

Faire face à la pénurie d'eau

Un cadre d'action pour l'agriculture et la sécurité alimentaire



Faire face à la pénurie d'eau

38

Un cadre d'action pour l'agriculture
et la sécurité alimentaire

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

Les opinions exprimées dans ce produit d'information sont celles du/des auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement les vues ou les politiques de la FAO.

ISBN 978-92-5-207304-8

© FAO 2013

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

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

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

A propos de ce rapport

L'objectif du présent rapport est d'offrir un cadre conceptuel permettant de faire face aux problèmes de sécurité alimentaire dans une situation de pénurie d'eau pour l'agriculture. Il a été préparé par une équipe de spécialistes de la FAO et de consultants dans le cadre du projet «Faire face à la pénurie d'eau – le rôle de l'agriculture», et a été examiné à l'occasion d'une réunion de consultation des experts organisée à la FAO, Rome, du 14 au 16 décembre 2009 sur le même sujet. Il a ensuite été mis en forme et révisé pour tenir compte des échanges de vues de la consultation d'experts et des documents présentés à la réunion.

La consultation d'experts visait à aider la FAO à améliorer la conception de son programme sur la pénurie d'eau. Il a en particulier été demandé aux experts de proposer des recommandations sur les diverses options techniques et politiques et les principes associés que la FAO devrait encourager dans le cadre des mesures qui devraient être prises dans l'agriculture pour faire face à la pénurie d'eau dans les pays membres.

Ce document offre un aperçu du cadre conceptuel sur lequel le programme de la FAO sur la pénurie d'eau devrait se baser, propose un ensemble de définitions liées au concept de pénurie d'eau et indique les principaux principes sur lesquels la FAO devrait fonder son action de soutien aux pays membres. A l'occasion de la réunion, il a été demandé aux experts de passer en revue la version préliminaire du document et de partager leurs réactions et leurs recommandations en vue de sa finalisation. Parmi les thèmes traités au cours des débats figurent:

- La pénurie d'eau: accord sur les principales définitions.
- La conceptualisation de la pénurie d'eau sous une forme qui soit utile à l'élaboration des politiques et la prise de décisions.
- La quantification de la pénurie d'eau.
- Les options possibles, aussi bien techniques que liées aux politiques, pour assurer la sécurité alimentaire dans une situation de pénurie d'eau.
- Les critères et principes qui devraient être utilisés pour définir des priorités d'action face à la pénurie d'eau en agriculture et faire en sorte que des stratégies efficaces et efficientes soient mises en place pour faire face à la pénurie d'eau.

Remerciements

La FAO s'est récemment engagée dans un partenariat à long terme avec le gouvernement italien qui a accepté de financer un programme modulaire sur le thème «Faire face à la pénurie d'eau – le rôle de l'agriculture». L'élaboration d'un programme conceptuel pour remédier aux problèmes de sécurité alimentaire dans une situation de pénurie d'eau fait partie intégrante de ce programme.

Ce rapport a été préparé par une équipe de la Division des terres et des eaux de la FAO avec l'aide de plusieurs experts. Pasquale Steduto, en tant que responsable du Fonds italien d'affectation spéciale «Faire face à la pénurie d'eau», a assuré la direction de l'initiative et coordonné la préparation du rapport. Celui-ci a été écrit par Jean-Marc Faurès, Jippe Hoogeveen et Jim Winpenny, en collaboration avec Pasquale Steduto et Jacob Burke. Charles Batchelor a préparé un document préliminaire axé sur la comptabilité de l'eau et le diagnostic de la situation hydrique qui a été largement utilisé pour la préparation de ce rapport.

Les participants à la consultation externe, qui ont participé à l'examen et à la validation du rapport, sont: Mary Harwood (Australie), François Molle (France), Humberto Peña Torrealba (Chili), Mei Xurong et Gan Hong (Chine), Walter Huppert et Elisabeth Van Den Akker (Allemagne), Nicola Lamaddalena et Stefano Burchi (Italie), Wim Bastiaanssen (Pays-Bas), Amadou Allahoury Diallo (Niger), Rivka Kfir (Afrique du Sud), Consuelo Varela-Ortega et Elias Fereres-Castiel (Espagne), Netij Ben Mechlia (Tunisie), Chris Perry et Charles Batchelor (Royaume-Uni), Mark Svendsen et Donald A. Wilhite (Etats-Unis), Chandra A. Madramootoo (Commission internationale des irrigations et du drainage, CIID), Rudolph Cleveringa (Fonds international de développement agricole, FIDA) et David Molden (Institut international de gestion des ressources en eau, IWMI).

Les participants de la FAO qui ont participé à l'examen du rapport et ont contribué à sa finalisation sont Jacob Burke, Thierry Facon, Jean-Marc Faurès, Karen Frenken, Nicoletta Forlano, Jippe Hoogeveen, Gabriella Izzi, Sasha Koo-Oshima, Alba Martinez-Salas, Patricia Mejias-Moreno, Daniel Renault, Guido Santini, Pasquale Steduto et Domitille Vallée. Johan Kuylenstierna (ONU-Eau) a joué le rôle de facilitateur à la consultation d'experts.

Helen Foster et Lena Steriti ont apporté leur assistance à l'organisation de la consultation d'experts. Ce rapport a été publié sous la direction de Thor Lawrence et sa mise en page a été réalisée par Gabriele Zanolli.



Le programme "Faire face à la pénurie d'eau – le rôle de l'agriculture" est financé par la Coopération italienne au développement.

Table des matières

A propos de ce rapport	iii
Remerciements	iv
Résumé analytique	ix
Les facteurs à l'origine de la pénurie d'eau et le rôle de l'agriculture	ix
Mesurer la pénurie d'eau: le cycle hydrologique	x
Options en matière de politiques et de gestion	xi
L'amélioration de l'approvisionnement	xi
Gestion de la demande en agriculture	xii
Mesures dans des domaines autres que celui de l'eau	xiii
Evaluation et combinaison des options d'approvisionnement alimentaire grâce à la méthode des courbes de coût	xiv
Principes d'action	xv
1. Introduction	1
1.1 La «crise» de l'eau	1
1.2 L'agriculture, l'eau et la sécurité alimentaire	2
1.3 Objectifs et portée du rapport	3
2. Définition de la pénurie d'eau	5
2.1 Les définitions existantes de la pénurie d'eau	5
2.2 Les définitions employées dans ce rapport	5
2.3 Les différentes dimensions de la pénurie d'eau	6
2.4 Les indicateurs de la pénurie d'eau	7
2.5 Le cycle hydrologique	8
3. Les facteurs à l'origine de la pénurie d'eau	11
3.1 Les facteurs qui influent sur l'approvisionnement en eau	12
3.2 Les facteurs qui influent sur la demande en eau	14
4. Faire face à la pénurie d'eau: le cadre conceptuel	17
4.1 Les leçons à tirer des travaux antérieurs	17

4.2 Options pour faire face à la pénurie d'eau par grand domaine d'action	18
4.3 Un modèle dynamique d'options stratégiques	20
4.4 La réaction de l'agriculture à la pénurie d'eau	21
5. La comptabilité de l'eau: mettre en place un budget adapté	25
5.1 La transparence de la comptabilité de l'eau	25
5.2 Les principaux défis que la comptabilité de l'eau doit relever	26
5.3 Les différentes sortes de comptabilité de l'eau	26
La comptabilité macro-économique de l'eau: le Système de comptabilité environnementale et économique pour l'eau	27
Comblar l'écart entre l'approvisionnement et la demande: la méthode de la courbe du coût de l'eau	27
Suivi/surveillance participatifs des eaux souterraines	29
L'échange des droits d'utilisation de l'eau: la comptabilité de l'eau en Australie	29
La comptabilité de l'eau fondée sur la télédétection	30
La comptabilité de l'eau par produit: le concept de l'empreinte sur l'eau	30
La comptabilité de l'eau pour les entreprises	31
5.4 De la comptabilité de l'eau au diagnostic de la situation hydrique	32
6. Options en matière de politiques et de gestion	33
6.1 Options dans le domaine de l'eau (tous secteurs)	33
Gérer l'approvisionnement	36
Gérer la demande	39
6.2 Options dans le secteur de la gestion de l'eau en agriculture	41
L'amélioration de l'approvisionnement	42
Le recyclage de l'eau et sa réutilisation dans l'irrigation	42
La réduction des pertes en eau	42
L'amélioration de la productivité de l'eau utilisée pour les cultures	46
La réattribution de l'eau en irrigation, des utilisations à faible valeur vers celles à valeur plus élevée	47
6.3 Options à l'extérieur du secteur de l'eau	48
L'investissement dans l'agriculture pluviale	48
La réduction des pertes dans la chaîne alimentaire	48

Au-delà de la production agricole: l'eau virtuelle et le rôle des échanges commerciaux	49
6.4 Questions d'échelle et interdépendance des options	50
6.5 La courbe du coût de l'approvisionnement alimentaire, un outil d'aide à la prise de décisions	50
Application d'une courbe de coût aux stratégies d'approvisionnement alimentaire	50
Calcul de la courbe du coût de l'approvisionnement alimentaire	55
7. Principes d'action	57
7.1 Connaissance: fonder les stratégies sur une compréhension claire des causes et effets de la pénurie d'eau	57
7.2 Impact: évaluer l'éventail complet des coûts et avantages et utiliser des critères de décision systématiques et exhaustifs	58
7.3 Capacité: veiller à ce qu'un niveau approprié de gouvernance de l'eau et de capacité institutionnelle soit mis en place	58
7.4 Spécificité du contexte: adapter les mesures aux conditions locales	60
7.5 Cohérence: veiller à ce que les politiques sur l'eau, l'agriculture et la sécurité alimentaire soient alignées	60
7.6 Anticipation: s'adapter aux changements grâce à une prise de décisions robuste et une gestion adaptative	60
Références	62
Annexe 1. Définitions	69
Annexe 2. Ordre du jour de la consultation d'experts	75
Annexe 3. Liste des participants à la consultation d'experts	76
Annexe 4. Liste des présentations à la consultation d'experts	78

Liste des figures

1. Facteurs influant sur les disponibilités en eau	12
2. Les options pour faire face à la pénurie d'eau dans le contexte plus général de l'élaboration des politiques	19
3. Faire face à la pénurie d'eau: enchaînement stylisé des étapes de la demande relative en eau de différents secteurs et options pour y faire face dans le temps	21
4. Représentation schématique de l'intérêt relatif porté aux différentes options permettant au secteur agricole de faire face aux niveaux croissants de pénurie d'eau dans le temps	22
5. Courbe de coût type pour une option donnée	52
6. Options pour augmenter l'approvisionnement alimentaire et leurs coûts associés au niveau national – le cas d'un pays où toutes les ressources en terres sont déjà exploitées et où l'expansion n'est pas prévisible	53
7. Courbe du coût de l'approvisionnement alimentaire – le cas d'un pays où toutes les ressources en terres sont déjà exploitées	54
8. Exemple d'une courbe du coût de l'approvisionnement alimentaire – le cas d'un pays à ressources rares et à déficit vivrier	55

Liste des tableaux

1. Définitions conventionnelles des niveaux de stress hydrique	7
2. Options pour faire face à la pénurie d'eau par grand domaine d'action	19
3. De la comptabilité de l'eau au diagnostic de la situation hydrique	32
4. Stratégies et politiques d'adaptation à la pénurie d'eau selon les catégories de décideurs	34
5. Résumé des options pour faire face à la pénurie d'eau	35
6. Echelle d'application des différentes options	51

Liste des encadrés

1. Gestion participative et collective des eaux souterraines dans l'Andhra Pradesh	29
2. Composantes des prélèvements en eau dans l'irrigation	44
3. Pratiques d'économie d'eau dans les systèmes de canaux utilisés pour la riziculture en Asie	45

Résumé analytique

En termes simples, il y a pénurie d'eau lorsque la demande en eau douce dépasse l'approvisionnement dans un lieu précis.

Pénurie d'eau = demande en eau excédentaire par rapport à l'approvisionnement disponible

Une telle situation peut se produire du fait d'une demande globale importante de la part de tous les secteurs utilisateurs d'eau par rapport à l'approvisionnement disponible, dans les dispositions institutionnelles et les conditions infrastructurelles prévalant dans un lieu donné. Elle se manifeste par une incapacité à satisfaire la demande exprimée ou par une satisfaction partielle de cette demande, une concurrence économique pour la quantité ou la qualité de l'eau, des conflits entre les utilisateurs, un épuisement irréversible des eaux souterraines et des répercussions négatives sur l'environnement.

La pénurie d'eau est un concept à la fois relatif et dynamique qui peut se produire à tous les niveaux de l'approvisionnement et de la demande, mais c'est aussi une construction sociale: ses causes sont toutes liées à l'intervention de l'homme dans le cycle de l'eau. Elle varie dans le temps du fait de la variabilité hydrologique naturelle, mais encore plus en fonction des politiques et stratégies de planification et de gestion économiques. Il faut s'attendre à ce que la pénurie s'intensifie avec la plupart des formes de développement économique, mais ses causes peuvent être en grande partie prévues, évitées ou atténuées si elle sont adéquatement prises en considération.

Les trois principaux aspects qui caractérisent la pénurie d'eau sont: un manque physique de disponibilité en eau pour répondre à la demande; le niveau de développement des infrastructures qui contrôlent le stockage, la distribution et l'accès à l'eau; et la capacité institutionnelle à fournir les services d'eau requis.

LES FACTEURS À L'ORIGINE DE LA PÉNURIE D'EAU ET LE RÔLE DE L'AGRICULTURE

L'utilisation sans contrainte de l'eau a augmenté à l'échelle mondiale à un rythme deux fois plus important que celui de la croissance démographique au cours du 20^e siècle, au point qu'il n'est plus possible, dans de nombreuses régions, d'assurer des services d'approvisionnement en eau fiables. La pression démographique, le taux de développement économique, l'urbanisation et la pollution sont autant de facteurs qui exercent des pressions sans précédent sur une ressource renouvelable mais limitée, en particulier dans les régions semi-arides et arides.

De tous les secteurs économiques, l'agriculture est le secteur où la pénurie de l'eau a la plus grande incidence. À l'heure actuelle, l'agriculture est responsable de 70 pour cent des prélèvements en eau douce dans le monde, et de plus de 90 pour cent de son utilisation non renouvelable. Sous la double pression de la croissance démographique et de l'évolution des habitudes alimentaires, la consommation de nourriture augmente dans la plupart des régions du monde. Les prévisions indiquent que d'ici 2050, il faudra produire un milliard de tonnes de céréales et 200 millions de tonnes de viande supplémentaires pour satisfaire la demande alimentaire croissante.

Dans quelle mesure cette croissance constante de la demande en eau est-elle toutefois «négociable»? Il est largement admis que l'eau nécessaire pour satisfaire les besoins fondamentaux

ne l'est pas – la santé humaine exige un niveau minimal d'accès à de l'eau de bonne qualité. De la même manière, étant donné que l'accès à la nourriture est un droit de plus en plus reconnu et que l'eau est un facteur crucial de la production alimentaire, il serait logique de considérer comme non négociable une quantité minimale d'eau consacrée à la production vivrière. Il faut toutefois noter que les prélèvements en eau pour les besoins domestiques ne représentent à l'échelle mondiale qu'environ dix pour cent de toutes les utilisations de l'eau, mais avec un taux très faible d'utilisation non renouvelable – la plus grande partie de l'eau utilisée pour les besoins domestique retourne à l'environnement sans grande perte par évaporation, même si sa qualité est dégradée. Par contre, l'utilisation agricole a des conséquences directes en aval (ou dans la pente) parce que la production de biomasse exige la transpiration de grandes quantités d'eau. Si l'eau est captée pour l'irrigation et consommée par transpiration, cela représente une perte hydrologique locale qui diminue l'eau disponible en aval. L'objectif de ce rapport est d'évaluer les options et l'ampleur des ajustements possibles dans l'utilisation de l'eau en agriculture afin de faire face à la pénurie d'eau.

MESURER LA PÉNURIE D'EAU: LE CYCLE HYDROLOGIQUE

Il est indispensable, pour bien saisir ce qu'est la pénurie d'eau, de comprendre les lois de la physique qui régissent les processus hydrologiques, ainsi que les moyens qui permettent de répartir l'eau entre les utilisations et de mesurer celles-ci.

1. **L'eau est une ressource renouvelable**, mais les caractéristiques de cette ressource varient selon le lieu et la période.
2. **L'eau existe à l'état de flux continu** dans toutes ses phases (solide, liquide, gazeuse) et ce flux est gouverné par les gradients d'énergie qui s'appliquent aux processus physiques de l'évaporation, de la transpiration, de la condensation, des précipitations, des infiltrations, du ruissellement, de l'écoulement souterrain, du gel et de la fonte. C'est sur ces flux et écoulements que devraient se concentrer la planification et la gestion, plutôt que sur les stocks.
3. **L'équilibre hydrique est régi par la conservation des masses d'eau** et le débit d'eau qui pénètre dans un lieu donné est égal au débit d'eau qui en sort, toute différence se traduisant par un changement dans les volumes stockés. Les rapports qui existent entre les eaux de surface, les eaux souterraines, la teneur en humidité des sols et le processus d'évapotranspiration ont une importance cruciale et sont encore mal pris en compte dans de nombreux plans de gestion des eaux.
4. **Toutes les zones terrestres d'un bassin fluvial sont reliées entre elles par l'eau.** Par conséquent toute action dans une partie d'un système hydrographique se répercute sur les autres parties du système. C'est pourquoi à toutes fins pratiques l'eau est mieux gérée dans le cadre des unités hydrographiques.
5. Au fur et à mesure que l'utilisation de l'eau s'intensifie, **les fonctions de dilution et de purification des écosystèmes aquatiques atteignent leurs limites, ce qui se traduit par une accumulation des polluants.**
6. Toute volonté de maintenir **l'ensemble de biens et services d'un écosystème aquatique entraîne nécessairement une restriction** de l'eau disponible pour les utilisations humaines dans un lieu donné.
7. **La comptabilité de l'eau**, c'est-à-dire l'organisation et la présentation systématiques des informations liées aux volumes physiques et à la qualité des écoulements (de la source au robinet) d'eau dans l'environnement, ainsi que les aspects économiques de l'approvisionnement en eau et de son utilisation, devraient ainsi constituer le point de départ des stratégies d'adaptation à la pénurie d'eau. La comptabilité de l'eau implique une perspective complète des ressources en eau et des systèmes d'approvisionnement, ainsi que de la manière dont ils se rapportent aux exigences sociétales et à leur utilisation réelle.
8. **Les diagnostics de la situation hydrique** vont un peu plus loin et placent l'approvisionnement et la demande en eau dans le contexte plus général de la gouvernance, des institutions, de

la finance, de l'accessibilité et de l'incertitude. Ces éléments sont tous indispensables à la conception de stratégies efficaces d'adaptation à la pénurie d'eau.

OPTIONS EN MATIÈRE DE POLITIQUES ET DE GESTION

Il faut distinguer deux sortes d'options d'adaptation à la pénurie d'eau, celles axées sur *l'amélioration de l'approvisionnement* et celles qui visent *la gestion de la demande*. L'amélioration de l'approvisionnement passe par une augmentation de l'accès aux ressources en eau conventionnelles, une réutilisation des eaux de drainage et des eaux usées, des transferts entre bassins, le dessalement et le contrôle de la pollution. La gestion de la demande est définie comme un ensemble de mesures permettant de maîtriser la demande en eau, soit en augmentant l'efficacité économique globale de son utilisation en tant que ressource naturelle, soit en réattribuant les ressources en eau aussi bien au sein des secteurs qu'entre ceux-ci. Les options permettant de faire face à la pénurie d'eau en agriculture peuvent être considérées comme un continuum entre la source d'eau et l'utilisateur ultime (l'agriculteur), et au-delà, le consommateur des produits agricoles. Ces options sont étudiées ci-dessous. Il faut toutefois souligner qu'au niveau de la demande en eau pour l'agriculture couramment observée dans les pays producteurs de denrées alimentaires, les mesures d'amélioration de l'approvisionnement et de gestion de la demande sont souvent liées dans le cycle hydrologique.

L'AMÉLIORATION DE L'APPROVISIONNEMENT

Au cours du XXe siècle, les grands barrages multi-usages ont répondu aux besoins agricoles et énergétiques et à ceux des villes en expansion. Ils ont également contribué à protéger les populations des risques d'inondations. Bien qu'il existe encore de nouvelles possibilités d'aménagement de barrages dans certaines régions, la plupart des sites appropriés sont déjà exploités et l'aménagement de nouveaux barrages est de plus en plus remis en question du point de vue économique, social et environnemental.

La conservation de l'eau sur l'exploitation et en particulier l'adoption de pratiques agricoles qui réduisent le ruissellement afin d'augmenter l'infiltration et le stockage de l'eau dans le sol dans les zones d'agriculture pluviale sont les options d'amélioration de l'approvisionnement les plus pertinentes à l'échelle locale pour permettre aux agriculteurs d'augmenter leur production. A une échelle légèrement plus étendue, les petits systèmes décentralisés de collecte et de stockage des eaux contribuent à augmenter les disponibilités en eau et la production agricole au niveau des ménages et des communautés. Il faut toutefois noter que les grands programmes de collecte des eaux à petite échelle tels que les programmes de gestion des bassins versants mis en œuvre dans l'Andhra Pradesh et d'autres régions de l'Inde ont eu des répercussions importantes sur l'hydrologie des zones de captage et les quantités d'eau disponibles en aval.

L'échelle et l'intensité de l'exploitation des eaux souterraines a augmenté de manière exponentielle au cours des dernières décennies. La capacité des eaux souterraines à assurer un approvisionnement flexible et à la demande pour répondre aux besoins de l'irrigation est considérée comme un énorme avantage par les agriculteurs. L'intensification de l'utilisation des eaux souterraines a permis d'améliorer les moyens d'existence de millions de personnes rurales mais elle a aussi provoqué un épuisement à long terme des aquifères, la pollution des eaux souterraines et des infiltrations d'eau salée dans d'importants aquifères côtiers.

L'adoption du recyclage des eaux de drainage et des eaux usées dans l'agriculture a tendance à présenter une corrélation positive avec la pénurie d'eau. La réutilisation des eaux de drainage est une réalité dans la plupart des grands périmètres d'irrigation, en particulier dans les grands systèmes rizicoles d'Asie. La réutilisation des eaux usées d'origine urbaine, si elle pèse moins lourd à l'échelle mondiale, est importante sur le plan local (quelque 20 millions d'hectares de terres agricoles dans le monde seraient irrigués à l'aide d'eaux usées). Il reste des efforts à fournir pour

mieux évaluer la réutilisation des eaux et les possibilités qu'elle offre et encourager le recyclage des eaux usées dans l'agriculture en toute sécurité, en particulier dans les zones où l'eau est rare.

GESTION DE LA DEMANDE EN AGRICULTURE

En termes généraux, il existe en agriculture trois options pour gérer la demande globale d'eau au sein du domaine hydrique:

- réduire les pertes en eau;
- augmenter la productivité de l'eau; et
- réattribuer l'eau.

L'option qui vient en premier à l'esprit est l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau par la réduction des pertes en eau au cours du processus de production. Sur le plan technique, «l'efficacité de l'utilisation de l'eau» est un rapport adimensionnel qui peut être calculé à n'importe quelle échelle, du système d'irrigation au point d'application dans un champ. Il est généralement appliqué aux systèmes de gestion qui réduisent l'utilisation non efficace de l'eau (c.-à-d. en réduisant les fuites ou les pertes par évaporation dans le transport et l'application de l'eau). La seconde option est l'augmentation de la productivité des cultures par rapport à l'eau. Elle implique de produire plus de cultures ou de valeur ajoutée par volume d'eau appliqué. La troisième option consiste à réattribuer l'eau à des utilisations apportant une plus grande valeur ajoutée par le biais de transferts entre les secteurs (des transferts vers l'approvisionnement domestique, par exemple) ou de transferts au sein des secteurs en limitant la superficie irriguée récoltée d'une culture particulière afin de réduire l'évapotranspiration ou en détournant l'eau vers des cultures à plus grande valeur ajoutée.

Il existe manifestement des possibilités de mieux gérer la demande en eau de l'agriculture dans le temps et l'espace. L'accent mis sur la première option, qui consiste à diminuer les pertes en eaux dans les systèmes de distribution de l'irrigation, est toutefois souvent exagéré. Mais deux facteurs limitent l'ampleur de la réduction des pertes en eau et les répercussions d'une telle réduction. D'abord, seule une partie de l'eau «perdue» au cours de son prélèvement pour une *utilisation efficace* (définie comme l'eau dérivée à des fins dont les bénéfices escomptés sont clairs et tangibles, tels que les besoins domestiques, l'irrigation, l'usage dans les procédés industriels et le refroidissement), peut être réellement récupérée pour un coût raisonnable. Ensuite, une partie de l'eau «perdue» entre la source et l'utilisateur ultime retourne au système hydrologique, soit par percolation dans les aquifères ou sous la forme de retours d'écoulement dans les rivières. La part d'eau perdue par la *consommation non efficace*, soit par évaporation ou par drainage dans des plans d'eau de faible qualité ou dans la mer, varie selon les conditions locales. Il faut une compréhension claire du potentiel réel de réduction des pertes en eau pour éviter d'élaborer des stratégies coûteuses et inefficaces de gestion de la demande.

Dans la plupart des cas, la principale manière de gérer la demande en eau de l'agriculture consiste à augmenter la productivité agricole par rapport à l'eau. L'augmentation du rendement des cultures (la production par unité de superficie cultivée) est la plus importante source d'augmentation de la productivité de l'eau en agriculture. L'augmentation des rendements est réalisable par l'association d'une meilleure maîtrise des eaux avec une gestion améliorée des terres et de meilleures pratiques agronomiques. Cela comprend le choix du matériel génétique et l'amélioration de la gestion de la fertilité du sol et de la protection des végétaux. Il importe de noter que la sélection des plantes et les biotechnologies peuvent apporter leur concours en augmentant la part récoltable de la biomasse, en réduisant les pertes de biomasse par l'augmentation de la résistance aux ravageurs et maladies, en diminuant l'évaporation au sol grâce à une croissance précoce et vigoureuse favorisant une couverture végétale rapide et

en réduisant la vulnérabilité aux sécheresses. Il peut donc être intéressant de gérer la demande globale en mettant l'accent sur la productivité de l'eau plutôt que de se concentrer uniquement sur l'efficacité technique de l'utilisation de l'eau.

Si la productivité est considérée en fonction de la valeur ajoutée et non de la production, la réattribution de l'eau de cultures à faible valeur à des cultures à forte valeur ajoutée constitue un choix évident pour les agriculteurs qui cherchent à améliorer le niveau de leurs revenus. Pour que cela soit possible, des changements sont nécessaires à la fois dans la gestion de l'irrigation et dans la technologie connexe afin que les agriculteurs disposent d'un bien meilleur niveau de maîtrise de l'approvisionnement en eau. En outre, la conversion à des cultures de plus grande valeur exige également un accès aux intrants, dont des semences, des engrais et du crédit, ainsi que de la technologie, du savoir-faire et des conditions raisonnables pour pouvoir exploiter la terre dans des conditions de marché beaucoup plus compétitives. En pratique, toutefois, très peu d'agriculteurs sont capables de faire ce choix parce que le marché des cultures à forte valeur ajoutée est limité par rapport à celui des cultures vivrières. Au-delà des préoccupations liées à la productivité, la demande en eau de l'agriculture peut simplement être limitée ou plafonnée. C'est une mesure couramment appliquée qui limite le volume d'évapo-transpiration produit par l'exploitation d'une unité de production agricole par la réduction de la superficie irriguée.

La compréhension des rôles, attitudes et stratégies des différents acteurs, dont les institutions concernées, est un élément décisif des stratégies de gestion de la demande. Au bout du compte, c'est au niveau des agriculteurs que le plus gros volume d'eau est consommé. Leur comportement et leur capacité d'adaptation seront orientés par un ensemble de mesures d'incitation judicieusement sélectionnées. Celles-ci comprendront des changements structurels et institutionnels, ainsi qu'une amélioration de la fiabilité et de la souplesse de l'approvisionnement en eau. Les stratégies des agriculteurs ne seront dictées par les économies en eau que lorsque la disponibilité en eau deviendra un facteur limitant. Les politiques fondées sur les systèmes de tarification de l'eau visant à réduire la demande en eau de l'agriculture donnent parfois de bons résultats, mais elles impliquent des conditions très contraignantes et sont souvent difficiles à mettre en œuvre. Les stratégies qui s'appuient sur des quotas d'eau et des droits d'utilisation de l'eau (ou de prélèvement) présentent la plupart du temps davantage de chances de réussite.

MESURES DANS DES DOMAINES AUTRES QUE CELUI DE L'EAU

La solution à la pénurie d'eau dans le secteur agricole se situe, au moins en partie, à l'extérieur du domaine de l'eau. En ce sens, il est possible de retenir d'autres mesures susceptibles d'aider à la gestion de la demande en eau:

- la réduction des pertes dans la chaîne de valeur après récolte;
- la réduction de la demande en produits de la culture irriguée grâce à leur remplacement par des importations d'aliments de base issus de l'agriculture pluviale; et
- la réduction de la demande en eau pour l'agriculture par habitant.

La réduction des pertes dans la chaîne de valeur après récolte

Il est possible, au-delà de la production agricole, de réaliser des économies considérables en eau en s'intéressant aux questions du gaspillage dans la chaîne alimentaire, des régimes alimentaires et du rôle des échanges agricoles. Les pertes et le gaspillage se produisent tout au long de la chaîne alimentaire et selon les estimations représentent jusqu'à 50 pour cent de la production des pays développés. Bien qu'une partie de ces pertes soit irrémédiable, il semblerait judicieux de déterminer soigneusement les principales causes de perte et d'évaluer dans quelle mesure elles pourraient être diminuées.

La réduction de la demande en produits de la culture irriguée grâce à leur remplacement par des importations

Les options offertes passent par l'augmentation de la production de l'agriculture pluviale et l'importation de produits alimentaires grâce aux échanges internationaux.

Il existe plusieurs raisons justifiant l'intégration de l'agriculture pluviale dans les stratégies d'adaptation à la pénurie d'eau mais les potentialités varient considérablement d'un endroit à l'autre. Dans les zones où le climat est propice à l'agriculture pluviale, il y a de fortes possibilités d'amélioration de la productivité là où les rendements sont encore faibles, comme c'est le cas dans de nombreuses régions d'Afrique subsaharienne. L'association de bonnes pratiques agricoles, de liens adéquats en amont et en aval de la production (accès aux financements, intrants et marchés) et de plans d'assurance contre les intempéries pourraient améliorer la productivité agricole sans avoir de répercussions importantes sur les ressources en eau.

La solution des échanges internationaux est particulièrement pertinente dans les pays où la pénurie d'eau limite la capacité de l'agriculture à répondre à tous les besoins en denrées agricoles. Le concept de l'«eau virtuelle» a été élaboré dans les années 90 pour montrer que dans un monde raisonnablement sûr et interdépendant, il était possible d'augmenter la productivité de l'eau en cultivant dans les endroits où le climat permet une productivité élevée de l'eau à un coût moindre et en négociant le produit de ces cultures avec des endroits où la productivité de l'eau est plus faible. Bien qu'ils soient rarement exprimés en termes d'eau, les échanges d'eau virtuelle sont déjà une réalité dans de nombreux pays souffrant de pénurie d'eau, et devraient encore augmenter à l'avenir.

La réduction de la demande en eau par habitant

Enfin, l'augmentation de la consommation de viande, et, dans une moindre mesure, de produits laitiers se solde par une augmentation de la consommation en eau, parce que leur production exige d'importants volumes d'eau. La mesure dans laquelle les sociétés sont disposées à modifier leurs régimes alimentaires pour participer à l'effort plus général de réduction de leur *empreinte* écologique va bien au delà des préoccupations liées à la pénurie d'eau. Les incidences sont toutefois importantes tant sur le plan de la sécurité alimentaire des pays que sur celui des stratégies connexes d'adaptation à la pénurie d'eau.

EVALUATION ET COMBINAISON DES OPTIONS D'APPROVISIONNEMENT ALIMENTAIRE GRÂCE À LA MÉTHODE DES COURBES DE COÛT

Il faut, pour guider le choix des décideurs parmi toutes les différentes options, évaluer celles-ci en fonction de leur efficacité, de leur coût et de leur faisabilité technique, sociale et environnementale. La dimension politique de leur choix doit également être étudiée avec attention.

La «courbe du coût de l'approvisionnement alimentaire» peut donner un aperçu de la manière dont un pays pourrait combler efficacement ses déficits alimentaires. Cette courbe classe les options d'approvisionnement alimentaire en fonction de leur coût et permet d'évaluer facilement leur efficacité par rapport à leur coût pour ce qui est de la satisfaction des objectifs d'approvisionnement alimentaire. Il faut, pour les utiliser à l'échelle nationale, établir une courbe pour chaque pays en se fondant sur le niveau actuel d'intensification, les disponibilités en terres et en eaux et l'ampleur des pertes dans la chaîne alimentaire. La courbe de coût est une méthode simple mais performante de définition et de classification des options de production alimentaire dans les situations de pénurie d'eau. Une grande partie de sa complexité repose dans la définition des courbes de coût individuelles correspondant aux différentes options, qui exige une bonne compréhension des conditions agronomiques, hydrologiques et socio-économiques qui pourraient permettre des améliorations.

PRINCIPES D'ACTION

La sélection de la gamme appropriée d'options dépend des conditions locales et il n'est guère possible qu'un ensemble d'options, quel qu'il soit, puisse être considéré comme la solution optimale. Une option particulière ne peut pas non plus être désirable dans tous les contextes. Le choix de ne pas agir n'est pas une option possible dans des situations de pénurie, car il se traduirait par des dégradations de l'environnement, une utilisation non optimale de ressources limitées, des inégalités d'accès à ces ressources et des répercussions négatives globales sur l'économie et le bien-être de la société. Il est par conséquent indiqué, plutôt que d'essayer de prescrire des solutions à la pénurie d'eau, de fonder les options d'action et les stratégies connexes sur un ensemble de principes génériques valides dans tous les contextes socio-économiques. Six principes fondamentaux ont été définis et sont présentés ci-dessous.

Connaissance: fonder les stratégies sur une compréhension claire des causes et effets de la pénurie d'eau

Il faudrait fonder les stratégies sur les meilleures données possibles et non sur des oui-dire ou des intuitions et un compte rendu détaillé de l'approvisionnement et de la demande en eau devrait être effectué au départ. Les interactions entre eaux souterraines et de surface, bassins de captage en amont et en aval, qualité et volumes d'eau ont toutes des répercussions sur l'efficacité des actions proposées, tout comme l'importance du recyclage de l'eau dans les bassins fluviaux. Des stratégies bien intentionnées mais mal fondées pour faire face aux pénuries d'eau peuvent avoir des effets pervers importants sur la manière dont l'eau est distribuée à l'intérieur d'un bassin versant, sans réaliser les économies d'eau prévues.

Impact: évaluer l'éventail complet des coûts et avantages et utiliser des critères de décision systématiques et exhaustifs

Il peut paraître évident, lorsqu'il faut choisir entre les options, que le rapport coût-efficacité doit être mis en parallèle avec l'équité et les valeurs collectives. L'expérience montre toutefois que les analyses coûts-avantages ont souvent négligé ou sous-estimé l'impact négatif potentiel des interventions de mise en valeur des eaux sur les personnes ou l'environnement, tout en surestimant certains autres avantages. Les options d'amélioration de l'approvisionnement, en particulier, ont souvent été choisies en dépit de ce qu'aurait indiqué toute analyse raisonnable, ce qui a entraîné un suréquipement du sous-secteur et une pénurie d'eau «artificielle» ou «fabriquée». Le calcul du rapport coût-efficacité doit porter sur plusieurs aspects. Il varie en fonction du temps, du fait de l'évolution des connaissances en matière de valeurs et de processus sociaux et environnementaux, ainsi que des changements relatifs de la valeur ajoutée des différents secteurs d'utilisation de l'eau. Seule une analyse approfondie du rapport coût-efficacité de chaque option permet de bien définir les sources les plus prometteuses de progrès dans la gestion de la demande en eau.

Il faut mettre en place des dispositifs de financement réalistes pour permettre aux initiatives prises en matière d'eau de faire face aux coûts des interventions et programmes portant sur la pénurie d'eau. Dans bien des cas, cela passe par une diminution de l'importance accordée aux coûts d'investissement dans la construction et les travaux techniques et une priorité accrue donnée au renforcement des capacités, à la planification menée en collaboration avec les parties prenantes, à l'exploitation et à l'entretien et à d'autres dépenses de soutien institutionnel à long terme.

Capacité: veiller à ce qu'un niveau adéquat de gouvernance de l'eau et de capacité institutionnelle soit mis en place

La pénurie d'eau augmente les conflits entre utilisateurs, ainsi que les possibilités de répercussions négatives sur les groupes sociaux vulnérables et l'environnement. L'importance croissante de la gestion de la demande exige des institutions plus fortes pour garantir une distribution équitable des bénéfices et le maintien des services environnementaux. Plus la pénurie d'eau se fait sentir, plus il devient important de mieux définir les rôles et les responsabilités, de donner

d'avantage de pouvoir aux institutions locales, de réviser les politiques, d'adapter les lois et d'utiliser judicieusement des dispositifs d'incitation. Il va falloir s'efforcer de mettre en place une nouvelle culture de la gestion de l'eau au moyen de campagnes de sensibilisation du public, de programmes éducatifs et de mesures de renforcement des capacités et de la formation à tous les niveaux, y compris celui des groupes d'utilisateurs de l'eau. Les institutions doivent également s'adapter à des méthodes permettant aux opérateurs publics, privés et autres d'effectuer conjointement le travail de gestion.

