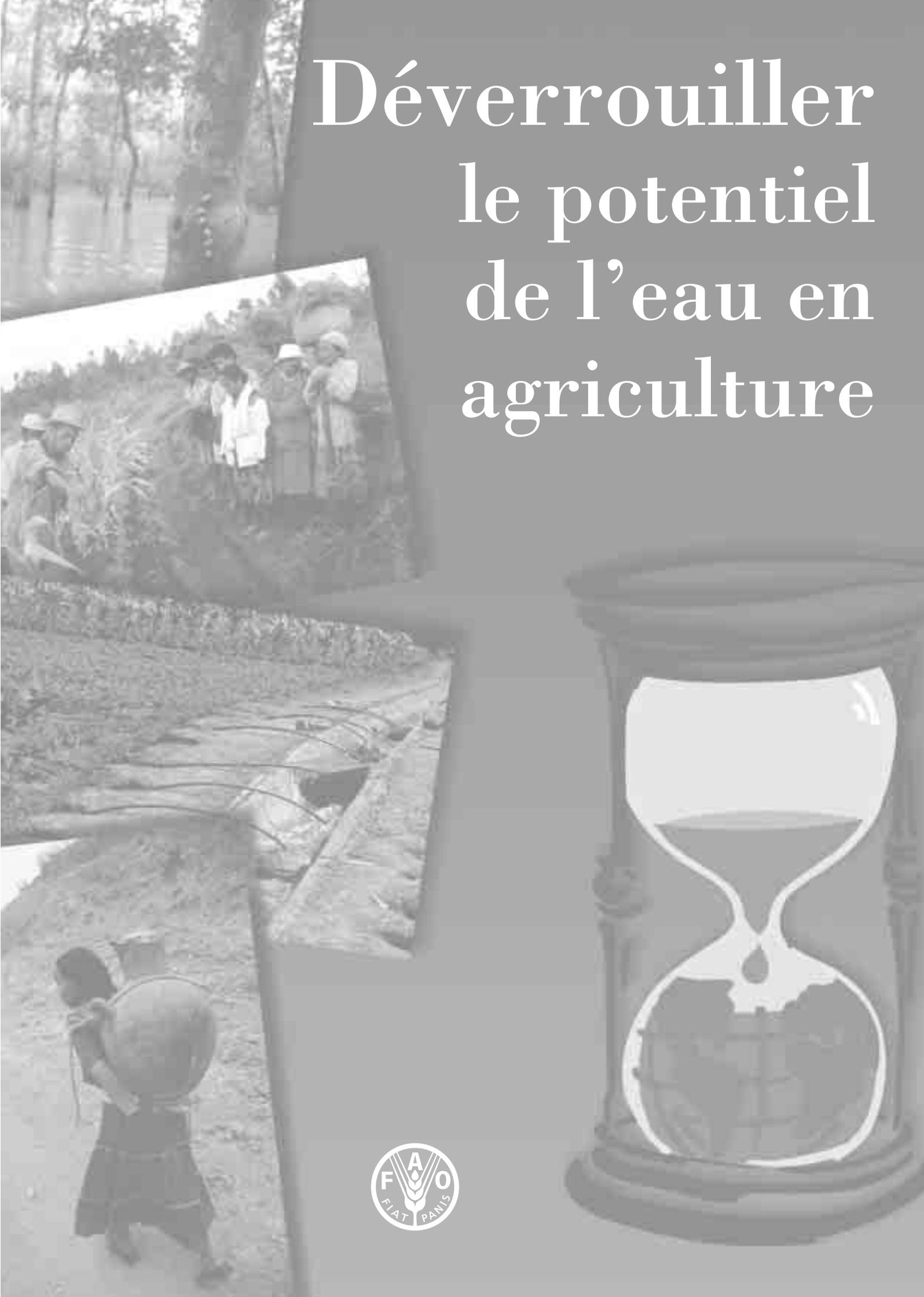


Déverrouiller le potentiel de l'eau en agriculture



Déverrouiller le potentiel de l'eau en agriculture



Les appellations employées dans cette publication 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 aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites

Tous droits réservés. Les informations ci-après peuvent être reproduites ou diffusées à des fins éducatives et non commerciales sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source des informations soit clairement indiquée. Ces informations ne peuvent toutefois pas être reproduites pour la revente ou d'autres fins commerciales sans l'autorisation écrite du détenteur des droits d'auteur. Les demandes d'autorisation devront être adressées au Chef du Service des publications, Division de l'information, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie ou, par courrier électronique, à copyright@fao.org

© FAO 2003



Avant-propos

A l'occasion du troisième Forum mondial de l'eau (WWF-3), qui se tient à Kyoto, au Japon, du 16 au 23 mars 2003, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) présente un panorama des thèmes prioritaires que doivent aborder les responsables agricoles du monde entier en matière de mise en valeur des eaux en agriculture, et plus généralement de leurs répercussions sur la gestion des ressources en eau. La FAO a inscrit sa participation aux débats du WWF-3 de Kyoto sous le mot d'ordre «déverrouiller le potentiel de l'eau en agriculture». En effet, tous les renseignements statistiques confirment que l'agriculture est le secteur clé de la gestion de l'eau, pour le présent comme pour les décennies à venir. Pourtant, le secteur de la mise en valeur rurale des eaux se voit actuellement refuser un statut prioritaire dans les forums internationaux, par comparaison avec d'autres domaines concurrents. Il manque pour l'heure aux acteurs qui soutiennent ce secteur une stratégie valide et une présentation valorisante qui leur permettraient de maintenir l'attention sur ces questions. Des arguments nouveaux et puissants sont nécessaires pour remettre la mise en valeur rurale des eaux sur les rails.

(1) L'utilisation productive de l'eau pour la production agricole et le développement rural devra être améliorée sans relâche si les objectifs de production alimentaire et de croissance économique, ainsi que les visées écologiques, doivent être atteints. Cela nécessitera une modernisation progressive de la gestion des eaux en agriculture qui devra se montrer à la fois plus sensible à la demande et mieux adaptée aux conditions climatiques, écologiques et socio-économiques locales.

(2) La gestion de l'eau en agriculture sera essentielle au maintien de la sécurité alimentaire et de sources de revenus pour les ruraux pauvres. Une gestion équitable des ressources en eau ne pourra toutefois s'obtenir à l'échelle locale que par une participation plus importante des communautés rurales et des agriculteurs individuels.

(3) Un investissement de meilleure qualité dans le secteur agricole devra nécessairement être mis en place pour que ces objectifs de productivité et d'équité puissent se réaliser de manière durable. L'investissement dans la gestion des eaux pour l'agriculture devra ainsi devenir beaucoup plus stratégique, par l'amélioration: (i) de la gestion des infrastructures hydrauliques existantes; (ii) de l'engagement des utilisateurs de l'eau; (iii) de l'utilisation de pratiques agricoles novatrices.

A l'avenir, l'agriculture va devoir faire face à l'évolution des besoins alimentaires et participer à la lutte contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté dans les communautés marginalisées. Pour ce faire, elle devra tenir compte de la concurrence avec d'autres utilisateurs pour des ressources en eau peu abondantes, tout en limitant la pression qu'elle exerce sur l'environnement. L'eau sera l'élément clé de l'effort qu'il faudra fournir pour augmenter et maintenir la production agricole de manière à satisfaire ces multiples besoins. Il va par conséquent falloir que les politiques et investissements agricoles deviennent beaucoup plus stratégiques, et mettent en valeur le potentiel des pratiques de gestion de l'eau en agriculture pour augmenter la productivité, généraliser l'accès équitable à l'eau et préserver la productivité naturelle des ressources en eau.



Remerciements

Ce document a été préparé par Jacob W. Kijne pour la Division de la mise en valeur des terres et des eaux de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Son contenu reprend les débats de la conférence électronique L'eau, source de sécurité alimentaire, organisée par la FAO du 15 septembre au 1er novembre 2002. Les auteurs des études analytiques élaborées pour la conférence sont: Wulf Klohn, Peter Mollinga, K.J. Joy et Suhas Paranjape, Bernard Tychon, Riad Balaghi et Mohammed Jlibene, Patrick Duffy et José L. Trava. Jacob Burke, Daniel Renault, Jean-Marc Faurès et Peter Torrekens ont également participé à ces travaux.

La conception graphique et la mise en page ont été préparées par Simone Morini, les photographies en couverture sortent des Archives Médiatiques de la FAO.



Liste des acronymes

EE	Exploitation et entretien
EIE	Etude d'impact sur l'environnement
IFPRI	Institut international de recherche sur les politiques alimentaires
IIASA	Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués
IRRI	Institut international de recherche sur le riz
IWMI	Institut international de gestion des ressources en eau
IWRM	Gestion intégrée des ressources en eau
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONG	Organisation non gouvernementale
SI	Syndicats d'irrigants
SIG	Système d'information géographique
SRI	Système de riziculture intensive
USDA	United States Department of Agriculture



Table des matières

1. Introduction	1
2. L'eau et la viabilité de la production alimentaire, la lutte contre la pauvreté et le développement rural.....	7
L'importance de la production pluviale	8
L'importance croissante des eaux souterraines.....	10
Le rôle des périmètres irrigués par les eaux de surface.....	13
L'investissement dans les infrastructures d'irrigation.....	15
Le rôle de l'irrigation dans la lutte contre la pauvreté et le développement rural..	17
3. Pourquoi la productivité de l'eau en agriculture est importante pour le défi mondial de l'eau	23
Variabilité spatiale de la productivité de l'eau	24
L'augmentation appréciable de la productivité de l'eau en agriculture	25
Principes clés pour l'amélioration de la productivité de l'eau	26
Valorisation de la productivité de l'eau à l'échelle de la plante.....	27
Renforcement de la productivité de l'eau à l'échelle de la parcelle	29
Gestion responsable de la productivité de l'eau à l'échelle du système et du bassin	33
Moyens d'action pour favoriser l'augmentation de la productivité de l'eau	35
4. Gérer les risques dans l'utilisation de l'eau en agriculture.....	37
La nature des risques.....	37
Stratégies de gestion des risques pour l'agriculture	38
Répartir les risques.....	40
5. Atténuer l'impact de la mise en valeur de l'eau en agriculture sur l'environnement	43
Les effets externes	43
Le problème de la salinité et du drainage	45
Réutiliser les eaux usées	47
6. Moderniser la gestion des eaux d'irrigation.....	51
Perspectives de modernisation	51
Le rôle des technologies bon marché dans la modernisation	54
7. Conclusions et solutions.....	57
Références	61

Liste des figures

1. Les populations sous-alimentées dans le monde en développement: comparaisons avec les objectifs du Sommet mondial de l'alimentation	1
2. Prélèvements d'eau par région et par secteur	8
3. Profils salins de quatre grands cours d'eau	45

Liste des encadrés

1. Surexploitation et viabilité: une théorie complexe, des pratiques simples	11
2. Modernisation participatoire de la gestion de l'eau pour réduire la surexploitation des eaux souterraines au Yémen	12
3. Eau et sécurité alimentaire en Chine	18
4. La productivité de l'eau sur le plan économique.....	25
5. Impact réel de l'eau virtuelle sur les économies en eau.....	28
6. Technologies d'irrigation permettant une économie maximale de l'eau dans la production rizicole	30
7. Projet de mise en valeur des sols et des eaux au Burkina Faso	32
8. Retombées de l'agriculture de décrue traditionnelle par comparaison avec l'agriculture irriguée à grande échelle	34
9. Application des renseignements climatiques	38
10. Mise en valeur des ressources en eaux fluviales: le cas du fleuve Sénégal.....	43
11. Le système de drainage égyptien	46
12. Impact du prélèvement non planifié des eaux souterraines sur l'environnement.....	48
13. Modernisation de l'irrigation en Argentine, au Mexique et au Pérou	52

Liste des planches

1. Irrigation d'un champ de pommes de terre (Cap-Vert)	3
2. Prise d'eau d'un canal et gabions protégeant les berges, construits dans le cadre d'un programme de réparation d'un système d'irrigation (Afghanistan).....	9
3. Terres agricoles inondées par une crue éclair (Bangladesh)	13
4. Section de canal principal en construction (Rwanda)	15
5. Agriculteur vérifiant la récolte rizicole au cours d'essais de production associée de riz et de poisson (Zambie).....	16
6. Femmes arrosant des choux dans un jardin potager avec l'eau extraite d'un puits profond (Mali)	20
7. Agriculteur au travail sur un canal d'irrigation (Mexique)	24
8. Le transfert d'aliments peut être considéré comme équivalent au transfert d'«eau virtuelle» (Somalie)	27
9. Modèle de ferme piscicole intégrée, associant des étangs d'élevage et des canards (République démocratique populaire lao)	29
10. Membres du comité villageois d'Ankofafa protégeant un champ de maïs (Madagascar)	31
11. Vue de la campagne (Cambodge)	40
12. Touaregs et Bellas préparant le sol pour la plantation du bourgou (Mali)	44
13. Dragage d'un canal d'irrigation (Egypte)	47
14. Agriculteur préparant un tuyau d'irrigation dans un champ de tomates (Brésil).....	51
15. Agriculteur utilisant une pompe manuelle pour prélever de l'eau dans un canal (Chine) ..	54



chapitre 1

Introduction

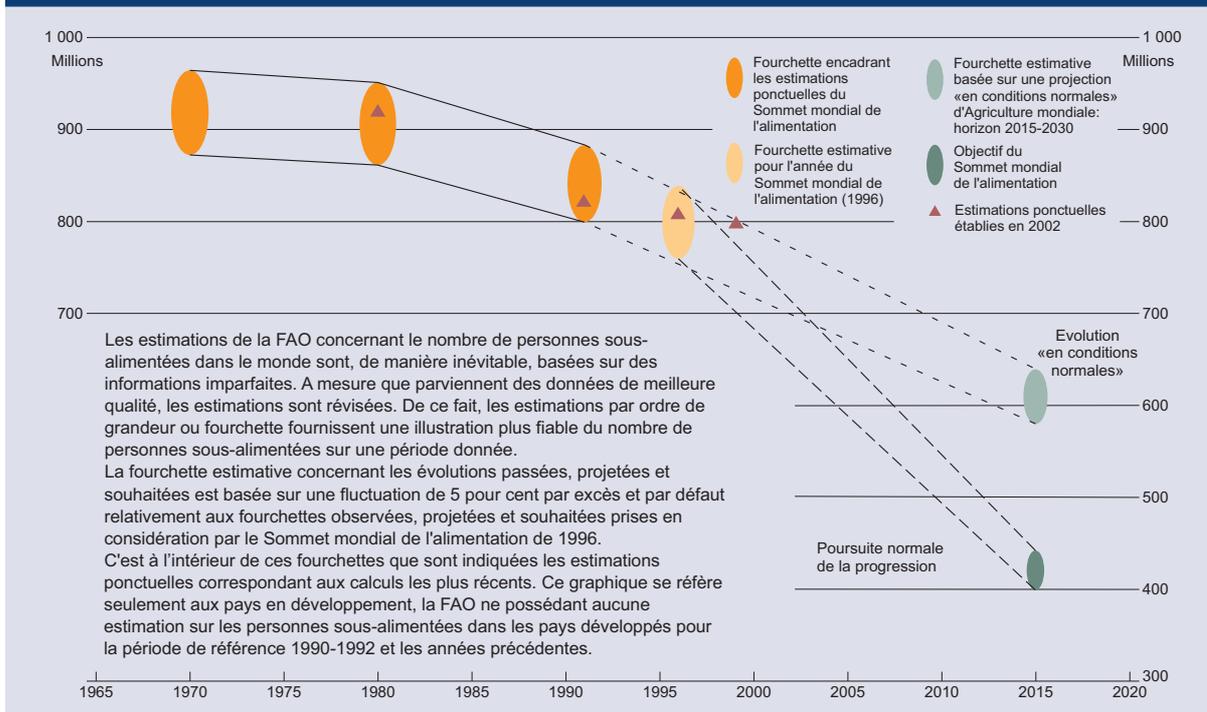
Bien que la production alimentaire soit suffisante pour nourrir l'ensemble de la population mondiale, la terre compte encore quelque 840 millions de personnes sous-alimentées, dont 799 millions vivent dans les pays en développement (FAO, 2002a). C'est cette situation qui a amené le Sommet mondial de l'alimentation de 1996 à se fixer l'objectif de diminuer de moitié le nombre de personnes affamées d'ici 2015. Le récent Rapport sur l'état de l'insécurité alimentaire dans le monde de la FAO conclut à un ralentissement des progrès envisagés pour atteindre cet objectif, qui en sont maintenant au point mort (**figure 1**). Les données indiquent que le nombre de personnes affamées a diminué de 2,5 millions par an depuis 1992. A ce rythme, les objectifs du

Sommet mondial seront remplis avec plus de cent ans de retard. Il faudrait, pour atteindre le but fixé d'ici 2015, que la diminution annuelle du nombre de personnes affamées décuple et s'élève à 24 millions. Comme l'a souligné Jacques Diouf, le Directeur général de la FAO, dans l'avant-propos du Rapport sur l'état de l'insécurité alimentaire dans le monde pour 2002, le coût de l'inaction est exorbitant, alors que le coût du progrès est à la fois calculable et abordable.

Un examen plus approfondi des données révèle que la faible diminution mondiale observée découle des progrès rapides réalisés dans quelques grands pays. En Chine, le nombre de personnes sous-alimentées a diminué de 74 millions depuis la

Figure 1 Les populations sous-alimentées dans le monde en développement: comparaisons avec les objectifs du Sommet mondial de l'alimentation

Source: FAO, 2002a



période repère de 1990-92. L'Indonésie, le Viet Nam, la Thaïlande, le Nigéria, le Ghana et le Pérou sont tous parvenus à des réductions de plus de trois millions dans le nombre des personnes affamées, ce qui a partiellement compensé une augmentation de 96 millions dans 47 pays où les progrès se sont modérés. La Chine et les six autres pays cités mis à part, le nombre des personnes affamées dans le reste du monde en développement s'est accru de plus de 80 millions depuis la période repère. Bien que dans de nombreux pays la proportion de personnes affamées ait diminué, les chiffres proprement dit ont tout de même augmenté en raison de la croissance démographique. Par exemple, le nombre de personnes sous-alimentées en Inde a augmenté de 18 millions, bien que leur pourcentage ait diminué de 25 à 24 pour cent.

L'Afrique subsaharienne reste la région qui connaît la plus grave sous-alimentation et aussi la plus importante augmentation du nombre de personnes affamées. Il existe toutefois de grandes différences entre les pays d'Afrique. La sous-région de l'Afrique centrale subit la situation la plus critique: le nombre de personnes affamées en République démocratique du Congo a triplé depuis que le pays a basculé dans la guerre. Par contre, c'est en Afrique de l'Ouest que le pourcentage et le nombre de personnes sous-alimentées ont le plus diminué. La situation en Asie du Sud-Est et en Amérique du Sud s'est aussi améliorée. En Amérique centrale, au Proche-Orient et en Asie orientale (à l'exception de la Chine), la situation est préoccupante puisqu'on y constate une augmentation des pourcentages et du nombre de personnes sous-alimentées (FAO, 2002a).

Les experts étudient depuis quelque temps la capacité des systèmes agricoles mondiaux à produire suffisamment de nourriture pour une population qui ne cesse de croître. La FAO a toujours soutenu qu'il était possible de produire assez d'aliments pour les populations humaines beaucoup plus importantes prévues pour dans trente ans, à condition que l'on dispose de suffisamment de terres convenant à l'agriculture pluviale et irriguée. Dans un nombre croissant de régions, il semble que ce soit les terres et les eaux qui constituent les principaux facteurs limitant la production alimentaire. L'objectif de ce document est d'examiner les ressources en eau actuelles et futures disponibles pour la production alimentaire à une époque où les besoins en eau des autres utilisateurs augmentent, par exemple pour l'assainissement et l'eau potable dans les mégalo-poles et pour l'industrie. En plus de la concurrence que leur font les citadins et les industries, les agriculteurs doivent aussi de plus en plus disputer l'eau à l'environnement dont l'utilité, par le maintien de ressources en eau de bonne qualité grâce aux zones humides et aux nappes souterraines, est maintenant davantage admise. Les besoins de cette dernière concurrence n'ont pas encore été précisément quantifiés.

Toute tentative visant à déterminer s'il y aura assez d'eau pour produire suffisamment de nourriture pour les quelque 8 000 millions d'habitants que devrait compter la terre en 2025 exige une bonne compréhension du lien qui existe entre ressources en eau disponibles et production alimentaire. Une fois ce rapport compris, les décideurs peuvent percevoir plus clairement les conséquences de leurs choix sur l'équilibre des ressources et des besoins en eau. Plus de vingt évaluations sur l'avenir de la

Planche 1 Irrigation d'un champ de pommes de terre (Cap-Vert)



FAO/IT124/M. MARZOT

sécurité alimentaire mondiale ont été réalisées ces cinquante dernières années à partir de divers modèles informatiques qui ne cessent de se complexifier. La FAO et l'USDA (United States Department of Agriculture) ont régulièrement élaboré des prévisions, tandis que d'autres organismes, comme l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI), et l'Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués (IIASA) ont également publié leurs propres prévisions. D'autres encore, tel l'Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI), ont établi des scénarios sur les futures utilisations de l'eau. Quel que soit le modèle adopté, il apparaît clairement que les quantités d'eau utilisées en agriculture devront encore augmenter, à un rythme moins soutenu il est vrai, si les besoins de la population mondiale en expansion doivent être satisfaits.

Pendant la deuxième moitié du XX^e siècle, d'importantes augmentations de la productivité

de l'agriculture pluviale et irriguée ont permis de maintenir à distance le spectre de la faim dans le monde. L'amélioration de la gestion et de la conservation de l'eau dans l'agriculture pluviale et irriguée a contribué pour une large part à ces augmentations. La gestion de l'eau en agriculture a étayé l'intensification imputable à l'application d'engrais et à l'utilisation de variétés à haut rendement. C'est dans ce sens que l'on estime que la productivité de l'eau seule a augmenté de 100% au cours des 40 dernières années.

A l'avenir, l'agriculture va devoir faire face à l'évolution des besoins alimentaires et lutter contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté dans les communautés marginalisées. Pour ce faire, elle devra entrer en concurrence avec d'autres utilisateurs pour des ressources en eau peu abondantes et limiter la pression qu'elle exerce sur l'environnement hydrique. L'eau sera l'élément clé de l'effort qu'il faudra fournir pour augmenter et maintenir la production agricole de manière à satisfaire ces multiples besoins. Il va

par conséquent falloir que les politiques et investissements agricoles deviennent beaucoup plus stratégiques, et déverrouillent le potentiel des pratiques de gestion de l'eau en agriculture pour augmenter la productivité, généraliser l'accès équitable à l'eau et préserver la productivité naturelle des ressources fondamentales en eau. Le présent rapport étudie en détail certains points essentiels liés à ces nouveaux enjeux.

Le chapitre 2 étudie les ressources en eau dont le monde dispose actuellement et pour l'avenir, en s'appuyant sur les résultats de plusieurs modèles informatiques prédisant les futures utilisations de l'eau en agriculture. Les eaux pluviales, celles des canaux et celles qui sont pompées dans les eaux souterraines sont toutes nécessaires à la production alimentaire. Le chapitre 2 analyse leurs rôles spécifiques dans la lutte contre la pauvreté et le développement rural. Elles diffèrent également les unes des autres pour ce qui est des enjeux qu'elles représentent quand elles sont utilisées pour augmenter la productivité de l'eau en agriculture, définie par le rendement agricole par unité d'eau consommée.

Le chapitre 3 traite des questions que pose la volonté d'améliorer la productivité de l'eau en agriculture. Il précise que les valeurs données pour la productivité de l'eau dépendent de l'échelle à laquelle elles sont évaluées. Il est entendu que la réduction des pertes par infiltration et percolation dans les champs peut augmenter la productivité de l'eau dans bien des systèmes d'irrigation. Néanmoins, lorsque ces prétendues pertes sont extraites des nappes souterraines et utilisées pour l'irrigation ailleurs, il faut bien voir que ce qui est perdu à un endroit

devient une ressource ailleurs. C'est ce qu'illustre la différence entre l'efficacité de l'irrigation mesurée au champ (c'est-à-dire la part de l'eau extraite pour l'irrigation qui parvient aux champs) dans les systèmes d'irrigation égyptiens, qui s'élève à environ 40 pour cent, et l'efficacité de l'irrigation calculée pour l'ensemble du bassin du Nil qui atteint presque 90 pour cent. La différence découle de la réutilisation massive des eaux de drainage (Keller et Keller, 1995).

Le chapitre 4 analyse la gestion des risques en agriculture. Il examine les raisons pour lesquelles les agriculteurs préfèrent les pratiques agricoles à faibles niveaux d'intrants qui donnent une production faible mais stable. Il étudie les mesures d'incitation, en particulier dans le domaine de la gestion de l'eau, susceptibles de leur faire accepter de prendre davantage de risques, mais aussi de produire plus. Il constate par ailleurs que pour ce qui est de l'agriculture irriguée, la réponse repose en partie sur la mise en place de meilleurs services de gestion qui permettraient une plus grande fiabilité de l'approvisionnement en eau. En ce qui concerne l'agriculture pluviale, la solution pourrait partiellement venir de l'introduction de techniques qui répartiraient plus favorablement la quantité d'eau de pluie stockée dans la rhizosphère et celle qui s'écoule dans les drains.

