Les Colloques de l'Académie d'Agriculture de France 2005 • Volume n° 1

LES COLLOQUES

de l'Académie d'Agriculture de France

IRRIGATION et DÉVELOPPEMENT DURABLE

Paris, 19 mai 2005

ISSN en cours de dépôt

Numéro 1 • 2005

Les colloques de l'Académie d'Agriculture de France

L'Académie a pour ambition d'articuler l'essor des sciences et des techniques avec le progrès économique et social, et de le faire aussi bien à la place qui lui revient qu'en partenariat avec d'autres acteurs publics ou privés. La priorité de notre Compagnie est d'assurer la publication rapide, mais validée, de résultats originaux obtenus notamment à la périphérie ou au croisement de disciplines bien établies. Dans le même temps, elle cherche à créer, autour de ces innovations, un large débat qui conduise à l'approbation ou à la remise en question de ces nouveaux acquis.

Les travaux que l'Académie poursuit, dans cet objectif, de sa propre initiative, font l'objet de séances publiques qui se tiennent le mercredi après midi, 18 rue de Bellechasse à Paris. Les ordres du jour sont disponibles sur son site Internet (http://www.academie-agriculture.fr). Sur ce dernier on trouve les résumés des communications présentées en séances, ainsi que des notes présentées par les chercheurs et publiées dans les trois mois. Tous les textes publiés sont soumis à un comité de lecture. L'Académie se réserve l'exclusivité des droits de reproduction des articles publiés sur son site Internet et dans ses comptes rendus.

L'abonnement au site permet de consulter le texte intégral de toutes les communications en séance, de toutes les notes de recherche, de conjoncture ainsi que les notes académiques et les textes des colloques. Des présentations et analyses d'ouvrages, ainsi que l'annonce de publication d'ouvrages et de thèses y sont aussi disponibles, ainsi que des liens Internet avec les principales organisations traitant de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement, tant françaises qu'étrangères.

Les travaux que nous conduisons de façon conjointe, en partenariat avec des institutions publiques ou privées font l'objet d'une nouvelle collection « Les Colloques de l'Académie ». Elle est disponible auprès du secrétariat de l'Académie.

Nous espérons que tous ceux qui sont intéressés par nos objectifs et nos propos feront assez bon accueil à nos publications pour nous confier leurs critiques, leurs suggestions et propositions de nouveaux sujets de débat.

Le rédacteur en chef
Guy PAILLOTIN
Secrétaire perpétuel de l'Académie

Avec la participation de

Dans la grande salle de l'Académie d'Agriculture de France
18, rue de Bellechasse, 75007 Paris

Responsable :

Pierre DUBREUIL

Membre de l'Académie

SOMMAIRE

pp. 3 Ouverture du Colloque par **Jean-Claude Mounolou,** Président de l'Académie d'Agriculture de France.

pp. 4 Introduction de **Benoît Lesaffre** et **Pierre Dubreuil.**

pp. 7 Coup d'œil sur la diversité des irrigations dans le monde, par **Pierre Dubreuil.**

CONDITIONS ÉCONOMIQUES ET POLITIQUES DE LA DURABILITÉ

pp. 13 Un point de vue d'économiste, par **Jean-Marc Boussard.**

pp. 23 Durabilité des systèmes d'irrigation-drainage. Cinq principes fondés sur l'expérience des institutions et systèmes tarifaires, par **Henri Tardieu.**

CONDITIONS TECHNIQUES DE LA DURABILITÉ

pp. 29 Gestion de l'eau dans les périmètres irrigués : maintien d'une production durable et réhabilitation des sols salés, par **Roland Poss** et **Mohamed Badraoui**.

pp. 33 Conséquences des barrages sur l'environnement, par **Christian Lévêque**.

pp. 45 Systèmes et stratégies d'irrigation pour une agriculture durable, par **Pierre Ruelle**, **J.C. Maihol** et **Bruno Molle**.

pp. 61 Recyclage des eaux usées à des fins d'irrigation, par **Jean-Sébastien Thomas**.

CONDITIONS SOCIALES DE DURABILITÉ

pp. 63 Implications sanitaires majeures d'aménagements hydro-agricoles en zone tropicale, par **Vincent Robert**.

pp. 65 Participation des usagers à la gestion des irrigations, par **Jean-Yves Jamin.**

pp. 85 Discussion

pp. 93 Conclusions, par **Alain Perrier**.

ACADÉMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE

COLLOQUE « IRRIGATION ET DÉVELOPPEMENT DURABLE »

19 mai 2005

OUVERTURE

par Jean-Claude **Mounolou** [1]

Mesdames, Messieurs, chers confrères,

Votre présence à ce colloque « Irrigation et développement durable » témoigne de votre préoccupation et de votre intérêt pour le problème que posent au monde entier les usages collectifs des ressources en eau ainsi que les graves pénuries chroniques dont souffrent certains pays parmi les plus démunis. Les perspectives démographiques mondiales comme les nécessités sociologiques et économiques de développement attendues par tous imposent de maîtriser la croissance des consommations faites en agriculture par irrigation pour accommoder une croissance relativement plus forte des autres usages dans la limite des ressources économiques accessibles.

Dans le réseau complexe des questions multiples, des échelles différentes, et des intérêts économiques ou politiques contradictoires, vous saurez porter une attention particulière aux demandes de chacun (c'est une question d'équité) et aux décisions d'autorité en matière de contrôles et de normes (c'est une question de bon sens). Vous dégagerez, j'en suis certain, des options de gestion et des espaces de liberté qui permettront dans le futur d'adapter usages de l'eau et développements durables en temps réel et selon les circonstances. L'enjeu est trop critique pour laisser des dogmes étouffer les réflexions et les initiatives originales de demain.

L'Académie félicite son « Groupe Eau » d'avoir initié et préparé ce colloque. L'Académie remercie MM. **Dubreuil** et **Lesaffre** d'en assumer la responsabilité. Je souhaite à ce colloque un plein succès.

1. Président de l'Académie d'Agriculture de France.

ACADÉMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE

COLLOQUE
« IRRIGATION ET DÉVELOPPEMENT DURABLE »

19 mai 2005

INTRODUCTION

par Benoît **Lesaffre** [1] et Pierre **Dubreuil** [2]

En ce début de XXIe siècle et dans le prolongement de la seconde moitié du siècle précédent les besoins en eau augmentent régulièrement et à un taux élevé. Cette augmentation est le fruit combiné des accroissements de la population, de son urbanisation et de son niveau de vie. La

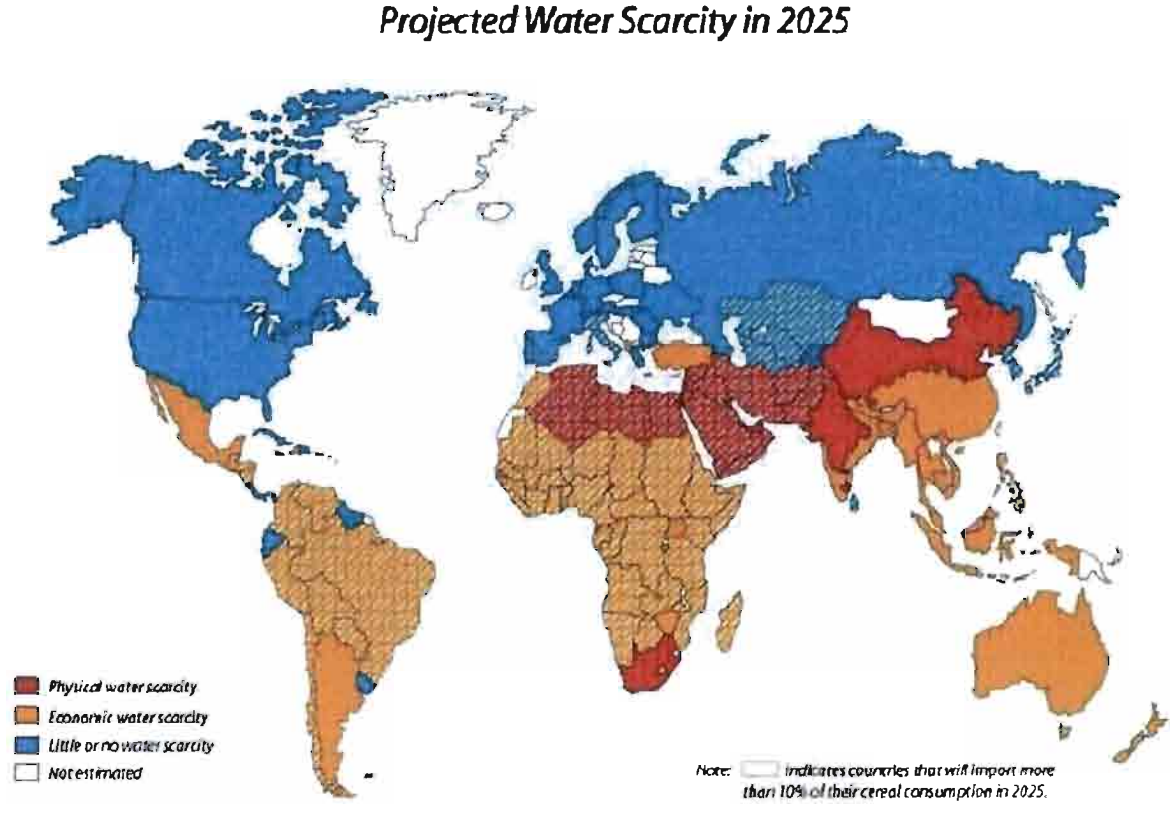

Figure 1. – Les pénuries d'eau en 2025.

1. Membre de l'Académie d'Agriculture de France, directeur général du CIRAD, 42, rue Scheffer 75116 Paris.
2. Membre de l'Académie d'Agriculture de France, directeur de recherches honoraire de l'IRD – Institut de recherches pour le développement (ex-ORSTOM).

Les Colloques de l'Académie d'Agriculture de France, 2005, 91, n° 1. Colloque du 19 mai 2005.

demande en eau croissante porte surtout sur l'alimentation en eau potable, la fourniture aux industries, services et loisirs. Elle va s'exercer aux dépens de la consommation de l'agriculture, c'est-à-dire essentiellement de l'irrigation qui, à l'échelle mondiale, représente de nos jours environ 70 % de l'ensemble des prélèvements, parce que les ressources en eau disponibles sur le globe sont limitées (par exemple beaucoup de nappes souterraines sont déjà surexploitées). Des conflits d'usage entre ces divers postes de demande sont déjà patents dans les pays en déficit chronique.

Les pays en développement sont et seront les plus affectés par ces carences et ces conflits. Les études menées par diverses institutions, le Conseil Mondial de l'Eau, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, la FAO (*Food and Agriculture Organisation*), l'IWMI (*International Water Management Institute*) et l'IFPRI (*International Food Policy Research Institute*) concluent toutes à une pénurie chronique d'eau dans une trentaine de pays. Les pays les plus touchés sont situés en Afrique du Nord, en Afrique sub-saharienne, au Moyen Orient, mais sont également concernés la Chine, l'Inde, le Sud-Ouest des États-Unis et l'Australie (figure 1). La pénurie d'eau sera provoquée autant par le manque de ressources que par les conditions économiques qui rendent l'accès à l'eau difficile. En l'absence de changements radicaux des politiques et pratiques, dans dix ans, ce seront 2,5 milliards de personnes qui manqueront d'eau et seulement 50 pays seront autosuffisants.

Constatons également (figure 2) que le changement climatique prévu renforcera la pression sur la ressource dans les régions déjà les plus déficitaires en eau.

Une gestion intégrée et durable des ressources en eau s'impose pour que ces carences et ces conflits ne dégénèrent pas en catastrophes sociales et écologiques. L'irrigation va-t-elle devoir réduire sa consommation, est-elle encore justifiée pour alimenter les humains, est-elle utilisée dans des systèmes de production durable ? Autant de questions qu'il faut se poser, que le groupe Eau de notre Compagnie a envisagé d'aborder au cours de ce colloque et auxquelles il tentera d'apporter des réponses à son issue en termes de durabilité pour ce siècle.

Afin d'alimenter la population mondiale à un niveau satisfaisant il faudrait, dit-on depuis bientôt dix ans, une double révolution verte : il s'agit d'aller au-delà des acquis de la première révolution (intensification par emploi d'intrants, irrigation et amélioration variétale) et de corriger les impacts

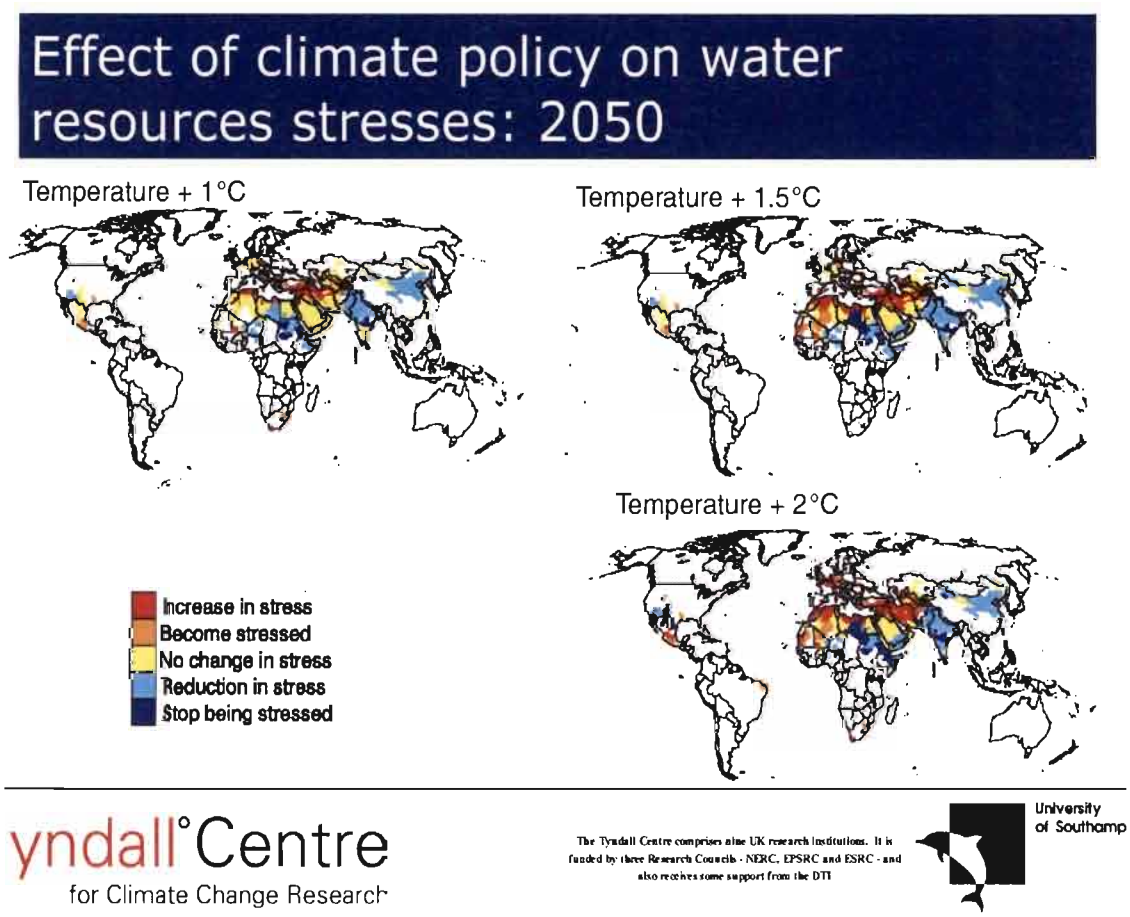

Figure 2. – Les effets calculés du changement climatique sur les pénuries en eau en 2050.

environnementaux induits dont plusieurs sont déjà effectifs en de nombreux systèmes irrigués. Le défi est gigantesque puisque requérant plus d'un triplement de la production et de la productivité agricoles au cours de ce siècle. L'irrigation reste à l'évidence indispensable. Elle représente déjà aujourd'hui 280 millions d'hectares, soit 17 % des surfaces cultivées et elle fournit près de 40 % de la nourriture des hommes. Elle continue à croître et surtout dans les pays en développement (85 % des surfaces irriguées mondiales de nos jours) ; 80 % des besoins alimentaires des 3 nouveaux milliards d'habitants d'ici 2025 viendront de ces cultures irriguées, dont la réactivité est et sera encore plus rapide que celle des systèmes agraires pluviaux.

Malgré ce rôle bénéfique, l'irrigation n'est pas exempte de reproches et de déboires en termes de durabilité : les pertes et gaspillages d'eau représentent en moyenne 60 % des apports, de mauvaises pratiques de son usage sur des sols fragiles ont entraîné une salinisation dégradante des sols (sur environ 100 Mha à l'échelle mondiale et sur 17 % de la SAU irriguée en PVD au cours des 50 dernières années), des maladies parasitaires liées à l'eau se sont développées dans les populations d'usagers. En outre la viabilité économique de l'irrigation est souvent mise en doute si l'on prend en compte le coût des investissements nécessaires et, en l'absence de subvention, il y a controverse sur le prix demandé aux irrigants. Qui plus est l'insuffisance chronique de débit des rivières en période d'étiage, qui est aussi généralement celle de la plus forte demande pour l'irrigation, porte préjudice à l'équilibre des écosystèmes aquatiques et à la ressource piscicole des cours d'eau. Ce constat n'est pas nouveau. Les conférences internationales depuis Dublin en 1992 jusqu'à Johannesburg en 2002, en passant par Rio en 1993, l'avaient déjà dressé. La mise en œuvre de leurs recommandations est commencée certes, mais à un rythme insuffisant. Il faudrait aller plus vite et plus loin. La nécessité d'un développement durable oblige à regarder l'irrigation dans son ensemble afin d'analyser ses tendances actuelles, son évolution prévisible à court et moyen termes, les conditions d'amélioration de l'efficience de l'eau qu'elle emploie, les corrections des pratiques culturales, les techniques de réhabilitation possibles, les conditions de sa durabilité en termes économiques, l'introduction de mesures de protection sanitaire, etc. Les conflits d'usage exacerbés ne pourront eux aussi se résoudre que par l'introduction de nouvelles politiques d'usage de l'eau, plus équitables, à travers une nouvelle gouvernance décentralisée impliquant les collectifs d'usagers et s'appuyant sur une véritable gestion intégrée des eaux à l'échelle des bassins versants. Ce volet social et politique de la durabilité constitue certainement le point d'orgue de l'adaptation nécessaire des irrigations pour satisfaire les espoirs qui sont mis en elles pour nourrir les hommes, sans mécontenter les autres usagers, qui sont souvent les mêmes.

Ce colloque est organisé autour de neuf communications dont huit sont réparties en trois des principaux volets de la durabilité :

a) le volet économique et politique avec deux exposés celui de **Jean-Marc Boussard**, membre de notre Compagnie, sur les politiques d'aide et d'incitations économiques et celui de **Henri Tardieu**, directeur général de la Compagnie des Coteaux de Gascogne et président de l'Association française des irrigations et du drainage, sur les systèmes de tarification de l'eau ;

b) le volet technique avec quatre exposés d'abord de **Roland Poss** de l'IRD, **Mohamed Badraoui** de l'IAV (Maroc) et leurs collègues sur la gestion et la réhabilitation des sols irrigués, puis celui de **Christian Levêque**, membre de notre Compagnie, sur les conséquences écologiques de l'usage des réservoirs, ensuite celui de **Pierre Ruelle** et ses collègues du Cemagref sur les techniques économes d'eau et enfin celui de **Jean-Sébastien Thomas** et d'**Emmanuel Soyeux** de Veolia Environnement sur le recyclage des eaux usées pour l'irrigation ;

c) le volet social avec deux exposés d'abord celui de **Vincent Robert** de l'IRD sur la protection du niveau sanitaire des populations, puis celui de **Jean-Yves Jamin** et ses collègues du Cirad sur la participation des usagers à la gestion des systèmes irrigués.

Ces communications ainsi groupées feront l'objet de discussions à l'issue de la présentation de chaque volet. Elles seront précédées d'une communication plus générale sur l'état et la diversité des irrigations dans le monde, présentée par **Pierre Dubreuil**.

Une discussion finale devrait nous permettre d'aborder l'ensemble des volets de ce colloque dans un esprit systémique, celui du concept du développement durable. Elle précèdera les conclusions et recommandations, proposées par notre confrère **Alain Perrier**.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) SECKLER D., AMARASINGHE U., MOLDEN D., DE SILVA R., BARKER R. 1998. - World water demand and supply, 1990 to 2025: scenarios and issues. IWMI research report n° **19**.

(2) ARNELL N. W., 2005. - Climate change and water resources: a global perspective. Conférence internationale « Avoiding dangerous climate change ». Février 2005, Exeter, Royaume-Uni.

COUP D'ŒIL SUR LA DIVERSITÉ DES IRRIGATIONS DANS LE MONDE

par Pierre **Dubreuil** [1]

RÉSUMÉ

On tente de donner un aperçu de la diversité des irrigations et de leur place dans le monde, en se plaçant dans une optique de développement durable.

L'analyse est conduite suivant quatre approches :
- l'évolution des surfaces irriguées et leur répartition géographique,
- la part des cultures irriguées dans la production agricole globale,
- la compétition sur la ressource en eau entre irrigation et autres usagers,
- les difficultés d'une gestion durable des périmètres irrigués.

La diversité des irrigations est très grande selon les pays, leurs climats et leurs ressources en eau, les densités démographiques et les niveaux de vie des populations, les techniques employées, les choix économiques effectués et l'implication des collectivités paysannes dans la gestion.

Les surfaces irriguées vont globalement continuer à croître face à la demande de biens alimentaires, mais la compétition sur la ressource en eau limitée et souvent insuffisante en de nombreux pays va obliger les gestionnaires des terres cultivées par irrigation à adopter les bonnes techniques afin de limiter les pertes et gaspillages d'eau, de réhabiliter les sols dégradés et d'éviter d'en dégrader d'autres, de tenir compte des situations économiques et sociales locales.

Ces moyens existent déjà mais la généralisation de leur usage devrait être accélérée pour éviter toutes sortes de conflits.

SUMMARY

In the framework of the sustainable development this paper tries to give an outline of the diversity of irrigation around the world. Four topics are successively considered:
- *geographical distribution and evolution of the irrigated areas,*
- *part of irrigated crop production in the global agricultural production,*
- *competition between irrigation and others water users,*
- *difficulty to get a sustainable management of irrigated land.*

Irrigation diversity is very large at the country level, depending of geographical location, climate and water ressources, demographical densities, population incomes, technologies, economical policies and how farmers are involved into irrigation management.

At the global level, irrigated areas will continue to increase during the next decades to cope with food demand. But in many countries competition to use scarce water ressources will oblige irrigated land managers to adopt good practices in order to reduce water gaps, to rehabilitate degraded soils and avoid to degrade other ones, to consider economical situation of local rural societies.

In general terms, theses good practices and technological tools do exist but a more extended use has to be strongly promoted to avoid water conflicts.

Quelques éléments chiffrés ont été donnés dans l'introduction à ce Colloque sur la situation présente des irrigations dans le monde, sur son évolution, sur la dégradation des sols irrigués ainsi que sur la plus ou moins grande durabilité actuelle des systèmes irrigués. Sans pouvoir être exhaustif

1. Membre de l'Académie d'Agriculture de France, directeur de recherches honoraire de l'IRD - Institut de recherches pour le développement (ex-ORSTOM).

Les Colloques de l'Académie d'Agriculture de France, 2005, n° 1. Colloque du 19 mai 2005.

en cette vaste matière, nous allons essayer en quelques minutes d'éclairer cette situation et ses perspectives d'avenir en considérant successivement l'évolution tendancielle des surfaces cultivées par irrigation, leur répartition géographique, les techniques et les méthodes de gestion employées, le rôle des cultures irriguées dans la fourniture de biens alimentaires. Nous verrons également les contraintes que rencontrent de nos jours les systèmes irrigués concurrencés par les autres demandes d'eau, les difficultés de leur durabilité face aux dégradations subies par les sols et les problèmes sociaux et économiques de leur gestion.

Même si l'usage de techniques manuelles d'irrigation remonte à l'antiquité dans de nombreuses régions arides et semi-arides en particulier, et si ces techniques ont été souvent améliorées au fil du temps, l'essor de l'irrigation doit beaucoup aux conséquences de la révolution industrielle du XIXe siècle en matière d'ouvrages hydrauliques.

1. Les surfaces cultivées par irrigation

Les surfaces irriguées cultivées se sont très développées au XXe siècle là où il y avait une ressource en eau facilement accessible et une forte demande alimentaire. Au cours des dernières décennies de ce siècle la croissance des surfaces cultivées irriguées a continué à augmenter à un rythme moyen d'environ 2 à 3 % par an ; elles sont ainsi passées de 90 à 280 Mha entre 1950 et 1990 (1) soit à l'échelle mondiale seulement 6 % de la surface agricole utilisée (2, 10). Bien que l'on trouve des irrigations significatives sur tous les continents, la majeure partie des aires ainsi cultivées correspond à l'Asie du sud et du sud-est et aux régions riveraines de la Méditerranée : la Chine et l'Inde ont chacune plus de 50 Mha et trente quatre pays dépassent 1 Mha. On trouve d'ailleurs parmi ces derniers des pays peu arides comme l'Indonésie, la Corée du sud, et le Japon dans lequel les aires irriguées dépassent 50 % de la SAU.

La France n'est pas en reste dans cette tendance de croissance puisque les surfaces irriguées y ont doublé entre 1970 et 1988 (1), puis ont encore augmenté de 40 % au cours des 5 années suivantes pour atteindre 1,6 Mha en 1992.

Le poids des pays en voie de développement (PVD) est et restera prépondérant. Les irrigations y représentent déjà 20 % de la SAU et totalisent 85 % des surfaces mondiales. Au Maroc par exemple, les irrigations ont été en surface multipliées par huit en quarante ans et occupent aujourd'hui 13 % de la SAU. C'est aussi dans ces PVD que la croissance des irrigations sera la plus soutenue dans les prochaines années (3).

2. La production agricole due à l'irrigation

Une forte pression démographique et la nécessité d'une sécurité alimentaire dans un pays producteur ont conjointement amené les sols cultivés par irrigation à fournir aux consommateurs d'un tel pays une grande part de leurs besoins. La part de ces sols dans la production agricole globale est de l'ordre du tiers, mais elle atteint environ 55 % si l'on considère seulement les produits alimentaires de base (blé et riz en particulier). Cette dernière contribution est encore supérieure dans les PVD. Un milliard et demi d'Asiatiques dépendent de l'irrigation pour leur nourriture : 75 % du riz produit dans le monde l'est en Asie sur quelques 80 Mha et c'est le fait de 200 millions de petits producteurs réalisant déjà deux ou trois récoltes par an (3). Seules les cultures irriguées pourraient permettre d'alimenter à 80 % le surplus de 3 milliards d'habitants attendus sur la planète d'ici 2025 (2).

Une part très majoritaire des cultures irriguées (80 % dans le monde, 12 % en France) est le fait de systèmes d'irrigation par voie superficielle gravitaire alimentés par des canaux et rigoles de surface. Cela correspond principalement aux cultures céréalières déjà évoquées, blé et riz, en particulier dans les PVD.

Les systèmes plus développés sur le plan technologique qu'il s'agisse de l'aspersion sous ses diverses formes (80 % en France) ou de l'alimentation localisée (8 % en France) de la micro-irrigation ne sont généralement employés que pour des cultures à fort revenu comme les arbres fruitiers ou les productions maraîchères et florales. La surface qu'occupent ces systèmes reste très minoritaire. Et leur consommation en eau l'est aussi, car ils en consomment nettement moins que les systèmes gravitaires.