Spécificité du contexte: adapter les mesures aux conditions locales

La réaction d'un pays à la pénurie d'eau dépend d'un certain nombre de facteurs, dont les conditions agroclimatiques locales, le niveau de la pénurie d'eau, le rôle que joue l'agriculture dans les économies nationales et les valeurs sociétales. Elle dépend également de facteurs externes, dont le commerce mondial et le contexte de coopération, ainsi que les perspectives relativement au changement climatique. En outre, étant donné les changements rapides que connaissent les domaines géopolitiques, sociétaux et environnementaux, il se peut que ce qui est considéré comme bien adapté aujourd'hui ne le soit plus demain. Des changements de stratégie sont donc à prévoir.

Cohérence: veiller à ce que les politiques sur l'eau, l'agriculture et la sécurité alimentaire soient alignées

Les décisions prises en dehors du secteur de l'eau, telles que celles qui déterminent les prix de l'énergie, les accords commerciaux, les subventions agricoles et les stratégies de réduction de la pauvreté peuvent toutes avoir des répercussions importantes sur l'approvisionnement et la demande en eau, et par conséquent sur la pénurie d'eau. L'alignement des nombreuses politiques et mesures législatives et fiscales qui ont une influence sur la gestion de l'eau, les services d'approvisionnement et le niveau de la demande est donc crucial. Les politiques sur l'agriculture et la sécurité alimentaire sont étroitement liées aux politiques sur l'eau et ce degré d'interconnexion doit être évalué pour garantir une cohérence globale.

Anticipation: s'adapter aux changements grâce à une prise de décisions robuste et une gestion adaptative

Les systèmes de planification et de gestion doivent être souples, adaptatifs et fondés sur un apprentissage social et institutionnel continu. La gestion adaptative reconnaît le niveau élevé d'incertitude lié aux situations futures et met l'accent sur une planification souple qui permette une amélioration régulière des plans et activités. Un tel niveau de capacité d'ajustement n'est possible que si les informations et connaissances sont mises à jour et que les systèmes de contrôle et de gestion de l'information fournissent de manière permanente des informations fiables aux décideurs. Il existe toujours un risque que les stratégies d'adaptation soient compromises par des facteurs externes tels que le changement climatique, les chocs financiers et économiques et la réorientation des accords de coopération internationale. L'élaboration de scénarios, qui fait partie intégrante du développement des stratégies, est un moyen de déterminer et d'atténuer ces risques et de mettre au point de solides mesures d'adaptation à l'incertitude des situations futures.

1. Introduction

1.1 LA «CRISE» DE L'EAU

Les derniers Rapports mondiaux sur la mise en valeur des ressources en eau (ONU-Eau, 2009, 2012) observent que les diverses crises mondiales constatées récemment – liées au changement climatique, à l'énergie, à la sécurité alimentaire, à la récession économique et aux turbulences financières – sont liées les unes aux autres et ont des répercussions sur les ressources en eau. Ces rapports nous rappellent que l'eau joue un rôle dans tous les secteurs de l'économie et est indispensable pour parvenir à un développement durable et réaliser les Objectifs du millénaire pour le développement (OMD).

Au fur et à mesure qu'augmente la demande en eau de l'humanité et que s'intensifie la concurrence entre les secteurs qui utilisent l'eau, la pénurie d'eau se manifeste sous diverses formes. Les rapports entre les milieux hydrologiques locaux, les moyens d'existence et le développement économique sont toutefois souvent difficiles à comprendre. Le moment est largement venu de réaliser une évaluation objective de ce que nous voulons dire par «pénurie» et de la manière dont nous nous attendons à ce que la pénurie d'eau pèse sur les rapides transitions sociales, économiques et environnementales auxquelles nous assistons aujourd'hui. Le présent rapport prend l'utilisation de l'eau en agriculture comme point de départ, puisque ce secteur, dans l'avenir prévisible, dominera les prélèvements en eau mondiaux.

L'Évaluation globale de la gestion de l'eau dans l'agriculture (CA, 2007) a posé la question: y a-t-il assez de terres, d'eau et de capacités humaines pour produire sur les 50 prochaines années la nourriture nécessaire à une population croissante – ou nous retrouverons-nous «à court» d'eau? La réponse a été la suivante: il est possible de produire cette nourriture – mais il est probable que les tendances actuelles en matière de production alimentaire et d'environnement, si elles sont maintenues, provoqueront des crises dans de nombreuses régions du monde. Ce n'est que si nous agissons pour améliorer l'utilisation de l'eau dans l'agriculture que nous pourrions faire face aux défis majeurs qui vont se présenter à l'humanité ces prochaines 50 années en matière d'eau douce. Ou, autrement dit, on ne peut pas continuer *comme si de rien n'était*. Pour prévenir les crises transitoires ou à long terme, de véritables changements sont nécessaires dans la manière dont l'eau est gérée et utilisée.

Le sentiment est très répandu que l'eau devient rare par l'effet de tendances qui sont dans une certaine mesure inévitables, en particulier la croissance démographique et l'augmentation de la demande en eau qui en résulte pour satisfaire la production alimentaire et les besoins domestiques, industriels et municipaux. Cela a conduit de nombreuses personnes à la conclusion qu'une «crise de l'eau» ne pourra pas être évitée. Pourtant, les problèmes les plus prévisibles (ou crises potentielles) peuvent être en grande partie évités par l'ajustement de la manière dont l'eau est gérée et administrée (Moriarty, Butterworth et Batchelor, 2004). La manière dont la gestion de l'eau peut satisfaire les besoins humains fondamentaux et assurer les moyens d'existence est maintenant bien documentée (CA, 2007; ONU-Eau, 2009, 2012). Il reste toutefois difficile de définir le bon équilibre entre d'une part les mesures de base portant sur l'attribution de l'eau, les services d'approvisionnement et la gestion par les utilisateurs ultimes et d'autre part la variabilité du cycle hydrologique et la rareté croissante des ressources. Pour résumer, il faut que le comportement des usagers de l'eau soit mieux harmonisé avec la réalité de plus en plus concrète de la pénurie d'eau.

1.2 L'AGRICULTURE, L'EAU ET LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

L'agriculture est le secteur économique le plus sensible à la pénurie d'eau. Bien qu'elle soit parfois considérée comme un utilisateur «résiduel» de l'eau, après les secteurs domestique et industriel, elle est à l'origine de 70 pour cent des prélèvements mondiaux en eau douce et de plus de 90 pour cent de son utilisation non renouvelable. C'est également le secteur présentant le plus de possibilités d'ajustement.

Dans la plupart des régions du monde, l'évapotranspiration des terres agricoles irriguées représente de loin la plus importante utilisation non renouvelable des eaux prélevées pour les besoins humains. L'augmentation régulière de la demande en produits agricoles pour satisfaire les besoins d'une population croissante constitue toujours la principale raison de l'utilisation de l'eau en agriculture. Bien que le taux de croissance de la population mondiale ait ralenti depuis les années 80, le nombre d'êtres humains continue à augmenter rapidement, en particulier dans les pays en développement. En outre, le développement économique soutenu qu'ont connu en particulier les économies de marché émergentes s'est traduit par une demande d'amélioration de la variété des régimes alimentaires, et notamment de viande et de produits laitiers, ce qui fait peser une pression supplémentaire sur les ressources en eau (ONU-Eau, 2012). Les prévisions indiquent qu'il faudra 60 pour cent de nourriture supplémentaire entre maintenant et 2050 pour satisfaire la demande d'une population qui pourrait éventuellement dépasser les neuf milliards d'habitants. Il résulte de tout cela que l'utilisation en eau de l'agriculture aggrave la pénurie d'eau dans certaines zones et crée une pénurie d'eau même dans des régions relativement bien dotées en ressources en eau.

L'agriculture, et en particulier l'agriculture irriguée, connaît à l'heure actuelle une évolution rapide et se trouve confrontée à des défis nouveaux et anciens. Partout sur la planète, les agriculteurs doivent s'adapter à un monde où les échanges et la mondialisation ont rapidement augmenté les interconnexions et l'interdépendance entre les modes de production et de consommation des gens et où les progrès technologiques ont stimulé la productivité agricole. La révolution verte et les progrès agronomiques subséquents ont permis à la production agricole de prendre de l'avance sur la croissance démographique et de nourrir un nombre toujours plus important de personnes avec des aliments toujours plus variés et qui s'améliorent en termes de qualité. Cela s'est toutefois accompagné d'un coût élevé pour l'environnement.

Il existe néanmoins une autre facette de ces tendances. Le nombre absolu de personnes souffrant de malnutrition, dont la plupart vivent dans des zones rurales, ne diminue pas et la productivité agricole de nombreux pays en développement reste faible. Les répercussions éventuelles du changement climatique sur les ressources et la demande en eau sont incertaines, tout comme l'est l'impact possible de la production de bioénergies sur l'agriculture et la sécurité alimentaire. La flambée récente et la volatilité accrue des prix des denrées alimentaires, depuis 2007, constituent un avertissement clair contre les dangers de l'excès de confiance concernant l'approvisionnement alimentaire à long terme.

L'agriculture est à la fois cause et victime de la pénurie d'eau. C'est dans la périphérie des grands centres urbains que la concurrence pour l'eau entre les secteurs est la plus évidente, mais elle peut apparaître dans tous les bassins de captage où l'intensification de l'agriculture dans les zones en amont des cours d'eau réduit l'approvisionnement en eau en aval. L'exploitation non durable d'eaux souterraines peut avoir des répercussions à long terme sur la production agricole dans des régions comme l'Asie du Sud où la prospérité de l'irrigation due à l'utilisation d'eaux souterraines, dans les années 80 et 90, a favorisé une augmentation considérable de la production agricole qui est maintenant freinée par l'épuisement des aquifères. Il est surtout à craindre que la production agricole ne diminue dans les zones très peuplées au moment où la demande augmente et le problème de la sécurité alimentaire revient sur le devant de la scène dans toutes les régions.

1.3 OBJECTIFS ET PORTÉE DU RAPPORT

Etant donné l'importance de l'eau pour l'agriculture et la production alimentaire et le rôle prédominant de l'agriculture dans les prélèvements en eau dans le monde, la FAO a entrepris de revoir son programme sur l'eau afin de proposer une réponse plus efficace et stratégique au problème croissant de la pénurie d'eau. Le programme est engagé par l'orientation de l'Organisation sur les moyens d'existence agricoles et ruraux et reflète nécessairement les préoccupations particulières des membres de la FAO en matière d'alimentation et d'agriculture. La promotion d'approches réalistes et responsables de la gestion de l'eau fait partie de cette mission.

Ce rapport a deux objectifs. Il vise d'abord à définir un cadre pour la comptabilité de l'eau qui permette d'interpréter objectivement la pénurie d'eau. Il aspire ensuite à indiquer où et comment la gestion de l'agriculture peut jouer un rôle proactif et plus efficace pour répondre aux préoccupations croissantes concernant la pénurie mondiale d'eau douce.

Le discours autour de l'attribution de l'eau et de la réglementation environnementale est façonné par plusieurs facteurs: la concurrence pour l'eau en tant qu'apport social et économique; la nécessité de protéger l'environnement et de rendre compte du coût de l'utilisation des ressources naturelles; et la reconnaissance de la valeur des services environnementaux rendus par l'eau. L'agriculture continuera à être le plus important utilisateur d'eau dans de nombreux pays et doit être prise en compte sur la base d'un cadre clair permettant d'analyser son impact, son attribution légitime et les dispositifs de gestion adéquats dans cette période de pénurie d'eau croissante.

Le rôle de l'eau dans la productivité agricole, les moyens d'existence ruraux et les externalités environnementales doit être correctement analysé par le biais de définitions solides sur le plan scientifique et largement acceptées et de méthodes de comptabilité de l'eau. Cela implique l'évaluation de l'utilisation efficace de l'eau au niveau des champs, des périmètres d'irrigation et des bassins hydrographiques; l'examen de dimensions supplémentaires de la productivité; et la réalisation d'évaluations macro-économiques de la contribution de l'économie agricole liée à l'eau au PIB et au commerce mondial. Le contexte de ces évaluations est un continuum entre le point de prélèvement direct et le point de consommation réelle dans les denrées alimentaires et les biens industriels.

Au cours des dernières années, des études approfondies ont été réalisées sur les principales questions liées à l'eau en agriculture et les réponses possibles en termes de politiques et de gestion (CA, 2007). Il reste toutefois à définir les priorités d'action, les modalités de mise en œuvre et le cadre global dans lequel ces initiatives devraient être prises.

La FAO s'est récemment engagée dans un programme à long terme sur le thème «Faire face à la pénurie d'eau – le rôle de l'agriculture». Au stade initial, le programme s'intéresse à l'élaboration d'un cadre global pour les mesures à prendre dans le secteur agricole afin de faire face à la pénurie d'eau. Ce projet permettra d'élaborer un ensemble intégré d'outils techniques et de mécanismes de réglementation et de le promouvoir dans les pays membres de la FAO. Ce cadre global devrait être suffisamment souple pour s'adapter à tous les contextes bio-physiques et socio-économiques. Dans ses phases ultérieures le programme sera adapté aux particularités des diverses régions et appliqué au niveau national. L'objectif du présent rapport est de préparer le terrain pour le cadre dans lequel la FAO élaborera son programme de lutte contre la pénurie d'eau et collaborera avec ses membres.

2. Définition de la pénurie d'eau

Un cadre global visant à faire face la pénurie d'eau exige une définition claire et sans équivoque qui résiste à l'analyse et puisse être employée dans les évaluations qualitatives et quantitatives de la pénurie d'eau. Des recherches documentaires étendues ont mis en évidence de nombreuses descriptions de la nature de la pénurie d'eau, mais aucune définition ne peut être recommandée sans réserve.

2.1 LES DÉFINITIONS EXISTANTES DE LA PÉNURIE D'EAU

L'objectif de cette section n'est pas d'exposer de manière exhaustive les définitions de la pénurie d'eau, mais d'en proposer un petit nombre qui puisse servir de point de départ à l'élaboration d'une définition claire et sans équivoque de la pénurie d'eau. L'étude d'une vingtaine de définitions de la pénurie d'eau a permis d'en sélectionner trois qui se distinguent des autres parce qu'elles sont solides et bien construites.

Dans un exposé de principe préparé pour une conférence électronique antérieure de la FAO à propos de la pénurie d'eau, Winpenny (1997) a défini la pénurie d'eau comme un déséquilibre entre l'offre et la demande dans le cadre des dispositions institutionnelles et/ou des prix en vigueur; un excès de la demande par rapport à l'offre disponible; un taux élevé d'utilisation par rapport à l'offre disponible, en particulier si le potentiel disponible restant est difficile ou coûteux à exploiter. Cette définition a l'avantage de reconnaître explicitement la nature relative du concept de pénurie d'eau. Plusieurs variations de cette définition ont été proposées. Abrams (2009), tout en soulignant à nouveau la nature relative de la pénurie d'eau, l'a définie comme un concept décrivant le rapport entre la demande en eau et sa disponibilité. Il a insisté sur le fait que la demande varie considérablement entre les différents pays et régions selon l'utilisation sectorielle des eaux, et aussi selon les conditions climatiques locales.

Le Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau (ONU-Eau, 2006a) s'est inspiré de la définition proposée par Winpenny (1997) pour définir la pénurie d'eau comme

«Le point auquel les répercussions agrégées de tous les utilisateurs a un effet préjudiciable sur l'approvisionnement en eau ou la qualité de l'eau dans le cadre des dispositions institutionnelles en vigueur, au point que la demande de tous les secteurs, dont l'environnement, ne peut être entièrement satisfaite». Il estime en outre que «la pénurie d'eau est un concept relatif qui peut se produire à tous les niveaux de l'offre ou de la demande, qu'elle peut être une construction sociale (le résultat de la prospérité, des attentes et des comportements habituels) ou la conséquence de modes d'approvisionnement modifiés en raison du changement climatique, et qu'elle a diverses causes, dont la plupart peuvent être atténuées ou pour lesquelles il existe une solution.»

Les points forts de cette définition sont qu'elle admet que la pénurie d'eau peut se produire à tous les niveaux de l'offre et de la demande, qu'elle a des causes variées et qu'il est possible d'y remédier dans une certaine mesure ou qu'elle peut être atténuée.

2.2 LES DÉFINITIONS EMPLOYÉES DANS CE RAPPORT

La pénurie d'eau est définie ici comme un décalage entre l'offre disponible et la demande exprimée en eau douce dans un lieu spécifique, dans les conditions institutionnelles (dont la

«tarification» de la ressource et les dispositifs régulant les prix de détail) et infrastructurelles qui y prévalent.

Pénurie d'eau = excès de la demande en eau par rapport à l'offre disponible

La pénurie se manifeste par une demande insatisfaite, des tensions entre les utilisateurs, une concurrence pour l'eau, une surexploitation des eaux souterraines et des écoulements insuffisants dans le milieu naturel.

Le présent rapport estime que les multiples effets conjugués des causes de pénurie d'eau sont tous liés à l'intervention humaine dans le cycle de l'eau. La pénurie d'eau est fondamentalement dynamique et varie dans le temps du fait de la variabilité hydrologique naturelle, mais encore plus en fonction des politiques et stratégies de planification et de gestion économiques et de la capacité des sociétés à anticiper l'évolution des niveaux d'offre ou de demande. La pénurie peut découler de politiques imprévoyantes telles que l'attribution excessive de permis de prélèvement de l'eau dans un bassin de captage ou l'expansion abusive de zones d'irrigation offrant de l'eau gratuite ou bon marché aux agriculteurs. Le problème s'intensifie avec l'augmentation de la demande des utilisateurs et la diminution de la disponibilité et de la qualité de la ressource. La pénurie peut apparaître en étroite juxtaposition avec l'abondance d'eau, là où aucun dispositif légal ou institutionnel n'améliore l'accès à l'eau et où les infrastructures nécessaires n'existent pas ou ne sont pas opérationnelles. De nombreuses causes de pénurie peuvent être prévues, évitées et/ou atténuées si elles sont correctement identifiées.

D'autres termes apparentés sont employés dans ce rapport dans le sens suivant (voir le glossaire à l'annexe 1 pour d'autres définitions):

- Manque d'eau: un manque d'eau de qualité acceptable; de faibles niveaux d'approvisionnement en eau, dans un endroit donné et à un moment donné, par rapport aux niveaux d'approvisionnement prévus du fait de l'insuffisance des ressources en eau, des infrastructures insuffisantes ou mal entretenues ou du faible niveau des ressources en eau dû aux différences climatiques annuelles ou saisonnières ou à tout un éventail de facteurs hydrologiques ou hydrogéologiques. Dans le sens employé dans ce rapport, le manque d'eau est un concept absolu et non relatif.
- Stress hydrique: les symptômes de la pénurie ou du manque d'eau, ex.: des conflits croissants entre les utilisateurs et une concurrence pour l'eau, une baisse des normes de fiabilité et de service, de mauvaises récoltes et une insécurité alimentaire. Ce terme est employé pour décrire une variété de circonstances et de causes. Des indicateurs de stress hydrique ont été proposés (voir section 2.4. pour une étude plus poussée).

2.3 LES DIFFÉRENTES DIMENSIONS DE LA PÉNURIE D'EAU

Les causes de pénurie, comme l'indique la définition choisie, peuvent être de nature variable et nécessiter des mesures spécifiques. L'évaluation globale de la gestion de l'eau dans l'agriculture (CA, 2007) précise que la pénurie d'eau est une contrainte majeure exercée sur l'agriculture dans de nombreuses parties du monde. Elle distingue, en se fondant sur des travaux antérieurs de Seckler *et al.* (1998), deux sortes de pénurie d'eau, *la pénurie physique et la pénurie économique*.

La pénurie physique se produit lorsqu'il n'y a pas assez d'eau pour satisfaire toutes les demandes, dont les écoulements dans le milieu naturel. Les symptômes de la pénurie d'eau physique sont une dégradation sévère de l'environnement, la baisse des eaux souterraines et l'attribution d'eau en faveur de certains groupes par rapport à d'autres.

La pénurie d'eau économique est décrite comme une situation provoquée par un manque d'investissement dans l'eau ou une incapacité humaine à satisfaire la demande en eau. Parmi les symptômes de la pénurie d'eau économique figurent le faible développement des infrastructures, à petite ou grande échelle, qui fait que les gens ont du mal à se procurer assez d'eau pour l'agriculture ou pour boire. La distribution de l'eau peut également être inéquitable, même lorsque les infrastructures sont en place. Une grande partie de l'Afrique subsaharienne se caractérisant par une pénurie économique, de meilleurs aménagements hydrauliques pourraient grandement contribuer à la réduction de la pauvreté.

Dans son récent rapport sur la pénurie d'eau au Moyen-Orient, la Banque mondiale (2007) suggère de distinguer trois sortes de pénurie d'eau: la pénurie de la ressource physique, la pénurie organisationnelle et la pénurie de responsabilisation. «La pénurie organisationnelle» se rapporte à la capacité «d'amener l'eau au bon endroit et au bon moment». «La responsabilisation» évoque la responsabilité des gouvernements par rapport à leurs administrés et des prestataires de services par rapport à leurs utilisateurs (Banque mondiale, 2007). L'accent mis sur des questions généralement considérées d'ordre *institutionnel* est représentatif des tendances actuelles vers une concentration de l'attention sur la gestion, au fur et à mesure que les solutions liées à l'approvisionnement rencontrent leurs limites.

A partir de ces différentes manières d'envisager la pénurie d'eau et de quelques autres et en tenant compte du fait que la pénurie est due à des causes multiples, ce qui exige des mesures différentes, nous proposons de prendre en considération trois *dimensions* essentielles de la pénurie d'eau, qui peuvent se résumer comme suit:

- La pénurie de disponibilité en eaux de qualité acceptable pour répondre à la totalité de la demande, dans le cas simple d'un manque d'eau physique;
- La pénurie due au manque d'infrastructures adéquates, indépendamment du niveau des ressources en eau, en raison de contraintes financières, techniques ou autres; et
- La pénurie de possibilités d'accès aux services d'approvisionnement en eau, due à l'incapacité des institutions en place (y compris les droits légaux) de garantir aux utilisateurs un approvisionnement en eau fiable, sûr et équitable. Cette dimension regroupe les notions de pénurie organisationnelle et de responsabilisation proposées par la Banque mondiale (2007).

Dans les deux derniers cas, les pays peuvent bénéficier d'un niveau relativement élevé de dotation en ressources en eau par rapport à la demande, mais être incapables de prélever et distribuer l'eau à cause du manque d'infrastructures ou de facteurs institutionnels limitant l'accès à l'eau.

2.4 LES INDICATEURS DE LA PÉNURIE D'EAU

L'indicateur de pénurie nationale d'eau le plus connu est le volume d'eau renouvelable par habitant, selon lequel des valeurs seuil de 500, 1 000 and 1 700 m³/personne/an permettent de distinguer les différents niveaux de stress hydrique (Falkenmark et Widstrand, 1992; ONU-Eau, 2006b). En fonction de ce critère, des pays ou régions sont considérés comme étant confrontés à une *pénurie absolue d'eau* si les ressources en eaux renouvelables sont <500 m³ par habitant, à une *pénurie d'eau chronique* si les ressources en eau se situent entre 500 et 1 000 m³ par habitant et à un *stress hydrique régulier* entre 1 000 et 1 700 m³ par habitant (tableau 1). Cette méthode rudimentaire de mesure de la pénurie d'eau se

TABLEAU 1
Définitions conventionnelles des niveaux de stress hydrique (selon Falkenmark et Widstrand, 1992)

Eaux douces annuelles renouvelables (m ³ /pers.an)	Niveau de stress hydrique
< 500	Pénurie d'eau absolue
500 – 1 000	Pénurie d'eau chronique
1 000 – 1 700	Stress hydrique régulier
> 1 700	Stress hydrique occasionnel ou local

fonde essentiellement sur des estimations du nombre de personnes qui peuvent raisonnablement vivre sur un certain volume de ressources en eau (Falkenmark, 1984). Cet indicateur est couramment utilisé parce qu'il peut facilement être calculé pour chaque pays du monde et pour chaque année à partir des données sur les ressources en eau (FAO-AQUASTAT, 2012) et des données démographiques disponibles (ONU, 2009). En outre, les prévisions démographiques, qui vont maintenant jusqu'à l'an 2100, permettent également de prévoir les niveaux de pénurie d'eau pour les prochaines décennies.

Bien que cette méthode de mesure présente des avantages, elle simplifie exagérément la situation hydrique de certains pays en ignorant les facteurs locaux déterminant l'accès à l'eau et la faisabilité des solutions dans différents endroits. Elle ne peut pas tenir compte des conditions climatiques prédominantes; de la variabilité des ressources en eau au cours d'une même année et d'une année à l'autre; de la gouvernance; des problèmes d'accès à l'eau, de droits sur l'eau et d'exclusion sociale; de la concurrence entre les secteurs; du potentiel de recyclage de l'eau ou du développement de ressources en eau non conventionnelles; et des besoins en eau pour l'environnement qui varient selon les régions (Molle et Mollinga, 2003). Les moyennes au niveau des pays ne sont pas non plus très significatives, en particulier pour les grands pays soumis à de fortes variations régionales. Les présentations effectuées à la consultation d'experts par l'Espagne, la Tunisie, la Chine et le Chili, parmi bien d'autres, ont indiqué un taux de variation marqué de la pénurie d'eau entre les différentes régions d'un même pays.

Afin de mieux saisir le rapport entre l'offre et la demande, l'indicateur sur l'eau (FAO-AQUASTAT, 2012) des Objectifs du millénaire pour le développement (OMD) est censé mesurer le niveau de pression humaine exercé sur les ressources en eau à partir du rapport entre les prélèvements totaux en eau de l'agriculture, des villes et des industries et les ressources totales en eaux renouvelables. Cet indicateur reflète l'équilibre entre l'offre et la demande, mais il présente des problèmes conceptuels et de calcul liés en partie à la fiabilité de la mesure des prélèvements en eau, des questions de double comptabilisation (réutilisation des eaux de drainage ou des retours d'écoulement) et des difficultés liées à l'absence de séries chronologiques systématiques des données nécessaires pour la surveillance à long terme et à l'interprétation des tendances. Un autre indice du stress hydrique, basé sur «le pourcentage de la demande en eau qui ne peut être satisfait sans prendre de mesures» (ONU-Eau, 2006b), a été mis au point afin d'attirer l'attention sur les mesures correctives et de reconnaître la nature dynamique de la pénurie d'eau. Aucune de ces tentatives pour quantifier la pénurie d'eau et le stress hydrique qu'elle entraîne n'est parfaite mais elles reflètent la nature relative de la pénurie d'eau et permettent une évaluation directe de la dimension du problème au niveau d'un pays ou d'une région.

2.5 LE CYCLE HYDROLOGIQUE

La pénurie d'eau est étroitement liée au cycle hydrologique et aux lois physiques qui régissent les processus hydrologiques. Dans le contexte de la pénurie d'eau, six aspects du cycle hydrologique sont déterminants:

- L'eau est une ressource renouvelable. Bien que l'ampleur des précipitations qui tombent à la surface des terres soit très variable dans le temps et l'espace, on peut compter sur les pluies pour réapprovisionner en eau les réservoirs, le profil pédologique et les aquifères. L'eau, contrairement à d'autres ressources naturelles, ne peut totalement s'épuiser (comme le pétrole et le gaz).
- L'eau est dans un état de flux perpétuel. Elle bouge constamment et change de phase par l'intermédiaire des processus d'évaporation, de transpiration, de condensation, de précipitation, d'infiltration, de ruissellement, d'écoulements souterrains, de gel et de fonte. Ce faisant, l'eau a la capacité de changer d'état et de devenir un liquide, un gaz ou un solide (c.-à-d. de la glace) au fur et à mesure de son évolution dans le cycle hydrologique.

- L'équilibre hydrique est régi par la conservation de la masse. La masse d'eau est essentiellement constante dans le cycle hydrologique, tout comme la quantité d'eau dans chacun des principaux réservoirs du cycle de l'eau. En d'autres termes, l'eau n'est ni créée, ni détruite dans les processus naturels du cycle hydrologique. Cela signifie que le débit d'eau qui pénètre dans un lieu donné devrait équivaloir, en moyenne et sur la durée, au débit qui sort du même lieu, toute différence découlant d'un changement dans le stockage (aquifères, profil pédologique ou réservoirs). Il n'y a par conséquent qu'une seule ressource et seule une approche systémique de l'eau peut garantir qu'une stratégie de gestion aura des effets cohérents. Les interconnexions entre les eaux de surface, les eaux souterraines, la teneur en eau des sols et le processus d'évapotranspiration ont en particulier une très grande importance mais de nombreux plans nationaux de gestion de l'eau n'en rendent pas pleinement compte. Les eaux souterraines et les eaux de surface font au bout du compte partie de la même ressource et ne peuvent pas être considérées comme des sources d'eau alternatives. Toute tentative d'augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'eau dans un lieu spécifique sans une bonne compréhension de son impact sur les équilibres hydriques systémiques peut avoir des effets inattendus et indésirables. Par exemple, le captage d'eaux souterraines dans les plaines alluviales peut facilement réduire le débit de base des cours d'eau.
- Les liaisons entre les limites administratives et les bassins fluviaux. La gestion des terres et des eaux dans une partie d'un système hydrologique (bassin de captage, aquifère) aura des répercussions sur les autres parties du système. Par exemple, l'intensification de l'utilisation de l'eau en agriculture dans les zones en amont d'un bassin fluvial peut avoir une incidence sur la disponibilité en eaux de surface et en eaux souterraines dans les zones en aval. Le concept de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) se fonde sur une bonne compréhension des processus régissant les bassins fluviaux. Comme il a été convenu dans le premier Principe de Dublin (PME, 2009), un ensemble croissant de pratiques se fonde sur le principe que l'eau devrait être gérée sur la base d'unités hydrographiques (bassins, bassins versants et, moins couramment, aquifères), bien que celles-ci coïncident rarement avec les limites des unités institutionnelles et administratives. L'attribution de l'eau pour de nombreuses utilisations est normalement planifiée et gérée par des unités administratives telles que les provinces, les municipalités, les districts ou les périmètres d'irrigation. La vraie difficulté est d'assurer des liaisons adéquates par delà les diverses limites. L'eau utilisée pour l'irrigation ou les besoins urbains – en particulier là où ont lieu des transferts importants entre les bassins – sera souvent employée dans une unité hydrographique différente de celle dont elle provient. Les bassins de captage et aquifères traversent souvent les frontières internationales. Du point de vue de la comptabilité de l'eau, la question des limites est un fait concret dont il faut tenir compte.
- Les limites du pouvoir de purification et de dilution des polluants. Jusqu'à une époque encore assez récente, de nombreuses villes, même dans le monde développé, s'en remettaient aux capacités d'autopurification et de dilution des rivières et des eaux côtières pour éliminer les effluents des villes. Cela a pu continuer tant que les densités de population et les industries connexes étaient peu importantes. La compréhension croissante de l'impact des effluents non traités sur l'écologie fluviale et côtière (et éventuellement les habitants) a toutefois mis en évidence le fait que les fonctions de dilution des écosystèmes aquatiques avaient atteint leurs limites dans de nombreux endroits et que ces pratiques devaient maintenant être rigoureusement réglementées. Lorsqu'il n'y a pas de réglementation ou que celle-ci est mal appliquée, la pollution des sources d'eau peut aggraver la pénurie.
- Le maintien des biens et services des écosystèmes aquatiques. Les écosystèmes aquatiques, dont de nombreux habitats rares et importants, dépendent du maintien du niveau des eaux souterraines et du régime d'écoulement des systèmes fluviaux. Les besoins de l'environnement sont maintenant clairement définis dans la comptabilité des ressources en eau alors que précédemment ils étaient soit ignorés, soit considérés comme n'ayant

qu'un droit résiduel sur l'eau. Les résultats de cette attitude à l'échelle mondiale sont évidents. Le cadre conceptuel proposé ici suggère que l'environnement ne devrait pas être considéré comme un concurrent par rapport aux autres utilisations de l'eau. Il faut plutôt estimer que la préservation des fonctions environnementales est une condition préalable au maintien des ressources pour d'autres utilisations. La préservation de la fonction environnementale des systèmes hydriques est une priorité, mais sa mise en œuvre nécessitera des négociations rigoureuses sur les écoulements nécessaires à l'environnement. En outre, parce que les paysages agricoles remplissent aussi des fonctions environnementales, la limite entre les besoins en eau de l'environnement et la demande en eau de l'agriculture n'est souvent pas très clairement définie.

3. Les facteurs à l'origine de la pénurie d'eau

Les facteurs à l'origine de la crise de l'eau patente sont bien connus: l'utilisation de l'eau dans le monde a augmenté à un rythme deux fois plus important que le taux de la croissance démographique au cours du dernier siècle et un nombre croissant de régions atteignent la limite au delà de laquelle des services en eau fiables ne peuvent plus être assurés. La croissance démographique, le développement économique, l'urbanisation et la pollution exercent des pressions sans précédent sur les ressources en eau renouvelables, en particulier dans les régions arides et semi-arides. Il est parallèlement de plus en plus admis que les services environnementaux et les fonctions des écosystèmes ne devraient plus être considérés comme des utilisations résiduelles de l'eau. Le changement climatique et la demande en bioénergies fausse encore davantage le rapport déjà complexe entre développement et demande en eau.

Les causes de la pénurie d'eau sont multiples et interdépendantes (Abrams, 2009). Il y a pénurie lorsque la demande dépasse les ressources disponibles, que l'approvisionnement soit limité par le manque de coordination de la planification et les insuffisances des infrastructures hydrauliques ou par la disponibilité physique en eau. La pénurie empire avec l'augmentation de la concurrence pour l'eau et des groupes ou des individus sont amenés à capter des ressources de plus en plus rares (ex.: en approfondissant concurrentiellement les puits ou en spéculant sur les droits d'utilisation de l'eau).

Le surdéveloppement des infrastructures hydrauliques est la principale cause de pénurie d'eau fabriquée (Molle, 2008). Dans de nombreux bassins fluviaux, l'expansion des zones irriguées a stimulé la demande au delà des capacités des bassins de captage, exploité les ressources disponibles jusqu'à la limite et progressivement mis en place la pénurie d'eau. Les années de faibles précipitations, la demande en eau qui a pu augmenter au cours des années pluvieuses ne peut être satisfaite. Cela crée une impression générale de pénurie d'eau et suscite des demandes d'investissement supplémentaire dans les technologies d'économie de l'eau. Les années pluvieuses sont vécues comme des occasions perdues quand les eaux «en excès» s'écoulent dans la mer et cela se traduit trop souvent par de nouveaux aménagements hydrauliques. Les recherches ont montré que le surdéveloppement des infrastructures et l'augmentation de la pénurie artificielle découlent souvent de l'association d'intérêts financiers et politiques plutôt que de «besoins» légitimes (Molle, 2008). L'incitation à empêcher la moindre goutte d'eau de rejoindre la mer est souvent plus forte sur le plan politique qu'une évaluation hydrologique rigoureusement menée qui tiendrait compte des aspects économiques, écologiques et sociaux de la mise en valeur des ressources en eau.

Dans certaines régions, des estimations trop optimistes des ressources en eau disponibles et la surattribution des droits d'utilisation de l'eau qui en a découlé a provoqué de graves manques d'eau pendant les périodes sèches. En Australie, les apports moyens d'eau dans le réseau hydrographique Murray-Darling entre 2001/2 et 2009 n'ont représenté que 33 pour cent de la moyenne des cent années précédentes – sur laquelle avait été basé le système actuel d'attribution. Le changement climatique futur devrait invalider encore davantage les hypothèses hydrologiques sur lesquelles ont été établis les droits d'utilisation actuels. Le fleuve Colorado, dans le sud-ouest des Etats-Unis, est un autre exemple de cours d'eau dont les eaux ont été surattribuées, dans ce cas à cause de l'augmentation de la demande et des besoins croissants de l'environnement (en particulier la loi des Etats-Unis Endangered Species Act)¹.

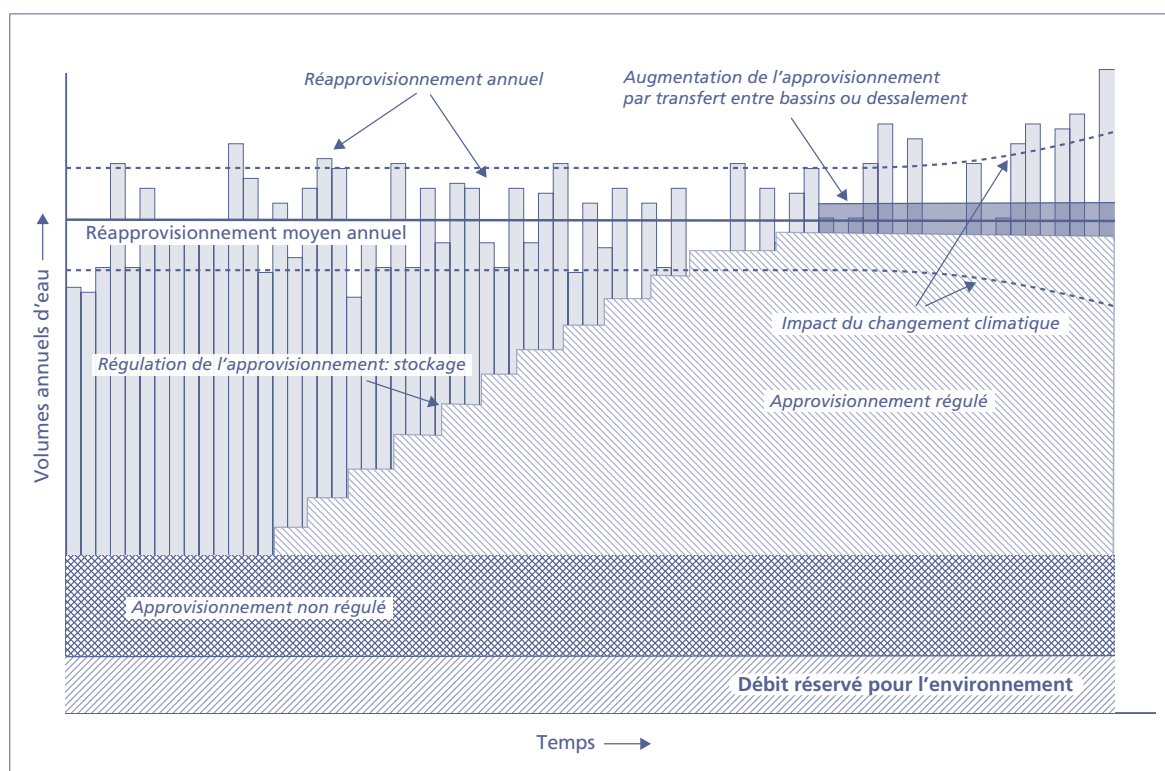
1 Informations issues des présentations sur l'Australie et les Etats-Unis à la consultation d'experts.