Le chapitre 5 étudie les méthodes permettant de diminuer les incidences négatives pour l'environnement de la mise en valeur des ressources en eau. Il y avait naguère plus de 1,6 million d'hectares de zones humides en Californie, aux Etats-Unis, mais plus de 90% de ces surfaces ont été drainées et converties à d'autres utilisations (Van Schilfhaarde, 1990). Il serait sans

doute possible de trouver des statistiques semblables pour d'autres pays et régions intensivement irrigués. La mise en valeur des ressources en eau a considérablement diminué l'abondance des cours d'eau, de la végétation riveraine et des zones humides qui constituent les habitats des espèces sauvages. Ce n'est que récemment que le monde a réalisé que les zones humides dispensaient de précieux «bénéfices écosystémiques», comme la reconstitution des eaux souterraines, l'atténuation des inondations et l'action de tampon pour les sédiments et la pollution.

Le chapitre 6 s'intéresse à la modernisation de la gestion des eaux d'irrigation. Ces dernières 30-40 années ont vu la réhabilitation de nombreux systèmes d'irrigation dans les pays en développement. Ces travaux avaient généralement été rendus nécessaires par des années de négligence (souvent dues à un manque de moyens), et visaient à remettre ces systèmes dans leur état d'origine. De tels travaux de réhabilitation n'avaient souvent qu'un effet éphémère. Si la gestion est incapable d'exploiter un système et d'en maintenir la qualité, ce n'est pas en restaurant l'infrastructure matérielle que l'on parviendra à améliorer la production. L'inverse est aussi vrai: une bonne gestion ne pourra obtenir de

résultats satisfaisants à partir d'un système mal conçu ou entretenu. En outre, ce qui a pu convenir par le passé risque de ne plus répondre aux besoins et attentes actuels des services d'approvisionnement en eau. La modernisation doit ainsi porter aussi bien sur les infrastructures que sur l'organisation institutionnelle, pour que le système modernisé soit davantage axé sur les services et par conséquent mieux adapté aux plans de culture et méthodes d'irrigation actuels et futurs.

La FAO (1997) entend, par modernisation de l'irrigation, tout un processus de valorisation technique et d'amélioration de la gestion (par comparaison avec une simple réhabilitation) des systèmes d'irrigation, associé à des réformes institutionnelles, qui vise à améliorer l'utilisation des ressources (main d'oeuvre, eau, fonds, environnement), ainsi que les services pour l'approvisionnement en eau des agriculteurs.

Le dernier chapitre de ce document met en évidence les choix auxquels sont confrontés les gouvernements et les organismes de financement pour garantir autant que possible que la pénurie d'eau ne freine pas le potentiel de notre planète à produire assez de nourriture pour la future population mondiale.



L'eau et la viabilité de la production alimentaire, la lutte contre la pauvreté et le développement rural

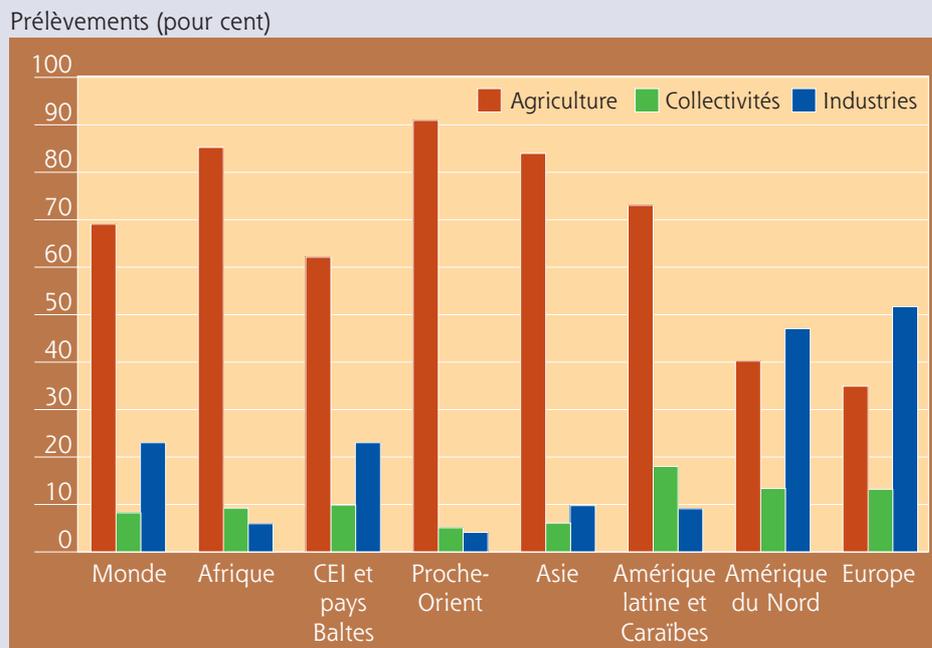
La presque entière totalité de l'eau, sur la planète, se présente sous forme d'eau salée dans les océans. Les deux-tiers des 3 pour cent de ressources mondiales en eau douce se trouvent dans les régions polaires et montagneuses sous forme de neige et de glace. L'eau douce liquide ne constitue par conséquent qu'environ 1 pour cent des ressources mondiales en eau, et se trouve pour l'essentiel, et en permanence, sous forme d'eau souterraine puisque l'eau des rivières et des lacs représente moins de 2 pour cent de ces eaux douces liquides. Sous les climats tempérés humides, environ 40 pour cent des précipitations rejoignent les eaux souterraines, alors que dans les climats de type méditerranéen, ce pourcentage est de 10-20 pour cent. Pour les climats vraiment secs, cette valeur peut se réduire quasiment à zéro (Bouwer, 2002). Seule une partie de l'eau des rivières et lacs et des eaux souterraines est accessible ou utilisable parce qu'une proportion importante d'eau s'écoule dans des rivières inaccessibles ou est absorbée par les inondations saisonnières et ne peut être captée avant d'avoir atteint l'océan. Il ne resterait donc que 9 000 à 14 000 km³ par an d'eau économiquement viables pour la consommation humaine, ce qui représente, au maximum, 0,001 pour cent de la quantité totale d'eau estimée à l'échelle mondiale. A l'heure actuelle, les prélèvements annuels en eau pour la consommation humaine s'élèvent à environ 3 600 km³. Ces chiffres pourraient donner l'impression que notre

monde dispose de réserves abondantes d'eau pour l'utilisation humaine. Il faut toutefois laisser une partie des eaux de surface dans les rivières et les fleuves pour assurer la dilution des effluents et préserver l'intégrité des écosystèmes aquatiques. Le volume de la part qu'il faut laisser s'écouler est encore mal connu, puisqu'il varie selon le moment de l'année, et que chaque bassin fluvial possède ses propres limites écologiques précises en dessous desquelles le système pourrait se dégrader. A l'échelle mondiale, il a été évalué à 2 350 km³/an. En ajoutant ce chiffre à la quantité d'eau prélevée annuellement pour la consommation humaine, on parvient à un total d'approximativement 6 000 km³ de ressources accessibles de manière économique mais déjà utilisées (FAO, 2002b). Cela montre à quel point, globalement, la marge est faible. En effet, l'eau et les populations étant inégalement réparties sur notre planète, la situation est déjà critique en matière d'eau pour divers pays et régions, et risque de le devenir dans plusieurs autres.

L'agriculture est le principal utilisateur d'eau, toutes ressources confondues, soit les précipitations (appelées eaux vertes) et l'eau des rivières, lacs et nappes souterraines (ou eaux bleues). Elle absorbe environ 70 pour cent des prélèvements mondiaux, la consommation domestique totalisant approximativement 10 pour cent et l'industrie 21 pour cent (**figure 2**).

Figure 2 Prélèvements en eau par région et secteur

Source: Eau et agriculture. FAO, 2002



Il est important de faire la distinction entre l'eau prélevée pour l'utilisation et l'eau réellement consommée. Dans l'agriculture irriguée, environ la moitié de l'eau prélevée (mais cette proportion peut varier considérablement) est consommée par évaporation et évapotranspiration des plantes et à la surface des sols humides. Certaines espèces participant à ce processus d'évapotranspiration sont des plantes et mauvaises herbes improductives qui poussent sur des terres incultes. L'eau prélevée mais non consommée s'infiltre dans le sol pour être stockée sous forme d'eaux souterraines, ou retourne aux rivières par les systèmes de drainage. Toutefois, l'eau de drainage est généralement de moins bonne qualité que l'eau prélevée initialement à cause de la contamination des produits agrochimiques et des sels lessivés dans le profil pédologique. Le débit récupéré des eaux prélevées pour l'agriculture s'élève à 50 pour cent, contre 90 pour cent de l'eau prélevée pour les collectivités qui retournent aux rivières et aux nappes souterraines sous forme d'eaux usées, et jusqu'à 95 pour cent des eaux utilisées par l'industrie. Les débits

recyclés de mauvaise qualité évacués par les zones urbaines et industrielles sont parfois traités avant d'être rejetés dans les rivières, mais la nature diffuse de la pollution agricole rend le traitement difficile. C'est pourquoi il vaut peut-être mieux faire face à la pollution des eaux agricoles en contrôlant les quantités utilisées et les rejets des terres agricoles.

L'IMPORTANCE DE LA PRODUCTION PLUVIALE

Les précipitations alimentent en eau la production végétale des régions les plus humides du monde, où poussent quelque 60 pour cent des cultures vivrières de la planète. L'agriculture pluviale exploite environ 80 pour cent des terres arables, et l'agriculture irriguée produit 40 pour cent des cultures vivrières sur les 20 pour cent restants. Pour faire face à la future demande alimentaire, il faudra en principe augmenter la proportion relative de cultures qui poussent sur les terres irriguées par rapport à celles des terres exploitées en sec, de manière à ce que les deux types de

L'eau et la viabilité de la production alimentaire, la lutte contre la pauvreté et le développement rural

culture produisent à peu près les mêmes quantités. Etant donné l'importance de la production céréalière en sec, on ne s'est pas suffisamment intéressé à la croissance potentielle de la production dans les zones non irriguées. En général, l'accent est plutôt mis sur l'expansion possible des surfaces irriguées. Toutefois, l'augmentation des rendements céréaliers dans les pays tempérés d'agriculture pluviale, conjuguée à une amélioration de la protection des végétaux et des techniques de fertilisation et à l'utilisation de l'irrigation d'appoint dans les pays plus arides, fait apparaître le potentiel manifeste du perfectionnement de l'agriculture pluviale.

Dans les régions arides, la pénurie d'eau est la conséquence de l'insuffisance des précipitations. Les régions semi-arides peuvent recevoir des précipitations suffisantes sur l'année pour la croissance des cultures, mais leur répartition est si irrégulière dans l'espace et le temps qu'il est tout juste possible d'y pratiquer l'agriculture pluviale. L'augmentation de la variabilité des précipitations se manifeste généralement par une

diminution des volumes annuels, et les pays sahéliens sont particulièrement touchés par ce phénomène. Ces régions sont connues pour leurs sécheresses périodiques qui durent parfois plusieurs années. Dans les régions semi-arides, la pluie a également tendance à se présenter sous la forme de quelques fortes averses, ce qui rend le captage pour les usages agricoles difficile. Dans ces conditions, des quantités importantes d'eaux de ruissellement aboutissent dans les systèmes de drainage et s'infiltrent éventuellement jusqu'aux eaux souterraines ou aux rivières. Lorsque le débit fluvial est fort et difficile à maîtriser, une méthode de captage du débit consiste à pratiquer l'irrigation de crue qui détourne les eaux d'un cours d'eau, partiellement ou en totalité, jusqu'à des champs entourés de digues. Cette technique, en une seule irrigation pouvant atteindre 50 cm, peut humidifier suffisamment le sol pour permettre une récolte de blé, même dans les sols squelettiques du Yémen. La récupération des eaux de crue se pratique dans le lit d'un cours d'eau dont on bloque l'écoulement, ce qui provoque une concentration

Planche 2 Prise d'eau d'un canal et gabions protégeant les berges, construits dans le cadre d'un programme de réparation d'un système d'irrigation (Afghanistan)



FAO/18048/M. GRIFFIN

des eaux dans le lit. Lorsque la saison des crues prend fin, on cultive la partie du lit du cours d'eau où les eaux ont été collectées. Un autre système de terrasses ménagées sur les oueds (cours d'eau éphémères) permet de récupérer les eaux de crue. Il s'agit de construire une série de petits barrages de retenue en travers de l'oued et de cultiver son lit. Un débit trop important ouvrira des brèches dans les barrages de retenue ou les digues de dérivation édifiés pour l'irrigation de crue. La validité de ces méthodes dépend aussi des conditions pédologiques et de la profondeur du lit de l'oued. La collecte des eaux de pluie, qui consiste à récupérer et stocker les eaux de ruissellement, s'est aussi avérée utile dans les régions semi-arides où les précipitations ne sont pas fréquentes (chapitre 3).

Bien qu'il existe un large éventail de technologies de récupération des eaux de pluie, la généralisation de leur utilisation n'est pas toujours évidente, en particulier pour les agriculteurs pauvres. Les coûts de construction et d'entretien d'un système de récupération de l'eau sont des facteurs essentiels lorsque les agriculteurs décident d'adopter ou non ces techniques. Les systèmes de récupération de l'eau ont souvent, par le passé, été installés avec l'aide financière d'organismes externes tels que les ONG et les agences de financement internationales. Un grand nombre d'entre eux n'ont pas donné de bons résultats à cause du manque d'engagement des bénéficiaires et de leur incapacité à organiser et financer l'entretien. Selon Rosegrant *et al.* (2001), les coûts de construction des systèmes de récupération de l'eau au Turkana, au Kenya, varient de 625 à 1 015 \$E.U./ha. Ce sont la main d'oeuvre et la construction qui représentent l'essentiel de ces frais, car les coûts d'option pour l'utilisation des terres sont quasiment nuls. Le coût élevé de la

main d'oeuvre au démarrage de la construction d'un système de récupération de l'eau constitue souvent un élément dissuasif pour l'adoption de cette technique. En outre, les agriculteurs des zones arides ou semi-arides ne disposent souvent pas des ressources humaines nécessaires pour déplacer les gros volumes de terre qu'exigent les systèmes importants. C'est pourquoi les techniques de mise en valeur des eaux et des sols à petite échelle, qui peuvent s'appliquer au niveau du champ, sont souvent adoptées plus facilement. Les investissements à plus grande échelle exigent l'existence ou la création d'organisations communautaires, à la fois pour payer le capital et l'entretien nécessaires et pour gérer les bénéfices générés par les infrastructures de récupération de l'eau. Les travaux d'entretien doivent parfois être effectués à la saison des pluies lorsque la main d'oeuvre est relativement rare et par conséquent coûteuse en raison de la concurrence avec l'agriculture classique (Tabor, 1995). Malgré ces réserves quant aux possibilités de généraliser l'application des systèmes de récupération de l'eau, les études sur modèle révèlent des perspectives importantes pour l'augmentation de la production pluviale, à condition que soient décidés des investissements et des changements d'orientations appropriés (Rosegrant *et al.*, 2002). L'amélioration génétique des cultures destinées aux milieux d'agriculture pluviale est cruciale. Le chapitre 3 étudie l'intégration de la gestion des cultures et des ressources en eau.

L'IMPORTANCE CROISSANTE DES EAUX SOUTERRAINES

L'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation présente un paradoxe: les régions où les ressources en eau ont été surexploitées coexistent avec celles possédant un potentiel

Encadré 1 Surexploitation et viabilité: une théorie complexe, des pratiques simples

Source: Burke et Moench, 2000

Il existe une confusion entre les termes «surexploitation» et «exploitation de ressources fossile». Ce dernier terme désigne uniquement le tarissement d'un stock d'eaux souterraines non renouvelables, qui laisse la nappe définitivement appauvrie. L'exploitation des réserves fossile est un choix de gestion stratégique des ressources en eau qui nécessite que l'on en comprenne bien toutes les répercussions physiques, sociales et économiques et que l'on en tienne compte sur la durée. La recharge des nappes phréatiques par la percolation vers le bas des eaux de pluie indique une forte variabilité interannuelle et constitue un phénomène physique complexe qui reste difficile à évaluer. L'abaissement de la surface d'une nappe phréatique ne signifie pas nécessairement qu'il y a surexploitation des ressources en eaux souterraines. La surexploitation ne devrait pas se définir en fonction du bilan annuel de la recharge et du captage, mais nécessite une évaluation sur plusieurs années, puisqu'en général on ne connaît pas la limite entre le stock non renouvelable et celui qui se reconstitue par la récente recharge de la percolation de surface.

L'important, pour les décideurs et les utilisateurs des puits, est de connaître la fiabilité et la productivité globales d'un puits (sur le plan des niveaux d'eau, des volumes et de la qualité de l'eau) sur une période donnée. Ainsi, pour un puits exploitant les eaux d'une nappe particulière, ils voudront savoir quel est le coefficient d'exploitation durable, en tenant compte de la variabilité des périodes de recharge et de l'éventualité des sécheresses. La réponse à cette question n'est pas sans intérêt, et nécessite un certain niveau de précision dans la compréhension de la dynamique du système. Si l'on comprend celle-ci, il est possible de calculer le rabattement maximal disponible au moyen d'une équation non linéaire. Cette équation peut être résolue par l'approche analytique ou par l'application de modèles numériques. Si la formation aquifère est suffisamment bien connue, il est aussi possible d'inclure dans la valeur convenue pour le rabattement maximal disponible l'exploitation d'une partie des ressources en eaux souterraines non renouvelables. Ces méthodes, parce qu'elles donnent aux utilisateurs une idée des coefficients d'exploitation durable, peuvent constituer une bonne base pour anticiper la dégradation d'une nappe avant l'apparition de dommages physiques et socio-économiques.

considérable d'utilisation des eaux souterraines pour l'agriculture irriguée (**encadré 1**). Le corollaire en est la soit-disant erreur d'agrégation: sur un plan global, à l'échelle mondiale ou même nationale, les disponibilités en eaux souterraines semblent dépasser largement les quantités utilisées actuellement, estimées, pour l'ensemble de la planète, à 750-800 km³ par an (Shah *et al.*, 2000). Ce chiffre peut sembler modeste par rapport aux réserves en eaux souterraines du monde, mais seule une partie de ces réserves est économiquement utilisable pour l'agriculture. Selon les estimations, environ 30 pour cent de l'approvisionnement en eau d'irrigation sont extraits des eaux souterraines dans le monde, mais cet apport est à l'origine de quelques-uns des rendements les plus élevés et des cultures à plus fort rapport économique (FAO, 2003).

Le nombre de forages alimentant en eau les terres irriguées a rapidement augmenté au cours des 40 dernières années en Inde, en Chine, au Pakistan, au Mexique et dans de nombreux autres pays. Par exemple, en Inde, environ 60 pour cent

de la production céréalière irriguée est basée sur l'eau d'irrigation pompée dans les nappes souterraines. Cela a entraîné une surexploitation massive et non réglementée de la ressource et la création d'un «emballement économique spéculatif» sur les eaux souterraines (Roy et Shah, 2002). Au Yémen, le captage dépasserait la recharge de 400 pour cent (**encadré 2**). Le captage et la recharge des eaux souterraines ont rarement été précisément quantifiés. Cela devrait donc constituer la première étape de l'évaluation du potentiel d'exploitation de la ressource et de l'élaboration de méthodes de gestion (**encadré 2**). Lorsque l'agriculture irriguée dépend en partie du pompage des eaux souterraines, de nombreux périmètres irrigués utilisent plusieurs méthodes d'irrigation, qui peuvent varier de l'irrigation entièrement assurée par l'eau amenée par les canaux à l'irrigation totalement approvisionnée par le pompage des eaux souterraines, la plupart des champs associant plus ou moins les deux. C'est pourquoi l'irrigation, par définition, est une activité multiforme, mais il y a peu d'exemples de gestion multiforme.

Encadré 2 Modernisation participatoire de la gestion de l'eau pour réduire la surexploitation des eaux souterraines au Yémen

Source: Dixon et al., 2001

La conséquence immédiate de l'appauvrissement permanent des ressources en eau au Yémen est l'insécurité alimentaire des ménages, et en particulier des familles pauvres vivant dans des zones rurales vulnérables. La seule option viable est l'amélioration de la gestion des ressources disponibles par l'adoption de technologies et d'outils de gestion appropriés.

En 1995, le gouvernement du Yémen a pris conscience de ces problèmes et lancé un programme d'amélioration de l'efficacité générale de l'irrigation par les eaux souterraines, dans lequel figure le projet de mise en valeur des terres et des eaux (financé par la Banque mondiale), qui repose sur le partage des coûts, la participation des agriculteurs et l'adoption de technologies modernes d'irrigation.

Les économies réalisées sur l'eau à l'échelle des exploitations agricoles varient de 10 à 50 pour cent. Au niveau régional, les économies sur l'utilisation de l'eau se sont en moyenne élevées à au moins 20 pour cent et ont pu atteindre 35 pour cent dans certains cas, en particulier dans le nord-ouest du Yémen où la plupart des exploitations sont équipées de systèmes d'irrigation par ajoutage. Etant donné les coûts actuels d'exploitation dont doivent s'acquitter les agriculteurs pour pomper l'eau (même si l'énergie est relativement bon marché), les coûts d'investissement des nouveaux équipements sont amortis en deux à quatre ans, juste par les économies réalisées sur l'eau. Les nouvelles technologies ont par ailleurs d'autres retombées positives, dont une amélioration appréciable des rendements et de la qualité des produits, qui découlent de la modification des systèmes de culture et de l'augmentation des superficies irriguées.

En Chine, 52 pour cent des terres irriguées sont, au moins en partie, alimentées par des forages. Du fait de la surexploitation des eaux souterraines, la surface des nappes a baissé de jusqu'à 50 m au cours des 30 dernières années. Dans le bassin de la rivière Fuyang, par exemple, dans le nord de la Chine, l'accès aux eaux de surface a été considérablement restreint pour répondre à la demande industrielle, et les agriculteurs ont recouru aux eaux souterraines pour l'irrigation. La crise asiatique des eaux souterraines à laquelle Shah *et al.* (2000) font allusion, et qui menace des millions de communautés rurales pauvres, procède de la nature facilement accessible de la ressource. Paradoxalement, c'est précisément le fait que les eaux souterraines se situent dans des nappes peu profondes qui en ont fait un outil très efficace pour lutter contre la pauvreté (Moench, 2002), en ce que toute personne qui peut se permettre d'installer une pompe accède librement à l'eau. L'irrigation par les eaux souterraines est généralement plus productive que l'irrigation par l'eau des canaux parce que les eaux souterraines sont extraites près du lieu d'utilisation et que les pertes dues au transport sont presque inexistantes. En outre, les agriculteurs contrôlent la durée du captage et les

quantités extraites. Il a été observé en Inde que le rendement des cultures par mètre cube d'eau avait tendance à être de 1,2 à 3 fois plus important sur les exploitations agricoles irriguées par les eaux souterraines que sur celles qui étaient irriguées par les eaux de surface (Shah *et al.*, 2000).

Partout dans le monde, l'exploitation des eaux souterraines est essentiellement le fruit d'initiatives individuelles. A la différence des projets d'irrigation de surface ou d'approvisionnement en eau potable, auxquels les organismes gouvernementaux sont généralement associés en participant à leur conception, à leur financement et à leur mise en oeuvre, la plupart des initiatives d'exploitation des eaux souterraines ont été prises par des agriculteurs individuels qui ont décidé de forer des puits et d'acheter des pompes. Si les gouvernements facilitent souvent ces entreprises par des aides financières et l'électrification des zones rurales, il est rare qu'ils disposent de services importants pour la mise en oeuvre de tels projets. Par conséquent, très peu d'organismes gouvernementaux sont en contact direct et fréquent avec les utilisateurs des eaux souterraines. En outre, l'exploitation des eaux de surface nécessite généralement le détournement du débit ou la

construction de retenues sur des cours ou masses d'eau clairement définis. Ces aménagements ont habituellement des répercussions évidentes sur les utilisateurs d'aval, au moins d'un point de vue conceptuel. De ce fait, de nombreuses règles de droit coutumier et conventionnel ont été créées au cours de la longue histoire de l'exploitation des eaux de surface, ainsi que les systèmes de contrôle et d'application nécessaires pour les faire respecter. En général, l'exploitation des eaux souterraines n'est pas aussi structurée, car il s'agit d'un phénomène récent, dont les détournements ont un impact beaucoup moins facilement repérable sur les autres utilisateurs. Elle reste ainsi très «individualiste» et s'organise plutôt en dehors du cadre des institutions reconnues pour ce qui est de l'attribution, de la surveillance et de la gestion de la ressource. En Inde, par exemple, dix millions d'individus possèdent et exploitent des puits, situés pour la plupart sur des terrains privés. Souvent, seuls les utilisateurs et la communauté environnante sont courants de l'emplacement, de l'utilisation et même de l'existence de ces puits. Aucune base institutionnelle de gestion n'a par conséquent été mise en place.