La croissance des surfaces irriguées devrait se poursuivre au cours des prochaines décennies à des rythmes fonction des conditions locales afin de répondre aux demandes en biens alimentaires.

Les projections que font divers auteurs dans les institutions internationales comme la FAO, le Conseil mondial de l'eau et l'Institut international de gestion de l'eau IWMI (11, 12) sur la période 1990-2025 aboutissent aux quelques estimations suivantes :

- la population mondiale va croître de quelques 30 % et la demande en eau d'irrigation d'au moins 25 % si rien ne change en ce qui concerne l'efficience d'usage de l'eau,
- une tendance à une amélioration de cette efficience est déjà notée depuis 1990 et laisse penser que la croissance de la consommation d'eau pour l'irrigation si elle va bien continuer à croître globalement va cependant décliner si l'on considère celle-ci par tête d'habitant.

3. La compétition sur la ressource en eau.

Il est admis qu'à l'échelle mondiale les prélèvements d'eau à des fins d'irrigation représentent de l'ordre de 65 à 70 % de l'eau utilisée, et que la consommation correspondante par les cultures n'est que de 80 %. Cette part prélevée est aujourd'hui jugée trop importante en particulier lorsque le développement industriel et l'accroissement du niveau de vie entretiennent une demande croissante en eau pour les usages non-agricoles ou lorsqu'il y a un manque patent de ressource disponible. Les conflits sur l'accès à l'eau et sur son usage sont déjà très nombreux en beaucoup de pays et ne cessent de croître en importance et en acuité. On parle de guerres de l'eau dans certaines régions du globe même si l'expression est peut-être parfois exagérée. Ces contraintes et conflits affectent surtout les PVD, où d'ailleurs actuellement la consommation en eau par habitant pour tous usages est 8 à 10 fois inférieure à celle des États-Unis et de l'Australie par exemple, qui sont les plus gros consommateurs.

En elle-même la ressource en eau par habitant est largement suffisante en moyenne à l'échelle mondiale (près de 7 500 m³/hab./an en 1990 et seulement 5 100 en 2025) mais elle est très irrégulièrement répartie (9 pays détiennent à eux seuls 60 % de l'eau mobilisable) et elle devient vite insuffisante en de nombreuses régions. La disparité régionale est considérable : ainsi déjà plusieurs pays du Maghreb, du Proche-Orient et de l'Afrique sahélienne ne disposent pas de plus de 1 000 m³/hab./an, valeur admise comme limite de ce qui est considéré comme la pénurie. Les prévisions relatives à la croissance démographique conduisent à estimer que vers 2025 une telle pénurie touchera environ 3 milliards d'habitants dans 50 pays (5, 12).

Les systèmes d'irrigation traditionnels sont souvent peu économes en eau. Ce manque d'économie, ou gaspillage, concerne d'abord les pertes en eau qui se manifestent dans les réservoirs d'amont (environ 50 % des 45 000 ouvrages dans le monde sont utilisés en totalité ou en partie pour irriguer) où l'évaporation consomme près de 200 km³/an d'eau, puis dans les canaux d'amenée. Elles peuvent atteindre couramment 50 % du volume prélevé. Au niveau de l'efficience de l'eau entre l'arrivée en tête de périmètre irrigable et la distribution au champ, surviennent d'autres pertes ou gaspillages, qui conduisent à limiter cette efficience à des valeurs moyennes de, par exemple, 85 % au Maroc ou seulement 25 % au Pakistan. En Chine, il faut encore 3 à 5 m³ d'eau pour produire un kilo de paddy, alors que la ressource disponible par habitant va encore diminuer de 40 % d'ici 2025 (4). Dans un certain nombre de situations cependant ces pertes en eau sont, à l'échelle du bassin versant, réutilisées pour d'autres usages humains ou environnementaux.

Lutter contre ces gaspillages constitue le premier acte effectif pour atténuer la pénurie globale vis-à-vis de la ressource disponible ; cela permettrait également de faciliter la répartition de cette ressource entre les divers demandeurs, tous plus ou moins ligués contre les irrigants. *Une efficience accrue de l'usage de l'eau pour irriguer est un impératif dès maintenant.*

La disparité face à la ressource en eau est considérable non seulement d'un pays à un autre mais bien souvent d'une région à l'autre. La croissance démographique et celle du niveau de vie offrent aussi de fortes disparités qui, comme la première, se répercutent au niveau de l'évolution vraisemblable des systèmes irrigués. Quelques exemples peuvent illustrer cette évolution (12) :

- régions arides à l'irrigation ancienne, traditionnelle, déjà contraintes d'économiser l'eau, Afrique du nord et Proche-Orient vont devoir partager l'eau utilisée de nos jours pour l'irrigation avec les autres usages, à moins qu'elles ne trouvent des ressources additionnelles dans le dessalement de l'eau de mer ou dans l'exploitation non durable de ressources souterraines fossiles ;
- au sud du Sahara, l'Afrique dans laquelle l'irrigation reste encore peu développée – hormis l'Office du Niger (13) – pour affronter sa formidable expansion démographique devrait doubler sa consommation d'eau pour l'irrigation ;
- dans les autres PVD, moins restreints en ressources, l'augmentation de l'eau pour irriguer ne devrait pas dépasser 50 % des niveaux actuels ;

- les autres pays plutôt développés quant à l'irrigation et qui comprennent près du tiers de la population mondiale ne verraient pas la part de l'eau consommée pour cette irrigation varier beaucoup.

4. Une gestion pas toujours durable des périmètres

Beaucoup de périmètres irrigués traditionnels ne disposent pas de dispositif opérationnel de drainage, qu'il ait été omis lors des travaux d'aménagement ou mal entretenu. L'absence de drainage effectif et des procédures inappropriées de distribution de l'eau au champ (mauvaise répartition des doses ou excès d'apport) conduisent souvent à des engorgements des sols ou à des salinisations dont certaines rendent, ou ont rendu les mêmes sols inaptes à la culture. Une pollution de ces sols par des résidus de fertilisants ou de produits phytosanitaires peut aussi s'observer dans les situations évoquées de conduite non optimale de l'apport d'eau aux cultures et de pratiques culturales non raisonnables. La dégradation des sols irrigués par excès de sels a été estimée à 17 % de la SAU irriguée dans les PVD entre 1945 et 1990 (2). Toutes ces atteintes aux sols irrigués entraînent évidemment la plupart du temps des dégradations plus en aval et au delà des seuls périmètres irrigués. Ces impacts négatifs sur l'environnement sont dénoncés dans les pays développés ; ils sont peut-être encore plus importants dans les PVD.

Gaspillage d'eau et excès d'eau distribuée au champ peuvent être aussi la résultante d'une mauvaise maintenance des structures et ouvrages et d'un prix de cession de l'eau trop faible au producteur. Cette question du juste prix de l'eau longtemps débattue reste un point crucial pour une évolution durable des systèmes irrigués. Ainsi lors de la révolution verte en Inde, à coté de l'introduction de variétés à haut rendement adaptées aux conditions climatiques locales qui fut très bénéfique pour l'augmentation des rendements, l'aide apportée aux agriculteurs à travers une subvention du prix de l'énergie a entraîné un pompage exagéré dans les nappes, avec en conséquence un excès d'eau, un engorgement des sols et une baisse de la ressource renouvelable.

L'absence d'un prix adéquat de l'eau distribuée pour générer les ressources nécessaires à une bonne maintenance des équipements, est très souvent à déplorer. Même en France où près de 20 % des surfaces irriguées le sont à travers des Associations syndicales autorisées dont les règles de gestion définies par la puissance publique mêlent judicieusement autonomie et contrôle externe, la tendance a été de ne pas provisionner suffisamment pour la maintenance des équipements ce qui fragilise d'autant la pérennité donc la durabilité de systèmes ainsi gérés (6). Mais cependant déjà des méthodes de tarification plus rationnelles ont été instaurées avec succès dans les systèmes collectifs tels que celui du Canal de Provence ou celui des Coteaux de Gascogne (7, 8) en appliquant un strict contrôle des quantités demandées et prélevées pour l'établissement du prix à payer par l'exploitant.

La situation est souvent pire dans de nombreux périmètres des PVD. Sans soutien des Etats et l'aide internationale, la durabilité de tels périmètres ne peut être bien souvent assurée. Bien souvent également le coût réel de distribution de l'eau aux périmètres excède les moyens des irrigants et le prix effectif de l'eau (quand il n'est pas nul) ne permet évidemment pas de le couvrir. Dans certains de ces pays pratiquant des productions exportables le coût de l'eau à la charge de l'exploitant est minimisé afin de faciliter l'exportation de sa production et l'amélioration de son revenu. Ces pratiques introduisent des distorsions certaines entre pays. On évoque ici le concept de l'eau virtuelle (exportation d'eau par le biais de la quantité qu'a nécessité la production exportée) qui pourrait cependant en quelque sorte atténuer les disparités régionales en ce qui concerne la pénurie d'eau (11).

Des corrections ont déjà été introduites afin de tenter de remédier à toutes ces mauvaises pratiques :

- la mise en œuvre de pratiques optimales de la distribution de l'eau au champ pour limiter les gaspillages, les pertes et leurs conséquences, par exemple à travers des opérations pilotes similaires de celles d'Irrimieux en France (8) induisant une moindre consommation d'eau, une réduction des entraînements de pesticides et de résidus d'engrais ;
- la réduction des conflits entre usagers de l'eau par une participation de toutes les collectivités à la gestion de la ressource en eau limitée, base d'une nouvelle gouvernance des systèmes irrigués restés souvent sous contrôle direct des pouvoirs publics (9), mais ce désengagement du pouvoir public doit être accompagné des mesures adéquates à l'émergence de collectivités gestionnaires et d'opérateurs civils de l'approvisionnement d'amont et de la commercialisation d'aval pour qu'elle puisse être efficace, de même qu'il est impératif de raisonner la gestion de l'eau à l'échelle effective des bassins versants (12) ;

– l'utilisation accrue de modèles d'aide à la décision et au pilotage de systèmes irrigués afin d'optimiser la gestion de ces systèmes tant sur le plan technique (bonnes pratiques de distribution de l'eau) qu'économique (juste prix de l'eau) que social (concertation entre acteurs), etc.

CONCLUSION

La diversité des irrigations dans le monde est manifeste. Les pratiques ancestrales, les structures sociales, les conditions économiques et les capacités techniques ont au fil du temps déterminé cette diversité. C'est une richesse en soi, mais certains de ces systèmes laissent apparaîtrent des déficiences sur un secteur ou un autre, déficiences susceptibles de les fragiliser et de ne pas leur permettre de durer. Certains autres ont été dégradés au delà d'un seuil rendant nécessaires de coûteuses opérations de réhabilitation.

Les irrigations restent encore pour longtemps nécessaires à l'alimentation d'une population croissante en quantité et en demande d'un niveau de vie meilleur. Elles sont aussi en concurrence, parfois exacerbée, avec les autres demandeurs d'eau de la société. Des réformes s'imposent pour maintenir leur rentabilité et leur durabilité. Dans tous les domaines des nouvelles procédures, de nouvelles méthodes de gouvernance sont testées et mises en oeuvre souvent avec succès. Leur généralisation s'impose à l'évidence souvent avec urgence. Nombreux sont déjà les forums internationaux qui ont attiré l'attention sur cette urgence. Nombreuses sont les organisations internationales, de recherche et développement ou financières, qui ont élaboré des plans ou offert leurs services. Les besoins financiers sont considérables. Une réelle accélération de l'adoption de ces solutions de durabilité est-elle envisageable ?

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) LESAFFRE B. et RIEUL L. 1992. – L'irrigation : situation actuelle et perspectives. Comptes-rendus de l'Académie d'Agriculture de France, **78**, n° 6.
(2) VERDIER J. 1995. – L'avenir de l'irrigation dans le monde. Comptes-rendus de l'Académie d'Agriculture de France, **81**, n° 7.
(3) DIOUF J. 2003. – Article dans le journal « Le Monde » du 18 mars.
(4) TRÉBUIL G. 2004. – « Intensification durable de la production agricole dans les zones à forte densité de population et à productivité élevée d'Asie » in « Colloque Académie d'Agriculture de France – Cirad, Paris, 13 octobre 2004 » à paraître.
(5) ARRUS R. 1997. – Prospective des modes d'usages de l'eau au XXIe siècle : la référence méditerranéenne. Comptes-rendus de l'Académie d'Agriculture de France, **83**, n° 4.
(6) GARIN P. et LOUBIER S. 2002. – Durabilité et fragilité des associations syndicales autorisées d'irrigation en France. Comptes-rendus de l'Académie d'Agriculture de France, vol **88**, n° 3.
(7) JEAN M. 1997. – Le prix de l'eau. Comptes-rendus de l'Académie d'Agriculture de France, **83**, n° 4.
(8) TARDIEU H. 1999. – Agriculture irriguée, gestion de l'eau et développement territorial. Comptes-rendus de l'Académie d'Agriculture de France, **85**, n° 8.
(9) RUF T. 2002. – Les approches de diverses cultures en matière de gestion participative des irrigations. Comptes-rendus de l'Académie d'Agriculture de France, **88**, n° 3.
(10) SERALGEDIN I. 1995. – Towards sustainable managerment of water resources. The World Bank.
(11) ZIMMER D. 2003. – Rencontres internationales de prospectives du Sénat: l'eau, février 2003.
(12) SECKLER D., AMARASINGHE U., MOLDEN D., DE SILVA R. et BARKER R. 2002. – World water demand and supply, 1990-2025 scenarios and issues. IWMI research report, **19**.
(13) LESAFFRE B. 2003. – L'eau dans les pays en développement : des défis pour la recherche. Rencontres internationales de prospectives du Sénat : l'eau, février 2003.

(Reçu le 15 mai 2005)

IRRIGATION ET DÉVELOPPEMENT DURABLE : UN POINT DE VUE D'ÉCONOMISTE

IRRIGATION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT THE POINT OF VIEW OF AN ECONOMIST

par Jean-Marc **Boussard** [1]

RÉSUMÉ

Pour aborder le rôle de l'irrigation dans le « développement durable », le plus simple est de chausser les lunettes de « l'analyse coût/bénéfice », qui, justement, dans son principe, est une application de la notion de développement durable bien avant la lettre. On discute donc ici des bénéfices de l'irrigation – ils sont fort difficiles à évaluer dans le long terme, à cause de l'incertitude sur les prix et les développements à venir de l'économie mondiale, mais aussi parce que l'irrigation est aussi une technique d'assurance, justiciable de calculs actuariels – et de ses coûts – encore plus difficiles à évaluer que les bénéfices, à cause de l'existence d'externalités, d'économies d'échelle, et surtout, du coût d'opportunité de l'eau, qui conduit à poser la question de choisir entre « boire ou manger ». En résumé, toute décision relative à l'irrigation est à la fois locale (les coûts et les bénéfices varient dans des proportions énormes d'un endroit à l'autre) et régalienne (parce que enjeux et incertitudes sont tels qu'il ne saurait être question de laisser au marché le soin de les gérer).

Ceci ne veut pas dire que les prix n'ont pas de rôle à jouer, d'abord pour déterminer qui doit supporter les coûts et profiter des bénéfices, ensuite, en cas de pénurie, pour rationner l'eau de la façon la plus efficace, en même temps que pour souligner l'urgence du problème efficacement.

SUMMARY

The old «benefit cost analysis» is actually a very convenient framework for discussing the role of irrigation for sustainable development. In this paper, first, the benefits from irrigation – they are difficult to know in the long run, because of a large uncertainty regarding prices, and future developments of the world economy as well as because irrigation is a technique for insurance, thus requesting actuarial computations – are tentatively evaluated. Then, costs – just as difficult to know as benefits, because of externality, economy of scale, and, above all, uncertainty regarding the opportunity cost of water, introducing the «dying out of thirst or of hunger» dilemma – are assessed. In fact, any decision regarding irrigation is both local (because costs and benefits vary considerably according to location) and kingly (because such enormous and uncertain stakes cannot be properly market managed).

Yet, there is a role for prices in managing irrigation : first, pricing determines who pays and who benefits ; second, in case of shortage, increasing water prices is the most efficient way of coping with penury in the short run, provided that the relevant signal be consistently interpreted as indicating the necessity of additional investments.

Aux yeux d'un économiste superficiel, l'irrigation est une technique comme une autre. L'eau est un des nombreux « inputs » des multiples productions agricoles, comme les engrais, le travail ou la terre. L'eau est complémentaire des engrais et des pesticides (parce que, en général, les cultures irriguées exigent plus d'engrais et de pesticides pour exprimer leur potentiel) ainsi que du matériel (quoiqu'à un moindre degré : on peut irriguer, désherber et récolter « à la main » comme « à la

1. Membre de l'Académie d'Agriculture de France, directeur de recherches de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), Laboratoire de politique économique, CIRAD, 45bis, avenue de la Belle-Gabrielle, 94736 Nogent-sur-Marne. Courriel : boussard@ivry.inra.fr
Les Colloques de l'Académie d'Agriculture de France, 2005, n° 1. Colloque du 19 mai 2005.

machine »), et c'est un substitut à la terre (un hectare irrigué produit souvent deux à trois fois plus qu'un hectare « en sec ». Ce sont là des situations banales en économie de la production. Dès lors, le marché devrait suffire à en régler l'emploi.

En effet, dans ce genre de situation, l'entrepreneur perspicace calcule la productivité marginale en valeur de l'eau – la valeur de ce qu'un mètre cube d'eau supplémentaire est supposé pouvoir produire en moyenne, toutes choses égales d'ailleurs. Cette valeur de la productivité marginale en valeur reflète l'utilité de l'irrigation, sa contribution au bonheur de la Société, son « bénéfice ». Il faut alors comparer ce bénéfice au coût de la fourniture de l'eau. Pas seulement – ou pas forcément – le coût facturé au consommateur, mais aussi celui d'un usage différent de l'eau elle-même (par exemple, un usage domestique, ou hydroélectrique), ou des moyens par lesquels on a pu se la procurer (le temps de travail du jardinier ne serait-il pas mieux utilisé ailleurs qu'en charriant des arrosoirs ?) [2]. Si, alors, le bénéfice est supérieur au coût, c'est qu'une utilisation accrue d'eau d'irrigation dégage un surplus bénéfique pour la Société. L'eau d'irrigation est alors « rentable » [3], et il y a lieu d'en accroître l'offre. Il faut réduire cette offre dans le cas contraire, et la laisser inchangée en cas d'égalité.

Aussi bien, dans un marché parfait, n'y a-t-il aucune raison de dire « il faut ». La concurrence, et la recherche du moindre coût conduiront tout naturellement à ce résultat. Il n'y a donc pas lieu de se préoccuper des rapports qui peuvent exister entre irrigation et durabilité des systèmes agricoles, ou même des systèmes économiques, qu'ils soient ceux de l'exploitation agricole, de la nation ou du monde. Les seules choses qui comptent sont alors de garantir la concurrence et la transparence des marchés.

Naturellement, aucun économiste sérieux et sachant de quoi il parle ne tiendra jamais un discours aussi extravagant [4]. Cependant, celui-ci est tout de même utile, car il permet de situer le problème au niveau, justement, de la validité de toutes les hypothèses qu'il faudrait admettre pour qu'il soit valide, de la même manière que la mécanique « sans frottement » permet de mieux comprendre le monde réel.

Pour que le raisonnement ci-dessus soit valable, il faut être capable d'évaluer correctement d'abord la productivité marginale en valeur de l'eau, ensuite son coût. Il n'est pas sûr qu'un marché réel puisse le faire. Mais il est sans doute possible – en tout cas, on peut toujours essayer – de calculer ces valeurs « comme si » elles provenaient vraiment d'un marché « parfait », un marché qui fonctionnerait comme on le croit dans les manuels de première année. C'est en quoi consiste la logique de « l'analyse coût / bénéfice », élaborée dans les années 60 par de nombreux économistes (dont au moins deux Prix Nobel).

Malheureusement, l'analyse coût / bénéfice est fort mal comprise de nos jours. D'une théorie économique de grande classe, on a fait un ensemble de règles administratives arbitraires et sans rapport avec la réalité, qui aboutit parfois à des non-sens parfaits. Nous essaierons cependant dans ce qui suit de procéder en accord avec cette démarche (sauf à négliger les règles arbitraires pour revenir à l'esprit de la chose), afin d'en montrer à la fois l'intérêt et la difficulté...

I. – Les bénéfices de l'irrigation et leur évaluation

En principe, c'est une affaire d'agronome que de calculer l'accroissement de rendement permis par l'addition d'une quantité d'eau déterminée, à un endroit donné, à un moment donné. Il suffit de multiplier cette quantité par un prix pour obtenir la productivité désirée. Mais quels prix faut-il prendre ?

1) Peut on évaluer aux prix courants ?

Bien entendu, un agriculteur évaluera l'intérêt d'irriguer en se basant sur les prix qu'il reçoit effectivement – les « *farm gate prices* » anglo-saxons. Mais ce prix reflète-t-il la valeur réelle d'une tonne de blé, de maïs, ou de petits pois pour la collectivité ? Oui, sans doute, du moins peut on

2. Aussi bien, dans un monde où les marchés fonctionneraient (un monde économique analogue au monde mécanique « sans frottement »), les deux notions de coût (coût facturé, ou « coût d'opportunité ») devraient conduire à un résultat identique.

3. Le « bénéfice » de l'irrigation est ici mesuré par la productivité marginale, la « rentabilité » par la différence « bénéfice-coût ».

4. Hélas, tous les économistes ne sont pas sérieux, et certains ne savent pas de quoi ils parlent. C'est pourquoi le discours ci-dessus garde encore quelquefois un certain pouvoir de séduction...

l'espérer, sur un marché « libre », en admettant qu'il fonctionne. Quand il s'agit d'un prix « administré », c'est sans doute plus discutable. En même temps, si l'on administre les prix, c'est parce que les marchés ne fonctionnent pas... Nous y reviendrons plus bas.

2) Difficultés liées à la volatilité des prix

Une autre difficulté est que les prix des produits agricoles, quand ils ne sont pas administrés, sont susceptibles de très fortes variations, de nature à modifier le résultat du calcul par un facteur deux ou trois selon que l'on prend une « fourchette haute » ou une « fourchette basse ». Cela est vrai même si l'on évacue un autre problème : celui du caractère saisonnier de ces prix, dont la moyenne (« l'espérance ») varie, non seulement d'un endroit à l'autre, mais d'un mois sur l'autre (et cela, en plus des variations aléatoires qui viennent d'être évoquées).

3) Le rôle d'assurance de l'irrigation

Un troisième problème vient de ce que l'intérêt de l'irrigation n'est pas seulement d'augmenter les rendements. Il est aussi de les sécuriser contre les aléas pluviométriques. Ceux-ci sont très variables d'un endroit à l'autre (sans doute maximum en zone méditerranéenne), mais ils existent toujours. Or, à rendements moyens, il existe une utilité intrinsèque à réduire la variabilité. C'est pour cela qu'il est toujours considéré comme raisonnable de s'assurer, même lorsque le coût de l'assurance est supérieur à la valeur moyenne des dommages. De plus, cette utilité de l'assurance dépend dans une large mesure de la situation patrimoniale de celui qui la souscrit. Dans la plupart des cas, plus on est pauvre, plus on a de raisons de s'assurer. C'est pourquoi pendant longtemps, dans les régions où, comme c'était le cas de la Beauce dans les années 1970, la rentabilité de l'irrigation était « limite », on voyait les agriculteurs les plus riches et les moins endettés dédaigner cette technique « inutile », « plus coûteuse que bénéfique », tandis que les jeunes agriculteurs endettés l'adoptaient avec enthousiasme.

Prises ensemble, les trois difficultés qui viennent d'être signalées compliquent singulièrement le problème de l'évaluation des bénéfices de l'irrigation car elles conduisent à des incitations contradictoires, tant au niveau individuel de l'agriculteur irriguant qu'à celui de l'intérêt national ou international.

4) Bénéfice individuel et bénéfice collectif

Au niveau individuel, la volatilité des prix incite à la prudence. « L'équivalent certain » d'un prix aléatoire – le prix « certain » qui conduit aux mêmes décisions qu'un prix aléatoire donné – est toujours inférieur à la moyenne du prix aléatoire, et parfois, très inférieur, en particulier si l'opérateur considéré est très pauvre.

En même temps, l'assurance contre la variabilité des rendements conduit à l'effet inverse. Du point de vue de la collectivité, cependant, la variabilité des rendements est moins importante, car il et possible d'y remédier par mille méthodes, telles que le recours au commerce international en « mauvaise année ». Mais la volatilité des prix est un problème réel, car les hausses de prix en cas de pénurie touchent les consommateurs, et surtout les consommateurs pauvres. Il est donc tentant d'y remédier, par exemple en stabilisant les prix. Or la stabilisation des prix, même autour de leur niveau « théorique » moyen, est loin d'être neutre sur la production. En stabilisant les prix, on crée une situation dans laquelle l'irrigation n'a plus que des avantages anti-aléatoires, ce qui va en accélérer l'adoption, spécialement par les « relativement pauvres ». L'avantage ainsi accordé à l'irrigation peut alors, d'abord étendre les surfaces irriguées au-delà que ce que permettent les ressources en eau, et surtout, conduire à produire beaucoup plus de denrées agricoles que de besoin.

On a observé une telle situation dans le cas classique, en France, des irrigations de céréales, dans les années 1970-1980. Mais on observe une situation similaire dans un pays comme l'Inde, où la « révolution verte » a été le succès que l'on sait pour des raisons techniques certes (variétés à haut rendement, subventions aux intrants), mais aussi, on l'oublie souvent, parce que les prix agricoles étaient des prix administrés, très réguliers, soustraits aux aléas du marché. Des situations de ce genre conduisent à revoir à la baisse l'utilité de l'irrigation, tout au moins à ne pas l'évaluer sur la base des « *farm gate prices* ».

Naturellement, cela est vrai pour tous les autres inputs autant que pour l'irrigation. Cependant, du fait de son caractère « anti-aléatoire à double effet », l'irrigation est tout spécialement sensible

à ce type de phénomène, chaque fois qu'elle est techniquement possible. Elle a tendance à « exploser » avec des prix garantis, et à « ne pas démarrer » avec les prix volatils, à niveau moyen donné.

Bien entendu, aussi les économistes « classiques » objecteront à cela que la raison profonde des surproductions observées avec les prix garantis ne tient pas à la garantie de prix par elle-même, mais à son niveau trop élevé. Cela est partiellement vrai, et renvoie à une troisième difficulté, qui est celle de la prévision des prix à long terme.

5) Le bénéfice global à long terme

De fait, tous les calculs de rentabilité qui viennent d'être évoqués n'ont de sens que dans le long terme : un investissement dans l'irrigation se fait normalement pour longtemps, et le prix de l'an prochain n'est pas une donnée suffisante : il faut en principe connaître les prix pour les dix ou quinze années à venir, sinon plus, et c'est évidemment ce qui est essentiel en particulier pour parler de développement durable.

Or, c'est là que le bât blesse : s'il existe des économistes libéraux pour affirmer que les marchés, dans leur sagesse, intègrent dans le présent toutes les données disponibles pour l'avenir, le bon sens commande de n'en rien croire, ou du moins, de ne pas croire à l'efficacité de la martingale. Il est donc impossible d'évaluer les bénéfices de l'irrigation sans avoir une vue d'ensemble du développement agroalimentaire mondial, et du rôle qu'y peuvent jouer les techniques de l'irrigation. De ce point de vue, quelques chiffres s'imposent [5].

