat imagery. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 9: 52-59.
115. **FAO**. 2020. AQUASTAT. Dans: *FAO* [en ligne] [référencé le 15 août 2020] www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=fr.
116. **International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)**. 2018. *Agricultural Water Management for Sustainable Rural Development: Annual report 2017-2018*. New Delhi.
117. **Valipour, M.** 2014. Drainage, waterlogging, and salinity. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(12): 1625-1640.
118. **Smedema, L.K., Vlotman, W.F. et Rycroft, D.W.** 2004. *Modern land drainage*. Londres, Taylor and Francis.
119. **Sheng, F. et Xiuling, C.** 2007. Developing drainage as the basis of comprehensive control of drought, waterlogging, salinity and saline groundwater. *Irrigation and Drainage*, 56(S1): S227-S244.

CHAPITRE 5

1. FAO. 2012. *Faire face à la pénurie d'eau: un cadre d'action pour l'agriculture et la sécurité alimentaire*. FAO, Rapport sur l'eau n° 38. Rome. 97 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i3015f.pdf).
2. Bhaduri, A., Ringler, C., Dombrowski, I., Mohtar, R. et Scheumann, W. 2015. Sustainability in the water-energy-food nexus. *Water International*, 40(5-6): 723-732.
3. Pingali, P.L. et Rosegrant, M.W. 2001. Intensive food systems in Asia: can the degradation problems be reversed? Dans: D.R. Lee et C.B. Barrett (dir. pub.). *Tradeoffs or synergies? Agricultural intensification, economic development and the environment*, p. 383-397. Wallingford (Royaume-Uni), CABI. 560 pages.
4. HLPE. 2015. *L'eau, enjeu pour la sécurité alimentaire mondiale*. Rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition du Comité de la sécurité alimentaire mondiale. Rome, FAO. 151 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-av045f.pdf).
5. FAO. 2017. *Aperçu régional de l'insécurité alimentaire au Proche-Orient et en Afrique du Nord – 2016*. Le Caire. 44 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i6860f.pdf).
6. Sdralevich, C., Sab, R., Zouhar, Y. et Albertin, G. 2014. *Subsidy reform in the Middle East and North Africa: recent progress and challenges ahead*. Departmental Paper No. 14/08. Washington, Fonds monétaire international.
7. Banque mondiale. 2018. *Beyond scarcity: water security in the Middle East and North Africa*. MENA Development Report (rapport analytique également disponible en ligne [Au-delà des pénuries: la sécurité de l'eau au Moyen-Orient et en Afrique du Nord]: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/27659/211144ovFR.pdf>). Washington.
8. Banque mondiale. 2007. *Making the most of scarcity: accountability for better water management results in the Middle East and North Africa*. MENA Development Report. Washington.
9. Conseil arabe de l'eau. 2014. *Troisième Forum arabe de l'eau: «Together towards a Secure Arab Water»*. Arab Water Council. Rapport final. Arab Water Council. Le Caire.
10. Berglöf, E., Devarajan, S., Jägerskog, A., Clausen, T.J., Holmgren, T. et Lexén, K. 2015. Water for development: fulfilling the promise. Dans: A. Jägerskog, T.. J. Clausen, T. Holmgren et K. Lexén (dir. pub.). *Water for development – charting a water wise path*, p. 23-27.

Report No. 35. Stockholm, Institut international de l'eau de Stockholm (SIWI). 73 pages.