LE RÔLE DES PÉRIMÈTRES IRRIGUÉS PAR LES EAUX DE SURFACE

Les indicateurs mondiaux de la pénurie d'eau ont tendance à ne pas tenir compte des variations de l'importance de l'agriculture irriguée pour la sécurité alimentaire des pays. Ils ne prennent pas non plus en considération les différences saisonnières de l'approvisionnement. En Inde, par exemple, plus de 70 pour cent de l'approvisionnement total sont récupérés pendant les trois mois de la mousson, en juin, juillet et août, et la plus grande partie de cette eau s'écoule à la mer en inondant les terres sur son passage. De plus, les données nationales ne font aucun cas des différences d'approvisionnement et de prélèvement entre les régions d'un même pays, ce qui constitue un autre exemple d'erreur d'agrégation. Malgré ces réserves, la plupart des observateurs constatent que de nombreux pays ne disposent pas de surplus d'eau pour l'irrigation. En fait, beaucoup de pays ont des prélèvements annuels insuffisants pour irriguer leur potentiel de superficies irrigables globales, même avec une efficacité d'irrigation élevée à l'échelle du bassin. L'efficacité d'irrigation par bassin tient compte de

Planche 3 Terres agricoles inondées par une crue éclair (Bangladesh)



FAO/9387/T. PAGE

toutes les eaux de drainage réutilisées. Elle est beaucoup plus élevée que l'efficacité d'irrigation par système qui considère les débits de drainage d'un système réutilisés pour l'irrigation dans un autre système situé en aval. Quel que soit l'indicateur de pénurie d'eau employé, la plupart des analyses indiquent que plus de la moitié de la population mondiale vit dans des pays connaissant un certain niveau de pénurie d'eau. Il peut s'agir d'une pénurie physique (il n'y a plus d'eau), économique (le pays n'a pas les moyens de mettre de nouvelles ressources en eau en exploitation), ou provoquée par une incapacité adaptative au niveau social. On peut donner, comme exemples de capacité adaptative, l'aptitude à obtenir une production de plus grande valeur par unité d'eau consommée, et l'importation d'«eau virtuelle», c'est-à-dire l'eau utilisée pour produire les denrées agricoles obtenues sur le marché mondial (Allan, 1995) (chapitre 3, encadré 5).

Le fait que la pénurie d'eau risque de se traduire par une augmentation du nombre de personnes touchées par l'insécurité alimentaire est extrêmement préoccupant. La concurrence pour les mêmes ressources, à laquelle s'ajoute la pollution croissante des eaux, exacerbe ce problème. Par ailleurs, les répercussions encore mal connues du changement climatique pourraient aggraver la pénurie d'eau dans certains pays. Plusieurs études laissent entendre qu'avec les modifications climatiques, les récoltes de riz vont vraisemblablement augmenter dans les latitudes plus hautes et diminuer dans les latitudes plus basses. Il y a tout lieu de craindre que les pays les plus pauvres (et les personnes les plus pauvres qui y vivent) souffriront exagérément de ces phénomènes dans la mesure où ils auront plus de mal à s'adapter aux changements de conditions. Les projections de

l'IFPRI pour l'avenir (réalisées à partir de leurs études sur modèles) indiquent que les prélèvements en eau vont progresser d'environ 22 pour cent entre 1995 et 2025. Il est prévu que les prélèvements augmenteront de 27 pour cent sur ces trente années dans les pays en développement, contre 11 pour cent dans les pays développés (Rosegrant *et al.*, 2002). On n'attend qu'une très faible augmentation des superficies irriguées, qui sera plus que compensée par l'augmentation en efficacité des bassins fluviaux.

La FAO prévoit toutefois que l'ensemble des prélèvements d'eau pour l'irrigation, dans tous les pays en développement, augmentera de 2 128 km³ pour la période repère de 1997/99 à 2 420 km³ en 2030, soit une augmentation de près de 14 pour cent. La FAO estime en outre que l'ensemble des superficies irriguées, toujours dans les pays en développement, passera de 202 millions d'hectares en 1997/99 à 242 millions d'hectares en 2030, c'est-à-dire une augmentation de près de 20 pour cent. L'extension la plus importante est prévue en Afrique subsaharienne (44 pour cent), et la plus faible en Asie orientale (6 pour cent). On prévoit également des augmentations de 32 pour cent en Amérique latine, d'environ 10 pour cent au Proche-Orient et en Afrique du Nord et de 14 pour cent en Asie méridionale (FAO, 2002c; Faurès *et al.*, 2002). La superficie irriguée et effectivement cultivée devrait s'accroître de 34 pour cent au cours de la période considérée, grâce à de meilleurs rendements des cultures. La différence dans les pourcentages d'augmentation des prélèvements en eau et des superficies irriguées s'explique pour beaucoup par l'accroissement de la productivité de l'eau en agriculture irriguée, censé se produire d'ici 2030, et aussi en partie par le remplacement de la culture du riz, grosse consommatrice d'eau, par celle du blé, en particulier en Chine.

Planche 4 Section de canal principal en construction (Rwanda)



FAO/20232/FAO

Pour l'ensemble des 93 pays, les prélèvements en eau d'irrigation, exprimés en pourcentage des ressources en eau annuellement renouvelables, augmenteraient de 8 pour cent en 1998 à 9 pour cent en 2030. Cette statistique a une valeur pratique limitée dans les régions où les précipitations et le débit des rivières sont très variables. C'est encore un autre exemple d'erreur d'agrégation. Les prélèvements pour l'irrigation devraient augmenter de 40 à 53 pour cent des ressources renouvelables dans la région du Proche-Orient et de l'Afrique du Nord, et de 44 à 49 pour cent en Asie méridionale, par comparaison avec 1 à 2 pour cent en Amérique latine. Les régions dont les prélèvements pour l'irrigation dépassent 40 pour cent de leurs ressources renouvelables sont confrontés aux problèmes les plus ardues, d'autant plus que les différences sont plus importantes à l'échelle des pays. De ces 93 pays, 10 (dont l'Égypte et le Pakistan) prélèvent plus de 40 pour cent de leurs ressources en eau renouvelables pour l'irrigation, alors que 8 (dont l'Inde et la Chine) extraient plus de 20 pour cent d'eaux renouvelables pour l'irrigation.

Bien que les prévisions de l'IFPRI et de la FAO diffèrent dans les détails, elles concordent sur l'orientation générale des changements attendus. Elles ne peuvent guère converger davantage dans la mesure où les résultats des modèles reposent sur des hypothèses tendancielle, dont l'une des plus cruciales est celle qui présume de la mesure dans laquelle la productivité de l'eau en agriculture peut être augmentée entre maintenant et 2025 ou 2030.

L'INVESTISSEMENT DANS LES INFRASTRUCTURES D'IRRIGATION

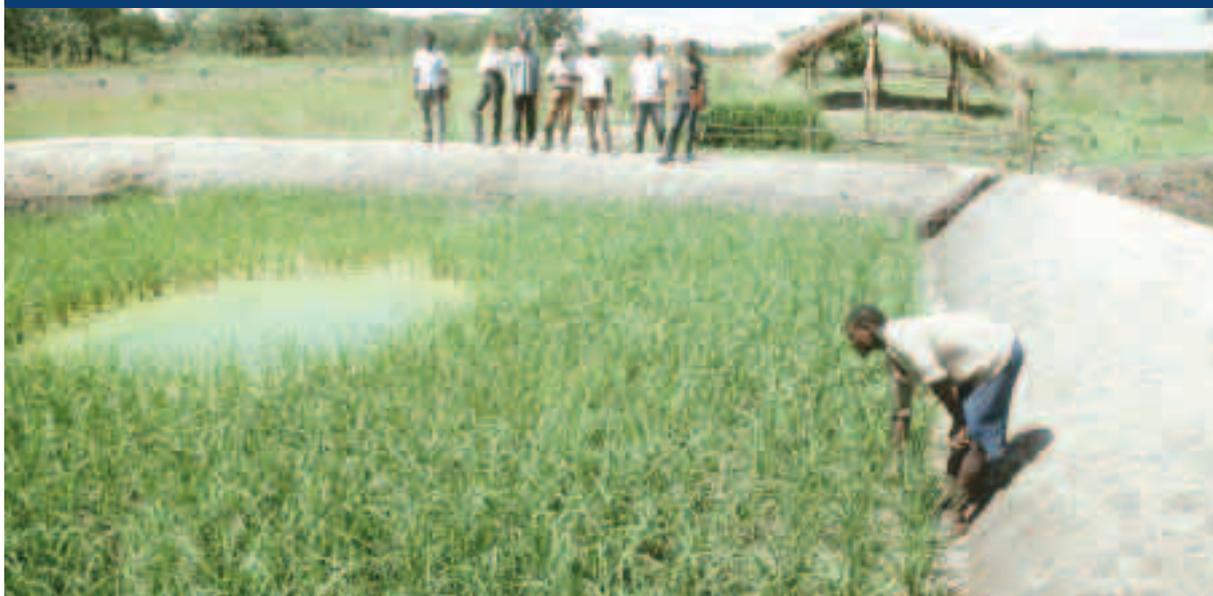
Il n'existe pas de compte rendu global des tendances en matière d'investissement pour l'irrigation, mais certaines approximations peuvent aider à dégager ces tendances. On a par exemple pu observer une forte diminution des crédits accordés par la Banque mondiale pour les nouveaux projets d'irrigation (Jones, 1995). Le financement des nouveaux aménagements d'irrigation a pour une large part été interrompu et l'accent a été mis sur la viabilité et l'efficacité des systèmes existants. Selon Thompson (2001),

L'eau et la viabilité de la production alimentaire, la lutte contre la pauvreté et le développement rural

l'irrigation et le drainage sont encore au coeur des activités d'investissement des programmes de la Banque mondiale pour le développement rural, mais il s'agit maintenant essentiellement d'appuyer la réhabilitation et le transfert des responsabilités aux syndicats d'irrigants (SI). Le nombre de projets d'irrigation et de drainage devrait toutefois baisser bien en dessous des niveaux des années quatre-vingts. On considère que l'investissement dans les systèmes d'irrigation n'a pas su répondre à l'évolution des besoins des services d'irrigation parce que la réhabilitation des systèmes existants visait essentiellement à rétablir les objectifs des projets initiaux. Ce type de réhabilitation est souvent inapproprié car il ne tient pas compte des changements qu'il faudrait apporter aux systèmes de culture et aux techniques d'irrigation et fait ainsi perdurer l'utilisation de méthodes donnant une faible productivité de l'eau. Les retards et les dépassements de coûts des projets d'irrigation, ainsi que l'hostilité publique aux projets de construction de grands barrages, ont encore davantage jeté le discrédit sur l'investissement en irrigation dans l'esprit des

organismes de financement. Etant donné les aspects négatifs de l'agriculture irriguée (ex.: salinité, engorgement, risques pour la santé et exploitation des eaux souterraines), il n'est plus possible de tenir pour acquis que l'irrigation est le procédé de prédilection garanti dont les effets externes néfastes sont acceptés sans réserves. Il importe néanmoins que le développement de l'irrigation et la construction de barrages continuent, au moins pour actualiser les installations existantes et remplacer les barrages et réservoirs qui ont perdu l'essentiel de leur capacité de stockage à cause de la sédimentation. La perte de capacité effective des réservoirs méditerranéens varie actuellement entre 0,5 et 1 pour cent par an, avec des pointes à 3 pour cent dans certaines régions (Algérie). Au Maroc, la réduction de la capacité de régulation attribuable à l'envasement des réservoirs équivaut à une perte de 6 000-8 000 ha/an du potentiel d'irrigation (FAO, 2002d). L'amélioration de la lutte contre l'érosion dans les zones de captage permettra peut-être de prolonger la longévité des réservoirs et barrages.

Planche 5 Agriculteur vérifiant sa culture au cours d'essais de production associée de riz et de poisson (Zambie)



FAO/17218/A - JENSEN

La réduction du niveau d'investissement dans l'irrigation peut avoir du bon. La construction de nombreux systèmes d'irrigation a souvent par le passé découlé de l'offre, puisqu'elle s'intégrait dans l'aide au développement sur des fonds internationaux, sans que les futurs utilisateurs de l'aménagement aient vraiment leur mot à dire et parfois même contre leur volonté exprimée. Le potentiel d'irrigation était et est toujours considéré comme un indicateur important pour évaluer le développement futur de l'irrigation. Ce paramètre exprime le potentiel d'expansion des superficies irriguées d'un pays en fonction des critères d'utilisation des sols et de disponibilité de l'eau. Il s'ensuit que sa valeur change selon la période, l'économie du pays et la concurrence sur l'eau. Cela étant, cette notion de potentiel d'irrigation a souvent été utilisée comme seul critère pour définir les politiques d'un pays en matière d'agriculture et de ressources en eau, sans que soit effectuée en parallèle une analyse des contraintes économiques, sociales, institutionnelles et écologiques et sans analyse approfondie du marché. L'échec de certains projets d'irrigation est imputable à leur concentration excessive sur l'infrastructure d'irrigation et la distribution de l'eau, ainsi qu'à un intérêt insuffisant pour la productivité des systèmes agricoles et leur capacité d'ajustement aux marchés agricoles (Burke, 2002).

La politique publique en faveur d'un développement de l'irrigation mené par l'offre, auquel adhèrent de nombreux gouvernements et organismes donateurs, peut se justifier par l'importance constatée du rôle de l'agriculture irriguée en matière de sécurité alimentaire (voir ci-après). Toutefois, le rôle du secteur privé en faveur du développement de l'irrigation est souvent sous-estimé ou méconnu. Les nombreuses

décisions d'investissement des petits exploitants et agriculteurs commerciaux pourraient dépasser l'investissement public, comme par exemple en Zambie (FAO, 2002e), et en Inde (Moench, 1994). Ainsi, lorsque la production irriguée paraît comparativement profitable pour fournir les marchés locaux et internationaux, par exemple en légumes et en fleurs coupées plutôt qu'en cultures vivrières classiques, il semble que de considérables investissements privés suivent pour développer l'irrigation.

LE RÔLE DE L'IRRIGATION DANS LA LUTTE CONTRE LA PAUVRETÉ ET LE DÉVELOPPEMENT RURAL

Depuis 1960, la croissance des rendements céréaliers moyens a en général progressé au même rythme que la population mondiale, et il est communément admis que cela va se poursuivre jusqu'à ce que la croissance démographique commence à se stabiliser. L'augmentation de la production céréalière découle essentiellement de l'accroissement des rendements plutôt que de l'expansion des superficies cultivées. Les projections de la FAO, de l'IFPRI et de la Banque mondiale partent du principe que les augmentations futures de la production céréalière procéderont d'un accroissement suivi des rendements. Les données rassemblées par la FAO sur les rendements dégagent toutefois des tendances indiquant que les rendements céréaliers moyens, à l'échelle de la planète, devraient atteindre au moins 4 tonnes/ha pour nourrir une population mondiale de 8 000 millions de personnes, alors qu'ils s'élèvent actuellement à environ 3 tonnes/ha (Evans, 1998). Jusqu'à présent, les pays développés pris dans leur ensemble n'ont jamais atteint un rendement céréalier moyen de 4 tonnes/an. C'est là tout le défi qui se présente.

L'eau et la viabilité de la production alimentaire, la lutte contre la pauvreté et le développement rural

La participation de l'agriculture irriguée à la satisfaction de ces objectifs va être cruciale, car l'irrigation constitue un outil de gestion efficace contre les caprices des chutes de pluie. Grâce à l'irrigation, la culture de variétés à fort rendement, ainsi que l'application adaptée des engrais et produits phytosanitaires nécessaires pour permettre à ces variétés modernes d'atteindre la pleine mesure de leur capacité de production, peuvent devenir économiquement intéressantes. Selon l'IFPRI, la production alimentaire, qui va pourtant augmenter beaucoup plus rapidement dans les pays en développement que dans les pays développés, se laissera distancer par la demande, ce qui nécessitera l'augmentation des importations alimentaires. En 1999/2000, les pays en développement ont produit 1 030 millions de tonnes de céréales, soit 55 pour cent de la production mondiale, mais contribuaient pour 61 pour cent à la consommation mondiale de céréales. Pour combler l'écart entre demande et production, les pays en développement ont importé 231 millions de tonnes de céréales,

l'équivalent de 72 pour cent des importations mondiales. Ces statistiques montrent que les pays en développement jouent un rôle essentiel dans le commerce international des produits agricoles, et qu'ils sont extrêmement sensibles aux variations des marchés agricoles mondiaux sur le plan de la sécurité alimentaire. Pour les pays les plus pauvres, l'augmentation de la production agricole nationale est déterminante pour l'amélioration de la sécurité alimentaire. Cela explique pourquoi l'on continue d'estimer que l'agriculture irriguée joue un rôle vital pour garantir la sécurité alimentaire (**encadré 3**).

Le développement agricole basé sur la mise en valeur des eaux et l'irrigation est souvent considéré comme une voie prometteuse pour atténuer la pauvreté dans les zones rurales. Par exemple, la possibilité de disposer de l'eau nécessaire à la culture d'une petite parcelle domestique, souvent gérée par les femmes, peut considérablement modifier le régime alimentaire d'un ménage et par conséquent participer à

Encadré 3 Eau et sécurité alimentaire en Chine

Source: Heilig et al., 2000; Smil, 1996

La Chine peut-elle produire suffisamment de nourriture pour sa population en expansion? Voilà une question qui est sujette à controverse, et à laquelle Brown (1995) a donné une réponse négative. A l'encontre de cette position, il a été dit que la Chine compte plus de terres agricoles que le gouvernement ne le reconnaît officiellement, et aussi que les données officielles sous-estiment de jusqu'à 50 pour cent les rendements des cultures des régions vallonnées de l'intérieur. Les données sont probablement relativement fiables pour le riz des provinces centrales et orientales.

La pénurie d'eau est probablement le plus grave problème de l'agriculture chinoise aujourd'hui. Il est prévu qu'en Chine, l'utilisation en eau va augmenter de 60 pour cent d'ici 2050, au fur et à mesure de l'accroissement du pourcentage de citadins. Le déficit hydrique pourrait toucher 36 pour cent de la production céréalière de la Chine, qui est cultivée dans des zones qui dépendent totalement de l'irrigation ou dont la production est considérablement plus élevée lorsqu'elle est irriguée. Néanmoins, cela signifie aussi que 64 pour cent de la production végétale n'est pas systématiquement menacée par les pénuries d'eau, soit parce qu'elle provient de terres situées dans des régions humides, ou que les précipitations suffisent à assurer une certaine production pluviale. Il n'en reste pas moins que ce niveau de production risque de ne pas pouvoir être atteint tous les ans en raison des problèmes de sécheresses. Sans irrigation ni gestion de l'eau, les rizières du sud humide ne peuvent sans doute pas produire les deux à trois récoltes qu'elles permettent aujourd'hui, mais seulement une ou deux. Dans une vaste partie du sud et du sud-est de la Chine, la pénurie d'eau n'est pas un problème mais un défi.

Les plus importantes améliorations que la Chine pourrait apporter à son agriculture irriguée sont une utilisation plus efficace de l'eau et des engrais et une baisse des pertes après récolte. La création des syndicats d'irrigants a déjà permis d'assurer un approvisionnement d'eau garanti et plus régulier aux agriculteurs, qui peuvent alors distribuer l'eau équitablement par le biais de ces syndicats. D'autres progrès possibles sont l'amélioration de la production de viande de porc, le recours à la production de poulets à griller pour satisfaire l'essentiel des besoins supplémentaires en viande, l'accroissement de la production de poissons d'élevage et l'augmentation de la consommation de produits laitiers. Cet assortiment de mesures pourrait assurer une bonne partie des futurs besoins nutritionnels du pays, sans qu'il soit nécessaire de recourir à des importations massives de céréales étrangères.

l'amélioration de ses moyens d'existence. La récupération de l'eau peut permettre ce genre d'initiatives (FAO, 2002d). Ce sont toutefois des entreprises à petite échelle et l'agriculture irriguée, grâce à ses rendements élevés, est censée avoir une plus grande incidence sur les problèmes de pauvreté et de malnutrition. Des résultats positifs sont attendus, qu'il s'agisse de projets d'irrigation à grande ou petite échelle. Toutefois, des études récentes ont montré que pour que le développement de l'irrigation se traduise par une atténuation de la pauvreté, il faut que les projets cherchent à répondre aux besoins des populations pauvres (van Koppen *et al.*, 2002). Parmi ceux-ci, la possibilité de se former aux aspects techniques de l'irrigation, à l'organisation communautaire et à la commercialisation tient une place importante. L'un des problèmes récurrents est l'impossibilité d'accéder au crédit, au capital ou à la terre. Même le microcrédit ne connaît pas de délai de grâce; les remboursements doivent le plus souvent commencer après quelques semaines, ce qui n'offre pas grande aide pour l'achat de technologies bon marché, comme les pompes à pédales et les systèmes de micro-irrigation par goutteurs. D'aucuns disent que ces technologies permettent des bénéfices à court terme et ne nécessitent pas de prix subventionnés pour les personnes démunies ni de mesures particulières pour la lutte contre la pauvreté (FAO, 2002d). Le crédit n'est pas un problème propre au développement de l'irrigation et des solutions plus globales devront être trouvées pour permettre la réussite du développement rural des régions pauvres.

L'expansion des superficies irriguées, l'amélioration de la maîtrise de l'eau et l'application de technologies à rendements élevés

dans l'agriculture irriguée ont permis aux revenus agricoles d'augmenter considérablement, en particulier en Asie. Cette augmentation a bénéficié de manière anormalement importante aux plus gros fermiers. Ce ne sont pas les plus pauvres parmi les pauvres, mais l'augmentation de leurs modes de dépenses les a conduits à employer davantage ceux qui sont les plus pauvres. Ceux-ci n'ont pas de terres ou très peu, et ne tirent guère profit des programmes de production agricole mis en place dans leur intérêt. Ils bénéficient toutefois du prix peu élevé des denrées alimentaires, d'une augmentation des salaires et de l'accroissement de la demande de biens et de services ruraux non agricoles (FAO, 2002d; Mellor, 2001; Briscoe, 2001). A l'inverse, les modes de consommation à forte intensité de capitaux et d'importations des propriétaires des exploitations à grande échelle, et surtout des exploitants absentéistes, participent beaucoup moins à la réduction de la pauvreté. C'est un phénomène plus typique des pays d'Amérique latine que de ceux d'Asie ou d'Afrique.

Le recouvrement des coûts d'exploitation et d'entretien des systèmes d'irrigation auprès des agriculteurs pauvres prête à controverse. Il est financièrement impossible de maintenir le subventionnement de ces services et de fournir l'eau d'irrigation à un tarif inférieur à son prix coûtant. On peut utiliser des tarifs par paliers permettant de satisfaire gratuitement les besoins fondamentaux des personnes pauvres pour l'eau potable, mais cela risque d'être difficile à mettre en oeuvre pour l'eau d'irrigation. La surveillance de l'efficacité de l'utilisation d'eau en agriculture, quand de nombreux petits exploitants utilisent chacun une quantité d'eau limitée, est coûteuse, mais la fourniture de l'eau d'irrigation à un tarif inférieur

Planche 6 Femmes arrosant des choux dans un jardin potager avec l'eau extraite d'un puits profond (Mali)



à son prix coûtant se solde par un gaspillage de l'eau (FAO, 2002d).

Dans les pays en développement, l'agriculture produit généralement de nombreux biens non échangeables, tels que les produits alimentaires de moins bonne qualité et les biens dont les coûts de transaction sont anormalement élevés. Ce phénomène permet à l'agriculture de participer de façon appréciable à la lutte contre la pauvreté, et protège aussi les économies nationales contre les chocs que subissent les marchés internationaux de produits agricoles. L'augmentation des possibilités d'emploi permet aux ruraux pauvres des pays à faible revenu d'échapper à la pauvreté et à la faim. Parce qu'ils sont généralement peu qualifiés, les ruraux pauvres ont davantage de chances de trouver à s'employer dans la production de biens et de services qui ne peuvent pas être commercialisés sur les marchés internationaux. Il peut par exemple s'agir d'emplois dans l'entretien des structures d'irrigation et de drainage, dans la

gestion des bassins versants, dans le boisement, et, dans les zones où il y a un réservoir de retenue important, dans la pêche, l'écotourisme et la navigation. L'augmentation de l'emploi et par conséquent la réduction de la pauvreté dépendent ainsi de l'accroissement de la demande nationale en biens et services non agricoles et non échangeables. L'agriculture est la principale source de cette demande: c'est donc seulement en augmentant les revenus agricoles que la pauvreté peut diminuer et la sécurité alimentaire s'améliorer (FAO, 2001c).