A l'heure actuelle, avec 2 800 kcal/jour/tête, la consommation énergétique moyenne du citoyen du monde est supérieure d'environ 2,3 % à la « norme FAO » de 2 150. Mais la consommation en protéines animales de ce même citoyen, à 0,29 grammes, est inférieure de 1,7 % à cette norme. En utilisant le taux de conversion standard de 5 calories végétales pour une calorie animale, le déficit de production végétale par tête est donc de l'ordre de $(1,7 \times 5) - 2,3 = 6,2$ % de la production mondiale actuelle, ce qui n'est pas énorme, mais tout de même pas négligeable [6].

Cependant, ces chiffres « instantanés », ne signifient rien pour l'avenir. La population mondiale croît (et croît plus vite du côté des « sous-alimentés » que des « surnutris »). Il faut considérer que, dans 25 ans, elle aura doublé, ce qui suppose, pour conserver la situation actuelle, un doublement, aussi, de la production alimentaire et de fibres textiles. Cela serait possible, avec les techniques actuelles, si on parvenait à doubler les surfaces cultivées. Mais on ne voit guère comment on y parviendrait, surtout si, pour d'autres raisons, on tient absolument à conserver intactes les quelques grandes forêts tropicales encore existantes, en Amazonie, en Indonésie, ou en Afrique Sub-Saharienne. Sans doute peut-on imaginer que le réchauffement climatique favorisera la mise en valeur de terres nouvelles en Sibérie ou en Amérique du Nord. Mais en admettant qu'un tel scénario soit vraiment réalisable, ses avantages seraient compensés par des pertes de même ampleur dans les zones sahéliennes : il n'y a pas grand chose à espérer de ce côté.

Si on ne peut pas étendre les surfaces, pour augmenter la production agricole, il faut intensifier, c'est-à-dire, mettre plus d'input par unité de surface. Indiscutablement, l'irrigation est un des moyens de le faire – pas le seul, et pas forcément le plus indiqué, ou le plus facile à mettre en œuvre – mais en tout cas, un moyen à envisager.

De fait, si les besoins en produits agricoles végétaux doublent en 25 ans, et s'il faut les satisfaire à surface constante [7], cela ne pourra pas ne pas avoir des conséquences assez dramatiques sur les prix des matières premières agricoles, qui devraient augmenter sensiblement. Il faut cependant nuancer cette affirmation par deux remarques :

i – On peut imaginer qu'un progrès technique majeur dans les biotechnologies permettra d'obtenir le même résultat sans accroître les quantités d'input à mettre en œuvre.

ii – Pour que les prix augmentent, il faut que les clients aient de l'argent, donc des revenus convenables. Le grand problème des « sous-alimentés » de nos jours n'est pas le manque de nourriture,

5. Cf. J.L. Rastoin, *Vers un modèle agroalimentaire européen*, une lecture perrouxienne.

6. Bien entendu, ces chiffres ne sont que des ordres de grandeur, qui, en outre, masquent d'énorme disparités : l'Américain du nord, avec 70 g de protéine, et 3 800 kcal, avec le même calcul, dépasse la norme de presque 100 %, cependant que l'Africain, au voisinage de la norme pour les calories, se trouve à 60 au-dessous en ce qui concerne les protéines animales. Encore faudrait-il examiner les disparités à l'intérieure de l'Afrique et de l'Amérique : l'une des beautés de la statistique consiste à faire croire, si un homme a deux poulets et son voisin aucun, que tous deux en ont un chacun. Au total, on estime dans le monde à 850 millions de personnes le nombre des « sous-alimentés » et à 800 celui des « surnutris », pour lesquels se posent des problèmes d'obésité ou de pathologies de ce type.

7. On peut penser que le mouvement actuel de colonisation de l'intérieur du Brésil est l'une des dernières grandes opérations de mise en valeur de « terres vierges » réalisable sur notre planète avant l'émigration sur Mars.

comme on l'a vu plus haut : la production est à peu près suffisante, sinon chez eux, du moins globalement à l'échelle mondiale. Le problème, des gens qui ont faim c'est le manque de revenu pour acheter de la nourriture, qui n'est pas gratuite. Si les niveaux actuels de pauvreté perdurent et s'amplifient, il n'y a aucune raison de croire à la possibilité d'une remontée des prix agricoles, du moins dans une économie de marché, où il est impossible de vendre durablement en-dessous du coût de production. En outre, dans une telle hypothèse, il se produirait sans doute une réduction automatique et spontanée de la population, comme le prévoyait déjà Robert Malthus : car les pauvres, tout simplement, mourront de faim, ce qui rétablira l'équilibre des marchés, et évitera d'avoir à augmenter la production agricole [8].

*

* *

On voit par là que l'utilité de l'irrigation dans une optique de développement durable n'est pas facile à évaluer. On retiendra cependant que cette utilité n'est pas la même pour l'agriculteur individuel et pour la collectivité, et que, à long terme, on ne voit pas comment se passer de techniques de production agricole intensives, au nombre desquelles figure l'irrigation.

II. – Le coût de l'irrigation

En face des bénéfices qui viennent d'être évoqués s'inscrivent les coûts de l'irrigation : collecte de l'eau, transport (horizontal, mais aussi vertical, soit qu'il faille élever l'eau à grande dépense d'énergie, soit, au contraire, qu'on se serve de sa propre énergie potentielle pour absorber les forces de frottement, au prix d'une dénivelée), stockage (parce que l'eau d'hiver à moins de valeur que l'eau d'été), épandage (avec ce que cela comporte de surveillance). Aux yeux de l'économiste, cependant, ces distinctions techniques n'ont pas de signification particulière. Plus importantes sont les considérations suivantes :

i – Présence ou absence d'économies d'échelle,
ii – Présence ou absence d'externalité,
iii – Évaluation du coût d'opportunité de l'eau.

1) La question des économies d'échelle

La collecte et l'épandage de l'eau intéressent des surfaces : l'efficacité en la matière de l'application d'une technique déterminée est toujours proportionnelle à la surface concernée. En général, toute activité de ce type est le siège de rendements décroissants, parce que la surveillance du processus à partir d'un point central impose des déplacements dont la longueur est plus que proportionnelle à la surface : en raison du fait que la distance moyenne des points d'un disque à son centre est proportionnelle au rayon du cercle circonscrit, la visite de chaque point d'une surface circulaire à partir du centre impose des déplacements dont la longueur moyenne augmente comme la puissance 3/2 du rayon.

A côté de cela, si le coût (ou le bénéfice) du transport vertical de l'eau est toujours proportionnel à la dénivelée, celui du transport horizontal entre deux points est le siège de très fortes économies d'échelle. Entre deux points éloignés, c'est l'existence d'un tuyau (réponse par oui/non) plutôt que son diamètre qui est la variable centrale, et cela implique l'existence de « rendements en escalier ».

On ne peut plus, dès lors, réellement parler de « coût marginal », et cela complique beaucoup les calculs économiques. L'existence d'économies d'échelle et l'absence de coût marginal constituent des cas d'école de situations dans lesquelles le marché ne peut jouer son rôle dans l'allocation optimale des ressources. La coexistence de rendements décroissants et croissants à différents niveaux de la « filière » de production d'eau conduit en tout cas à comprendre pourquoi différents types d'acteurs interviennent dans le processus, et pourquoi les décisions relatives à l'économie de l'irrigation sont en principe si compliquées. Mais il ne s'agit là encore que de la partie émergée de l'iceberg.

8. Pour cette raison, une répartition plus égalitaire des revenus au niveau mondial est de l'intérêt direct et bien compris des agriculteurs riches de tous les pays...

2) Les externalités en économie de l'irrigation

L'eau utilisée en irrigation ne sert pas forcément seulement à l'irrigation. Lorsqu'ils sont à ciel ouvert, les canaux transporteurs concourent à l'enrichissement de paysages [9]. Les réserves peuvent servir à élever des poissons, ou même à des baignades : ainsi du Lac de Ste Croix en Provence. Cependant, les principaux problèmes d'externalité susceptibles de mettre en cause la durabilité de l'irrigation concernent l'épuisement des aquifères et la salinisation.

L'utilisation d'un aquifère comme source d'eau d'irrigation permet de limiter au maximum des coûts de collecte, de transport horizontal et de stockage : c'est l'aquifère et le système hydraulique associé qui s'en chargent. Il ne reste plus alors qu'à supporter les coûts de l'élévation de l'eau, qui sont proportionnels, et d'épandage, qui sont croissants à partir du puits, mais que l'on peut ajuster presque à volonté en fonction de la taille des exploitations et des parcelles. C'est donc en principe une solution très efficace.

La difficulté vient de ce que, lorsque plusieurs puits sont forés dans le même aquifère, rien ne permet d'inciter les foreurs à limiter leurs prélèvements à la capacité de recharge de la nappe. Tout au contraire, au moindre signe d'épuisement, l'intérêt individuel de chacun est de puiser autant d'eau que possible, pour en avoir tant qu'il en reste... Il n'y a pas à ce problème d'autre solution qu'institutionnelle : il faut une autorité pour limiter les prélèvements individuels (donc, préalablement, les mesurer de façon indiscutable, ce qui n'est pas sans coût), et les répartir, soit de façon autoritaire, soit par l'intermédiaire d'une vente aux enchères, en jouant à la fois le rôle de commissaire priseur et de gendarme.

Aussi bien, dans ce cas, le rôle du gendarme est-il difficile à jouer. Comme son activité lui impose de visiter chacun des puits, et qu'il est difficile de vérifier qu'il l'a bien fait, il est évidemment tentant de le corrompre. De fait, la corruption des ayguadiers constitue-t-elle un caractère permanent de la gestion des systèmes d'irrigation quand la ressource est rare dans les pays en voie de développement. Une autre façon de voir les choses est de considérer les ayguadiers comme titulaires d'endroit de propriété sur la ressource (droit qu'ils pourraient acquérir dans des bourses *ad hoc*), et de les laisser fixer les tarifs en fonction de l'offre et de la demande, s'appropriant ainsi la rente liée à la rareté de l'eau. C'est là, en vérité, une solution « naturelle », dont on peut se demander si elle représente un progrès vers l'avenir ou une régression vers la féodalité [10].

En outre, on peut se demander, dans un contexte dynamique, jusqu'à quel point les « signaux du marché » (en l'occurrence, le souci de l'ayguadier – propriétaire de maintenir ses recettes à long terme, et donc de diminuer les prélèvements aujourd'hui pour les faire durer demain et après demain) seront suffisants pour assurer la conservation de la nappe à son niveau « optimal », en particulier lorsque le risque est grand de voir l'aquifère disparaître à jamais après sa première phase de surexploitation (situation fréquente en zone de plaines côtières, par suite d'intrusion d'eau salée dans l'aquifère).

La salinisation des terres en zone aride est une autre des externalités classiques en matière d'irrigation. Comme l'eau est toujours un peu salée, en l'absence de pluies d'automne susceptibles de lessiver les sols, si les doses d'irrigation sont calculées au plus juste, le sel contenu dans l'eau évaporée s'accumule en surface. Au bout de quelques saisons, il atteint des concentrations telles que le terrain devient impropre à la culture. Le remède est évidemment de prévoir des doses d'irrigation assez larges, et un système de drains pour évacuer l'eau en excès.

Mais ceci se heurte au fait que si l'on peut facilement limiter la consommation d'eau par une hausse de prix, imposer une consommation minimale est beaucoup plus difficile, et qu'il est difficile de concevoir des incitations fortes pour cela. Sans doute, le souci, pour le propriétaire foncier, de préserver la qualité de sa terre « en bon père de famille » devrait-il suffire. Les économistes libéraux trouvent dans cette circonstance une justification additionnelle à la propriété privée du sol. Encore faut-il alors tenir compte de la façon dont se fait l'arbitrage entre la consommation présente et sa consommation future. Comment un paysan pauvre va-t-il arbitrer entre payer aujourd'hui de grandes quantités d'eau apparemment « inutiles » et le souci de préserver la capacité productive

9. En particulier lorsque les canaux transporteurs sont les rivières elles-mêmes, comme c'est le cas, par exemple, pour les ouvrages gérés par la CACG.

10. Il faut noter à ce propos les ambiguïtés associées à la mise en place de « marchés de l'eau », en lesquels, dans les années 1990, beaucoup d'analystes voyaient la solution de tous les problèmes liés à la gestion de l'eau. En réalité, quand la denrée est vraiment rare, ces marchés se mettent en place spontanément. Ils sont relativement efficaces pour gérer la pénurie, en permettant aux plus riches (qui sont en même temps les plus à même d'augmenter efficacement la production agricole) d'éliminer les plus pauvres de l'utilisation de l'eau. Mais ils ne jouent pas le rôle central qui devrait être dévolu au marché : celui d'informer les entrepreneurs qui seraient à même d'accroître la ressource que le moment est venu de saisir cette occasion de le faire.

de sa terre dans dix ou vingt ans ? La réponse standard qui consiste à dire « en actualisant les bénéfices » a beaucoup de chances de n'être guère pertinente. Comme l'intéressé ne peut guère obtenir de crédit à moins de 50 à 100 % d'intérêt, l'attrait de la consommation immédiate ne fait guère de doute...

3) Irriguer ou boire ? Le coût d'opportunité de l'eau

Le dernier élément du coût de l'eau, à comparer au bénéfice, et non le moindre, concerne le coût d'opportunité de l'eau. A chaque nœud de la chaîne « collecte - transport - épandage », il est en effet toujours possible de détourner l'eau pour un autre usage que l'irrigation. Le bénéfice que l'on aurait pu tirer de chaque litre consacré à l'irrigation doit donc être diminué de celui que l'on aurait pu obtenir en l'utilisant autrement.

A ce compte, il y a bien peu de chances pour que l'irrigation soit jamais rentable. Comment comparer le prix de l'eau épandue sur un champ de maïs à celui de l'eau minérale en bouteille ? La réponse est bien sûr que l'eau épandue sur un champ de maïs n'est pas de « l'eau minérale » (encore que ?). Il n'en est pas moins vrai que les usages « domestiques » ou « industriels » de l'eau ont à l'évidence très souvent [11] une utilité plus grande que celle de l'irrigation, de sorte que cette question de la concurrence entre les différents usages de l'eau se pose réellement.

Il est évidemment tentant d'y apporter une réponse issue d'un mécanisme de marché. Vendons l'eau aux enchères, et, grâce au consentement à payer supérieur de l'acheteur, nous verrons bien où son utilité est la plus forte *hic* et *nunc*. Ici encore, les objections viennent de deux sortes de considérations :

i - Considérations de justice élémentaire : peut-on laisser les pauvres mourir de soif s'ils n'ont pas de quoi payer l'eau à sa productivité marginale ? Il ne fait guère de doute que c'est sur la base de considérations de ce type que beaucoup de religions s'opposent au commerce de l'eau. S'il est difficile de les suivre quand le raisonnement conduit à interdire le financement des grands ouvrages qui seraient nécessaires, il est impossible de ne pas prêter attention au message de compassion qu'elles véhiculent ainsi, peut-être maladroitement.

ii - Considérations dynamiques : la vente aux enchères de l'eau permet évidemment d'en évaluer l'utilité à un endroit et à un instant donnés. Rien ne dit que cette valeur ne sera pas très différente l'an prochain un peu plus loin. En particulier parce que les revenus, les niveaux de développement économiques et la démographie évoluent rapidement, il est bien évident que le résultat d'une telle expérience n'apporte que très peu d'information sur les besoins à long terme.

Or, pour assurer dans de bonnes conditions la satisfaction de ces besoins à long terme, il est nécessaire de prendre dès maintenant des décisions sur les ouvrages à construire et les investissements à effectuer, en particulier lorsqu'il est question de bénéficier des économies d'échelles évoquées un peu plus haut. Force est, alors, d'utiliser la méthode esquissée plus haut pour évaluer la demande de produit alimentaire : monter des « scénarios » de développement, et essayer de se caler sur le plus probable, tout en se donnant les moyens de prévenir les situations les plus désastreuses...

Bien entendu, cette démarche peut être le fait d'institutions privées comme d'institutions publiques. Normalement, les administrations publiques ne disposent pas d'informations très supérieures à celles des opérateurs privés, de sorte qu'il se peut que ces pronostics soient le fait des uns ou des autres. Dans cette optique, il suffirait d'organiser des marchés « futurs » de l'eau pour que l'appât du gain garantisse le meilleur équipement possible au meilleur coût. Cependant, outre que les « privés » (à moins d'être soumis à un cahier des charges) ont peu de chances d'être sensibles à la situation des « pauvres », il est permis de penser que la crainte de la faillite [12] risque de les rendre exagérément sensibles au court terme vis-à-vis du long terme. C'est pourquoi il semble difficile de renoncer ici à des interventions directes de l'appareil politique.

---

11. Pas toujours : on connaît l'histoire du botaniste qui se priva d'une partie de sa maigre ration d'eau potable le temps d'une traversée en bateau à voile de France aux Antilles pour arroser un pied de bananier qui devint l'ancêtre de tous les bananiers de Guadeloupe et de Martinique.

12. Les faillites d'entreprises privées consacrées à des irrigations, en principe extrêmement « rentables » ne sont pas rares. On connaît l'histoire du Canal de Craponne » -un ouvrage édifié au 18e siècle sur fonds privés. Une fois complété par la ligne de chemin de fer PLM, l'ouvrage s'est révélé extraordinairement productif. Il est à l'origine des maraîchages de la région de Cavaillon, à la prospérité longtemps proverbiale. Cependant, Craponne lui-même fit faillite, et termina ses jours en prison...

Mais la tâche de celui-ci n'est pas simple pour autant. Le risque est réel de justement compter exagérément sur les observations du marché tel qu'il se présente aujourd'hui sans se projeter dans l'avenir [13].

Remarques pour conclure

On vient donc de passer en revue les bénéfices et les coûts de l'irrigation, avec le souci de repérer les points sur lesquels un éclairage en terme de « durabilité » serait nécessaire. Les points majeurs qui ressortent de cet inventaire sont les suivants :

a) Comme on pouvait le penser, les incertitudes majeures concernent l'utilité future à long terme de biens et de services divers. Du côté des bénéfices, l'utilité des denrées agricoles dont l'irrigation est susceptible de permettre l'obtention, du côté des coûts, de celle des usages non agricoles de l'eau. Ces incertitudes sont celles de la « grande politique » en matière d'irrigation, celles qui portent sur le long terme.

b) Il n'en demeure pas moins qu'on ne voit pas comment le monde pourrait se passer d'irrigation pour assurer sa sécurité alimentaire dans le moyen terme.

c) A plus court terme, on aura noté l'existence de problèmes réels de durabilité dans certains cas, en particulier avec les techniques d'alimentation des irrigations par pompage dans les aquifères, lorsque ceux-ci s'épuisent.

Il reste à savoir comment prendre des décisions concrètes dans un pareil environnement. Le libéralisme naïf à mode actuellement recommande évidemment pour cela l'usage du marché : il suffirait de laisser ce dernier valoriser l'eau pour que les investissements les plus souhaitables dans le long terme soient effectués par des entrepreneurs qui oeuvreraient involontairement pour le Bien Commun du seul fait qu'ils poursuivraient la recherche de leur propre profit.

Ce raisonnement, dans le cas particulier, illustre à merveille toutes les insuffisances de la caricature de pensée libérale qui vient d'être présentée :

a) Les incertitudes étant de toute façon énormes, en l'absence de marchés d'assurance impossibles à mettre en place, il est clair que les primes de risque qui devraient être prises par les entrepreneurs en cause seraient gigantesques, en fait limitant de façon considérable l'extension des irrigations souhaitables. De ce point de vue, il est essentiel de se rappeler des raisonnements de K.J. Arrow (1) selon lesquels l'État est le seul agent économique capable de supporter des risques de ce genre, et qu'il est donc souhaitable qu'il le fasse même dans une économie parfaitement libérale. Ceci n'interdit pas d'utiliser les espérances de prix pour permettre à l'État de préparer ses calculs.

b) On l'a vu, les irrigations impliquent toutes sortes d'externalités, c'est à dire de coûts et d'avantages qui par hypothèses échappent à la prise en compte par le marché. Ceci implique que l'État encore intervienne, tienne compte de ces phénomènes économiques non marchands, et, donc, n'utilise pas forcément pour ses calculs des prix de marchés, fussent-ils calculés comme des espérances mathématiques de prix incertains.

Les décisions à long terme concernant l'irrigation sont donc essentiellement des décisions régaliennes. Cela n'interdit pas tout rôle aux prix, loin de là :

a) Dans une situation de pénurie d'eau, il est clair que l'utilisation du prix est une méthode très efficace pour la rationner, et limiter les coûts associés à la pénurie. En vérité, élever le prix de l'eau est sans doute plus efficace pour cela que les « interdictions » et les règlements, qui ne peuvent toujours prévoir toutes les situations possibles. Au contraire, l'élévation du prix, d'abord, s'impose à tous les usagers, éliminant de ce fait les « resquilleurs », ceux qui pourraient continuer à gaspiller en profitant des failles du règlement, et ensuite, elle permet sans doute de découvrir des « gisements d'économie » possibles qui auraient pu échapper aux auteurs de règlements.

Le fait que ces élévations de prix pénalisent les usagers et augmentent les bénéfices des fournisseurs est alors accessoire. Ce qui est important, c'est de rechercher les endroits où les économies sont les moins gênantes, et c'est bien ce qui arrive quand on augmente le prix dans ces conditions. Naturellement, cela n'interdit pas de compenser certains des usagers (par exemple, les plus pauvres)

13. Un exemple à ce propos est celui du Maroc, où s'est construit, au cours des années 1960, une impressionnante politique de l'irrigation qui s'essouffle actuellement, parce que le besoin se fait sentir de consacrer une part plus importante de l'eau disponible à des usages urbains. Or le pari, à l'époque, avait été de vendre sur les marchés internationaux des fruits et légumes irrigués, quitte à se procurer en échange les céréales de base sur ces mêmes marchés. Aujourd'hui, il est facile d'observer que le Maroc exporte sa ressource rare, l'eau, sous forme de tomates ou d'oranges et importe des céréales qu'il pourrait sans doute produire sur place « en sec » si la politique avait été différente...

pénalisés de ce fait, si on considère que, pour eux, la baisse de la consommation d'eau représente une désutilité inadmissible. Naturellement aussi, une telle situation est à terme intolérable : l'élévation du prix de l'eau, dans un tel contexte, a une autre fonction, qui est de signaler l'urgence de remédier à la pénurie.

b) Le prix, en économie, sert aussi à répartir les revenus. En l'espèce, il est évidemment naturel que les bénéficiaires de l'irrigation paient au moins une partie des coûts associés, et assurent l'équilibre financier du fournisseur de la ressource. C'est bien pourquoi l'eau est souvent « payante », et cela, à très juste titre. Il ne faut cependant pas oublier, en préparant le « tarif », que l'équilibre financier à court terme du fournisseur d'eau n'est pas un but en soi: ce qui compte, c'est l'utilité de l'irrigation à long terme, comme indiqué ci dessus. De ce fait, si la tarification devient un obstacle à l'usage, et si l'eau n'est pas rare, il vaut certainement mieux la distribuer en dessous de son coût que de laisser une ressource inutilisée pour des raisons financières. De toute manière, dans cette optique de long terme, les questions de répartition de revenus sont aussi des questions régaliennes, qui ne peuvent être abordées sous un angle exclusivement comptable.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) ARROW K.J. et LIN R.C., 1970. - Uncertainty and the evaluation of public investment decision. In Arrow, K.J. (editor) : *Essays in the theory of risk bearing*, North Holland, Amsterdam, 1971.

(*Reçu le 29 mars 2005*)

DURABILITE SOCIO-ÉCONOMIQUE DES SERVICES D'IRRIGATION

CINQ PRINCIPES FONDÉS SUR L'EXPÉRIENCE INTERNATIONALE DES INSTITUTIONS ET SYSTÈMES TARIFAIRES.

par Henri **Tardieu** [1]

RÉSUMÉ

La question du prix de l'eau pour l'irrigation est complexe car elle suppose souvent un arbitrage difficile entre le revenu des agriculteurs et la qualité du service, entre l'urgence du développement économique et la maintenance durable d'un patrimoine. Faut-il facturer le service au coût complet ? La tarification de l'eau d'irrigation est aussi considérée comme un moyen nécessaire pour réguler la demande en eau. Face aux lourdes difficultés financières rencontrées par les grands périmètres d'irrigation publics qui ignorent parfois le concept même de service de l'eau, la CIID (Commission International des Irrigations et du Drainage) a voulu répondre à ces questions. Pour nous européens elles sont également des éléments clefs de la nouvelle approche économique voulue par la DCE. Cet article présente la charte internationale écrite par la CIID.

SUMMARY

Charging for water in irrigation is a complex issue because it often supposes difficult trade-off between the farmer income and the quality of service, between the urgency of the economic development and the sustainable maintenance of the assets. Is it fair to charge the full cost of the service? Charging for water is also regarded as a means necessary to control the water demand. Facing the heavy financial difficulties met by the large public irrigation schemes, sometimes unaware of the concept of service itself, the ICID decided to write a Position Paper in order to propose answers to these questions keeping in mind the specificity of irrigated agriculture in the poverty alleviation. This article presents this Position Paper.

Écrire une charte internationale sur la durabilité des services en irrigation

En septembre 2000 à sa réunion du Cap, la Commission Internationale des Irrigations et du Drainage (CIID) a installé une TaskForce (TF3) [2] pour « écrire une charte (*Position Paper*) sur la durabilité socio-économique des services en irrigation/drainage ».

1. Directeur général de la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne.

Les Colloques de l'Académie d'Agriculture de France, 2005, n° 1. Colloque du 19 mai 2005.

2. M. Henri Tardieu (France) Président, Mr. Peter S. Lee (UK), Dr. Jose M. Martin Mendiluce (Spain), Ir. Keizrul bin Abdullah (Malaysia), Dr. Ricardo A.L. Brito (Brazil), Dr. T. Rieu (France), Mr. H. Plusquellec (USA) Mr. Yasunobu Matoba (Japan), Dr. Mark Svendsen (USA), Ir. Paul Hofwegen (The Netherlands), Mr. Alan W. Hall (UK), Dr. Hammond Murray-Rust (IWMI), Mr. Harald D. Frederiksen (USA), Dr. C.D. Thatte, Member-Secretary, (India).

Il a été convenu que cette charte devienne une réponse à la deuxième recommandation du forum mondial de l'eau de La Haye sur la « récupération du coût complet de l'eau ». Quoiqu'il soit plus ou moins convenu que ce principe concernait surtout l'eau urbaine, nous avons considéré qu'il n'est pas pertinent devant le dilemme auquel doit faire face l'agriculture irriguée entre la nécessaire augmentation du niveau de récupération des coûts et la lutte contre la pauvreté rurale. La question de la durabilité socio-économique est centrale depuis plusieurs années à la CIID notamment face aux grandes difficultés financières des grands périmètres irrigués publics qui représentent plus de 50 % des surfaces irriguées dans le monde, principalement en Asie. Mais la CIID reste aussi très préoccupée par la pauvreté rurale et le revenu des agriculteurs dans un contexte de diminution continue des prix agricoles.

Comment réussir à négocier une telle charte commune ?