3.1 LES FACTEURS QUI INFLUENT SUR L'APPROVISIONNEMENT EN EAU

Plusieurs facteurs influent sur l'approvisionnement en eau disponible annuellement (figure 1). Ils peuvent être naturels ou anthropogéniques. Les volumes annuels de débit, leur distribution dans le temps et l'espace et la variabilité selon les années dépendent des conditions climatiques et géomorphologiques. Les conditions géologiques déterminent également les caractéristiques de recharge et de stockage des eaux souterraines. La disponibilité en eau est bien moindre que le volume total d'eau qui s'écoule dans un système. Elle fluctue d'une année sur l'autre et une partie seulement en est accessible pour les utilisations humaines et peut constituer une source fiable d'approvisionnement constant.

FIGURE 1

Facteurs influant sur les disponibilités en eau



La variabilité interannuelle des précipitations se traduit en variabilité du débit fluvial et de la recharge des aquifères, les deux principales sources d'eau. L'eau est inégalement distribuée dans le temps et l'espace et les ressources mondiales en eau sont pour une large part disponibles loin des foyers de population ou dans des endroits où la demande est faible. Les précipitations étant aussi irrégulières dans le temps, les débits de pointe peuvent se produire à la saison de l'année qui coïncide avec la plus faible demande en eau, en particulier pour l'agriculture (bien que cela ne soit pas le cas lorsque les rivières sont alimentées par des glaciers qui fondent au printemps).

Les interventions anthropogéniques peuvent augmenter les volumes d'eau utilisables. La régulation des eaux par la construction de réservoirs peut diminuer la vulnérabilité aux variations saisonnières ou interannuelles des débits et augmenter les volumes d'eau régulièrement disponibles. L'aménagement du stockage de l'eau se fait essentiellement par transfert d'eau des régions très arrosées vers les régions peu arrosées. La solution la plus évidente et la plus courante à ce problème de variation consistait auparavant à stocker les eaux de surface derrière des barrages mais depuis quelques décennies le stockage des eaux en sous-sol représente une alternative appropriée et de plus en plus souvent employée.

Il est aussi possible d'améliorer l'approvisionnement en important des eaux douces dans un système ou bassin donné. Les transferts entre bassins, le dessalement de l'eau lorsqu'il est possible et l'utilisation directe des eaux usées sont les plus importantes techniques employées pour compléter l'approvisionnement naturel par l'importation d'eau de l'extérieur du système. D'autres options plus marginales consistent à augmenter l'approvisionnement en transportant l'eau par tankers, ou dans des sacs par la mer. Ces méthodes, habituellement plus coûteuses, sont considérées comme des solutions d'urgence à court terme et généralement strictement limitées à la satisfaction des besoins domestiques fondamentaux.

Dans ce contexte, la qualité de l'eau entre aussi en ligne de compte. La réutilisation et la recirculation croissantes des eaux, qui sont en elles-mêmes des réponses à la pénurie d'eau, entraînent une détérioration de la qualité de l'eau, ce qui diminue la disponibilité en eau de suffisamment bonne qualité pour une utilisation donnée. Certaines régions connaissent également un problème de contaminants naturels, tels que le fluorure et l'arsenic, qui sont liés à la surexploitation des eaux souterraines et représentent par conséquent à la fois une cause et une conséquence de la pénurie d'eau. La détérioration de la qualité de l'eau peut par conséquent aggraver la pénurie et porter atteinte à la croissance économique. La gestion des ressources en eau doit être envisagée de manière moins linéaire et plus circulaire afin de tenir compte du recyclage de l'eau (et des nutriments) et de considérer la lutte contre la pollution comme un élément important des stratégies de gestion de l'approvisionnement en eau.

Le débit réservé est une expression qui décrit la quantité, la qualité et le rythme du débit d'eau nécessaire pour maintenir les écosystèmes estuariens et d'eau douce, ainsi que les moyens d'existence et le bien-être des personnes qui en dépendent (Déclaration de Brisbane, 2007). L'état dans lequel les écosystèmes aquatiques et leurs services doivent être maintenus est une décision qui comporte des éléments techniques et socio-politiques et exige une bonne compréhension des processus biophysiques ainsi que des valeurs sociales propres à chaque période, lieu et situation économique. L'état souhaité de l'écosystème peut être précisé par la législation nationale ou des conventions internationales impliquant des recommandations sur le régime hydrologique nécessaire pour maintenir les écosystèmes dans cet état. Sinon, le débit réservé fixé pour un système fluvial peut faire l'objet de négociations entre les utilisateurs de l'eau, avec pour objectif de maintenir l'état de l'écosystème. Quel que soit le cas, le maintien d'un régime fixé de débit réservé risque de réduire la quantité d'eau disponible pour les prélèvements en amont ou les transferts d'eau en aval.

Le changement climatique devrait modifier les régimes hydrologiques et les disponibilités en eaux douces, ce qui devrait avoir des répercussions sur l'agriculture pluviale et irriguée (ONU-Eau, 2009, 2012; FAO, 2008; FAO, 2011a). Les prévisions montrent une réduction générale des précipitations dans les zones semi-arides, une augmentation des précipitations dans les zones tempérées, une variabilité plus élevée de la distribution des précipitations, une augmentation de la fréquence des événements extrêmes et une augmentation de la température. Tous ces effets auront des répercussions particulières sur l'agriculture tropicale et subtropicale (GIEC, 2008). Une réduction importante du débit fluvial et de la recharge des aquifères est attendue dans l'ensemble du bassin méditerranéen, ainsi que dans les zones semi-arides d'Afrique australe, d'Australie et des Amériques, ce qui aura des conséquences sur les disponibilités en eau pour toutes les utilisations.

La modification des débits qui influe sur la disponibilité en eau, dans les rivières ou pour la recharge des aquifères, augmentera la pression humaine exercée sur les ressources en eau. Il est prévu que l'association de la diminution des débits de base des cours d'eau, des inondations et de l'élévation du niveau des mers perturbera certains systèmes irrigués très productifs qui dépendent de la fonte des glaciers (ex.: Punjab, Colorado) et les deltas situés dans les basses terres (ex.: l'Indus, le Nil et le Brahmapoutre-Gange-Meghna – le delta le plus densément peuplé du monde). Dans

les tropiques semi-arides, où une augmentation de la fréquence des sécheresses et inondations est prévue, le changement climatique affectera particulièrement les populations rurales pauvres à cause de la réduction des rendements des cultures et de l'élevage (GIEC, 2007).

3.2 LES FACTEURS QUI INFLUENT SUR LA DEMANDE EN EAU

Les facteurs qui influent sur la demande en eau sont tous de nature anthropogénique. Les populations, leur taux de croissance et l'évolution de leurs modes de consommation ont une incidence directe sur la demande en biens et services et sur l'eau nécessaire pour leur production, traitement et fourniture. L'utilisation de l'eau est traditionnellement répartie entre les secteurs agricole, industriel (dont les eaux de refroidissement évaporées) et municipal (dont les besoins domestiques). Les utilisations récréatives, la production hydroélectrique et les débits réservés pour l'environnement sont généralement considérés comme des utilisations renouvelables, sauf lorsque d'importantes évaporations d'eaux libres procèdent du stockage dans les cours d'eau. Les populations influent aussi indirectement sur les ressources en eau par l'évolution des modes d'utilisation des terres et des eaux qui a des répercussions considérables au niveau local, régional et mondial (ONU-Eau, 2009).

La pression exercée par les populations sur les ressources en eau augmente au fur et à mesure que leurs revenus augmentent. Il ne s'agit pas seulement de la demande en eau pour les besoins domestiques (les gens utilisant plus d'eau pour le bain, le nettoyage et le jardinage), mais aussi de la demande municipale (dont l'irrigation des parcs et terrains de golf, ainsi que l'approvisionnement en eau nécessaire au tourisme et aux loisirs) et de l'augmentation de la demande en produits industriels et agricoles. La croissance économique s'accompagne d'une augmentation de la consommation de produits manufacturés, d'énergie électrique, de services, etc., qui tous accroissent la demande en eau. Cette croissance n'est pas irrévocable et atteint son maximum à un certain niveau de revenu ou varie selon le niveau de conscience environnementale. Aux Etats-Unis, les prélèvements en eau globaux ont culminé au début des années 80, malgré la croissance démographique plus récente. Les prélèvements en eau par habitant diminuent régulièrement depuis la fin des années 70².

L'accroissement des revenus se traduit par une augmentation de la demande alimentaire par habitant. Au fur et à mesure que les gens diversifient leurs régimes alimentaires, ils mangent plus de viande et de produits laitiers, dont la production exige davantage d'eau qu'une alimentation basée sur les produits de base (céréales ou plantes racines). La consommation alimentaire par habitant augmente en moyenne dans la plupart des régions du monde. Il est prévu que l'approvisionnement moyen mondial en aliments passera de 2 650 kcal/personne/jour en 2006 à plus de 3 000 kcal/personne/jour en 2050. Ces chiffres par habitant comprennent les pertes de production après récolte et le gaspillage d'aliments. Ils se traduisent par la nécessité de produire annuellement un milliard de tonnes de céréales et 200 millions de tonnes de viande supplémentaires (FAO, 2006a; Bruinsma, 2009).

L'urbanisation a également un effet sur la consommation alimentaire. Dans les villes, les supermarchés, les restaurants et les aliments tout prêts (aliments préparés commercialement conçus pour faciliter la consommation) deviennent plus importants. Cela a pour conséquence l'allongement de la chaîne alimentaire, qui entraîne davantage de gaspillage de nourriture. La FAO a pris ces facteurs en considération et estimé que la production agricole mondiale devrait croître de 60 pour cent entre 2006 et 2050 pour faire face à la demande alimentaire (Bruinsma, 2009). La proportion de terres cultivables irriguées et de la part de la production irriguée devraient toutes les deux augmenter, ce qui entraînera une augmentation de la demande en eau pour l'agriculture (Bruinsma, 2009).

2 Informations issues de la présentation sur les Etats-Unis à la consultation d'experts.

D'autres nouvelles tendances orienteront la demande en eau pour l'agriculture. La production de bioéthanol a triplé entre 2000 et 2007 (OCDE/FAO, 2008), pendant que celle de biodiésel était multipliée par onze. L'impact possible de la production de biocarburant sur les ressources en eau varie selon les conditions et politiques agroclimatiques locales. Il est à son maximum lorsque la production agricole dépend de l'irrigation. Dans les zones d'agriculture pluviale il est beaucoup plus indirect et difficile à évaluer. Lorsque l'approvisionnement en eau est limité, l'augmentation de la production de biocarburant pourrait entraîner une réduction de l'attribution en eau aux autres cultures ou utilisations. Bien que les biocarburants ne représentent à l'heure actuelle que quelques points de pourcentage de l'utilisation totale d'eau au niveau mondial, leur impact – en particulier sur la qualité de l'eau par suite de l'intensification – pourrait être important à l'avenir pour certains pays tels que la Chine, l'Inde et certaines régions des Etats-Unis.

Le changement climatique aura des répercussions sur la demande en eau pour l'agriculture, ce qui modifiera la répartition mondiale de l'agriculture. Des sécheresses et inondations plus fortes et plus fréquentes mettront à mal la production locale, en particulier dans les secteurs de subsistance aux faibles latitudes et dans les principales zones d'insécurité alimentaire où l'agriculture pluviale est prédominante. Cela accentuera la demande dans les marchés mondiaux et augmentera encore la pression sur la production irriguée. L'élévation des températures, parallèlement aux bouleversements du régime hydrologique des grands fleuves, aura des répercussions considérables sur la demande en eau pour l'agriculture.

La mesure dans laquelle la demande en eau est «négociable» est déterminante pour les stratégies d'adaptation à la pénurie d'eau. L'eau nécessaire aux besoins fondamentaux tels que l'eau potable, l'assainissement et l'hygiène est effectivement non négociable mais elle ne représente qu'un faible pourcentage de la demande en eau. Dans le même ordre d'idées, le concept du droit à la nourriture est de plus en plus reconnu. La production alimentaire exige de grandes quantités d'eau qui sont déterminées par les processus biophysiques fondamentaux liés à la production alimentaire. Il y a par conséquent un volume non négociable d'eau nécessaire pour permettre la production d'aliments sains et en quantités suffisantes pour tout le monde (Steduto, Hsiao et Fereres, 2007). Malgré cela, des changements appréciables sont possibles dans la manière dont l'eau est utilisée pour produire les aliments. Par exemple, le choix du type de plantes cultivées sous irrigation ou en agriculture pluviale, le nombre et le type d'animaux à élever, les pratiques agricoles et les technologies d'irrigation avec les niveaux de productivité qui leur sont associés, les changements de la distribution spatiale de la production (impliquant des échanges) et la modification des habitudes sociales (consommation et répartition des aliments, régimes alimentaires) sont autant de facteurs qui peuvent réduire la demande globale d'eau pour l'agriculture et offrir une certaine marge de manœuvre. Ils font l'objet de ce document et sont étudiés en détail dans le chapitre 6.

4. Faire face à la pénurie d'eau: le cadre conceptuel

4.1 LES LEÇONS À TIRER DES TRAVAUX ANTÉRIEURS

Il existe dans la documentation de nombreux exemples de tentatives de conceptualisation des différentes phases de la mise en valeur et de la gestion des ressources en eau visant à faire face à une pénurie d'eau. Ces cadres accordent tous une relative prépondérance à l'un ou l'autre des aspects particuliers de l'équilibre approvisionnement-demande. Ceux qui sont décrits ci-dessous ont été élaborés pour faire face à la pénurie d'eau dans des situations où l'agriculture irriguée représente une partie importante de la demande en eau.

La plupart des cadres abordent la pénurie d'eau de manière séquentielle ou progressive. Keller, Keller et Davids (1998) et Keller (2000) distinguent trois phases dans la mise en valeur d'un bassin fluvial: l'exploitation, la conservation et le renforcement.

En général, la phase d'exploitation est dominée aux premières étapes par la dérivation directe des eaux de surface et l'utilisation des eaux souterraines peu profondes, complétées ultérieurement par la construction des infrastructures de stockage et de distribution de l'eau et par le forage de puits tubulaires profonds. Au cours de la phase de conservation, la gestion de la demande et les efforts d'amélioration de l'efficacité prennent plus d'importance. Viennent ensuite les efforts de traitement systématique et de récupération de l'eau, et d'élimination du sel. La phase de renforcement s'intéresse au transfert de l'eau à partir des bassins distants et au dessalement des eaux de mer, qui permettent d'amener l'approvisionnement annuel à des niveaux qui dépassent ceux de l'approvisionnement annuel moyen et renouvelable. Un tel programme s'applique bien à de nombreuses régions qui ont bénéficié de la révolution verte dans les années 60 et 70, en particulier dans des pays comme l'Inde et le Pakistan, mais il n'est pas nécessairement valide dans d'autres endroits et à d'autres époques.

Molden, Sakthivadivel et Keller (2001) ont proposé un enchaînement d'étapes différent – aménagement, utilisation, allocation, comme suit:

- D'abord, l'aménagement des bassins fluviaux: des barrages sont construits dans les emplacements les plus appropriés, les ressources en eau sont suffisantes pour satisfaire la demande de tous les secteurs de l'économie et la qualité des eaux et les écosystèmes ne sont perturbés que dans une moindre mesure. Cette phase est comparable à la phase d'exploitation identifiée par Keller, Keller et Davids (1998).
- Ensuite, l'utilisation ou la conservation: des manques d'eau commencent à se faire sentir et une concurrence pour l'eau se manifeste entre les différents secteurs et au sein même des secteurs. La qualité de l'eau se détériore et les écosystèmes aquatiques sont endommagés parce que les quantités d'eau, tout comme leur qualité, baissent. Les politiques sur l'eau s'intéressent à l'amélioration de la gestion et de la conservation de l'eau. Les mots clefs sont modernisation, performance et amélioration de la productivité. En même temps, la pollution de l'eau et les prélèvements dans les eaux souterraines exigent une réglementation améliorée et plus efficace.
- Enfin, la réattribution: l'eau est devenue une denrée rare et ne peut plus satisfaire la demande globale de tous les secteurs. Les politiques s'orientent vers l'optimisation économique de l'eau et l'accent est mis sur la réattribution de l'eau des utilisations à faible valeur à celles qui ont une valeur élevée. Pour cette troisième phase, Keller, Keller

et Davids (1998) préconisent le renforcement, par des transferts entre bassins ou le dessalement, plutôt que la réattribution.

Les trois étapes décrites ci-dessus – en gros la mise en valeur; la conservation; et la réattribution ou le renforcement – ne sont pas étanches et ne s'excluent pas mutuellement à quelque époque que ce soit. En raison de l'interdépendance des utilisateurs dans l'ensemble du cycle hydrologique (liens particuliers entre amont et aval, entre eaux de surface et eaux souterraines), elles peuvent ne pas être entièrement cumulables. En voici divers exemples: des projets de renforcement ont pour effet secondaire de réduire l'approvisionnement de quelques utilisateurs (devenant ainsi une réelle réattribution); des mesures de conservation garantissent effectivement l'approvisionnement d'un utilisateur mais réduisent la fiabilité de l'approvisionnement de certains autres; la mise en valeur des ressources en eau souterraines réduit l'alimentation des eaux de surface (encore une «réattribution»); etc.

Dans une perspective plus analytique, Molle (2003) propose que les mesures stratégiques de lutte contre la pénurie soient considérées dans un cadre plus global d'économie politique. Les modèles séquentiels de mise en valeur des bassins tels que ceux qui sont mentionnés ci-dessus ont tendance à se fonder sur une rationalité économique ou sur des concepts d'adaptation sociale qui peuvent être trop restrictifs. Les réactions de la société à la pénurie d'eau ne sont pas seulement régies par des considérations d'ordre économique ou par les besoins perçus à l'échelle locale mais procèdent de la répartition du pouvoir entre les acteurs, ainsi que de leurs intérêts respectifs et des stratégies qu'ils adoptent relativement aux diverses options offertes.

Molle (2003) propose de remplacer la méthode séquentielle par une approche qui reconnaisse que toutes les stratégies sont souvent mises en œuvre parallèlement lorsque la pénurie devient grave. En réalité, il pourrait s'avérer plus utile de considérer les diverses options comme un menu permettant de sélectionner la meilleure solution selon les circonstances locales. Des critères objectifs tels que les analyses coûts-avantages et coûts-efficacité peuvent aider la décision, mais celles-ci seront toujours prises dans un cadre d'économie politique. Pour compliquer encore les choses, les options sont souvent interdépendantes et se présentent sous forme de trains de mesures. L'expérience des pays participant à la consultation d'experts montre que bien qu'il y ait une progression générale de l'amélioration de l'approvisionnement à la gestion de la demande, ainsi qu'une réattribution de l'eau au fur et à mesure que la pénurie empire, de nombreux recoupements entre les mesures peuvent être observés et un grand nombre de mesures sont mise en œuvre simultanément.

4.2 OPTIONS POUR FAIRE FACE À LA PÉNURIE D'EAU PAR GRAND DOMAINE D'ACTION

Il existe une différence essentielle entre les mesures prises par l'Etat au niveau national et les réactions locales des petits groupes ou communautés. Ces deux sortes de mesures sont interdépendantes mais bien que l'accent soit souvent mis sur les politiques publiques, les ajustements effectués par les agriculteurs locaux jouent un rôle crucial dans l'orientation de la demande en eau de l'agriculture et son impact sur le cycle hydrologique. Des éléments tels que la nature de l'Etat et les rapports entre l'Etat et les citoyens, l'impact des événements extrêmes, la nature de l'économie politique et les conditions de la réforme agraire sont essentiels dans la détermination des mesures pour faire face à la pénurie d'eau (Molle, 2003). Dans un tel contexte, il est important de considérer que la pénurie d'eau est perçue différemment par les diverses catégories d'acteurs qui mettent en œuvre des stratégies d'adaptation et de gestion du problème différentes en fonction de leur pouvoir et de leurs capacités.

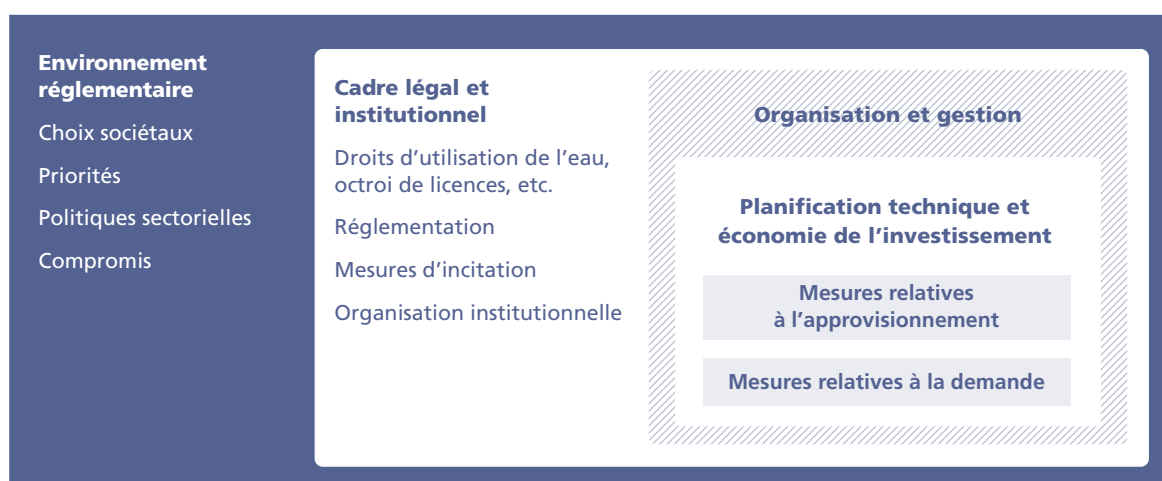
Les Etats-Unis et l'Australie illustrent bien les interactions dynamiques qui se mettent en place entre le pouvoir fédéral et le pouvoir des états au fur et à mesure que la pénurie d'eau s'intensifie. Aux Etats-Unis, la gouvernance de l'eau relève essentiellement de la responsabilité de l'Etat

mais certaines lois fédérales sont prépondérantes et la loi Endangered Species Act est devenue la référence fédérale prédominante en matière de prélèvements en eau. Elle a une influence majeure sur la manière dont les pouvoirs publics font face à la pénurie d'eau, en particulier dans les états arides de l'ouest. En Australie, la sécheresse exceptionnelle de cette dernière décennie a provoqué l'intervention du gouvernement fédéral et modifié les pouvoirs exercés par l'Autorité autonome Murray Darling Basin Authority³.

La figure 2 constitue une tentative d'illustration des différents aspects du problème et d'appréciation de l'environnement général dans lequel se prend une décision. Les options relatives à l'approvisionnement et à la demande se situent de façon générale au niveau de la planification technique et de l'économie de l'investissement mais elles sont considérablement influencées par le contexte général de gouvernance, le cadre institutionnel et l'environnement réglementaire. Ces aspects sont étudiés plus en détail au chapitre 6.

FIGURE 2

Les options pour faire face à la pénurie d'eau dans le contexte plus général de l'élaboration des politiques



Le tableau 2 présente les options offertes par grand domaine d'action: eau, agriculture et sécurité alimentaire nationale. La taxinomie fait la distinction entre deux catégories essentielles d'options: celles qui s'intéressent à *l'amélioration de l'approvisionnement* et celles qui traitent de *la gestion de la demande*. Cette distinction assez générale est maintenue dans le reste de ce rapport.

TABLEAU 2

Options pour faire face à la pénurie d'eau par grand domaine d'action

Grand domaine d'action	Amélioration de l'approvisionnement	Gestion de la demande
Eau	Dérivation des cours d'eau; barrages; mise en valeur des eaux souterraines; dessalement; lutte contre la pollution	Attribution intersectorielle; augmentation de l'efficacité globale de l'utilisation sectorielle d'eau
Agriculture	Stockage sur l'exploitation; mise en valeur des eaux souterraines; réutilisation et recyclage	Augmentation de la productivité des cultures; réduction des pertes; limitation des superficies cultivées sous irrigation; attribution intersectorielle (évolution vers une production à plus haute valeur ajoutée)
Sécurité alimentaire nationale	Importations d'aliments, stockage, efficacité de la distribution	Réduction du gaspillage dans la chaîne alimentaire; modification des régimes alimentaires

3 Information issue de la présentation sur l'Australie à la consultation d'experts.

Le tableau définit trois domaines dans lesquels l'amélioration de l'approvisionnement et la gestion de la demande peuvent s'appliquer. Il y a d'abord l'eau dans son sens le plus large, avec la mise en valeur et la gestion de la ressource au bénéfice des utilisateurs de tous les secteurs, y compris l'environnement. Ensuite il y a l'agriculture – le principal sujet de ce rapport et un grand consommateur d'eau. Enfin il y a le domaine de l'autosuffisance alimentaire et de la sécurité alimentaire nationale qui a des répercussions sur le commerce international d'un pays ainsi que sur ses habitudes de consommation et l'organisation de son industrie alimentaire.

L'amélioration de l'approvisionnement implique un accès élargi aux ressources en eau conventionnelles par la construction de structures hydrauliques visant à réguler l'approvisionnement en eau et à transporter l'eau jusqu'à l'utilisateur ultime (barrages et réservoirs; systèmes d'adduction), ainsi qu'à augmenter l'approvisionnement avec des eaux usées traitées, des eaux dessalées et des transferts entre bassins. La lutte contre la pollution devrait également être considérée comme une option de gestion de l'approvisionnement dans la mesure où elle augmente la quantité d'eau disponible pour des utilisations efficaces et pour les transferts entre bassins.

La gestion de la demande, en revanche, vise à augmenter l'efficacité économique globale de l'utilisation de l'eau, ou à réattribuer l'eau aussi bien à l'intérieur des secteurs qu'entre les secteurs. L'objectif global de la gestion de la demande est de porter au maximum les bénéfices que permet une quantité d'eau donnée mise à la disposition des utilisateurs. La production des mêmes bénéfices en utilisant moins d'eau peut également faire partie de la même démarche. En agriculture, cela peut passer par la production de cultures de plus grande valeur grâce à l'irrigation, l'augmentation de la productivité des cultures, la réduction de l'utilisation non renouvelable de l'eau par la minimisation de l'évapotranspiration ou la limitation des superficies cultivées sous irrigation. Les options de gestion de la demande sont souvent plus difficiles à mettre en œuvre, et moins populaires, que celles d'amélioration de la demande. C'est la raison pour laquelle elles sont souvent abordées en second lieu, une fois terminée la mise en œuvre des options plus faciles liées à l'approvisionnement (Molden *et al.*, 2010).

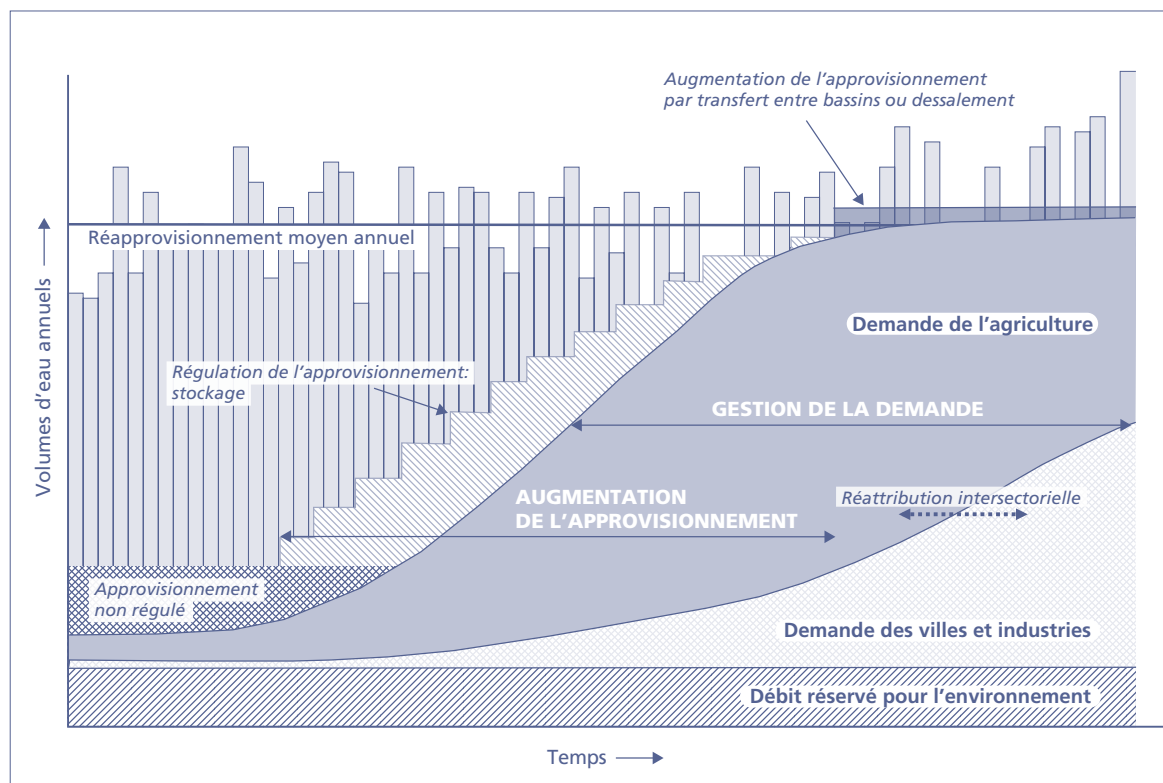
Les améliorations de l'efficacité technique de la distribution de l'eau peuvent être considérées comme des mesures liées à l'approvisionnement ou à la gestion de la demande, selon la nature et l'échelle de l'intervention et le niveau auquel se situe la responsabilité. Les principales améliorations apportées aux canaux et conduites, par exemple, peuvent être regardées comme des mesures d'amélioration de l'approvisionnement (puisqu'elles augmentent les quantités d'eau dont peuvent disposer les utilisateurs) et des interventions sur les demandes (parce qu'elles réduisent les pertes par évaporation et les fuites). Par contre, les améliorations locales ou sur les exploitations, et en particulier celles qui sont sous la responsabilité des agriculteurs, sont plus apparentées à la gestion de la demande puisqu'elles touchent à l'efficacité économique avec laquelle l'eau est utilisée.

4.3 UN MODÈLE DYNAMIQUE D'OPTIONS STRATÉGIQUES

La figure 3 illustre un mode de réaction courant à la croissance de la pénurie d'eau, qui peut être observé dans de nombreuses régions. Aux premiers stades de la pénurie d'eau, la demande en eau peut être relativement facilement satisfaite par la dérivation de l'eau des rivières ou l'augmentation du stockage par la construction de barrages et de réservoirs, ou l'installation de puits tubulaires pour pomper les eaux souterraines. C'est à un stade ultérieur que l'efficacité économique globale de l'utilisation de l'eau est abordée. En agriculture cela peut se faire par une meilleure gestion des cultures et de l'eau et la modernisation des infrastructures d'irrigation. Au fil du temps, les mesures d'amélioration de l'approvisionnement par la réutilisation plus systématique des eaux usées prennent davantage d'importance. Par ailleurs, comme la demande est de plus en plus limitée par la disponibilité de l'approvisionnement, les politiques d'attribution gagnent aussi en importance. Il est possible que dans les pays où il n'y a pas assez d'eau pour l'autosuffisance

FIGURE 3

Faire face à la pénurie d'eau: enchaînement stylisé des étapes de la demande relative en eau de différents secteurs et options pour y faire face dans le temps



agricole, il faille modifier les dispositifs de sécurité alimentaire nationale pour permettre une augmentation des importations de produits agricoles.

Eventuellement, d'autres formes plus coûteuses d'augmentation de l'approvisionnement telles que le dessalement pourraient être adoptées. Une pression de plus en plus forte s'exercera sur l'agriculture pour qu'elle augmente sa productivité par rapport à l'eau, non seulement par une utilisation de l'eau plus efficace sur le plan technique mais aussi par une évolution vers des cultures à plus haute valeur ajoutée afin d'optimiser la rentabilité économique de l'eau d'irrigation.

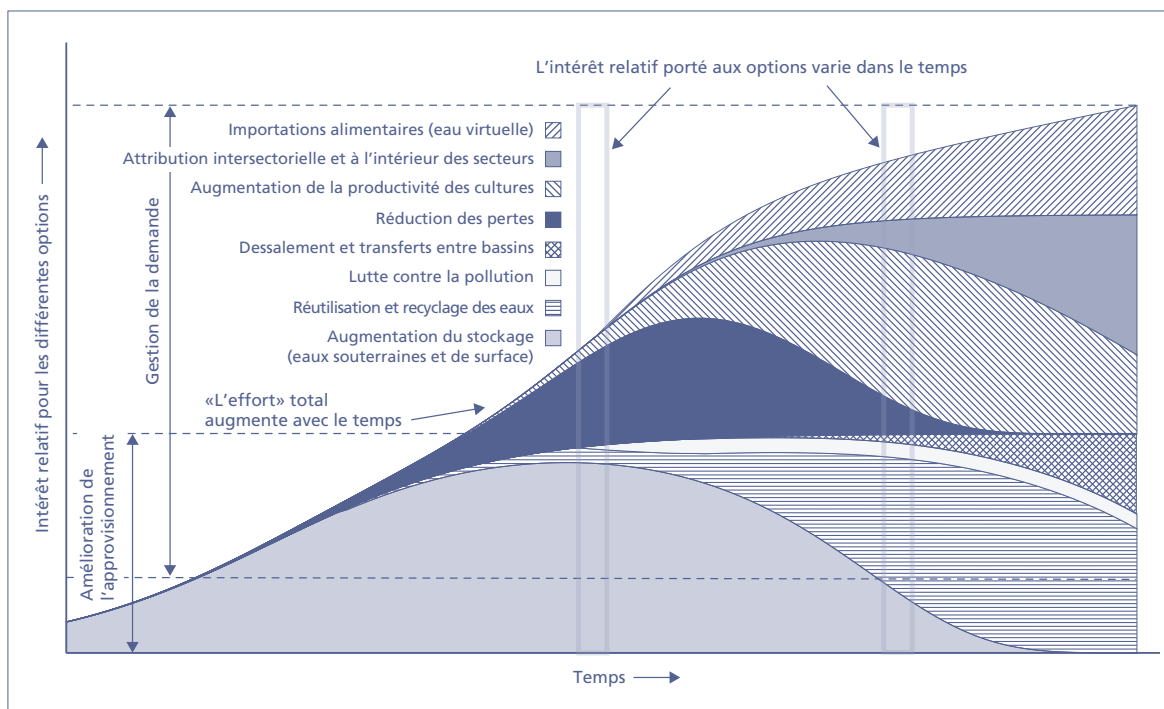
La figure 4 illustre de manière schématique la distribution relative de l'intérêt porté aux diverses options d'approvisionnement et de demande dans le temps. Il apparaît clairement que la forme des courbes et l'enchaînement des options, ainsi que l'importance relative et la pertinence des différentes options, varieront en fonction des conditions agroclimatiques, socioéconomiques et de marché qui prédominent, ainsi que des politiques et stratégies choisies. La figure n'implique pas nécessairement la représentation d'un ensemble et d'un enchaînement «optimal» ou «efficace» de mesures, ni d'un modèle à suivre dans tous les cas. Elle illustre plutôt la variété des options disponibles et la manière dont elles pourraient évoluer dans le temps.

4.4 LA RÉACTION DE L'AGRICULTURE À LA PÉNURIE D'EAU

Les agriculteurs ont en général très adaptés à l'évolution des débouchés commerciaux et de l'accès aux facteurs de production, dont l'eau (Shah, 2009). La réaction positive de l'agriculture à l'augmentation rapide de la population au cours de la seconde moitié du siècle dernier et au manque de terres et d'eaux qui s'est fait sentir progressivement en est un bon exemple: la production agricole totale du monde a doublé sur les 30 dernières années pendant que les terres cultivées ne s'étendaient que d'environ 15 pour cent. C'est sur des terres équipées pour

FIGURE 4

Représentation schématique de l'intérêt relatif porté aux différentes options permettant au secteur agricole de faire face aux niveaux croissants de pénurie d'eau dans le temps



l'irrigation que l'essentiel de cette croissance a été obtenu. Dans les régions connaissant une pénurie de terres, comme l'Asie du Sud, la croissance de la production de produits vivriers s'est presque entièrement fondée sur les augmentations des rendements et l'intensification des cultures. Par contre, en Amérique du Sud où il y a moins de pression sur les terres, 40 pour cent de la croissance de la production a découlé de l'augmentation des superficies cultivées. L'adaptation est évidente dans des régions pauvres en eau comme le Proche-Orient et l'Afrique du Nord, où l'efficacité de l'irrigation dépasse souvent de 20 pour cent celle des zones riches en eau d'Asie du Sud-Est, d'Amérique latine ou d'Afrique subsaharienne.