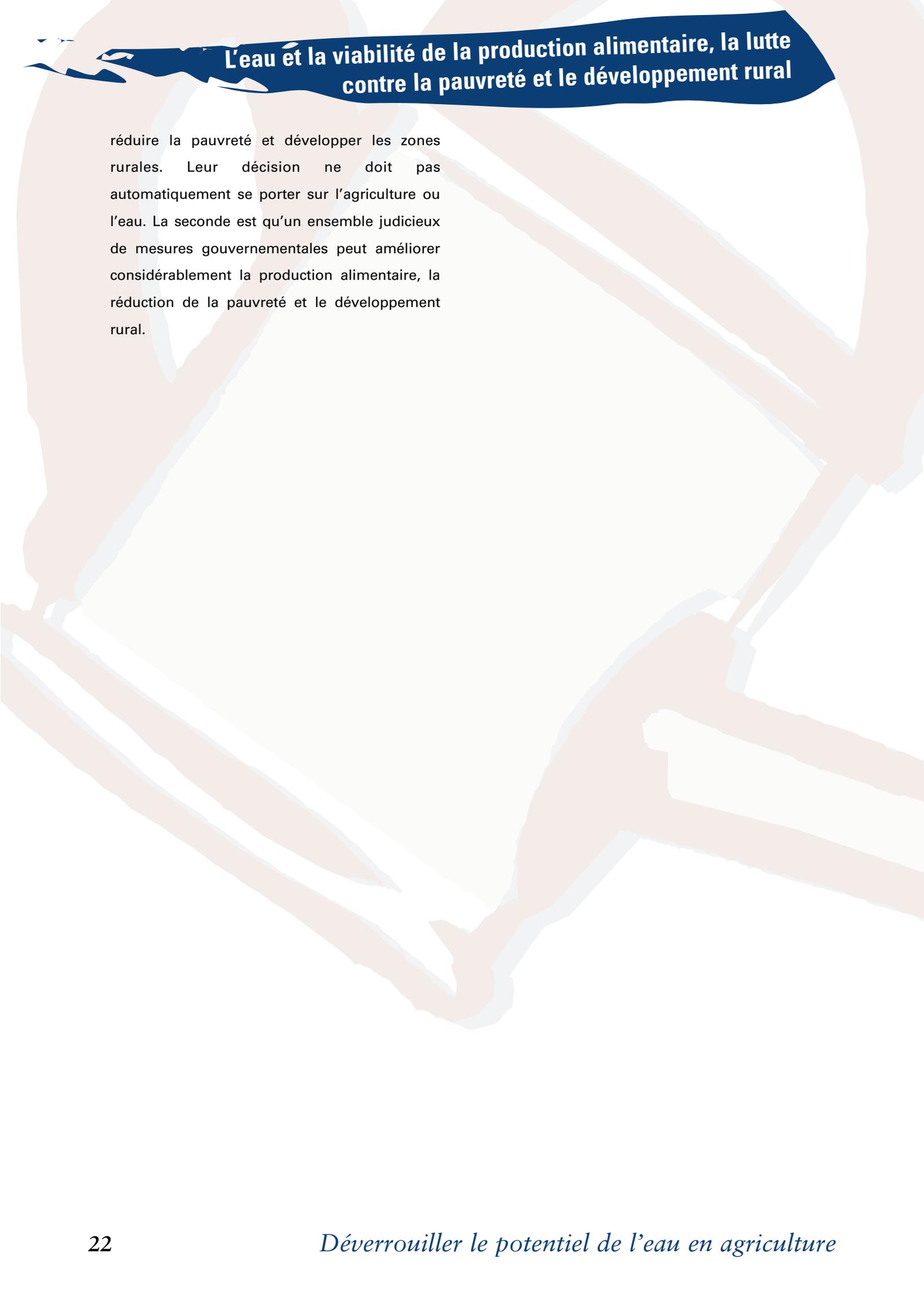
Il s'ensuit que l'investissement dans le développement de l'irrigation peut remplir des objectifs auxiliaires tels que l'amélioration de la croissance économique et l'atténuation de la pauvreté dans les zones rurales. L'on peut toutefois se demander si un investissement dans d'autres aspects de l'infrastructure n'aurait pas plus de chances de remplir ces objectifs. En Inde, par exemple, le recul soutenu de la pauvreté du milieu des années soixante au début des années quatre-vingts a été étroitement lié à la croissance

agricole, et en particulier à la révolution verte, qui a coïncidé avec un investissement massif dans l'agriculture et l'infrastructure rurale (Fan *et al.*, 1999). Selon les études menées en Inde par l'IFPRI, les répercussions de l'investissement supplémentaire dans l'irrigation sur la réduction de la pauvreté se classent en troisième position derrière les routes rurales et la recherche et la vulgarisation agricoles. Les dépenses publiques supplémentaires pour l'irrigation ont eu un impact considérable sur la croissance de la productivité, mais aucun impact perceptible sur la réduction de la pauvreté. Bien que les dépenses pour l'irrigation et l'énergie aient été essentielles par le passé pour soutenir la croissance agricole, l'irrigation est maintenant peut-être suffisamment développée pour qu'il soit plus utile d'entretenir les systèmes existants que d'en créer de nouveaux. Les études de l'IFPRI ont également montré qu'en Inde, les revenus marginaux de plusieurs investissements d'infrastructure sont maintenant plus élevés dans de nombreuses zones d'agriculture pluviale. Ils ont également un impact potentiellement plus important sur la réduction de la pauvreté rurale (Bhalla *et al.*, 1999).

Selon une analyse globale du rapport entre les systèmes de production et la pauvreté, les perspectives d'atténuation de la pauvreté dans les zones agricoles du Proche-Orient et d'Afrique du Nord sont favorables (Dixon *et al.*, 2001). Néanmoins, pour l'ensemble de la région, la meilleure stratégie d'un ménage pour améliorer sa situation est d'abandonner l'agriculture, l'option suivante étant d'augmenter les revenus extra-agricoles. L'étude indique que les rôles que l'Etat doit assumer en priorité sont l'appui au développement des infrastructures vitales, routes, alimentation en eau, services et

fourniture d'énergie, et la réglementation de l'utilisation et de la tarification de la ressource en eau et en énergie. Par comparaison, il a été constaté en Asie méridionale que les mesures soutenant les ménages dans la diversification des petites exploitations et favorisant la croissance des possibilités d'emploi dans l'économie extra-agricole sont celles qui paraissent pouvoir contribuer le plus à la réduction de la pauvreté.

Il importe, lorsque l'on pèse le pour et le contre de nouveaux investissements en irrigation en comparaison des avantages d'autres investissements, de tenir compte de tous les bienfaits supplémentaires potentiels de l'irrigation, comme par exemple les retombées sur la santé procédant de l'amélioration de la nutrition (davantage de calories et un régime alimentaire plus équilibré) et l'augmentation des possibilités d'emploi rural. Ces retombées sont souvent propres à une zone, ce qui rend toute généralisation impossible. Il est en outre impossible, sans les techniques adéquates pour contrôler la performance réelle des systèmes d'irrigation, d'évaluer les avantages potentiels qui pourraient se dégager si l'on prolongeait l'investissement pour les améliorer. Il n'en reste pas moins, malgré ces réserves, que la question fondamentale qui se pose sur l'utilité économique d'investissements supplémentaires dans le développement de l'irrigation, pour favoriser le développement rural et la diminution de la pauvreté, est essentielle. Au moins deux conclusions s'imposent après l'étude du rôle de l'eau dans la production alimentaire durable, l'atténuation de la pauvreté et le développement rural. La première est que le choix est difficile pour les organismes donateurs et les gouvernements lorsqu'il leur faut investir pour

The background of the page features a stylized illustration of several hands in various shades of brown and tan, reaching upwards to hold a globe. The hands are positioned around the globe, with some fingers pointing towards it, symbolizing global unity and support. The globe itself is a light beige color with faint lines representing latitude and longitude. The overall composition is centered and occupies the upper half of the page.

L'eau et la viabilité de la production alimentaire, la lutte contre la pauvreté et le développement rural

réduire la pauvreté et développer les zones rurales. Leur décision ne doit pas automatiquement se porter sur l'agriculture ou l'eau. La seconde est qu'un ensemble judicieux de mesures gouvernementales peut améliorer considérablement la production alimentaire, la réduction de la pauvreté et le développement rural.



Pourquoi la productivité de l'eau en agriculture est importante pour le défi mondial de l'eau

chapitre 3

La productivité est le rapport entre unité de produit et unité de facteur de production. Dans le contexte de cette étude, l'expression productivité de l'eau est employée exclusivement pour désigner la quantité ou la valeur du produit par rapport au volume ou à la valeur d'eau prélevée ou détournée. La valeur du produit peut s'exprimer sous différentes formes (biomasse, céréales, argent). Par exemple, la perspective «produire plus avec moins d'eau» est axée sur la quantité de produit obtenue par unité d'eau. Une autre perspective prend en considération les différences de valeur nutritionnelle entre diverses cultures, ou le fait qu'une quantité donnée d'une culture nourrit davantage de personnes que la même quantité d'une autre culture. Il est important, dès lors que la sécurité alimentaire est évoquée, de préciser ces critères (Renault et Wallender, 2000). Il faudrait également définir comment les retombées sociales de la productivité de l'eau en agriculture peuvent être exprimées. Toutes les définitions proposées peuvent se résumer aux expressions «nutriments par mètre cube d'eau», «nombre de bénéficiaires par mètre cube d'eau», «emplois par mètre cube d'eau» et «moyens d'existence par mètre cube d'eau». Il n'existe pas de définition unique de la productivité et la valeur considérée pour le numérateur peut dépendre de l'objectif envisagé et des données disponibles. La productivité de l'eau en kilogrammes par unité d'eau est tout de même un concept utile lorsqu'il faut comparer la productivité de l'eau

dans les différentes parties d'un même système ou bassin fluvial, ou encore la productivité de l'eau en agriculture avec d'autres utilisations possibles de l'eau.

La production d'eau des cultures est régie par la transpiration. Parce qu'il est difficile de séparer la transpiration de l'évaporation à partir de la surface du sol entre les cultures (qui ne participe pas directement à la production agricole), il peut être judicieux de définir la productivité de l'eau pour les cultures, au niveau du champ et du système, à partir de l'évapotranspiration plutôt que de la transpiration. Dans le cas de l'agriculture irriguée dans les zones salines, il faudrait également inclure la fraction de lessivage, c'est-à-dire la quantité d'eau qui doit percoler à travers la zone racinaire pour maintenir la salinité à un niveau satisfaisant, ainsi que l'évapotranspiration dans la quantité d'eau nécessairement utilisée au cours de la croissance des plantes. D'autres utilisations improductives mais utiles pourraient aussi être incluses, comme par exemple l'évapotranspiration par les plantations brise-vent et par les plantes de couverture et l'eau utilisée pour humidifier les lits de semence et renforcer la germination.

Il n'y a pas non plus de réponse unique à une autre question, celle de savoir s'il faut considérer les pertes en eau par infiltration et percolation in situ comme de la consommation. Si cette eau ne sert à rien en aval ou qu'elle

Pourquoi la productivité de l'eau en agriculture est importante pour le défi mondial de l'eau

génère davantage de pollution, telle celle qui découle du lessivage des sels géologiques (ex.: San Joaquin Valley, Californie, Etats-Unis), elle doit compter pour de la consommation. Les solutions trouvées pour minimiser ces pertes, comme le revêtement des canaux ou les techniques d'amélioration des eaux, peuvent alors avoir un effet positif sur la productivité. Il peut toutefois être important, d'un point de vue écologique plus général, d'étudier l'impact des eaux évacuées par un système d'irrigation sur la productivité globale d'un écosystème.

Tout comme pour le numérateur, le choix du dénominateur (quelle eau inclure) est fonction de l'échelle, du point de vue et des objectifs. A l'échelle du bassin, les options peuvent être l'eau détournée de la source et la même valeur de laquelle on retranche l'eau restituée, alors qu'au niveau de la parcelle, les pluies utiles, l'eau d'irrigation et l'irrigation d'appoint pourraient être prises en considération.

VARIABILITE SPATIALE DE LA PRODUCTIVITE DE L'EAU

Les données collectées sur la productivité de l'eau en fonction de l'évapotranspiration (PE_{ET}) indiquent des variations considérables (ex.: blé, 0,6-1,9 kg/m³; maïs, 1,2-2,3 kg/m³; riz, 0,5-1,1 kg/m³; sorgho fourrager, 7-8 kg/m³; et tubercules de pomme de terre, 6,2-11,6 kg/m³), ainsi que quelques aberrations fortuites obtenues dans des conditions expérimentales. Les données sur la productivité de l'eau par unité d'eau appliquée (PE_{irrig}) à l'échelle de la parcelle, sont, selon les documents consultés, inférieures à celles de PE_{ET} et montrent des écarts de variation encore plus importants. Par exemple, PE_{irrig} pour les céréales varie de 0,05 à 0,6 kg/m³ pour le riz, de 0,05 à 0,3 kg/m³ pour le sorgho et de 0,2 à 0,8 kg/m³ pour le maïs. Cette variabilité s'explique par le fait que les données ont été collectées dans des milieux différents et dans des conditions de conduite culturale également différentes, des facteurs qui ont influencé les rendements et la quantité d'eau fournie (Kijne et

Planche 7 Agriculteur au travail sur un canal d'irrigation (Mexique)



FAO/18609/G. BIZZARRI

al., à paraître). Par ailleurs, il est souvent difficile de déterminer le véritable rendement d'une culture sur une vaste superficie, et par exemple sur la surface d'un système d'irrigation important. Les agriculteurs, lorsqu'ils sont interrogés sur leur rendement, ont tendance à donner un chiffre variable selon la situation. S'il s'agit d'une demande de crédit, ils risquent d'exagérer la valeur de leur rendement, alors que pour rembourser une dette ou fixer un tarif, ils sous-estimeront probablement la récolte obtenue. Les rendements des produits maraîchers peuvent varier d'un jour à l'autre et nul ne peut dire exactement l'ampleur d'une récolte sur la totalité de la période de récolte si des registres précis ne sont pas tenus. Les rendements exprimés en numéraire sont moins fiables car les prix des marchés locaux fluctuent considérablement sur la durée (FAO, 2002d).

Il n'en demeure pas moins que les données de la productivité de l'eau portant sur plusieurs échelles sont utiles pour évaluer si l'eau drainée en amont est réutilisée efficacement en aval. On trouve toutefois rarement des données fiables sur la productivité de l'eau à différents niveaux d'un même système. Une étude utilisant les techniques de la téléobservation et du SIG a évalué la PE_{ET} pour les cultures du bassin de l'Indus, au Pakistan, à diverses échelles de

systèmes d'irrigation (Bastiaanssen *et al.*, 2003). Il a été constaté que la productivité de l'eau utilisée pour les cultures variait considérablement à l'échelle des petits périmètres irrigués par des canaux. Lorsque les valeurs de la productivité de l'eau ont été agrégées pour les périmètres irrigués, les valeurs les plus élevées de la productivité de l'eau ont progressivement diminué. Leur variabilité a également diminué jusqu'à ce qu'à une échelle d'environ 6 millions d'hectares, la productivité de l'eau approche une valeur faible d'environ 0,6 kg/m³. Cela découle du fait qu'à la plus grande échelle, les périmètres irrigués dont les sols sont moins fertiles ou salins, qui reçoivent moins d'eau d'irrigation et qui exploitent des eaux souterraines de moins bonne qualité sont inclus dans la moyenne.

L'encadré 4 présente des données illustrant la productivité de l'eau sur le plan économique.

L'AUGMENTATION APPRECIABLE DE LA PRODUCTIVITE DE L'EAU EN AGRICULTURE

Malgré les inquiétudes concernant l'inefficacité technique de l'utilisation de l'eau en agriculture, la productivité de l'eau a augmenté d'au moins 100 pour cent entre 1961 et 2001. Cette croissance s'explique essentiellement par l'augmentation des

Encadré 4 La productivité de l'eau sur le plan économique

Source: Merrett, 1997; Molden *et al.*, 2001

Les données de la productivité de l'eau en agriculture sont disponibles sur le plan économique pour la Jordanie. La productivité de l'eau varie de 0,3 \$E.U./m³ pour les pommes de terre à 0,03 \$E.U./m³ pour le blé. On a constaté une valeur moyenne de 0,19 \$E.U./m³ pour les produits agricoles et de 7,5 \$E.U./m³ pour les produits industriels. L'IWMI a analysé les données économiques de la productivité de l'eau pour deux systèmes d'irrigation en Asie méridionale. Les valeurs de la production de blé varient de 0,07 à 0,17 \$E.U./m³. A l'échelle des systèmes, des valeurs moyennes de 0,10 et 0,15 \$E.U./m³ ont été observées pour la productivité de l'eau de deux autres systèmes en Asie méridionale. Toujours à l'échelle des systèmes, les valeurs relevées pour un total de 23 systèmes d'irrigation dans 11 pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique latine varient de 0,03 \$E.U./m³ (pour un système situé en Inde) à 0,91 \$E.U./m³ (pour un système situé au Burkina Faso), avec une moyenne pour l'ensemble de 0,25 \$E.U./m³. La comparaison avec la valeur la plus récente du coût de l'eau de mer dessalée, qui s'élève à environ 0,50 \$E.U./m³, montre que cette source est trop coûteuse pour pratiquement toute la production agricole. Toutefois, le coût de cette eau a baissé puisqu'il représente environ un dixième de ce qu'il était il y a 20 ans. La technologie du dessalement des eaux de mer va probablement encore s'améliorer, et son coût devrait continuer à baisser, à condition que celui de l'énergie n'augmente pas.

Pourquoi la productivité de l'eau en agriculture est importante pour le défi mondial de l'eau

rendements. Pour de nombreuses cultures, l'augmentation des rendements s'est produite sans que la consommation en eau n'augmente, et parfois même avec moins d'eau, étant donné l'augmentation de l'indice de récolte. Les cultures pour lesquelles on a constaté peu de variations, voire aucune, dans la consommation en eau pendant ces années sont par exemple le riz (essentiellement irrigué) et le blé (essentiellement cultivé en sec), pour lesquels les augmentations mondiales constatées s'élèvent respectivement à 100 et 160 pour cent. A l'échelle mondiale, la consommation d'eau pour l'agriculture au cours des 40 dernières années a augmenté de 800 km³ (Shiklomanov, 2000), alors que la population mondiale a doublé pour atteindre 6 000 millions. Etant donné que la superficie arable cultivée en sec ne s'est pas accrue, on peut conclure qu'avec 800 km³ d'eau supplémentaires, le monde a pu nourrir 3 000 millions de personnes en plus. Cela donne une estimation approximative de 0,720 m³/j/habitant. Ce chiffre est peu élevé en comparaison de l'estimation mondiale moyenne de 2,4 m³/j/habitant pour 2000, qui prend en considération l'eau utilisée pour l'alimentation à l'échelle de la parcelle, sans compter les pertes en eau. C'est un bon indicateur de l'augmentation considérable de productivité qu'a connue l'agriculture, une augmentation qui a permis au monde de faire face à la multiplication par deux de sa population, et aussi d'augmenter les rations.

Dans l'ensemble, on peut considérer que les besoins en eau par habitant, pour l'alimentation, ont diminué de moitié entre 1961 et 2001, puisqu'ils sont passés d'environ 6 m³/j à moins de 3 m³/j (Renault, 2003).

Etant donné l'importance des besoins en eau pour l'alimentation, toute économie dans ce

secteur, même modeste, équivaut à une augmentation considérable pour d'autres utilisations. Par exemple, si l'on considère les besoins en eau par habitant pour 2000, une augmentation de un pour cent de la productivité de l'eau pour la production alimentaire libère un potentiel d'utilisation de l'eau de 24 litres/j/habitant. Il faudrait, pour dégager l'équivalent de l'approvisionnement en eau des collectivités, augmenter de 10 pour cent la productivité de l'eau en agriculture, ce qui est l'affaire de quelques années. C'est pourquoi il est possible d'affirmer que l'investissement dans l'agriculture et l'eau pour l'agriculture est la meilleure voie pour libérer des volumes d'eau en vue d'autres utilisations.

Les futurs gains en eau ainsi dégagés par l'agriculture devront toutefois être répartis sur plusieurs activités: (i) compenser la réduction des superficies de production agricole procédant de la prolifération urbaine, de la dégradation des sols et de l'appauvrissement des ressources en eau ou des difficultés croissantes d'accès à ces ressources (eaux souterraines); (ii) augmenter les possibilités d'accès à l'eau des ruraux pauvres et des groupes vulnérables; (iii) rendre les systèmes de production plus rentables; (iv) bloquer des volumes d'eau pour d'autres utilisations, y compris l'environnement.

PRINCIPES CLES POUR L'AMELIORATION DE LA PRODUCTIVITE DE L'EAU

Les principes clés pour l'amélioration de la productivité de l'eau à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation et du bassin, applicables quelles que soient les conditions de culture, en sec ou sous irrigation, sont: (i) l'augmentation des rendements de valeur marchande d'une culture pour chaque unité d'eau qu'elle produit par

Planche 8 Le transfert d'aliments peut être considéré comme équivalent au transfert d'«eau virtuelle» (Somalie)



FAO/20430/A. PROTO

transpiration; (ii) la réduction de tous les volumes évacués (ex.: drainage, infiltration et percolation), dont ceux évacués par évaporation autres que la transpiration stomatique des cultures; et (iii) l'augmentation de l'efficacité d'utilisation des précipitations, des eaux stockées et des eaux de qualité marginale.

Le premier principe a trait à la nécessité d'augmenter le rendement ou la valeur des cultures. Le deuxième vise à diminuer toutes les pertes, à l'exception de la transpiration des cultures. Sa formulation ne signifie pas qu'il sera impossible d'augmenter la productivité de l'eau en réduisant la transpiration stomatique. Il est concevable que la sélection des plantes trouve un jour le moyen de surmonter cette difficulté. Le troisième principe cherche à utiliser des ressources en eau de substitution. Les deuxième et troisième principes devraient s'inscrire dans la gestion intégrée des ressources en eau (IWRM) d'un bassin aux fins de l'amélioration de la productivité de l'eau. Ce type de gestion tient compte du rôle essentiel des institutions et des politiques pour ce qui est de veiller à ce que les

interventions en amont d'un bassin ne s'effectuent pas au détriment des utilisateurs d'eau en aval.

Ces trois principes peuvent s'appliquer à toutes les échelles, de la plante à la parcelle en passant par le niveau agroécologique, mais les options et pratiques associées à ces principes nécessitent l'adoption de diverses méthodes et technologies à différentes échelles spatiales.

VALORISATION DE LA PRODUCTIVITÉ DE L'EAU A L'ÉCHELLE DE LA PLANTE

A l'échelle de la plante, les possibilités de valorisation reposent essentiellement sur l'amélioration du matériel génétique, par exemple par l'amélioration de la vigueur des semis à la levée, l'augmentation de la profondeur de l'enracinement, l'augmentation de l'indice de récolte (la part commercialisable de la plante par rapport à sa biomasse totale) et l'amélioration du rendement photosynthétique. Les améliorations les plus intéressantes pour la stabilité des rendements ont généralement procédé de programmes de sélection cherchant à mettre au

Pourquoi la productivité de l'eau en agriculture est importante pour le défi mondial de l'eau

Encadré 5 Impact réel de l'eau virtuelle sur les économies en eau

Source: Renault, 2003; Zimmer et Renault, 2003

Les échanges d'eau virtuelle réalisés par l'intermédiaire du commerce des produits alimentaires a d'abord attiré l'attention des experts au Proche-Orient, où l'eau est rare (Allan, 1999) et où les importations représentent de considérables économies d'eau. La valeur en eau virtuelle d'un produit alimentaire est l'inverse de la productivité en eau. Elle se définit comme la quantité d'eau par unité de produit alimentaire qui est ou serait consommée pendant sa production.

L'échange des eaux virtuelles permet aux pays importateurs de réaliser des économies d'eau. Il entraîne également des économies d'eau réelle à l'échelle mondiale en raison de l'écart dans la productivité de l'eau qui existe entre les pays producteurs et exportateurs. Par exemple, le transport d'un kg de maïs de la France (représentant ici un pays exportant du maïs, considéré du point de vue de la productivité de l'eau) à l'Égypte transforme une quantité d'eau d'environ 0,6 m³ en 1,12 m³, soit une économie globale d'eau réelle de 0,52 m³ par kilogramme échangé. En 2000, les importations de maïs en Égypte et le transfert d'eau virtuelle qui lui est associé ont permis de réaliser une économie d'eau d'environ 2 700 millions de m³ à l'échelle mondiale. L'économie d'eau réelle réalisée globalement est appréciable: selon une première estimation, les économies d'eau procédant du transfert de l'eau virtuelle réalisé par l'intermédiaire de l'échange des produits alimentaires s'élèverait à 385 000 millions de m³ (Oki *et al.*, 2003).

Le stockage des produits alimentaires engendre également des économies d'eau réelle. Par exemple, dans la République arabe syrienne, 1988 a été une bonne année pour la production céréalière, avec des rendements de 1,6 tonne/ha qui ont entraîné des surplus. C'est ainsi que 1,9 million de tonnes de céréales ont été stockées au cours de cette année. L'année suivante a été très sèche, et le rendement céréalière a chuté à 0,4 tonne/ha. On a alors prélevé environ 1,2 million de tonnes de céréales sur les quantités stockées pour compléter la production interne et les importations. Compte tenu de la productivité de l'eau enregistrée pour ces deux années (Oweis, 1997), la valeur estimée de l'eau virtuelle équivaut respectivement à 1 et 3,33 m³/kg. Par conséquent, l'utilisation en 1989 de 1,2 million de tonnes de céréales stockées équivaut à 4 000 millions de m³ d'eau virtuelle. Pour la période des deux années de référence (1988-1989), quelque 2 800 millions de m³ d'eau ont pu être économisés grâce à la capacité de stockage des produits alimentaires.