11. United States Department of Agriculture (USDA). 2016. *Algeria: Grain and Feed Annual*. Foreign Agricultural Service Network GAIN Report AG1601. Global Agricultural Information. Foreign Agricultural Service (également disponible en ligne: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Grain%20and%20Feed%20Annual_Algiers_Algeria_3-23-2016.pdf).
12. Tellioglu, I. et Konandreas, P. 2017. *Agricultural policies, trade and sustainable development in Egypt*. Genève, Centre international pour le commerce et le développement durable (ICTSD).
13. Kassim, Y., Mahmoud, M., Kurdi, S. et Breisinger, C. 2018. *An agricultural policy review of Egypt: first steps towards a new strategy*. MENA RP Working Paper No. 11. Washington et Le Caire, IFPRI.
14. FAO. 2014. *Iran: country fact sheet on food and agriculture policy trends* [en ligne] www.fao.org/3/a-i4126e.pdf.
15. Sadiddin, A. 2013. An assessment of policy impact on agricultural water use in the northeast of Syria. *Environmental Management and Sustainable Development*, 2(1): 74.
16. FAO. 2017. *Tunisia: country fact sheet on food and agriculture policy trends* [en ligne] [référencé le 15 août 2020] www.fao.org/3/a-i7738e.pdf.
17. FAO. 2019. *Aperçu régional de l'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition. Transformation rurale - Clé du développement durable au Proche-Orient et en Afrique du Nord 2018*. Le Caire. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 84 pages (également disponible en ligne: <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/ca3817fr.pdf>).
18. Elbehri, A. et Sadiddin, A. 2016. Climate change adaptation solutions for the green sectors of selected zones in the MENA region. *Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society*, 4(3): 39-54.
19. FAO. 2020. FAOSTAT. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 15 août 2020] <http://www.fao.org/faostat/fr/#home>.
20. Mekonnen, M.M. et Hoekstra, A.Y. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5): 1577-1600.
21. FAO. 2020. AQUASTAT. Dans: FAO [en ligne] [référencé le 15 août 2020] www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=fr.

BIBLIOGRAPHIE

22. FAO, Institut agronomique méditerranéen de Montpellier (CIHEAM-IAMM) et Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD). 2017. *Étude sur l'agriculture familiale à petite échelle au Proche-Orient et Afrique du Nord. Synthèse.* Le Caire. 186 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/b-i6436f.pdf).
23. Ababsa, M. 2013. Crise agraire, crise foncière et sécheresse en Syrie (2000-2011). *Maghreb - Machrek*, 215(1): 101-122.
24. Weintal, E., Zawahri, N. et Sowers, J. 2015. Securitizing water, climate, and migration in Israel, Jordan, and Syria. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 15(3): 293-307.
25. De Châtel, F. 2014. The role of drought and climate change in the Syrian uprising: untangling the triggers of the revolution. *Middle Eastern Studies*, 50(4): 521-535.
26. ONU, Bureau de la coordination des affaires humanitaires (OCHA). 2010. *Syria drought response plan 2009-2010. Mid-term review*. New York (États-Unis d'Amérique).
27. Rosegrant, M. 2019. *From scarcity to security: managing water for a nutritious food future*. Chicago (États-Unis d'Amérique), Chicago Council on Global Affairs.
28. OCDE. 2019. *Navigating pathways to reform water policies in agriculture*. Paris.