Dans les premiers stades de la mise en valeur des eaux, lorsque l'approvisionnement en eau peut facilement répondre à la demande, la priorité va généralement à la gestion de l'approvisionnement par la construction d'infrastructures de stockage et d'adduction afin de soutenir le développement de l'irrigation. Plus tard, lorsque l'approvisionnement en eau ne satisfait plus la demande illimitée en eau et que les gains en efficacité peu coûteux ont déjà été réalisés, les efforts se concentrent sur la gestion de la demande: l'augmentation de la productivité de l'eau dans l'agriculture et la réduction des pertes s'obtiennent par des mesures techniques et de gestion qui permettent de contrebalancer les limites de l'approvisionnement (Loeve *et al.*, 2004).

Au fur et à mesure qu'augmente la pénurie, l'association des forces qui régissent la demande en eau aboutit souvent à une baisse importante de l'eau attribuée à l'agriculture, en proportion et en valeur absolue. Cela reflète la priorité accordée à l'approvisionnement en eau pour les usages domestiques dans les zones urbaines en expansion rapide. Dans bien des cas, la préférence est également donnée aux utilisateurs industriels plutôt qu'à l'agriculture, à la fois par le biais de processus normaux d'attribution ou, en cas d'urgence, par appropriation directe. Enfin, la reconnaissance croissante de la nécessité de réserver une part de l'eau pour le fonctionnement des écosystèmes pose un problème supplémentaire à l'agriculture dans les zones pauvres en eau (CA, 2007).

Lorsqu'il faut négocier la part légitime de l'eau qui lui revient, l'agriculture peut faire valoir les multiples fonctions qu'elle remplit, qui vont bien au-delà de la production de produits vivriers et dont les bénéfices sociaux et environnementaux sont importants. L'agriculture doit néanmoins être capable de montrer qu'elle utilise productivement l'eau dont elle dispose. Pour ce faire, des investissements considérables seront nécessaires, auxquels les agriculteurs ne consentiront que s'ils sont profitables.

L'une des conséquences éventuelles de la concurrence accrue pour des ressources en eau limitées, qui relève de la sécurité alimentaire nationale, se manifeste lorsque l'agriculture ne peut plus satisfaire la demande nationale de produits agricoles et qu'il faut répondre à la demande supplémentaire (dont des aliments) par des importations. L'importation de produits agricoles, dans un contexte de gestion de l'eau, est souvent évoquée comme une importation d'«eau virtuelle». Selon Molle (2003), l'importation d'eau virtuelle peut être considérée comme l'action ultime en matière de gestion de l'eau puisqu'à la quantité d'eau disponible s'ajoute la quantité concrétisée par les importations, qui sinon serait prélevée par l'agriculture. D'un autre point de vue, au niveau macro-économique, l'importation d'eau virtuelle représente un gain d'efficacité puisque l'eau qui serait utilisée par l'agriculture est libérée pour des utilisations plus productives. Elle peut donc être considérée comme une mesure de gestion de la demande.

La Tunisie illustre une progression qui a commencé avec des mesures d'amélioration de l'approvisionnement: grands barrages, petits barrages collinaires, mélanges d'eaux douces et d'eaux usées, transferts d'eau de l'intérieur du pays vers les zones côtières et dessalement d'eaux saumâtres pour les besoins domestiques. Ces mesures ont été complétées ces quinze dernières années par des programmes de gestion de la demande: modernisation des systèmes d'irrigation, soutenue par des subventions, réattribution des terres et des eaux à des «cultures stratégiques», suspension de la production de betteraves à sucre et soutien aux petits agriculteurs pour qu'ils intercalent plantations d'arbres et cultures. En Espagne, les mesures actuelles mélangent des programmes d'amélioration de l'approvisionnement portant sur la réutilisation des eaux usées, le dessalement, le stockage au niveau de l'exploitation agricole et dans les districts, ainsi que des interventions de gestion de la demande. Ces dernières visent à moderniser l'irrigation pour améliorer le niveau de service et à réattribuer l'eau pour des cultures à plus haute valeur ajoutée. La stratégie de l'Afrique du Sud pour faire face à la pénurie d'eau dans l'agriculture comprend le soutien aux associations d'usagers de l'eau, les réformes du système de licences, l'encouragement à l'utilisation efficace de l'eau, la lutte contre la végétation exotique envahissante (ex.: les eucalyptus qui poussent le long des berges des cours d'eau) et la tarification de l'eau⁴.

4 Information issues de la présentation de l'Afrique du Sud à la consultation d'experts.

5. La comptabilité de l'eau: mettre en place un budget adapté

Toute stratégie visant à s'attaquer au défi que représente la pénurie d'eau doit se fonder sur une compréhension approfondie des éléments intervenant dans le bilan hydrique, dont l'approvisionnement et la demande avec les aspects spatiaux et temporels qui lui sont associés. La comptabilité de l'eau se rapporte à l'étude systématique du cycle hydrologique et à l'état actuel de l'approvisionnement et de la demande en eau, ainsi qu'aux tendances qu'ils indiquent pour l'avenir. Au delà d'un simple décompte des volumes et débits, elle s'intéresse aussi aux questions liées à l'accessibilité, à l'incertitude et à la gouvernance.

5.1 LA TRANSPARENCE DE LA COMPTABILITÉ DE L'EAU

Le principal objectif de la comptabilité de l'eau est d'aider les sociétés à comprendre leur richesse en eau: combien d'eau il y a, où elle se trouve, comment elle est utilisée et si les modes actuels d'utilisation sont viables pour l'avenir. Au sens courant, la comptabilité implique un compte rendu de la gérance, dans ce cas l'utilisation par la société de ses ressources en eau. La comptabilité de l'eau commence ainsi avec des opérations de mesure mais elle se retrouve inévitablement entraînée vers des questions d'utilisation et de gouvernance de l'eau.

Aucune stratégie d'adaptation à la pénurie d'eau ne sera efficace si elle ne se fonde pas sur une compréhension claire du cycle hydrologique et une comptabilité saine de l'eau. La comptabilité de l'eau est de plus en plus considérée comme un élément essentiel des programmes de *gestion intégrée des ressources en eau*. Elle peut représenter une intervention ponctuelle visant à répondre à un objectif particulier ou faire partie d'un programme de suivi/surveillance et d'évaluation à long terme cherchant à améliorer les services d'alimentation en eau et à garantir leur viabilité. Les informations que la comptabilité de l'eau permet de recueillir sont en général très variées et abordent tout un éventail de sujets sociétaux, techniques et administratifs.

La comptabilité de l'eau est un élément crucial des politiques et programmes visant à faire face à la pénurie d'eau, parce que celle-ci est un concept relatif (c.-à-d. un excès de la demande d'eau par rapport aux ressources en eau disponibles dans un lieu particulier). Par conséquent, la description, la quantification et/ou la cartographie de la pénurie d'eau passe par une bonne compréhension des différences actuelles et prévues entre l'approvisionnement et la demande, et de la manière dont ces différences touchent les utilisateurs. C'est exactement l'objectif de la plupart des procédures de comptabilité de l'eau.

L'information est un élément essentiel des processus de médiation et de la dévolution du pouvoir au sein des relations sociétales. Sans informations exactes, la société n'a aucun fondement sur lequel baser la remise en cause des erreurs factuelles ou des partis pris discriminatoires. Il est pratiquement impossible de mener une planification et des négociations efficaces si les acteurs travaillent avec leurs propres bases d'informations divergentes. Ce genre de situation est pourtant très courant. Par exemple, au niveau national, il est rare que les services gouvernementaux chargés de secteurs différents partagent une base d'information commune. Au niveau local, une compréhension inexacte ou incomplète des volumes et de la répartition de l'utilisation de l'eau entraîne souvent une sous-estimation de la pression exercée sur les ressources et une fausse idée de la réduction des disponibilités en eau. Dans le même ordre d'idées, les utilisateurs au niveau local peuvent avoir une perception très différente du niveau des services dont ils bénéficient en

comparaison du point de vue des organisations responsables de ces services. La comptabilité de l'eau sert donc essentiellement à produire une base d'information commune qui soit acceptable pour toutes les parties impliquées dans un processus de planification ou de décision.

5.2 LES PRINCIPAUX DÉFIS QUE LA COMPTABILITÉ DE L'EAU DOIT RELEVÉ

La nature dynamique des processus physiques et des réactions sociétales liés à la gestion à long terme des ressources en eau, ainsi que leur grande variabilité dans l'espace, posent un défi de taille à ceux qui s'intéressent à ces questions. Il y a souvent un niveau élevé d'incertitude parce que la disponibilité des ressources, l'état des infrastructures et les demandes des utilisateurs changent continuellement. Les populations locales réagissent souvent à des forces motrices qui vont bien au delà des possibilités de contrôle des services gouvernementaux ou des professionnels de la gestion de l'eau.

L'utilisation accrue, ces dernières décennies, des eaux souterraines pour l'irrigation pose aussi problème pour la comptabilité de l'eau, parce que les réserves de cette ressource sont difficiles à mesurer avec précision, tout comme le rythme auquel elle s'appauvrit et se réalimente. Cela est particulièrement vrai pour l'utilisation conjointe des eaux, dans laquelle la réalimentation dépend de l'irrigation, mais moins pour les systèmes aquifères d'eaux fossiles non alimentés.

Par suite, les plans de gestion de l'eau doivent être à la fois axés sur les problèmes (c.-à-d. correspondre aux défis particuliers d'un lieu donné) et de nature dynamique. Dans le même ordre d'idées, le niveau de détail des procédures de comptabilité de l'eau doit être ajusté au fur et à mesure de l'évolution des conditions et des enjeux.

La gestion adaptative repose sur l'acceptation que dans des situations complexes il n'y a jamais assez d'informations pour fonder une décision «optimale». Elle privilégie par conséquent une planification souple qui s'appuie sur de solides systèmes de surveillance et de gestion de l'information qui permettent de constamment adapter et mettre à jour les plans et activités. Un tel niveau de réactivité n'est possible que si les bases d'information sont maintenues à jour, grâce à des systèmes de surveillance et d'évaluation qui offrent aux décideurs, de façon permanente, des informations fiables sur lesquelles baser leurs décisions. Ce principe vaut quelle que soit l'échelle: il s'applique aux décideurs au niveau des politiques ou de la gestion, mais il est aussi très intéressant pour les utilisateurs ultimes et en particulier les agriculteurs.

5.3 LES DIFFÉRENTES SORTES DE COMPTABILITÉ DE L'EAU

La comptabilité de l'eau suppose un examen exhaustif des ressources en eau et des systèmes d'approvisionnement, et que ces éléments soient rapportés à la demande de la société et à l'utilisation réelle. Il faudrait également prêter une attention particulière aux besoins spécifiques des écosystèmes aquatiques et à l'impact potentiel des forces indépendantes des systèmes de gouvernance de l'eau (ex.: le changement climatique ou le prix de l'énergie).

La nature et la conception d'une procédure de comptabilité de l'eau devrait se baser sur le contexte et les besoins auxquels il faut répondre. L'expérience a montré que la comptabilité de l'eau doit souvent être effectuée en plusieurs étapes de complexité croissante, une première évaluation «au jugé» guidant les cycles subséquents de collecte d'informations plus détaillées et poussées, au fur et à mesure des besoins. Le choix du type de comptabilité de l'eau qui convient dépend de l'échelle géographique et de l'horizon temporel propres aux questions concernées. Dans certains cas un bilan hydrique national est préconisé; ailleurs il est préférable de se concentrer sur le bassin fluvial (comme dans les conditions de la Directive cadre sur l'eau pour les plans de gestion des bassins

fluviaux de l'UE). Il faut aussi distinguer les procédures ponctuelles de comptabilité de l'eau qui sont conçues pour appuyer un projet ou programme et celles qui font partie d'un programme de gestion adaptative à long terme visant à soutenir des niveaux acceptables et durables de gestion des eaux. Diverses méthodes de comptabilité de l'eau sont étudiées ci-dessous.

La comptabilité macro-économique de l'eau: le Système de comptabilité environnementale et économique pour l'eau

Le Système de comptabilité environnementale et économique pour l'eau (SCEE-Eau)⁵ est un système exhaustif de comptabilité de l'eau qui a été élaboré dans le but de standardiser les concepts et méthodes de comptabilité de l'eau (DSNU, 2012). Le SCEE-Eau propose un cadre conceptuel pour l'organisation de l'information économique et hydrologique, qui permet une analyse cohérente de la contribution de l'eau à l'économie et de l'impact de l'économie sur les ressources en eau. Le SCEE-Eau perfectionne le programme antérieur et plus vaste des Nations Unies visant à élaborer des comptabilités nationales pour l'environnement («vertes») qui tentent de mesurer l'impact économique des débits réservés, ainsi que la réalimentation ou l'épuisement des réserves (ONU, 2003). Ces comptabilités ont deux objectifs: offrir aux décideurs des informations concernant l'impact des politiques et schémas de croissance économiques actuels sur l'environnement (et leur viabilité); et évaluer l'impact qu'ont sur l'économie les politiques choisies pour des raisons environnementales. L'un des objectifs sous-jacents est de déterminer dans quelle mesure la «croissance» économique, telle qu'elle est mesurée de manière conventionnelle, est réellement consommatrice de capital du fait de l'épuisement des ressources (Banque mondiale, 2006).

Le SCEE-Eau vise à permettre la mise en place d'une méthode standardisée tout en gardant une certaine souplesse. Cela exige toutefois beaucoup d'informations, dont la plupart ne sont pas facilement accessibles ni collectées régulièrement par les services ou agences gouvernementaux. La mise en place du SCEE-Eau pour appuyer la prise de décisions pratiques, qui sera longue et coûteuse, à la fois en matière de coûts de démarrage et de fonctionnement, peut se justifier dans certaines situations, mais des méthodes plus adaptables et rentables seront plus appropriées dans d'autres cas.

La méthode est bien adaptée à l'analyse des interactions entre l'économie et l'environnement lorsque l'épuisement des réserves d'une ressource donnée doit être évalué en fonction des avantages économiques. En ce qui concerne l'eau, les débits sont plus importants que les réserves, puisque la ressource se renouvelle annuellement avec le cycle hydrologique. Par opposition aux ressources minérales ou à la biodiversité, l'épuisement irréversible des réserves reste marginal dans le cycle mondial de l'eau⁶. Cela n'est peut-être pas suffisamment mis en évidence dans la méthode du SCEE-Eau.

Comblant l'écart entre l'approvisionnement et la demande: la méthode de la courbe du coût de l'eau

Le concept de la courbe du coût de l'eau a été élaboré pour aider les pays confrontés à une future pénurie d'eau à évaluer les futurs écarts entre l'approvisionnement et la demande en eau et à analyser les solutions possibles (2030 Water Resources Group, 2009). Cet outil réunit systématiquement toutes les options réalisables pour économiser ou fournir de l'eau et les présente, pondérées par les volumes d'eau concernés, en fonction de leur coût unitaire. Les options combinées dans un

5 Voir: <http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/SEEAWDraftManual.pdf>

6 L'application la plus pertinente pour l'eau de la méthode de comptabilisation économique-environnementale consisterait à évaluer les implications de l'épuisement des aquifères d'eaux souterraines fossiles ou l'empiètement sur les débits réservés.

unique graphique dessinent une courbe ascendante d'approvisionnement, un concept courant en économie élémentaire. La courbe d'approvisionnement en eau a été appliquée à l'Inde, à la Chine, à l'Afrique du Sud et à la région de Sao Paulo au Brésil afin de faciliter le classement par ordre de priorité des mesures visant à atténuer leurs problèmes respectifs de pénurie d'eau qui s'annoncent de manière imminente.

L'un des attraits de la courbe du coût de l'eau est qu'elle permet de comparer directement les options d'amélioration de l'approvisionnement et celles de gestion de la demande. Les mesures de gestion de la demande sont souvent plus difficiles et moins gratifiantes sur le plan politique que les nouvelles infrastructures. Quant à la réattribution de l'eau, elle est politiquement risquée. Comme la section 3 l'expliquait déjà, le financement public de l'amélioration de l'approvisionnement constitue souvent l'option préférée des décideurs, même lorsque c'est une solution de second choix sur le plan économique et hydrologique. Il n'est pas rare que des options d'amélioration de l'approvisionnement soient choisies même lorsque toutes les ressources disponibles ont été mises en valeur et attribuées. Cela entraîne inévitablement des conflits entre les utilisateurs et des dégradations supplémentaires de l'environnement ou, dans le meilleur des cas, des restrictions imposées à tous les utilisateurs.

Cette méthode a le mérite de comparer les options en termes d'économie, mais elle présente d'importants inconvénients. Une grande partie des mesures proposées sont interdépendantes et une simple suite d'options indépendantes fondées sur la seule logique du coût unitaire n'est souvent pas réalisable pour des raisons techniques et institutionnelles. En outre, les économies en eau découlant de diverses options peuvent rarement s'additionner et le total des gains procédant d'un ensemble d'options sera souvent inférieur à la somme des gains produits séparément par ces options. L'impact potentiel des options d'économie d'eau sur les eaux disponibles en aval qui répondent à d'autres utilisations est encore plus important.

Les créateurs de la courbe du coût de l'eau déclarent explicitement que la méthode s'intéresse exclusivement aux aspects de planification technique et d'économie des investissements de la gestion de l'eau et laisse de côté les questions relatives à l'économie politique, aux institutions, à l'organisation et à la gouvernance. Ce sont pourtant souvent les domaines où se définissent les conditions permettant d'appliquer avec succès les options techniques et les investissements.

Il importe également que les mesures soient mises en vigueur par les différentes parties: les utilisateurs privés, les compagnies et les pouvoirs publics, chacun aux prises avec ses propres contraintes et mesures d'incitation. Tous ces facteurs indiquent que la courbe du coût de l'eau ne peut pas être employée sans discrimination comme outil de décision pour faire face aux pénuries d'eau. Une série de problèmes posés à l'adoption des mesures a été définie (2030 Water Resources Group, 2009): ils sont de nature financière, politique, structurelle, organisationnelle et sociale et pourraient constituer un obstacle à l'adoption des options techniques proposées. Ils représentent le coût caché de ces options et leur impact sur le classement de celles-ci sur la courbe de coût pourrait être considérable.

La méthodologie basée sur la courbe du coût de l'eau a toutefois différents avantages. C'est un critère utile à utiliser, parmi d'autres, dans les négociations de plans pour faire face à la pénurie d'eau. L'énumération systématique de toutes les options possibles, de manière transparente, et leur comparaison en fonction de leur efficacité par rapport à leur coût constituent une plateforme utile pour la négociation des stratégies et programmes d'adaptation aux pénuries d'eau. Nous proposons dans ce rapport d'utiliser la courbe de coûts liés aux équations de production et approvisionnement alimentaire au lieu de se référer au déficit en eau lui-même. Cette approche permet d'éviter un certain nombre des problèmes mentionnés ci-dessus tout en gardant les principaux éléments du bilan hydrique national.

Suivi/surveillance participatifs des eaux souterraines

Les agriculteurs qui sont confrontés à une pénurie croissante d'eaux d'irrigation ont dans certaines régions pris des mesures pour surveiller leurs ressources en eau. Cela représente une première étape vers une gestion collective. Dans l'Andhra Pradesh, où les agriculteurs sont tributaires des eaux souterraines provenant d'un ensemble d'aquifères relativement peu profonds et discontinus, l'épuisement pendant les années de sécheresse a suscité des inquiétudes sur l'accès à long terme aux eaux souterraines. Un programme de surveillance participative des eaux souterraines a été mis en vigueur à l'échelle de l'état pour gérer d'année en année le risque qui menace la production (Encadré 1).

ENCADRÉ 1

Gestion participative et collective des eaux souterraines dans l'Andhra Pradesh

Le projet Andhra Pradesh Farmer Managed Groundwater Systems (APFAMGS) a reçu le soutien du Gouvernement des Pays-Bas et de la FAO de 2006 à 2010 afin de faire face à la sécheresse généralisée et à l'émigration qui ont frappé tout l'état. Le projet avait pour objectif d'améliorer la gestion des eaux souterraines en confiant aux agriculteurs la responsabilité de surveiller et de gérer les ressources en eau. Des comités de gestion des eaux souterraines mis en place pour chaque aquifère ou unité hydrologique se sont rassemblés pour estimer le total des ressources en eaux souterraines disponibles et déterminer les systèmes de culture convenant à ces niveaux de ressources. Les comités ont alors diffusé l'information à l'ensemble de la communauté agricole et agi comme groupes de pression pour encourager les projets appropriés d'économie et de collecte d'eau. Ils ont également favorisé l'agriculture organique à faible investissement et aidé à l'élaboration de règles permettant de garantir la viabilité interannuelle de ressources en eau limitées.

Quelque 6 500 agriculteurs originaires de 643 communautés ont été formés pour recueillir des données fondamentales pour la compréhension des aquifères locaux. Un agriculteur enregistre les précipitations quotidiennes à chacune des 191 stations pluviométriques. Des agriculteurs effectuent quotidiennement et tous les quinze jours des mesures du niveau des eaux souterraines dans plus de 2 000 puits d'observation. Dans l'ensemble, plus de 4 500 agriculteurs, hommes et femmes, recueillent bénévolement des données dans quelque 630 communautés. Les données sont consignées dans des registres conservés dans les bureaux des comités de gestion des eaux souterraines et sont aussi exposées sur les panneaux d'affichage des villages. Au niveau des aquifères, les membres des unités hydrologiques sont formés pour utiliser ces données pour l'estimation de la recharge des aquifères par les eaux souterraines à la fin des pluies de mousson estivales (sud-ouest). À cause de variations importantes dans l'hydrogéologie locale, les calculs sont spécifiques à chaque aquifère et suivent la méthodologie standard mise au point et utilisée par l'office des eaux indien (Central Ground Water Board). En termes de prélèvements en eau cumulés, 42 pour cent des unités hydrologiques ont régulièrement diminué la sécheresse de la saison rabi (sèche) pendant les trois années de fonctionnement du projet, tandis que 51 pour cent l'ont diminuée de manière intermittente et que seulement 7 pour cent ont observé une augmentation de la sécheresse des sols pendant cette période. Ces résultats sont sans précédent sur le plan des réductions réellement réalisées dans les prélèvements en eau et sur celui de la portée géographique de cette action qui implique des douzaines d'aquifères et des centaines de communautés et touche environ un million d'agriculteurs. Bien que ces résultats soient en cours d'analyse par le biais d'une évaluation *ex post*, le projet APFAMGS peut être cité comme un exemple de succès à grande échelle dans la gestion des eaux souterraines par les communautés.

Site web du projet: <http://www.fao.org/nr/water/apfarms/index.htm>

L'échange des droits d'utilisation de l'eau: la comptabilité de l'eau en Australie

Les eaux disponibles sont une question essentielle pour l'Australie, en particulier parce que les précipitations varient beaucoup selon les saisons, les années et dans l'ensemble du continent. Au fur et à mesure que la concurrence pour l'eau augmente, l'échange de droits d'utilisation de

L'eau s'accroît aussi entre les secteurs et entre les régions. En Australie, des systèmes sont déjà en place pour comptabiliser le volume et la valeur des eaux échangées mais le développement ad hoc et erratique de ces systèmes peut entraîner des interprétations divergentes des données. Par conséquent, les rapports appelés General Purpose Water Accounting Reports (GPWAR) sont préparés pour aider les utilisateurs à prendre des décisions éclairées concernant l'attribution des ressources et à évaluer les décisions prises en la matière. Les GPWAR sont préparés par les gestionnaires des ressources en eau et répondent aux besoins généraux d'information des utilisateurs de l'eau, investisseurs dans le marché de l'eau, négociants et courtiers, organisations environnementales, vérificateurs, financiers, gouvernements locaux, chercheurs, planificateurs et responsables de la formulation des politiques. Ils permettent d'accéder à des informations fiables et de qualité sur la manière dont les ressources en eau sont gérées, partagées et utilisées, y compris l'information sur les droits d'utilisation de l'eau, les revendications en matière d'eau et les obligations par rapport à l'utilisation de l'eau. Ils sont donc conçus pour améliorer la confiance des utilisateurs dans les décisions d'investissement qu'ils prennent en matière d'eau (Water Accounting Standards Board, 2009).

La comptabilité de l'eau fondée sur la télédétection

L'utilisation de la télédétection pour la comptabilité de l'eau présente l'avantage d'être applicable sans nécessiter d'opérations soutenues de contrôle sur le terrain et de collecte des données. La méthode élaborée par Bastiaanssen (2009) s'intéresse à la consommation en eau de quatre différents types d'utilisation des sols: les zones protégées, les pâturages et l'agriculture pluviale et irriguée. Elle fait la distinction entre les parts efficaces et non efficaces de l'évaporation, de la transpiration et de l'interception, exprimées en productivité par unité de sols et en productivité par unité d'eau consommée.

Cette méthode se basant sur des informations de télédétection, elle présente l'avantage qu'une étude peut être mise en œuvre en peu de temps et que la source des informations est neutre et ne dépend pas de données de terrain qui peuvent avoir déjà été collectées ou non. Parce qu'elle est axée sur la consommation en eau de divers types d'utilisation des sols, elle se prête moins à l'observation des secteurs d'utilisation de l'eau produisant des retours d'écoulement importants mais qui ne sont pas liés à une zone particulière, comme l'industrie et le secteur domestique.

La comptabilité de l'eau par produit: le concept de l'empreinte sur l'eau

La comptabilité de l'eau par produit consiste à évaluer le volume d'eau nécessaire pour produire une unité d'un produit donné (ou service). C'est par conséquent un élément important de l'évaluation de la demande en eau. Son corollaire, le concept de *l'empreinte sur l'eau*, a pour objectif de mesurer l'impact de produits ou d'entreprises spécifiques sur les ressources en eau. Cette technique a été utilisée pour parvenir à des conclusions sur les politiques à suivre dans les régions aréiques quant au bien fondé de la localisation de certaines productions dans une zone plutôt qu'une autre; d'une production par rapport à des importations; des avantages d'une spécialisation dans certains produits plutôt que d'autres; etc. La mesure de l'empreinte est née du concept de l'eau virtuelle – la quantité d'eau que contiennent les biens et services échangés.

Un nombre croissant d'études (ex.: Chapagain et Hoekstra, 2004; WWF/SAB Miller, 2009) sont censées mesurer l'empreinte sur l'eau de différents pays et de produits spécifiques. La plupart des études indiquent par exemple l'empreinte sur l'eau élevée de la viande, ce qui implique un accroissement de la pression exercée sur les ressources en eau des pays producteurs et exportateurs de viande; en effet, la prospérité grandissante amène les populations à réorienter leurs régimes vers une alimentation contenant plus de viande et de produits laitiers.

D'autres études ont été consacrées à l'empreinte sur l'eau des céréales, du coton, de la bière et d'autres produits. La mesure de l'empreinte sur l'eau a le mérite de confronter producteurs et consommateurs aux répercussions possibles de leur comportement sur l'eau, et par conséquent de définir les risques pour l'eau.

Bien qu'il apporte un éclairage intéressant sur l'impact des modes de consommation sur l'eau, le concept de l'empreinte sur l'eau souffre encore d'un ensemble de difficultés méthodologiques, dont la différenciation entre utilisation renouvelable et non renouvelable; l'origine de l'eau (pluie ou eaux douces des cours d'eau et aquifères); et les problèmes de détermination et de comptabilisation des répercussions de la production en amont et en aval (achat aux fournisseurs et autres intrants, transport et utilisation par des consommateurs extérieurs à l'exploitation agricole, à la mine ou à l'usine).

Une application importante de la technique de comptabilisation de l'eau est qu'elle permet de mesurer le volume d'eau utilisé par des quantités précises de produits (productivité de l'eau). En agriculture, les rendements réels des cultures (kg/ha) dépendent de l'eau disponible mais aussi de toute une série de facteurs dont certains sont liés au sol et au climat et d'autres à la gestion et aux pratiques agricoles. La gamme des rendements que peut produire un volume donné d'eau utilisée est très vaste. Les rendements faibles se traduisent par conséquent par une faible productivité en eau, tandis que les bonnes pratiques agricoles associées à un approvisionnement en eau suffisant peuvent facilement multiplier la productivité de l'eau par un facteur variant de deux à quatre.

La comptabilité de l'eau pour les entreprises

Il existe, en dehors de la mesure de l'empreinte sur l'eau, plusieurs autres outils permettant d'évaluer les risques encourus par des entreprises spécifiques pour ce qui est des pénuries d'eau et des autres risques liés à l'eau. Ils permettent en même temps d'estimer l'impact vraisemblable de leur production sur l'équilibre local approvisionnement–demande en eau (et partant le *risque pour la réputation* des entreprises).

Une évaluation de cycle de vie (ECV) mesure «la viabilité environnementale des produits et services à travers tous les composants de la chaîne de valeur.» L'ECV a été intégrée à la législation d'un certain nombre de pays et à des directives internationales, comme par exemple dans la définition des normes ISO. Elle mesure l'utilisation des ressources et la pollution qui peuvent être attribuées à un produit particulier à tous les stades de sa production et de sa durée d'utilisation (y compris son éventuelle élimination). Il y a eu un très grand nombre d'études des denrées alimentaires et autres produits agricoles. Bien que l'eau ne soit que l'un des impacts environnementaux pris en considération dans la plupart des études d'ECV, il n'y a pas de raison que des ECV portant exclusivement sur l'eau ne puissent pas être effectuées.

Il existe quelques problèmes méthodologiques à surmonter dans les ECV: la distinction entre utilisation renouvelable et non renouvelable, le repérage de l'emplacement géographique et de la nature de la source hydrique, et ce qui est renouvelable et ce qui ne l'est pas. Il est aussi problématique de suivre l'impact du produit sur toute sa durée de vie et d'évaluer l'impact de son élimination en tant que déchet.

L'outil *Global Water Tool* du Conseil mondial des entreprises pour le développement durable permet aux entreprises de mieux comprendre l'impact de leurs opérations sur les bassins locaux et leur exposition possible au risque de pénurie d'eau ou au risque de réputation par rapport aux communautés locales, à leurs propres actionnaires et aux consommateurs. Cet outil associe les données disponibles sur les bassins et pays (y compris des cartes et images de Google Earth) à des indicateurs calculés pour des sites et régions spécifiques.

L'outil *Water Sustainability Tool* de l'initiative GEMI (Global Environmental Management Initiative) est un autre outil en ligne destiné à aider les entreprises et autres organisations à mettre en place une stratégie sur l'eau et comprendre les questions de gestion durable de l'eau en rapport à leurs activités.

5.4 De la comptabilité de l'eau au diagnostic de la situation hydrique

Les stratégies d'adaptation à la pénurie d'eau exigent, outre une compréhension claire du cycle hydrologique – y compris l'approvisionnement, la demande, le recyclage et la qualité de l'eau – une bonne compréhension des aspects institutionnels, sociaux, environnementaux et financiers de la gestion de l'eau dans un bassin. L'expression comptabilité de l'eau se rapporte à une étude systématique de l'état actuel et des tendances futures de l'approvisionnement et de la demande en eau dans un espace donné, tandis que le diagnostic de la situation hydrique replace cette comptabilité dans le cadre plus vaste des institutions, de la finance et de l'économie politique globale (tableau 3).

Il existe un certain nombre de facteurs provoquant la pénurie d'eau qui interagissent les uns avec les autres mais peuvent avoir des origines indépendantes. Une étude systématique des ressources, des infrastructures, de la demande et de l'accès, associée à une bonne compréhension de la gouvernance, de la finance et du contexte politique général, est par conséquent nécessaire pour effectuer un diagnostic des problèmes et élaborer des options pour les résoudre. Ce processus est valide à l'échelle d'un système d'irrigation villageois, où les problèmes peuvent être infrastructurels (ex.: panne de pompe), sociétaux (ex.: exclusion sociale interdisant l'utilisation de certains points d'eau) ou liés à la ressource (ex.: niveaux d'eau qui baissent), ainsi qu'à d'autres niveaux: bassin de captage local, district, pays ou vaste bassin hydrographique transfrontalier.

TABLEAU 3

De la comptabilité de l'eau au diagnostic de la situation hydrique

Cartographie de l'approvisionnement et de la demande	Cartographie de l'organisation et de la gestion	Cartographie des aspects socio-économiques et financiers	Cartographie de la gouvernance
Eaux de surface: volumes, répartition	Opérations d'infrastructure	Population rurale/urbaine: niveaux de revenus, de santé, d'éducation, utilisation de l'eau	Politiques sur l'eau, politiques agricoles, politiques de sécurité alimentaire, politiques environnementales
Eaux souterraines: caractéristiques des aquifères	Pratiques agricoles, productivité, écarts de productivité	Typologies des usagers de l'eau en agriculture	Institutions: mandats, interactions, efficacité, niveau (national, bassin fluvial, local)
Infrastructure: capacité de régulation	Efficacité technique de l'utilisation de l'eau, pertes en cours de transport	Genre et minorités: droits, accès à l'eau, utilisation	Lois et réglementations, application.
Demande: irrigation, villes, industries, environnement		Redevances pour l'eau, mesures d'incitation, programmes de développement (gestion des bassins de captage, etc.)	
Qualité de l'eau, traitement de l'eau			
Retour d'écoulement, recyclage			

6. Options en matière de politiques et de gestion

Les premières étapes de la gestion de l'eau sont généralement axées sur l'amélioration de l'approvisionnement qui consiste à développer des technologies et des infrastructures pour répondre à l'accroissement de la demande. La conception de l'amélioration de l'approvisionnement a souvent considéré la demande simplement du point de vue des besoins à satisfaire. A notre époque qui voit des régions pauvres en eau s'engager dans des programmes de gestion de la demande, il devient évident que la demande, qui est fonction des besoins, comportements et valeurs humains et de la manière dont les sociétés fonctionnent et s'organisent, représente un enjeu beaucoup plus complexe que l'approvisionnement (Brooks, Rached et Saade, 1997).

Les différents rôles, attitudes et stratégies des diverses parties prenantes impliquées dans l'élaboration des politiques sur l'eau et la gestion de l'eau doivent être clairement compris. Le tableau 4 montre les objectifs des principaux groupes de décideurs à différents niveaux, ainsi que les stratégies dont ils disposent pour faire face à la pénurie d'eau. Même avec le but commun de faire face à une pénurie d'eau croissante, les objectifs de différents groupes particuliers peuvent être décalés voire conflictuels. Afin d'éviter ce danger, les politiques des différents secteurs doivent être harmonisées (en particulier entre l'agriculture, les ressources en eau et l'environnement) et les mesures d'incitation privées qui influencent les agriculteurs devraient s'aligner sur l'objectif public primordial de l'optimisation de l'utilisation de l'eau. Cela vaut aussi pour les différentes parties à tous les niveaux de la gestion de l'eau.

La présente section évalue les options dont disposent les décideurs pour élaborer des stratégies permettant de faire face aux pénuries d'eau. Elle établit une distinction entre les différentes options du domaine de l'eau, celles qui intéressent directement l'agriculture et celles qui sont liées aux stratégies nationales de sécurité alimentaire. Il est reconnu par cette distinction que les institutions qui traitent de la gestion des ressources en eau et celles qui s'occupent d'agriculture et d'approvisionnement alimentaire ont des objectifs différents et des mandats propres à chaque secteur. Le tableau 5 présente un résumé des options possibles, qui sont étudiées plus en détail dans cette section.

6.1 OPTIONS DANS LE DOMAINE DE L'EAU (TOUS SECTEURS)

Cette section s'intéresse aux options relevant de l'amélioration de l'approvisionnement et de la gestion de la demande. Les options étudiées pour le premier aspect sont l'augmentation du stockage, la mise en valeur des eaux souterraines, le recyclage et la réutilisation, la lutte contre la pollution et le dessalement. Pour ce qui est de la gestion de la demande, les options sont la réattribution et l'amélioration de l'efficacité d'utilisation.

Toutes les mesures d'adaptation ne se répartissent pas facilement entre ces deux catégories. Par exemple, les améliorations apportées à la distribution de l'eau pourraient être envisagées comme des mesures d'amélioration de l'approvisionnement ou de gestion de la demande selon le moment où elles interviennent dans le continuum de la source à l'utilisateur. Dans le même ordre d'idées, le rachat et la restriction des droits historiques d'utilisation de l'eau, comme ce qui se produit maintenant en Australie et ce qui s'est passé en Afrique du Sud avec la loi nationale sur l'eau de 1998, pourraient être considérés comme une mesure d'amélioration de l'approvisionnement (restriction), ou une mesure d'encouragement à l'efficacité économique de l'utilisation de l'eau ou une réattribution de l'eau (à l'environnement).