Le commerce de l'eau virtuelle augmente rapidement à l'échelle mondiale. En valeur absolue, il a augmenté d'environ 450 km³ en 1961 à 1 340 km³ en 2000, atteignant 26 pour cent de la totalité de l'eau nécessaire pour l'alimentation, dont des équivalents pour les produits et poissons de mer. Cette valeur est équitablement répartie entre les produits énergétiques, lipidiques et protéiques.

point un cycle de croissance approprié, de manière à ce que la durée des périodes végétatives et reproductives correspondent bien aux prévisions d'approvisionnement en eau ou d'absence de risques pour les cultures. Les dates de plantation, de floraison et de maturation sont importantes pour faire correspondre la période de croissance maximale des cultures avec le moment où le déficit de la pression d'équilibre de la vapeur est faible. Il est possible d'optimiser les périodes de croissance maximale d'une culture grâce aux technologies de sélection. Les variétés améliorées à système racinaire plus profond permettent d'éviter en partie les effets négatifs des sécheresses et d'utiliser plus efficacement l'eau stockée dans le profil du sol. Les stratégies d'échappement à la sécheresse et d'augmentation de la tolérance à la sécheresse participent également de manière appréciable à l'augmentation de la productivité de l'eau (encadré

5). Les variétés insensibles à la longueur du jour, de courte ou moyenne durée (90-120 j), permettent aux cultures comme les variétés de blé, de riz et de maïs mises au point dans le cadre de la révolution verte d'augmenter la productivité de l'eau en échappant aux sécheresses de fin de saison qui altèrent la floraison et le développement des grains. La productivité de l'eau, pour les variétés modernes de riz, est à peu près trois fois plus importante que celle des variétés traditionnelles (Tuong, 1999). Les progrès réalisés pour étendre ces résultats à d'autres cultures sont considérables et vont probablement s'accélérer suite à l'identification récente des gènes sous-jacents (Bennett, 2003). Le génie génétique, s'il est bien intégré aux programmes de sélection et appliqué en toute sécurité, peut contribuer encore davantage au développement de variétés tolérantes à la sécheresse et par là même augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

Planche 9 Modèle de ferme piscicole intégrée, associant des étangs d'élevage et des canards (République démocratique populaire lao)



FAO/20906/K. PRATT

RENFORCEMENT DE LA PRODUCTIVITE DE L'EAU A L'ECHELLE DE LA PARCELLE

A l'échelle de la parcelle, l'amélioration des pratiques va de pair avec une modification de la gestion des cultures, des sols et de l'eau. Elle porte sur: la sélection de cultures et de cultivars appropriés; les méthodes de plantation (ex.: sur des plates-bandes surélevées); le travail minimal du sol; une irrigation opportune qui synchronise l'application d'eau avec les périodes de croissance les plus délicates; la gestion des éléments nutritifs; les systèmes d'irrigation goutte à goutte; et l'amélioration du drainage pour contrôler le niveau des nappes d'eau.

Lorsque l'eau s'évapore du sol humide, de flaques stagnante entre les lignes de semis et avant l'implantation des cultures, cela participe à l'épuisement des ressources en eau. Toutes les pratiques culturales et agronomiques qui permettent de réduire ces pertes, comme la modification de l'espacement des lignes et l'application de paillis, améliorent la productivité de l'eau. La méthode d'irrigation agit également sur ces pertes par évaporation. Les systèmes

d'irrigation goutte à goutte humidifient beaucoup moins le sol que l'irrigation par aspersion. L'importance de l'amélioration du sol pour augmenter la productivité de l'eau n'est souvent pas prise en considération. Néanmoins, les pratiques de gestion intégrée des cultures et des ressources, telle la gestion améliorée des nutriments, peuvent augmenter la productivité de l'eau en élevant proportionnellement le rendement plus qu'il n'augmente l'évapotranspiration. Ce principe s'applique à la fois à l'agriculture irriguée et pluviale. La lutte intégrée contre les adventices et les ravageurs a également pris efficacement part à l'accroissement des rendements.

L'une des méthodes employées au niveau des parcelles pour accroître la productivité de l'eau est l'irrigation déficitaire, qui consiste à appliquer délibérément moins d'eau que la quantité nécessaire pour répondre aux besoins en eau totaux d'une culture. Le déficit hydrique décidé devrait se traduire par une légère réduction des rendements, moins importante que la réduction concomitante de la transpiration. Il entraînera ainsi une augmentation de la productivité de l'eau par

Pourquoi la productivité de l'eau en agriculture est importante pour le défi mondial de l'eau

unité d'eau transpirée. En outre, il pourrait diminuer les coûts de production s'il permettait de supprimer une ou plusieurs irrigations. Pour que l'irrigation déficitaire réussisse, il faut que les agriculteurs connaissent le déficit qu'ils peuvent permettre à chacune des étapes de la croissance des plantes, ainsi que le niveau de stress hydrique déjà présent dans la rhizosphère. Il importe surtout qu'ils disposent d'un contrôle total des horaires et des quantités d'eau d'irrigation. L'irrigation déficitaire peut être extrêmement risquée pour les exploitants dont l'approvisionnement est incertain, comme c'est le cas lorsqu'ils sont alimentés par les précipitations ou par des ressources en eau d'irrigation peu fiables. Si les disponibilités en eau s'abaissent en dessous d'un certain niveau, les cultures peuvent perdre toute valeur, soit parce qu'elles meurent, soit parce que le produit est de tellement faible qualité qu'il en devient invendable. Lorsque l'eau est rare, les agriculteurs peuvent, s'ils disposent d'un contrôle total des horaires et des quantités d'eau d'irrigation, réduire l'irrigation selon les besoins pour maximiser les retours d'eau. C'est le degré de flexibilité que permettent généralement les systèmes d'irrigation goutte à goutte et par aspersion, ainsi que les installations de pompage des eaux souterraines, à condition

que l'agriculteur soit propriétaire de la pompe. Un système de distribution entièrement flexible pour l'irrigation de surface est coûteux dans les grands systèmes d'irrigation en raison de la surcapacité requise dans le système de transport.

Avant de recommander l'irrigation déficitaire (et d'autres systèmes d'irrigation permettant d'économiser l'eau dans la production rizicole), il importe de quantifier sur le plan économique les avantages et les inconvénients de la réduction du rendement et de l'augmentation de la productivité de l'eau.

Dans la culture du riz, la faible productivité de l'eau par unité d'eau fournie, qui a souvent été évoquée, découle du fait que la percolation due à la couche d'eau qui repose à la surface du champ est considérée comme une perte. Néanmoins, cette eau est souvent recyclée, et la productivité de l'eau dans la culture du riz est souvent comparable à celle d'une céréale sèche. Il n'en reste pas moins que des techniques d'irrigation permettant une économie maximale de l'eau, comme la culture dans des sols saturés d'eau et l'alternance des périodes humides et sèches, peuvent diminuer considérablement les quantités d'eaux évacuées

Encadré 6 Technologies d'irrigation permettant une économie maximale de l'eau dans la production rizicole

Source: IRRI, 2002

La sécurité alimentaire en Asie exige que soient explorées les techniques grâce auxquelles davantage de riz pourrait être produit avec moins d'eau. L'Institut international de recherche sur le riz (IRRI) a étudié diverses technologies permettant d'économiser l'eau à l'échelle de la parcelle, dont: l'alternance des périodes humides et sèches; la SRI; la culture dans des sols saturés; le riz aérobique; et les systèmes de couverture végétale. Chacune de ces techniques agit sur un ou plusieurs des phénomènes improductifs d'évacuation des eaux (ex.: infiltration, percolation et évaporation) et accroît ainsi la productivité de l'eau. Elles supposent toutefois qu'à certains moments les sols ne soient pas submergés ni même saturés, ce qui en général provoque une diminution des rendements. Des résultats récents provenant du nord de la Chine et des Philippines indiquent qu'avec les technologies actuelles d'amélioration du matériel génétique et de gestion, les rendements du riz aérobique sont environ 40 pour cent plus faibles et réduisent les besoins en eau d'approximativement 60 pour cent par comparaison avec le riz aquatique.

Le passage de systèmes submergés à des conditions partiellement aérobiques (non saturées) a aussi des effets marqués sur le renouvellement de la matière organique du sol, la dynamique des nutriments, le piégeage du carbone, l'écologie des adventices et les émissions de gaz à effet de serre. Certains de ces changements sont positifs, mais d'autres, comme les émissions d'oxyde nitreux et la diminution de la matière organique, sont perçus comme des effets négatifs. La difficulté est d'équilibrer les effets négatifs et positifs par le développement de technologies permettant d'économiser l'eau qui soient intégrées et efficaces et qui garantissent la viabilité des écosystèmes rizicoles et des bénéfices écologiques.

Planche 10 Membres du comité villageois d'Ankofafa protégeant un champ de maïs (Madagascar)



FAO/17418/H. WAGNER

et improductives et augmenter la productivité de l'eau. Ces techniques provoquent généralement une diminution des rendements dans les variétés actuelles de riz aquatique à haut rendement (**encadré 6**), mais certaines expériences rendent compte d'augmentations appréciables des rendements de variétés locales (Deichert et Saing Koma, 2002), grâce à une technique appelée intensification des systèmes de production rizicole (SRI), mise au point à Madagascar (de Laulanié H., 1992). Là non plus il n'y a pas de réponse unique, l'adaptation aux ressources et capacités locales constituant le facteur le plus important. Sans anticiper le résultat des expériences menées dans de nombreux pays à l'heure actuelle, il semble que le potentiel de la technique de la SRI soit intéressante pour permettre aux ruraux pauvres d'augmenter la productivité de terres rares et d'eaux peu abondantes, à condition qu'ils disposent d'une main d'oeuvre familiale suffisante. D'autres méthodes sont étudiées dans le cadre des initiatives entreprises pour accroître la productivité de l'eau sans sacrifier la récolte. L'une d'entre elles repose sur le développement du riz dit aérobique qui permet de cultiver du riz sans

submersion. Le développement de ces nouvelles variétés est essentiel si le riz doit être cultivé comme les autres cultures irriguées de hautes terres et qu'il faille éviter la percolation profonde associée aux rizières.

Les problèmes liés à l'eau en agriculture pluviale sont souvent causés par une importante variabilité spatiale et temporelle des précipitations plutôt que par de faibles volumes cumulatifs de pluie. Le résultat global de l'imprévisibilité des précipitations est un risque élevé de sécheresses météorologiques et de périodes de sécheresse intrasaisonnières (Rockström *et al.*, 2003). L'irrigation d'appoint, en assurant la soudure pendant les périodes de sécheresse, par une compensation des déficits hydriques des cultures, stabilise la production et augmente considérablement à la fois la production et la productivité de l'eau si elle est appliquée pendant les étapes de la croissance des plantes où elles sont sensibles à l'humidité.

La récupération de l'eau pour l'agriculture suppose l'existence d'un réservoir de stockage,

Pourquoi la productivité de l'eau en agriculture est importante pour le défi mondial de l'eau

Encadré 7 Projet de mise en valeur des sols et des eaux au Burkina Faso

Source: Oweis et al., 1999

Jusqu'au début des années quatre-vingts, la plupart des projets de mise en valeur des terres et des eaux mis en train au Burkina Faso ont échoué lamentablement. De 1962 à 1965, des équipements lourds ont été employés pour installer des digues en terre sur l'ensemble des bassins versants de la région du Yatenga, sur le plateau central. Bien que ce projet, qui a traité 120 000 ha sur 2,5 saisons sèches, ait été bien conçu sur le plan technique, les utilisateurs de ces terres n'avaient pas été consultés et ne se sont pas du tout intéressés à ce qui avait été construit. De 1972 à 1986, plusieurs organismes donateurs ont financé un projet de mise en valeur des terres et des eaux qui était davantage élaboré dans un esprit participatif. De nouveau les bénéficiaires n'ont pas voulu entretenir les digues de terre parce qu'ils estimaient l'entretien trop lourd et les bénéfices insuffisants, et pour d'autres raisons. Cela s'est soldé par la disparition quasi totale des digues en quelques années (3-5 ans).

Un projet agroforestier soutenu par des ONG (1979-1981) et basé dans la région du Yatenga a essayé plusieurs techniques simples de mise en valeur des terres et des eaux et de récupération de l'eau, en demandant aux villageois d'évaluer ces techniques. Ils ont exprimé une préférence pour les diguettes de pierre en courbe de niveau. Le projet a également organisé des programmes de formation dans les villages pour apprendre aux agriculteurs à utiliser un niveau d'eau à flexible, de manière à ce qu'ils puissent déterminer plus précisément les courbes de niveau. Dans le Yatenga et dans d'autres zones du plateau central, des diguettes de pierre en courbe de niveau ont été installées sur des dizaines de milliers d'hectares.

La principale raison pour laquelle les agriculteurs ont adopté ces diguettes de pierre en courbe de niveau et amélioré la technique traditionnelle de plantation en rigoles (une technique mise au point par un agriculteur local qui permet de mélanger l'eau et les engrais) est qu'elles entraînent une augmentation immédiate et appréciable des rendements. Sur des terres déjà cultivées, la construction des diguettes de pierre en courbe de niveau augmenterait les rendements de 40 pour cent.

alors que dans le cas de l'utilisation des eaux de ruissellement pour l'agriculture, l'eau collectée est directement appliquée à la zone cultivée. Un investissement relativement modeste suffit pour le creusage des rigoles transportant l'eau de ruissellement jusqu'au réservoir de stockage et la construction du réservoir lui-même. L'entretien de ces structures peut s'avérer difficile dans les endroits où de fortes pluies les emportent régulièrement. De nombreux facteurs entrent en jeu pour que la récupération de l'eau donne de bons résultats, dont: la méthode employée pour collecter et stocker les eaux de ruissellement; la topographie; la nature du sol (et en particulier la vitesse d'infiltration); le choix des cultures qui seront implantées; l'accès aux engrais; et l'efficacité de la croûte du sol dans le bassin versant. Néanmoins, un autre élément, plus important que ces paramètres physiques, est la participation des bénéficiaires à la conception et à la mise en oeuvre des structures de récupération de l'eau (**encadré 7**).

Il existe peu d'évaluations socio-économiques des techniques de récupération de l'eau et

d'irrigation d'appoint. Il est entendu que la récupération de l'eau ne peut entraîner d'augmentations appréciables de la productivité de l'eau qu'à la condition de lui associer des initiatives en matière de formation des agriculteurs, de mise en valeur des eaux, d'irrigation d'appoint, de sélection améliorée des cultures, d'amélioration des pratiques agronomiques et d'interventions politiques et institutionnelles. Toute planification (et évaluation économique) devrait expressément prendre en considération les effets à court terme et les répercussions à long terme des changements hydrologiques que provoque la récupération de l'eau pour les utilisateurs d'eau en aval.

Le présent document cite un certain nombre de pratiques susceptibles d'améliorer la productivité de l'eau. Il s'agit maintenant de déterminer comment faire adopter ces techniques et les adapter aux conditions locales. L'importance de la participation et de la responsabilisation des agriculteurs que permettent l'organisation des syndicats d'irrigants en matière de gestion de l'irrigation est généralement admise et il en existe

un peu partout. Toutefois, l'on sait moins s'il est réalisable et avantageux d'utiliser les mêmes types d'associations d'agriculteurs pour faire adopter collectivement des pratiques culturales améliorées telles que le travail minimal du sol ou les bandes surélevées. Il faudrait, pour favoriser l'adoption par un grand nombre d'individus d'une gamme de pratiques d'amélioration de la productivité de l'eau, organiser des interventions à l'échelle de la communauté pour garantir que l'on ne passe pas à côté d'occasions d'affecter des ressources en eau non allouées à d'autres utilisations productives.

GESTION RESPONSABLE DE LA PRODUCTIVITE DE L'EAU A L'ECHELLE DU SYSTEME ET DU BASSIN

Le passage de l'échelle de la parcelle à celle du système et du bassin fluvial modifie l'importance relative des divers processus de gestion de l'eau. Lorsque la perspective s'élargit, les conséquences de l'agriculture sur les autres utilisateurs, sur la santé humaine et sur l'environnement deviennent au moins aussi importantes que les enjeux de production.

Les possibilités d'améliorer la productivité de l'eau au niveau agroécologique ou à celui du bassin fluvial reposent sur: une meilleure planification de l'utilisation des sols; une meilleure utilisation des prévisions météorologiques à moyen terme; l'amélioration des calendriers d'irrigation de manière à prendre en considération la variabilité des précipitations; et la gestion concertée des diverses ressources en eau, y compris, au besoin, les eaux de moins bonne qualité. Par conséquent, l'amélioration du matériel génétique et de la gestion des ressources est cruciale pour l'amélioration de la

productivité de l'eau au niveau de la parcelle et à plus grande échelle.

Il est possible d'accroître la productivité de l'eau par la fiabilisation de l'approvisionnement de l'irrigation, par exemple en utilisant une technologie de précision et en instaurant la distribution à la demande de l'eau d'irrigation (chapitre 6). Il n'en reste pas moins que l'augmentation de la productivité de l'eau ne se traduit pas nécessairement par un accroissement des retombées économiques ou sociales. Par retombées sociales, on entend celles qui profitent à la société par l'effet des mesures prises pour améliorer la productivité de l'eau. Dans les zones rurales des pays en développement, les utilisations de l'eau sont multiples. L'eau est ainsi à la fois un bien public et social, ce qui rend le calcul des avantages complexe. Ces nombreuses utilisations de l'eau comprennent la production de bois d'oeuvre, de bois de chauffage et de fibres, la production piscicole et l'élevage. Parmi les utilisations non agricoles de l'eau, on peut citer les utilisations domestiques (eau potable et bains) et écologiques.

Une étude de l'IWMI portant sur un système d'irrigation situé à Kirindi Oya, dans le sud du Sri Lanka, illustre l'importance des rôles multiples de l'eau en agriculture (Renault *et al.*, 2000). Cette étude a constaté qu'à l'échelle du système, les plantes ne consommaient que 23 pour cent de l'approvisionnement total en eau, y compris les précipitations et l'eau d'irrigation externe. Des 77 pour cent restants, 8 pour cent étaient utilisés pour les pâturages, 6 pour cent s'évaporaient du réservoir, 16 pour cent se perdaient dans la mer, 3 pour cent étaient drainés dans les lagons, et 44 pour cent de l'approvisionnement en eau profitaient à la végétation pérenne qui s'était

Pourquoi la productivité de l'eau en agriculture est importante pour le défi mondial de l'eau

Encadré 8 Retombées de l'agriculture de décrue traditionnelle par comparaison avec l'agriculture irriguée à grande échelle

Source: IUCN, 2000

L'estimation de la valeur produite par l'utilisation de la plaine d'inondation de Hadejia-Jama'ara, dans le nord du Nigéria, indique que les pratiques traditionnelles sont plus profitables que les cultures exploitées sur le projet d'irrigation de Kano. Les profits procédant du bois de chauffage, de l'agriculture de décrue, de la pêche et du pastoralisme ont été estimés à 12 \$E.U./litre d'eau, par comparaison avec 0,04 \$E.U./litre d'eau pour les profits dégagés du projet d'irrigation. Cette évaluation est importante pour la région qui a perdu plus de la moitié de ses plaines d'inondation à cause de la sécheresse et des réservoirs construits en amont.

Même sans prendre en considération les bénéfices que représente l'habitat de la faune sauvage, les zones humides sont plus profitables à davantage de personnes dans leur état actuel qu'après leur conversion à l'agriculture irriguée à grande échelle.

développée depuis l'installation du périmètre, à la faveur des infiltrations d'eau d'irrigation et de la reconstitution de la nappe souterraine de faible profondeur. La croissance des arbres est importante pour les personnes qui vivent dans la zone car ils leur donnent de l'ombre et améliorent ainsi leur environnement. Dans ce projet, comme dans beaucoup d'autres régions du sud de l'Inde, les arbres constituent aussi une source de revenus (noix de coco et matériaux de construction: poutres et cordages). D'autres arbres sont importants pour la valeur nutritive supplémentaire qu'ils apportent (fruits) et certains sont primordiaux pour leurs propriétés médicinales. Des modifications qui permettraient de contrôler entièrement les eaux évacuées par les systèmes d'irrigation pour améliorer la productivité de l'eau provoqueraient l'effondrement de l'ensemble du système agroforestier local (FAO, 2002d).

Un autre exemple des retombées économiques et sociales de l'agroforesterie est offert par un projet situé sur les rives du fleuve Niger au Mali. Dans cette zone, des arbres ont été plantés sur les diguettes séparant les rizières, et aussi au milieu de celles-ci, sans effets négatifs sur les rendements rizicoles. Dans cette partie aride et reculée du Mali, la valeur des perches de bois fournies par les eucalyptus vieux de sept années a été suffisamment élevée pour permettre aux agriculteurs de payer les frais d'exploitation

et d'entretien du système d'irrigation par la vente des arbres. Dans un autre système d'irrigation situé au sud-ouest du Burkina Faso, les palmiers à huile et les arbres fruitiers ont été associés avec succès aux cultures irriguées (essentiellement du maïs, des arachides et des tomates à destination industrielle). Les arbres ont été plantés sur des crêtes ou sur les zones séparant les parcelles. Sur les sols sableux traversés par les eaux de percolation du système d'irrigation, les arbres ont produit une quantité importante de nourriture et de revenus supplémentaires, et les répercussions sur la principale culture sont restées minimales (FAO, 2002d). L'encadré 8 présente un cas où l'agriculture traditionnelle a eu des retombées plus importantes pour la société que l'irrigation à grand échelle.

Ces exemples rappellent que toutes les mesures destinées à améliorer la productivité de l'eau ne sont pas toujours appropriées et ne conviennent pas à toutes les circonstances. Il est essentiel de considérer les diverses utilisations de l'eau dans l'agriculture avant de mettre en oeuvre des mesures susceptibles d'accroître la productivité de l'eau au détriment d'autres profits découlant de la même ressource en eau, et en particulier ceux qui bénéficient aux populations pauvres locales et aux paysans sans terre.

MOYENS D'ACTION POUR FAVORISER L'AUGMENTATION DE LA PRODUCTIVITE DE L'EAU

L'utilisation de politiques des prix pour favoriser la productivité économique de l'eau exige une intervention importante des gouvernements pour garantir que les questions d'égalité d'accès et de bien collectif sont traitées avec toute l'attention qui convient (Barker *et al.*, 2003; Rogers *et al.*, 2002). Certaines études menées dans le sous-continent indien et ailleurs ont suggéré que le prix de l'eau qu'il faudrait exiger pour influencer notablement la demande devrait équivaloir à environ dix fois le tarif d'exploitation et d'entretien du système d'irrigation. Un tarif qui suffirait simplement à couvrir les frais d'EE n'aurait qu'un effet négligeable sur la demande en eau. Par ailleurs, il est difficile de mettre en place une tarification volumétrique pour l'eau d'irrigation car l'installation de structures de mesure et de dispositifs de prévention des fraudes est très coûteuse (Perry, 2001). Enfin, dans la plupart des systèmes d'irrigation du riz d'Asie, la tarification volumétrique au niveau de l'utilisateur ou même du groupe ne peut convenir étant donné la submersion et les débits d'eaux recyclés permanents dans l'ensemble du périmètre irrigué.

Le marché des eaux souterraines en Inde illustre l'impact peut-être non intentionnel des politiques gouvernementales sur les quantités d'eau mises à la disposition des agriculteurs et des autres utilisateurs. Les agriculteurs du Gujarat ont payé environ quatre fois plus cher les eaux souterraines pompées que les exploitants du Punjab et de l'Uttar Pradesh. Cette différence a été attribuée: (i) aux différences de tarification de l'énergie nécessaire aux pompes des agriculteurs (tarif forfaitaire ou montant à l'unité consommée);

(ii) aux dispositions régissant l'espacement des forages au Gujarat, qui accorde à chaque propriétaire de forage un monopole s'étendant sur environ 203 ha; et (iii) à la rareté des forages publics au Gujarat, qui a également diminué la concurrence parmi les fournisseurs d'eaux souterraines. Le prix élevé de l'eau extraite des forages au Gujarat s'est traduit par une discrimination au désavantage des petits exploitants et des agriculteurs pauvres. Toutefois, quelques modifications simples de la réglementation des eaux, qui porteraient sur le prix de l'énergie, l'espacement des forages et les forages publics, pourraient faire du marché des eaux souterraines au Gujarat un instrument efficace en faveur du développement des petits exploitants (Shah, 1985).

Il se peut que l'objectif de la productivité économique maximale de l'eau en agriculture fasse obstacle au désir politique d'assurer la sécurité alimentaire nationale. Le plus souvent, la productivité économique de l'eau pour les cultures de base est inférieure à celle de la culture de légumes ou de fleurs à destination des marchés étrangers. La substitution des cultures implique le remplacement des cultures qui consomment beaucoup d'eau par des cultures consommant moins d'eau ou dont la productivité économique est supérieure. Cette stratégie pourrait permettre d'augmenter la productivité de l'eau en agriculture au niveau agroécologique aussi bien qu'à l'échelle mondiale (**encadré 5**).

Les politiques et mesures d'incitation sont importantes pour favoriser l'adoption de pratiques agronomiques et culturales s'éloignant des pratiques traditionnelles (FAO, 2001a). Il est toutefois essentiel de définir les

Pourquoi la productivité de l'eau en agriculture est importante pour le défi mondial de l'eau

types de politiques et de mesures d'incitation qui donneront les meilleurs résultats. Les expériences d'agriculture écologique montrent que les intérêts à court terme des agriculteurs diffèrent souvent des intérêts à long terme de la société et que les bénéfices financiers dérivant de la modification des pratiques culturales mettent longtemps à se matérialiser. Par ailleurs, bien qu'il existe de grandes différences entre les exploitations, les facteurs externes jouent aussi un rôle, telle la transmission de l'information (par des activités liées à l'action politique ou par les processus sociaux). Un autre fait particulièrement important est le résultat

inconsistant et parfois contradictoire des études sur l'adoption de nouvelles pratiques, qui semble suggérer que les processus décisionnels sont extrêmement variables. Il faudrait donc les comprendre plus complètement puisqu'ils ont un retentissement important sur les délais d'application entre l'étude et la mise en oeuvre sur le terrain. Ces délais sont souvent inacceptablement longs étant donné la nature urgente des problèmes de pénurie d'eau. L'expérience tirée de la recherche participative et de la vulgarisation pourrait contribuer à réduire ces délais.



Gérer les risques dans l'utilisation de l'eau en agriculture

LA NATURE DES RISQUES

La vulnérabilité face aux risques est inégale selon les pays. Elle est liée, entre autres, au stade de développement. Les économies qui traversent les étapes de transition entre l'agriculture de subsistance et une économie agricole plus moderne et productive sont particulièrement vulnérables. Une grande partie des zones d'agriculture pluviale sont dans cette situation. Le régime des précipitations n'a guère changé au siècle dernier. Le Sahel, la Corne de l'Afrique et les pays qui bordent le désert de Kalahari sont notamment caractérisés par une grande variabilité interannuelle et intrasaisonnière des précipitations. Les bonnes et les mauvaises années n'arrivent pas au hasard mais ont tendance à être regroupées, ce qui ne manque pas d'avoir de graves conséquences sur la sécurité alimentaire puisque cela implique le stockage de la nourriture et de l'eau en prévision de plusieurs mauvaises années.