La difficulté principale est d'éliminer les questions secondaires afin de se concentrer sur l'essentiel. Nous avons choisi seulement cinq principes. Le succès est probablement venu de ce que nous n'avons pas proposé une liste de recommandations, mais nous avons soulevé des questions et nous avons maintenu ouvertes les principales options. Le défi de cet exercice est de traiter d'économie sans ramener l'eau seulement à un bien économique, de proposer l'amélioration de la récupération des coûts sans compromettre le développement économique et le revenu des agriculteurs.

Comme introduction à la discussion chaque membre de la TaskForce a répondu aux deux questions ci-dessous :

Question 1 : Serait-il équitable de facturer le coût complet de l'eau quand le service ne répond pas aux espérances des utilisateurs, quand le gestionnaire du périmètre d'irrigation n'est pas « orienté service » ? N'est-ce pas une première étape importante de changer fondamentalement l'organisation du service, de réduire nettement les coûts d'exploitation afin d'augmenter l'argent disponible pour l'entretien ?

Question 2 : Serait-il équitable de facturer le coût complet de l'eau (coûts du capital compris) pour des projets conçus sans les agriculteurs ou conçus sur la base de prix agricoles mondiaux plus élevés ?

Les longues discussions à l'intérieur de la CIID ont clarifié des concepts simples tels que des « services et contrats en irrigation », « délégation de pouvoir aux agriculteurs », « durabilité financière » ou plus nouveaux comme « récupération du coût durable de l'eau », « système de tarification », « contrôle des allocations de l'eau », « financement public et engagements des gouvernements »... Ces discussions ont aussi montré l'extrême sensibilité du thème, la grande diversité des approches selon différentes cultures, histoires et politiques gouvernementales. Néanmoins un papier commun a pu être écrit et a été approuvé après plusieurs consultations de tous les comités nationaux le 11 septembre 2004.

En effet lors de sa réunion de Moscou après 4 ans de discussions la CIID a officiellement adopté les 5 principes qui forment le cœur de cette charte avec en particulier le soutien de plusieurs comités nationaux : de l'Europe avec les Pays Bas, la France, le Royaume-Uni, l'Espagne, également des États-Unis, du Japon, d'Inde, et d'Egypte (avec les commentaires habituels sur le prix du service et non pas le prix de l'eau), naturellement d'Afrique du sud, mais également de Malaisie (acceptant les principes quoique la politique actuelle soit de ne pas facturer l'eau d'irrigation).

Nous donnons ci-dessous le texte principal de la charte avec son introduction. Pour lire les deux annexes (1 - Définition des principaux concepts, 2 - Pratiques et méthodes pour la tarification des services) on pourra se reporter au site web de la CIID.

Texte de la charte internationale de la CIID

Introduction

En réponse à la recommandation sur « la tarification au coût complet » formulée lors du deuxième forum mondial de l'eau (La Haye - 2000), et après une discussion générale tenue dans les congrès de la CIID, il est possible de présenter notre opinion commune sur la durabilité socio-économique des services en irrigation/drainage comme suit :

1. Nous sommes tous conscients que la durabilité réelle à long terme ne peut exister sans la récupération du coût complet financier : si une activité a un coût, on doit payer pour ce coût

autrement cette activité simplement disparaît. La question pertinente est alors celle-ci : comment couvrir ce coût ? Ou en d'autres termes : qui paiera le coût complet, les usagers ou les contribuables ?

2. Il est nécessaire ensuite d'identifier tous les bénéficiaires d'une activité donnée. Il est bien connu par exemple que, dans le domaine de l'eau potable, les bénéficiaires d'un investissement sont plus nombreux que les usagers directs des nouvelles installations : le nouveau système présente des avantages en termes de santé publique, de meilleure productivité des travailleurs, d'amélioration de la production et d'accroissement de l'assiette imposable ; c'est en effet la société qui globalement bénéficie du nouvel investissement. Il apparaît ainsi naturel de partager les coûts entre tous les bénéficiaires, les usagers directs bien sûrs, mais aussi la société au travers des contribuables. Par ailleurs, des systèmes tarifaires différenciés (subventions croisées) peuvent prendre en compte les consommateurs les plus pauvres.

3. Dans le secteur de l'irrigation les choses sont encore plus évidentes. Les effets indirects d'un investissement hydro-agricole sont multiples, qu'ils soient positifs ou négatifs. Beaucoup d'exemples peuvent être facilement trouvés dans chaque projet d'irrigation, et nous considérons que le système tarifaire devrait en tenir compte. Les bénéfices indirects de l'irrigation peuvent être l'accroissement de l'emploi, la réduction des migrations vers les centres urbains, l'amélioration de la sécurité alimentaire, etc. Cependant, comme il n'est pas facile d'identifier les bénéficiaires finaux autres que les irrigants, il est souvent convenu de prélever la contribution de la société au travers des contribuables.

4. Concernant la fourniture du service, la question est la suivante : quel est le lien entre le prix réel du service et la satisfaction qu'y trouve le client ? En principe, si le comportement des bénéficiaires directs était totalement rationnel, les irrigants devraient comparer continuellement la valeur marginale de l'eau et son coût marginal (la doctrine libérale conventionnelle). Maintenant nous savons que ce principe n'est applicable que d'une manière approximative et discontinue. Cependant, les agriculteurs partout dans le monde, ont un sentiment intime de la relation entre la valeur de l'eau et le coût du service qui leur est fourni, une connaissance empirique qui leur permet de décider un jour que « l'eau est trop chère ». En d'autres termes, il existe un « prix acceptable intuitif », qui ne peut pas être véritablement calculé, mais approché au travers d'un processus itératif de dialogue avec les agriculteurs ; le prix qui en résulte peut être plus ou moins rationalisé par l'analyse économique de la valeur ajoutée liée à l'eau.

5. C'est précisément cette connaissance du prix acceptable qui devrait être capitalisée avant de concevoir une modernisation impliquant une augmentation du prix de l'eau. Nous considérons que cette approche participative, conclue par un contrat solennel et formel, devrait être absolument obligatoire. Quand une réhabilitation/modernisation est nécessaire pour fournir un service satisfaisant, ceci doit être mené à bien avant de conclure l'accord avec les agriculteurs. Ainsi la qualité du service correspondra à la satisfaction des clients, et utilisera des technologies appropriées conformes à l'environnement socio-économique. Ce point essentiel a été très discuté car il met en cause la capacité des gouvernements à tenir leurs engagements, mais il dépasse le propos de cette charte. C'est néanmoins une condition préalable à l'introduction des nouvelles pratiques visant à la durabilité des services de l'eau.

Considérant cinq principes cohérents avec la Stratégie de la CIID, nous, membres de la CIID proposons que les questions suivantes soient abordées dans nos pays pour rendre durables les services d'irrigation et drainage :

PRINCIPE n° 1 – Transparence sur le recouvrement des coûts

Question 1 : Identifier et clarifier le périmètre du service.

Quels services sont fournis ? Distinguer en particulier le service de l'eau du service de conseil aux agriculteurs pour la conduite de leurs exploitations. Préciser les limites amont (par exemple les barrages amont sont-ils inclus ?) et la limite aval (par exemple, que fait l'agriculteur lui-même ?). Le drainage et la protection contre les crues sont ils inclus dans le service ?

Question 2 : Identifier tous les bénéficiaires du service.

Pour les bénéficiaires directs, il est possible de quantifier le service rendu selon la qualité du service fourni. Quelle est leur contribution à la couverture des coûts ? Quelle est la contribution des bénéficiaires indirects ? Les bénéficiaires indirects sont notamment les fournisseurs et clients de l'agriculture qui bénéficient du développement des filières de production. Dans les systèmes de gestion intégrée multi-usages, l'environnement, la santé des populations sont des bénéficiaires collectifs pouvant justifier une participation financière de la collectivité.

Conseil de la TF3 (Task Force, voir note 2, p. 23) : la définition du service et l'identification des bénéficiaires sont deux éléments clef de la durabilité.

Question 3 : Identifier les relations (contrats) entre le gestionnaire du service et les bénéficiaires.
La clarté des relations contractuelles ou institutionnelles est un gage de durabilité. Plusieurs options sont possibles dont les deux plus simples sont :

1) une association d'usagers, responsable collectivement du service, partage les coûts entre les associés selon les statuts de l'association et le règlement du service,

2) un gestionnaire extérieur *(public ou privé)*, responsable du service, passe des contrats individuels librement négociés avec les bénéficiaires directs, qui comportent le prix du service tarifé en fonction de la qualité du service. Le prix est déterminé pour être socialement et économiquement acceptable, mieux, accepté.

Écrire et mettre en œuvre le règlement du service exige le développement de mécanisme de transparence permettant le contrôle par les deux parties de l'application des règles acceptées.

Conseil de la TF3 : sans recommander l'une ou l'autre option, il est recommandé en première étape de clarifier les relations contractuelles pour pallier les déficiences du système.

PRINCIPE n° 2 – Pouvoir de négociation des bénéficiaires

Question 1 : Identifier les lieux de négociation entre le gestionnaire du service et les bénéficiaires.
Quelle que soit l'option institutionnelle retenue, la participation financière des bénéficiaires suppose une négociation organisée et formalisée pour approcher le prix acceptable pour un service satisfaisant. La durabilité du service nécessite des négociations régulières pour faire face aux évolutions du service et du contexte extérieur (par ex. : évolution du contexte budgétaire public). Où et quand se fait la négociation ?

Question 2 : Identifier les forces contraires à l'équité.
Pour assurer la qualité et l'équité du service, l'organisation de la négociation doit protéger la parole des plus pauvres et des « vrais » exploitants. Comment contrôler les groupes de pression les plus puissants ? Comment, avec quelle règles, obtenir la confiance de la majorité des bénéficiaires sans négliger une minorité d'entre eux ? (par exemple les usagers de l'aval).

Conseil de la TF3 : maintenir l'influence du gouvernement dans les décisions concernant le service, en ce que sa responsabilité est de représenter l'ensemble de la société et en particulier des plus faibles.

PRINCIPE n° 3 – La couverture du « coût durable » [3], un premier pas ambitieux

Question 1 : Identifier les démarches de progrès mises en place.
Toutes les expériences internationales montrent qu'en irrigation le recouvrement total des coûts n'est pas atteint et même que ce n'est pas un objectif politique notamment pour les grands réseaux publics. Néanmoins un consensus doit être obtenu sur la nécessité de (i) accroître la participation de tous les bénéficiaires au niveau du prix maximum acceptable, (ii) prévoir les étapes vers un équilibre du service sans subvention pour l'exploitation et la maintenance, ce qui est généralement considéré comme une obligation par la plupart des gouvernements. Quelle démarche est mise en œuvre pour aller dans ce sens ?

Question 2 : Identifier les règles de priorité dans la couverture des coûts.
Tant que la couverture complète des coûts n'est pas atteinte des choix doivent être faits. Quelle partie des coûts doit être couverte par la contribution des bénéficiaires ? Pour faire simple, trois options sont couramment observées :

1) priorité aux remboursements de la dette (option du banquier). Financièrement correcte, cette option peut entraîner une dégradation du patrimoine par absence de maintenance et conduit fréquemment à d'importants coûts de réhabilitation,

2) priorité à la maintenance (option du manager). Cette option assure la durabilité du service et la satisfaction des clients, à condition qu'un mécanisme ait été mis en place pour financer sur fonds publics les investissements passés. Cette option a été dénommée *« Tarification au coût durable »*,

3. Tardieu and Préfol (2002) Full cost or «Sustainability Cost» pricing in irrigated agriculture. Charging for Water can be effective, but is it sufficient? In Irrigation and Drainage 51 Wiley InterScience.
– Voir aussi Annexe 1 § 1.2.5

3) priorité au financement du personnel d'exploitation (option sociale). Préserver la masse salariale du gestionnaire peut conduire à une inefficacité du service si il est impossible d'adapter le nombre et la qualité des personnels à la qualité du service. Néanmoins procéder à des coupes brutales ou aveugles dans le personnel peut être pire.

Conseil de la TF3 : choisir l'option 2 comme une première étape sans ignorer les deux autres options chaque pays choisissant son rythme, mais se poser la question suivante : l'argent des bénéficiaires est-il utilisé selon des règles de priorité négociées avec eux ?

Question 3 : Comment gérer les crises ?

Chaque crise technique (rupture,...), climatique (sécheresse,...), agricole (maladie,...), financière (taux de change,...) peut interrompre la démarche de progrès vers la durabilité financière. Quelles sont les méthodes pour faire face aux crises (par ex. Fonds d'urgence) en préservant le revenu des agriculteurs sans détruire des années de progrès vers la durabilité du service ? Des « plans de crise » ont ils été négociés et écrits en temps utile ?

PRINCIPE n° 4 – Incitation économique à la bonne gestion de l'eau

Question 1 : Compter l'eau et mesurer les performances, une question essentielle.

Le service apporté aux bénéficiaires directs doit être quantifié. Quels sont les moyens décidés et réellement disponibles pour compter l'eau délivrée en débit et/ou volume, pour mesurer la qualité du service et la performance, pour quantifier la satisfaction des clients ? Le prix de l'eau est-il compris par le gestionnaire comme une incitation à se conformer à la qualité de service prévue au contrat ?

La mesure est aussi le moyen minimal pour répondre à la question suivante du contrôle des allocations quelle que soit la solution choisie quota ou tarification.

Question 2 : Identifier les mécanismes d'incitation au respect des allocations.

Il est reconnu que le système de tarification est une forte incitation à une allocation efficace de l'eau entre les bénéficiaires. D'autres systèmes comme les rationnements ou les quotas peuvent aussi être efficaces. Quels mécanismes d'incitation sont choisis pour accroître l'efficience de l'eau, pour respecter les allocations et l'équité entre les bénéficiaires ? Les études économiques sont nécessaires sur la base de l'analyse de la valeur de l'eau pour les agriculteurs (valeur annuelle, valeur marginale) et pour les autres bénéficiaires comme l'environnement. Plusieurs instruments économiques sont disponibles en irrigation comme dans les autres secteurs de l'économie : méthodes de tarification (tarif binôme, tarifs optionnels, tarification par pallier croissant,...), quota (avec pénalité, associés à la tarification avec tarif de dépassement de quota), subventions (liées à la pauvreté, croisées,...). Mais une tarification n'est acceptée que si le taux de recouvrement est proche de 100 %. Ce taux est un excellent indicateur de la qualité de la négociation, de l'efficacité de l'organisation, de la qualité du contexte socio-politique.

Conseil de la TF3 : n'aborder cette discussion que lorsque le service a atteint une certaine maturité car une tarification n'est réellement incitative que si elle est comprise par des agriculteurs capables en retour d'ajuster leur comportement.

PRINCIPE n° 5 – Séparation des politiques

Question 1 : Séparation du gestionnaire et du régulateur

Quel que soit le mode de gestion – association ou opérateur externe privé ou public –, le gestionnaire s'oblige à améliorer son management. Quels sont les mécanismes d'évaluation de la qualité du management (indicateurs de performance, *benchmarking*, contrôle qualité,...) ? Existe-t-il une autorité, différente du gestionnaire, accessible aux bénéficiaires du service, chargée de contrôler les recommandations du gouvernement et la durabilité du service ? Cette autorité a-t-elle accès à la sanction ultime de retrait de la licence, de la rupture du contrat de concession, et de la recherche d'un autre gestionnaire du service ? Mais cette autorité est-elle aussi capable de rappeler au gouvernement ses engagements notamment dans le financement des réhabilitations ?

Question 2 : Gestion intégrée de l'eau ?

Partout dans le monde, l'approche intégrée est encouragée à cause de la pression sur les ressources en eau. Le secteur de l'irrigation prend honnêtement sa part à ce mouvement par ailleurs utile pour la durabilité du service (par ex. la gestion conjointe des eaux souterraines et de surface pour éviter la concurrence entre des canaux bien gérés et des nappes phréatiques pas contrôlées). Mais ceci peut aussi occulter toutes les questions posées ci-dessus. L'intérêt de l'approche intégrée est il

suffisamment clair pour les acteurs ou cela n'apporte t-il pas confusion et délais pour les décisions difficiles et urgentes nécessaires à la durabilité du service ? Est-ce un alibi pour ne rien faire ?

Question 3 : La politique agricole et la politique de l'eau

La complexité propre au service de l'eau en irrigation est la coexistence de deux grandes politiques publiques particulièrement sensibles : la politique agricole et la politique de l'eau. Chacune a un impact important sur le comportement des agriculteurs. La politique agricole, dans son volet social, vise souvent à protéger le revenu de certains agriculteurs qui contribuent à des missions publiques *(autosuffisance alimentaire du pays, protection des paysages, lutte contre la désertification).* La politique de l'eau vise, en particulier, à décourager les aides publiques qui inhibent les comportements économes en eau. L'agriculture irriguée se trouve à la croisée des deux politiques avec souvent des règles et des objectifs contradictoires. Quels sont les effets latéraux d'une politique sur l'autre ? Le prix de l'eau est-il une option pour soutenir le revenu de certains agriculteurs ?

Conseil de la TF3 : cette dernière question doit être mise en avant dans les discussions avec les autres secteurs de l'eau pour expliquer les complexités spécifiques à la durabilité de l'agriculture irriguée.

Conclusion et propositions pour le dialogue

Cette charte sera utile au progrès vers la durabilité des services en irrigation, drainage et contrôle des crues à condition qu'elle soit discutée, améliorée, enrichie et finalement adoptée par encore plus de comités nationaux. Après le 3e forum mondial de Kyoto, ce texte est une modeste contribution au débat mondial autour des notions de coût, de prix et de valeur de l'eau. Il est trop souvent dit que « faire payer l'eau aux agriculteurs » suffirait à résoudre les conflits entre utilisateurs d'eau. Cette assertion ignore la réalité économique de l'agriculture irriguée. C'est seulement en comprenant cela que les enjeux socio-économiques peuvent être vraiment évalués et que des instruments économiques adaptés peuvent être développés pour diminuer les tensions sur les ressources en eau. Néanmoins la CIID sait que des progrès importants doivent être faits. Le dialogue et l'action sont les meilleurs moyens d'y parvenir.

(Reçu le 25 mai 2005)

GESTION DE L'EAU DANS LES PÉRIMÈTRES IRRIGUÉS : MAINTIEN D'UNE PRODUCTION DURABLE ET RÉHABILITATION DES SOLS SALÉS

WATER MANAGEMENT IN IRRIGATED AREAS: DURABILITY OF THE PRODUCTION SYSTEMS AND REHABILITATION OF THE SALINE SOILS

Roland **Poss** [1], Mohamed **Badraoui** [2]
Mohamed **Belghiti**, Brahim **Soudi**, Aziz **Bellouti**,
Olivier **Grünberger** et Claude **Hammecker**

(*note présentée par* Roland Poss)

RÉSUMÉ

Le développement de l'agriculture dans les zones arides et semi-arides, et le développement de la riziculture partout dans le monde, reposent sur une extension des zones irriguées. Cette extension devient de plus en plus difficile pour différentes raisons, dont les contraintes qui pèsent sur la ressource : l'eau est en quantité limitée et l'agriculture est en compétition avec les usages non-agricoles. Il en résulte que les agriculteurs utilisent de plus en plus des eaux de moins bonne qualité. Dans toutes les zones arides à semi-arides, de l'eau salée est utilisée à des degrés divers pour compléter l'irrigation quand l'eau de bonne qualité vient à manquer. Les agriculteurs sont appelés à produire davantage, avec moins d'eau et une eau de moins bonne qualité, tout en restant compétitifs et assurant la durabilité du système de production. Ces facteurs conduisent tous les acteurs à tenter d'améliorer les systèmes existants.

Le Maroc, dont les superficies irriguées sont passées de 137 000 hectares en 1967 à 1,4 millions d'hectares aujourd'hui, est confronté à ces problèmes. Au niveau institutionnel, l'entretien des systèmes d'irrigation a été négligé, en partie en raison d'un faible taux de recouvrement des redevances d'eau. Il en résulte des fuites importantes : les quantités livrées au niveau des exploitations ne sont souvent plus suffisantes en été, ce qui contraint les agriculteurs à utiliser des eaux chargées en sels. Les dégradations non réparées se sont accumulées au cours du temps, conduisant à des travaux de réhabilitation très coûteux. Un total de 200 millions d'euros a été dépensé entre 1983 et 2000 pour réhabiliter les grands périmètres irrigués, et 160 millions supplémentaires sont engagés pour la période 2000-2004. Au niveau des exploitations agricoles l'efficacité de l'utilisation de l'eau reste faible. Alors que seulement 6 % des exploitations pratiquent l'irrigation localisée, le développement de ces techniques est un défi majeur à relever.

Plusieurs types de dégradation du milieu physique sont observés au Maroc. Les nappes phréatiques peu profondes sont polluées par les nitrates dans certains grands périmètres à cultures intensives. Des pollutions industrielles se développent à proximité des complexes liés aux périmètres irrigués (sucre...). L'hydromorphie induite par la remontée de la nappe phréatique, consécutive à un aménagement défectueux (drainage insuffisant) et à la sur-irrigation, est fréquente. Mais les deux problèmes environnementaux majeurs sont l'érosion hydrique et la salinisation secondaire. L'érosion cause un envasement des retenues, une détérioration des ouvrages et la turbidité des eaux. La

1. Directeur de recherches à l'IRD (Institut de recherche pour le développement).
2. Correspondant de l'Académie d'Agriculture, professeur de Sciences du Sol à l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, BP 6202, Rabat-Instituts, Rabat, Maroc.

Les Colloques de l'Académie d'Agriculture de France, 2005, n° 1. Colloque du 19 mai 2005.

salinisation secondaire, qui se développe par remontée capillaire dès que la nappe est située à moins de 2 mètres de la surface du sol, affecte déjà 350 000 hectares.

La salinisation secondaire conduit le plus souvent à la formation de sols salés sodiques (conductivité de l'extrait de la pâte saturée supérieure à 4 mS/m et proportion de sodium sur le complexe d'échange supérieur à 10 %). La réhabilitation de ces sols passe par la diminution de la teneur en sels et par le remplacement du sodium par le calcium sur le complexe d'échange selon la réaction :

$$2\ Na^{+}\text{—Clay} + Ca^{2+} = Ca^{2+}\text{—Clay} + 2\ Na^{+}$$

Cela nécessite l'apport de quantités d'eaux suffisantes et d'un amendement. L'amendement le plus souvent utilisé est le gypse, en raison de son faible coût. Une autre option est l'utilisation d'acide sulfurique, quand le sol contient du $CaCO_3$. Le principe est de dissoudre du $CaCO_3$ pour libérer du calcium. Cette option, utilisée à grande échelle en URSS et aux États-Unis dans le passé, est en cours de développement rapide au Maroc, où cinq petits générateurs d'acide sulfurique in situ sont opérationnels. Bien que l'eau d'irrigation traitée ne soit pas vraiment acide (pH 6,5 à 6,8), la diminution de pH est suffisante pour dissoudre en partie les carbonates et produire du calcium en excès dans la solution du sol. La proportion de sodium sur le complexe (ESP) a diminué de 17 à 6 % en une semaine d'irrigation dans l'horizon de surface, et la proportion de sodium dans la pâte saturée (SAR) a diminué sur l'ensemble du profil après 5 semaines. Une autre option possible en milieu carbonaté est la phytoremédiation. Son principe est d'utiliser le CO_2 de la respiration racinaire et l'excrétion de protons par les racines pour acidifier le milieu et produire la libération du calcium. Dans des essais conduits au Moyen Orient la phytoremédiation a prouvé qu'elle était une option efficace et peu coûteuse, dont les résultats sont comparables à ceux obtenus avec du gypse.

Pour toutes les cultures sauf le riz, la stratégie est de lixivier les sels de sodium à travers le profil et d'évacuer les eaux chargées en sel dans un réseau de drainage. Or, si les sols salés présentent généralement une perméabilité suffisante pour permettre la circulation des solutés, cette perméabilité diminue fortement lorsque les sels solubles sont évacués si le cation dominant sur le complexe d'échange est le sodium. Il est donc indispensable d'apporter l'amendement avant ou simultanément à l'eau de drainage pour éviter une détérioration pratiquement irréversible de la structure. Le rôle de la matière organique est considérable dans ce domaine pour maintenir la perméabilité du sol. Le mécanisme est moins un effet structurant des agrégats du sol que la création de chemins préférentiels de circulation de l'eau dans des horizons à faible stabilité structurale. La gestion des résidus de récolte est donc un point fondamental dans ce domaine.

Le déversement de grandes quantités d'eau salée des réseaux d'irrigation dans les rivières des régions sèches pose des problèmes environnementaux considérables. C'est pourquoi une équipe australienne a développé le concept de concentration biologique séquentielle. Le principe est de concentrer le sel dans les eaux de drainage en utilisant la même eau pour irriguer des plantes de plus en plus tolérantes à la salinité. L'eau fortement chargée en sel résultante est utilisée pour l'aquaculture, puis distillée par l'énergie solaire afin de produire de l'eau potable. Le seul déchet résultant est constitué par les sels, qui peuvent être facilement stockés.

Dans le cas du riz, le drainage vertical du sol est fortement ralenti, donc la lixiviation devient difficile. Ce ralentissement provient souvent de la présence d'une semelle de labour voulue par l'agriculteur pour maintenir l'eau d'irrigation dans la parcelle. Mais des travaux menés au Sénégal et en Camargue ont montré que le ralentissement provenait également du piégeage d'air entre la nappe phréatique de moyenne profondeur et la lame de surface. Il en résulte l'existence de deux compartiments d'eau qui restent disjoints. Les simulations montrent que le piégeage d'air est très probablement un phénomène très fréquent dans les sols rizicoles à structure fine.

Les sels doivent donc être retirés en utilisant la lame d'eau de surface. Il ne s'agit pas de dessaler l'ensemble du profil, mais de dessaler chaque année l'horizon dans lequel le riz développe son système racinaire. Cette opération, somme toute assez peu coûteuse en eau, permet de préserver la qualité du sol. Dans de nombreux cas le lessivage est assuré par les fuites dans les diguettes ou les débordements par-dessus ces dernières à la suite des pluies. Les problèmes de structure sont moins importants dans les sols de rizière. Des travaux en Thaïlande ont en effet montré que le Fe^{2+} jouait un rôle comparable au calcium dans le maintien de la floculation des sols réduits.

SUMMARY

Meeting the needs for a growing world population relies on the extension of the irrigated areas. However, this extension becomes increasingly difficult, water resources are limited and the agricultural use of water is in dramatic competition with non-agricultural uses. As a result farmers use salted water to supplement their irrigation, putting production systems at risks of accelerated degradation.

Morocco typifies this situation. At the institutional level, the maintenance of the irrigation systems has been neglected, leading to expensive rehabilitation costs (160 million euros in 2000-2004). At farm level water use efficiency remains low and the development of localised irrigation techniques is a major challenge. The environment is being degraded, the most severe forms being erosion and secondary salinisation (350 000 hectares).

The rehabilitation of saline soils passes by a decrease in salt content and the replacement of sodium by calcium on the exchange complex. Even though gypsum is the most frequent amendment, another option is sulphuric acid. The principle is to dissolve CaCO3 to release calcium. This option is being developed in Morocco, where 5 small sulphuric acid generators are operational. Although the treated water is not strongly acid (pH 6,0 to 6,8), carbonates are partly dissolved and calcium released in the soil solution. Exchangeable sodium percentage decreased in the topsoil from 17 to 6 % in one week. Another possible option in carbonated soils is phytoremediation. Its principle is to use CO_2 produced by root and micro-organism respiration and the excretion of protons by the roots to acidify the soil and release calcium. Published results are comparable with those obtained with gypsum.