29. Dhawan, V. 2017. *Water and agriculture in India: status, challenges and possible options for action. Background paper for the South Asia expert panel during the Global Forum for Food and Agriculture*. Hambourg (Allemagne), German Asia-Pacific Business Association (également disponible en ligne: www.oav.de/fileadmin/user_upload/5_Publikationen/5_Studien/170118_Study_Water_Agriculture_India.pdf).
30. Palanisami, K., Mohan, K., Giordano, M. et Charles, C. 2011. *Measuring irrigation subsidies in Andhra Pradesh and southern India: an application of the GSI method for quantifying subsidies*. Genève, Global Subsidies Initiative.
31. Lynch, A.J., Baumgartner, L.J., Boys, C.A., Conallin, J., Cowx, I.G., Finlayson, C.M., Franklin, P.A., Hogan, Z., Koehn, J.D., McCartney, M.P., O'Brien, G., Phouthavong, K., Silva, L.G.M., Tob, C.A., Valbo-Jørgensen, J., Vu, A.V., Whiting, L., Wibowo, A. et Duncan, P. 2019. Speaking the same language: can the sustainable development goals translate the needs of inland fisheries into irrigation decisions? *Marine and Freshwater Research*, 70(9): 1211-1228.
32. Jägermeyr, J., Pastor, A., Biemans, H. et Gerten, D. 2017. Reconciling irrigated food production with environmental flows for Sustainable Development Goals implementation. *Nature Communications*, 8(1): 15900.
33. Thorpe, A., Whitmarsh, D., Drakeford, B., Reid, C., Karimov, B., Timirkhanov, S., Satybekov, K. et Van Anrooy, R. 2011. *Feasibility of restocking and culture-based fisheries in Central Asia*. FAO, Document technique sur les pêches et l'aquaculture n° 565. Ankara, FAO. 106 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ba0037e/ba0037e.pdf).
34. Valbo-Jørgensen, J. et Thompson, P. 2007. *Culture-based fisheries in Bangladesh: a socio-economic perspective*. FAO Fisheries Technical Paper No. 499. Rome, FAO. 41 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a1412e/a1412e00.pdf).
35. De Silva, S. et Funge-Smith, S. 2005. *A review of stock enhancement practices in the inland water fisheries of Asia*. RAP Publication No. 2005/12. Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific. 93 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-ae932e.pdf).
36. Sugunan, V.V. 1997. *Fisheries management of small water bodies in seven countries in Africa, Asia and Latin America*. FAO Fisheries Circular No. 933. Rome, FAO (également disponible en ligne: www.fao.org/3/w7560e/w7560e00.htm).
37. FAO. 2015. *Responsible stocking and enhancement of inland waters in Asia*. RAP Publication No. 2015/11. Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific. 142 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i5303e.pdf).
38. Renault, D. et Facon, T. 2004. Beyond drops for crops: the system approach for water value assessment in rice-based production systems. Paper presented at FAO Rice Conference 04/CRS.17, 12 février 2004, Rome (également disponible en ligne: www.fao.org/3/y5682e/y5682e09.htm).
39. Renault, D., Wahaj, R. et Smits, S. 2013. *Multiple uses of water services in large irrigation systems: auditing and planning modernization the MASSMUS approach*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 67. Rome, FAO. 225 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/i3414e/i3414e.pdf).
40. Nguyen-Khoa, S., Smith, L. et Lorenzen, K. 2005. *Impacts of irrigation on inland fisheries: appraisals in Laos and Sri Lanka*. Comprehensive Assessment Research Report No. 7. Colombo, Comprehensive Assessment Secretariat.