Le risque se définit comme le produit du hasard et de la vulnérabilité. En d'autres termes, il est lié à la probabilité d'un événement préjudiciable, tel qu'une sécheresse, et aux conséquences prévisibles d'un tel événement. Le risque de guerre et l'insécurité alimentaire qui en découle sont difficiles à prévoir et ce document n'en abordera pas davantage l'analyse. Pour ce qui est de l'agriculture, le risque le plus courant est la sécheresse. A l'échelle mondiale, ce risque est beaucoup plus menaçant que celui représenté par les

cyclones, les inondations et les tempêtes. Par contre, à l'échelle régionale, il existe des zones où le risque d'inondation dépasse celui de sécheresse. La sécheresse constitue l'un des plus importants détonateurs naturels de famine et de malnutrition. Les phénomènes de sécheresse peuvent être abordés au niveau de la parcelle par diverses décisions de gestion, à celui du bassin versant et au niveau national. Les premières décisions appartiennent aux agriculteurs ou aux collectivités d'exploitants, alors que les décisions concernant les bassins et les pays doivent être prises par les gouvernements ou les organismes publics.

Selon Gommes (1999), le risque peut aussi être défini plus simplement comme une perte due à un événement préjudiciable. Cette définition présente l'avantage de faciliter la matérialisation et la mesure du risque (ex.: pertes dans la production agricole, pertes de revenus). Un risque acceptable est un risque que les individus, les entreprises ou les gouvernements acceptent délibérément de prendre en échange de profits potentiels. Les gouvernements locaux définissent généralement le niveau de risque acceptable en prenant en considération l'information sur les risques de sécheresse et en la mettant en parallèle avec les facteurs économiques, sociaux et politiques propres à la zone menacée.

Le conflit est un risque toujours présent et l'une des causes les plus courantes d'insécurité

alimentaire. Le déplacement des populations et l'interruption de la production agricole et de la distribution alimentaire laissent des dizaines de millions de personnes à la merci de la faim et de la famine. A l'inverse, l'insécurité alimentaire peut être à l'origine des conflits ou les exacerber (FAO, 2002a). Selon la FAO, les conflits en Afrique subsaharienne ont entraîné, entre 1970 et 1997, une perte de production agricole qui atteint presque 52 000 millions de \$E.U., c'est-à-dire une somme équivalant à 75 pour cent de toute l'aide officielle au développement reçue par les pays touchés par les conflits. Les conflits associés aux sécheresses ont déclenché six des sept grandes famines qu'a connues l'Afrique depuis 1980. La rapidité de l'alerte et de la réaction peuvent écarter le risque de famine créé par la sécheresse ou d'autres catastrophes naturelles. Dans les zones de guerre, le manque de sécurité et l'interruption des réseaux sociaux et de transport font obstacle à l'acheminement des secours. Plusieurs autres facteurs participent toutefois à l'insécurité

alimentaire, parmi lesquels le manque aux lois, l'absence de démocratie, les divisions ethniques et religieuses, la dégradation ou l'épuisement des ressources naturelles et la pression démographique (FAO, 2002a).

STRATEGIES DE GESTION DES RISQUES POUR L'AGRICULTURE

Deux voies essentielles de minimisation des risques émanent de la définition du terme risque: la diminution des risques ou celle de la vulnérabilité. Il existe peu de moyens de minimiser les risques, mais on peut tout de même citer la pluviogénie, l'évitement de la grêle et la gestion des bassins versants pour lutter contre les inondations. Pour ce qui est de la minimisation de la vulnérabilité, les stratégies possibles sont: le développement des installations d'irrigation de surface (dont le pompage de l'eau des cours d'eau) et enterrées; la gestion intégrée des ressources en eau; la

Encadré 9 Application des renseignements climatiques

Source: Sarachik, 1999; Hansen, 2002; Ingram et al., 2002

L'application des renseignements climatiques est l'utilisation de ces renseignements pour modifier ou influencer une décision se rapportant à une action future. Il est impossible de prédire le climat à l'avance avec une certitude absolue, et c'est pour cette raison que les prévisions sont exprimées sous forme de probabilités de survenue. Comme pour tout projet probabiliste, on n'obtiendra de bénéfices appréciables qu'après une longue série d'essais. La nécessité de penser et d'agir en termes de stratégie probabiliste est l'un des plus grands obstacles à l'application de l'information prévisionnelle.

Les objectifs publics présentant plusieurs facettes différentes, on ne sait pas toujours exactement quel aspect est optimisé par l'application des renseignements climatiques, ni au bénéfice de quelle partie de la société. Par exemple, dans le domaine de la gestion des ressources en eau publiques, les priorités que sont la qualité de l'eau, les utilisations récréatives, la nécessité d'éviter les inondations et les besoins du secteur agricole sont souvent conflictuelles les unes par rapport aux autres. Les entretiens avec les responsables de la gestion des eaux révèlent que les renseignements climatiques sont rarement utilisés, même lorsqu'ils sont faciles à obtenir. L'une des raisons de la réticence des décideurs est peut-être le risque qu'ils prennent s'ils engagent une action novatrice qui pourrait échouer. La crainte des sanctions découlant d'un échec potentiel pourrait l'emporter sur les avantages possibles.

Les responsables de la gestion des eaux s'intéressent sans doute davantage à l'ensemble des précipitations saisonnières, mais les agriculteurs semblent préférer recevoir des prévisions précisant le début et la fin des pluies, ainsi que la survenue d'éventuelles périodes sèches au cours de la saison des pluies. La diffusion des prévisions climatiques aux agriculteurs pose une question délicate, celle de savoir comment éviter les catastrophes potentielles que risquent d'entraîner des prévisions incorrectes. Une prévision probabiliste n'est à proprement parler ni correcte ni incorrecte. Il n'en reste pas moins que les agriculteurs risquent de réagir à des prévisions indiquant une grande probabilité de précipitations plus abondantes que la normale en investissant des ressources, pour ensuite perdre leur investissement et davantage si les pluies sont en dessous de la normale. Il ne sera possible de surmonter ces obstacles à l'utilisation des renseignements climatiques, aussi bien par les responsables de la gestion des eaux que par les agriculteurs, que si l'on démontre que les prévisions donnent de bons résultats.

valorisation et la diversification des écosystèmes; la sensibilisation et la formation des agriculteurs; les systèmes d'alerte rapide; les prévisions climatiques saisonnières; et l'assurance agricole.

Les systèmes d'alerte rapide et les prévisions météorologiques saisonnières fournissent de plus en plus tôt les informations nécessaires aux gouvernements et organismes d'aide internationaux pour qu'ils puissent prendre les mesures qui permettront de diminuer l'impact des sécheresses. Les techniques de prévisions saisonnières ne sont toutefois pas parfaites et les prévisions n'arrivent pas jusqu'aux agriculteurs (FAO, 2002d). Si c'était le cas, elles pourraient les aider à choisir des cultures moins exigeantes en eau, et à remplacer par exemple le maïs par le sorgho à l'annonce d'une sécheresse (**encadré 9**).

En l'absence de renseignements fiables sur les précipitations saisonnières attendues, certains agriculteurs auront tendance à accepter de prendre des risques dans la perspective d'un plus grand profit, alors que d'autres préféreront éviter le risque même s'ils voient la possibilité de réaliser de gros bénéfices. Ces comportements d'acceptation ou d'évitement des risques sont affaires de personnalité et de culture.

De tout temps l'agriculture irriguée a évolué pour répondre à la nécessité de réduire le risque de récoltes déficitaires dans les terres sujettes à des sécheresses périodiques, comme les bassins de l'Euphrate et du Tigre. Les chapitres qui précèdent font état de nombreuses pratiques culturales et agronomiques à l'échelle de la parcelle qui sont susceptibles d'atténuer les conséquences des sécheresses et de diminuer ainsi le risque de récoltes déficitaires et d'insécurité alimentaire.

Il existe, dans le domaine des pratiques agricoles et de la conduite des parcelles, diverses méthodes permettant d'améliorer la gestion des sols et des eaux (Gommes, 1999). En matière d'agriculture pluviale, les stratégies sont basées sur la production durable de davantage de nourriture par unité d'eau; pour ce faire, il faut: récupérer les quantités maximales d'eau de pluie à l'échelle de la communauté, de l'exploitation et de la parcelle; minimiser les pertes d'eau au niveau de l'exploitation et de la parcelle; et utiliser l'eau efficacement à l'échelle de la parcelle. La récupération de quantités maximales d'eau de pluie peut faire intervenir à la fois l'état et les organisations d'agriculteurs (collecte de l'eau, utilisation d'eaux recyclées provenant d'autres secteurs) ou les agriculteurs seuls (collecte de l'eau sur l'exploitation, réduction du ruissellement à l'échelle de la parcelle, plantation précoce, système de culture par jachères, etc.). La minimisation des pertes en eau met les agriculteurs à contribution (réduction de l'évaporation par le paillage ou la couverture rapide des cultures, les plantations brise-vent, le travail minimal du sol, le désherbage, etc.). L'utilisation efficace de l'eau nécessite la participation des agriculteurs (utilisation d'espèces culturales consommant peu d'eau, fertilisation adaptée aux quantités d'eau disponibles, lutte contre les maladies et les ravageurs, optimisation de la plantation et des semis, variétés sélectionnées capables d'accomplir leur cycle dans les limites de la période de croissance offertes par le climat, etc.).

Il vaut peut-être mieux, pour réduire appréciablement les risques tout en ne diminuant pas énormément les profits espérés, combiner plusieurs méthodes plutôt que de n'en choisir qu'une. Par exemple, un exploitant qui travaille

dans une zone d'agriculture pluviale comme Machakos, au Kenya, où la culture du maïs donne en moyenne un bon rendement tous les quatre ans, pourrait choisir de semer du maïs sur un quart de champ tous les ans. La réalité est évidemment plus compliquée car la quantité totale de pluies saisonnières et leur répartition au cours de la saison de croissance ont toutes les deux des conséquences importantes sur le rendement des cultures.

Les stratégies qui précèdent permettent d'améliorer l'utilisation des eaux disponibles à l'échelle de la parcelle. Par ailleurs, l'agriculture traditionnelle vise plutôt la stabilité de la production qu'un revenu maximum. Les agriculteurs remplissent cet objectif en diversifiant leur production et en choisissant des pratiques à faible niveau d'intrants qui ne nécessitent pas d'investissements ni de montants d'espèces trop importants. L'association de plusieurs agriculteurs, par exemple au niveau du village ou au sein des groupes d'agriculteurs, peut diminuer encore le risque d'une production faible.

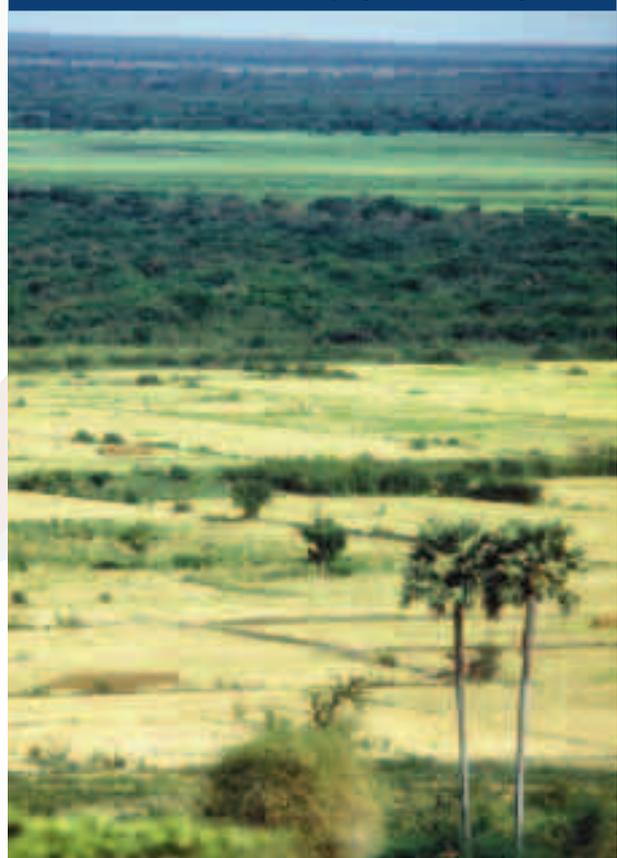
REPARTIR LES RISQUES

L'assurance agricole constitue le dispositif le plus explicite de répartition des risques, en utilisant les institutions financières pour distribuer le coût des événements météorologiques entre d'autres secteurs économiques et les gouvernements. Les assurances agricoles contre les répercussions des cyclones et des tempêtes de grêle sont des exemples réussis de ce type de garantie. Les sécheresses ont un impact plus important dans les pays en développement que dans les pays développés, mais les agriculteurs des pays en

développement ne peuvent pour ainsi dire pas accéder à ces assurances. En général, le coût de l'assurance pour les cultures de base de relativement faible valeur est inabordable (FAO, 2002d).

La répartition des risques peut pourtant favoriser aussi un partage de l'eau. Cela fait quelque temps que des transferts d'eau sont pratiqués à l'intérieur des pays. Certains canaux ont été construits pour servir à la navigation, d'autres pour alimenter en eau potable des villes à court d'eau, et d'autres encore pour les besoins de l'agriculture, ou pour plusieurs de ces raisons. L'on peut citer l'exemple du Snowy Mountain Scheme, en Australie, et celui de plusieurs aqueducs en Californie, aux Etats-Unis d'Amérique. A l'échelle internationale, un vaste système de canaux de liaison entre les bras de l'Indus a été construit pour garantir l'égalité de

Planche 11 Vue de la campagne (Cambodge)



FAO/19680/G. BIZZARRI

Gérer les risques dans l'utilisation de l'eau en agriculture

l'accès à l'eau entre l'Inde et le Pakistan après la partition de 1947. La Chine développe à l'heure actuelle de grands projets de transfert d'eau qui relient le sud du pays au nord très peuplé et à court d'eau. Le financement et la mise en oeuvre de projets aussi coûteux pourraient dorénavant permettre de réduire le risque de conflits internationaux portant sur l'eau. Lorsque plusieurs pays partagent des ressources en eau, comme dans les bassins du Mékong, du Nil, de

l'Euphrate et du Tigre, il existe un risque patent que l'association de facteurs tels que la croissance démographique, la pauvreté, l'insécurité alimentaire et la rareté de l'eau entraînent l'éclatement d'un conflit sur l'eau. Les tentatives actuelles pour mettre en place une médiation par la création d'organismes de gestion des bassins fluviaux visent à diminuer ces risques.



Atténuer l'impact de la mise en valeur de l'eau en agriculture sur l'environnement

chapitre 5

LES EFFETS EXTERNES

La plupart des systèmes de production, dont l'agriculture, ont des effets secondaires qui peuvent être à la fois positifs et négatifs, ou des effets externes qui ne sont pas comptabilisés par les marchés. Les bénéfices écologiques positifs et négatifs de l'agriculture sont la conséquence involontaire des activités de marché qui ont un impact sur des personnes autres que celle qui a induit l'effet. Aucun prix n'est en général fixé pour ces sous-produits sur le marché, et par conséquent leur valeur économique n'est pas déterminée, ou difficile à évaluer. Il n'est pas possible d'examiner tous les effets externes positifs de l'agriculture. Dans certains cas le même phénomène sera positif dans certaines circonstances et négatif dans d'autres, ou encore il sera évalué positivement par certains observateurs et négativement par d'autres. Un effet externe positif peut diminuer un effet négatif, et vice versa. En outre, les effets externes positifs et négatifs sont souvent étroitement reliés (ex.: la salinité des sols et l'amélioration des possibilités d'emploi dans l'agriculture irriguée). Par ailleurs, les effets externes positifs ne sont souvent pas pris en

considération alors que les effets négatifs sont plus abondamment exposés. Un exemple bien connu d'effet externe négatif est l'atteinte à la diversité biologique qui découle du drainage des zones humides pour les besoins de l'agriculture (FAO, 2002d). Ces atteintes s'accroissent au fur et à mesure que les établissements humains continuent à empiéter sur les zones humides et les forêts (**encadré 10**).

De nombreux systèmes agricoles sont devenus d'efficaces transformateurs de technologies, d'intrants non renouvelables et de ressources financières. Ils peuvent produire de grosses quantités d'aliments, mais ont un impact négatif considérable sur les actifs physiques (Pretty, 1999). Par actifs physiques, on n'entend pas simplement les ressources naturelles en terres et en eaux proprement dites, mais aussi le cycle et la fixation des substances nutritives, la formation du sol, la lutte biologique, le piégeage du carbone et la pollinisation. Ce phénomène soulève une question: que représente le succès de la production agricole si les importantes augmentations de rendement s'obtiennent au

Encadré 10 Mise en valeur des ressources en eaux fluviales: le cas du fleuve Sénégal

Source: FAO, 2001b

Le fleuve Sénégal illustre la complexité de l'évaluation des effets externes sur l'environnement. L'aménagement des barrages fluviaux pour la production d'énergie hydraulique a eu des effets négatifs sur la production agricole écologiquement et socialement durable qui exploitait les plaines d'inondation. La gestion conventionnelle des grands barrages a mis fin aux crues annuelles dont dépendaient ces systèmes de production. Après ces aménagements, l'eau du fleuve a été retenue dans un réservoir en amont et libérée seulement pour répondre à la demande de la production d'énergie hydraulique. Ce bouleversement du fonctionnement de l'écosystème n'a pas seulement entraîné la disparition des systèmes traditionnels de production agricole, mais aussi celle de la diversité biologique locale et migratrice qui dépendait de l'existence de ces grandes plaines d'inondation à la limite du désert. La nécessité de dédommager les personnes qui ont été éloignées de force de la zone du réservoir a maintes fois été évoquée, mais on sait peu de choses sur les dédommagements dont auraient besoin tous les habitants des contrées situées en aval, qui n'ont pas été déplacés de force mais qui ne peuvent plus subvenir à leurs besoins par la production agricole qu'ils obtenaient avant les aménagements.

Planche 12 Touaregs et Bellas préparant le sol pour la plantation du bourgou (Mali)



FAO/11604/J. VAN ACKER

prix de problèmes d'environnement et de santé? L'une des difficultés est que les coûts et les bénéfices ne touchent pas les mêmes personnes et ne sont pas mesurés avec les mêmes unités. Dans les années soixante-dix et quatre-vingts, certains considéraient que l'énergie pouvait constituer cette mesure commune. Le fait est que les systèmes durables ont un bien meilleur rendement énergétique que les systèmes modernes à forts niveaux d'intrants. Au Bangladesh et en Chine, le riz d'agriculture pluviale à faibles niveaux d'intrants peut produire 1,5 à 2,6 kg de céréales par mégajoule d'énergie consommée, ce qui représente une efficacité 15 à 25 fois plus importante que celle de la production rizicole irriguée au Japon et aux Etats-Unis. Les systèmes durables produisent en moyenne 1,4 kg de céréales par mégajoule par comparaison avec 0,26 kg/MJ dans les systèmes conventionnels. Les systèmes agricoles modernes dépendent massivement des apports externes, qui sont en grande partie dérivés des combustibles fossiles. Dans la plupart des pays industrialisés, l'énergie est moins chère que la main d'oeuvre, ce qui rend

logique la surexploitation des ressources naturelles et la sous-utilisation de la main d'oeuvre. Tout cela se solde par des effets néfastes, à long terme, sur l'environnement (Pretty, 1999). Bien que la main d'oeuvre soit moins chère que l'énergie dans de nombreux pays en développement, l'agriculture a souvent des effets négatifs sur l'environnement. Pour ce qui est des enseignements à tirer du point de vue de l'action, il faut noter que les effets externes de l'agriculture sur l'environnement se font sentir à différentes échelles géographiques: par exemple, piégeage du carbone (un effet externe positif) à l'échelle mondiale, mais salinisation d'un bassin versant (un effet externe négatif) à l'échelle locale.

L'application de concepts comme le principe du pollueur payeur et la récupération et le partage des coûts peut se révéler irréaliste, difficile à mettre en oeuvre et politiquement désastreuse pour les gouvernements des pays où des millions de personnes sont pauvres et où les petits exploitants agricoles tentent de subsister sur les terres marginales. Dans les

Atténuer l'impact de la mise en valeur de l'eau en agriculture sur l'environnement

pays en développement, la manière dont la production agricole des zones marginales peut remplir sa fonction première sans épuiser les ressources naturelles demeure un sujet courant de préoccupation. C'est pour toutes ces raisons que le développement des technologies appropriées, l'attribution de droits de propriété individuels ou collectifs et la promotion de l'emploi de substitution à l'extérieur du secteur agricole seront des stratégies vitales.

LE PROBLEME DE LA SALINITE ET DU DRAINAGE

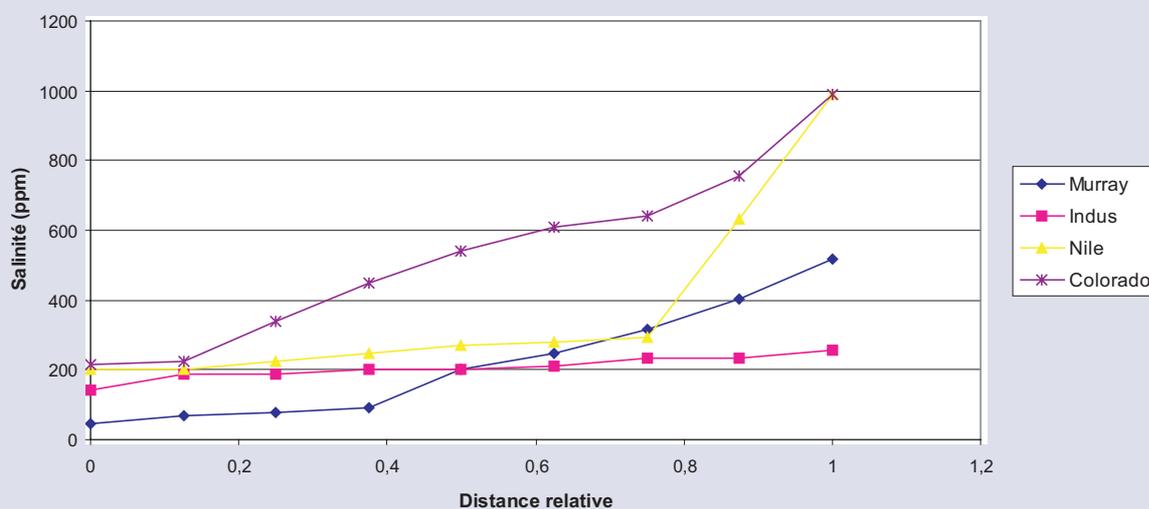
L'impact de l'agriculture irriguée sur l'environnement est pour beaucoup lié à la gestion de l'eau et au bilan salin des terres irriguées. Il faut à la fois minimiser la quantité d'eau nécessaire à l'élimination des sels de la rhizosphère et minimiser la superficie requise pour stocker temporairement ou indéfiniment les sels. Une bonne gestion de ces contraintes n'est pas facile. Bien que les problèmes de salinité

d'origine anthropique se développent rapidement, leur résolution peut prendre du temps et se révéler coûteuse. Diverses méthodes d'amélioration des pratiques agronomiques et d'irrigation peuvent être mises en place selon le type de salinité et la cause de l'accumulation des sels à des niveaux nocifs dans la rhizosphère. Le fait que des eaux salines ont été utilisées avec succès pour faire pousser des cultures montre que dans certaines conditions, comme par exemple le climat méditerranéen marqué par des pluies hivernales, les eaux salines peuvent servir à l'irrigation. Les expériences menées dans d'autres endroits où les effets négatifs à long terme de l'irrigation avec des eaux salines ou à forte teneur en sodium ont été observés indiquent que des interventions plus durables sont nécessaires pour rétablir l'équilibre entre les sels et l'eau.

Tous les cours d'eau des zones arides ont des profils salins naturels, imputables à la concentration de sels dans le bassin versant et dans les bas-fonds salins. Le transport des sels

Figure 3 Profils salins de quatre grands cours d'eau

Source: Smedema, 2000



fossiles, dû à l'irrigation avec les eaux souterraines pompées dans les nappes, puis au rejet des eaux de drainage dans les cours d'eau, est une autre cause de la salinité des cours d'eau. La **figure 3** montre le profil de salinité de quatre cours d'eau. Elle illustre les variations possibles entre les sels qui retournent aux rivières ou ceux qui se déposent dans les terres ou restent dans les eaux souterraines (Smedema, 2000). L'augmentation de la salinité des rivières et cours d'eau de nombreuses régions sèches du monde constitue un risque écologique qui n'a pas été suffisamment pris en considération. Les conséquences écologiques d'une salinité accrue dans les eaux intérieures justifient que l'on s'y intéresse davantage, étant donné la vulnérabilité des écosystèmes aquatiques à l'augmentation des niveaux de sel.