For all cultures except rice, the strategy is to leach the sodium salts through the soil. However, soil permeability strongly decreases when soluble salts are leached if the dominating cation is sodium. It is thus essential to bring the amendment before or simultaneously to the water to avoid practically irreversible soil degradation. Moreover, the discharge of large quantities of salted water in the water bodies poses considerable environmental threats. As a consequence, an Australian team has developed the concept of sequential biological concentration. The principle is to concentrate the salts in the drainage water by using the same water to irrigate increasingly tolerant plants. The resulting brine is then used for aquaculture, then distilled by solar energy to produce drinking water. The only resulting waste consists in easily disposable salts.

In the case of rice, the vertical drainage of the soil is strongly impaired, often due to handmade plough pan to keep the water in the topsoil. However, studies in Senegal and Camargue have shown that air entrapment between the groundwater and the surface water results in two separated water compartments. Simulations have proved that air entrapment is probably a widespread feature insubmerged soils. Salts must thus be withdrawn in the surface water, in order to remove the salts from the topsoil. This rather inexpensive operation is usually enough to preserve soil quality. Soil structure is less important in submerged soils than in other environments. A study in Thailand indeed showed that Fe^{2+} played a role comparable to calcium in maintaining clay flocculation.

The gap keeps increasing between the developed countries, that can manage and rehabilitate their soils, and the developing countries, where the soils are seriously at risk in the medium term.

(Reçu le 25 mai 2005)

CONSÉQUENCES DES BARRAGES SUR L'ENVIRONNEMENT

ENVIRONMENTAL IMPACTS OF DAMS

par Christian **Lévêque** [1]

RÉSUMÉ

La prolifération des lacs de barrages à travers le monde s'est faite le plus souvent à partir d'une démarche sectorielle d'usage de l'eau. Une étude menée par la Commission Mondiale des barrages (C.M.B.) fait un constat globalement positif des bénéfices tirés de ces barrages, mais sévère quant aux conséquences sociales et environnementales. On a, par exemple, sous-estimé les conséquences sanitaires liées à l'existence des barrages, leur rôle dans la production des GES (gaz à effet de serre), les conséquences en matière d'érosion des côtes et des deltas, les risques que font courir le vieillissement des barrages dans un contexte climatique qui évolue rapidement. Dans une perspective de développement durable, il est nécessaire que les projets futurs fassent l'objet d'une plus large concertation. Les petits barrages paraissent poser moins de problèmes environnementaux, et mieux intégrer la concertation entre les acteurs du développement, mais leurs conséquences sur le cycle de l'eau sont encore mal évaluées, et leurs conséquences sur la santé nécessitent d'être mieux prises en compte.

SUMMARY

The number of dams all around the world is estimated to 45 000 large dams and at least 800 000 small dams, half of them in China. Half of the dams were built for irrigation. The report of the World Commission of Dams (2000) stated that dams have made an important and significant contribution to human development, and the benefits derived from them have been considerable. However in too many cases an unacceptable and often unnecessary price has been paid to secure those benefits, especially in social and environmental terms, by people displaced, by communities downstream, by taxpayers and by the natural environment. And lack of equity in the distribution of benefits has called into question the value of many dams in meeting water and energy development needs when compared with the alternatives. We have to move from a sectoral management of the water towards a more integrated approach taking into account other issues than the water ressource alone. For instance human health has not enough been considered in the planning of dams. Some unexpected environmental issues also appeared with time such as coastal erosion as a result of sediment entrapment in reservoirs, as well as the production of greenhouse gaz in eutrophic reservoirs. Large dams also are responsible for river fragmentation and disappearance of endemic fish species. The impact of small dams on the environment is less than for large dams, and they are more integrated in the local economy. However, their impact on human health and on the water cycle are not yet well known. One of the main risks associated with dams, large and small, is their maintenance. Dam breaks occur time to time and their probability increases with the age of the dam and bad maintenance. Along with all development choices, decisions on dams and their alternatives must respond to a wide range of needs, expectations, objectives and constraints. They are a function of public choice and public policy. To resolve underlying conflicts about the effectiveness of dams and their alternatives, a broad consensus is needed on the norms that guide development choices and the criteria that should define the process of negotiation and decision-making.

1. Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France. Antenne IRD/MNHN, 43 rue Cuvier, 75006 Paris.
Courriel : cleveque@mnhn.fr

Les Colloques de l'Académie d'Agriculture de France, 2005, n° 1. Colloque du 19 mai 2005.

After more than two years of intense study, dialogue with those for and against large dams, and reflection, the Commission believes there can no longer be any justifiable doubt about two key points :

1. By bringing to the table all those whose rights are involved and who bear the risks associated with different options for water and energy resources development, the conditions for a positive resolution of competing interests and conflicts are created ;

2. Negotiating outcomes will greatly improve the development effectiveness of water and energy projects by eliminating unfavourable projects at an early stage, and by offering as a choice only those options that key stakeholders agree represent the best ones to meet the needs in question.

Le besoin d'assurer un approvisionnement permanent en eau douce a été à l'origine d'une prolifération de barrages sur les rivières en vue de stabiliser le débit et de créer des retenues à usages multiples pour la production d'électricité, l'irrigation, l'alimentation des centres urbains, etc.

A l'heure actuelle on estime qu'il y a 45 000 « grands barrages » (barrages de plus de 15 m de haut ou de plus de 5 m de haut et d'un volume d'au moins 3 Mm^3 (CMB, 2000), dont la moitié en Chine, et environ 800 000 barrages de plus petites dimension (11). Des estimations récentes évaluent le volume d'eau stocké dans les réservoirs de 6 000 à 7 000 km^3 (19). La moitié des grands barrages du monde a été construite à des fins d'irrigation exclusivement et 30 à 40 % des 271 millions d'hectares irrigués dans le monde le sont à partir de barrages. À ce jour, près de la moitié des fleuves compte au moins un grand barrage (CMB, 2000).

1. Pour une approche systémique

La Commission Mondiale des Barrages a rendu en l'an 2000 un verdict sévère (voir encadré). « Les investissements énormes réalisés ainsi que les innombrables conséquences des grands barrages ont provoqué des conflits à propos du site et des impacts, faisant des barrages - existants ou en projet - l'un des dossiers les plus chaudement débattus dans le domaine du développement durable ». La plupart des grands barrages d'irrigation et hydroélectriques n'auraient même pas atteint leurs objectifs

Une évaluation sans concession...

Après plus de deux ans d'études et de dialogue avec les partisans et les adversaires des grands barrages, la Commission Mondiale des Barrages a estimé que les points suivants étaient raisonnablement bien établis (CMB, 2000) :

- Les barrages ont largement contribué au développement humain, et les avantages qui en résultent ont été considérables.
- Dans de trop nombreux cas, le prix payé par les personnes déplacées, les communautés en aval, les contribuables et le milieu naturel pour s'assurer de ces bénéfices a été inacceptable et souvent inutile, particulièrement du point de vue social et environnemental.
- L'absence d'équité dans la répartition des bénéfices a mis en question la valeur réelle de la contribution de nombreux barrages à la satisfaction des besoins en eau et en énergie pour le développement, au regard des autres options.
- Des résultats négociés amélioreront considérablement l'efficacité des projets hydrologiques et énergétiques en éliminant à un stade précoce les projets les plus discutables. Seuls seront retenus les projets qui, aux yeux des parties intéressées, sont les plus à même de répondre aux besoins en question.

La CMB souligne également que les grands barrages conçus à des fins d'irrigation n'ont pas, dans l'ensemble, atteint les objectifs fixés et ont été économiquement moins rentables que prévu (les dépenses engagées n'ont pas été récupérées). De fait, l'évaluation du cycle de planification et de réalisation des projets de grands barrages a révélé une série de limitations, de risques et de lacunes dans la manière dont les installations ont été planifiées. En particulier l'évaluation des options possibles est généralement limitée aux paramètres techniques et à l'application étroite des analyses économiques coûts-bénéfices. Et de manière générale, la participation des populations à la prise de décision, ainsi que l'évaluation des conséquences sociales et environnementales ont eu lieu tardivement et ont été de portée limitée.

(CMB, 2000). Les défenseurs évoquent les exigences du développement économique et social et la contribution des barrages : irrigation, électricité, maîtrise des inondations et approvisionnement en eau, etc. Les détracteurs mettent en avant les conséquences négatives des barrages, comme le poids de la dette, les dépassements de coûts, le déplacement de populations et leur appauvrissement, la destruction d'écosystèmes importants et de ressources halieutiques, et le partage inéquitable des coûts et avantages (23).

De fait, pendant longtemps la gestion de l'eau s'est faite en fonction d'objectifs sectoriels focalisés autour d'usages spécifiques de la ressource physique : alimentation en eau des villes, production d'électricité, agriculture, etc. Le plus souvent les implications écologiques ou sociales étaient marginalisées, voire ignorées. La montée en puissance d'une sensibilité environnementale et les nombreuses conférences internationales depuis deux décennies ont promu l'idée d'une gestion intégrée des ressources qui prenne en compte les différents usages et les conflits potentiels entre utilisateurs. On parle maintenant de gestion intégrée des bassins versants dans laquelle l'eau est toujours une ressource mais également un milieu nécessaire à la vie aquatique, et un élément indispensable à la vie terrestre. La démarche systémique quant à elle, vise à comprendre et à formaliser les interactions entre les divers usages de l'eau par les sociétés humaines, les besoins de la nature et de la biodiversité, les comportements sociaux, et les facteurs économiques. C'est un paradigme qui reformule en quelque sorte la manière dont les hommes interagissent avec la nature. Elle débouche naturellement vers le développement durable et la recherche de compromis entre les besoins des sociétés humaines et la pérennisation des ressources.

Même si la démarche systémique est loin d'être opérationnelle, elle nous amène à élargir le champ de la réflexion et à prendre en compte un ensemble de critères jusque là marginalisés. Ainsi, dans le cas des réservoirs artificiels, la santé humaine, la biodiversité, les interactions avec le climat, sont autant de domaines qui doivent être pris en compte au même titre que les arguments sectoriels et économiques permettant d'examiner les différentes conséquences d'un barrage sur l'ensemble du socio-système dans lequel il s'inscrit, et de justifier ou non leur construction ou leur pérennisation.

2. Conséquences des barrages par rapport au cours d'eau

A. Modification de l'habitat aquatique et fragmentation des cours d'eau

Des milieux aquatiques perturbés

La première conséquence évidente des barrages est de transformer un écosystème d'eau courante dont le fonctionnement est contrôlé par les variations saisonnières du débit, en un milieu lacustre le plus souvent stratifié avec un hypolimnion anoxique et, à l'aval, un milieu courant dont le fonctionnement hydrologique est sous le contrôle des éclusées provenant du barrage en dehors de toute considération des cycles biologiques. Ce tronçon aval au débit régulé perd ainsi la majeure partie des zones inondables qui sont nécessaires au bon fonctionnement écologique des fleuves de même que les zones humides associées au lit majeur.

Dans ce contexte, les peuplements aquatiques sont profondément modifiés : disparition des espèces rhéophiles en amont compensée en partie par le développement d'espèces d'eau stagnantes ; disparition d'espèces qui se reproduisent dans les zones inondables à l'aval. Les barrages sont responsables de la disparition définitive d'espèces rhéophiles endémiques qui ne peuvent s'adapter aux nouvelles conditions écologiques qui leurs sont offertes.

L'une des conséquences les plus importantes sur le plan biologique est la rupture de la connectivité longitudinale et la fragmentation des cours d'eau, entravant la circulation des organismes qui ont besoin de migrer pour accomplir leur cycle biologique. C'est le cas de nombreuses espèces de poissons, mais également de crevettes d'eau douce *(Macrobrachium)*. L'utilisation de passes à poisson a eu un succès limité, la technologie utilisée n'étant pas toujours adaptée aux sites et aux espèces concernées.

Poissons migrateurs

Une des conséquences les plus importantes de l'aménagement hydroélectrique du Bas-Rhône concerne les poissons migrateurs, en particulier l'alose (Pattee, 1988). Avant 1950, l'alose remontait sur l'ensemble du bassin du Rhône jusqu'au Doubs par la Saône et au lac du Bourget par le Haut-Rhône. Le premier aménagement hydroélectrique, Donzère-Mondragon, mis en service en 1952, a coupé d'emblée l'accès à 75 % du bassin pour les poissons migrateurs. Les autres sites de fraie ont été fortement compromis par la mise en service de l'aménagement de Vallabrègues en 1970. A la fin des années 1980, l'alose n'était présente de façon significative qu'à l'aval de l'aménagement de Vallabrègues, les dispositifs de franchissement des seuils et des barrages étant peu ou pas efficaces pour cette espèce.

Débits réservés

Débit réservé, débit de référence biologique, débit biologique minimum acceptable, etc... sous ces termes on désigne le débit qu'il serait souhaitable de maintenir à l'aval des barrages pour garantir au milieu aquatique des conditions acceptables pour la conservation des espèces animales et végétales. Les débits réservés constituent un outil de régulation pour concilier les différents usages de l'eau. En France ils font partie de la loi pêche de 1984 qui recommande de maintenir 1/10 du module afin de préserver la vie piscicole.

Cette volonté du législateur de mieux équilibrer les relations entre usages et préservation ne suscite pas, loin s'en faut, une adhésion générale. Pour certains acteurs elle est comprise comme une contrainte supplémentaire, voire un manque à gagner (selon EDF, le maintien des débits réservés représente un manque à produire équivalent à 500 MF par an en France... (5), soit comme un palliatif toujours insuffisant pour restaurer des conditions de milieu acceptables pour la flore et la faune (20).

Malgré tout, de nombreuses méthodes de calcul des débits réservés ont été développées, dont certaines à partir d'expériences pilotes, et de retours d'expérience. La recherche d'un optimum du rapport efficacité pour le milieu/coût pour la collectivité répond aux préoccupations de la directive cadre sur l'eau (2). L'application des débits réservés doit donc être souple et adaptative en fonction des réels besoins des systèmes fluviaux. Ainsi, la valeur des débits réservés pour les chutes du bas Rhône mises en service avant 1980 est comprise entre 1/100 et 1/300 du module en hiver et entre 1/50 et 1/300 en été. Par contre dans le haut Rhône, le débit réservé des chutes mises en service à partir de 1980 est comprise entre 1/5 et 1/40 en hiver et 1/3 et 1/20 en été (2).

Sur le Rhône toujours, l'expérience a montré qu'une augmentation des débits réservés avait des effets très positifs sur les habitats aquatiques et le peuplement piscicole. Mais il faut aussi tenir compte de la perception des paysages par les citoyens : perception visuelle de l'écoulement qui se rapproche de la situation d'autrefois, réhumidification des rives avec la possibilité de développement d'une végétation hygrophile, développement des loisirs nautiques tels que canoë-kayak, pêche, etc... Ces « avantages » sociaux peuvent contrebalancer la « perte » sectorielle d'exploitation des barrages. Encore faut il les prendre en compte.

B. Modification du cycle érosion-transport-sédimentation

Rétention des sédiments et envasement

Les barrages interrompent le transit sédimentaire, que ce soit la charge grossière en saltation ou les limons en suspension. L'accumulation de matériaux dans les réservoirs réduit les capacités de stockage et nécessite des opérations d'entretien périodique pour évacuer les sédiments. On estime que les capacités de stockage de bon nombre de barrages vont péricliter, notamment dans les régions arides et semi-arides, là où ils sont les instruments essentiels de maîtrise des ressources en eau (14).

Les informations recueillies sur les petits barrages d'Afrique du Nord montrent que l'envasement est variable selon la nature des sols et les aménagements : de 1,8 t/ha/an en Tunisie centrale sur un bassin boisé et aménagé en dispositifs anti-érosifs, à 3,8 t/ha/an sur le plateau basaltique de Syrie et à 50 t/ha/an sur un petit bassin marneux du Maroc. En Tunisie, un suivi sur 24 petits barrages

met en évidence une perte de 22 % de la capacité initiale de stockage pour une durée d'existence moyenne de 7,7 ans, soit une perte moyenne de 4,6 % par an (Albergel et al., 2004).

Le colmatage rapide des réservoirs va à l'encontre d'un développement agricole durable.

Les pratiques agricoles et l'occupation des sols jouent un rôle important dans les processus d'érosion. Si l'on autorise la déforestation à l'amont des réservoirs, la terre mise à nue est rapidement entraînée par le ruissellement, sédimente dans les lacs et réduit considérablement leur capacité de stockage. L'aménagement anti-érosif des versants permettrait d'accroître la durée de vie et il est possible de contrôler en partie le phénomène de comblement des barrages en appliquant un certain nombre de mesures de gestion (4). Sinon on risque de se retrouver dans une situation du « toujours plus de barrages », dont les conséquences économiques et environnementales restent à évaluer.

Les chasses d'eau

Les chasses d'eau ont pour but d'évacuer une partie des matériaux accumulés dans une retenue afin d'éviter une sédimentation trop importante qui pourrait obstruer les conduites et gêner le fonctionnement du barrage. Ces chasses consistent en une vidange par l'abaissement de la retenue puis l'ouverture complète des vannes du barrage. Il en résulte qu'une partie des sédiments ainsi que l'eau chargée en azote ammoniacal et en hydrogène sulfureux rejoignent la rivière modifiant la qualité de l'eau tout en colmatant éventuellement les habitats aquatiques. Ces épisodes peuvent être traumatisant pour le milieu aquatique lorsqu'ils sont conduits sans précaution, et ils furent très souvent dans le passé à l'origine de véritables catastrophes écologiques, par défaut d'anticipation dans leur mode de gestion (CEMAGREF, 2004). Afin de minimiser les conséquences écologiques, les modalités des chasses ont été formalisées sur le Haut Rhône, par un accord franco-suisse de 1967, fixant les débits et les dates à respecter. C'est ainsi que tous les trois ans, les chasses assurent le transit d'environ 1 500 000 tonnes de matériaux fins entre Génissiat, Seyssel, Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon et Sault-Brénaz. Mais ce n'est pas encore le cas partout dans le monde...

Érosion côtière

L'érosion côtière résulte le plus souvent de l'impact cumulé de plusieurs facteurs, certains naturels, d'autres induits par les activités humaines. Il est très rare qu'un seul facteur soit à l'origine du phénomène de telle sorte que l'on a tendance à sous évaluer l'impact des projets d'aménagement, pris de manière individuelle, sur les transports sédimentaires (6). Les principaux facteurs naturels d'érosion sont les marées, les courants marins, les tempêtes. Actuellement cette érosion n'est plus compensée par les apports littoraux et surtout par les apports des fleuves qui, autrefois, comblaient le déficit sédimentaire. Les ouvrages côtiers, les barrages et travaux d'irrigation, les opérations de dragage, les prélèvements de sable et l'extraction de sédiments en mer, le défrichement des terrains côtiers, constituent les principales causes anthropiques de l'érosion. Chaque année, 100 millions de tonnes de sable qui servent à réapprovisionner de manière naturelle des habitats côtiers en Europe sont utilisées pour le secteur de la construction ou piégées derrière des barrages fluviaux ou par des travaux de génie civil. Un cinquième du littoral de l'Union européenne est sérieusement atteint par l'érosion côtière. Par endroit, le recul est de 0,5 à 2 mètres par an, et même de 15 mètres dans quelques cas alarmants.

L'érosion marine et le recul des côtes est un phénomène bien connu pour un grand nombre de fleuves aménagés tant en Europe qu'aux États-Unis. Ainsi, on estime que les aménagements du Rhône et de ses affluents ont fait passer la charge alluviale livrée annuellement à la mer d'environ 30 millions de tonnes au début du XXe siècle à 12 millions de tonnes dans les années soixante et à seulement 8 millions de tonnes de nos jours. La réalisation des barrages hydroélectriques a joué un rôle important depuis 1945 mais l'abandon des terres agricoles en montagne avaient déjà réduit l'abondance de la charge alluviale des rivières dans les premières décennies du XXe siècle (18). On comprend ainsi l'érosion des plages de la Camargue et du Languedoc oriental rongées par une dérive littorale sous-saturée en sédiments.

L'érosion des côtes est actuellement un phénomène préoccupant sur la façade atlantique de l'Afrique de l'Ouest. Elle paraît surtout être la conséquence de la fermeture du barrage d'Akosombo sur la Volta et du barrage de Diama sur le fleuve Sénégal.

Cycle des éléments nutritifs

Les barrages interrompent non seulement le flux des sédiments mais aussi le flux des éléments nutritifs avec des conséquences sur la productivité du cours d'eau à l'aval et, dans le cas des grands fleuves, sur la productivité des zones côtières. L'exemple bien connu est celui du barrage d'Assouan : les apports de phosphate et de silicate au milieu côtier ne sont plus respectivement que 4 et 18 % des apports qui existaient avant barrage. On estime que cette réduction des apports associée à une surpêche est responsable de la baisse observée des pêcheries côtières au large du delta du Nil (7).

3. Conséquences en matière de santé humaine

Dans la plupart des pays, les plans d'eau créés à l'amont des barrages sont des lieux d'attraction des populations, soit pour le tourisme dans les pays du Nord, soit pour la baignade ou les activités ménagères dans les pays du Sud. En d'autres termes la création de plans d'eau, qui favorise par ailleurs le développement agricole ou l'alimentation domestique, a pour contrepartie de renforcer également les possibilités de contact des populations avec les maladies liées à l'eau, notamment en zone tropicale. Cet aspect est rarement pris en compte dans les projets de développement agricole, ou parfois même volontairement sous-estimé dans les prévisions économiques. Pourtant l'expérience montre que nombre d'épidémies résultent de la création de nouveaux plans d'eau, lorsque les précautions élémentaires ne sont pas prises. Cette composante sanitaire dans les pays tropicaux est probablement celle qui a été la plus négligée dans les projets de construction de barrages.

A. Maladies d'origine hydrique

Les maladies d'origine hydrique sont des maladies « de l'eau sale » causées par une eau contaminée par des déchets humains, animaux ou chimiques. Les maladies d'origine hydrique comprennent notamment le choléra, la thyphoïde, la polio, la méningite et l'hépatite A et B. Les êtres humains et les animaux peuvent être les hôtes des bactéries, des virus et des protozoaires qui causent ces maladies. L'emploi comme engrais d'eaux usées contaminées peut provoquer des épidémies de maladies comme le choléra.

Quand il n'y a pas d'installations sanitaires appropriées (on estime que 3 milliards d'êtres humains, par exemple, n'ont pas de sanitaires), les maladies d'origine hydrique peuvent se répandre rapidement. Les maladies diarrhéiques, qui sont les principales maladies d'origine hydrique, sont prévalentes dans de nombreux pays où l'épuration des eaux usées est insuffisante. En pareil cas, les déchets humains sont évacués à ciel ouvert dans des latrines, des fossés, des canaux et des cours d'eau, ou sont épandus dans les champs.

Les **cyanobactéries** ou algues bleues sont présentes dans le monde entier, notamment dans les eaux calmes, riches en nutriments. Certaines espèces de cyanobactéries produisent des toxines cyanobactériennes auxquelles les hommes et les animaux peuvent être exposés par de l'eau contaminée, que ce soit en la consommant ou en s'y baignant. Les effets les plus graves et les plus fréquents sur la santé sont dus à la consommation d'eau contenant des toxines (cyanobactéries) ou à l'ingestion d'eau lors d'activités récréatives. La maladie due aux toxines cyanobactériennes varie en fonction du type de toxine et du type d'exposition à l'eau ou liée à l'eau (eau de boisson, contact avec la peau, etc.). Les symptômes chez l'être humain sont divers, comprenant irritation cutanée, crampes d'estomac, vomissements, nausée, diarrhée, fièvre, angine, céphalées, douleurs musculaires et articulaires, vésicules autour de la bouche et atteinte hépatique. Les personnes qui nagent dans des eaux contenant des toxines cyanobactériennes peuvent avoir des réactions allergiques telles que l'asthme, une irritation des yeux. Les animaux, les oiseaux et les poissons peuvent également être intoxiqués par de fortes concentrations de cyanobactéries qui produisent des toxines.

Dans les pays en développement, les diarrhées sont une des causes de mortalité importante. En 1998 on estimait qu'elles avaient tué 2,2 millions de personnes, surtout des enfants de moins de 5 ans (22). Chaque année il y aurait de l'ordre de 4 milliards de cas de diarrhées dans le monde.

B. Maladies à support hydrique

Parmi les maladies à support hydrique, on peut citer le ver de Guinée (draconculose) et la schistomosiase (bilharziose). Ces maladies sont causées par une variété d'helminthes, qui infectent les êtres humains. Bien qu'elles n'entraînent généralement pas la mort, elles peuvent être débilitantes.

Souvent, la prévalence de maladies à support hydrique augmente quand on construit des barrages. En effet, l'eau stagnante qui s'accumule derrière un barrage offre des conditions idéales aux hôtes intermédiaires tels que les mollusques. Par exemple, le barrage d'Akosombo, sur le Lac de la Volta, au Ghana, et le Grand Barrage d'Assouan, sur le Nil, en Egypte, sont à l'origine d'énormes accroissements de schistosomiase dans ces régions. Par ailleurs, au Mali, une enquête effectuée dans 225 villages situés dans des milieux écologiques différents a constaté que la prévalence de schistosomiase urinaire était cinq fois plus élevée dans les villages alimentés par de petits barrages (67 %) que dans les villages de la savane plus sèche (13 %) (12).

Les **bilharzioses** sont des infestations parasitaires dues à des vers plats appelés schistosomes vivant dans les vaisseaux sanguins. La maladie se contracte dans les eaux stagnantes où vivent des mollusques qui servent d'hôtes intermédiaires à l'origine des larves infestantes et sans lesquels les parasites ne peuvent effectuer leur cycle. Les aménagements hydroagricoles créent un contexte favorable à leur développement, rendant possible l'infestation d'une population qui vient utiliser cette eau de surface (jeux, baignade, lessive...). On observe ainsi que ce sont les enfants qui fréquentent le plus les points d'eau qui sont les plus contaminés. Dans ces nouvelles zones agricoles, les mouvements de population engendrés par l'extension des aires cultivables irrigables favorisent l'importation du parasite par des sujets originaires d'autres régions. Cette maladie parasitaire se range juste après le paludisme pour l'importance de son impact sur la santé publique et sur le développement socio-économique.

C. Maladies transmises par des vecteurs liés à l'eau

Des millions de gens ont des infections transmises par des vecteurs, tels que les moustiques ou les mouches tsé-tsé, qui se reproduisent et vivent dans ou près de l'eau, polluée ou non. Ces vecteurs infectent les humains avec le paludisme, la fièvre jaune, la dengue, la maladie du sommeil et la filariose. Le paludisme, qui est la maladie la plus répandue, est endémique dans une centaine de pays en développement, où quelques 2 milliards d'habitants sont à risques. Plus d'un million de personnes meurent de la malaria chaque année et environ 90 % des décès dus à la malaria ont lieu en Afrique sub-saharienne.

L'incidence de maladies transmises par des vecteurs liés à l'eau semble être en augmentation (22). Beaucoup de raisons expliquent cet état de choses : les hommes acquièrent de la résistance aux médicaments anti-paludiques ; les moustiques deviennent résistants aux insecticides employés ; les changements apportés à l'environnement créent de nouveaux gîtes de ponte ; l'évolution du climat et la création de nouveaux habitats d'eau stagnante, comme les retenues, qui sont de nouveaux sites de ponte pour les vecteurs.

4. Émission de gaz à effet de serre et qualité des eaux

Les lacs de barrage sont en général des milieux stratifiés avec un hypolimnion anoxique qui est le résultat de la décomposition de grandes masses de matière organique qui existaient avant l'inondation, ou qui résultent de la production primaire dans le lac lui-même. Ces milieux eutrophes sont les milieux d'élection des cyanophycées, et l'anoxie favorise la production de gaz à effet de serre.