TABEAU 4
Stratégies et politiques d'adaptation à la pénurie d'eau selon les catégories de décideurs

Niveau	Amélioration de l'approvisionnement	Gestion de la demande
QUOI: L'OBJECTIF		
Autorité nationale pour l'eau	Fournir de l'eau salubre en quantité suffisante à tous les secteurs de l'économie tout en maintenant l'intégrité de la ressource	Garantir l'utilisation efficace et durable des eaux douces
Autorité nationale pour l'agriculture et l'irrigation	Assurer un approvisionnement en eau suffisant pour répondre aux besoins du secteur agricole	Garantir une productivité maximale de l'eau utilisée en agriculture
Autorité en charge du bassin fluvial ou de l'aquifère	Veiller à ce que l'approvisionnement en eau disponible soit fourni à tous les utilisateurs de manière transparente, fiable et efficace	Garantir une utilisation efficace et durable des eaux douces par tous les utilisateurs au niveau des bassins fluviaux et des aquifères, en évitant les conflits et en veillant à la protection de l'environnement
Responsable du périmètre d'irrigation; Associations d'usagers de l'eau	Veiller à ce qu'un approvisionnement en eau suffisant soit fourni à tous les utilisateurs en temps voulu et de manière fiable et efficace	Garantir que les eaux disponibles sont utilisées aussi productivement que possible
Agriculteurs	Assurer l'approvisionnement en eau pour toutes les activités agricoles	Utiliser les eaux disponibles aussi productivement et profitablement que possible
COMMENT: STRATEGIES ET POLITIQUES		
Autorité nationale pour l'eau	Construction de barrages à usages multiples, d'usines de dessalement; transferts entre bassins, contrôle de la pollution, négociation des attributions transfrontalières; définition et mise en vigueur des débits réservés	Adoption de lois sur l'eau; création d'institutions sur l'eau; renforcement de l'application; promotion des marchés de l'eau; mécanismes d'échange; redevances pour l'eau ou mécanismes de quotas; administration des droits d'utilisation de l'eau; normes d'attribution et de qualité de l'eau; campagnes de sensibilisation des populations; rachat à des fins environnementales
Autorité nationale pour l'agriculture et l'irrigation	Construction de barrages pour l'irrigation; négociation de l'attribution d'eau à l'agriculture	Mesures d'incitation pour la modernisation de l'irrigation; adoption d'une gestion de l'irrigation axée sur les services; adaptation des infrastructures d'irrigation afin d'augmenter la souplesse et la fiabilité de l'approvisionnement en eau; examen de la politique de tarification des eaux pour l'agriculture
Autorité en charge du bassin fluvial ou de l'aquifère	Construction de grands barrages, règles d'exploitation des barrages, recharge des aquifères, forage de puits (mise en valeur des eaux souterraines)	Optimisation de la gestion des barrages; gestion des mécanismes d'attribution de l'eau; administration de l'utilisation des eaux souterraines; lutte contre la pollution
Responsable du périmètre d'irrigation; Associations d'usagers de l'eau	Négociation de l'attribution de l'eau, recyclage des eaux de drainage; amélioration collective des sols, développement et gestion du stockage sur les périmètres	Réduction des pertes dans la distribution; mesures d'incitation pour augmenter l'efficacité économique de l'utilisation de l'eau sur le terrain (subventions, tarification volumétrique, marchés de l'eau)
Agriculteurs	Forage individuel de puits; réutilisation des eaux de drainage; investissements dans la conservation des eaux sur l'exploitation; stockage des eaux sur l'exploitation; échanges d'eau; récupération de l'eau; action collective	Amélioration de l'efficacité sur l'exploitation (irrigation sous pression), irrigation déficitaire, adaptation des cultures et des variétés de plantes aux conditions d'approvisionnement en eau

TABLEAU 5

Résumé des options pour faire face à la pénurie d'eau

Mesure			Tous les secteurs		Agriculture				
Options d'amélioration de l'approvisionnement	Réduction de la variabilité interannuelle des débits fluviaux		Augmenter le stockage (barrages à usages multiples)		Conservation de l'eau sur l'exploitation				
	Amélioration de la capacité d'approvisionnement des eaux souterraines		Mise en valeur, gestion et recharge artificielle des eaux souterraines		Recharge des aquifères amélioration de l'irrigation				
	Recyclage et réutilisation des eaux		Réutilisation et recyclage en boucle		Réutilisation des eaux usées urbaines pour la production végétale				
	Lutte contre la pollution		Lutte contre la pollution de sources ponctuelles (industrie, villes)		Production et protection intégrée des végétaux, lutte contre la pollution de l'agriculture (y compris le paiement pour les services environnementaux)				
	Importation d'eau		Transfert entre bassins, dessalement						
Options de gestion de la demande	Dans le domaine de l'eau		Réduction des pertes en eau		Amélioration de la surveillance, du contrôle des fuites, des circuits fermés (industrie)		Transport et application sous pression de l'eau (goutte-à-goutte), amélioration des calendriers d'irrigation et contrôle de l'humidité, revêtement des canaux		
			Augmentation de la productivité de l'eau	par une meilleure maîtrise de l'eau		Amélioration des mécanismes de gestion de l'eau, amélioration de la prévisibilité de l'approvisionnement, alerte rapide		Amélioration du service d'alimentation en eau d'irrigation (augmentation de la fiabilité et de la souplesse de l'alimentation en eau par la modernisation des infrastructures et de la gestion), irrigation de précision, irrigation déficitaire, drainage dans l'irrigation	
				par un processus amélioré de production		Refroidissement sec (motorisé)		Réduction des écarts de rendement par l'amélioration des pratiques agricoles (gestion de la fertilité, lutte contre les ravageurs), amélioration du matériel génétique	
			Réattribution de l'eau		Transferts intersectoriels (par l'intermédiaire de marchés de l'eau ou d'autres mécanismes d'attribution de l'eau) Transferts intersectoriels (y compris la restriction de la demande)		Orientation vers des cultures à plus haute valeur ajoutée en agriculture irriguée et/ou limitation de l'évapotranspiration par la réduction des superficies irriguées		
	A l'extérieur du domaine de l'eau		Réduction des pertes dans la chaîne de valeur		Maîtrise du gaspillage, amélioration du traitement et de la distribution		Réduction des pertes après récolte: stockage, traitement, distribution, consommation finale		
			Réduction de la demande en produits et services d'irrigation		Importation des produits manufacturés		Réduction des écarts de rendement dans la production pluviale (amélioration des pratiques agricoles; gestion de la fertilité; lutte contre les ravageurs; gestion de l'humidité des sols: paillage, désherbage; drainage, amélioration du matériel génétique, prévisions saisonnières et plans d'assurance-récolte).		
							Importation de nourriture et d'autres produits agricoles (échanges d'eau virtuelle)		
			Réduction de l'utilisation d'eau par habitant		Evolution des habitudes de consommation		Evolution des comportements alimentaires – régimes moins exigeants en eau		

Options in bold are discussed in further details in this report

Gérer l'approvisionnement

Afin de sécuriser leur accès à l'eau, de limiter les dommages des inondations et de venir à bout des sécheresses, les hommes ont toujours essayé de maîtriser et de stocker les débits d'eau saisonniers et irréguliers. La gestion de l'approvisionnement peut se faire en augmentant l'accès aux ressources en eau conventionnelles, y compris le stockage dans les barrages, les prélèvements dans les eaux souterraines ou la collecte des eaux de pluie. Elle peut aussi se faire par la réutilisation des eaux usées et des eaux de drainage ou par la mise en valeur de sources d'eau «non conventionnelles», dont le dessalement des eaux saumâtres et l'utilisation des eaux souterraines fossiles.

L'augmentation du stockage de l'eau

La seconde partie du vingtième siècle a vu l'augmentation rapide de l'aménagement des réservoirs d'eaux de surface, grâce auxquels des résultats remarquables ont pu être observés en matière de mobilisation des eaux. Les grands barrages multi-usages ont répondu aux besoins croissants en eau de l'agriculture, de la production d'énergie et des villes. Ils ont également contribué à protéger les populations des risques d'inondations. Bien qu'il existe encore de nouvelles possibilités d'aménagement de barrages dans certaines régions, la plupart des sites appropriés sont déjà exploités et l'aménagement de nouveaux barrages devient de plus en plus coûteux.

Depuis la fin des années 90, l'aménagement des grands barrages a été limité dans de nombreux pays par la polémique qu'ils suscitent en raison de leurs répercussions environnementales et socio-économiques sous-estimées. Il faudra à l'avenir justifier de plus en plus la construction des nouveaux grands barrages sur le plan économique, social et environnemental.

Au niveau des ménages et des communautés, les petits systèmes décentralisés de collecte et de stockage de l'eau ont augmenté les volumes d'eau disponibles et stimulé la production agricole. Ces mesures à petite échelle dynamisent le développement économique local et augmentent la résilience des communautés locales au changement climatique. Ces mesures décentralisées, mêmes à très petite échelle, ont des répercussions sur le bilan hydrique des bassins de captage (Batchelor, Rama Mohan Rao et Monahar Rao, 2003). Les grands programmes de collecte des eaux de pluie à petite échelle tels que les programmes de gestion des bassins locaux mis en œuvre dans l'Andhra Pradesh et d'autres régions de l'Inde (Rao *et al.*, 2003) ont eu des répercussions importantes sur l'hydrologie globale des bassins et les eaux disponibles en aval.

Le concept de *l'infrastructure verte* gagne de plus en plus en importance dans la gestion de l'approvisionnement en eau. Cette approche cherche, par des mesures de régulation et de planification, à préserver les fonctions fondamentales de l'environnement naturel. Dans ce contexte, les zones humides et les forêts jouent un rôle crucial dans la régulation des débits d'eau au bénéfice des utilisateurs d'aval.

La mise en valeur des eaux souterraines

Ces dernières décennies, l'exploitation des eaux souterraines a augmenté de manière exponentielle en échelle et en intensité. Selon les estimations, les prélèvements mondiaux en eau auraient augmenté d'un niveau de base de 100–150 km³ en 1950 à 950–1 000 km³ en 2000 (Shah, Burke et Villholth, 2007) et l'agriculture serait responsable de l'essentiel de cette augmentation. Les évaluations les plus récentes, fondées sur des données statistiques exhaustives nationales et infranationales, indiquent que 40 pour cent des superficies réellement irriguées dans le monde utilisent des eaux souterraines (Siebert *et al.*, 2010), le niveau de prélèvement annuel estimé pour l'agriculture s'élevant à 454 km³.

L'agriculture irriguée est le principal utilisateur des grands aquifères sédimentaires du Moyen-Orient, d'Afrique du Nord, d'Amérique du Nord et des plaines alluviales d'Asie. C'est la demande pour une production irriguée qui a entraîné l'expansion de l'utilisation des eaux

souterraines, aussi facilitée par les subventions gouvernementales et le fait que des pompes à prix abordable et les technologies de forage étaient facilement disponibles. La capacité qu'ont les eaux souterraines à fournir de l'eau à la demande et de manière souple représente un avantage considérable pour les agriculteurs. Il a été observé qu'en Inde, le rendement des cultures dans les fermes irriguées à partir d'eaux souterraines était de 1,2 à 3 fois plus important que celui des exploitations irriguées avec des eaux de surface (Shah *et al.*, 2000).

L'utilisation accrue des eaux souterraines a amélioré les moyens d'existence de millions de personnes dans les zones rurales (Moench, 2002) mais elle a aussi entraîné l'épuisement des aquifères, la pollution des eaux souterraines et les infiltrations d'eaux salées. Les eaux souterraines sont problématiques parce que l'incitation est forte de les épuiser puisqu'elles constituent une ressource librement accessible. En Inde, par exemple, les mesures offrant l'électricité à très bon marché aux agriculteurs ont encouragé encore davantage l'épuisement de la ressource. Il existe toutefois une différence importante entre les aquifères alluviaux peu profonds qui sont réalimentés à chaque saison des pluies et les aquifères profonds qui se rechargent plus lentement.

Il n'est pas possible de maintenir les tendances actuelles sans mettre en place une gestion beaucoup plus efficace des eaux souterraines (Shah, Burke et Villholth, 2007). L'exploitation des eaux souterraines étant essentiellement le fait d'individus, il est toutefois difficile de la réguler et de la surveiller et souvent aucun cadre juridique n'existe à cet effet (FAO, 2003). Lorsque les lois existent, leur application pose de sérieux problèmes. Cela fait obstacle aux mesures de conservation et d'utilisation efficiente des eaux souterraines. L'une des difficultés fondamentales est que la notion de «prélèvement durable» est imprécise et délicate à mesurer et à appliquer dans la pratique (ex.: COMMAN, 2005). Ce concept a également donné la fausse impression que l'utilisation des eaux souterraines n'avait pas d'incidence sur les autres fonctions naturelles de l'environnement. Malgré ces problèmes, des progrès ont été réalisés dans l'élaboration de processus communautaires de gestion des eaux souterraines qui donnent de bons résultats (APFAMGS, 2009).

La gestion de la recharge des aquifères constitue une option potentiellement importante mais elle dépend de l'amélioration de la compréhension du stockage des eaux souterraines et de leur taux de réalimentation. Dans certains systèmes hydro-géologiques, il est difficile d'améliorer l'efficacité des processus naturels de recharge et dans d'autres la proportion économiquement réalisable de l'amélioration de la recharge par rapport à la réalimentation naturelle est très limitée, bien que certaines techniques contribuent à résoudre les problèmes locaux et à améliorer la qualité des eaux souterraines. La priorité essentielle de gestion restera toutefois de protéger les principales zones de recharge. Dans ce contexte, l'incitation à favoriser la recharge des aquifères dans les grands périmètres d'irrigation a été considérée comme une solution de recharge à l'amélioration des services d'approvisionnement en eau proposés aux utilisateurs (Shah, 2009). Quoi qu'il en soit, la réalimentation des eaux souterraines doit être conçue dans un cadre clairement défini de budgétisation des coûts de l'eau afin de garantir l'efficacité des options choisies.

Le recyclage et la réutilisation de l'eau

Les investissements dans l'approvisionnement en eau, l'assainissement et la gestion de l'eau ont tendance à être planifiés, conçus et gérés séparément et sur des durées différentes. La création de systèmes respectueux de l'environnement qui tiennent compte de l'ensemble du cycle de l'eau pour tous les divers utilisateurs nécessite une approche cohérente pour surmonter les cloisonnements sectoriels et la fracture entre zones rurales et urbaines. La gestion des eaux usées est essentielle pour plusieurs raisons. D'abord, les eaux usées sont souvent évacuées dans des endroits qui interdisent leur réutilisation, ou directement à la mer, ce qui exclut toute possibilité de réemploi utile. Ensuite, les eaux usées sont souvent riches en éléments fertilisants qui, avec les eaux résiduelles, peuvent être utilisés profitablement grâce à l'irrigation. La réutilisation pour l'agriculture, après un traitement primaire ou secondaire réalisé grâce aux technologies écologiques à faible coût, peut constituer une solution rentable et bénéfique à toutes les parties.

Lutte contre la pollution

La pollution réduit l'eau qui peut être utilisée et augmente le coût du traitement de l'eau. Le non traitement de la pollution peut coûter cher et certaines répercussions peuvent être irréversibles (contamination des eaux potables souterraines, pertes de l'écosystème). Les eaux polluées ont un coût élevé pour la santé humaine puisque un-dixième de la charge mondiale de morbidité serait attribuable à l'eau (OMS, 2004). Parmi les autres coûts de la pollution figurent le nettoyage, les traitements supplémentaires et les dommages causés aux pêches, écosystèmes et activités de loisirs. La plupart des pays ont adopté des lois pour assurer la protection de leurs ressources en eau, mais leur mise en œuvre reste souvent à la traîne en raison de la dispersion des responsabilités dans de multiples institutions, de l'absence de volonté politique pour s'opposer aux intérêts industriels et du coût élevé du contrôle et de la surveillance.

Il existe des exemples (essentiellement dans les pays développés) où le principe du «pollueur-payeur» a favorisé un changement de comportement en matière de pollution et s'est traduit par une augmentation du recyclage grâce aux procédés de technologie propre pour l'industrie ou à la gestion des effluents par une méthode «en bout de chaîne» assurant la collecte, le contrôle, le traitement et la surveillance des résultats. L'investissement nécessaire pour de tels procédés manque souvent à tous les niveaux, qu'il s'agisse d'assainissement domestique, de processus industriels ou d'usines de traitement des eaux usées des zones urbaines.

L'intensification de l'agriculture va aggraver la pollution de sources ponctuelles et diffuses. Il existe des technologies qui limitent la pollution des eaux en agriculture, en particulier grâce à la gestion intégrée de la lutte contre les ravageurs et de la nutrition des végétaux. L'expérience des pays à revenu élevé montre qu'un éventail de mesures d'incitation telles qu'une réglementation plus stricte, une application plus rigoureuse et des subventions bien ciblées peut contribuer à réduire la pollution des eaux. Dans certains cas, la méthode du *paiement pour services environnementaux* a permis de réduire considérablement la pollution agricole et favorisé des économies dans le coût du traitement de l'eau en aval des terres agricoles.

Le transfert entre bassins et le dessalement

Le transfert d'eau entre un bassin riche en eau et un bassin à faible débit a été pratiqué dans de nombreuses régions et permet de remédier aux déséquilibres locaux entre l'approvisionnement et la demande. Les préoccupations croissantes à l'égard de la valeur de l'eau et la nécessité de garantir des écoulements d'eau suffisants pour l'avenir rendent de plus en plus complexes et difficiles à conclure les négociations sur les transferts entre bassins entre les régions.

Les progrès réalisés dans la technologie des membranes rend le dessalement des eaux salées et saumâtres de plus en plus abordable. Ce procédé est employé essentiellement pour l'eau potable et l'eau industrielle à Malte, à Chypre, en Israël et dans les États du Golfe, où les prélèvements d'eau ont atteint les limites du total des ressources renouvelables en eau. Le dessalement n'est pas couramment employé pour l'eau utilisée en agriculture. Le coût élevé de l'énergie et le rejet de la saumure sont des éléments à prendre en considération. L'utilisation du dessalement pour les cultures à haute valeur ajoutée est pratiquée dans les régions où existe une pénurie d'eau physique et où coïncident la demande du marché et des avantages agroclimatiques comparatifs pour certaines cultures d'exportation, en particulier dans la région méditerranéenne. Le Maroc prévoit de construire une usine de dessalement pour l'irrigation de cultures commerciales. Le dessalement ne compte que pour 0,4 pour cent du total des eaux utilisées en 2004 (près de 14 km³/an) mais la production devrait doubler d'ici 2025. Le dessalement pour l'approvisionnement en eau des zones urbaines peut indirectement libérer de l'eau pour d'autres utilisations, dont l'agriculture (FAO, 2006b).

Gérer la demande

La gestion de la demande vise globalement à garantir qu'un certain volume d'eau soit distribué le plus conformément possible au schéma d'utilisation optimale. Cet objectif est atteint, sur le plan économique, lorsque l'unité marginale d'eau a la même valeur pour chaque utilisateur (Winpenny, 1994). L'objectif d'égalisation des valeurs marginales de l'eau dans toutes les utilisations⁷ est un idéal théorique mais lorsque l'eau devient rare et que les coûts d'approvisionnement augmentent, il importe que les décideurs encouragent l'ensemble de la société à utiliser l'eau disponible de la façon la plus «productive» possible, de quelque manière que ce soit. Cela peut être réalisé par des mesures incitatives encourageant les utilisateurs individuels à utiliser l'eau de manière plus efficiente ou en favorisant une redistribution de l'eau des utilisations moins profitables⁸ à celles qui le sont plus. Ces deux manières d'envisager la gestion de la demande sont étudiées ci-dessous.

Rendre l'utilisation de l'eau plus «efficiente»

Les objectifs d'une utilisation «plus efficiente» et «plus productive» de l'eau représentent deux facettes d'une même idée. *L'efficience*, qui met l'accent sur le processus, est un rapport adimensionnel entre les apports et les résultats, tandis que la *productivité* s'intéresse à la «production» et se mesure, dans le cas de la productivité de l'eau, en unités par volume d'eau. Dans le cadre de ce type de gestion de la demande, les utilisateurs sont encouragés à réduire les pertes et gaspillages d'eau, à supprimer les applications de faible valeur et à maximiser la valeur obtenue à partir de l'eau qui leur reste. Dans un tel contexte, la «valeur» se rapporte aux bénéfices non monétaires aussi bien qu'aux valeurs estimées par la «volonté de payer» et à d'autres techniques d'évaluation économique.

L'expression «efficience de l'utilisation de l'eau» est parfois utilisée au sens strict comme le rapport entre utilisation efficace de l'eau et prélèvements. Cela s'applique aux notions «d'efficience de l'approvisionnement en eau» ou «d'efficience de l'irrigation» pour lesquelles l'analyse porte sur la différence entre l'eau prélevée et les pertes physiques découlant des fuites des canalisations et canaux et du gaspillage dû à l'application excessive ou inappropriée d'eau aux cultures ou dans les processus productifs. Les réseaux urbains de distribution et les périmètres d'irrigation perdent de grandes quantités d'eau à cause des fuites et des phénomènes de percolation. Les estimations indiquent que dans les 23 pays méditerranéens, les réseaux urbains perdent 25 pour cent de l'eau et les canaux d'irrigation 20 pour cent, tandis que l'efficience estimée de l'irrigation se situe à environ 40 pour cent à l'échelle mondiale. L'appréciation de la portée réelle des économies d'eau par la réduction des pertes est une question importante en matière de gestion de la demande, mais elle ne peut être déterminée que par des procédures de comptabilité de l'eau.

Deux facteurs limitent toutefois la portée et l'impact de la réduction des pertes. D'abord, seule une partie de l'eau perdue pour une utilisation efficace peut effectivement être récupérée à un coût raisonnable. Le taux de fuite des anciens réseaux d'eau urbains sert souvent de valeur approximative pour déterminer l'efficience de ces réseaux, mais le remplacement des canalisations et raccords peut être coûteux et très perturbant⁹. Ensuite, une partie des eaux «perdues» entre la source et l'utilisateur ultime réintègre le système hydrologique, soit par percolation dans les aquifères ou par retour d'écoulement dans les systèmes hydrographiques (Perry, 2007). La part des eaux perdues par *consommation non efficace*, par évaporation ou par drainage dans des masses d'eau de faible qualité ou à la mer, varie considérablement selon les

7 Ce qu'il est convenu d'appeler l'optimum de Pareto, lorsqu'il devient impossible d'élérer la prospérité générale en continuant à réattribuer le produit.

8 Le terme profitable est plus inclusif et moins péjoratif que «productif».

9 En Angleterre et au Pays de Galles, l'autorité de régulation OFWAT utilise le concept du «niveau économique de fuite» propre à chaque compagnie, auquel la valeur de l'eau économisée en continuant à réduire les fuites est égale au coût unitaire de cette action.

conditions locales. Il y a aussi une différence entre les pertes des zones urbaines et industrielles et celles des zones agricoles, et entre les situations en amont et en aval. Il est donc indispensable de bien comprendre la portée des gains réels de la réduction des pertes pour éviter de concevoir des options coûteuses de gestion de la demande qui auront peu d'effet sur la disponibilité en eau dans l'unité hydrologique considérée dans son ensemble. Les «pertes» d'eau peuvent d'un autre point de vue être considérées comme des «utilisations involontaires» et il importe de retracer ce à quoi servent réellement les eaux «perdues», si tant est qu'elles servent à quelque chose.

Cela dit, le ciblage de la réduction des pertes dans les systèmes de distribution se justifie encore dans bien des cas. Des niveaux excessifs de pertes et de fuites révèlent les insuffisances des infrastructures ou de leur gestion et se traduisent par des coûts financiers (pour produire, pomper et transporter l'eau), ainsi que par une dégradation du système de distribution, une augmentation des risques sanitaires et environnementaux et des occasions perdues d'utilisation efficace de l'eau. En irrigation, par exemple, les pertes de distribution peuvent diminuer les quantités d'eau disponibles pour les irrigants de fin de système.

Réattribuer l'eau

La redistribution de l'eau des utilisations moins profitables à celles qui le sont plus peut se faire par l'association de divers dispositifs de tarification, de mécanismes du marché et de procédés administratifs. Une fois satisfaits les besoins essentiels de l'utilisation humaine et environnementale, l'application de «prix fictifs» à ce qui reste de cette ressource rare encouragerait son application aux utilisations les plus productives (ou profitables). Dans un régime de marché, l'eau coulerait des utilisations à moindre valeur vers celles à valeur plus élevée¹⁰.

Si seule est considérée la production de denrées, la valeur ajoutée de l'agriculture par unité d'eau est beaucoup moins élevée que celle des autres secteurs. Selon ce critère, la réattribution devrait normalement favoriser d'autres secteurs tels que les villes, l'industrie, le tourisme ou les loisirs. La situation se complique toutefois en raison des rôles multiples que joue l'agriculture dans la société: sociaux, culturels, religieux et environnementaux, sans oublier la production. Dans de nombreux pays en développement, l'agriculture fait vivre une grande partie de la population rurale. En outre, le fait que les gouvernements doivent assurer un approvisionnement alimentaire suffisant pour répondre aux besoins fondamentaux des populations fait l'objet d'un regain d'intérêt compte tenu de la volatilité actuelle des cours des denrées alimentaires. Le désir de souveraineté alimentaire nationale apporte ainsi un nouvel ensemble d'éléments. L'évaluation des multiples bénéfices de l'eau en agriculture doit tenir compte de tous ces choix et valeurs sociétaux.

Dans quelques régions (le Chili, certaines régions de l'Australie et quelques-uns des états de l'ouest des Etats-Unis), les conditions nécessaires ont été réunies pour permettre de réguliers échanges d'eau. Les marchés de l'eau sont couramment utilisés par les agriculteurs désirant davantage d'eau pour leurs cultures à haute valeur ajoutée lorsque la sécheresse frappe ou par des villes devant répondre à des besoins en eau croissants. Les prix réels fixés dans ces marchés indiquent les valeurs marginales de l'eau dans ces différentes utilisations, qui sont en général beaucoup plus élevées que les valeurs moyennes. Ces marchés sont toutefois souvent très localisés et imparfaits dans une perspective économique théorique. Une étude récente a observé que les prix observés dans un contexte pouvaient n'avoir que peu de pertinence dans une autre perspective (Aylward *et al.*, 2010).

Dans une grande majorité de pays, des marchés de l'eau fondés sur des droits d'utilisation de l'eau établis, sûrs et échangeables ne constituent pas une option réalisable. Dans ces pays, l'attribution intersectorielle ou la réattribution de l'eau peut se faire par le biais de mesures

10 Adapté de l'adage "water flows uphill towards money" (l'eau remonte la pente vers l'argent).

administratives. Que la réattribution se fasse par l'intermédiaire de dispositifs commerciaux ou administratifs, la société doit fixer des limites sur les transferts afin de protéger les tierces parties, l'environnement et l'intérêt général de la société. Sous réserve de ces conditions, la concurrence pour l'eau peut être propice à l'amélioration de l'efficacité de l'attribution. Certaines organisations utilisent même des mécanismes commerciaux pour défendre les intérêts de l'environnement en achetant des droits sur un certain volume d'eau dans un cours d'eau ou un lac, qu'ils laissent ensuite dans la masse d'eau en tant que débit minimum biologique. En Australie, le Commonwealth Environmental Water Holder a été créé pour gérer les droits sur l'eau achetés au bénéfice de l'environnement par le programme gouvernemental de rachat de l'eau et 50 pour cent de toute l'eau économisée par le biais du programme de financement des infrastructures du gouvernement fédéral doit retourner à l'environnement¹¹.

Il est aussi allégué que le fait de permettre aux prix du marché ou aux prix réels de l'eau d'influencer l'attribution de l'eau peut permettre aux forces qui préconisent l'amélioration de l'approvisionnement de peser sur la situation de pénurie d'eau en favorisant l'investissement privé et les progrès techniques. Un certain nombre de pays comptent l'amélioration de l'utilisation de la tarification réelle de l'eau parmi leurs stratégies d'adaptation aux pénuries d'eau. En Australie, les autorités considèrent les signaux de prix réels et les marchés de l'eau efficaces comme un élément essentiel de l'amélioration de l'efficacité économique de l'utilisation de l'eau et de la stratégie pour encourager les utilisateurs à s'ajuster à l'évolution des conditions climatiques. En Afrique du Sud, la tarification économique de l'eau vise en principe à refléter la pénurie d'eau quoique le niveau des redevances liées à l'irrigation ait encore des progrès à faire à cet égard pour correspondre aux valeurs communément admises¹².

L'utilisation des mécanismes de tarification ne peut s'appliquer à toutes les situations et nécessite qu'un certain nombre de conditions soient réunies pour être applicable. En irrigation, l'appui excessif accordé dans les années 90 à des approches simplistes et fondées sur le marché à tous les niveaux a rarement donné de bons résultats. En fait, les professionnels de l'irrigation sont très sceptiques quant à la faisabilité, et même l'intérêt, d'utiliser les redevances liées à l'irrigation pour encourager les agriculteurs à utiliser l'eau de manière efficace (Molle et Berkoff, 2007). Il s'agit là d'une question très complexe et controversée qui ne saurait être résolue par des recettes simplistes. Il faut toutefois souligner que d'un point de vue pragmatique, la tarification sert deux objectifs – l'un, économique, qui indique la pénurie et l'autre, financier, qui augmente les revenus d'un secteur miné par une insuffisance de fonds chronique. Dans une région pauvre en eau du sud de l'Italie, la tarification de l'eau d'irrigation inclut, parallèlement à un taux progressif variable par mètre cube, des droits fixes par hectare pour couvrir les frais d'entretien¹³. La section suivante étudie quelques-unes des difficultés inhérentes à l'application de la tarification et des marchés de l'eau à l'agriculture pour parvenir à la réattribution souhaitée de l'eau à l'intérieur de ce secteur.

6.2 OPTIONS DANS LE SECTEUR DE LA GESTION DE L'EAU EN AGRICULTURE

La plupart des options étudiées jusqu'à présent valent pour l'agriculture, quoiqu'adaptées à ce secteur grâce à des caractéristiques spécifiques. Cette section examine les applications agricoles de l'amélioration de l'approvisionnement, de la réduction des pertes, de la productivité des cultures, de la réattribution et des mesures portant sur l'agriculture pluviale.

11 Information issue de la présentation sur l'Australie à la consultation d'experts.

12 Information issue de la présentation sur l'Afrique du Sud à la consultation d'experts.

13 Information issue de la présentation sur l'Italie à la consultation d'experts.

L'amélioration de l'approvisionnement

L'augmentation des eaux disponibles pour l'agriculture peut être envisagée à différentes échelles. Au niveau du bassin fluvial, les barrages permettant le stockage de l'eau d'irrigation, à usages unique ou multiples, constituent des solutions de grande envergure exigeant des capitaux importants. A une échelle beaucoup plus petite, les agriculteurs individuels peuvent endiguer les cours d'eau et collecter les eaux au bénéfice de leurs exploitations. Au niveau de l'exploitation, les agriculteurs qui exercent une agriculture pluviale peuvent pratiquer la conservation des eaux sur leurs terres afin de diminuer le ruissellement et encourager l'infiltration et le stockage de l'eau dans le sol. A ce niveau local, l'augmentation des eaux disponibles est très décentralisée et implique un grand nombre d'agriculteurs qui pompent les eaux souterraines et pratiquent la collecte des eaux de ruissellement à petite échelle.

Le recyclage de l'eau et sa réutilisation dans l'irrigation

L'échelle de la réutilisation et du recyclage des eaux usées et de drainage est un facteur important de la comptabilité de l'eau. Dans les projets d'irrigation contigus à grande échelle, l'eau en excès retourne au système par drainage ou infiltration et est réutilisée dans le même système ou plus loin en aval. Dans la vallée du Nil, par exemple, environ 20 pour cent de l'eau est recyclée de cette manière entre le barrage d'Assouan et la mer (Molden, El Kady et Zhu, 1998; Faurès, Svendsen et Turrall, 2007). Les grands systèmes rizicoles d'Asie du Sud-Est suivent des schémas très semblables de réutilisation de l'eau. Il est essentiel, pour évaluer l'efficacité de mesures d'économie d'eau, de bien estimer le taux de réutilisation: des efforts d'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau par la réduction de la distribution et des pertes sur l'exploitation pourraient n'avoir qu'un impact net marginal lorsqu'ils sont évalués à l'échelle du bassin.

Bien qu'elle soit peu significative à l'échelle mondiale, la réutilisation des eaux usées d'origine urbaine dans l'agriculture pourrait avoir une certaine importance dans certains endroits toujours plus nombreux. Il n'existe pas de chiffres fiables sur l'ampleur de l'utilisation des eaux usées municipales dans l'agriculture mais l'utilisation directe d'eaux usées traitées et non traitées est considérable dans certaines régions aréiques telles que le Moyen-Orient et la Vallée de Tula près de Mexico. Il est indispensable de mieux évaluer et cartographier la réutilisation informelle des eaux usées à l'heure actuelle et son potentiel, en particulier dans les régions pauvres en eau (FAO, 2010).

Bien que le problème essentiel de l'utilisation d'eaux usées non traitées dans l'agriculture soit les risques possibles qu'elle présente pour la santé humaine, la mise en vigueur de normes de qualité de l'eau est souvent compliquée par des hiérarchies ambiguës et la faiblesse des capacités d'application de ces règles. Il est difficile de restreindre les cultures qui peuvent être exploitées avec des eaux usées lorsque certaines de ces cultures sont très demandées sur les marchés locaux et que leur culture est profitable. Même lorsque les eaux usées ne sont pas traitées autant qu'il le faudrait, il est encore possible de diminuer les risques sanitaires en sensibilisant les populations et en adoptant des méthodes d'irrigation avec les eaux usées qui peuvent considérablement réduire la contamination fécale des cultures. L'amélioration de l'hygiène dans les pratiques de commercialisation des produits a également prouvé qu'elle constituait une manière rentable de protéger la santé publique.

La réduction des pertes en eau

Nombreux sont les débats et les controverses qui ont eu lieu au sujet du concept technique de «l'efficacité de l'utilisation de l'eau» – soit le rapport entre la quantité d'eau utilisée par évapotranspiration par les plantes à des fins productives et la quantité d'eau prélevée ou dérivée de sa source (Keller et Keller, 1995; Keller, Keller et Seckler, 1996; Seckler, 1996; Perry *et al*, 2009; Frederiksen et Allen, 2011; Gleick, Christian-Smith et Cooley, 2011). Il est désormais largement admis que bien que les pertes en eau de l'irrigation paraissent élevées, puisque

40 pour cent en moyenne de l'eau fournie à l'agriculture atteint les racines des végétaux, une grande partie de ces pertes retournent au bassin fluvial sous la forme de retours d'écoulement ou de recharge des aquifères et peut être exploitée par d'autres utilisateurs en aval ou remplir d'importantes fonctions environnementales. Les mesures de réduction des pertes en amont augmenteront l'efficacité productive de l'utilisation de l'eau tout en maintenant les niveaux existants de prélèvement mais en même temps, elles risquent d'être préjudiciables aux utilisateurs de l'eau en aval qui dépendent des retours d'écoulement dans les cours d'eau ou les nappes souterraines alimentées par ces retours.

La «conservation» apparente de l'eau peut par conséquent avoir des effets pervers sur la disponibilité en eau. La mise en valeur des bassins peut améliorer l'eau disponible pour les agriculteurs dans les zones semi-arides mais cela entraîne souvent une intensification de l'utilisation de l'eau qui réduit sa disponibilité dans les zones situées en aval (Batchelor, Rama Mohan Rao et Monahar Rao, 2003). L'efficacité de l'eau peut aussi constituer une sorte de piège dans lequel il est possible de tomber. De nombreuses études sur l'application de l'irrigation de précision ont montré que la conservation de l'eau grâce à l'adoption généralisée de systèmes d'irrigation goutte-à-goutte très efficaces peut augmenter l'utilisation non renouvelable de l'eau au niveau local et réduire l'écoulement vers l'aval (ex.: Ward et Pulido-Velazquez, 2008). Ces pratiques peuvent améliorer la productivité de l'eau mais n'augmentent pas nécessairement la quantité d'eau disponible pour d'autres agriculteurs – en fait, elles peuvent la diminuer simplement en suscitant une évapotranspiration accrue, tout en utilisant des techniques extrêmement efficaces. Il en va souvent ainsi lorsque l'irrigation de cultures de base est convertie en systèmes d'irrigation plus précis destinés à des cultures horticoles dont les besoins en eau sont plus importants et les taux d'exploitation plus élevés. A la limite de la pénurie, lorsque toutes les sources d'eau ont été exploitées et toutes les pertes réduites par l'application d'une irrigation efficace, la seule option qui reste est de réduire le volume de l'évapotranspiration afin de conserver et reconstituer les réserves d'eaux souterraines ou de réduire les taux d'appauvrissement de la ressource. Des tentatives d'introduction de quotas d'évapotranspiration ont été faites dans la plaine du nord de la Chine (Banque mondiale, 2009).

Dans le cas du riz paddy, l'excédent d'infiltration dans les eaux souterraines sous-jacentes est déjà récupéré par le pompage dans de nombreuses régions (Frederiksen, 2009). L'eau qui est «perdue» par les fuites peut éventuellement être utilisée tout aussi productivement que celle qui est retenue dans les systèmes d'irrigation, même avec le coût supplémentaire de sa récupération grâce au pompage et de son traitement pour obtenir de l'eau de qualité acceptable.

Dans certains cas, l'irrigation excessive peut entraîner des problèmes d'engorgement et éventuellement, surtout dans les zones (semi)-arides, de salinisation. Pour éviter cela, des systèmes de drainage efficaces peuvent être utilisés et les eaux d'irrigation appliquées avec modération pendant la saison de végétation. Il peut être nécessaire de rincer les sels accumulés pendant les périodes de jachère. L'eau utilisée pour le rinçage du sol peut être réutilisée en aval si elle est suffisamment diluée avec de l'eau douce de rivière ou des eaux souterraines.