Au Panjab, au Pakistan, la plus grande partie des eaux de drainage des terres agricoles est réutilisée, qu'elle soit récupérée dans les drains de surface ou pompée dans les eaux souterraines peu profondes. En fait, dans certains systèmes, c'est de la moitié aux deux-tiers de l'eau d'irrigation qui est pompée dans les eaux souterraines. Par

conséquent, les sels lessivés retournent à la terre plutôt que d'être évacués dans le réseau fluvial ou dans les bassins d'évaporation. L'afflux moyen des sels dans les eaux de l'Indus équivaldrait environ à deux fois la quantité de sel évacuée à la mer. Par conséquent, la moitié de l'afflux annuel de sel reste dans les terres et dans les eaux souterraines. L'accumulation de sel se produit pour l'essentiel au Panjab, où des systèmes de drainage beaucoup plus étendus seraient nécessaires pour maintenir un équilibre durable entre les sels et l'eau dans les terres irriguées. A l'échelle mondiale, seulement 22 pour cent des terres irriguées sont équipées de systèmes de drainage (et moins de 1 pour cent des terres irriguées ont un système de drainage souterrain). Il est donc inévitable que l'engorgement et la salinité rendent encore davantage de terres improductives. En général, ce sont déjà des agriculteurs très pauvres qui risquent de perdre leurs terres de cette manière.

La situation du drainage au Pakistan contraste singulièrement avec celle de l'Égypte (**encadré 11**). En Égypte, une grande partie des terres irriguées sont équipées de drains souterrains qui rejettent les eaux de drainage dans les rivières.

Encadré 11 Le système de drainage égyptien

Source: Ali et al., 2001

Il fut un temps où la vaste superficie irriguée de l'Égypte ne posait pas de problèmes de salinité importants. C'est seulement après l'introduction généralisée de l'irrigation pérenne qu'il a été nécessaire de prendre des mesures pour remédier à la salinité. L'un des facteurs aggravants de ce problème est l'expansion de l'agriculture irriguée sur des sols sableux ou légers caractérisés par une vitesse fondamentalement plus élevée d'infiltration et de percolation. Ces nouvelles terres irriguées se situent pour la plupart sur les lisières plus élevées de la vallée du Nil, ce qui contribue à entraîner le sel vers les basses terres. L'irrigation pérenne a provoqué une augmentation des infiltrations dans l'ensemble des terres irriguées, un phénomène qui a été exacerbé par l'accroissement de la production du riz et de la canne à sucre, nécessitant un taux d'application d'eau plus élevé. La réutilisation des eaux de drainage est très répandue et difficile à comptabiliser. Un calcul arithmétique simple basé sur la productivité de l'eau à l'échelle de l'exploitation, proche de 40 pour cent, et sur la productivité à l'échelle du bassin, qui atteint 90 pour cent, laisse supposer que l'eau est appliquée au moins deux fois en moyenne. Le reste, qui est trop salé pour pouvoir être réutilisé, est rejeté dans la Méditerranée ou dans des lacs utilisés comme bassins d'évaporation (près de la mer).

Depuis 1970, l'Égypte a équipé une superficie de presque 2 millions d'hectares d'installations de drainage souterraines et d'infrastructures connexes, telles que des fossés collecteurs et des stations de pompage, pour transporter et réutiliser les eaux de drainage. Chaque année, 50 000 hectares supplémentaires sont drainés. Le programme de drainage de l'Égypte constitue l'une des plus importantes interventions de gestion de l'eau au monde. L'investissement total s'élève à environ 1 000 millions de \$E.U., et depuis 1985, une partie de l'investissement sert à la réhabilitation des anciens systèmes de drainage. Depuis l'installation des systèmes de drainage, les rendements ont augmenté et l'on a observé une amélioration substantielle dans les terres altérées par le sel.

Planche 13 Dragage d'un canal d'irrigation (Egypte)



FAO/16222/L. SPAVENTA

Les sels ne restent pas dans le bassin du Nil mais sont rejetés dans la Méditerranée. Pendant une partie de l'année, la teneur en sel de l'Indus inférieur est bien plus faible que celle du Nil inférieur (delta du Nil), et l'Indus pourrait recevoir davantage de sels rejetés. Ces rejets ne seraient toutefois pas possibles pendant les périodes critiques des basses eaux. La seule possibilité à ce moment serait de stocker temporairement les eaux de drainage pour ne les rejeter qu'en période de hautes eaux. L'extension du Left Bank Outfall Drain, qui pour l'instant fonctionne au Sindh, au Panjab constituerait une solution plus durable, quoique relativement coûteuse, que le nombre insuffisant de bassins d'évacuation qui caractérise la situation actuelle.

REUTILISER LES EAUX USEES

La réutilisation des eaux des collectivités et des industries dans l'agriculture irriguée est très répandue. Bien que les eaux usées soient en partie traitées avant d'être réutilisées, la plus grande part ne l'est pas, ce qui fait peser des risques considérables sur l'environnement et la santé. En

outre, la plupart des usines de traitement des pays en développement fonctionnent en dessous de la capacité prévue, ce qui ajoute au rejet d'eaux usées non traitées dans les canaux d'irrigation et de drainage. Les concentrations de métaux lourds dans les sédiments des canaux et des drains et dans les échantillons de sols, ainsi que la numération bactérienne des coliformes fécaux dans les eaux d'irrigation et de drainage, dépassent souvent les normes de qualité de l'eau de l'OMS. Les eaux usées constituent par exemple 75 pour cent du débit total du Bahr Bagr Drain, dans le delta oriental du Nil, en Egypte, ce qui fait réellement du drain un égout à ciel ouvert. Les échantillons de sol, dans le delta oriental, ont révélé des niveaux de cadmium de 5 mg/kg, plus de deux fois le niveau naturel. On a également relevé des signes de l'absorption par les cultures d'éléments-traces. Par exemple, dans le delta moyen, des niveaux de cadmium de 1,6 mg/kg (ppm) ont été trouvés dans le riz. De tels niveaux sont nocifs pour la santé humaine, et méritent que l'on s'y intéresse sérieusement. Ainsi certaines eaux de drainage sont impropres à toute réutilisation, non pas à cause de leur forte teneur

Encadré 12 Impact du prélèvement non planifié des eaux souterraines sur l'environnement

Source: Shah et al., 2000

Les prélèvements non planifiés et non mesurés peuvent considérablement endommager des environnements fragiles. L'exemple de l'oasis Azraq, en Jordanie, est édifiant. Cette oasis est une zone humide couvrant plus de 7 500 ha, qui offrait un habitat naturel à toutes sortes d'espèces aquatiques et terrestres uniques. L'oasis était internationalement reconnue parce qu'elle constituait une halte importante pour les oiseaux migrateurs. Elle a toutefois été complètement asséchée par l'exploitation de la réserve d'eau souterraine en amont, par des pompages pour l'irrigation et pour l'alimentation en eau de la ville d'Amman. Le déficit a provoqué la baisse de la nappe phréatique, initialement peu profonde, de 2,5 à 7 m pendant les années quatre-vingts, et asséché les sources naturelles dont le débit, qui alimentait l'oasis, a chuté à un dixième de sa valeur d'origine au cours des dix années entre 1981 et 1991. L'écosystème tout entier s'est effondré et la salinité des eaux souterraines est passée de 1 200 à 3 000 ppm. Il a toutefois été possible, grâce à une série d'interventions (pompage inverse d'eaux provenant d'ailleurs au centre du lac, nettoyage des sources et réhabilitation), de remettre presque entièrement les zones humides d'Azraq dans leur état d'origine, et les oiseaux (et les touristes) sont revenus.

en sel mais en raison de leur charge polluante. Par ailleurs, l'évacuation sûre de ces eaux usées polluées devient un réel problème (Wolff, 2001). Des cas semblables ont été signalés pour d'autres pays, par exemple le Pakistan et le Mexique (Chaudhry et Bhutta, 2000).

Il a déjà été fait allusion au défi que représente la gestion réussie de l'utilisation concomitante des eaux souterraines et des eaux des canaux. Dans certaines zones, la surexploitation des eaux souterraines est mise en évidence par la baisse rapide du niveau de la surface des nappes souterraines. Dans d'autres régions où les eaux souterraines sont trop salines pour la production agricole, le niveau de la nappe s'élève en raison de la sur-irrigation et des infiltrations issues des canaux d'irrigation. De nombreuses terres agricoles ne sont plus productives depuis que l'ascension capillaire provenant des nappes d'eaux peu profondes a détérioré les sols et empoisonné les cultures. Il est malheureusement difficile et coûteux d'inverser ce processus (**encadré 12**). En Inde, les superficies engorgées représenteraient 6 millions d'hectares. Sur 12 grands projets d'irrigation représentant un périmètre irrigué de 11 millions d'hectares à l'aménagement, 2 millions d'hectares ont été déclarés engorgés et un autre million d'hectares serait salinisé (Shah *et al.*, 2000).

La salinisation seule rendrait impropres à la production 2 à 3 millions d'hectares par an de terres agricoles potentiellement productives. L'on ne sait dans quelles proportions ces terres sont régénérées (à divers degrés) et rendues à la culture. La pollution des eaux souterraines par les sels et les résidus agrochimiques est également un phénomène fréquent. Lorsque des eaux souterraines légèrement salines sont employées pour l'irrigation, la répétition des cycles d'application de l'eau sur les champs, d'infiltration de l'excès d'eau et de repompage à partir de la couche supérieure de la nappe augmente la charge saline des eaux souterraines. Si la perméabilité verticale de la nappe est limitée, les eaux d'infiltration se mélangent peu au reste de la nappe, dont la couche supérieure, là où est pompée l'eau, se salinise de plus en plus. Ce processus a été mis en évidence dans plusieurs systèmes d'irrigation du Panjab, au Pakistan, où l'on pratique une irrigation qui utilise de manière concomitante les eaux des canaux et les eaux souterraines (Kijne *et al.*, 1988).

Les agriculteurs les plus pauvres sont ceux qui sont le plus vulnérables à la dégradation de l'environnement car ils cultivent pour la plupart dans des conditions difficiles. Quelques agriculteurs exploitent les meilleures terres; la grande majorité des autres cultivent les terres

moins fertiles et marginales. L'aggravation de la dégradation va vraisemblablement altérer la qualité des approvisionnements en eau potable et en eau d'irrigation des agriculteurs, ainsi que la qualité de leurs terres, peut-être aussi la quantité et la qualité des poissons qu'ils attrapent, et en dernier ressort leur santé. L'absence de données sur l'équilibre entre les sels et l'eau dans les terres irriguées et le manque de connaissances sur la quantité d'eau (et de quelle qualité minimale) qu'il faudrait attribuer aux utilisateurs en aval font obstacle à toute tentative de distribution plus équitable de l'eau aux utilisateurs en vue d'améliorer la productivité de l'eau en agriculture à l'échelle du bassin. Pour pouvoir envisager de mettre fin aux pratiques non durables et réduire les concentrations de sels et de produits agrochimiques qui découlent directement de la dégradation des ressources en terres et en eaux, il faudrait commencer par une action collective et à long terme d'amélioration de la gestion des terres et des eaux.

Le développement agricole et rural n'a généralement pas profité des initiatives systématiques d'analyse et de gestion de l'environnement. L'une des raisons de cette mise à l'écart passée est sans doute le très grand nombre de projets (grands et petits) qui auraient pu faire l'objet d'une évaluation, mais qui auraient totalement submergé les organismes d'évaluation de l'environnement. L'évaluation de

l'impact sur l'environnement (EIE) s'applique généralement à la planification de projets d'équipement (ex.: barrages, routes, pipe-lines et industries), mais rarement aux plans de culture et de développement rural. C'est ainsi qu'ont persisté la planification malavisée et les pratiques d'utilisation des terres mal adaptées. Dans de nombreuses zones, les ressources en sols, en terres et en eaux sont utilisées de manière inefficace ou se dégradent, pendant que la pauvreté et les écarts de revenus continuent à augmenter.

En général, les techniques d'EIE, avec 30 ans d'expériences derrière elles, prennent maintenant en considération, en plus des répercussions biophysiques, les effets socio-économiques sur la santé, les migrations humaines vers la zone du projet et s'en écartant, la formation d'une main d'œuvre locale, le renforcement des capacités des gouvernements locaux, etc. Des politiques gouvernementales et internationales sont encore nécessaires pour établir les cadres légaux appropriés et une base institutionnelle pour l'EIE des projets agricoles. Ces politiques devraient faire une place au transfert des connaissances nécessaires aux pauvres ruraux, par exemple grâce aux services de vulgarisation agricole, de manière à ce qu'ils puissent participer à l'évaluation écologique de la gestion des ressources en eau pour l'agriculture et de la planification des projets (FAO, 2002d).



chapitre 6

Moderniser la gestion des eaux d'irrigation

PERSPECTIVES DE MODERNISATION

La modernisation de la gestion de l'eau dans les systèmes d'irrigation peut s'interpréter différemment selon les contingences locales. L'un des aspects de la modernisation est l'introduction des technologies modernes, comme l'application et la distribution de l'eau par des tuyaux plutôt que dans des canaux à ciel ouvert, et l'utilisation de capteurs informatisés détectant l'eau dans le sol pour déclencher les applications d'eau. Elle comprend toutefois également des techniques plus anciennes à forts coefficients de capitaux, comme le revêtement des canaux et le nivellement des sols. Ces techniques ne peuvent être introduites et utilisées avec succès que si les agriculteurs sont formés pour leur utilisation ou qu'ils possèdent déjà les compétences nécessaires. L'aspect technique ne représente néanmoins que l'un des aspects de la modernisation. Des changements fondamentaux des dispositions et règlements institutionnels sont également importants, ainsi que l'amélioration de la performance et de l'efficacité des usagers de l'eau et de leurs organisations.

Selon la FAO, la modernisation est un processus de valorisation de la technique et de la gestion des aménagements d'irrigation qui va de pair, au besoin, avec des réformes institutionnelles, en vue d'améliorer l'utilisation des ressources et les services de distribution de l'eau aux exploitations agricoles (Facon et Renault, 1999). Dans ce

sens, la modernisation offre la possibilité de réformer les institutions dans un dessein particulier, et non pas juste pour réformer. C'est une perspective systémique et pratique qui n'exige pas le changement de tous les aspects institutionnels, et qui n'a besoin d'être appliquée que là où l'agriculture irriguée présente un net avantage comparatif.

Les institutions d'irrigation doivent s'orienter davantage vers les services et améliorer leurs performances sur le plan économique et écologique. Cela nécessite: l'adoption de nouvelles technologies; la modernisation des infrastructures; l'application de techniques et de principes administratifs

Planche 14 Agriculteur préparant un système d'irrigation dans un champ de tomates (Brésil)



FAO/18202/G. BIZZARRI

améliorés; et l'incitation à la participation des usagers de l'eau. Les institutions du secteur de l'irrigation doivent rattacher leur mission centrale de fourniture des services d'irrigation à la production agricole, et intégrer leurs besoins et utilisations de l'eau à ceux d'autres utilisateurs à l'échelle du bassin. Une meilleure appréciation des cascades et débits d'eau dans les paysages et de la circulation des eaux souterraines dans les nappes phréatiques permettra de prendre des décisions averties sur l'utilisation et la réutilisation des eaux en agriculture.

Parce que la modernisation est généralement perçue comme un projet technique, sa planification est le plus souvent axée sur les aspects macroéconomiques et techniques et se contente de suppositions générales sur la gestion du système de distribution et des systèmes d'irrigation sur l'exploitation. Lorsque le système modernisé se révèle incompatible avec les pratiques de gestion en place ou que

des modifications importantes et non anticipées des pratiques de gestion sont nécessaires pour profiter pleinement du potentiel du système modernisé, on peut vraisemblablement penser que le projet de modernisation va échouer.

Par ailleurs, il y a aussi tout lieu de s'attendre à un échec si l'organisation publique d'irrigation continue à fonctionner comme avant sans l'engagement et la participation des utilisateurs de l'eau dans l'exploitation et la gestion du système. C'est seulement s'ils s'engagent dès le début d'un projet de modernisation que les agriculteurs pourront se l'approprier et seront plus portés à se sentir concernés par le système. Ce sentiment d'appropriation devrait permettre d'éviter plusieurs problèmes qui se manifestent souvent très rapidement: les canaux sont démolis dans les champs; les vannes sont volées ou endommagées; les systèmes de drainage sur les parcelles se bouchent; les fossés collecteurs se remplissent de sédiments

Encadré 13 Modernisation de l'irrigation en Argentine, au Mexique et au Pérou

Source: FAO, 2001d

L'analyse d'efforts récents de modernisation de l'irrigation en Argentine, au Mexique et au Pérou a permis de définir un ensemble de conditions susceptibles de favoriser la réussite des projets de modernisation:

- La modernisation a plus de chances de réussir si les idées viennent des exploitants.
- L'irrigation sous pression a le vent en poupe et l'irrigation gravitaire n'a plus la cote; les futurs aménagements d'irrigation devraient favoriser l'irrigation sous pression.
- L'efficacité de la distribution d'eau devrait être davantage prise en considération; sinon, les importantes pertes d'eau, le vol de l'eau et l'irrigation non programmée continueront.
- Le paiement des droits sur les services d'eau continuera à poser problème tant que les agriculteurs n'auront pas compris ni accepté que l'eau ne peut pas être gratuite.
- Il faut être très attentif à ce que l'assistance technique offerte aux agriculteurs soit adaptée. Malgré les formations proposées, de vastes lacunes demeurent dans les connaissances des agriculteurs en matière de pratiques agricoles, de besoins en eau et de programmation de l'irrigation.
- Chaque système nécessite des solutions sur mesure: la modernisation prévoit toujours l'amélioration des infrastructures matérielles, mais la manière dont cela se fait, ainsi que tous les autres impératifs, sont propres à chaque site.

Les études de cas indiquent qu'en raison de l'intensification de la concurrence sur l'eau, les systèmes de distribution de l'eau d'irrigation vont devoir rapidement améliorer leur efficacité, ou disparaître. A long terme, il ne sera plus possible de recourir aux apports ou subventions gouvernementaux, quoique les phases de transition sur la voie d'une gestion modernisée puissent encore nécessiter un investissement public considérable. On peut parler de réussite pour les trois cas de modernisation étudiés dans la mesure où les agriculteurs ont pris conscience du fait qu'il n'était plus possible de considérer que les affaires allaient continuer comme auparavant. Toutefois, la technologie évoluant tellement rapidement, il sera peut-être nécessaire de poursuivre la modernisation de manière plus ou moins permanente pour adapter les systèmes d'irrigation à l'évolution des circonstances.

et de mauvaises herbes; et les terres aménagées sont détériorées par un travail du sol inadéquat. L'**encadré 13** présente quelques-uns des enseignements tirés de divers projets de modernisation de l'irrigation.

Un aspect important de la modernisation est l'effet de la taille de la parcelle à la conception sur la faisabilité du projet. Par exemple, à Navarra, au Mexique, la taille moyenne des parcelles est d'environ 5 000 m², et chaque agriculteur possède en moyenne une superficie de 1,3 ha. Il est probable qu'à brève échéance, ces exploitations ne seront pas rentables pour deux raisons: (i) la petite taille des parcelles; et (ii) le mauvais état des systèmes d'irrigation (FAO, 2002d). La modernisation de nombreux systèmes d'irrigation devrait aborder la restructuration du régime foncier pour permettre de constituer des parcelles qui puissent être exploitées de manière rentable. Au Mexique, dans ce système, cette taille optimale serait d'environ 5 ha. L'augmentation de la taille des exploitations permettrait aussi de réduire l'investissement nécessaire pour moderniser les systèmes d'irrigation. Par ailleurs, les exploitations dont les performances sont bonnes pourront créer des emplois, directement et indirectement.

Cela étant, la prise en considération des conditions propres à chaque site peut aboutir à des conclusions différentes selon les situations. Au Mali, l'Office du Niger, qui s'occupe de la production rizicole, alloue aux agriculteurs des parcelles d'au moins 5 ha. L'attribution de grandes parcelles à des agriculteurs à temps plein recherchant un profit maximum semble aller à l'encontre de la situation réelle des populations qui ont en général des moyens de subsistance diversifiés, en particulier lorsqu'elles cherchent à

échapper à la pauvreté. En outre, les petites parcelles sont souvent utilisées plus intensivement. Par exemple, au Zimbabwe, au début des années quatre-vingt-dix, le gouvernement a changé sa politique: au lieu d'attribuer aux agriculteurs des parcelles irriguées de 0,1 ha pour compléter les revenus qu'ils tiraient de l'agriculture pluviale, on leur a donné 3 à 5 hectares de terres irriguées, en présupant que l'augmentation de la taille des parcelles les inciterait à se consacrer à temps plein à l'irrigation. Les dispositions favorisaient aussi l'attribution des terres irriguées aux hommes, censés être plus disposés à dépenser leur énergie dans l'agriculture irriguée. Pourtant, il s'est avéré plus tard que la productivité par unité de terre et par unité d'eau était plus élevée sur les petites exploitations, et que les agricultrices étaient beaucoup plus portées que les hommes à considérer l'agriculture irriguée comme leur principale source de produits alimentaires et de revenus (FAO, 2002d).

Les projets à grande échelle d'aménagement et de modernisation de l'irrigation ont tendance à se concentrer sur la production d'aliments de base et à se désintéresser des ressources halieutiques. L'un des problèmes de la perte de l'habitat du poisson, ou plus précisément de la récupération des zones humides pour l'agriculture, est qu'une fois que ces zones sont converties en terres agricoles, les gens acquièrent des droits sur elles, alors qu'il n'est pas possible de posséder des titres de propriété sur les zones humides naturelles, bien que des droits communaux traditionnels puissent être reconnus. Les ressources halieutiques sont souvent tenues pour acquises. De nombreuses personnes ne voient pas l'utilité des zones humides et des ressources halieutiques, alors qu'elles perçoivent

bien les bénéfiques quantifiables, telles la production agricole et l'énergie hydraulique, qui se dégageront des nouveaux travaux de développement. Il existe des exemples de la sous-évaluation de la pisciculture en eau douce au Cambodge, au Sri Lanka et au Bangladesh (FAO, 2002d). Un régime équilibré exige de compléter le riz avec des protéines animales, et la pisciculture en eau douce constitue l'une des sources de protéines les moins coûteuses et les plus facilement accessibles. Néanmoins les décisions de développement qui pèsent sur la gestion et l'utilisation des eaux intérieures sont souvent prises sans que les décideurs aient une connaissance très précise ni très complète de la contribution que peut apporter la pisciculture en eau douce au moyens d'existence des ruraux. L'une des leçons que l'on peut tirer de ces exemples de projets de modernisation est qu'un projet n'est pas nécessairement bon ni mauvais, mais qu'il faut parfaitement connaître les conditions et les cultures locales pour assurer la réussite de sa mise en oeuvre. L'objectif de la

modernisation des institutions d'irrigation n'est pas simplement d'améliorer la gestion de l'eau en agriculture, mais aussi de favoriser la gestion intégrée des ressources en eau (IWRM), qui tient compte de la viabilité sociale, économique et écologique de l'ensemble de la gestion des ressources en eau.

LE RÔLE DES TECHNOLOGIES BON MARCHÉ DANS LA MODERNISATION

L'introduction des technologies bon marché, qui pourraient faire partie de la modernisation des projets d'irrigation à petite échelle, constitue un autre exemple du fait que les conditions de la réussite sont propres à chaque site. Les pompes à pédales peu onéreuses ont été adoptées avec succès dans certains pays d'Asie méridionale pour prélever l'eau d'irrigation dans les nappes peu profondes. Ces pompes ont permis aux agriculteurs pauvres d'utiliser la main d'oeuvre dont ils disposaient chez eux et d'augmenter ainsi leur production vivrière et leurs revenus

Planche 15 Agriculteur utilisant une pompe manuelle pour prélever de l'eau dans un canal (Chine)



FAO/10790/F. BOTTIS

agricoles. L'agriculteur maîtrise entièrement la fréquence de pompage et la quantité d'eau pompée qui, compte tenu de l'effort à fournir, est utilisée avec modération. La superficie irriguée par une pompe à pédales, par exemple au Bengale occidental, en Inde, varie entre 0,033 et 0,13 ha. L'utilisation des pompes à pédales a également été lancée en Afrique, et en particulier dans les zones urbaines et périurbaines de Ndjamena, au Tchad. Dans cette ville, les producteurs de légumes ont rejeté l'utilisation de ces pompes en faveur de pompes mécaniques parce qu'ils ont les moyens de payer le combustible et les pièces de rechange. Par contre, dans les contrées plus éloignées de Sarh, toujours au Tchad, les agriculteurs se sont accommodés des pompes à pédales et en ont même demandé davantage (FAO, 2002d). Les pompes à pédales sont intrinsèquement des dispositifs faits pour les agriculteurs pauvres, car les plus riches ne pourraient persuader les membres de leur maisonnée de les utiliser. L'inconvénient des pompes à pédales est qu'elles

nécessitent une main d'oeuvre supplémentaire, qui n'est pas toujours disponible. Les femmes, en général, sont déjà débordées. Les enfants en bonne santé peuvent se charger du pompage, à condition que cela n'interfère pas avec leur assiduité à l'école. Il est par conséquent important d'évaluer les disponibilités en main d'oeuvre avant d'introduire les pompes à pédales (FAO, 2002d).