A. Gaz à effet de serre

La création de réservoirs, notamment pour la production hydroélectrique, est en progression constante, tant au niveau régional qu'au niveau global. Cette évolution est renforcée par la perception de l'hydroélectricité comme alternative énergétique sans incidence climatique. Ainsi, l'IPCC ne mentionne dans son rapport de 2001 que des émissions occasionnelles de méthane. Les mesures d'émissions de gaz à effet de serre (GES) effectuées sur des réservoirs au Canada, en Finlande, aux États-Unis ainsi qu'en Amérique du Sud amènent à questionner cette évaluation. La Commission Mondiale des barrages (CMB, 2000) a constaté que tous les réservoirs échantillonnés à ce jour par les scientifiques produisent, comme les lacs naturels, des gaz à effet de serre en raison de la décomposition de la végétation et des apports de carbone du bassin versant.

Le volume de ces émissions est très variable néanmoins. Ainsi, un chercheur brésilien, Fearnside (10), a produit des résultats tendant à montrer que certains réservoirs artificiels laissent échapper des quantités très importantes de gaz à effet de serre (CO_2 et méthane). Ainsi, il serait sorti du réservoir de Balbina près de Manaus en Amazonie, dès sa première année de mise en eau en 1988, 10 millions de tonnes de CO_2 et 150 000 tonnes de méthane. En comparant le barrage de Balbina à une centrale au charbon qui produirait la même quantité d'électricité on en déduit que l'hydroélectricité serait 16 fois plus polluante ! Cette situation ne semble pas néanmoins être généralisable, les barrages amazoniens, surtout lors de leur mise en eau, étant très riches en matière organique décomposable. Ailleurs (c'est le cas notamment des réservoirs dans les zones boréales), les émissions brutes de gaz à effet de serre seraient considérablement plus faibles que celles des centrales thermiques.

Des travaux réalisés en Guyane depuis la mise en eau du barrage de Petit-Saut en 1994 ont montré que cet ouvrage était susceptible de produire en un siècle autant de gaz à effet de serre, en équivalent CO_2, qu'une centrale thermique à gaz de puissance équivalente. Au niveau mondial, les premières estimations publiées situent à environ 70 mégatonnes annuelles les quantités de méthane produites par les retenues artificielles de par le monde (21), un chiffre qui équivaudrait à la production en méthane de l'ensemble des rizières mondiales.

Le développement d'espèces invasives dans les réservoirs, telles que la jacinthe d'eau, produit d'énormes quantités de matière organique qui, en se décomposant, sont susceptibles également d'accroître la production des GES.

B. Qualité des eaux : le mercure

Des recherches menées sur le mercure en Guyane par des équipes françaises ont mis en évidence que le réservoir de Petit Saut est un véritable réacteur pour produire du méthylmercure qui est la forme toxique du mercure assimilable par les organismes. Les processus en jeu, de la remobilisation du mercure inorganique au niveau des sols à sa transformation sous l'effet de bactéries qui vivent dans les biotopes aquatiques peu oxygénés, ainsi que les phénomènes de bio-amplification (processus d'assimilation et de concentration des métaux lourds dans l'organisme) le long des chaînes alimentaires, sont à présent bien connus. Et les poissons carnassiers en fin de chaîne alimentaire sont fortement contaminés, ce qui rend leur consommation dangereuse si elle est fréquente (3).

5. Vieillissement des barrages et risques de rupture

Le terme vieillissement désigne toute dégradation du remblai ou des ouvrages annexes en fonction du climat, des conditions d'exploitation, d'événements particuliers, ou d'un défaut introduit dès le stade de la conception et de la construction de l'ouvrage. La sécurité des barrages exige une attention grandissante et des investissements accrus car les coûts d'entretien augmentent à mesure que le parc vieillit. De plus, le changement climatique pourrait modifier le régime hydrologique qui a servi de base à la conception des déversoirs.

Les risques environnementaux les plus souvent cités pour les barrages sont les conséquences de leur rupture éventuelle. Malgré leur faible charge, les petits barrages ont un taux de rupture

moyen qui est du même ordre de grandeur que pour les grands barrages. Comme il y a au moins cinquante fois plus de petits barrages que de grands barrages, quelques dizaines de petits barrages sont détruits chaque année dans le monde (1). Lorsqu'il s'agit d'un barrage de 50 000 m³, sa destruction passe inaperçue. Elle n'engendre que peu de catastrophes à l'aval, mais les sédiments stockés dans la retenue sont libérés dans le réseau hydrographique et le cours d'eau reprend son régime hydrologique naturel. Lorsqu'il s'agit d'un ouvrage de 10 à 15 m de haut avec un stockage de quelques centaines de milliers de mètres cubes, sa rupture peut créer des crues dangereuses de plusieurs centaines de mètres cube par seconde dans un fond d'oued qui n'a pratiquement plus vu passer d'eau depuis la construction du barrage et dans lequel des populations ont pu s'installer.

Les autorités chinoises ont reconnu, en 1998, que plusieurs milliers de leurs barrages construits dans les années 50 et 60, en mauvais état, sont menacés de rupture. Déjà 322 d'entre eux ont cédé, provoquant des centaines de morts.

Une étude réalisée par le CEMAGREF a mis en évidence que les petits barrages du Gers souffrent dans l'ensemble d'un vieillissement prématuré. Parmi les principales raisons : l'insuffisance des études préalables des sites et des sols, les simplifications de structure adoptées par les maîtres d'oeuvre pour diminuer le coût de la construction, le laxisme des propriétaires et le manque d'entretien et de suivi des ouvrages (13). Des méthodes d'aide à l'expertise pour le diagnostic et l'analyse de risques des barrages sont en cours de développement. L'objectif est de capitaliser la connaissance et le retour d'expérience des experts, et de mettre en place une base de connaissance sur les mécanismes de vieillissement des barrages (17).

La question du vieillissement peut se croiser avec celle de la modification du régime hydrologique des cours d'eau induite par une dérive climatique et l'amplification des extrêmes, que ce soit les crues ou le étiages. Des ouvrages fragilisés pourraient ainsi être menacés par des fortes crues.

6. Les « petits barrages »

En milieu rural, les petits barrages ou retenues collinaires apparaissent comme des aménagements propres à assurer les besoins en eau de petites communautés. Ce sont des ouvrages de retenue d'eau de surface, créés par une digue en terre, en pierre, ou en béton. Ils captent les eaux de ruissellement et contiennent quelques dizaines à quelques milliers de mètres cubes d'eau.

Dans la zone sahélienne d'Afrique de l'Ouest (nord Côte d'Ivoire, Burkina, sud Mali) les petits barrages collectent l'eau de ruissellement en saison humide constituant ainsi des réserves qui servent aux usages domestiques, à abreuver le bétail, et à la culture irriguée en saison sèche. Ce sont des aménagements propres à assurer les besoins en eau de petites communautés en croissance démographique, en réponse à la sécheresse qui sévit depuis quelques décennies dans le Sahel. Ils ont contribué de manière significative au développement d'activités agricoles (cultures maraîchères, élevage, vergers, riziculture) et à la création d'activités économiques nouvelles telles que la pêche. Des objectifs similaires ont conduit à une politique d'implantation de nombreux petits barrages en terres « açudes » dans le polygone de la sécheresse au nord-est du Brésil.

Leur construction ne crée pas *a priori* de nuisance particulière. De faibles dimensions et ne retenant qu'une petite quantité de la production en eau des bassins versants, les lacs collinaires sont considérés comme ayant un impact relativement faible sur l'environnement. Sur le plan écologique, ces petits barrages destinés à sécuriser des ressources en eau dans les espaces ruraux sont autant de zones humides ou d'oasis disséminées dans des paysages de savanes, facteur éminemment favorable à l'installation d'une faune et d'une flore plus diversifiées. Leur extension participe à la lutte contre l'érosion des sols et au reboisement. De fait les petits barrages ont contribué à une modification sensible du paysage rural, par un développement de la végétation arborée mais aussi par l'extension des zones de culture.

Aux « bénéfices » potentiels ou bien réels dans l'immédiat des petits barrages sont associés des « risques » plus ou moins bien évalués. Ainsi, si certaines recherches viennent conforter l'hypothèse que les lacs collinaires participent à la recharge des nappes, on sait peu de chose en ce qui concerne leur impact sur le débit des fleuves en aval. La multiplication de lacs collinaires à l'amont des grands barrages risque également de réduire les écoulements nécessaires à leur remplissage. Ceci a été vérifié au nord-est du Brésil où l'irrégularité accrue des apports annuels a aussi été démontrée.

De même, ces retenues subissent des pertes importantes dues à l'évaporation qui pourraient contribuer de manière plus générale à modifier le cycle de l'eau dans les zones concernées, sans que l'on en connaisse l'importance.

Conclusions

L'idée de durabilité renvoie à l'équilibre entre la transformation de la nature en réponse aux besoins des hommes et la capacité des communautés à intégrer, dans la régulation de ses usages, le souci de l'exploitation durable de la ressource. Au-delà des changements induits par l'aménagement il s'agit d'évaluer les chances de pérennité, tant des aménagements eux-mêmes que des usages divers dont ils font l'objet, à travers les modes de régulation mis en place.

Les deux grands pôles du débat sur l'opportunité des barrages illustrent l'éventail des opinions sur les expériences passées. D'un côté, l'accent est mis sur l'écart entre les avantages annoncés et les revenus réels d'un barrage. De l'autre, on insiste sur les défis que pose le développement des ressources hydrauliques et énergétiques dans la perspective de la construction nationale et de l'allocation des ressources. Pour les partisans des barrages, la réponse à toute question sur les résultats passés s'impose à l'évidence puisqu'ils avancent que les barrages ont, dans l'ensemble, répondu aux attentes dans plus de 140 pays et, à quelques exceptions près, ont fourni un éventail indispensable de services dans les secteurs de l'eau et de l'énergie. Les opposants font valoir que de meilleures solutions, moins coûteuses et moins lourdes de conséquences, ont fréquemment été négligées : des options à petite échelle comme des centrales électriques ou stations d'alimentation en eau décentralisées, aux options à plus grande échelle privilégiant l'efficience au point final d'utilisation et la gestion par la demande. Les barrages ont souvent été préférés à d'autres options susceptibles de contribuer à la réalisation des objectifs hydrauliques ou énergétiques à un coût plus faible, ou présentant, en matière de développement, des avantages plus durables et plus équitables.

Le débat sur les barrages met donc en question les opinions sur la manière dont les sociétés exploitent et gèrent les ressources en eau dans le contexte plus large des choix liés au développement. Le bon sens ne peut nier l'utilité des barrages, mais l'expérience nous a montré que le prix à payer en matière d'environnement et pour la société était parfois disproportionné par rapport aux bénéfices réels. Il est donc logique que les projets futurs fassent l'objet d'une plus large concertation, que les ouvrages soient réalisés dans une perspective à long terme et multi-usages pour les sociétés concernées, que les solutions alternatives soient bien explorées. Les projets pharaoniques devraient certainement se réduire fortement au profit d'aménagements de plus petite taille qui soient mieux pris en compte par les sociétés, voire gérés par les sociétés concernées. Le développement durable passe également par une meilleure gouvernance à tous les niveaux. Comme le souligne la CMB « nous devons examiner les projets proposés en matière de développement des ressources en eau et en énergie dans un contexte beaucoup plus large – un contexte qui reflète une connaissance approfondie des avantages et des conséquences, pour toutes les parties, des projets de grands barrages ou de leurs alternatives. Cela signifie que d'autres parties doivent prendre part à la décision et que nous devons tenir compte de nouveaux critères et perspectives. Nous devons mettre au point une approche qui permette de parvenir à un consensus autour des décisions qui auront été prises. Cela entraînera des changements fondamentaux dans la manière dont les décisions sont arrêtées. »

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) ALBERGEL J., NASRI S., BOUFAROUA M, DROUBI A. et MERZOUK A.A., 2004. – Petits barrages et lacs collinaires, aménagements originaux de conservation des eaux et de protection des infrastructures aval : exemple des petits barrages en Afrique du Nord et au Proche Orient. Sécheresse, **15,** n° 1, 78-86.

(2) CEMAGREF, 2004. – Barrages et développement durable en France. Synthèses, débats, rapports généraux. Ingéniéries, supplément au n° 38.

(3) CHARLET L. et BOUDOU A., 2002. – Cet or qui file un mauvais mercure. *La Recherche,* **359**, 52-59.

(4) DUNGLAS J., 2002. - Érosion des bassins versants et gestion des barrages. Conclusion. C.R. Acad. Agric. Fr, **88**, n° 1, 119-121.
(5) EDF 2000. - L'énergie hydraulique à EDF. 28 août 2000. www.**edf**.fr/download.php4?coeiid=726
(6) EUROSION, 2004. - Living with coastal erosion in Europe:Sediment and Space for Sustainability. *PART I - Major findings and Policy Recommendations of the EUROSION project,* 10 May 2004.
(7) FAO, 1995. - Effects of Raverine inputs on Coastal Ecosystems and Fisheries ressources. FAO Fisheries technical paper, n° 349, Rome, Italy.
(8) FEARNSIDE P.M., 1995. Hydroelectric dams in the brazilian Amazon as sources of greenhouse gases. *Env. Conserv,* **22**, 7-19.
(9) FEARNSIDE P.M., 2001. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucurui dam) and the energy policy implications, Water, Air, and Soil Pollution, **00**, 1-27.
(10) FEARNSIDE, P.M. 1997. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoir: the example of Brazil's Tucurui Dams compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation,* **24,** n° 1.
(11) HOEG, K. 2000. - Dams: Essential Infrastructure for Future Water management. Paper presented at the Second World Water Forum for the International Commission on Large Dams, 17-22 March 2000, The Hague. http://europa.eu.int/comm/environment/iczm/home.htm
(12) HUNTER J.M., REY L., CHU K.Y., ADEKOLU-JOHN E.O., et MOTT K.E., 1993. - Parasitic diseases in water resources development: The need for intersectoral negotiation. Geneva, World Health Organization, 1993. 152 p.
(13) LAUTRIN D., 1998. - Le vieillissement des petits barrages en remblai. Ingéniéries, **14**, 55-67.
(14) MARGAT J., 2002. - La sédimentation des réservoirs et ses conséquences sur la maîtrise des ressources en eau dans le monde. C.R. Acad. Agric. Fr, 88, n° 1, 105-114.
(15) OLSHANSKY S.J., CARNES, B., ROGERS, R., & SMITH, L., 1997. - Infectious diseases - New and ancient threats to world health. Population Bulletin 52, 2, 2-43. Jul. 1997.
(16) PATTEE E., 1988. - Fish and their environment in large european river ecosystems. The Rhône. *Sciences de l'Eau,* **7**, n° 1, 35-74.
(17) PEYRAS L., ROYET P., BOISSIER D. & VERGNE A., 2004. - Diagnostic de risques liés au vieillissement des barrages. Développement de méthodes d'aide à l'expertise. Ingéniéries, **38**, 3-12.
(18) PROVANSAL M., 2003. - Dynamique à long terme des milieux littoraux. Pp 140-145 In Lévêque C. & Van der Leeuw S., Quelles natures voulons nous ? Pour une approche socio écologique du champ de l'environnement. Elsevier, Paris.
(19) SHIKLOMANOV, I.A. AND RODDA, J. 2003. - World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. UNESCO, Paris.
(20) SOUCHON Y., VALENTIN S., et CAPRA H. 1998. - Peut-on rendre plus objective la détermination des débits réservés par une approche scientifique ? *Houille Blanche,* **8**, 41-45.
(21) ST-LOUIS V., KELLY C. A., DUCHEMIN E., RUDD J. W. M. et ROSENBERG D.M., 2000. - Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases: a global estimate, Bioscience, **50**, n° 9, 766-775.
(22) WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 1997. - Health and environment *in* sustainable development five years after the earth summit. Geneva, WHO, p. 19-133.
(23) CMB, 2000. - Barrages et développement. Un nouveau cadre pour la prise de décisions. Tour d'horizon. Le Rapport de la Commission Mondiale des barrages.
(24) *Novembre 2000.* www.dams.org

(Reçu le 17 mai 2005)

SYSTÈMES ET STRATÉGIES D'IRRIGATION POUR UNE AGRICULTURE DURABLE

IRRIGATION SYSTEMS AND IRRIGATION STRATEGIES FOR A SUSTAINABLE AGRICULTURE

par Pierre **Ruelle** [1] Jean-Claude **Mailhol** [1] et Bruno **Molle** [2]

(*note présentée par* Pierre Ruelle)

RÉSUMÉ

L'irrigation est une nécessité pour les pays bordant la Méditerranée pour sécuriser la production et/ou sa qualité ; les sécheresses récentes et les pressions des industries agroalimentaires expliquent son extension vers le Nord. L'irrigation est reconnue comme responsable de pollutions diffuses en particulier du fait de lessivages se produisant le plus souvent en dehors des périodes d'arrosages. Ces effets sont liés aux résidus de fertilisants non utilisés dans les zones sous cultures irriguées. Les conditions de crises qui induisent notamment en France des modifications des stratégies et des pratiques des irrigants ont aussi un rôle important qu'il convient de prendre en compte. Au Maghreb, la difficulté de mobiliser de nouvelles ressources en eau conduit à inciter les agriculteurs à abandonner l'irrigation gravitaire traditionnelle pour l'aspersion ou le goutte à goutte, réputés plus économes en eau. Cette communication présente les caractéristiques des différents systèmes d'irrigation et l'importance du choix de stratégies d'irrigation pour le contrôle des flux d'eau sous cultures irriguées.

Dans la plupart des cas, les systèmes d'irrigation sont évalués à partir de l'efficience d'application (EA) sur un ou quelques apports. L'uniformité d'application est un facteur essentiel de cette efficience et les conditions de mise en œuvre des différents systèmes conditionnent directement les valeurs obtenues. Aussi les intervalles de variations de EA fournis par certains auteurs comme Clemens (6) peuvent être discutés. Les études effectuées en France pour les asperseurs, le canon à enrouleur et le pivot montrent que ces systèmes peuvent atteindre des valeurs élevées d'uniformité mais avoir de faibles performances lors des mesures au champ. Les évolutions récentes avec l'automatisation et la régulation électronique (en particulier des enrouleurs) ont induit des améliorations importantes. Dans le cas de l'irrigation localisée fréquemment couplée à la ferti-rrigation, une étude réalisée en Tunisie illustre les difficultés d'appropriation des nouvelles techniques par les agriculteurs et les risques environnementaux qui en découlent. A l'opposé un exemple du système d'irrigation gravitaire traditionnelle au Maroc met en évidence une efficience très élevée pour un dispositif bien maîtrisé. En irrigation par aspersion, le rôle du choix de la stratégie d'irrigation et la prise en compte de l'hétérogénéité des apports, induite par le vent, sont abordés pour le cas des sols superficiels en Charente. L'aptitude des différents systèmes d'irrigation à contribuer à une agriculture durable dépend à la fois de leurs spécificités et de leurs conditions de mise en œuvre caractérisées par les stratégies d'irrigation des agriculteurs ; les outils développés dans des opérations de recherche développement pour faciliter l'accès aux informations indispensables aux agriculteurs revêtent donc une importance particulière.

SUMMARY

Irrigation is a necessity in the Mediterranean countries in order to obtain sustainable yields and production quality. Water stress and poor distribution of uniformity, on the other hand, causes diffused

1. UMR G-Eau Cemagref Montpellier.
2. UMR G-Eau Cemagref Aix-en-Provence.

pollution due to the leaching of residual soil nitrogen during winter. Irrigations strategies and farmers practices are also accounted for hazardous effects. In Maghreb, farmers are suggested to give up traditional surface irrigation and to implement «modern» water saving irrigation systems such as sprinkler or drip irrigation ; these systems are subsidised but real irrigation efficiency of these techniques may be uncertain. This paper presents characteristics of different irrigation systems and emphasizes the role of irrigation strategies to control water fluxes under irrigated crops.

In most cases, the evaluation of irrigation systems is based on application efficiency (AE) measured on one or more irrigations events. Distribution uniformity is a key factor of this evaluation and depends on irrigation practices. Sometimes AE variation intervals given by some authors as Clemens (6) are questionable. Low irrigation performances were pointed out in series of surveys, while studies implemented in France on sprinkler, hose-reels and pivot showed that high uniformity values can be reached for such equipments. Evolutions of automation and electronic regulation for hose-reels, for example, resulted in noticeable efficiency improvements. A Tunisian study on drip irrigation with fertigation points out the difficulties encountered by farmers with new techniques and caused environmental risks. A case study for a Charente shallow soil demonstrates the effect of irrigation strategies on water application and non uniformity and thus on yields. A sustainable irrigated agriculture depends on both irrigation systems characteristics and farmers' practices. So there is a demand of Research and Development oriented to operative tools in order to improve irrigation performances.

INTRODUCTION

Le recours à l'irrigation est indispensable pour assurer un niveau de production suffisant dans de nombreuses régions du monde et limiter les aléas climatiques. C'est en particulier le cas dans les pays bordant la Méditerranée auxquels nous nous intéresserons. Depuis les années 80 on observe une migration des surfaces irriguées vers le Nord de la France, à la faveur des années exceptionnellement sèches et de la nécessité pour les entreprises agricoles de sécuriser la production et sa qualité. Ceci est particulièrement vrai pour les spéculations faisant l'objet de contrat avec l'agro-industrie.

L'agriculture irriguée est souvent considérée responsable de pollutions diffuses. En effet les pratiques à la fois d'irrigation et de fertilisation peuvent avoir une influence sur les transferts de substances polluantes, en relation avec les conditions pédo-climatiques.

Il est reconnu que la génération de pollutions diffuses par l'irrigation, n'est en général pas le résultat d'un lessivage en période d'arrosage. Il est en effet exceptionnel qu'un arrosage provoque du drainage dans les parcelles. Par contre les zones ayant reçu des quantités d'eau réduites, qui limitent leur productivité mais qui ont reçu une dose de fertilisant normale, vont se retrouver après récolte avec des résidus importants, exposés au lessivage hivernal. C'est alors que sont générées les pollutions diffuses. La répartition spatiale des apports peut aussi être source de pollution et ce plus particulièrement lorsque cette répartition demeure quasi-identique d'un arrosage à l'autre (vent dominant en aspersion, ou cas du système gravitaire).

L'autre source de pollutions est liée au ruissellement, provoqué par un arrosage mal conduit ou simplement inadapté aux conditions du sol, qui entraîne avec des particules de sol fertilisants et pesticides restés en surface. Ce cas n'est évoqué ici que pour mémoire.

En France il convient aussi de noter que les conditions économiques ont induit l'extension des surfaces consacrées au maïs et l'augmentation de la pression sur la ressource en eau, du fait des forts besoins en eau de cette culture en été. Il en résulte de fréquentes situations de conflits pendant les périodes d'étiage des rivières. Ces conditions de crise donnent lieu à des interdictions d'irriguer et à des limitations des volumes autorisés.

Pour faire face à ces pénuries d'eau, les agriculteurs tentent souvent de sécuriser leur production en se sur-équipant, de telle sorte qu'ils puissent arroser plus rapidement leurs parcelles au cours des périodes d'autorisation. Ils développent alors des solutions de stockage individuelles ou se convertissent à des techniques ou des pratiques d'utilisation plus rationnelle de l'eau. Il sera donc nécessaire d'examiner les conséquences des pratiques d'irrigation des agriculteurs sujets à ces différentes contraintes.

Au Maghreb, comme dans la majorité des cas dans le monde, l'irrigation gravitaire reste largement dominante, avec des niveaux d'efficience qui sont très variables. Des politiques volontaristes de mobilisation des ressources et d'installation des P.I. ont été menées depuis une cinquantaine d'années. Elles se poursuivent, mais la création de nouvelles ressources devient de plus en plus difficile. Les réservoirs existants souffrent d'envasement, les sites disponibles pour en construire de nouveaux sont de moins en moins accessibles, la concurrence avec les autres usages est de plus en plus dure. Dans cette région, comme à l'échelle mondiale, on estime que la part des ressources affectés à l'agriculture irriguée est amenée à décroître. Elle est donc condamnée à accroître sa production pour faire face aux besoins alimentaires croissants ce qui implique d'améliorer fortement la productivité du m^3 d'eau.

Les politiques publiques de subvention dans le cadre d'opérations de modernisation de l'irrigation conduisent à favoriser le passage à une irrigation sous pression : aspersion ou goutte à goutte. Le problème reste que l'abandon des systèmes d'irrigation gravitaire, s'il est justifié dans un bon nombre de cas, aboutit rarement à une réduction de la demande en eau. La responsabilité en incombe soit à l'agriculteur dont les pratiques ne sont pas conformes au matériel qu'il utilise, soit au gestionnaire qui fournit l'eau avec un calendrier rendant la modernisation inopérante. Toute modernisation doit donc être précédée d'une analyse des conditions locales (pratiques, disponibilité de l'eau, sol, climat...). Par la suite il appartient à l'agriculteur suivant sa stratégie, de décider le type d'investissement qu'il doit envisager.

La question du choix du système d'irrigation reste d'actualité. Certains sont-ils plus économes que d'autres ? Peuvent-ils répondre aux enjeux de la durabilité ?

S'il est relativement aisé de maîtriser la mobilisation de l'eau et sa distribution jusqu'à la parcelle, il est beaucoup plus difficile de contrôler la dernière étape où interviennent les utilisateurs finaux de l'eau ; contrairement aux autres étapes, ce groupe d'utilisateurs est constitué d'un grand nombre d'interlocuteurs avec des logiques propres et dont la cohérence s'exprime à l'échelle de l'entité économique qu'est l'exploitation agricole. Il convient donc de prendre en compte les pratiques des agriculteurs et les règles de décision qui les sous-tendent parallèlement aux aspects purement techniques des systèmes d'irrigation.

Dans cette communication seront abordés successivement :

- les caractéristiques des principaux systèmes d'irrigation à la parcelle : spécificités, flexibilité pour répondre à des contraintes de réduction des apports ;
- l'importance du choix des stratégies d'irrigation sur le contrôle des flux d'eau et la production, à partir de quelques exemples.

L'efficience économique à l'échelle de l'exploitation ne sera pas abordée ici.

Cette présentation s'appuie en particulier sur une synthèse, concernant les principaux SI, réalisée dans le cadre d'un travail d'HDR, par Mailhol (13) et sur un examen des équipements d'irrigation et de leurs perspectives d'évolutions réalisé par Molle et Deumier (19).

Caractéristiques des différents systèmes d'irrigation

Les flux sous culture irriguée et l'efficience des systèmes d'irrigation

L'analyse des différents systèmes d'irrigation repose sur la connaissance des flux d'eau sous culture irriguée, étape préalable au calcul de différents critères permettant d'évaluer les performances de ces systèmes. La détermination des flux ne présente réellement de l'intérêt qu'à l'échelle de la parcelle pour estimer le devenir des apports d'eau par irrigation et donc leur efficacité. Cependant on ne dispose habituellement que de mesures locales pour accéder au flux d'eau en dessous de la zone racinaire qui ne contribue pas à l'alimentation en eau de la plante et que l'on assimile à du drainage. Le flux peut être mesuré directement dans des cases lysimétriques de quelques mètres carrés. Ces équipements sont difficiles à mettre en œuvre et coûteux.