La conclusion qui importe ici est que les mesures visant à réduire les pertes doivent être évaluées par bassin de captage et pas seulement au niveau des exploitations individuelles. Il faut bien comprendre leurs conséquences sur les retours d'écoulement, leur répartition dans l'espace et le temps et la part qui peut être récupérée. Les interventions efficaces de réduction des pertes en irrigation exigent par conséquent une évaluation rigoureuse de tous les éléments du bilan hydrique dans un système hydrologique donné. Il faut en particulier déterminer la proportion de l'eau fournie qui est perdue par évaporation, la part qui retourne à la rivière ou à l'aquifère et est ou peut être réutilisée en aval, la part qui est utilisée efficacement par l'évapotranspiration des cultures et la part qui n'est ni consommée ni récupérable (Molden, 1997; Hsiao, Steduto et Fereres, 2007). Ce n'est que dans ces conditions que les mesures de conservation pourront être élaborées de manière efficace. L'aperçu conceptuel présenté dans l'encadré 2 présente une méthode d'évaluation des

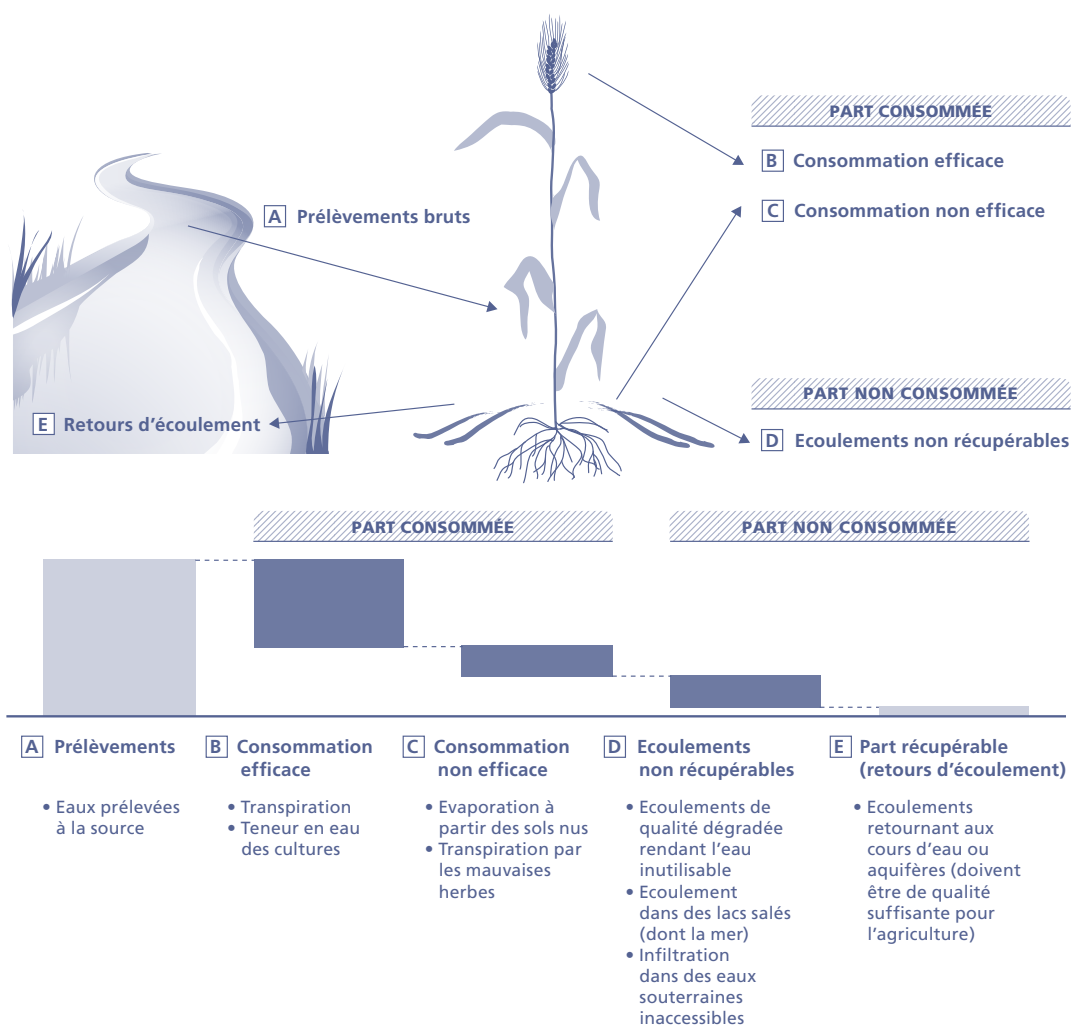
effets possibles des interventions prévues d'économie d'eau au regard de la consommation efficace par rapport à la consommation non efficace et des écoulements récupérables par rapport aux écoulements non récupérables. Ces évaluations devraient donc être effectuées systématiquement.

ENCADRÉ 2

Composantes des prélèvements en eau dans l'irrigation

La figure ci-dessous présente un aperçu conceptuel des composantes des prélèvements en eau au niveau du champ, dont il faut tenir compte pour l'élaboration des programmes de gestion de la demande (Perry, 2007; Perry *et al.*, 2009; 2030 Water Resources Group, 2010). L'eau prélevée de sa source peut être divisée en parts *consommée* et *non consommée*, la part consommée étant la part du prélèvement en eau qui s'évapore, soit directement à partir du sol, soit par la transpiration des végétaux. La part non consommée quitte le champ, soit par percolation profonde, soit par écoulement dans les terres et cours d'eau situés en aval. Une partie de la part consommée est *utilisée efficacement* par la transpiration des cultures ou retenue sous forme de teneur en eau des cultures, tandis que la part *utilisée non efficacement* se perd par évaporation à partir du sol dénudé. Une partie non récupérable de la part non consommée sera perdue pour toute utilisation ultérieure, qu'elle s'écoule dans des sources d'eaux souterraines inaccessibles, dans des lacs salés ou à la mer, ou que sa qualité soit dégradée au point qu'elle ne puisse plus être utilisée. Le reste s'écoulera en aval sous forme de *retour d'écoulement* ou d'*écoulement récupérable* et sera disponible pour d'autres utilisations.

Aperçu descriptif des composantes des prélèvements en eau dans l'irrigation



Adapté de: 2030 Water Resources Group (2011).

Les options de conservation de l'eau sont donc intrinsèquement liées aux questions d'accès, de droits d'utilisation et d'attribution entre les utilisateurs. Ainsi les mesures de conservation, parce qu'elles influent sur l'accès à l'eau et sa distribution, doivent être envisagées dans le contexte plus large de l'attribution afin de garantir que leurs répercussions sur les utilisateurs sont bien comprises et acceptées.

Il est toutefois possible d'adopter des technologies ou des méthodes de gestion qui se traduisent par une réduction des pertes en eau dans les processus de distribution et d'application et il serait erroné d'écarter automatiquement les mesures de conservation de l'eau au prétexte que la plupart des retours d'écoulement peuvent être utilisés en aval (encadré 3). La proportion de la part non récupérable et de la consommation non efficace, par rapport aux retours d'écoulement et à la consommation efficace, dépend largement des sites concernés et varie d'un endroit à l'autre. En outre, les options de conservation de l'eau sont souvent associées à une augmentation de la productivité de l'eau et à d'autres avantages concomitants non liés à l'eau tels que la réduction de l'utilisation de l'énergie, la réduction du coût de la main d'œuvre ou l'augmentation de la précision et de la fiabilité de la fourniture d'eau (Gleick, Christian-Smith et Cooley, 2011).

ENCADRÉ 3

Pratiques d'économie d'eau dans les systèmes de canaux utilisés pour la riziculture en Asie

Dans les systèmes de canaux utilisés pour la riziculture en Asie, le stockage inégal et mal coordonné de l'eau associé à des problèmes internes de distribution a créé une pénurie d'eau «artificielle» dans de nombreux périmètres d'irrigation. Le manque de compréhension des bilans hydriques, des liens entre eaux de surface et eaux souterraines et de la différence entre utilisations efficace et non efficace de l'eau s'est soldé par une faible efficacité des stratégies d'économie d'eau (AIT, 2009). Néanmoins, les pratiques d'économie d'eau telles que les techniques de mouillage et de séchage alternés, lorsqu'elles sont intégrées à la gestion des réserves et du stockage de l'eau, peuvent contribuer à économiser l'eau et à augmenter sa productivité. Elles réduisent la consommation non efficace de l'eau utilisée dans l'agriculture et représentent par conséquent un gain net de disponibilité en eau au niveau du bassin fluvial. La réussite de l'adaptation de ces pratiques à une plus grande échelle exige une bonne compréhension des contraintes qui empêchent les agriculteurs de les adopter. Les mesures incitant les agriculteurs à adopter des techniques d'économie d'eau devraient être axées sur les services d'irrigation et la modernisation des infrastructures, ainsi que sur l'amélioration de la souplesse et de la fiabilité des services d'eau. L'utilisation des quotas associée aux échanges d'eau à l'intérieur des périmètres montre des résultats plus prometteurs que les méthodes qui encouragent l'utilisation de la tarification de l'eau comme outil de gestion de la demande.

Les mesures de conservation les plus répandues sont le revêtement des canaux et la conversion de l'irrigation par gravité à l'irrigation sous pression, et en particulier l'irrigation localisée (micro-irrigation)¹⁴. Le revêtement des canaux dans les grands périmètres d'irrigation de surface est l'une des techniques les plus valorisées pour réduire les pertes en eau dans l'irrigation, en particulier en Asie du Sud. Lorsqu'elles sont conçues pour des zones disposant de grands aquifères continus et non confinés, comme le bassin du Ganges, ces interventions de revêtement peuvent améliorer la maîtrise de l'eau et réduire localement les fuites, mais ne permettront pas nécessairement de réaliser des économies d'eau considérables dans l'ensemble du périmètre. En outre, dans les conditions actuelles d'augmentation de l'utilisation conjointe des eaux souterraines et de surface par le creusement de puits peu profonds jusqu'aux eaux souterraines dans les parcelles agricoles individuelles, les systèmes d'irrigation gravitaires peu efficaces sur le plan du transport de l'eau jouent un rôle de plus en plus important dans la reconstitution des aquifères. Dans ces périmètres d'irrigation, la planification de la réhabilitation ou de la modernisation doit adopter une approche beaucoup plus globale des économies d'eau et s'intéresser davantage à la productivité générale de l'eau dans un système qu'à la stricte efficacité technique. Le revêtement

14 Information issue de la présentation sur l'Italie à la consultation d'experts.

des canaux peut encore se justifier dans le cadre des plans de modernisation de l'irrigation lorsqu'il est impératif d'améliorer la maîtrise de l'eau, ou dans les zones où les pertes de transport sont élevées et la récupération de l'eau en aval peu vraisemblable.

Il faut adopter une approche semblable dans le cas de la conversion de l'irrigation gravitaire à l'irrigation sous pression. L'irrigation sous pression ne permet pas toujours de réaliser de réelles économies d'eau au niveau de l'exploitation, du système et du bassin. L'irrigation localisée peut par exemple augmenter l'utilisation nette d'eau au niveau de l'exploitation par suite de l'intensification due aux cultures multiples ou de l'extension de la superficie irriguée.

Toutefois, l'adoption de l'irrigation sous pression représente aussi une étape importante vers l'amélioration de la maîtrise, de la souplesse et de la fiabilité de la fourniture d'eau d'irrigation et permet par conséquent à l'agriculture de passer de faibles rendements à des rendements élevés. De telles transformations peuvent donc se justifier non seulement sur le plan des économies d'eau mais aussi sur celui de l'augmentation de la productivité de l'irrigation. Ces points de vue sont étudiés ci-dessous, mais qui qu'il en soit, il sera toujours nécessaire de bien comprendre les changements apportés dans la distribution de l'eau et leurs implications au niveau des bassins fluviaux ou des aquifères.

L'amélioration de la productivité de l'eau utilisée pour les cultures

Il est largement admis que l'augmentation de la productivité de l'eau en agriculture, c.-à-d. la quantité de produits obtenus par volume d'eau utilisé, est l'objectif fondamental de l'irrigation. L'Évaluation globale de la gestion de l'eau dans l'agriculture (CA, 2007) étudie ce sujet en détail. La productivité agricole peut être augmentée soit en augmentant la production à partir d'un volume donné d'eau soit en réduisant le volume d'eau tout en maintenant des niveaux acceptables de production. Cette deuxième solution s'applique à l'irrigation déficitaire, une stratégie selon laquelle les agriculteurs appliquent moins d'eau d'irrigation que ce qui serait nécessaire pour répondre complètement aux besoins en eau des cultures. En acceptant une perte de rendement dans les principales cultures annuelles, l'irrigation déficitaire tente d'atteindre un optimum économique dans le rapport entre l'utilisation d'eau et le rendement des cultures dans des conditions de pénurie d'eau. Son application exige une bonne connaissance de la réaction des végétaux aux déficits hydriques dans les différents stades de la croissance afin de mettre au point un calendrier d'irrigation qui maximise les économies d'eau tout en minimisant les pertes de rendement. L'irrigation déficitaire est couramment employée dans les cultures permanentes tels que les arbres fruitiers ou la vigne où, contrairement aux cultures annuelles, il n'est pas possible de réduire les superficies cultivées ou de ne pas planter pour faire face à une pénurie d'eau. Dans le cas de l'arboriculture, l'irrigation déficitaire permet de réduire l'eau d'irrigation utilisée tout en maintenant les revenus des agriculteurs dans des conditions aréiques (FAO, 2012).

L'augmentation du rendement des cultures, (la production par unité de terre) est la plus importante source d'augmentation de la productivité de l'eau utilisée pour les cultures. Sur les trente dernières années, l'augmentation des rendements a compté pour 75 pour cent de la croissance de la production agricole et devrait rester la principale source de croissance dans la production agricole (FAO, 2006a). Dans les systèmes irrigués, l'augmentation des rendements peut être favorisée par des mesures agronomiques qui maximisent la part d'eau utilisée efficacement par la transpiration des végétaux et minimisent la part d'eau perdue par l'évaporation non efficace. Cela n'implique pas nécessairement une augmentation de l'approvisionnement en eau pour les cultures. Seule une faible proportion de l'eau supplémentaire est transformée en supplément de teneur en eau des cultures, mais cette proportion représente habituellement moins de un pour cent de l'ensemble de l'eau utilisée par les végétaux. Par conséquent, toute augmentation du rendement se traduit directement par une amélioration de la productivité de l'eau utilisée pour les cultures.

La sélection des végétaux et la biotechnologie peuvent contribuer à réduire les pertes en biomasse par une amélioration de la résistance aux ravageurs et maladies; une croissance précoce vigoureuse qui rapidement couvre le sol et/ou développe les racines; et une baisse de la vulnérabilité aux sécheresses.

Bien que des progrès considérables aient été accomplis dans plusieurs pays pauvres en eau pour ce qui touche à la réduction de l'écart entre les rendements actuels et potentiels des cultures, il reste encore beaucoup à faire à cet égard. L'augmentation des rendements peut être favorisée par l'association de divers facteurs tels que la maîtrise de l'eau, l'amélioration de la gestion des terres, les semences et une utilisation prudente d'engrais et de pesticides chimiques. L'amélioration de la maîtrise de l'eau est toutefois indispensable à l'intensification et à l'augmentation des rendements. Il existe en particulier un rapport direct entre la fiabilité et la souplesse de l'approvisionnement en eau et la capacité à investir dans la production agricole.

Par conséquent, la modernisation générale des périmètres d'irrigation (une amélioration des infrastructures et de la gestion permettant d'améliorer les services d'alimentation en eau) devrait être au cœur des stratégies nationales visant à augmenter la performance de l'agriculture. Associée à la gestion de la fertilité des sols et à la protection des plantes, la modernisation peut considérablement réduire les écarts de rendement dans la production irriguée. Dans cette optique, la FAO a mis au point plusieurs outils pour évaluer la productivité de l'agriculture irriguée. La méthodologie MASSCOTE (Techniques de cartographie des systèmes et services de fonctionnement des canaux) évalue la performance de la gestion de l'irrigation en analysant et évaluant les différents éléments d'un système d'irrigation afin de mettre au point un plan de modernisation qui améliore les services d'alimentation en eau et la rentabilité de l'exploitation et de la gestion (FAO, 2007). AquaCrop est le modèle cultural de la FAO qui permet de simuler la réaction du rendement à l'eau, ce qui est particulièrement utile pour faire face à des conditions où l'eau est un important facteur restrictif de la production végétale. (FAO, 2012).

La réattribution de l'eau en irrigation, des utilisations à faible valeur vers celles à plus haute valeur ajoutée

Les possibilités d'augmentation de la valeur par unité d'eau utilisée en agriculture (productivité économique de l'eau) varient considérablement, mais dans certains cas elles peuvent être plus prometteuses que l'augmentation de la productivité physique de l'eau. Il n'y a aucune corrélation entre les besoins en eau des cultures et le rendement économique. Ainsi dans les régions pauvres en eau il est judicieux d'utiliser l'eau pour des cultures offrant un rendement économique élevé, plutôt que pour des cultures vivrières dont le rendement économique est plus faible. En Tunisie, cet objectif est appelé *“la meilleure valorisation économique de l'eau”*¹⁵.

Dans les zones où les conditions du marché sont favorables et où la production de cultures vivrières peut être assurée par d'autres sources, il est intéressant d'encourager les agriculteurs à abandonner les cultures à moindre valeur ajoutée pour en adopter d'autres de plus haute valeur et à augmenter ainsi la productivité de l'eau en agriculture. Les cultures à haute valeur ajoutée exigent toutefois, en général, des systèmes d'approvisionnement en eau plus souples et fiables que ce qu'offrent de nombreux grands périmètres publics d'irrigation. Cela peut nécessiter des changements dans la gestion et la technologie de l'irrigation – ce n'est pas un hasard si la production de cultures commerciales est généralement associée aux eaux souterraines, qui permettent aux agriculteurs de complètement maîtriser leur approvisionnement en eau. Les cultures à haute valeur ajoutée exigent souvent beaucoup de capital et sont sensibles aux conditions du marché; pour ces raisons elles sont plus risquées pour les agriculteurs. La conversion à des cultures à haute valeur ajoutée exige qu'ils aient accès à des intrants tels que des semences, des engrais et du crédit, ainsi qu'à des technologies appropriées et du savoir-faire.

15 Information issue de la présentation de la Tunisie à la consultation d'experts.

Ce sont les stratégies nationales de sécurité alimentaire qui détermineront en partie dans quelle mesure les politiques nationales, dans les régions pauvres en eau, seront axées sur cette conversion à une agriculture productive. Le niveau d'intégration du pays dans l'économie mondiale, l'accès à des marchés importants grâce aux accords commerciaux et le niveau de confiance dans le marché mondial pour accéder aux denrées de base sont autant de facteurs qui conditionnent les stratégies alimentaires nationales et influent sur les priorités de réattribution de l'eau à des utilisations de plus grande valeur. Comme une section précédente concernant la réduction des pertes en eau l'a déjà signalé, il est toutefois possible qu'une agriculture irriguée extrêmement efficace et productive exploite simplement toutes les ressources en eau. Lorsque cette limite est atteinte, il ne reste guère d'autres options que de fixer des quotas par zones de récolte et sur les volumes d'évapotranspiration.

6.3 OPTIONS À L'EXTÉRIEUR DU SECTEUR DE L'EAU

L'investissement dans l'agriculture pluviale

L'agriculture pluviale représente 80 pour cent des terres cultivées et compte pour 58 pour cent de la production végétale mondiale (Bruinsma, 2009). Par conséquent, la production agricole dans le monde provient donc essentiellement de ce type d'agriculture. Cela a provoqué l'élargissement de la portée des questions d'eau en agriculture qui s'intéressent maintenant à la fois à l'agriculture irriguée et à l'agriculture pluviale (Wani, Rockström et Oweis, 2008; Rockström *et al.*, 2009). Les concepts de l'eau bleue (l'eau qui coule dans les cours d'eau, lacs et aquifères) et de l'eau verte (les eaux de pluie stockées dans le sol et utilisées directement par les végétaux par évapotranspiration) ont été mis en valeur pour montrer l'importance relative de l'agriculture pluviale par rapport à l'irrigation pour ce qui touche à l'utilisation de l'eau. En fait, l'eau douce consommée par l'irrigation ne représente que 20 pour cent de toute l'eau consommée par les cultures par évapotranspiration (CA, 2007).

Il y a plusieurs raisons d'investir dans l'agriculture pluviale dans le cadre d'une stratégie d'adaptation à la pénurie d'eau, mais les opportunités varient considérablement d'un endroit à l'autre. Lorsque le climat convient à l'agriculture pluviale, il existe des possibilités importantes d'améliorer la productivité là où les rendements sont encore faibles, comme c'est le cas dans de nombreuses régions d'Afrique subsaharienne (CA, 2007). Là, l'association de bonnes pratiques agricoles (par la gestion des sols, de l'eau, de la fertilité, et la lutte contre les ravageurs), de facilités d'accès vers l'amont (intrants, crédit) et l'aval (marchés) et de plans d'assurance contre les aléas climatiques peut beaucoup contribuer à améliorer la productivité agricole sans grand impact sur les ressources en eau.

C'est dans les tropiques semi-arides que la question de l'équilibre entre l'agriculture irriguée et pluviale retient le plus l'attention. Dans ces régions, l'agriculture pluviale comporte de graves risques liés au climat. De nombreuses techniques de collecte des eaux de pluie sont recommandées pour faire la soudure lors des courts épisodes de sécheresse et diminuer ainsi les risques de l'agriculture pluviale (Wani, Rockström et Oweis, 2008; Faurès et Santini, 2008). Ces techniques ne protègent toutefois pas les cultures contre les périodes de sécheresse plus longues qui peuvent entraîner de mauvaises récoltes. Les avantages, coûts et risques liés à de telles pratiques doivent être soigneusement évalués pour permettre une appréciation juste de leur bien-fondé. En outre, les tropiques semi-arides sont reconnus comme étant particulièrement vulnérables au changement climatique et à la variabilité climatique qui en découle (FAO, 2011a).

La réduction des pertes dans la chaîne alimentaire

Des pertes se produisent tout au long de la chaîne alimentaire, de la récolte au transport, en passant par le stockage et le conditionnement. D'autres pertes sont observées dans le traitement,

le commerce de gros et de détail et la consommation dans les ménages. La FAO (2011b) estime que les pertes de produits agricoles et le gaspillage de nourriture seraient de l'ordre de 30 pour cent entre le champ et l'utilisateur ultime. Il va de soi qu'une partie de ces pertes est inévitable en raison de l'allongement progressif de la chaîne alimentaire qui va de pair avec une économie moderne. Il serait toutefois judicieux, dans le cadre d'une stratégie nationale de sécurité alimentaire, de déterminer soigneusement les principales sources de pertes et d'évaluer dans quelle mesure elles pourraient être réduites.

Une autre question liée aux pertes est celle des régimes alimentaires, qui attire de plus en plus l'attention. Au fur et à mesure que les sociétés progressent, la consommation alimentaire par habitant a tendance à augmenter et les régimes se diversifient (ONU-Eau, 2006b). L'augmentation de la consommation de viande et, dans une moindre mesure, de produits laitiers accroît la pression exercée sur l'eau en raison des importants volumes d'eau que nécessite leur production (CA, 2007). Il ne relève pas de ce rapport d'évaluer dans quelle mesure les sociétés sont disposées et prêtes à modifier leurs régimes alimentaires pour participer à l'effort plus général de réduction de leur empreinte écologique. Les incidences sont toutefois importantes tant sur le plan de la sécurité alimentaire des pays que sur celui des stratégies permettant de faire face à la pénurie d'eau.

Au delà de la production agricole: l'eau virtuelle et le rôle des échanges commerciaux

Dans les pays où la pénurie d'eau est une contrainte qui fait obstacle à l'autosuffisance sur le plan de l'alimentation et d'autres denrées agricoles, il faut faire des choix stratégiques en matière de politiques nationales de sécurité agricole et concernant le rôle du commerce des produits agricoles.

Le concept de «l'eau virtuelle» a été élaboré dans les années 90 (Allan, 2001; Hoekstra et Chapagain, 2007) afin de déterminer le lien entre le commerce international et les politiques de l'eau. L'eau virtuelle est l'eau utilisée pour produire un produit: lorsque ces produits sont échangés, l'eau virtuelle change aussi de main. La stratégie de développement économique du Chili, par exemple, est fondée sur l'exportation d'eau virtuelle par l'intermédiaire du cuivre, des fruits, de la pâte à papier, du vin et du saumon¹⁶. Si un pays dispose de trop peu d'eau pour produire ce dont il a besoin pour assurer sa sécurité alimentaire nationale, il peut avoir avantage, sur le plan économique, à importer ces produits en échange de biens et de services moins exigeants en eau. Il faut aussi garder à l'esprit la possibilité d'acheter des aliments sur le marché mondial au moment des périodes de pénurie locale, à condition que le pays ait des réserves de devises étrangères suffisantes et d'autres moyens d'accéder au commerce international. Il ne faut pas oublier non plus que dans de grands pays comme la Chine, qui connaît des variations climatiques extrêmes entre les régions, le concept de l'eau virtuelle peut aussi s'appliquer aux échanges à l'intérieur du pays¹⁷.

Le concept de l'eau virtuelle suscite quelques réserves d'ordre technique, dont l'une est qu'il ne fait pas la distinction entre les cultures produites dans des conditions pluviales (où l'eau est intrinsèquement liée à la terre et par conséquent «gratuite») et celles qui sont produites avec l'irrigation (où l'eau a définitivement un coût). En ce qui concerne la viande, il faut garder à l'esprit le fait que les animaux qui vagabondent librement recueillent efficacement l'eau «virtuelle»: dans les zones arides, les pâtures qu'ils consomment ont poussé à partir de précipitations qui n'auraient pas eu d'autre usage.

16 Information issue de la présentation sur le Chili à la consultation d'experts.

17 Information issue de la présentation sur la Chine à la consultation d'experts.

Bien qu'ils ne soient pas exprimés en termes hydriques, le commerce des produits alimentaires et les échanges d'eau virtuelle qui en découlent sont une réalité et vont avoir tendance à augmenter au fur et à mesure que le nombre de pays atteignant le niveau de pénurie d'eau absolue s'élève. Il semble toutefois, selon des études empiriques, que le concept de l'eau virtuelle reste peu appliqué. D'un point de vue économétrique, l'eau virtuelle n'explique pas grand chose au niveau du commerce international. Cela ne discrédite pas le principe fondamental, mais semble suggérer que d'autres facteurs sont prédominants dans la composition d'éléments qui définissent le commerce international. Les subventions, le déficit de devises, l'hésitation à être tributaire des approvisionnements étrangers et la présence d'autres forces internes puissantes sont autant de facteurs qui expliquent les limites de l'outil opérationnel que pourrait représenter le concept de l'eau virtuelle (Fraiture *et al.*, 2004; Fraiture et Wichelns, 2010). Récemment, les pays ont été très préoccupés par la nécessité de maintenir un certain niveau de souveraineté alimentaire. La fluctuation des prix des denrées alimentaire de base et ses répercussions sur les populations, en particulier dans les pays en développement, incitent les décideurs à amender leurs politiques alimentaires en faveur d'un accroissement de l'autosuffisance. Dans les régions où l'eau est rare, cela n'influe pas sur les politiques sur l'eau et ajoute une dimension sociale et politique à la logique économique plus étroite liée au concept de l'eau virtuelle.

6.4 QUESTIONS D'ÉCHELLE ET INTERDÉPENDANCE DES OPTIONS

Toutes les options ne sont pas valides à toutes les échelles. Le tableau 6 montre comment les diverses options s'appliquent différemment au niveau du bassin fluvial, du périmètre d'irrigation et de l'exploitation, sans oublier ce qui se passe après la production. Il permet d'attirer l'attention sur les différents acteurs qui participent à l'élaboration des stratégies d'adaptation à la pénurie d'eau et sur la nécessité d'adapter les programmes aux besoins de ces différents acteurs. Il met aussi en évidence l'interdépendance des différentes options. Les options au niveau de l'exploitation, en particulier, qui visent à réduire les pertes en eau sur l'exploitation ou à augmenter la productivité de l'eau, dépendent de la qualité et de la fiabilité du service d'alimentation en eau, qui à son tour dépend du type d'infrastructure et d'équipement et, éventuellement, de la gestion de l'eau au niveau du bassin fluvial. La capacité de maîtrise de l'eau suit le même parcours que l'eau qui s'écoule des cours d'eau aux canaux et jusqu'aux champs des agriculteurs et il ne faut s'attendre à aucune amélioration importante au niveau de l'exploitation si les niveaux supérieurs ne s'améliorent pas eux-mêmes.

6.5 LA COURBE DU COÛT DE L'APPROVISIONNEMENT ALIMENTAIRE, UN OUTIL D'AIDE À LA PRISE DE DÉCISIONS

Les sections qui précèdent ont étudié l'éventail d'options qui s'offre aux décideurs pour faire face au problème de la sécurité alimentaire dans un contexte de pénurie d'eau. Les questions d'amélioration de l'approvisionnement par rapport à la gestion de la demande sont particulièrement intéressantes, tout comme les rôles relatifs que joueront la production pluviale et irriguée pour satisfaire la demande future en aliments et autres produits agricoles. L'eau est au cœur de ces débats, en tant que facteur de production majeur pour les systèmes irrigués (et pluviaux) et aussi en tant que ressource dont l'utilisation est sujette à la concurrence d'autres secteurs.

Application d'une courbe de coût aux stratégies d'approvisionnement alimentaire

Le rôle que joue l'eau dans les stratégies nationales de sécurité alimentaire doit par conséquent être examiné de manière critique pour garantir que toutes les ressources sont gérées efficacement et durablement. Le concept de la «courbe du coût de l'approvisionnement alimentaire» est un outil utile pour étayer la prise de décisions dans ce domaine. Il peut donner un aperçu de la

TABLEAU 6
Echelle d'application des différentes options

	Mesure	Bassin fluvial/aquifère	Périmètre d'irrigation	Exploitation/ parcelle	Au delà de la production
Options d'amélioration de l'approvisionnement	Réduction de la variabilité interannuelle du débit des cours d'eau	Augmentation du stockage (barrages à usages multiples)	Stockage de l'eau sur l'exploitation	Conservation de l'eau sur l'exploitation	-
	Amélioration de la capacité d'approvisionnement en eaux souterraines	Mise en valeur, gestion et reconstitution artificielle des eaux souterraines			-
	Recyclage et réutilisation de l'eau	-	Réutilisation des eaux usées urbaines pour la production végétale		-
	Lutte contre la pollution	Surveillance, régulation et mesures incitatives pour la lutte contre la pollution au niveau du bassin	-	Production et protection intégrées des végétaux	-
	Importation d'eau	Transferts entre bassins	-	-	-
Options de gestion de la demande	Réduction des pertes en eau	Amélioration de la planification de l'attribution d'eau	Transport de l'eau sous pression, amélioration du calendrier d'irrigation et de la distribution et revêtement des canaux	Application sous pression de l'eau (goutte-à-goutte), amélioration du calendrier d'irrigation et contrôle de l'humidité	-
	Augmentation de la productivité de l'eau	Amélioration des mécanismes de gestion de l'eau et de la prévisibilité de l'approvisionnement, alerte précoce	Amélioration du service d'alimentation en eau d'irrigation	Réduction des écarts de rendement par l'amélioration des pratiques agricoles	-
	Réattribution de l'eau	Transferts intersectoriels (par le biais des marchés de l'eau ou de tout autre mécanisme d'attribution de l'eau)	Mécanismes de transfert de l'eau à l'échelle du périmètre	Conversion à des cultures de plus grande valeur en agriculture irriguée, diminution des superficies cultivées sous irrigation	-
	Réduction des pertes dans la chaîne de valeur	-	-	Réduction des pertes de récoltes grâce à la lutte contre les ravageurs	Réduction des pertes après récolte dans le stockage, le traitement, la distribution et la consommation finale
	Réduction de la demande en produits et services d'irrigation	-	-	Réduction des écarts de rendement dans la production pluviale	-
	Réduction de l'utilisation d'eau par habitant	-	-	-	Modification des régimes alimentaires (régimes moins exigeants en eau)

manière dont un pays pourrait combler efficacement ses déficits alimentaires. Les déficits de l'approvisionnement alimentaire peuvent être définis comme la différence entre le niveau actuel d'approvisionnement alimentaire et un niveau désiré ou prévu d'approvisionnement alimentaire pour l'avenir, qui tienne compte de la croissance démographique et de l'évolution des habitudes alimentaires (le concept peut être étendu à des produits agricoles non alimentaires).

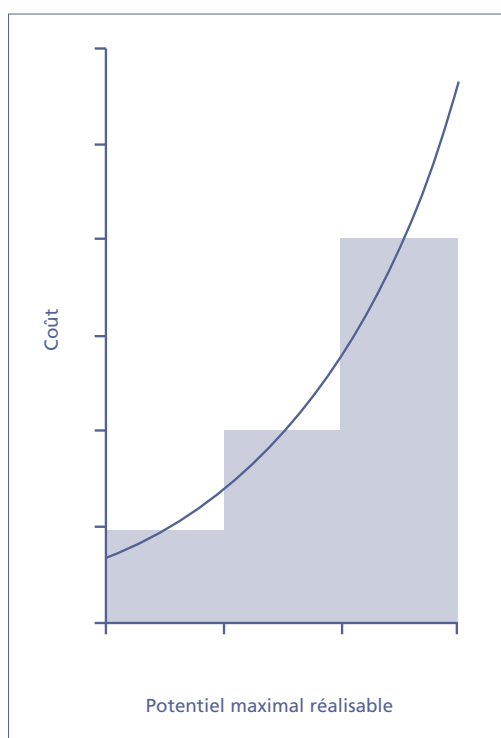
Au niveau national, l'approvisionnement alimentaire peut être représenté par l'équation suivante:

$$AA = PA + I - E - P$$

où AA = approvisionnement alimentaire; PA = production alimentaire; I = importations; E = exportations; et P = pertes dans la chaîne alimentaire.

Il faut, pour réaliser une évaluation et une prévision complètes de la demande alimentaire, fractionner la demande en grandes catégories de produits alimentaires dont la viande, le poisson et les produits laitiers. Dans ce rapport nous nous intéressons aux principales cultures alimentaires (compte tenu du fait que la demande de viande et de produits laitiers peut être exprimée en termes de matières premières et par conséquent en termes de cultures). Il existe trois possibilités de croissance pour la future production végétale (Bruinsma, 2009): l'augmentation des rendements; l'augmentation des taux d'exploitation; et l'expansion des superficies cultivées. L'augmentation de la production végétale peut par conséquent être exprimée en tant que fonction de ces trois possibilités de croissance. Parce que les modalités et les coûts qu'impliquent la gestion, la mise en valeur ou l'expansion des terres sont différents selon qu'il s'agit de conditions pluviales ou irriguées, il importe de considérer ces options séparément. Ainsi, comme les trois possibilités de croissance peuvent s'appliquer à l'agriculture pluviale et irriguée, il y a en tout six variables sur lesquelles il est possible d'agir pour atteindre un niveau donné de production végétale. A cela s'ajoutent un élément de réduction des pertes dans la chaîne alimentaire et le commerce des produits alimentaires (importations ou exportations). Les décideurs disposent donc au total de huit options qu'ils peuvent associer au mieux pour atteindre leurs objectifs d'approvisionnement alimentaire national.

FIGURE 5
Courbe de coût type pour une option donnée



Pour chacune de ces options (à l'exception du commerce), il est possible de calculer la contribution potentielle à l'objectif d'approvisionnement alimentaire national à partir du rendement maximal réalisable pour les principales cultures, des ressources en terres et en eaux disponibles et de la réduction possible des pertes alimentaires. Chacune de ces options aura typiquement une distribution des coûts exponentielle de la forme illustrée à la figure 5.

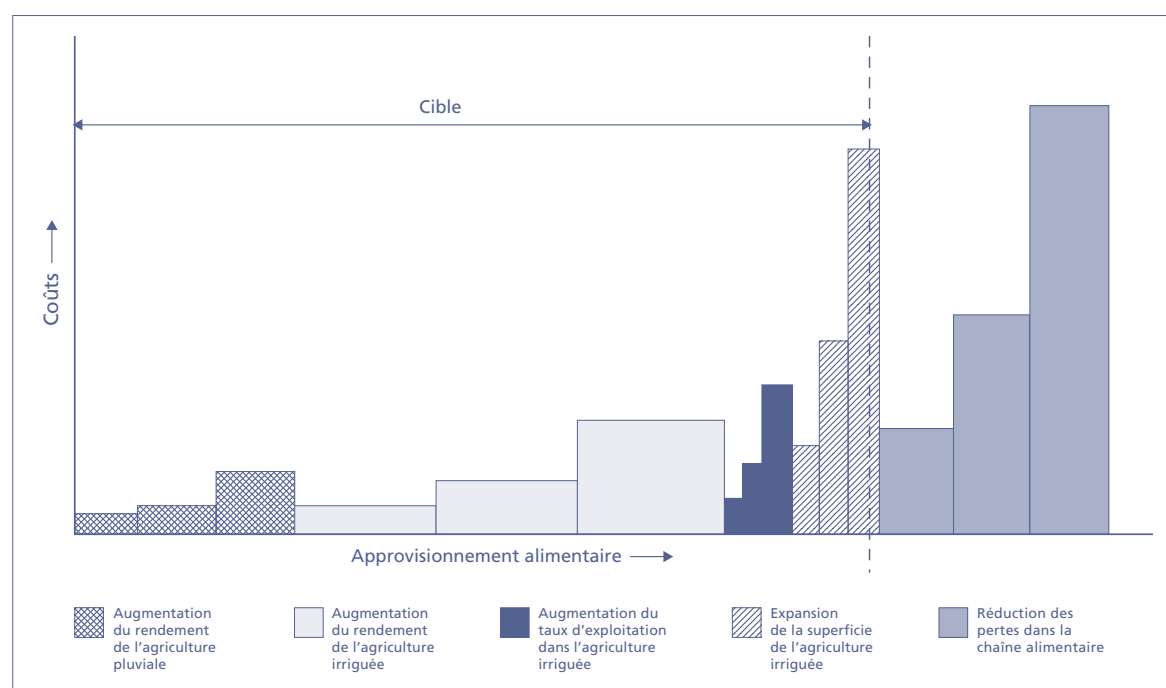
Cette distribution des coûts reflète le fait que les premiers gains sont plus faciles et par conséquent moins coûteux à obtenir que ceux qui sont plus proches du potentiel ultime. Par exemple, il est relativement facile d'augmenter les rendements des cultures pluviales à faible apport d'intrants et à faible rendement en mettant en œuvre des mesures telles que la lutte contre les adventices, la gestion améliorée de la fertilité des sols ou les semences améliorées. Il deviendra plus difficile et coûteux d'augmenter encore les rendements avec des mesures comme le développement de meilleures conditions de marché ou l'investissement dans la recherche et la vulgarisation agricole. Pour augmenter encore plus

les rendements, des mesures coûteuses deviendront nécessaires, comme la mécanisation intégrale pour une agriculture de précision. Cela vaut aussi bien pour l'augmentation des rendements que pour l'expansion des terres cultivées et de l'approvisionnement en eau d'irrigation ou la réduction des pertes dans la chaîne alimentaire. Dans le graphique de la figure 5, la courbe de coût est simplifiée et représentée par trois blocs de coûts croissants. Tel est également le cas des importations alimentaires, parce que le coût des aliments sur le marché international dépend de la capacité d'un pays à prévoir ses besoins alimentaires et que les ajustements de dernière minute sont généralement plus coûteux que les transactions traitées de bonne heure.