- 41.** Jutagate, T., Silva, S.S.D. & Mattson, N.S. 2003. Yield, growth and mortality rate of the Thai river sprat, *Clupeichthys aescarnensis*, in Sirinthorn Reservoir, Thailand. *Fisheries Management and Ecology*, 10(4): 221-231.
- 42.** Kolding, J., van Zwieten, P., Martin, F., Funge-Smith, S. & Poulaïn, F. 2019. *Freshwater small pelagic fish and their fisheries in the major African lakes and reservoirs in relation to food security and nutrition*. FAO. Document technique sur les pêches et l'aquaculture n° 642. Rome, FAO. 122 pages. (également disponible en ligne: www.fao.org/documents/card/en/c/CA0843EN).
- 43.** FAO. 2018. *L'aménagement des bassins versants en action – leçons tirées des projets de terrain de la FAO*. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 186 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/I8087FR/i8087fr.pdf).
- 44.** Goyal, A. et Nash, J. 2020. *Obtenir de meilleurs résultats: priorités en matière de dépenses publiques pour les gains de productivité de l'agriculture africaine*. Collection «Afrique en développement». Washington: Banque mondiale. Licence: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO (<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/25996/9782379020056.pdf?sequence=1&isAllowed=y>).
- 45.** Shah, T., Ul Hassan, M., Khattak, M.Z., Banerjee, P.S., Singh, O.P. et Rehman, S.U. 2009. Is irrigation water free? A reality check in the Indo-Gangetic Basin. *World Development*, 37(2): 422-434.
- 46.** Kishore, A. 2004. Understanding agrarian impasse in Bihar. *Economic and Political Weekly*, 39(31): 3484-3491.
- 47.** Shah, T., Rajan, A., Rai, G.P., Verma, S. et Durga, N. 2018. Solar pumps and South Asia's energy-groundwater nexus: exploring implications and reimagining its future. *Environmental Research Letters*, 13(11): 115003 [en ligne] [référencé le 7 février 2020] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aae53f>.
- 48.** Jayan, T.V. 2018. Solar pumps: a nondescript village in Gujarat shows the way. Dans: *The Hindu* [en ligne] [référencé le 15 août 2020] <https://www.thehindubusinessline.com/news/solar-pumps-a-nondescript-village-in-gujarat-shows-the-way/article22694612.ece>.
- 49.** Claassen, R., Cattaneo, A. et Johansson, R. 2008. Cost-effective design of agri-environmental payment programs: U.S. experience in theory and practice. *Ecological Economics*, 65(4): 737-752.
- 50.** ONU. 2018. *Forests and water: valuation and payments for forest ecosystem services*. Genève.
- 51.** FAO. 2013. *Financial sustainability for environmental services: rural development in microwatersheds Rio Rural, Brazil*. Case studies on Remuneration of Positive Externalities (RPE)/Payments for Environmental Services (PES). Document établi pour le dialogue à parties prenantes multiples 12-13 septembre 2013. Rome (également disponible en ligne: www.fao.org/fileadmin/user_upload/pes-project/docs/FAO_RPE-PES_RJ_Brazil.pdf).
- 52.** OCDE. 2012. *Meeting the water reform challenge*. OECD Studies on Water. Paris, OECD Publishing.
- 53.** Rosegrant, M.W., Ringler, C. et Zhu, T. 2009. Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1): 205-222.
- 54.** Mekonnen, M.M. et Hoekstra, A.Y. 2011. *National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Value of Water Research Report Series No. 50. Delft (Pays-Bas), UNESCO-IHE.
- 55.** Ramirez-Vallejo, J. et Rogers, P. 2010. Failure of the virtual water argument: possible explanations using the case study of Mexico and NAFTA. Dans: C. Ringler, A.K. Biswas et S. Cline (dir. pub.). *Global change: impacts on water and food security*, p. 113-126. Berlin, Springer. 281 pages.
- 56.** Kumar, M.D. et Singh, O.P. 2005. Virtual water in global food and water policy making: is there a need for rethinking? *Water Resources Management*, 19(6): 759-789.
- 57.** Wichelns, D. 2010. Virtual water: a helpful perspective, but not a sufficient policy criterion. *Water Resources Management*, 24: 2203-2219.
- 58.** Berittella, M., Rehdanz, K., Tol, R. et Zhang, J. 2008. The impact of trade liberalization on water use: a computable general equilibrium analysis. *Journal of Economic Integration*, 23(3): 631-655.
- 59.** Konar, M. et Taylor, K.K. 2013. Virtual water trade and development in Africa. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(10): 3969-3982.
- 60.** Hoekstra, A. 2010. *The relation between international trade and freshwater scarcity*. Staff Working Paper ERS-2010-05. Enschede (Pays-Bas), Organisation mondiale du commerce.
- 61.** Wichelns, D. 2010. *An economic analysis of the virtual water concept in relation to the agri-food sector*. Background report supporting the OECD study (2010) Sustainable management of water resources in agriculture. Paris, OECD.