Dans les autres cas, des dispositifs de suivi de la teneur en eau du sol [3] permettent, associés à

3. Avec une des méthodes classiques d'humidimétrie : neutronique, TDR ou capacitive.

des mesures de charge hydraulique d'obtenir directement le drainage, a condition qu'il existe un plan de flux nul sous la zone racinaire. Dans le cas général on utilisera la loi de Darcy, à condition de disposer de la conductivité hydraulique du sol et que les transferts ne soient pas perturbés par des macro-fissures.

La encore, les flux ne sont accessibles que pour un site de l'ordre du m² et requièrent des compétences et un investissement importants. En conséquence le plus souvent les données disponibles se limitent aux apports d'eau et au rendement. La modélisation est pratiquement la seule méthode possible pour estimer les flux et l'efficience de l'utilisation de l'eau (Clemmens, 2002). Des nombreux modèles existent, mais peu permettent une utilisation opérationnelle, avec un nombre limité de paramètres.

A partir des définitions proposées par Burt et al. (3), il est possible, lorsque l'on dispose de l'évaluation des flux sous culture de calculer l'efficience d'irrigation *EI* :

$$EI(\%) = \frac{\text{Volume d'irrigation dont a bénéficié la plante}}{\text{Volume d'eau délivré à la parcelle}} \times 100$$

EI est en général déterminée pour une période donnée, par exemple sur un cycle cultural, plutôt que lors d'une irrigation particulière.

Dans la plupart des cas, les évaluations des systèmes d'irrigation sont effectuées seulement à partir des performances d'un apport ou d'une série d'apports d'eau. On parle alors d'efficience d'application *EA* :

$$EA(\%) = \frac{\text{Dose moyenne contribuant à l'apport de la dose requise}}{\text{Dose moyenne appliquée}} \times 100$$

Cette définition sous entend que la dose prise en compte est celle qui est effectivement utilisée et bénéfique pour la culture. *EA* dépend aussi du coefficient d'uniformité de l'infiltration CUI sur la parcelle :

$$CUI(\%) = \frac{\text{DminI}}{\text{DMI}} \times 100$$

où DminI est la dose minimale infiltrée et DMI est la dose moyenne infiltrée.

Si ce rapport est faible, ce qui témoigne d'une répartition inégale des apports, le bénéfice de l'apport pour la culture et donc la productivité de l'eau sont réduits.

Les définitions et concepts proposés par Burt et al (3) conduisent à considérer que l'eau stockée dans le sol durant une irrigation ne permet pas de présumer de son utilisation effective par la culture. En fait la recharge en eau du sol sous la zone racinaire par percolation, peut favoriser les remontées capillaires en période de déficit hydrique élevé dans la zone racinaire. Cette potentialité du sol est trop rarement valorisée, alors qu'elle peut entraîner des économies d'eau substantielles.

L'efficience varie évidemment suivant les conditions d'utilisation et de mise en œuvre des différents systèmes irrigués. Cependant, il est possible de définir des intervalles de variation de *EA* (figure 1), comme l'a fait Clemmens (6). Indépendamment des valeurs données, qui peuvent être discutées,

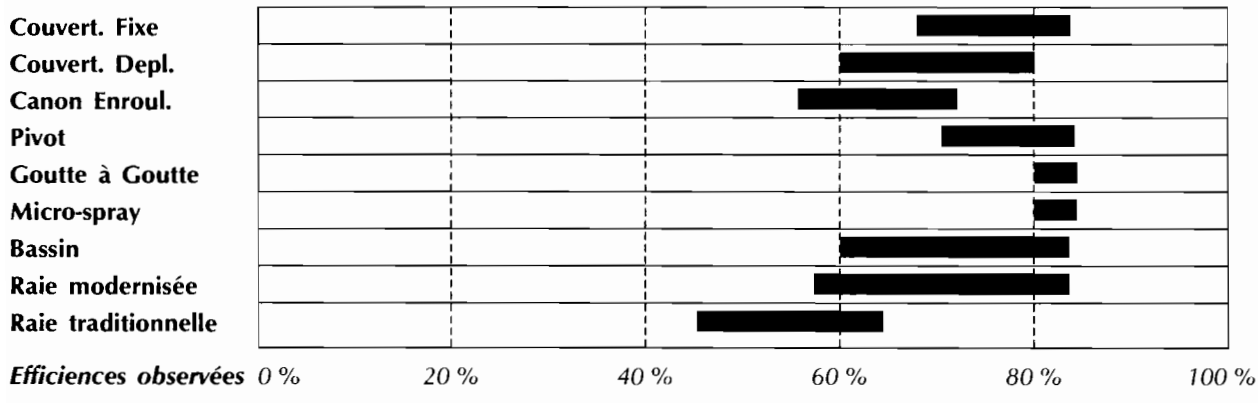

Figure 1. – Efficiences d'application observées pour différents systèmes d'irrigation aux États-Unis (Clemmens, 2002)

il est intéressant de constater que les systèmes d'irrigation de surface peuvent atteindre des efficiences équivalentes voie supérieures à celles rencontrées avec un système sous pression. Par contre les systèmes gravitaires sont ceux présentant la plus forte variabilité. La difficulté de contrôler le débit de distribution en tête et les problèmes éventuels de préparation du sol peuvent empêcher un avancement régulier de l'eau : de fortes hétérogénéités entre raies. On compte qu'en moyenne, au niveau mondial, les systèmes gravitaires présentent des *EA* inférieures à 60 %.

Pour ce qui est de l'aspersion, les valeurs rapportées pour les canons enrouleurs sont faibles alors qu'il est possible d'atteindre près de 90 % en conditions faiblement ventées, d'après les simulations effectuées après calage sur des données expérimentales, dans le cadre du projet européen NIWASAVE (22). Le fait que ce système d'irrigation soit moins répandu aux États-Unis qu'en Europe peut expliquer que les valeurs observées soient inférieures ; il en est de même pour les couvertures d'asperseurs.

L'efficience d'application est à rapprocher de la pratique des irrigants. En effet l'agriculteur très souvent raisonne ses apports d'eau afin d'apporter la dose nécessaire dans la partie la moins bien arrosée. L'apport d'eau sera donc d'autant plus excédentaire sur une partie de la surface que l'uniformité est faible. La lutte contre les gaspillages d'eau requiert donc d'abord de disposer de système d'irrigation présentant une bonne uniformité.

Les facteurs influant sur l'efficience permettent d'analyser la sensibilité des différents systèmes d'irrigation (équipement, ressource, culture) et donc leur adaptabilité aux différents contextes pédoclimatiques en particulier en cas de pénurie.

Les systèmes d'irrigation par aspersion

Les couvertures d'asperseurs fixes et mobiles

Elles représentaient 11 % des surfaces irriguées en France en 2001. Cette technique est principalement utilisée sur cultures pérennes (vergers), en maraîchage et sur certaines cultures spéciales comme les semences ou l'horticulture. Il reste encore quelques surfaces en grandes cultures utilisant ce système mais il est handicapé par les contraintes de mise en d'œuvre. Enfin citons pour mémoire que c'est ce type de technique qui permet l'arrosage de la majeure partie des espaces verts en France.

Ces systèmes restent les plus adaptables à la forme, la topographie et la nature du sol de la parcelle. Ils permettent d'obtenir une très bonne qualité d'arrosage grâce à des intensités d'application faibles (3 à 10 mm/h).

Pour les systèmes d'aspersion on parle en général d'uniformité de distribution que l'on assimile au coefficient d'uniformité (CUc). L'uniformité est classiquement représentée par le coefficient de Christiansen (5) :

$$CUC(\%) = \frac{\sum (V_i - \bar{V})}{\bar{V}} \times 100$$

où V_i représente les mesures individuelles de distribution et $\bar{V}$ la moyenne de ces mesures.

Ces systèmes permettent d'atteindre des uniformités moyennes de 70 % lorsqu'ils sont bien conçus et bien entretenus. Ces valeurs peuvent être tout à fait suffisantes pour certaines cultures à fort enracinement et pour lesquelles les apports sont très peu fréquents. Cependant l'efficience chute rapidement en présence de vent lorsque les écartements sont trop importants ou que la pression est forte. En condition de faible pression la résistance au vent est meilleure mais les risques de battance liés à une mauvaise dispersion du jet sont à craindre. Les doses habituellement appliquées sont souvent voisines de 30 à 40 mm, mais elles peuvent être modulées aisément.

Des mesures effectuées au champ sur des parcelles d'agriculteurs du Sud de la France (8) mettent en évidence les causes majeures des faibles performances de ces dispositifs (tableau 1). Dans plus de la moitié des cas, les doses effectivement appliquées sont supérieures à celles prévues par l'agriculteur. L'origine des performances médiocres des systèmes est due à la fois à des défauts de conception (espacement et pression) et aux conditions d'utilisation, en particulier du fait du vent ou de la verticalité des asperseurs.

Tableau 1. - Causes des faibles performances d'irrigation à partir de mesures au champ en France : le cas de l'aspersion à postes fixes (d'après Dubalen, 1993)

	% d'observations
Dose apportée par rapport à dose prévue	
• 10-20 % différence	25
• Différence > 20 %	34
Cause	
• Faible uniformité due à un espacement excessif	65
• Variation de pression	56
• Asymétrie de l'angle mouillé	70

En ce qui concerne la relation entre uniformité d'application d'eau et efficience, les travaux conduits dans le cadre du programme de recherche Européen Niwasave ont montré qu'une bonne uniformité d'arrosage permet de diminuer de 20 % les apports d'eau par rapport aux pratiques habituelles des agriculteurs dans les conditions espagnoles (21).

Évolution des couvertures d'asperseurs

L'amélioration de ces systèmes passe par la maîtrise des équipements, le contrôle des durées d'irrigation, des débits effectivement délivrés et par la réduction des durées de postes. Cela impose de fait le passage à l'automatisation avec des couvertures à faibles écartements (8 à 15 m) et une pose et dépose automatisées. Il devient alors possible de s'appuyer sur une station météo pour la mise en œuvre de la lutte anti-gel puis le déclenchement automatique de l'arrosage en fonction d'une méthode de pilotage prédéterminée.

En arboriculture fruitière, une modulation des apports par groupes d'arbres, et un pilotage en temps réel des apports de fertilisants (oligo-éléments), voire de pesticides (produits de contact) sont envisagés. Ces dernières pratiques, si elles sont théoriquement possibles en plein air, imposent une prise en compte des facteurs climatiques pour éviter toute dérive ou contamination des environs ainsi qu'une clarification de la législation.

Les pratiques de chimigation autorisées, dans la plupart des pays européens irrigants, pourraient apporter des solutions intéressantes aux problèmes liés aux traitements terrestres classiques (dérive d'aérosols réduite, positionnement du produit sur le feuillage ou au sol, limitation des passages d'engins...) et passer des traitements préventifs habituels à des traitements curatifs localisés avec de substantielles économies de produits.

Le canon à enrouleur

Le canon à enrouleur représente 50 % des surfaces irriguées en France, et environ de 30 % des 12 millions d'hectares irrigués en Europe. Son efficience en conditions réelles est obérée en grande partie par sa sensibilité au vent mais aussi du fait de réglages inadaptés ou de matériels vieillissants. Cette situation évolue.

Tableau 2. - Causes des faibles performances d'irrigation à partir de mesures au champ en France : le cas du canon à enrouleur (d'après Dubalen, 1993)

	% d'observations
Dose apportée par rapport à dose prévue	
10-20 % différence	30
Différence > 20 %	46
Cause	
Faible uniformité due à un espacement excessif	65
Pression insuffisante	38
Pression excessive	10
Variabilité de la vitesse d'avancement	39
Asymétrie de l'angle mouillé	59

Une enquête en France (8), dans des conditions similaires au cas précédent a identifié les causes majeures de mauvaises performances pour l'enrouleur (Tableau 2).

Plus encore que dans le cas des asperseurs, la dose appliquée apparaît mal connue, cette proportion a fortement chuté depuis la mise en place des compteurs dont les agriculteurs reconnaissent l'utilité (26). Pour ce système d'irrigation, le choix de l'espacement entre les passages du canon est primordial, ainsi qu'une connaissance de la vitesse d'avancement. De nombreuses installations sont mal conçues avec des pressions insuffisantes et des canons mal réglés (angle mouillé). Des résultats similaires sont signalés aux États-Unis et dans le sud de l'Europe (23, 24).

Les problèmes de vitesse d'avancement sont maintenant moins présents du fait de la généralisation des régulations électroniques. Elles améliorent l'uniformité d'arrosage mais surtout permettent une meilleure gestion du temps, grâce à la prévision de l'heure d'arrivée du canon en bout de champ. Les systèmes les plus récents enregistrent les paramètres de fonctionnement (vitesse, dose, heures) et télétransmettent des alarmes.

Les doses classiquement appliquées restent de l'ordre de 30 mm. La portée atteinte par le jet qui conditionne la largeur de la bande arrosée est fonction de la pression de fonctionnement disponible au canon, sa valeur ne doit pas descendre en dessous de 40 m ; l'optimum se situe souvent vers 55 m pour atteindre une bonne relation pression/portée. Des recherches sont en cours pour diminuer les pressions requises pour le fonctionnement des canons à enrouleur qui restent élevées : suivant les buses utilisées, la longueur de tuyau de la machine et son type de moteur hydraulique, la pression requise à l'enrouleur varie de 50 m à plus de 80 m.

L'arrosage par canon doit prendre en compte, outre la sensibilité au vent, du fait de l'altitude du jet au-dessus de la culture, l'effet sur les caractéristiques d'infiltration des sols sensibles du fait des intensités d'irrigation importantes qu'il délivre. Le vent doit être pris en compte dans la définition d'une stratégie d'irrigation ; ce point est développé plus loin. Ce système d'irrigation est par contre assez peu sensible aux pertes par évaporation et transport du fait de la taille des gouttes qu'il produit. L'évaporation directe ne dépasse pas 3 % en moyenne dans les conditions françaises. Enfin les appareils ne sont pas toujours bien entretenus et leur fonctionnement s'éloigne souvent des paramètres initiaux retenus pour leur calcul.

Évolution des machines et améliorations en perspective

De nombreux constructeurs ont cherché à améliorer les canons à enrouleurs, en remplaçant le canon par une rampe d'arroseur, avec une diminution importante des pressions requises. Il s'ensuit une moindre sensibilité au vent. Le problème reste le manque de souplesse du système et son coût.

Ces dix dernières années, pour résoudre les problèmes d'arrosage en bord de parcelles des brises jets régulés mécaniquement ont été mis au point. Plus récemment, des canons à secteur programmable ouvrent la voie vers des canons asservis à diverses consignes (vent, obstacles, intensité d'apport...). Il s'agit là des premiers pas vers une irrigation de précision, à condition que des outils de pilotage spécifiques soient développés.

Le pivot et la rampe frontale

Ces systèmes d'irrigation se développent régulièrement en France. Des dispositifs déplaçables ont été développés et arrivent à des coûts à l'hectare équivalents ou inférieurs à celui du canon, pour des consommations énergétiques très inférieures du fait des pressions requises.

Leur développement est principalement le fait de remplacement d'enrouleurs. Sur les réseaux récents, les pressions abaissées pour réduire la facture énergétique imposent des solutions à moyenne pression comme le pivot. A l'échelle européenne, la taille des projets se réduit du fait que les grandes parcelles ont été équipées en priorité. Dans le Sud-Ouest de la France la taille moyenne des projets était de 5 travées (moins de 20 ha) en 2003.

Le problème majeur rencontré avec ce type d'appareils est l'intensité de l'application en extrémité avec les appareils de grande taille. En effet les arroseurs ayant une portée réduite vont appliquer la dose d'irrigation en un temps bref, donc avec une intensité élevée.

L'arrosage des pivots est très peu sensible au vent, du fait de la production de grosses gouttes. Il en est de même pour les pertes par évaporation et transport qui se concentrent sur les premières travées, donc sur une surface réduite. Ces pertes possibles sont généralement compensées par une augmentation de la dose apportée sur la zone.

Des observations et des mesures hydrauliques ont permis entre 1991 et 96 d'identifier les principales difficultés rencontrées sur les machines de la région Aquitaine. Il apparaît que :

- 30 % environ des machines délivrent un débit à 5 % près de celui retenu lors de la conception,
- 25 % dérivent de plus de 20 % par rapport au débit initial,
- de fréquents problèmes de pression en tête (vieillissement des pompes) et de colmatage de conduites ou de buses sont observés lorsque l'eau a une forte teneur en fer, conduisant à une augmentation des pertes de charge,
- la majeure partie (plus de 70 %) des canons d'extrémités sont mal réglés, ou inadaptés,

Les capacités de retour assez rapide de ces machines sur un même point de la parcelle, autorisent un pilotage assez fin des apports, bien que ce ne soit pas toujours la priorité de l'agriculteur. Les doses apportées sont aisément modulées de 15 à 30 mm, ce qui permet de mieux tenir compte des pluies et de réduire leurs impacts négatifs (lessivage).

Amélioration et perspectives

Le contrôle à distance des machines tend à se développer, comme moyen de réduire la pénibilité de la surveillance et des interventions en urgence.

La tendance est d'aller vers plus d'asservissement des appareils aux besoins en intrants (eau, engrais, traitement) locaux, pour se rapprocher des concepts d'irrigation de précision. Le problème principal restant à régler est celui de l'établissement de la consigne d'arrosage ou d'apport de produit, qui impose la mise au point de capteurs d'observation couplés à des moyens de simulation, capables de donner l'état de confort hydrique et éventuellement azoté de la culture, et au-delà l'état sanitaire avec un pas de temps faible. Ces perspectives, pour intéressantes qu'elles soient, se heurtent à des problèmes de coûts pour le moment prohibitifs.

Les améliorations les plus accessibles pourraient porter sur la qualité d'arrosage, avec un positionnement de l'eau, et du produit en solution, dans la zone où elle est nécessaire (apport contrôlé spatialement, contrôle de la dérive et du ruissellement).

Les systèmes d'irrigation localisée

L'irrigation localisée, compte tenu du nombre de distributeurs nécessaires à l'hectare, est réservée aux cultures maraîchères de plein champ ou sous serre et à l'arboriculture.

Bien maîtrisée, l'irrigation localisée permet théoriquement d'économiser par rapport à une irrigation par aspersion bien conduite, environ 20 % des apports sur un cycle de culture. Ce taux (13) est atteint principalement grâce à la réduction de l'évaporation directe du sol, en début de cycle, période où l'indice foliaire est faible.

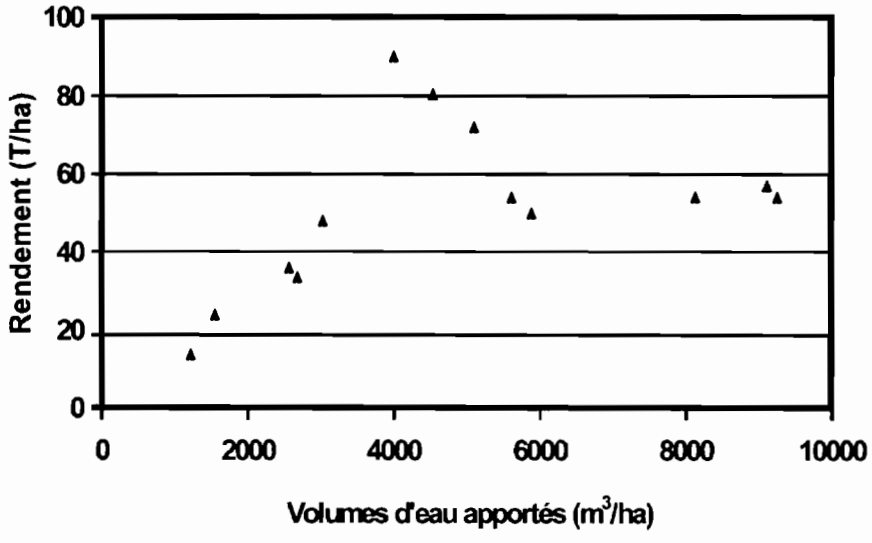

Figure 2. – Relation Doses-Rendements obtenus en tomate de plein champ sur un périmètre de la Medjerda en Tunisie en 2003

L'irrigation localisée requiert une modification importante des pratiques des irrigants par rapport aux autres techniques d'irrigation. Ainsi des contrôles de distribution ont été effectués sur des parcelles de tomates irriguées en goutte à goutte dans un périmètre de la Basse vallée de la Medjerda en Tunisie (16) : les agriculteurs ont adopté cette technique depuis peu de temps, et il existe donc une grande variabilité de leur maîtrise technique, pouvant annuler toute économie d'eau.

Des rendements équivalents sont obtenus avec des apports pouvant varier d'un facteur trois (figure 2). La mauvaise maîtrise des apports, en particulier le pilotage inadéquat, conduit à des gaspillages d'eau importants.

Des mesures de drainage effectuées sous une parcelle irriguée d'un périmètre voisin, ont ainsi montré que le volume utilisé pouvait être le double de celui nécessaire aux besoins en eau de la culture (29). Cependant il convient de ne pas ignorer la question de la salinité.

Sur la même zone des contrôles hydrauliques des installations ont permis de caractériser le fonctionnement du système irrigué. Ils ont mis en évidence d'importants écarts entre les débits nominaux et les débits mesurés (tableau 3). Les uniformités mesurées par le coefficient de Merriam et Keller (18) restent dans des valeurs médiocres pour de tels systèmes. Dans certains cas, le fonctionnement d'un trop grand nombre de postes d'irrigation en même temps a des effets sur la pression. En parallèle, il faut noter l'importance des phénomènes de colmatage : ces installations souffrent d'un défaut d'entretien (en particulier une fréquence trop faible des contre-lavages des filtres) dû au manque de formation des agriculteurs.

Tableau 3. – Performances des systèmes d'irrigation goutte à goutte sur une zone irriguée en Tunisie (d'après Mailhol et al., 2004)

	% d'observations
Débit par rapport au débit nominal	
Différence 10-25 %	7
Différence > 50%	79
Coefficient d'uniformité des débits	
Supérieur à 90 %	7
Compris entre 90 et 70 %	64
Inférieur à 70 %	29

Ces observations donnent un éclairage sur les difficultés d'appropriation des nouvelles techniques par les agriculteurs. Ainsi des techniques a priori économes en eau doivent être analysées en tenant compte des pratiques des irrigants. Des constatations voisines sont faites en Europe, avec des valeurs moins extrêmes du fait que les agriculteurs sont mieux informés. La majeure partie des installations de micro-irrigation est couplée à des dispositifs de fertigation, une bonne maîtrise est d'autant plus indispensable pour éviter des risques environnementaux.

On peut ajouter qu'en France, les systèmes de micro-irrigation sont choisis comme moyen d'assurance qualité plutôt que comme moyen d'économiser l'eau. Etant donnée la pression qui pèse sur les agriculteurs (concurrence acharnée, prix instables) l'eau reste un facteur de production à faible coût, donc peu sensible à des incitations pour réduire les quantités consommées. Enfin dans certains contextes méditerranéens il faut tenir compte des risques de salinité, et analyser l'effet d'une réduction des doses sur les flux de sels.

Evolutions récentes

Pour les cultures annuelles de plein champ le poids des charges de main d'œuvre conduit à des systèmes jetables, c'est-à-dire utilisées une seule année. Leur intérêt technique est compréhensible, mais on peut se demander quel est leur poids en terme de production de CO_2, bien qu'ils soient construits en matériaux recyclables.

Les systèmes de filtration évoluent peu, mais sont en général efficaces à condition qu'ils soient bien adaptés aux caractéristiques de l'eau et des distributeurs, et surtout correctement mis en œuvre. Le développement du goutte à goutte enterré capable de grandes performances rend la maîtrise de la filtration encore plus stratégique pour assurer la durabilité de l'ensemble.

Enfin il est nécessaire de travailler sur des systèmes à coût plus réduit, pour permettre une extension de leur diffusion.

L'irrigation de surface

En France seulement 5 % des surfaces sont concernées par ce système et concentrées dans le Sud-Est (Camargue et Roussillon) ; compte tenu de son importance dans le monde et de la part prépondérante qu'elle continue d'occuper dans les pays du pourtour méditerranéen, il convient cependant d'illustrer succinctement le cas de l'irrigation de surface.

Au Maghreb, le dispositif traditionnel de la « robta » reste répandu, pour des raisons de dégradation du planage. Ce système est constitué de petits bassins à fond plat, d'une surface pouvant atteindre quelques dizaines de mètres carrés, ou de micro-bassins avec des billons et des micro-raies.

Compte tenu de la nécessité de prendre en compte la variabilité du sol et donc d'effectuer un nombre important de mesures pour couvrir la totalité de la surface des parcelles, il n'existe pas d'études similaires à celles réalisées pour les autres systèmes d'irrigation.

A titre de contre-exemple des idées reçues sur les systèmes traditionnels, une étude approfondie réalisée en 2000 dans le Moyen Sebou au Maroc a mis en évidence une très bonne efficience, puisqu'elle est de 88 % (14) dans le cas du système de la robta utilisée avec des micro-raies pour l'irrigation du maïs. Le sol argileux permet dans ce cas un transport de l'eau satisfaisant avec de très faibles pertes dans les canaux en terre d'alimentation des petits bassins. Les limites de ce système par contre résident dans les besoins en main d'œuvre et la pénibilité du travail : l'irrigation de 1,5 ha mobilisait, dans le cas étudié, 2 personnes pendant 7 heures pour apporter 50 mm ; il faut y ajouter la perte de surface due aux canaux en terre nécessaires au transfert d'eau dans la parcelle, qui peut atteindre 17 %.

Les doses apportées sont habituellement nettement plus élevées qu'en aspersion ; elles atteignent souvent plus de 100 mm lors du premier apport, avec un sol à forte porosité et plus ou moins motteux du fait de la confection des raies. Les doses suivantes sont de l'ordre de 60 à 80 mm. La pression requise est faible (environ 10 m), par contre le débit est de 20 à 30 l/s soit plus de 70 m^3/h, pour irriguer un bloc avec un nombre suffisant de raies (20 à 30).

Les choix des stratégies d'irrigation et leurs conséquences

Analyse d'une pratique d'irrigation au canon enrouleur en sols superficiels de Charente

Des travaux conduits depuis une quinzaine d'années ont permis de caractériser les stratégies des irrigants qui assurent une cohérence de leurs prises de décision à l'échelle de l'exploitation agricole (11, 12) ; leur stratégie subit ensuite des adaptations tactiques pendant la campagne d'irrigation pour tenir compte des situations rencontrées (climat, disponibilité de la ressource, de la main d'œuvre, ...). L'analyse des pratiques, à partir d'enquêtes et de suivis, puis leur modélisation a en particulier été réalisée en Charente (4, 12). Il est ensuite possible d'examiner les conséquences des choix effectués en matière d'utilisation de l'eau et de pertes éventuelles par drainage sur une sole irriguée. Pour être pertinente, cette analyse doit être conduite sur une chronique d'années climatiques présentant à la fois des années sèches et des années humides.

L'exemple du maïs irrigué par canon enrouleur a été retenu étant donné qu'il est de loin le système le plus fortement représenté. Il a été traité en utilisant PILOTE, modèle de culture et GESCAN (17), modèle qui intègre les contraintes d'organisation de l'irrigation et les adaptations au climat et évènements locaux (démarrage des irrigations, durée de retour, attente après la pluie, interdictions d'irriguer...). Le modèle a été validé sur l'année 1997 en se fondant sur les volumes relevés au compteur et sur le rendement obtenu et en prenant en compte les interdictions d'irriguer de l'année considérée.