Sur la courbe du coût de l'approvisionnement alimentaire, l'axe x représente la quantité d'aliments supplémentaires qui peut être obtenue de ces différentes options, tandis que l'axe y montre les coûts qu'implique chaque option. Il faut établir une courbe pour chaque pays, à partir du niveau actuel d'intensification, des terres et des eaux disponibles et du niveau de pertes dans la chaîne alimentaire. La figure 6 présente l'exemple d'un pays qui tente d'atteindre l'autosuffisance alimentaire mais ne dispose plus de terres pour l'agriculture pluviale.

FIGURE 6

Options pour augmenter l'approvisionnement alimentaire et leurs coûts associés au niveau national – le cas d'un pays où toutes les ressources en terres sont déjà exploitées et où l'expansion n'est pas prévisible

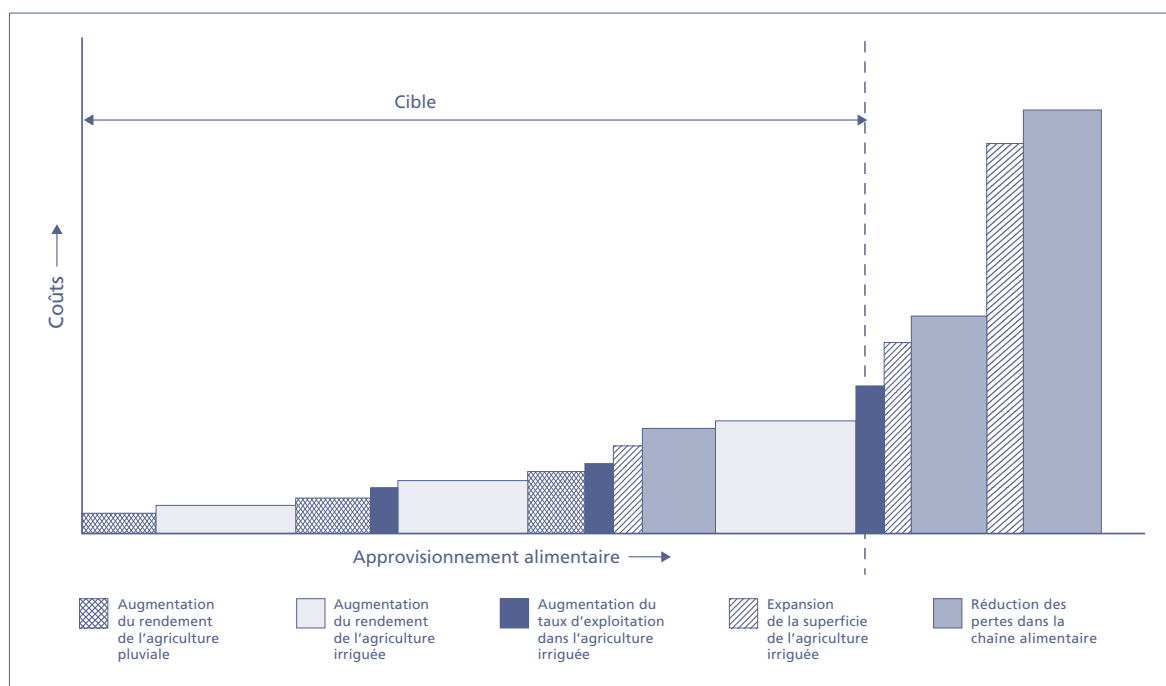


Dans la figure 6, les possibilités de croissance pour la production alimentaire reposent sur une augmentation des rendements de l'agriculture pluviale et irriguée; une augmentation de l'intensité culturale de l'agriculture irriguée; une expansion des superficies irriguées (à partir de terres précédemment utilisées pour l'agriculture pluviale – un schéma type d'intensification); et une réduction des pertes dans la chaîne alimentaire. Les coûts qu'implique la mise en œuvre des augmentations de l'approvisionnement alimentaire dans chaque catégorie sont inégaux, comme l'indique la hauteur des barres. Il faudrait définir pour chacune des catégories les mesures spécifiques qui peuvent être prises pour augmenter l'approvisionnement alimentaire national. Dans la catégorie «expansion des superficies irriguées», la première mesure, relativement bon marché, pourrait consister à agrandir les périmètres d'irrigation existants, la deuxième, intermédiaire, à augmenter l'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation, tandis que les mesures les plus coûteuses seraient la construction de réservoirs supplémentaires et des transferts entre bassins, ainsi que le développement de superficies irriguées supplémentaires dans des

endroits modérément adaptés. De la même manière, une partie des pertes après récolte dans les pays en développement peut être réduite grâce à des mesures relativement faciles à mettre en œuvre, telles que de meilleures techniques de récolte ou une amélioration du stockage des récoltes sur l'exploitation et au niveau de la communauté. Des mesures plus exigeantes pourraient être un meilleur accès aux marchés et aux informations sur les marchés; une amélioration des infrastructures pour faciliter les transports; et une amélioration des technologies de stockage, de traitement et de conditionnement. La courbe du coût de l'approvisionnement alimentaire s'obtient en classant les options par niveau croissant de coût. La figure 7 montre l'association d'options la plus rentable qui serait nécessaire pour combler un déficit donné de l'approvisionnement alimentaire.

FIGURE 7

Courbe du coût de l'approvisionnement alimentaire – le cas d'un pays où toutes les ressources en terres sont déjà exploitées

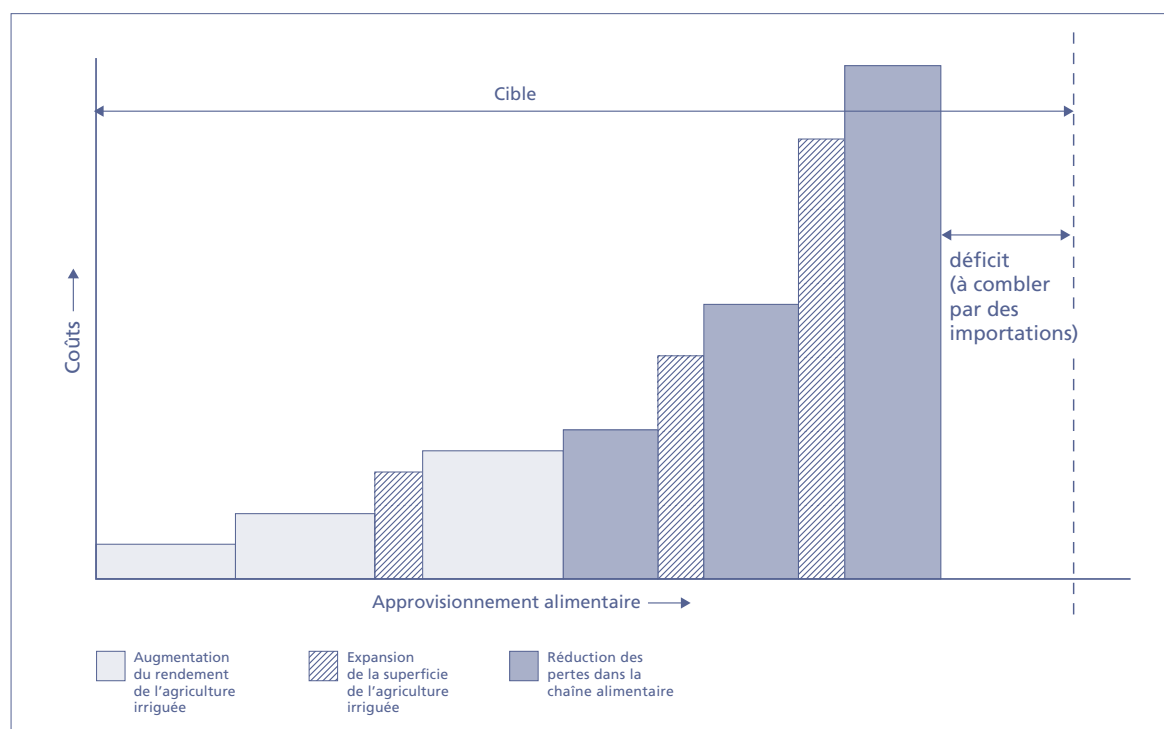


Les options possibles par catégorie sont différentes pour chaque pays, tout comme les coûts qui leur sont associés. Les mesures qui pourraient être prises du côté droit du graphique sont les plus coûteuses et pourraient peut-être être évitées grâce à des importations d'aliments. Cela se comprend plus facilement à la figure 8, un exemple de courbe du coût de l'approvisionnement alimentaire pour un pays où les ressources ne suffisent pas à satisfaire les besoins nationaux.

Le pays de l'exemple de la figure 8 ne peut produire des aliments que par l'irrigation. L'agriculture y est déjà intensive et il n'y a aucune possibilité d'augmenter les taux d'exploitation. Les possibilités de croissance pour augmenter la production sont les augmentations des rendements et peut-être l'expansion des superficies irriguées. Le graphique montre que ce pays ne peut pas être autosuffisant pour son approvisionnement alimentaire national. Quelques économies d'approvisionnement alimentaire peuvent être réalisées en réduisant les pertes dans la chaîne alimentaire mais de nombreuses options dans cette catégorie sont souvent considérées comme trop coûteuses. Le graphique montre qu'une partie du déficit de l'approvisionnement alimentaire devra être comblé par des importations à partir du marché international. Dans de nombreux cas, le coût des aliments sur le marché international est moins élevé que le coût des options les plus coûteuses d'approvisionnement alimentaire national. Cela devra se négocier sur le plan intérieur en tenant compte des objectifs de politique générale en matière de souveraineté alimentaire et de sécurité alimentaire nationale.

FIGURE 8

Exemple d'une courbe du coût de l'approvisionnement alimentaire – le cas d'un pays à ressources rares et à déficit vivrier



Calcul de la courbe du coût de l'approvisionnement alimentaire

La courbe de coût décrite précédemment offre une méthode simple mais puissante pour déterminer et classer les options de production alimentaire dans des conditions de pénurie d'eau. Une grande part de sa complexité tient au fait qu'il est délicat d'établir les courbes de coût individuelles pour les différentes options et que cela exige une bonne compréhension des conditions agronomiques, hydrologiques et socio-économiques dans lesquelles auront lieu les améliorations envisagées.

L'augmentation des rendements, par exemple, procédera dans la plupart des cas d'une combinaison d'améliorations agronomiques et économiques qui ne peuvent guère être considérées séparément. Bien qu'en général il y ait toujours un facteur restrictif principal, c'est en général l'association de plusieurs bonnes pratiques agricoles qui suscite une augmentation des rendements plutôt que l'une de ces pratiques à elle seule.

Un autre élément qui compte pour le calcul de la courbe de coût est le niveau d'incertitude associé à la production dans des conditions pluviales et irriguées. Ce niveau d'incertitude est généralement plus élevé dans des conditions pluviales que pour l'agriculture irriguée, étant donné que l'approvisionnement en eau dépend exclusivement des précipitations, avec des variations entre les pays ou à l'intérieur des pays selon les caractéristiques climatiques prédominantes. Ces risques liés à la production, qui jouent un rôle important dans le processus décisionnel, doivent être reflétés dans la courbe de coût.

Il en va de même pour les importations d'aliments et les risques qu'elles comportent, liés à la volatilité des prix des aliments sur le marché international. Pour faire face à ces risques, il est possible d'augmenter le stockage des approvisionnements, d'établir des contrats exclusifs à long terme pour la production d'aliments à l'extérieur du pays ou de faire des transactions précoces sur le marché mondial. La courbe du coût de l'approvisionnement alimentaire permet d'analyser la rentabilité de toutes ces options.

Enfin, la courbe de coût peut être affinée sur divers plans influençant le processus décisionnel. Le coût d'une option donnée peut être considéré exclusivement en termes économiques mais peut aussi être élargi pour refléter les aspects environnementaux, sociaux et politiques nécessaires pour prendre des décisions éclairées.

7. Principes d'action

La section 6 a décrit les diverses options dont disposent les différents types de décideurs pour faire face au défi que représente la pénurie d'eau et considérer le rôle de l'agriculture. Le choix des options et leur potentiel relatif dépendront d'une série de conditions, dont les facteurs agroclimatiques locaux, les niveaux de pénurie d'eau, le rôle joué par l'agriculture dans les économies nationales et les valeurs sociétales. Il repose également sur des facteurs externes, dont le commerce mondial, le contexte de la coopération et les perspectives du changement climatique. En outre, étant donné l'évolution rapide des contextes géopolitiques, sociétaux et environnementaux, ce qui semble aujourd'hui une option optimale peut ne plus être valide demain. Une approche type est donc impossible et il est peu probable qu'un ensemble unique d'options puisse être désigné comme la solution «optimale» ni qu'une option particulière puisse être considérée comme désirable – ou possible – dans tous les contextes.

Il apparaît toutefois clairement que ne rien faire aboutit à une dégradation de l'environnement, à une utilisation sous-optimale de ressources rares, à une inégalité de l'accès à ces ressources et à un coût pour l'économie et le bien-être social. Tout cela peut entraîner des conflits à tous les niveaux, de l'exploitation agricole au bassin fluvial international.

Puisque les solutions stratégiques à la pénurie d'eau sont par nature propres à chaque cas particulier, cette section de conclusions propose quelques principes génériques valides pour différents contextes socio-économiques. Six principes fondamentaux ont été définis et sont étudiés ci-dessous. Ils représentent ensemble le point de départ indispensable à l'élaboration de toute stratégie efficace, efficiente et durable d'adaptation à la pénurie d'eau en agriculture.

7.1 CONNAISSANCE: FONDER LES STRATÉGIES SUR UNE COMPRÉHENSION CLAIRE DES CAUSES ET EFFETS DE LA PÉNURIE D'EAU

Les stratégies d'adaptation à la pénurie d'eau devraient se fonder sur une bonne compréhension des causes de la pénurie d'eau, à l'échelle nationale et locale. Il faudrait utiliser comme point de départ une comptabilité détaillée de l'approvisionnement et de la demande en eau, qui formera la base à partir de laquelle des stratégies d'adaptation pourront être définies, adaptées et élaborées. A cette étape, le fait qu'il y a des limites à l'eau qui peut être exploitée et qu'il peut y avoir des causes multiples à la pénurie d'eau (relevant de l'aspect approvisionnement aussi bien que demande) qui toutes varient dans le temps et l'espace doit être reconnu. Il importe également de comprendre les liens qui existent avec les différents secteurs de l'économie car les principales causes de la pénurie d'eau ont toutes les chances de se situer en dehors du secteur de l'eau (ex.: des politiques économiques ou agricoles qui encouragent l'utilisation non durable des ressources en eau). Il est par conséquent important de fonder les stratégies sur les meilleures informations disponibles et pas seulement sur les oui-dire ou l'intuition (qui peuvent toutefois offrir des indices intéressants).

L'importance d'une bonne compréhension du cycle hydrologique au moment de l'élaboration des politiques sur l'eau a été soulignée au chapitre 5. De multiples facteurs ont une incidence sur l'efficacité des actions envisagées, tels que l'interdépendance des eaux souterraines et de surface, des bassins de captage en amont et en aval, de la qualité et des volumes et l'importance de la réutilisation de l'eau dans les bassins fluviaux. La comptabilité de l'eau constitue une base solide à l'élaboration de stratégies fondées sur des données probantes et à leur adaptation au

fur et à mesure de l'apparition de nouvelles informations. Toute compréhension erronée des implications hydrologiques des actions envisagées peut avoir des conséquences inattendues et des stratégies bien intentionnées mais mal fondées d'adaptation à la pénurie d'eau peuvent avoir des effets pervers sur la manière dont l'eau est distribuée dans le bassin fluvial, sans réaliser les économies attendues.

La planification intégrée offre des opportunités à l'amélioration de la gestion de la demande en eau. Il est indispensable, lorsque l'eau est rare, de s'intéresser tout particulièrement aux possibilités de réutilisation des utilisations récupérables qui n'épuisent pas la ressource à toutes les étapes de la planification, de l'élaboration et de la mise en œuvre de plans d'approvisionnement et d'utilisation de l'eau à usages multiples (ONU-Eau, 2009).

7.2 IMPACT: ÉVALUER L'ÉVENTAIL COMPLET DES COÛTS ET AVANTAGES ET UTILISER DES CRITÈRES DE DÉCISION SYSTÉMATIQUES ET EXHAUSTIFS

Les critères coût-avantages et coût-efficacité jouent un rôle crucial dans le choix des options, parallèlement à d'autres critères tels que l'équité, l'impact sur l'environnement et d'autres valeurs sociales collectives. Il est toutefois difficile de saisir complètement et précisément dans l'analyse coût-avantages toutes les répercussions possibles des projets concernant l'eau sur les populations ou l'environnement et il y a eu une tendance à surestimer les bénéfices nets des améliorations, en particulier pour ce qui est des grandes infrastructures. Selon Molle (2003), les techniques de l'analyse coût-avantages sont malléables et n'ont pas montré qu'elles suffisaient, seules, à mettre en place de meilleures pratiques de planification.

L'analyse coût-efficacité peut sembler plus simple, dans la mesure où ses bénéfices n'ont pas besoin d'être directement estimés. Mais elle est aussi multi-dimensionnelle et les paramètres d'un cas particulier peuvent changer sur la durée avec l'évolution de notre compréhension des processus et valeurs sociaux et environnementaux et le développement économique différentiel des différents secteurs. Une option valide il y a vingt ans dans un lieu donné peut ne plus l'être aujourd'hui. Les préoccupations croissantes que suscite la construction des grands barrages et l'amélioration des connaissances à ce sujet en sont un bon exemple (Commission mondiale des barrages, 2000).

Les options d'amélioration de l'approvisionnement et de gestion de la demande s'accompagnent de coûts et d'avantages inhérents dont la répartition spatiale et sociale diffère. La répartition respective des avantages entre les intérêts privés et collectifs dépendra du contexte de gouvernance, tel le processus décisionnel, et de ses caractéristiques intrinsèques en matière de transparence et de responsabilité. Ces questions sont traitées dans la section qui suit.

En ce qui concerne l'approvisionnement alimentaire, la courbe de coût étudiée à la section 6 représente une option valide pour l'analyse coût-efficacité, puisqu'elle prend clairement en compte l'interdépendance et l'interconnexion des options et les étaye par un examen approfondi des implications que les options réalisables peuvent avoir sur l'eau. Elle constitue un moyen utile de classer les interventions selon leur rentabilité et d'évaluer le coût de diverses associations d'options.

7.3 CAPACITÉ: VEILLER À CE QU'UN NIVEAU ADÉQUAT DE GOUVERNANCE DE L'EAU ET DE CAPACITÉ INSTITUTIONNELLE SOIT MIS EN PLACE

Au fur et à mesure que l'amélioration de l'approvisionnement atteint ses limites dans un nombre croissant de régions, les options de gestion de la demande gagnent en importance

pour l'adaptation à la pénurie d'eau, ce qui exige des institutions plus fortes et plus efficaces. La pénurie d'eau suscitera des tensions entre les utilisateurs, ce qui risque d'avoir des effets négatifs sur les groupes sociaux marginaux et politiquement faibles et sur l'environnement. Des institutions fortes seront nécessaires pour garantir une répartition équitable des avantages parmi les différentes catégories d'utilisateurs de l'eau.

Le développement de telles institutions constitue encore un défi majeur (Pritchett, Woolcock et Andrews, 2010). Une distribution plus «contextualisée» des rôles et responsabilités; la responsabilisation des institutions locales, dont les groupes d'utilisateurs; la révision des politiques; l'adaptation des lois; et l'utilisation de mécanismes d'incitation tels que des taxes et subventions – toutes ces mesures sont valables (Rogers et Hall, 2003) mais l'application de modèles universels ou panacées semble n'avoir eu que peu de répercussions positives (Meinzen-Dick, 2007; Merry et Cook, 2012). Il faut toutefois se demander pourquoi des bureaucraties ou groupes d'intérêts dysfonctionnels voudraient se réformer. La corruption, le manque de transparence et l'absence de responsabilisation sont des raisons qui expliquent la faiblesse des performances, la résistance au changement et l'inégalité des prestations de services. En réalité, les changements réels sont plutôt déclenchés par des chocs extérieurs aux institutions tels que d'importants bouleversements politiques au plus haut niveau ou la mobilisation de la société civile (et la démocratisation de la société au sens large) que par l'effet de réformes internes.

Les stratégies de gestion en vigueur peuvent cesser d'être viables lorsque la nature ou la gravité de la pénurie d'eau évolue sur la durée ou parce que le contexte institutionnel et légal n'est plus adapté aux conditions qui prévalent. Les lois ne peuvent être appliquées que par le biais de sanctions négatives: des mesures d'incitation positives sont nécessaires, ainsi que des efforts pour mettre en place une nouvelle culture de gestion de l'eau. Cela comprend des campagnes de sensibilisation de la population et des programmes éducatifs scolaires. Cela exige également un renforcement des capacités et de la formation dans la bureaucratie traditionnellement en charge de l'eau et aux niveaux intermédiaires et locaux d'administration, où les institutions sont souvent faibles et mal préparées à faire face au changement (Mathew et Le Quesne, 2009).

La pénurie d'eau posera des problèmes particuliers à la gestion des grands périmètres d'irrigation. Cela exigera la définition, l'attribution et la surveillance de droits ou quotas volumétriques suffisamment souples pour protéger l'environnement social et les intérêts économiques essentiels dans des conditions d'approvisionnements fluctuants et d'augmentation de la pénurie (Hodgson, 2006). Un tel régime ne sera pas facile à mettre en place et exigera que les débits d'eau soient mesurés et surveillés de manière très précise.

Le changement institutionnel devrait occasionner un surcroît de collaboration au niveau de la gestion et de partenariat entre les secteurs public, privé et autres. Lorsque les réformes engagent un retrait du secteur public par rapport aux tâches opérationnelles, la supervision des pouvoirs publics devient cruciale. Dans un tel contexte, la position et le statut précis des autorités de contrôle au sein de l'administration sont déterminants mais l'expérience montre qu'il n'est pas facile de modifier les modes préexistants de fonctionnement du pouvoir bureaucratique.

L'amélioration de la gouvernance a également des effets sur le financement. Il faut des régimes de financement réalistes pour couvrir les coûts engagés tout au long du cycle de vie des initiatives et programmes d'adaptation à la pénurie d'eau. Dans de nombreux cas, cela implique d'accorder moins d'importance aux coûts d'investissement dans la construction et la technique pour mettre davantage l'accent sur le renforcement des capacités, la planification associant les parties prenantes, l'exploitation et l'entretien et d'autres dépenses de soutien institutionnel à long terme.

7.4 SPÉCIFICITÉ DU CONTEXTE: ADAPTER LES MESURES AUX CONDITIONS LOCALES

La réaction d'adaptation d'un pays à la pénurie d'eau dépend en grande partie de ses conditions physiques et socio-économiques propres. Au niveau national, la corrélation entre le PIB et la pénurie d'eau est faible, bien qu'il y ait un rapport entre le PIB et les options disponibles. Les pays plus riches disposent de davantage d'options pour s'adapter à la pénurie d'eau que les pays pauvres: le dessalement est une option abordable pour l'Arabie saoudite, mais pas, à la même échelle, pour des pays moins riches de la même région comme l'Égypte et le Yémen. La faisabilité des options dépendra également du coût du capital et de la main d'œuvre et du rôle de l'agriculture dans l'économie. Les pays pauvres dans lesquels l'agriculture est l'un des principaux secteurs économiques ont moins d'opportunités que d'autres de faire face à la pénurie d'eau sans perturber considérablement l'économie et les moyens d'existence des populations.

Il existe de grandes différences entre les pays et les régions pour ce qui est de leur taux d'exploitation des ressources en eau. Des pays comme l'Iraq et l'Ouzbékistan prélèvent beaucoup plus d'eau par personne que d'autres pays souffrant de pénuries d'eau du même ordre. Dans ces pays, les politiques mettront nécessairement plus l'accent sur la gestion de la demande, par rapport à des pays où la pénurie d'eau est moins grave. En résumé, l'éventail d'options permettant de faire face à la pénurie d'eau varie selon les circonstances économiques et physiques.

7.5 COHÉRENCE DES POLITIQUES: VEILLER À CE QUE LES POLITIQUES SUR L'EAU, L'AGRICULTURE ET LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE SOIENT ALIGNÉES

Les politiques, lois et mesures fiscales ont des effets importants sur ce qui se passe au niveau local et à celui des districts, en particulier relativement à la fixation de limites à la participation des parties prenantes aux processus décisionnels et à la formulation claire de leurs rôles et responsabilités (Moriarty *et al.*, 2008). Le bon alignement des nombreuses politiques en jeu, des éléments de la législation et des mesures fiscales qui influencent la gestion de l'eau, la fourniture des services et le niveau de la demande est absolument crucial. Il arrive souvent que des décisions extérieures au domaine de l'eau, telles que celles qui concernent les prix de l'énergie, les accords commerciaux, les subventions à l'agriculture et les stratégies de réduction de la pauvreté aient des répercussions majeures sur l'approvisionnement et la demande en eau et par conséquent sur la pénurie d'eau.

L'agriculture et la sécurité alimentaire sont intimement liées à l'eau et par conséquent les politiques portant sur ces domaines doivent être cohérentes. En temps de crise et lorsque les marchés sont volatiles, la préoccupation absolue des dirigeants nationaux est de nourrir leurs populations. Les autorités responsables de l'eau devraient cesser de la considérer comme le «compartiment» d'un secteur et s'engager de manière plus proactive avec les autres secteurs économiques afin que leurs stratégies d'adaptation à la pénurie d'eau soient cohérentes avec les grandes décisions prises ailleurs (ONU-Eau, 2009). Un tel dialogue intersectoriel est essentiel pour «opérationnaliser» le concept de la gestion intégrée des ressources en eau.

7.6 ANTICIPATION: S'ADAPTER AUX CHANGEMENTS GRÂCE À UNE PRISE DE DÉCISIONS ROBUSTE ET UNE GESTION ADAPTATIVE

Les moteurs du changement s'accroissent dans le secteur de l'eau, forçant la prise de décisions dans un climat d'accroissement des incertitudes. L'un de ces moteurs – le changement climatique – multiplie la fréquence et l'intensité des événements extrêmes et exige par là même une résilience accrue des populations et de la société. La principale préoccupation actuelle tient au fait que les possibilités de changement progressif des stratégies d'adaptation sont en train d'atteindre leurs

limites parce que l'évolution de l'approvisionnement et de la demande devient trop rapide pour permettre une réelle adaptation.

Il y a un risque de déraillement des stratégies d'adaptation à la pénurie d'eau en raison de facteurs externes et de changements qui se produisent hors du contrôle des responsables de l'élaboration et de la mise en œuvre de ces stratégies. Parmi ces facteurs de risque externe figurent le changement climatique, la situation économique et financière mondiale et le système de gouvernance internationale dans lequel les pays fonctionnent. Dans un tel contexte, l'élaboration de scénarios fait partie intégrante de l'élaboration des stratégies et représente un moyen de déterminer, de limiter ou d'atténuer ces risques. Les risques deviennent de plus en plus difficiles à prédire. Par conséquent, il est inutile de chercher à mettre au point des stratégies optimales quand c'est une évaluation et une adaptation continue des stratégies qui sont nécessaires.

Les professionnels de l'eau ont élaboré des approches efficaces pour faire face à l'incertitude liée à la nature stochastique du climat mais ils sont maintenant confrontés à des difficultés croissantes de planification et de gestion de l'eau dans des conditions d'incertitude croissante en matière d'approvisionnement et de demande en eau. Les concepts de la prise de décisions robuste (Groves, 2006) et de la gestion adaptative ont bouleversé de nombreux débats sur la gestion de l'eau en reconnaissant qu'il est très difficile de prédire avec grande certitude les futurs schémas d'approvisionnement et de demande (Moench, Caspari et Dixit, 1999). Dans ces conditions, les systèmes de gestion doivent être souples, capables de s'adapter à de nouveaux défis et fondés sur un apprentissage social et institutionnel continu. La prise de décisions robuste fait largement appel aux scénarios pour prendre des décisions qui soient solides dans un éventail d'alternatives futures. La gestion adaptative accepte que dans une situation complexe il ne peut jamais y avoir suffisamment d'informations pour parvenir à une décision optimale. Elle met par conséquent l'accent sur une planification souple étayée par des systèmes puissants de surveillance et de gestion de l'information qui permettent une adaptation constante et une amélioration périodique des plans et activités. Un tel niveau de réactivité n'est possible que si l'information et les connaissances sont mises à jour et si les systèmes de surveillance et d'évaluation fournissent continuellement aux décideurs des informations fiables sur lesquelles ils puissent fonder leurs décisions d'adaptation. Le cadre stratégique d'adaptation (PNUD, 2004) offre une approche semblable qui cible plus particulièrement l'incertitude due au changement climatique.

L'amélioration de la résilience des usagers de l'eau aux chocs et événements extrêmes est une partie essentielle de toute stratégie efficace d'adaptation à la pénurie d'eau. Étant donné qu'il y a un risque que l'ampleur et la fréquence des événements extrêmes augmentent, des méthodes fondées sur des scénarios devraient être appliquées à la résilience de la planification. Pratiquement parlant, une stratégie résiliente d'adaptation est une stratégie qui peut être efficace dans le plus vaste éventail de scénarios élaborés au cours de l'analyse des risques.

Références

2030 Water Resources Group. 2009. Charting our water future. Economic framework to inform decision-making. Mc Kinsey & Company. 185 p.

Abrams, L. 2009. Water scarcity. www.africanwater.org/drought_water_scarcity.htm Accessed 4 July 2004.

AIT [Asian Institute of Technology]. 2009. Water saving irrigation practices in rice-based canal systems. Findings from a Regional Workshop organized in cooperation with the University of Copenhagen, 8–9 October 2009, Bangkok, Thailand.

Allan, J.A. 2001. *The Middle East Water Question: Hydropolitics and the Global Economy*. I B Tauris, London, UK.

APFAMGS [Andhra Pradesh Farmer Managed Groundwater System Project]. 2009. Nationally Executed Partnership project between BIRDS and FAO. See <http://www.fao.org/nr/water/apfarms/index.htm> Accessed 10 July 2012.

Aylward, B., Seely, H., Hartwell, R. & Dengel, J. 2010. The economic value of water for agricultural, domestic and industrial uses: a global compilation of economic studies and market prices. Report prepared for FAO. 31 May 2010. Available at [http://www.ecosystemeconomics.com/Resources_files/Aylward%20et%20al%20\(2010\)%20Value%20of%20Water.pdf](http://www.ecosystemeconomics.com/Resources_files/Aylward%20et%20al%20(2010)%20Value%20of%20Water.pdf) Accessed 10 July 2012.

Batchelor, C.H., Rama Mohan Rao, M.S. & Monahar Rao, S. 2003. Watershed development: A solution to water shortages in semi-arid India or part of the problem? *Land Use & Water Resources Research*, 3: 1–10.

Bastiaanssen, W.G.M. 2009. Water accounts: de nieuwe generatie waterbeheercontroleurs. Intreerede Technische Universiteit Delft. (in Dutch).

Brisbane Declaration. 2007. Proclaimed at the 10th International River Symposium and International Environmental Flows Conference, held in Brisbane, Australia, 3–6 September 2007.

Brooks, D.B., Rached, E. & Saade, M. 1997. Management of water demand in Africa and the Middle East. Current Practices and Future Needs. IDRC.

Bruinsma, J. 2009. *The resource outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050?* Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. FAO. Available at <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/ak542e/ak542e06.pdf> Accessed 10 July 2012.

CA [Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture]. 2007. *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management In Agriculture*. Earthscan, London, UK, and International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

Chapagain, A.K. & Hoekstra, A.Y. 2004. *Water footprints of nations*. Volume 1. Main Report. UNESCO-IHE.

COMMAN. 2005. *Managing groundwater resources in rural India: the community and beyond*. BGS Commissioned Report CR/05/36N. ODI, London, UK. Available at <http://www.odi.org.uk/resources/details.asp?id=3059&title=ground-water-resources-rural-india-community> Accessed 4 July 2012.

Falkenmark, M. 1984. New ecological approach to the water cycle: ticket to the future. *AMBIO*, 13(3): 152–160.

Falkenmark, M. & Widstrand, C. 1992. Population and Water Resources: A delicate balance. Population Bulletin. Population Reference Bureau, Washington, USA.

Falkenmark, M. 1989. The massive water scarcity threatening Africa – why isn't it being addressed? *Ambio*, 18(2): 112–118.

FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations]. 1997. Modernization of irrigation schemes: past experiences and future options. *Water Report 12*. FAO/RAP Publication 1997/22. Bangkok, Thailand.

FAO. 2003. Re-thinking the approach to groundwater and food security. *FAO Water Reports*, no. 24.

FAO. 2004. Water charging in irrigated agriculture. An analysis of international experience. Prepared by G. Cornish, B. Bosworth, C. Perry and J. Burke. *FAO Water Reports*, no. 28.

FAO. 2006a. *World agriculture: towards 2030/2050*. Interim report. FAO, Rome, Italy.

FAO. 2006b. *Water desalination for agricultural applications*. Prepared by J. Martínez Beltrán and S. Koo-Oshima. *FAO Land and Water Discussion Paper*, no. 5.

FAO. 2007. Modernizing irrigation management – the MASSCOTE approach: Mapping System and Services for Canal Operation Techniques. Prepared by Renault, D., Facon, T. & Wahaj, R. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, No 63.

FAO. 2008. Expert meeting on Climate change, water and food security. 26–28 February 2008. Contribution to the High Level Conference on World Food Security and the Challenge of Climate Change and Bio-energy on Water and Climate Change.

FAO. 2010: The Wealth of Waste. The economics of wastewater use in agriculture. Prepared by J. Winpenny, I. Heinz and S. Koo-Oshima. *FAO Water Reports*, no. 35.

FAO. 2011a. Climate change, water and food security. Prepared by H. Turrall, J. Burke and J.-M. Faurès. *FAO Water Reports*, no. 36.

FAO. 2011b. Global food losses and food waste; extend causes and prevention. Study conducted for the International Congress "Save Food!" at Interpack2011, Düsseldorf, Germany.

FAO. 2012. Crop yield response to water. Prepared by P. Steduto, T.C. Hsiao, E. Fereres and D. Raes. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, no. 66. 500 p.

FAO-AQUASTAT. 2012. FAO Global information system on water and agriculture. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/maps/index.stm>

- Faurès, J.-M. & Santini, G.** 2008. Water and the rural poor: interventions for improving livelihoods in sub-Saharan Africa. FAO/IFAD.
- Faurès, J.-M., Svendsen, M. & Turrall, H.** 2007. Re-inventing irrigation. *In: D. Molden (editor). Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture.* Earthscan, London, UK, and International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Fraiture, C. de, & Wichelns, D.** 2010. Satisfying future water demands for agriculture. *Agricultural Water Management*, 97: 502–511.
- Fraiture, C. de, Cai, X., Amarasinghe, U., Rosegrant, M. & Molden, D.** 2004. Does cereal trade save water? The impact of virtual water trade on global water use. Comprehensive Assessment Research Report no. 4. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Frederiksen, H.D.** 2009. The world water crisis and international security. *Middle East Policy*, 16(4): 76–89.
- Frederiksen, H.D. & Allen, R.G.** 2011. A common basis for analysis, evaluation and comparison of offstream water uses. *Water International*, 36(3): 266–282.
- Gleick, P.H., Christian-Smith, J. & Cooley, H.** 2011. Water-use efficiency and productivity: re-thinking the basin approach. *Water International*, 36(7): 784–798.
- Groves, D.G.** 2006. New Methods for Identifying Robust Long-Term Water Resources Management Strategies for California. Pardee RAND Graduate School (PRGS) Dissertation Series, Santa Monica, CA, USA.
- GWP [Global Water partnership].** 2000. Integrated water resources management. TAC Background Paper, No. 4. Technical Advisory Committee. Stockholm, Global Water Partnership. 67 p. Available at http://www.gwp.org/Global/GWP-CACENA_Files/en/pdf/tec04.pdf Accessed 4 July 2012.
- GWP.** 2009. Dublin statements and principles.
- Hodgson, S.** 2006. Modern water rights: theory and practice. *FAO Legislative Study* No. 92.
- Hoekstra, A.Y. & Chapagain, A.K.** 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, 21(1): 35–48.
- Hsiao, T.C., Steduto, P. and Fereres, E.** 2007. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrigation Science*, 25(3): 209–231.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change].** 2007. Fourth Assessment Report. IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland. <http://www.ipcc.ch/>.
- IPCC.** 2008. Climate Change and Water. Edited by B.C. Bates, Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof. IPCC Technical Paper VI. IPCC Secretariat, Geneva. 210 p.
- Keller, J.** 2000. Re-engineering irrigation to meet growing freshwater demands. pp. 21–39, *in: Proceedings of the 4th decennial symposium of the American Society of Agricultural Engineers.* American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, Michigan, USA.