BIBLIOGRAPHIE

62. Jackson, L.A., Pene, C., Martinez-Hommel, M.-B., Tamiotti, L. et Hofmann, C. 2014. Water policy, agricultural trade and WTO rules. Dans: P. Martinez-Santos, M. Aldaya et M. Ramón Llamas (dir. pub.). *Integrated water resources management in the 21st century: revisiting the paradigm*, p. 59-78. Leiden (Pays-Bas), CMR Press. 321 pages.
63. Domenech, L. et Ringler, C. 2013. *The impact of irrigation on nutrition, health, and gender: a review paper with insights for Africa south of the Sahara*. Discussion Paper No. 01259. Washington, IFPRI.
64. Bryan, E., Chase, C. et Schulte, M. 2019. *Nutrition-sensitive irrigation and water management*. Water Global Practice Guidance Note. Washington, Banque mondiale.
65. Iannotti, L., Cunningham, K. et Ruel, M. 2009. *Improving diet quality and micronutrient nutrition: homestead food production in Bangladesh*. 2020 Vision Initiative. IFPRI Discussion Paper 00928. Washington, IFPRI.
66. Olney, D.K., Talukder, A., Iannotti, L.L., Ruel, M.T. et Quinn, V. 2009. Assessing impact and impact pathways of a homestead food production program on household and child nutrition in Cambodia. *Food and Nutrition Bulletin*, 30(4): 355-369.
67. Burney, J., Woltering, L., Burke, M., Naylor, R. et Pasternak, D. 2010. Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudan-Saharan. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(5): 1848-1853.
68. FAO. 2019. *Estudio de caso "gobernanza del agua en territorios agrícolas de la cuenca estratégica del río Guadalquivir del valle central de Tarija"*. Informe de Consultoría Nacional. La Paz, Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Gobierno Autónomo Departamental de Tarija et FAO. 48 pages.
69. FAO. À paraître. *Study on water governance in the Tinguiririca sub-basin of the Rio Rapel river basin*. Rome.
70. Rockström, J., Karlberg, L., Wani, S.P., Barron, J., Hatibu, N., Oweis, T., Bruggeman, A., Farahani, J. et Qiang, Z. 2010. Managing water in rainfed agriculture—the need for a paradigm shift. *Agricultural Water Management*, 97(4): 543-550.
71. Hatibu, H., Oweis, T., Wani, S., Barron, J., Bruggeman, A., Qiang, Z., Farahani, J. et Karlberg, L. 2007. Managing water in rainfed agriculture. Dans: D. Molden (dir. pub.). *Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture*, p. 315-352. Londres, IWMI et Earthscan. 48 pages.
72. FAO. 2019. *Proactive approaches to drought preparedness – Where are we now and where do we go from here?* Rome. 47 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca5794en/ca5794en.pdf).
73. FAO. 2019. *Water use in livestock production systems and supply chains – guidelines for assessment (Version 1)*. Rome, Partenariat pour l'évaluation et la performance environnementales de l'élevage (LEAP). 126 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca5685en/ca5685en.pdf).
74. FAO. 2010. *An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: the way forward for sustainable production intensification*. Integrated Crop Management. Vol. 13. Rome. 75 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/images/iclsd/documents/crop_livestock_proceedings.pdf).
75. Bhattacharai, M. et Narayananamoorthy, A. 2003. Impact of irrigation on rural poverty in India: an aggregate panel-data analysis. *Water Policy*, 5(5-6): 443-458.
76. Benson, T. 2015. Associations between irrigated farming and improved nutrition in Malawian farm households. Dans: N.-L. Aberman, J. Meerman et T. Benson (dir. pub.). *Mapping the linkages between agriculture, food security and nutrition in Malawi*, p. 50-55. Lilongwe, et Washington, IFPRI. 61 pages.
77. van der Hoek, W., Feenstra, S.G. et Konradsen, F. 2002. Availability of irrigation water for domestic use in Pakistan: its impact on prevalence of diarrhoea and nutritional status of children. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 20(1): 77-84.
78. Rosegrant, M.W., Sulser, T.B., Mason-D'Croz, D., Cenacchi, N., Nin-Pratt, A., Dunston, S., Zhu, T., Ringler, C., Wiebe, K., Robinson, S., Willenbockel, D., Xie, H., Kwon, H.Y., Johnson, T., Thomas, T.S., Wimmer, F., Schaldach, R., Nelson, G.C. et Willaarts, B. 2017. *Quantitative foresight modeling to inform the CGIAR Research Portfolio*. Washington, IFPRI.
79. You, L., Ringler, C., Wood-Sichra, U., Robertson, R., Wood, S., Zhu, T., Nelson, G., Guo, Z. et Sun, Y. 2011. What is the irrigation potential for Africa? A combined biophysical and socioeconomic approach. *Food Policy*, 36(6): 770-782.
80. Xie, H., You, L., Wielgosz, B. et Ringler, C. 2014. Estimating the potential for expanding smallholder irrigation in Sub-Saharan Africa. *Agricultural Water Management*, 131: 183-193.

81. OCDE. 2018. *Financing water: investing in sustainable growth*. OECD Environment Policy Papers No. 11. Paris.

82. Svendsen, M., Gulati, A. et Raju, K.V. 2003. Reform options for construction and rehabilitation. Dans: A. Gulati, R.S. Meinzen-Dick et K.V. Raju (dir. pub.). *Financial and institutional reforms in Indian irrigation*, p. Bangalore (Inde), Books for Change.