L'introduction de kits d'irrigation goutte à goutte familiale semble avoir donné de bons résultats. Ces kits permettent d'irriguer de petites parcelles de légumes et d'arbres fruitiers dans les zones périurbaines (proches des marchés). Au Kenya, le rendement d'un investissement d'environ 15 \$E.U. pour l'achat d'un kit d'irrigation goutte à goutte familiale est d'approximativement 20 \$E.U. par mois. Les agriculteurs kényens ont acheté plus de 10 000 kits, quoique certains de ces exploitants n'appartiennent pas aux classes très pauvres (FAO, 2002d).



chapitre

Conclusions et actions

Selon la FAO, un accroissement de la mise en valeur des eaux sera nécessaire pour satisfaire les besoins de 2 000 millions de personnes supplémentaires d'ici 2030. Si l'augmentation de la productivité de l'eau peut être maintenue, il sera possible de diminuer la pression sur les ressources et d'étendre les perspectives de transferts à d'autres utilisateurs. L'augmentation de la productivité de l'eau en agriculture a procédé d'investissements stratégiques dans la mise en valeur des eaux, mais aussi dans la recherche et le développement et dans la vulgarisation agricole. On constate à l'heure actuelle une tendance vers une diminution brutale de l'investissement dans ces activités. L'avenir de la gestion de l'eau en agriculture dépendra du maintien du niveau d'investissement dans les secteurs clés de la chaîne de la production, plutôt qu'exclusivement dans les infrastructures de maîtrise de l'eau. A cet égard, c'est la qualité de l'investissement, plutôt que sa quantité, qui sera cruciale.

Etant donné que la demande alimentaire n'est pas négociable, la seule perspective d'amélioration de la gestion globale de l'eau repose sur l'amélioration continue de la productivité de l'eau dans les systèmes agricoles en vigueur (pluviaux et irrigués). L'investissement devrait par conséquent se porter sur un train de mesures stratégiques associant: l'investissement dans la recherche pour mettre au point du matériel biologique

plus productif; l'amélioration des pratiques agricoles; le renforcement des capacités pour les agriculteurs et les utilisateurs; l'appui aux échanges agricoles pour améliorer la productivité mondiale; et, au besoin, la mise en valeur de nouvelles ressources.

Il n'est pas facile de prédire les besoins en eau d'une population stabilisée dont on estime qu'elle atteindra environ 8 000 millions d'habitants. Les quantités précises d'eau qui devront être disponibles à des endroits spécifiques pour permettre une production agricole durable ont leur propre variabilité spatiale et temporelle. Le problème est amplifié par les incertitudes qui demeurent concernant la quantité d'eau nécessaire pour maintenir l'intégrité écologique et pour permettre aux nappes phréatiques surexploitées de se reconstituer. Enfin, l'impact du changement climatique sur les disponibilités brutes en eau, ainsi que les besoins de l'agriculture, restent conjecturaux. Au vu de toutes ces inconnues, l'objectif d'assurer assez d'eau pour la production mondiale de ressources vivrières suffisantes représente un énorme défi, en particulier dans les régions et les pays où l'eau est déjà rare. Cette incertitude quant aux disponibilités en eau futures et la nécessité d'assurer la sécurité alimentaire contrarient les décisions à prendre concernant l'investissement pour la gestion de l'eau en agriculture. Les questions auxquelles il importe de répondre sont:

- Quelle capacité supplémentaire de stockage dans les retenues et les réservoirs est nécessaire?
- Comment les nations et les régions peuvent-elles veiller à l'utilisation durable des eaux souterraines pompées qui sont essentielles à la production agricole?
- Quel est le meilleur moyen d'utiliser les sources supplémentaires d'eau, telles que les eaux usées des collectivités et des industries, dans l'agriculture irriguée sans effets nocifs sur la santé humaine et l'hygiène de l'environnement?

Ce document a analysé le lien entre l'agriculture irriguée d'une part et l'atténuation de la pauvreté et le développement rural d'autre part. Les effets indirects de l'irrigation sur le développement rural ont été remarquables, en particulier par la création de possibilités d'emploi à l'extérieur des exploitations pour les personnes pauvres. Néanmoins, d'autres investissements, par exemple dans les routes et les marchés, pourraient souvent être plus directement profitables au développement rural. Ainsi les gouvernements et les organismes de financement chargés de décider des investissements qui auront un impact maximal sur l'atténuation de la pauvreté se retrouvent confrontés à des choix difficiles entre l'investissement direct dans l'infrastructure nécessaire à l'approvisionnement en l'eau de l'agriculture ou l'investissement précurseur dans la création de marchés et de moyens d'accès à ces marchés.

L'amélioration des infrastructures d'irrigation et de drainage à l'échelle du système et des mécanismes institutionnels et décisionnels permettant de gérer ces systèmes augmenteront

la productivité de l'eau et par conséquent la sécurité alimentaire. C'est toutefois de la gestion intégrée des cultures et des ressources que l'on doit attendre les plus grands bénéfices. Ceux-ci s'accroîtront lorsque les effets des trois composants que représentent l'amélioration des plantes, les progrès agronomiques et les changements dans l'exploitation et la gestion des installations d'irrigation se conjugueront pour mettre à profit les avantages potentiels des nouvelles cultures et variétés. Il y a peu d'exemples de collaboration réussie entre ces trois secteurs. La mise en oeuvre d'une telle coopération équivaldrait à une réelle réinvention de la gestion de l'eau en agriculture. Tout aussi importante, l'amélioration des pratiques agricoles à l'échelle des parcelles, telles que la culture sans travail du sol et les plates-bandes surélevées, aboutira également à une meilleure productivité de l'eau en agriculture. L'adoption et l'adaptation de ces techniques reste cependant marquée par une trop grande lenteur.

L'IWRM a été présentée comme le cadre permettant de planifier, d'organiser et de maîtriser les systèmes de distribution d'eau pour équilibrer les positions et objectifs de toutes les parties intéressées (Grigg, 1999). Cette définition se fonde sur deux aspects interdépendants, l'aspect social (équilibrer les positions et objectifs de toutes les parties intéressées) et l'aspect écologique (gérer les systèmes de distribution d'eau à utilisateurs multiples). L'eau avait naguère deux principales utilisations: les usages domestiques et la production d'aliments pour des populations croissantes. A l'heure actuelle, la concurrence sur l'eau fait que ces objectifs simples ne sont plus acceptables. Les défenseurs de l'IWRM pensent que l'évolution vers la viabilité du secteur de l'irrigation dépend des SI et de leur

bon fonctionnement. Il n'est toutefois pas facile de mettre en place ces SI. Il est indispensable, pour que leur création soit réussie, d'évaluer au préalable les ressources en eau, de répartir les droits sur l'eau entre les utilisateurs légitimes, et de désigner les institutions qui seront en charge de l'administration de ces droits. A cause des conflits d'intérêt entre les divers partenaires, il est difficile et coûteux de satisfaire à ces trois conditions préalables. En outre, tout porte à croire que le transfert de la gestion de l'irrigation risque d'aggraver la pauvreté rurale, à moins que l'on ne s'efforce d'envisager et de mettre en oeuvre ce processus dans un esprit favorable aux ruraux pauvres (van Koppen *et al.*, 2002).

En ce qui concerne les ressources, le problème crucial est la surexploitation des ressources en eaux de surface et souterraines, qui dans bien des cas semble non durable. Dans les discussions portant sur la gestion durable des ressources en eaux souterraines, certains sont d'avis que l'exploitation de ces ressources au-delà de leur niveau de reconstitution peut se justifier si elle se traduit par des initiatives de développement durable, par l'utilisation des revenus générés par les eaux souterraines pompées à des objectifs utiles. Il n'en demeure pas moins que les progrès des technologies permettant d'économiser l'eau, la valorisation de la gestion des terres et les autres actions bénéfiques à long terme servent aussi la cause de la viabilité (Kinzelbach et Kunstmann, 1998, Barker *et al.* 2003). Stratégiquement parlant, il est très difficile de décider du degré de dégradation écologique qui peut se justifier par l'augmentation de la sécurité alimentaire ou la réduction de la pauvreté. C'est une alternative qui n'est ni simple ni directe puisque l'atténuation de la pauvreté peut en fait enrayer la dégradation de l'environnement.

Il ressort de ces conclusions que si les gouvernements nationaux et les organismes de financement ne font pas plusieurs choix stratégiques concernant la gestion de l'eau en agriculture, le secteur agricole ne sera pas en mesure de maintenir les dispositions actuelles d'allocation de l'eau pour la production alimentaire primordiale issue de l'irrigation.

Les choix qui s'offrent aux gouvernements nationaux sont les suivants:

1. Accepter le fait qu'il n'y a pas de solution unique au maintien de la sécurité alimentaire dans un contexte de pénurie d'eau. Toutes les ressources en eau (eaux de pluie, eaux des canaux, eaux souterraines et eaux usées) sont importantes. Elles peuvent toutes être mises en valeur, si les dispositions nécessaires sont prises, et le renforcement des capacités de stockage et la reconstitution des ressources en eaux souterraines font partie des solutions à long terme.
2. Trouver les choix les mieux adaptés aux conditions particulières. Les terres de bonne et de mauvaise qualité peuvent être utilisées pour la production de cultures vivrières et d'autres denrées; l'association optimale de terres, de cultures et d'eaux est propre à chaque site mais ne doit pas négliger la productivité inhérente des écosystèmes naturels.
3. Réaliser que le lien entre l'agriculture irriguée et le développement rural n'est pas toujours évident; l'investissement dans des secteurs autres que l'irrigation peut mieux servir le développement rural.

4. Adopter des politiques et créer des institutions fondées sur les ressources naturelles qui encouragent l'intégration de la gestion des cultures et des ressources, en vue de définir le meilleur choix pour chaque site particulier.
5. Faciliter et appuyer activement le développement des variétés améliorées qui constitueront l'une des solutions aux futurs problèmes de sécurité alimentaire.
6. Soutenir activement l'application des prévisions climatiques saisonnières afin de déterminer la meilleure association de gestion des cultures et des ressources pour les conditions climatiques anticipées.
7. Faire de l'investissement dans la modernisation de l'irrigation un processus continu, tout en reconnaissant

les avantages comparatifs propres à chaque système. L'objectif de la modernisation devrait être de rendre les systèmes de distribution de l'eau et leur gestion suffisamment souples pour profiter au maximum des nouvelles technologies et variétés végétales.

Les choix qui s'offrent aux organismes donateurs pour investir stratégiquement dans l'agriculture sont les suivants:

1. Accepter que l'agriculture soit le secteur qui permette de réaliser un maximum d'économies en eau par l'augmentation de la productivité.
2. Relier les objectifs et financements mondiaux aux initiatives et besoins locaux. Le financement devrait correspondre aux paramètres physiques et socio-économiques particuliers.



Références

- Ali, A.L., van Leeuwen, H.M. & Koopmans, R.K.** 2001. Benefits of draining agricultural land in Egypt: results of five years' monitoring of drainage effects and impacts. *Wat. Res. Dev.*, 17: 633 – 646.
- Allan, J.A.** 1995. *Water and the Middle East peace process: negotiating water in the Jordan basin*. London, I.B. Taurus.
- Allan, J.A.** 1999. Water stress and global mitigation: water, food and trade. *ALN*, No. 45 Spring/Summer 1999 (available at <http://ag.arizona.edu/OALS/>).
- Barker, R., Dawe, D. & Inocencio, A.** 2003. Economics of water productivity in managing water for agriculture. In J.W. Kijne, D. Molden & R. Barker, eds. Forthcoming. *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series, No. 1. Wallingford, UK, CABI Publishing.
- Bastiaanssen, W.G.M., Mobin-ud-Din Ahmad & Zubair Tahir.** 2003. Upscaling water productivity in irrigated agriculture using remote sensing and GIS technologies. In J.W. Kijne, D. Molden & R. Barker, eds. Forthcoming. *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series, No. 1. Wallingford, UK, CABI Publishing.
- Bennett, J.** 2003. Status of breeding for tolerance of water deficit and prospects for using molecular techniques. In J.W. Kijne, D. Molden & R. Barker, eds. Forthcoming. *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series, No. 1. Wallingford, UK, CABI Publishing.
- Bhalla, G.S., Hazell, P. & Kerr, J.** 1999. *Prospects for India's cereal supply and demand to 2020*. 2020 Vision Discussion Paper 29. Washington, DC, IFPRI.
- Bouwer, H.** 2002. Integrated water management for the 21st century: problems and solutions. *J. Irr. Dra. Eng. ASCE*, 128: 193 – 202.
- Briscoe, J.** 2001. Two decades of change in a Bangladeshi village. *Econ. Pol. W.*, 36(40): 1 – 8.
- Brown, L.** 1995. *Who will feed China? Wake-up call for a small planet*. Norton.
- Burke, J.J. & Moench, M.H.** 2000. *Groundwater and society: resources, tensions and opportunities*. New York, United Nations Department of Economic and Social Affairs, and Institute of Social and Environmental Transition, United Nations publication.
- Burke, J.J.** 2002. **Implementation of national irrigation strategies: fuzzy vision, harsh realities and strange bedfellows.** (available at <http://Inweb18.worldbank.org/ESSD/essdex.t.nsf/18DocByUnid/8E30387F8BC5877985256BE900763C6C?Op=endocument>).
- Chaudhry, M.R. & Bhutta, M.N.** 2000. *Soil and water contaminants from agro-industrial chemicals in Pakistan*. Agroviron 2000: 2nd International Symposium on New Technologies for Environmental Monitoring and Agro-applications, Proceedings. Trakya University, Tekirdag, Turkey. pp 488 – 494.
- de Laulanié, H.** 1992. A technical presentation of the system of rice intensification based on Kayamaya's tillering method. (available at <http://ciifad.cornell.edu/sri/sripapers.html>).
- Deichert, G. & Saing Koma, Y.** 2002. Experiences with system of rice intensification (SRI) in Cambodia. (available at <http://www.wiz.uni-kassel.de/tropentag/program/>).
- Dixon, J., Gulliver, A. & Gibbon, D.** 2001. *Farming systems and poverty: improving farmers' livelihoods in a changing world*. Rome and Washington, DC, FAO and World Bank.
- Evans, L.T.** 1998. *Feeding the ten billion: plants and population growth*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.

- Facon, T. & Renault, D.** 1999. *Modernization of irrigation system operations*. Proceedings of the 5th ITIS network international meeting, Aurangabad, 28-30 October 1998. (available at <http://www.watercontrol.org/>).
- Fan, S., Hazell, P. & Thorat, S.** 1999. *Linkages between government spending, growth and poverty in rural India*. Research Report 10. Washington, DC, IFPRI.
- FAO.** 1997. *Modernization of irrigation schemes: past experiences and future options*. FAO Technical Paper No. 12. Rome.
- FAO.** 2001a. *The economics of conservation agriculture*. Land and Water Development Division. Rome.
- FAO.** 2001b. *Expert meeting proceedings of the first expert meeting on the documentation and measurement of the roles of agriculture in developing countries*. ROA Project Publication Nos. 1 and 2. Rome.
- FAO.** 2001c. *Reducing poverty, buffering economic shocks - agriculture and the non-tradable economy*, by J.W. Mellor. Expert meeting proceedings of the first expert meeting on the documentation and measurement of the roles of agriculture in developing countries, pp. 273 – 286. ROA Project Publication Nos. 1 and 2. Rome.
- FAO.** 2001d. *International e-mail conference on irrigation management transfer*. INPIM/FAO, FAO Land and Water Digital Media Series No. 17. Rome.
- FAO.** 2002a. *The state of food insecurity in the world 2002*. Rome.
- FAO.** 2002b. *Crops and drops: making the best use of water for agriculture*. Rome.
- FAO.** 2002c. *World agriculture: towards 2015/2030*. Rome.
- FAO.** 2002d. *Water source of food security*. E-mail conference organized by Land and Water Development Division, 13 September - 1 November 2002. Rome.
- FAO.** 2002e. *FAO/Government of Zambia irrigation policy review and strategy - 2002: Zambia's irrigation potential, economic growth and the poverty alleviation challenge, next steps*, by L. Mbumwae & P. Ridell. Rome.
- FAO.** 2003. *Rethinking the approach to groundwater and food security*. AGL Water Publication No. 24. Rome.
- Faurès, J-M., Hoogeveen, J. & Bruinsma, J.** 2002. *The FAO irrigated area forecast for 2030*. Rome.
- Gommes R.** 1999. *Agroclimatic concepts*. 16 p. <http://www.fao.org/sd/Eldirect/agroclim/concepts.htm>
- Grigg, N.S.** 1999. Integrated water resource management: Who should lead, who should pay? *J. Am. Wat. Res. Ass.*, 35: 527 – 534.
- Hansen, J.W.** 2002. Realizing the potential benefits of climate prediction to agriculture: issues, approaches, challenges. *Ag. Sys.*, 74: 309 – 330.
- Heilig, G.K., Fischer, G. & Velthuisen, H.** 2000. Can China feed itself? An analysis of China's food prospects with special reference to water resources. *Int. J. Sus. Dev. World Ecol.*, 7: 153 – 172.
- Ingram, K.T., Roncoli, M.C. & Kirshen, P.H.** 2002. Opportunities and constraints for farmers of west Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study. *Ag. Sys.* 74: 331 – 349
- IRRI.** 2002. *International Rice Congress Abstracts*. Beijing 16 – 20 September 2002. International Rice Research Institute, and Chinese Academy of Agricultural Sciences. Metro Manila, Philippines, and Beijing.
- IUCN.** 2000. *Vision for water and nature. A world strategy for conservation and sustainable management of water resources in the 21st century*. Gland, Switzerland, and Cambridge, UK. IUCN.
- Jones, W.I.** 1995. *The World Bank and irrigation. A World Bank Operational Evaluation Study*. Washington, DC.
- Keller, A. & Keller, J.** 1995. *Effective efficiency: a water use concept for allocating freshwater resources*. Water Resources and Irrigation Division Discussion Paper No. 22. Arlington, USA, Winrock International.
- Kijne, J.W., Molden, D. & Barker, R. eds.** 2003. *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series, No. 1. Wallingford, UK, CABI Publishing.
- Kijne, J.W., Prathapar, S.A., Wopereis, M.C.S. & Sahrawat, K.L.** 1988. *How to manage salinity in irrigated lands: a selective review with particular reference to irrigation in developing countries*. SWIM Paper No. 2. Colombo, IWMI.

- Kinzelbach, W. & Kunstmann, H.** 1998. *Sustainable management of groundwater resources*. Water - the key to socio-economic development and quality of life. Proceedings 8th Stockholm Water Symposium. Stockholm, Stockholm International Water Institute.
- Mellor, J.W.** 2001. Irrigation, agriculture and poverty reduction: general relationships and specific needs. In I. Hussain & E. Biltonen, eds. *Managing water for the poor: proceedings of the regional workshop on pro-poor intervention strategies in irrigated agriculture in Asia, Bangladesh, China, India, Indonesia, Pakistan and Vietnam*. Colombo, IWMI.
- Merrett, S.** 1997. *Introduction to the economics of water resources: an international perspective*. London, University College London Press.
- Moench, M.** 1994. Approaches to groundwater management: to control or enable. *Econ. Pol. W.*, September 24: A135 – A146.
- Moench, M.** 2002. Groundwater and poverty: exploring the links. In R. Llamas & E. Custodio, eds. *Intensive use of groundwater challenges and opportunities*. Abingdon, UK, Lisse, A.A. Balkema. 478 pp.
- Molden, D., Sakthivadivel, R. & Habib, Z.** 2001. *Basin-level use and productivity of water: examples from South Asia*. Research Report 49. IWMI, Colombo.
- Oki, T., Sato, M., Kawamura, A., Miyake, M., Kanae, S. & Musiake, K.** 2003. *Virtual water trade to Japan and in the world*. Proceedings of the expert meeting held 12 – 13 December 2002, Delft, The Netherlands. Editor Arjen Hoekstra, UNESCO-IHE.
- Oweis, T.** 1997. *Supplemental irrigation: a highly efficient water-use practice*. ICARDA. 16 pp.
- Oweis, T., Hachum, A. & Kijne, J.W.** 1999. *Water harvesting and supplementary irrigation for improved water use efficiency in dry areas*. SWIM paper 7. Colombo, IWMI.
- Perry, C.J.** 2001. Water at any price? Issues and options in charging for irrigation water. *Irr. Dra.*, 50: 1 – 7.
- Pretty, J.** 1999. *Can sustainable agriculture feed Africa? New evidence on progress, processes and impacts*. Paper presented at the conference on Sustainable Agriculture: New Paradigms and Old Practices? Bellagio Conference Center, Italy.
- Renault, D. & Wallender, W.W.** 2000. Nutritional water productivity and diets: from 'crop per drop' towards 'nutrition per drop'. *Ag. Wat. Man.*, 45: 275 – 296.
- Renault, D.** 2003. Value of virtual water in food: principles & virtues. Proceedings of the expert meeting held 12 – 13 December 2002, Delft, The Netherlands. Editor Arjen Hoekstra, UNESCO-IHE.
- Renault, D., Hemakumara, M.H. & Molden, D.W.** 2000. Importance of water consumption by perennial vegetation in irrigated areas of the humid tropics: evidence from Sri Lanka. *Ag. Wat. Man.*, 46(3): 201 – 213.
- Rockström, J., Barron, J. & Fox, P.** 2003. Water productivity in rainfed agriculture: challenges and opportunities for smallholder farmers in drought-prone tropical agro-ecosystems. In J.W. Kijne, D. Molden, & R. Barker, eds. Forthcoming. *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series, No. 1. Wallingford, UK, CABI Publishing.
- Rogers, P., de Silva, R. & Bhatia, R.** 2002. Water is an economic good: how to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. *Wa. Pol.*, 4: 1 – 17.
- Rosegrant, M.W., Cai, X. & Cline, S.A.** 2002. *Global water outlook to 2025: averting an impending crisis*. Food Policy Report 2020 Vision. Washington, DC, IFPRI.
- Rosegrant, M.W., Cai, X., Cline, S.A. & Nakagawa, N.** 2001. *The role of rainfed agriculture in the future of global food production*. Washington, DC, IFPRI.
- Roy, A.D. & Shah, T.** 2002. Socio-ecology of groundwater irrigation in India. In R. Llamas & E. Custodio, eds. *Intensive use of groundwater challenges and opportunities*, pp. 307 – 335. Abingdon, UK, Lisse, A.A. Balkema.
- Sarachik, E.S.** 1999. The application of climate information. *Consequences*, 5(2): 27 – 36
- Shah, T.** 1985. *Transforming groundwater markets into powerful instruments for small farmer development: lessons from the Punjab, Uttar Pradesh, and Gujarat* (mimeo). Anand, India, Institute of Rural Management.
- Shah, T., Molden, D., Sakthivadivel, R. & Seckler, D.** 2000. *The global groundwater situation: overview of opportunities and challenges*. Colombo, IWMI.

- Shiklomanov, I.** 2000. World water resources and water use: present assessment and outlook for 2025. In F. Rijsberman, ed. *World water scenarios: analysis*. The Hague, WWF2.
- Smedema, L.K.** 2000. *Irrigation-induced river salinization: five major irrigated basins in the arid zone*. Colombo, IWMI.
- Smil, V.** 1996. Is there enough Chinese food? Review of Lester Brown's book 'Who will feed China? Wake-up call for a small planet'. *N. Y. Rev.*, February 1.
- Tabor, J.A.** 1995. Improving crop yields in the Sahel by means of water-harvesting. *J. Arid Env.*, 30: 83 – 106.
- Taylor, J.G.** 2001. Participatory irrigation management: Issues from contemporary China. In: *Managing water for the poor: Proceedings of the regional workshop on pro-poor intervention strategies in irrigated agriculture in Asia, Bangladesh, China, India, Indonesia, Pakistan and Vietnam*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Thompson, R.L.** 2001. *The World Bank strategy to rural development with special reference to the role of irrigation and drainage*. Keynote address. 1st Asian Regional Conference and Workshop on the Occasion of 52nd IEC meeting of ICID, Seoul. New Delhi, ICID. pp. 2 – 17.
- Tuong, T.P.** 1999. Productive water use in rice production: opportunities and limitations. *J. Crop Prod.*, 2(2): 241 – 264.
- van Koppen, B., Pathasarathy, R. & Safiliou, C.** 2002. *Poverty dimensions of irrigation management transfer in large-scale canal irrigation in Andhra Pradesh and Gujarat, India*. Research Report 61. Colombo, IWMI.
- van Schilfgaarde, J.** 1990. Irrigated agriculture: is it sustainable? In: *Agricultural Salinity Assessment and Management*. (ed. K.K.Tanji). New York, USA: American Society of Civil Engineers, pp 584 – 594.
- Wolff, P.** 2001. Reuse of drain water in Egypt: status, limitations and challenges. *J. App. Irri. Sci.*, 36: 125 – 148.
- Zimmer, D. & Renault, D.** 2003. *Virtual water in food production and global trade: review of methodological issues and preliminary results*. Proceedings of the expert meeting held 12 – 13 December 2002, Delft, The Netherlands. Editor Arjen Hoekstra, UNESCO-IHE.

Déverrouiller le potentiel de l'eau en agriculture



Tous les renseignements statistiques confirment que l'agriculture est le secteur clé de la gestion de l'eau, pour le présent comme pour les décennies à venir. Pourtant, le secteur de la mise en valeur rurale des eaux se voit actuellement refuser un statut prioritaire dans les forums internationaux, par comparaison avec d'autres domaines concurrents. Des arguments nouveaux et puissants sont nécessaires pour remettre la mise en valeur rurale des eaux sur les rails.

Les perspectives pour l'avenir sont claires. L'agriculture va devoir faire face à l'évolution des besoins alimentaires et participer à la lutte contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté dans les communautés marginalisées. Pour ce faire, elle devra entrer en concurrence avec d'autres utilisateurs pour des ressources en eau peu abondantes, tout en limitant la pression qu'elle exerce sur l'environnement hydrique. Il va par conséquent falloir que les politiques et investissements agricoles deviennent beaucoup plus stratégiques, et déverrouillent le potentiel des pratiques de gestion de l'eau en agriculture pour augmenter la productivité, généraliser l'accès équitable à l'eau et préserver la productivité naturelle des ressources fondamentales en eau.