Keller A.A. & Keller, J. 1995. Effective efficiency: a water use efficiency concept for allocating freshwater resources. Discussion Paper No. 22. Center for Economic Policy Studies, Winrock International. 19 p.

Keller, J., Keller, A. & Davids, G. 1998. River basin development phases and implications of closure. *Journal of Applied Irrigation Science*, 33(2): 145–164.

Keller A.A., Keller, J. & Seckler, D. 1996. Integrated water resource systems; theory and policy implications. In: Research Report No. 3. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka 14 p.

Loeve, R., Hong, L., Dong, B., G-Man, Chen, C.D., Dawe, D. & Barker, R. 2004. Changes in long-term trends in intersectoral water allocation and crop productivity in Zhanghe and Kaifeng, China. In: R. Barker (Guest Editor). *Paddy and Water Environment*. 2(4).

Mathew, J. & Le Quesne, T. 2009. Adapting water management: a primer on coping with climate change. WWF Water Security Series No. 3.

Meinzen-Dick, R. 2007. Beyond panaceas in irrigation institutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(39): 15200–15205.

Merry, D.J. & Cook, S. 2012. Fostering institutional creativity at multiple levels: Towards facilitated institutional bricolage. *Water Alternatives*, 5(1): 1–19.

Moench, M. 2002. Water and the potential for social instability: Livelihoods, migration and the building of society. Natural Resources Forum 26. United Nations.

Moench, M., Caspari, E. & Dixit, A. 1999. Rethinking the mosaic: Investigations into local water management. Nepal Water Conservation Foundation, Kathmandu, Nepal.

Molden, D. 1997. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper 1. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

Molden, D.J., El Kady, M. & Zhu, Z. 1998. Use and productivity of Egypt's Nile water. In: J.I. Burns and S.S. Anderson (editors). *Contemporary challenges for irrigation and drainage*. Proceedings of the USCID 14th Technical Conference on Irrigation, Drainage and Flood Control, Phoenix, Arizona, USA, 3–6 June 1998. USCID, Denver, CO, USA.

Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A. & Kijne, J. 2010. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, 97(4 Special Issue): 528–535.

Molden, D., Sakthivadivel, R. & Keller, J. 2001. Hydronomic zones for developing basin water conservation strategies. Research Report No. 56. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka. 30 p.

Molle, F. 2003. Development trajectories of river basins: a conceptual framework. IWMI Research Report No. 72. Colombo, Sri Lanka.

Molle, F. 2008. Why enough is never enough: The societal determinants of river basin closure. *International Journal of Water Resource Development*, 24(2): 247–256.

- Molle, F. & Berkoff, J.** (editors). 2007. *Irrigation Water Pricing: the gap between theory and practice*. Produced for the Comprehensive Assessment of water management in agriculture. CABI, Wallingford, UK.
- Molle, F. & Mollinga, P.** 2003. Water poverty indicators: conceptual problems and policy issues. *Water Policy*, 5(5-6): 529–544.
- Moriarty, P.M, Butterworth, J.A. & Batchelor, C.H.** 2004. Integrated Water Resources Management and the domestic water and sanitation sub-sector. IRC Thematic Overview Paper. Available at <http://www.irc.nl/page/10431> Accessed 4 July 2012.
- Moriarty, P., Batchelor, C., Abd-Alhadi, F.T., Laban, P. & Fahmy, H.** 2008. The EMPOWERS approach to water governance: Guidelines, Methods and Tools. Available at <http://www.project.empowers.info/page/2850> Accessed 4 July 2012.
- OECD/FAO.** 2008. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2008-2017*. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France, and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. Available at <http://www.fao.org/es/ESC/common/ecg/550/en/AgOut2017E.pdf> Accessed 4 July 2012.
- Perry, C.** 2007. Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations. *Irrigation and Drainage*, 56(4): 367–378.
- Perry, C., Steduto, P., Allen, R.G. & Burt, C.M.** 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. *Agricultural Water Management*, 96(11): 1517–1524.
- Pritchett, L., Woolcock, M. & Andrews, M.** 2010. Capability Traps? The mechanisms of persistent implementation failure. CGD Working Paper 234. Center for Global Development. Available at http://www.cgdev.org/files/1424651_file_Pritchett_Capability_FINAL.pdf Accessed 4 July 2012.
- Rao, R.M., Batchelor, CH., James, A.J., Nagaraja, R., Seeley, J. & Butterworth, J.A.** 2003. Andhra Pradesh Rural Livelihoods Programme Water Audit Report. APRLP, Rajendranagar, Hyderabad 500 030, India.
- Rockström, J., Falkenmark, M., Karlberg, L., Hoff, H., Rost, S. & Gerten, D.** 2009. Future water availability for global food production: The potential of green water for increasing resilience to global change. *Water Resources Research*, 45: Article W00A12.
- Rogers, P. & Hall, A.W.** 2003. *Effective water governance*. Background Paper No. 7. Global Water Partnership.
- Seckler, D.** 1996. *The new era of water resources management: from “dry” to “wet” savings*. Research Report No. 1. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Seckler, D., Upali, A., Molden, D., de Silva, R. & Barker, R.** 1998. *World water demand and supply, 1990 to 2025: Scenarios and issues*. Research Report No. 19. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Shah, T., Molden, D., Sakthivadivel, R. & Seckler, D.** 2000. The global groundwater situation: overview of opportunities and challenges. IWMI, Colombo, Sri Lanka.

Shah, T., Burke, J. & Villholth, K. 2007. Groundwater: a global assessment of scale and significance. In: Comprehensive assessment of water management for agriculture. Earthscan, London, UK, and International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

Shah, T. 2009. *Taming the anarchy: groundwater governance in South Asia*. Resources for the Future. 310 p.

Siebert, S., Burke, J., Faurès, J-M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P. & Portmann, F.T. 2010. Groundwater use for irrigation – a global inventory. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14: 1863–1880. Available at: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/14/1863/2010/hess-14-1863-2010.html> Accessed 4 July 2012.

Steduto, P., Hsiao, T.C. & Fereres, E. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrigation Science*, 25(3): 189–207.

UN [United Nations]. 2003. Handbook of National Accounting: Integrated Environmental and Economic Accounting 2003. Published in collaboration with European Commission, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development and World Bank. Statistical Office of the United Nations, Series F, No.61, Rev.1 (ST/ESA/STAT/SER.F/61/Rev.1). UN Statistics Division, New York, USA. Available at <http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seea2003.pdf> Accessed 4 July 2012.

UN. 2009. United Nations Population Information network online database. <http://www.un.org/popin/> Cited November 2009.

UNDP [United Nations Development Programme]. 2004. *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures*. Editors: Bo Lim Erika Spanger-Siegfried, with I. Burton, E. Malone and S. Huq. United Nations Development Programme, New York.

UNSD [United Nations Statistics Division]. 2012. System of Environmental-Economic Accounting for Water (SSEA-Water). UN Statistics Division, New York, USA. Available at <http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaw/seeawaterwebversion.pdf> Accessed 04 July 2012.

UN-Water. 2006a. The United Nations World Water Development Report 2: *Water, a shared responsibility*. World Water Assessment Programme (WWAP). Doc. no. UN-WATER/WWAP/2006/3. Unesco, Paris, France, and Berghahn Books, New York, USA. Available at <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001444/144409e.pdf> Accessed 3 July 2012.

UN-Water. 2006b. *Coping with water scarcity: A strategic issue and priority for system-wide action*. Available at http://waterwiki.net/images/9/92/UN_Water_-_waterscarcity_leaflet.pdf Accessed 3 July 2012.

UN-Water. 2009. The United Nations World Water Development Report 3: *Water in a Changing World*. World Water Assessment Programme (WWAP). Unesco, Paris, France, and Earthscan, London, UK.

UN-Water. 2012. The United Nations World Water Development Report 4: *Managing Water under uncertainty and risk*. World Water Assessment Programme (WWAP). Unesco, Paris, France.

Wani, S.P., Rockström, J. & Oweis, T. (editors). 2008. *Rainfed Agriculture: Unlocking the Potential*. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series No. 7. CABI Publishing, Wallingford, UK.

Ward, F.A. & Pulido-Velazquez, M. 2008. Water conservation in irrigation can increase water use. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(47): 18215–18220.

Water Accounting Standards Board. 2009. Water accounting conceptual framework for the preparation and presentation of General Purpose Water Accounting Reports. Canberra, Australia.

Winpenny, J.T. 1997. *Managing Water Scarcity for Water Security*. A discussion paper prepared for the First FAO E-mail Conference on Managing Water Scarcity, 4 March to 9 April 1997.

Winpenny, J.T. 1994. *Managing water as an economic resource*. Routledge, London, UK.

World Bank. 2006. Where is the wealth of nations? Measuring capital for the 21st Century. World Bank, Washington DC, USA.

World Bank. 2007. Making the most of scarcity: accountability for better water management results in the Middle East and North Africa. World Bank, Washington DC, USA

World Bank. 2009. Addressing China's water scarcity: recommendations for selected water resource management issues. World Bank, Washington DC, USA.

World Commission on Dams. 2000. *Dams and development. A new framework for decision-making*. Earthscan Publications Ltd, London, and WWF-UK, London, UK.

WHO [World Health Organization]. 2004. The global burden of disease. 2004 Update. Available at http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GBD_report_2004update_full.pdf Accessed 3 July 2012.

WWF/SAB Miller. 2009. Water footprinting: identifying and addressing water risks in the value chain.

Annexe 1. Définitions

Les définitions suivantes ont été utilisées dans ce rapport:

Amélioration de l'approvisionnement (aussi appelée gestion de l'approvisionnement ou augmentation de l'approvisionnement). Un ensemble de mesures visant à augmenter l'approvisionnement en eau par la mise en valeur des ressources en eau (construction d'infrastructures hydrauliques ou mise en valeur des eaux souterraines) ou l'augmentation des ressources en eau disponibles grâce au développement de sources d'eau *non conventionnelles* telles que le dessalement des eaux de mer ou la réutilisation des eaux usées traitées.

Approvisionnement en eau. La quantité d'eau disponible ou rendue disponible pour l'utilisation.

Comptabilité de l'eau. Une méthode systématique pour analyser les conditions actuelles et les tendances futures des approvisionnements en eau, des demandes et des usages de l'eau réels dans un contexte géographique donné.

Conservation de l'eau. La protection et la gestion efficiente des ressources en eau douce permettant de garantir leur viabilité à long terme.

Consommation efficace de l'eau (en agriculture). La part d'eau prélevée de sa source pour les besoins de l'irrigation et qui est soit consommée par les cultures grâce au processus de transpiration, soit convertie en biomasse. La consommation non efficace est la part d'eau prélevée de sa source qui s'évapore depuis le sol sans participer à la production de biomasse.

Coût de l'eau. Au sens restreint, le coût de l'eau se rapporte aux frais directement engagés par la fourniture du service d'approvisionnement en eau. Le coût intégral de l'approvisionnement comprend les frais d'exploitation et d'entretien, ainsi que la dépréciation des immobilisations et les frais de remplacement. Une évaluation de ce que coûte vraiment l'eau à la société devrait inclure, en plus du coût de l'approvisionnement, son coût d'opportunité (c.-à-d. les bénéfices perdus quand l'eau n'est pas utilisée le plus avantageusement possible) et les externalités économiques et environnementales liées à l'approvisionnement en eau (des conséquences indirectes qui ne sont pas saisies directement par le système comptable) (FAO, 2004; GWP, 2000). Il pourrait être utile de distinguer le coût d'un service d'approvisionnement en eau de son «prix» tel que le font apparaître les transactions commerciales, lorsqu'il y en a, et de sa valeur économique (voir la définition de la tarification de l'eau et des valeurs de l'eau).

Demande en eau. En termes économiques, la capacité et la volonté des utilisateurs de payer pour l'eau et les services qu'elle permet. Dans ce sens, la demande en eau diffère de l'eau considérée comme un besoin humain fondamental, qui elle exige une sécurité minimale dans l'approvisionnement. Dans un contexte de pénurie d'eau, la demande en eau est l'expression des ressources nécessaires ou des besoins en eau satisfaits pour un coût juste et pour un niveau donné de service d'approvisionnement.

Diagnostic de la situation hydrique. Une étude systématique de la situation actuelle et des tendances futures de l'offre et de la demande en eau, qui s'intéresse particulièrement aux questions liées à la gouvernance, aux institutions, à la finance, à l'accessibilité et à

l'incertitude dans un lieu donné.

Droit d'utilisation de l'eau. Au sens légal, un droit légal d'extraire ou de dériver et utiliser l'eau d'une source naturelle donnée; d'endiguer ou stocker une quantité d'eau précise d'une source naturelle derrière un barrage ou au moyen de toute autre structure hydraulique; ou d'utiliser ou maintenir l'eau dans un état naturel (débit réservé dans une rivière; eaux destinées aux loisirs; pratiques religieuses ou spirituelles; eau potable, lavage et baignade; ou abreuvement des animaux).

Eau disponible. La part des ressources en eaux qui peut être utilisée. Le concept est ambigu et varie selon qu'il s'applique à l'eau disponible pour un usage immédiat ou aux ressources en eau douce disponibles et qui pourraient être développées pour une utilisation ultérieure. Dans les deux cas, l'accès à l'eau a un coût.

Eaux douces. Eaux qui se trouvent à l'état naturel à la surface de la terre dans les glaciers, lacs et rivières et dans les aquifères en sous-sol. Leur principale caractéristique est une faible concentration de sels dissous. Le terme exclut les eaux de pluie, les eaux stockées dans le sol, les eaux usées non traitées, les eaux de mer et les eaux saumâtres. Dans ce rapport, sauf indications contraires, le terme *eau* est employé comme un synonyme d'eau douce.

Efficience de l'utilisation de l'eau. Sur le plan technique, l'efficience de l'utilisation de l'eau est le rapport entre la quantité d'eau réellement utilisée pour un besoin particulier et la quantité d'eau prélevée ou dérivée de sa source, telle qu'une rivière, un aquifère ou un réservoir, pour répondre à ce besoin. Elle est sans dimension et peut être appliquée à toutes les échelles. Dans ce rapport, l'utilisation efficiente de l'eau se comprend davantage, en termes économiques plus généraux, comme l'utilisation de l'eau permettant de maximiser la production de biens et de services. Dans le domaine agricole, l'utilisation efficiente de l'eau peut être recherchée par la réduction des pertes en eau dans la transmission et la distribution, l'augmentation de la productivité des cultures ou la réorientation de l'eau vers des cultures à valeur élevée (réallocation intrasectorielle). Toutefois, le fait qu'une utilisation d'eau en agriculture devienne plus efficiente ne signifie pas nécessairement qu'il y ait «économie» d'eau. Il importe, pour la recherche d'une plus grande efficience, d'adopter une perspective large (ex.: au niveau du bassin versant) qui reconnaisse l'apport des soit-disant «pertes» à la productivité d'autres utilisateurs et dans d'autres secteurs du cycle de l'eau.

Évaluation des ressources en eau/ audit des ressources en eau. L'évaluation des ressources en eau place les résultats de la comptabilité des ressources dans un cadre plus large, avec ses aspects institutionnels, financiers et le contexte d'économie politique.

Gestion de la demande. Une série de mesures permettant de contrôler la demande en eau, soit en augmentant l'efficience de son utilisation (voir définition ci-dessus), soit en redistribuant l'eau entre les secteurs ou à l'intérieur des secteurs.

Institutions. Les lois et règlements qui régissent la gestion, la mise en valeur, la protection par rapport à la pollution et l'utilisation des ressources en eau; les organismes gouvernementaux à tous les niveaux chargés de l'administration et de l'application des lois et règlements; les appareils judiciaires; et les organisations formelles et informelles d'usagers de l'eau.

Manque d'eau. Un manque d'eau de qualité acceptable; de faibles niveaux d'approvisionnement en eau, dans un endroit donné et à un moment donné, par rapport aux niveaux d'approvisionnement prévus. Le manque peut être provoqué par des facteurs climatiques ou toute autre cause entraînant une insuffisance des ressources en eau, des infrastructures insuffisantes ou mal entretenues, ou divers autres facteurs hydrologiques ou hydrogéologiques.

Modernisation. En irrigation, la modernisation se définit comme un processus de réaménagement des périmètres d'irrigation sur le plan technique et de la gestion (et non pas une simple rénovation), associé au besoin à des réformes institutionnelles et visant à améliorer l'utilisation des ressources (main d'œuvre, eau, économie, environnement) et le service de distribution aux exploitations agricoles (FAO, 1997).

Pénurie d'eau. Un déséquilibre entre l'offre et la demande en eau douce dans un lieu spécifique (pays, région, zone de captage, bassin hydrographique, etc.), découlant du niveau élevé de la demande par rapport à l'approvisionnement disponible, dans les conditions institutionnelles (dont le prix) et infrastructurelles qui y prévalent. Ses *symptômes* sont: une demande insatisfaite, des tensions entre les utilisateurs, une concurrence pour l'eau, une surexploitation des eaux souterraines et des écoulements insuffisants dans le milieu naturel. La pénurie d'eau *artificielle ou fabriquée* se rapporte à la situation découlant du surdéveloppement des infrastructures hydrauliques par rapport à l'approvisionnement disponible, ce qui entraîne une situation de manque d'eau croissant.

Pénurie d'eau absolue. L'incapacité de l'approvisionnement en eau à satisfaire la demande totale après la mise en œuvre de toutes les options possibles d'amélioration de l'approvisionnement et de gestion de la demande. Cette situation se traduit par des restrictions généralisées de l'utilisation de l'eau. Le seuil de 500 m³/personne/an est souvent employé comme indicateur approximatif de la pénurie d'eau absolue (Falkenmark, 1989). L'utilisation de cette expression dans cet ouvrage ne s'applique qu'aux quantités d'eau, quoique dans bien des cas la qualité des eaux puisse aussi imposer une pénurie si elles ne sont pas jugées propres à la consommation.

Pénurie d'eau chronique. Le niveau auquel toutes les ressources en eaux douces disponibles sont utilisées. Au delà de ce niveau, l'accroissement de l'approvisionnement en eau pour les usages ne peut se faire que par l'utilisation de ressources en eau non conventionnelles telles que les eaux de drainage de l'agriculture, les eaux usées traitées ou les eaux dessalées, ou par la gestion de la demande. Une fourchette de 500 à 1 000 m³/personne/an est souvent employée comme indicateur approximatif de la pénurie d'eau chronique (Falkenmark, 1989).

Prélèvement d'eau. Volume brut d'eau capté à partir des cours d'eau, aquifères ou lacs pour quelque usage que ce soit (ex.: irrigation, industrie, besoins domestiques ou commerciaux).

Productivité de l'eau. La quantité (masse, calories) ou la valeur de la production (y compris les services) par rapport au volume d'eau utilisé pour la produire. La productivité de l'eau utilisée pour les cultures est simplement la quantité (kg ou calories) ou la valeur produites par unité d'eau fournie (mètres cubes).

Redevance pour l'eau. Le terme se rapporte aux sommes dont s'acquitte un bénéficiaire pour payer un service d'eau (alimentation domestique, irrigation, etc.). La fixation du prix ou tarif à partir duquel se calcule la redevance est souvent appelée *tarification de l'eau* mais elle diffère considérablement de la valeur économique et formelle attribuée à l'eau en tant que ressource naturelle, dans laquelle intervient la notion de *prix fictif* (voir *tarification de l'eau* ci-dessous).

Ressources en eau exploitables (équivalent de **ressources en eau maîtrisables** ou de **potentiel de mise en valeur de l'eau**). Le volume d'eau potentiellement disponible pour les secteurs consommant l'eau de manière non renouvelable (agriculture, industrie ou municipalités). Tentative de quantification de la part des *ressources en eau totales et renouvelables* d'un pays qui peut effectivement être prélevée en fonction de facteurs tels que la faisabilité du stockage de l'eau sur le plan économique et environnemental; le captage des eaux souterraines; le

maintien des débits nécessaires à la navigation et aux services environnementaux; etc. Le niveau des ressources en eau exploitables varie en fonction du développement économique du pays, des infrastructures, de la variabilité des ressources en eaux et de leur qualité, ainsi que des compromis entre utilisateurs concurrents.

Ressources en eau renouvelables totales. La somme moyenne annuelle et à long terme des ressources en eau internes et externes renouvelables dans un lieu spécifique. Cela correspond à la quantité théorique et maximale annuelle d'eau dont dispose réellement un pays sans prendre en considération la qualité de l'eau ni les exigences environnementales. *Les ressources en eau renouvelables internes* d'un pays sont définies comme étant le débit moyen annuel et à long terme des rivières et la réalimentation des aquifères par les précipitations endogènes. *Les ressources en eau renouvelables externes* sont définies comme étant la part des ressources en eau renouvelables annuelles qui ne sont pas générées dans un pays. Cela comprend les débits provenant de pays situés en amont des cours d'eau et une partie des eaux des lacs ou rivières frontaliers et tient compte des quantités d'eau réservées par les pays en amont (débits entrants) et/ou en aval (débits sortants) par l'intermédiaire d'accords ou de traités formels ou informels, ainsi que les prélèvements d'eau possibles effectués dans les pays en amont.

Retours d'écoulement. La part des eaux prélevées de leur source qui n'est pas consommée et retourne à leur source ou rejoint d'autres masses d'eau superficielles ou souterraines. Il faut distinguer le retour d'eau non récupérable (écoulement dans les lacs salés ou eaux souterraines non exploitables ou de mauvaise qualité) du retour d'eau récupérable (écoulement dans des rivières ou infiltration dans des nappes souterraines).

Stress hydrique. Les symptômes de la pénurie ou du manque d'eau, ex.: des restrictions d'utilisation généralisées, fréquentes et importantes, des conflits croissants entre les utilisateurs et une concurrence pour l'eau, une baisse des normes de fiabilité et de service, de mauvaises récoltes et une insécurité alimentaire.

Tarif de l'eau. Voir tarification de l'eau. Les tarifs de l'eau varient considérablement, pour ce qui est de leur structure et de leur niveau, entre les catégories d'utilisateurs, les prestataires de services et entre les pays et les régions. Les mécanismes d'ajustement des tarifs sont également très variables.

Tarification de l'eau. La fixation d'un prix pour un service d'eau. Le prix peut être calculé de façon à couvrir tout ou partie du coût du service d'eau (voir définition du coût de l'eau) ou à inciter les usagers de l'eau à changer de comportement en gaspillant moins d'eau. En irrigation, il peut être calculé par rapport à la superficie de terrain, au type de culture ou sur une base volumétrique. Le prix attribué à un service d'eau est souvent appelé tarif d'eau et peut refléter ou non la valeur économique de la ressource en eau. Même lorsque les prix du marché sont révélés dans les transactions locales sur l'eau ou les marchés réglementés de l'eau (Californie, Chili, Australie), ces prix peuvent ne pas refléter complètement la valeur économique de l'eau. Par conséquent, pour la planification des ressources en eau, l'analyse coûts-avantages doit ajuster les prix observés ou les estimer. Ces prix ajustés ou estimés sont couramment appelés prix fictifs.

Utilisation de l'eau. Toute application ou utilisation délibérée d'eau pour des besoins particuliers. Il existe une distinction importante entre *l'utilisation non renouvelable de l'eau* (voir définition ci-dessous) et son *utilisation renouvelable*. Parmi les utilisations renouvelables les plus importantes figurent la navigation, les loisirs, l'assimilation et la dispersion des eaux usées. Bien que le refroidissement des centrales électriques et hydroélectriques ne représente pas une utilisation non renouvelable très importante, il a un impact considérable sur le cycle hydrologique et rejette l'eau à des moments et des températures qui ont un coût pour les

autres utilisateurs. Les réservoirs entraînent aussi des pertes par évaporation.

Utilisation efficace de l'eau. L'utilisation de l'eau pour répondre à des besoins clairs et tangibles tels que les usages domestiques, l'irrigation, le traitement et le refroidissement industriel, la production hydroélectrique, les loisirs et la navigation. Selon le contexte, les utilisations efficaces pourraient aussi inclure le maintien du niveau des rivières à des fins environnementales, la dilution des écoulements d'eaux usées, le maintien des zones humides, l'apport d'eau douce pour empêcher les infiltrations d'eau salée dans les estuaires, etc.

Utilisation non renouvelable de l'eau. La part d'eau prélevée de sa source pour être utilisée dans un secteur particulier (ex.: l'agriculture, l'industrie ou les besoins domestiques) qui ne pourra pas être réutilisée en raison de l'évaporation, de la transpiration, de l'assimilation dans des produits, du drainage direct à la mer ou dans des zones d'évaporation, ou de son prélèvement d'une autre manière à partir des sources d'eau douce. La part des eaux prélevées qui n'est pas consommée dans ces processus est appelée retours d'écoulement.

Valeurs de l'eau. Les bénéfices de l'eau découlant de son utilisation à des fins spécifiques, à des endroits et moments définis. Un certain nombre de ces bénéfices peuvent être quantifiés et une valeur économique peut leur être attribuée (ex.: pour l'irrigation, le traitement industriel et, dans bien des cas, les utilisations domestiques), alors que d'autres doivent être exprimés en termes qualitatifs (ex: valeurs d'agrément). Les techniques directes d'attribution d'une valeur à l'eau reposent sur des questionnaires permettant de connaître les préférences des personnes interrogées concernant leur disposition à payer pour un bien ou un service (ex.: valeur contingente). Les techniques indirectes d'attribution d'une valeur à l'eau reposent sur une observation du comportement du marché permettant une déduction des valeurs (ex.: fixation hédonistique des prix, méthode du coût du trajet).

Annexe 2.

Ordre du jour de la consultation d'experts

Heure	Jour 1: lundi 14 décembre	Jour 2: mardi 15 décembre	Jour 3: mercredi 16 décembre
8:45-9 :00	Inscription	Présentation de pays: Australie et Tunisie	Présentation de pays: Chine et Espagne
9:00-9:15			
9:15-9:30	Allocution de bienvenue et objectif de la réunion	Séance de groupe 2: Identification des principaux décideurs, options et conditions	Séance de groupe 5: Priorités d'action et de partenariat de la FAO
9:30-10:00	Présentation des participants (Johan Kuylensstierna)		
10:00-10:30	Présentation du projet de cadre conceptuel (Pasquale Steduto)	Séance plénière: Résumé des conclusions des groupes	Séance plénière: Résumé des conclusions des groupes
10:30-11:00	Pause café/thé	Pause café/thé	Pause café/thé
11:00-12:15	Débat sur le cadre conceptuel, dont la terminologie (présenté par Jean-Marc Faurès)	Séance de groupe 3: Placer la pénurie d'eau en agriculture dans une plus large perspective	Séance de clôture: recommandations pour l'avenir
12:15-12:30		Séance plénière: Résumé des conclusions des groupes	Clôture
12:30-13:30	Déjeuner	Déjeuner	Déjeuner
13:30-13:45	Présentation de pays: Egypte et Afrique du Sud	Présentation de pays: Etats-Unis et Chine	
13:45-15:00	Séance de groupe 1: Examen du concept, des dimensions et des causes de la pénurie d'eau	Séance de groupe 4: Critères et principes d'action	
15:00-15:30	Séance plénière: Résumé des conclusions des groupes	Séance plénière: Résumé des conclusions des groupes	
15:30-16:00	Pause café/thé	Pause café/thé	
16:00-16:30	Le diagnostic de la situation hydrique: une approche de l'évaluation systémique de l'utilisation de l'eau (Charles Batchelor)	Applications de la télédétection à l'évaluation de l'utilisation de l'eau (Wim Bastiaansen)	
16:30-17:30	Débat: application du concept du diagnostic de la situation hydrique	Débat: application de la télédétection dans les diagnostics de la situation hydrique	
17:30-18:00	Séance de clôture	Séance de clôture	

Annexe 3.

Liste des participants à la consultation d'experts

Australie

Mary Harwood

First Assistant Secretary
Water Efficiency Division
Department of the Environment, Water,
Heritage and the Arts

France

François Molle

Chargé de recherche
Institut de Recherche pour le Développement

Chili

Humberto Peña Torrealba

Consultor en recursos hídricos

Chine

Mei Xurong

Director General
Institute of Environment and Sustainable
Development in Agriculture (IEDA)

Gan Hong

Deputy Director
Department of Water Resources
China Institute of Water Resources
and Hydropower Research (IWHR)

Allemagne

Walter Huppert

Consultant
Water Management and Institutions

Elisabeth Van Den Akker

Senior Planning Officer
Section Policy Consultancy in
the Agriculture, Fisheries and Food Sector

Italie

Nicola Lamaddalena

Mediterranean Agronomic Institute Bari

Stefano Burchi

Consultant, FAO

Pays-Bas

Wim Bastiaanssen

Faculty of Civil Engineering
and Geosciences

Nigeria

Amadou Allahoury Diallo

Senior Agricultural Water Expert
Niamey, Niger

Afrique du Sud

Rivka Kfir
Chief Executive Officer
South Africa Water Research Commission

Espagne

Consuelo Varela-Ortega

Professor, Departamento de economía y ciencias
sociales agrarias. ETSI Agrónomos
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Elias Fereres-Castiel

Consejo Superior de
Investigaciones Científicas
Instituto Agricultura Sostenible
Finca Alameda del Obispo

Tunisie

Netij Ben Mechlia,

Professeur
Institut National Agronomique de Tunis

Royaume-Uni

Chris Perry

Water Resources Economist

Charles Batchelor

Water Resources Management Ltd

Etats-Unis

Donald A. Wilhite

Director and Professor,
School of Natural Resources
University of Nebraska

Mark Svendsen

President, United States Committee on
Irrigation and Drainage

CIID

Chandra A. Madramootoo

President, International Commission on
Irrigation and Drainage (ICID)
James McGill Professor and Dean Faculty of
Agricultural and Environmental Sciences
Ste. Anne de Bellevue QC

FIDA

Rudolph Cleveringa

Senior Water Advisor
International Fund for Agricultural
Development

IWMI

David Molden

Deputy Director General - Research
International Water Management Institute
(IWMI)

ONU-Eau

Johan Kuylensstierna

Chief Technical Advisor

OAA/FAO

Division des terres et des eaux

Pasquale Steduto
Jacob Burke
Jean-Marc Faurès
Karen Frenken
Nicoletta Forlano
Jippe Hoogeveen
Gabriella Izzi
Sasha Koo-Oshima
Alba Martinez-Salas
Patricia Mejias-Moreno
Daniel Renault
Guido Santini
Domitille Vallée

Bureau régional pour l'Asie et le Pacifique

Thierry Facon

Annexe 4.

Liste des présentations à la consultation d'experts

Coping with water scarcity
The role of agriculture. A framework for action

Pasquale Steduto

Water and agriculture in Australia

Mary Harwood

Coping with water scarcity
The role of agriculture. The case of Chile.

Humberto Peña

Water and agriculture in China

Mei Xurong

Some experiences of agricultural water use in China

GAN Hong

Coping with water scarcity: an Italian case study

Nicola Lamaddalena

Remote sensing of water consumption
in basins and agricultural systems

Wim Bastiaanssen

Coping with water scarcity in South Africa

Rivka Kfir

Coping with water scarcity in Spain:
current measures and future developments

Consuelo Varela-Ortega and Elias Fereres-Castiel

Water accounting - an approach to systematic
assessment of water use

Charles Batchelor

Water scarcity in agriculture – The case of Tunisia

Netij Ben Mechlia

Coping with water scarcity - US experiences

Mark Svendsen

DOCUMENTS TECHNIQUES DE LA FAO

RAPPORTS SUR L'EAU DE LA FAO

1	Prevention of water pollution by agriculture and related activities, 1993 (E/S)	21	Water quality management and control of water pollution, 2000 (E)
2	Irrigation water delivery models, 1994 (E)	22	Deficit irrigation practices, 2002 (E)
3	Water harvesting for improved agricultural production, 1994 (E)	23	Review of world water resources by country, 2003 (E)
4	Use of remote sensing techniques in irrigation and drainage, 1995 (E)	24	Rethinking the approach to groundwater and food security, 2003 (E)
5	Irrigation management transfer, 1995 (E)	25	Groundwater management: the search for practical approaches, 2003 (E)
6	Methodology for water policy review and reform, 1995 (E)	26	Capacity development in irrigation and drainage. Issues, challenges and the way ahead, 2004 (E)
7	Irrigation in Africa in figures/L'irrigation en Afrique en chiffres, 1995 (E/F)	27	Economic valuation of water resources: from the sectoral to a functional perspective of natural resources management, 2004 (E)
8	Irrigation scheduling: from theory to practice, 1996 (E)	28	Water charging in irrigated agriculture – An analysis of international experience, 2004 (E) efforts and results, 2007 (E)
9	Irrigation in the Near East Region in figures, 1997 (E)	29	Irrigation in Africa in figures – AQUASTAT survey – 2005, 2005 (E/F)
10	Quality control of wastewater for irrigated crop production, 1997 (E)	30	Stakeholder-oriented valuation to support water resources management processes – Confronting concepts with local practice, 2006 (E)
11	Seawater intrusion in coastal aquifers – Guide lines for study, monitoring and control, 1997 (E)	31	Demand for products of irrigated agriculture in sub-Saharan Africa, 2006 (E)
12	Modernization of irrigation schemes: past experiences and future options, 1997 (E)	32	Irrigation management transfer – Worldwide, 2008 (E/S)
13	Management of agricultural drainage water quality, 1997 (E)	33	Scoping agriculture–wetland interactions – Towards a sustainable multiple-response strategy, 2008 (E)
14	Irrigation technology transfer in support of food security, 1997 (E)	34	Irrigation in the Middle East region in figures – AQUASTAT Survey – 2008, 2009 (Ar/E)
15	Irrigation in the countries of the former Soviet Union in figures, 1997 (E) (also published as RAP Publication 1997/22)	35	The Wealth of Waste: The economics of wastewater use in agriculture, 2010 (E)
16	Télédétection et ressources en eau/Remote sensing and water resources, 1997 (F/E)	36	Climate change, water and food security (E)
17	Institutional and technical options in the development and management of small-scale irrigation, 1998 (E)	37	Irrigation in Southern and Eastern Asia in figures – AQUASTAT Survey – 2011 (E)
18	Irrigation in Asia in figures, 1999 (E)	38	Coping with water scarcity - an action framework for agriculture and food security – 2012 (E)
19	Modern water control and management practices in irrigation – Impact on performance, 1999 (E)		
20	El riego en América Latina y el Caribe en cifras/Irrigation in Latin America and the Caribbean in figures, 2000 (S/E)		

Disponibilité: février 2011

A	–	Anglais	Multil - Multilingue
Ar	–	Arabe	* Epuisé
C	–	Chinois	** En préparation
E	–	Espagnol	
F	–	Français	
P	–	Portugais	

On peut se procurer les Cahiers techniques de la FAO auprès des points de vente des publications de la FAO, ou en s'adressant directement au Groupe des ventes et de la commercialisation, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie.

Faire face à la pénurie d'eau

Un cadre d'action pour l'agriculture et la sécurité alimentaire

Au cours du 20^e siècle, l'utilisation de l'eau a augmenté à un rythme deux fois plus important que celui de la croissance démographique, au point qu'il n'est plus possible, dans de nombreuses régions, de répondre à la demande globale en eau. L'agriculture est responsable de 70 pour cent des prélèvements en eau douce dans le monde et c'est probablement le secteur dans lequel la pénurie d'eau est la plus critique. Sous la double pression de la croissance démographique et de l'évolution des habitudes alimentaires, la consommation de nourriture augmente dans la plupart des régions du monde. Les prévisions indiquent que d'ici 2050, 60 pour cent d'aliments supplémentaires seront nécessaires pour satisfaire la demande mondiale.

Les futures décisions stratégiques devront de plus en plus refléter le lien étroit qui existe entre l'eau et la sécurité alimentaire et se fonder sur une compréhension claire des opportunités et compromis inhérents à la gestion de l'eau pour la production agricole. Afin de guider son action à l'appui des pays membres, la FAO s'est récemment engagée dans un programme à long terme sur le thème «Faire face à la pénurie d'eau – le rôle de l'agriculture». Un cadre conceptuel permettant de faire face aux problèmes de sécurité alimentaire dans des conditions de pénurie d'eau a été élaboré à partir des conclusions d'une consultation d'experts. Ce rapport présente ce cadre conceptuel, passe en revue une série d'options stratégiques et techniques et établit une série de principes qui serviront de base à l'élaboration de politiques efficaces de sécurité alimentaire pour faire face à la pénurie d'eau croissante.



Le programme «Faire face à la pénurie d'eau – le rôle de l'agriculture» est financé par la Coopération italienne au développement.

ISBN 978-92-5-207304-8 ISSN 1020-6523



9 789252 073048

I3015F/1/02.13