83. Banque mondiale. 2017. Public-private partnership in irrigation. Dans: *PPP Legal Resource Center* [en ligne] [référencé le 15 août 2020] <https://ppagesworldbank.org/public-private-partnership/ppp-sector/water-sanitation/ppps-irrigation>; <https://ppagesworldbank.org/public-private-partnership/fran%C3%A7ais/partenariats-public-priv%C3%A9>.

84. FAO. 2016. *Lessons learned in water accounting: the fisheries and aquaculture perspective in the System of Environmental-Economic Accounting (SEEA) framework*. FAO, Document technique sur les pêches et l'aquaculture n° 599. Rome, FAO. 78 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i5880e.pdf).

85. FAO et Earthscan. 2011. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Managing systems at risk*. Rome, FAO, et Londres, Earthscan. 309 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/a-i1688e.pdf) (rapport de synthèse également disponible en ligne [L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde – Gérer les systèmes en danger]: www.fao.org/3/a-i1688f.pdf).

86. FAO. 2019. *Report of the special session on advancing integrated agriculture aquaculture through agroecology: Montpellier, 25 août 2018*. FAO, Rapport sur les pêches et l'aquaculture n° 1286. Rome. 262 pages (également disponible en ligne: www.fao.org/3/ca7209en/ca7209en.pdf).

87. OCDE. 2015. *Water resources allocation: sharing risks and opportunities*. OECD Studies on Water. Paris. 144 pages (également disponible en ligne: www.oecd-ilibrary.org/environment/water-resources-allocation_9789264229631-en).

2. Rosegrant, M., Koo, J., Cenacchi, N., Ringler, C., Robertson, R., Fisher, M., Cox, C., Garrett, K., Perez, N. et Sabbagh, P. 2014. *Food security in a world of natural resource scarcity: the role of agricultural technologies*. Washington, IFPRI (également disponible en ligne: <http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/128022>).

3. GIEC. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Genève (Suisse). 104 pages.

4. Rosegrant, M.W., Sulser, T.B., Mason-D'Croz, D., Cenacchi, N., Nin-Pratt, A., Dunston, S., Zhu, T., Ringler, C., Wiebe, K., Robinson, S., Willenbockel, D., Xie, H., Kwon, H.Y., Johnson, T., Thomas, T.S., Wimmer, F., Schaldach, R., Nelson, G.C. et Willaarts, B. 2017. *Quantitative foresight modeling to inform the CGIAR Research Portfolio*. Washington, IFPRI.

5. Palazzo, A., Valin, H.J.P., Batka, M. et Havlík, P. 2019. *Investment needs for irrigation infrastructure along different socioeconomic pathways*. Policy Research Working Papers. Banque mondiale (également disponible en ligne: <http://elibrary.worldbank.org/doi/book/10.1596/1813-9450-8744>).

6. Robinson, S., Mason-D'Croz, D., Islam, S., Sulser, T., Robertson, R., Zhu, T., Gueneau, A., Pitois, G. et Rosegrant, M. 2015. *The International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade (IMPACT): Model description for version 3*. IFPRI Discussion Paper No. 1483. Washington, IFPRI.

7. FAO et IIASA. 2020. *Outil mondial d'analyse des zones agro-écologiques (Global Agro-Ecological Zones) (GAEZ v4.0)*. Luxembourg (Autriche) et Rome.

8. IFPRI. 2019. *Global Spatially-Disaggregated Crop Production Statistics Data for 2010 Version 1.0*. Harvard Dataverse. Dans: *Harvard Dataverse* [en ligne] [référencé le 5 August 2020] <https://dataverse.harvard.edu/citation?persistentId=doi:10.7910/DVN/PRFF8V>.

9. FAO. 2019. *Observation de la Terre. Indice de stress agricole (système ASIS): Fréquence historique des sécheresses agricoles (1984-2018)*. Dans: *FAO* [en ligne] [référencé le 5 août 2020] www.fao.org/giews/earthobservation/asis/index_1.jsp?lang=fr.

10. FAO. 2020. *SDG Indicator 6.4.2 on water stress (Indicateur 6.4.2 des ODD, sur le stress hydrique)*. Rome.

ANNEXE TECHNIQUE

1. Rosegrant, M. 2020. Water management for sustainable irrigated and rainfed agriculture: opportunities, challenges, impacts and the way forward. Document établi pour *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2020. Relever le défi de l'eau dans l'agriculture*. Washington.

BIBLIOGRAPHIE

11. FAO. 2020. Contribution of the agriculture sector to the level of water stress. Rome.
12. Schiavina, M., Freire, S. et MacManus, K. 2019. GHS population grid multitemporal (1975-1990-2000-2015), R2019A. Dans: *Commission européenne* [en ligne] [référencé le 6 août 2020] <http://data.europa.eu/89h/0c6b9751-a71f-4062-830b-43c9f432370f>
13. FAO. 2020. Hand in Hand Geospatial Platform [en ligne] [référencé le 12 novembre 2020] <https://data.apps.fao.org/>
14. Wood-Sichra, U., Joglekar, A. et You, L. 2016. *Spatial Production Allocation Model (SPAM) 2005: technical documentation*. HarvestChoice Working Paper. Washington et St. Paul (États-Unis d'Amérique), IFPRI et International Science and Technology Practice and Policy (InSTePP) Center, University of Minnesota.

ANNEXE STATISTIQUE

1. FAO. 2019. Observation de la Terre. Indice de stress agricole (système ASIS): Fréquence historique des sécheresses agricoles (1984-2018). Dans: FAO [en ligne] [référencé le 5 août 2020] www.fao.org/giews/earthobservation/asis/index_1.jsp?lang=fr.
2. FAO et IIASA. 2020. Outil mondial d'analyse des zones agro-écologiques (*Global Agro-Ecological Zones*) (GAEZ v4.0). Luxembourg (Autriche) et Rome.
3. IFPRI. 2019. Global Spatially-Disaggregated Crop Production Statistics Data for 2010 Version 1.0. Harvard Dataverse. Dans: *Harvard Dataverse* [en ligne] [référencé le 5 août 2020] <https://dataverse.harvard.edu/citation?persistentId=doi:10.7910/DVN/PRFF8V>.
4. FAO. 2020. SDG Indicator 6.4.2 on water stress (Indicateur 6.4.2 des ODD, sur le stress hydrique). Rome.



2020

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

RELEVER LE DÉFI DE L'EAU DANS L'AGRICULTURE

Les contraintes croissantes qui pèsent sur l'eau menacent la sécurité alimentaire et la nutrition. Il faut agir d'urgence pour que l'eau utilisée dans l'agriculture le soit de façon plus durable et plus équitable.

L'agriculture irriguée reste de loin le principal utilisateur des ressources en eau douce, mais ces ressources font l'objet d'une demande croissante et d'une concurrence accrue qui créent des situations de rareté de plus en plus préoccupantes. L'agriculture pluviale, confrontée à la variabilité des précipitations sous l'effet du changement climatique, n'est pas non plus épargnée. Ces tendances ne feront qu'exacerber les conflits entre les divers utilisateurs et les inégalités dans l'accès à l'eau, en particulier au détriment des petits agriculteurs, des ruraux pauvres et des autres populations vulnérables.

L'édition 2020 de *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture* présente de nouvelles estimations sur l'étendue de la rareté de l'eau dans l'agriculture irriguée et des pénuries d'eau dans l'agriculture pluviale, ainsi que sur le nombre de personnes touchées. Ces estimations font apparaître des écarts considérables entre les pays et également entre les régions à l'intérieur des pays. Les données rassemblées dans la présente édition servent de base à une réflexion sur les mesures que pourraient prendre les pays, compte tenu de la nature et de l'ampleur du problème mais aussi d'autres facteurs tels que les systèmes de production agricole, le niveau de développement et les structures politiques. On trouvera aussi des indications sur les priorités qui pourraient être suivies dans le choix des politiques et des interventions pour lutter contre les contraintes hydriques dans le secteur agricole tout en assurant un accès à l'eau efficient, durable et équitable.

ISBN 978-92-5-133645-8 ISSN 0251-1460



9 789251 336458
CB1447FR/12.20