En mimant les passages successifs d'un canon alloué à une parcelle de 10 ha, les simulations ont concerné l'ensemble du cycle cultural sur la période 1986-1997. Elles montrent qu'en moyenne et sous l'hypothèse d'absence d'interdictions d'irriguer, les quantités d'eau requises pour le maïs

en Charente sont de l'ordre de 300 mm avec un écart type de 30 mm sur les sols à faible capacité de rétention (RU $\simeq$ 30 mm/m), cas fréquent dans cette région. Les coefficients d'uniformité sont en moyenne de 85 % (27), selon le scénario (irrigation de jour) et le type de matériel retenu (Nelson SR 100, buse 22 mm sous 50 m de pression). Les pertes par drainage sur ce même type de sol sont quant à elles de l'ordre de 90 mm avec un écart type de 40 mm. Le drainage est en grande partie dû aux pluies de début de cycle, avant le démarrage de l'irrigation.

La variabilité interannuelle est notable (figure 3). Elle fait apparaître que les apports, selon la pratique de l'irrigant seraient inférieurs à l'ETM en années sèches, l'équipement ne permet pas de satisfaire une demande climatique élevée ; par contre la conduite retenue a tendance à outrepasser les besoins en année humide, comme en 1987 et 1988, malgré les adaptations prévues, en particulier d'attente à la pluie (report d'un jour pour 7 mm de pluie).

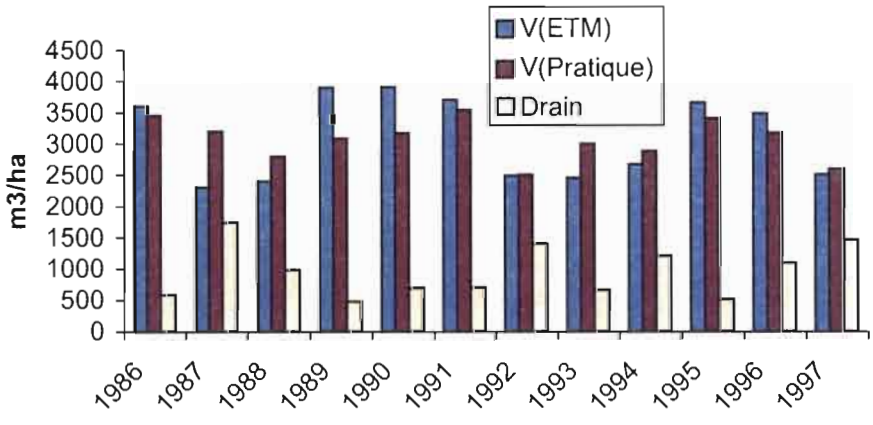

Figure 3. - Comparaison simulée des volumes d'eau nécessaires pour satisfaire les besoins à l'ETM [V(ETM], avec ceux consommés selon la pratique de référence [V(Pratique], en l'absence supposée d'interdiction d'irriguer et du drainage sur la parcelle [Drain]

Il est intéressant de comparer la pratique de l'irrigant avec une pratique fondée sur un niveau d'épuisement de la réserve hydrique du sol sur le premier passage du canon, en considérant le même équipement. La simulation illustre bien le fait que même sur sols superficiels une technique basée sur le pilotage des irrigations peut conduire l'irrigant à faire des économies

Dans le cas d'un seuil d'épuisement de 80 % (tableau 4), les sur-irrigations sont supprimées et les apports moyens, ramenés à 245 mm, mais le rendement est un peu inférieur et réduit de 0,7 t/ha. Le drainage chute de près de 30 mm, mais conserve des valeurs élevées certaines années (figure 4).

La simulation montre que sur sols superficiels le pilotage de l'irrigation permet des économies d'eau significatives, et de réduire le drainage et par là même les risques environnementaux, liés au transport de solutés. En outre elle permet de dégager de la disponibilité pour le matériel (avant-dernière colonne du tableau 4) qui peut être alloué aux irrigations d'appoint d'une culture moins exigeante en eau comme le tournesol ou le sorgho.

Tableau 4. - Comparaison de la pratique réelle (mode fréquentiel) d'arrosage à l'enrouleur sur sol superficiel avec une pratique fondée sur le pilotage des irrigations (V, volume simulé ; Rdt, rendement simulé ; Cv = coefficient de variation ; Drain, drainage)

	V (m^3/ha)	Rdt (T/ha)	Cv (%)	Drain (mm)	Jours disponibles	Début irrig. (jas*)
Déclenchement fréquentiel des arrosages (F = 7j), 1re irrigation le 15/6 : 55 jas*						
Moy. ...	3 060	11,5	2,3	100		
E.t.	310	1,5	40			
Déclenchement des arrosages pour un seuil d'épuisement de la réserve : 80 %						
Moy.	2 450	10,8	4,5	67	1 à 5 en année sèche	51 (25 à 72)
E.t.	420	1,7	36		16	

* Jour après semis

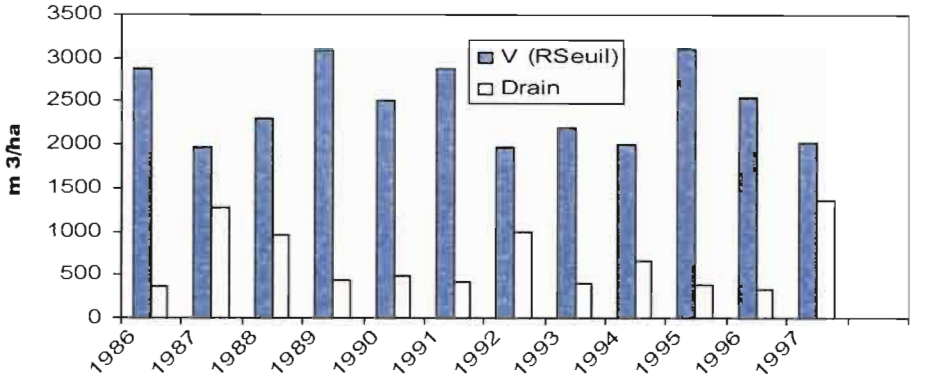

Figure 4. - Volumes d'eau consommés avec un déclenchement d'irrigation pour un seuil d'épuisement de la réserve de 80 % et drainage correspondant.

L'utilisation d'un système d'irrigation est à prendre en compte avec ses contraintes de mise en œuvre et les conditions pédoclimatiques locales. Ainsi l'analyse d'un cas similaire à celui étudié sur un sol à bonne réserve utile (100 mm/m par exemple) montre que le drainage est négligeable.

Une démarche analogue a été conduite dans le cas de la Tunisie, en comparant les productions obtenues pour des systèmes gravitaires et des systèmes avec des couvertures d'asperseurs (15). Elle montre par contre qu'en sol argileux, pour une irrigation de complément du blé dans la région de Kairouan, l'utilisation de l'irrigation gravitaire modernisée (raie longue) parait aussi judicieuse que l'emploi de l'irrigation par aspersion.

Il apparaît donc clairement que l'efficience sera différente pour un même système d'irrigation suivant les conditions pédoclimatiques et la stratégie retenue.

Au niveau du conseil aux irrigants, la nécessité de prendre en compte à la fois le système d'irrigation et la stratégie d'irrigation a conduit à concevoir une méthode de pilotage de l'irrigation adaptée au cas des cultures irriguées au canon à enrouleur. La méthode IRRINOV® (1) est fondée sur une prise en compte simultanée des observations de l'état hydrique du sol à partir de mesures tensiométriques et de règles de conduites liées aux contraintes de l'équipement dans un contexte de sol et de climat donné.

Prise en compte des hétérogénéités d'apport en aspersion pour une stratégie donnée

L'effet du vent peut être une source très importante de l'hétérogénéité des apports dans le cas de l'aspersion, parallèlement aux autres paramètres définissant un système d'irrigation par aspersion (buses, pression, largeur de la bande arrosée, ...). Seule la modélisation permet de caractériser ces effets à l'échelle d'une parcelle sur des séries climatiques. Un outil a été développé dans le cadre du projet européen Niwasave (1999). Il s'appuie sur un modèle de répartition de la pluviométrie des apports, développée pour le canon dans le cas qui nous intéresse (20, 25), et un modèle de culture, STICS (2), pour appréhender les flux d'eau et d'azote et la production de la culture. L'outil (27), permet de tester l'impact de l'hétérogénéité d'apport au niveau d'un ensemble de « placettes » sur les risques de lessivage d'azote durant le cycle de culture et la période d'inter-culture. L'orientation de la parcelle, les données tri-horaires des vents et les caractéristiques du système fixent la répartition des apports sur chaque placette pendant une irrigation tandis que le calendrier des apports est fixé par la stratégie de l'irrigant comme dans les pratiques analysées ci-dessus.

Même en cas de vents dominants, comme le Mistral dans la Drôme, dans les sols profonds où est cultivé le maïs, les simulations montrent de faibles risques de lessivage de l'azote pendant la saison de culture. Par contre des quantités élevées d'azote peuvent parfois être entraînées vers les nappes en hiver, sur les placettes avec les apports les plus faibles. Sur ces sites, un fort stress hydrique réduit le développement de la culture et le prélèvement d'azote ; un reliquat important peut donc être mobilisé par les pluies hivernales.

Le cas des sols superficiels a été examiné pour la Charente, avec un calendrier d'irrigation établi au moyen de GESCAN en intégrant les règles d'un agriculteur représentatif de la région. Après validation sur le scénario de référence de l'agriculteur, de la dose totale apportée et du rendement obtenu,

des stratégies liées à l'usage de l'équipement (irrigation de jour ou de nuit, espacement des bandes) et aux combinaisons des doses d'eau et d'azote ont été analysées. Le seul scénario testé qui réduit de façon significative les risques environnementaux consiste à diminuer les doses d'azote (27). Par contre probablement du fait des conditions atlantiques, l'orientation des parcelles et les horaires d'irrigation ont peu d'effet sur le rendement et les pertes d'azote.

Pour une série de 11 années, le coefficient d'uniformité de Christiansen a une valeur moyenne de 86 %, avec des valeurs oscillant entre 83 et 88 % à l'échelle d'une année ; cette valeur est donc acceptable pour un scénario correspondant aux préconisations standards.

Selon la pratique de l'agriculteur, le lessivage de l'azote est estimé à 20 kg/ha/an avec des variations interannuelles sensibles. Contrairement au cas précédent, le lessivage est important en année humide, le phénomène est à rapprocher du caractère superficiel du sol ; il est toujours présent en période hivernale, avec des pertes équivalentes à celles de la saison de culture. La réduction de la fertilisation (qui a aussi un impact sur les rendements) est seule efficace pour réduire les effets environnementaux. Des études complémentaires pour caractériser les spécificités des sols superficiels charentais vis-à-vis des transferts d'azote seraient nécessaires pour confirmer les hypothèses issues de la modélisation.

Des travaux équivalents sont en cours pour le Maghreb et en particulier la Tunisie dont certains périmètres souffrent fréquemment de l'effet du vent.

Il convient de noter que les résultats décrits ne tiennent pas des hétérogénéités du sol qui ont été abordées par ailleurs dans le cas d'un système d'irrigation avec un pivot (27, 30) ou avec une couverture d'asperseurs (Ruelle, 1995).

Actuellement, afin de réduire les hétérogénéités des apports résultant de l'effet du vent avec les systèmes des canons à enrouleurs, des actions de conseil aux irrigants sont réalisées. Elles s'appuient sur des travaux menés par le Cemagref et Arvalis - Institut du Végétal, consistant à caractériser et à modéliser l'effet du vent sur les équipements (modèle IRRIPARC ®) et à réaliser des études régionales pour prendre en compte les conditions climatiques locales et les stratégies des irrigants (7, 10). Cette méthode diffusée par Arvalis reste encore trop peu répandue alors qu'elle permet avec des réglages et des choix simples de garantir sur une trentaine d'années climatiques une uniformité moyenne qui peut dépasser 85 % sans modification des appareils.

CONCLUSIONS

Afin de mettre en évidence leur aptitude à contribuer à une agriculture irriguée durable, les différents systèmes d'irrigation ont tout d'abord été analysés en faisant apparaître leurs spécificités, leurs contraintes de mise en œuvre à l'échelle de la parcelle et l'évolution des équipements à court terme.

L'efficience d'application est une grandeur clé pour confronter les Systèmes d'Irrigation (SI). Les apports à la parcelle étant traditionnellement raisonnés pour satisfaire les besoins requis sur la partie recevant la dose la plus faible, l'uniformité est fondamentale. Dans le cadre d'une irrigation durable, un SI doit d'abord présenter une bonne uniformité pour assurer une efficience optimale de l'eau et une réduction des impacts environnementaux de l'irrigation.

L'ensemble des systèmes d'irrigation par aspersion peut atteindre des uniformités et donc des efficiences satisfaisantes, qui peuvent dépasser 80 %. Pour les couvertures d'asperseurs, la sensibilité au vent et la maîtrise insuffisante de la pression peuvent être des handicaps. Les causes des performances médiocres qui étaient souvent dues à des problèmes de conception sont plutôt actuellement à mettre en relation, dans les pays du Nord, avec la difficile prise en compte de l'effet du vent ; l'automatisation permet de limiter ces impacts et de moduler les postes d'arrosages. Dans les pays du Sud, l'entretien du matériel, éventuellement les problèmes de fonctionnement du réseau ne permettant pas de disposer en permanence de la pression requise et de l'utilisation de dispositifs déplaçables avec des tuyaux souples, rendent plus délicat le respect des performances théoriques du dispositif. C'est un problème important à prendre en compte avec la tendance actuelle à la modernisation des systèmes d'irrigation notamment au Maghreb qui tend à substituer ce type d'irrigation (et l'irrigation goutte à goutte) à l'irrigation de surface.

Le système canon à enrouleur, très présent pour les grandes cultures et les cultures légumières sous contrat dans le sud de l'Europe et particulièrement en France connaît une amélioration sensible

de ses conditions d'utilisation avec la généralisation de la régulation électronique et la mise en place des compteurs. Le contrôle précis de la dose appliquée a éliminé un des handicaps majeurs de cette machine à irriguer mobile. Il reste le problème de la pression requise qui est élevée (avec ses conséquences énergétiques, analysées par Goosens [9] par exemple) et de la prise en compte du vent. Le développement des conseils régionalisés, avec des dispositifs comme IRRIPARC ® doit permettre des choix judicieux à l'échelle de la campagne d'irrigation.

Les pivots et les rampes frontales ont des avantages bien connus aussi bien au niveau de l'uniformité que de la modulation des apports en liaison avec l'automatisation ; ces systèmes se développent même pour des parcelles de taille réduite, mais leur extension est évidemment limitée par leur coût et par la forme du parcellaire.

Parmi les systèmes d'irrigation sous pression, l'irrigation localisée et en particulier le goutte à goutte est théoriquement le plus performant, du fait qu'il n'humecte qu'une faible partie de la surface du sol et de la modulation très fine des apports à la fois de l'eau et des fertilisants (voir de certains pesticides lorsqu'ils sont homologués et autorisés), que permet l'automatisation. Ce système d'irrigation amené à s'étendre est cependant réservé aux cultures à forte valeur ajoutée. Cela signifie, à l'évidence, que les doses apportées sont en général au moins égales aux besoins en eau des cultures. En outre ce système requiert une bonne maîtrise technique. La dose appliquée et sa modulation prennent une importance particulière pour maîtriser les effets environnementaux ; il faut y ajouter l'entretien, pour conserver une bonne homogénéité en évitant les problèmes d'obstruction des distributeurs.

Enfin pour l'irrigation de surface, si le système traditionnel est probablement condamné à assez court terme dans les pays du sud pour des questions de main d'œuvre et de pénibilité, les systèmes modernisés permettent d'atteindre de bonnes efficiences avec un choix correct des paramètres de conduite (débit et temps). Il requiert cependant de manière impérative un nivellement de qualité, une bonne maîtrise du travail du sol par l'agriculteur et des mains d'eau suffisantes.

Quelles que soient les performances intrinsèques des systèmes d'irrigation, il est nécessaire de rappeler que les performances obtenues dépendent in fine des stratégies d'irrigation et donc des pratiques des irrigants, tout au long d'une campagne de culture, qui présentent de plus une cohérence globale à l'échelle de l'exploitation agricole. Ce dernier point n'a pas été traité dans cette communication, mais les cas présentés à l'échelle de la parcelle ou de l'îlot irrigué ont permis d'illustrer la nécessité d'intégrer la variabilité climatique interannuelle dans toute analyse concernant l'irrigation. Ainsi le choix de stratégies d'arrosage fondées sur une fréquence régulière d'apport, avec des adaptations tactiques pour tenir compte du climat se révèle moins performant que celles fondées sur un niveau d'épuisement de la réserve pour un îlot de maïs. Ces résultats confirment l'intérêt d'outils de conduite fondés en partie sur des mesures de disponibilité de l'eau du sol, comme la méthode IRRINOV ®, à condition que la fiabilité des capteurs utilisés soit suffisante et que les diverses contraintes (disponibilité du matériel, accessibilité à la ressource...) ne constituent pas des points de blocage à l'application de ces outils. Il en est de même dans le cas de la prise en compte des effets du vent qui ne peut que reposer sur une approche fréquentielle.

Pour être plus complet, sinon exhaustif, il conviendrait de compléter les analyses présentées ci-dessus en abordant les contraintes économiques et énergétiques à l'échelle de l'exploitation agricole pour les différents systèmes d'irrigation.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) BOUTHIER A., DEUMIER J.M. ET LACROIX B., 2003. - IRRINOV ®, une méthode au service des producteurs pour piloter l'irrigation du maïs consommation, des céréales à paille et du pois de printemps. Proceedings of 54th ICID meeting, September 2003, Montpellier.

(2) BRISSON N., MARY B., RIPOCHE D., JEUFROY M.H., RUGET F., NICOULLAUD B., GATE P., DEVIENN-BARRET F., ANTONIOLETTI R., DURR C., RICHARD G., BEAUDOIN N., RECOUS S., TAYOT X., PLENET D., CELLIE, P., MACHET, MEYNARD J.M., DELÉCOLLE, R., 1998. - STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parametrisation applied to wheat and corn. Agronomie, **18**, 311-346.

(3) BURT C.M., CLEMERNS T.S., STRELKOFF K.H. SOLOMON L., HOWELL T., EISENHAUER D. and BLEISNER R., 1997. - Irrigation performance measures. Efficiency and uniformity, J. Irrigation and Drainage Engineering, **123**(6), 423-442.

(4) CHALAZON J-M., 1995. - La gestion de l'eau dans l'exploitation agricole : Etude comportementale - Cas des exploitations de grandes cultures du Nord Charente. Rapport de DEA, UPPA - IRSAM.

(5) CHRISTIANSEN J.E. 1942. - Irrigation by sprinkling. California Agric. Exp. Sta. Bull. 670. University of California, Berkeley.
(6) CLEMMENS A.J., 2002. - Measuring and improving irrigation performance at the field level. Transactions of ASAE.
(7) DEUMIER J.M., LACROIX B., MANGIN M., VALLADE S., MOLLE B. et GRANIER J. 2003. - IRRIPARC Part2: Hose reel gun settings according to wind conditions - Utilisation of IRRIPARC methodology in 3 regions. Proceedings of 54th ICID meeting, September 2003, Montpellier.
(8) DUBALEN J., 1993. - Utilisation des matériels d'irrigation par aspersion. Diagnostic de fonctionnement au champ . La Houille Blanche 2/3, 183-188.
(9) GOOSENS X. and BONNET J.F., 2003. - Analyse des implications énergétiques de l'irrigation. Proceedings of 54th ICID meeting, September 2003, Montpellier.
(10) GRANIER J., MOLLE B. and DEUMIER J.M., 2003. - IRRIPARC-Part 1: Modeling spatial water distribution under a sprinkler in windy conditions. Proceedings of 54th ICID meeting, September 2003, Montpellier.
(11) Labbé F., Ruelle P., Garin P., Leroy P., 2000, Modelling irrigation scheduling to analyse water management at farm level, during water shortages, Eur. J. Agron **12**, 55-67.
(12) LEROY P., BALAS B., DEUMIER J-M, JACQUIN C. et PLAUBORG F., 1996. - Water management at farm level, Rapport final 1991-1995 de EU CAMAR 8001-CT91-0109 Projet : The management of limited resources in water and their agroeconomical consequences.
(13) MAILHOL J.C., 2005. - Contribution à la maîtrise de l'irrigation et de ses impacts. Mémoire d'HDR. Université de Montpellier.
(14) MAILHOL J.C., VODICKA A., RUELLE P., SLATNI A.and IKAMA M., 2004. - Diagnostic des pratiques d'irrigation gravitaire dans le Moyen Sebou : perspectives d'amélioration. Actes du séminaire du projet INCO-Wademed « Modernisation de l'Agriculture Irriguée » Rabat 19-21 avril 2004. www.wademed.net
(15) MAILHOL J.C., ZAÏRI A., SLATNI A., BEN NOUMA, B. and EL AMANI, H., 2004. - Analysis of irrigation systems and irrigation strategies for durum wheat in Tunisia. Agric. Water Manag., **70**, 19-37.
(16) MAILHOL J.C., CHATEAU G. et SLATNI A., ZAIRI A., 2004. - Diagnostic de l'irrigation goutte à goutte sur tomates de plein champ dans la plaine de la Medjerda. Actes du séminaire du projet INCO-Wademed « Modernisation de l'Agriculture Irriguée » Rabat 19-21 avril 2004.www.wademed.ne
(17) MAILHOL J.C. et RUELLE P., 1999. - Un outil opérationnel pour l'analyse des stratégies d'irrigation du maïs au moyen d'un canon enrouleur. ICID Congress Grenada (Spain) Q. 48, 87-99.
(18) MERRIAM J. L. and KELLER J., 1978. - Farm Irrigation System Evaluation: A guide for Management. Dept. Agri. Irrig. Eng. Utah st. University, Logan.
(19) MOLLE B. et. DEUMIER J.M, 2005. - Choix des matériels d'irrigation en fonction de leurs performances. Des adaptations possibles pour une meilleure maîtrise des arrosages. Colloque Agriculture Durable. SIMA 4 mars 2005.
(20) MOLLE B., GRANIER J., BAUDEQUIN D. and ZANOLIN A., 1999. Management of sprinkler irrigation spatial : variability consequences on crop yields, water amounts used and nitrate leaching. ICID Congress Granada (Spain) 240 - 260.
(21) MONTERO J., TAJUELLEO J.M.and CARRION P., 2001. - SIRIAS a simulation model for sprinkler irrigation II. Calibration and validation of the model. Irrig. Sci. **20**, 85-98
(22) NIWASAVE European project 1999. - Cemagref, ETSI-UCLM, Silsoe College Cranford Unvers., INRA, Cometal, Komet, FAIRI 1 CT 950088 (EU DG VI) Water Agric. and Envir. Interactions. Reducing the impacts of water application heterogeneity on nitrates leaching, water losses and economic yields.
(23) PEREIRA L.S., OWEIS Th. and ZAIRI A., 2002. - Irrigation management under water scarcity. Agric. Water Manag. **57**, 175-206.
(24) PITTS D., PETERSON K., GILBERT G. and FASTENAU, R., 1996. - Field assessment of irrigation system performance. Appl. Eng. Agric. **12** (3), 307-313.
(25) RICHARDS P.J., and WETHERHEAD E.K., 1993. - Prediction of rain gun patterns in windy conditions. J. Agric. Eng. Res. **54** (4), 281-291.
(26) RUELLE P., BOCCIO A. et DKHIL M., 2005. - Gestion volumétrique et comparaison des pratiques des irrigants. Rapport au MEDD 45 pp.
(27) RUELLE P., MAILHOL J.C., QUINONES H. et GRANIER J. 2003. - Using Niwasave to simulate impacts of irrigation heterogeneity on yield and nitrate leaching when using a travelling raingun in a shallow soil in Charente (France). Agric. Water Manag. **63**, 15-25.

(28) RUELLE P., 1995. - Variabilité spatiale à l'échelle de parcelles de cultures : Etude expérimentale et modélisation des bilans hydriques et des rendements. Thèse de doctorat, UJF Grenoble I, 210 p.
(29) SLAMA F., BAHRI A., BOUARFA S. et CHAUMONT C, 2004. - Pratiques d'irrigations et rôle du drainage pour le contrôle de la salinité - cas du périmètre irrigué de Kalaât Landelous en Tunisie. Actes du séminaire du projet INCO-Wademed « Modernisation de l'Agriculture Irriguée » Rabat 19-23 avril 2004. www.wademed.net
(30) ZANOLIN A., 2003. - Irrigation de précision en petite Beauce : Mesures au champ et modélisation stochastique spatialisée du fonctionnement hydrique et agronomique d'une parcelle de maïs. Thèse de doctorat Paris 6. 187p + annexes.

(Reçu le 1er juillet 2005)

RECYCLAGE DES EAUX USÉES À DES FINS D'IRRIGATION

WASTE WATER REUSE FOR IRRIGATION

par Jean-Sébastien **Thomas** [1] et Emmanuel **Soyeux** [1]

(*note présentée par* Emmanuel Soyeux)

Les carences en eau potable que subissent un nombre de plus en plus important de pays dans le monde ont maintenant été largement analysées et reconnues par les grands organismes internationaux tels que l'OMS ou la Banque Mondiale. L'urbanisation effrénée et le développement des activités socio-économiques sont les principaux moteurs de ce phénomène qui expliquent que l'alimentation en eau potable des grandes villes devient ou est déjà sérieusement menacée. Un rapport récemment publié par le Programme Environnemental des Nations Unies confirme que le manque d'eau affecte aujourd'hui 400 millions de personnes et en affectera quatre milliards en 2050. La situation n'est guère plus brillante dans les pays méditerranéens, dans la mesure où la région est caractérisée par une quantité d'eau par habitant très faible, par une répartition inégale des ressources dans le temps et dans l'espace, et ceci tant au niveau régional que pour chaque pays (1).

Pour tenter de lutter contre cette tendance, une Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) semble l'approche la plus adaptée et durable. La GIRE peut être définie par « une approche de la gestion de l'eau qui reconnaît son caractère multi-dimensionnel – temps, espace, multidisciplinarité, jeu d'acteurs – et la nécessité d'affronter, d'intégrer et de relier ces dimensions de façon holistique pour faire naître des solutions durables » (2). Elle comprend notamment au niveau de chaque bassin versant :

- la gestion de la demande en eau,
- l'utilisation de nouvelles ressources en évaluant par exemple la qualité d'eau provenant de nouveaux forages,
- la protection des ressources en eau pour stabiliser et améliorer leur qualité et leur quantité disponible,
- le développement des ressources alternatives (eaux usées régénérées, eaux de pluie, eaux de mer ou saumâtres).

C'est plus particulièrement ce dernier point qui sera présenté, en réponse à la pénurie d'eau dont souffrent de nombreux pays situés en zone aride et semi-aride. L'usage qui semble le plus immédiat pour la réutilisation des eaux usées est l'irrigation. L'exemple de Gerringong-Gerroa en Australie sera développé pour illustrer sur le terrain comment de tels schémas peuvent se mettre en place, quelles sont les difficultés rencontrées, quels en sont les avantages.

Gerringong et Gerroa sont des villes côtières de 3 500 habitants. Elles sont situées à 120 km de Sydney, sur la côte Sud Est de l'Australie. La région est une destination touristique populaire et elle est également très connue pour ses plages, et la diversité de sa faune et de sa flore (3).

Le projet d'assainissement de Gerringong-Gerroa (GGSS) est la combinaison d'un processus intensif d'analyse d'impact environnemental et de l'apport de la population locale pour équiper la région d'un système d'assainissement des plus moderne. Ce projet *Design-Built-Operate* de 20 ans a été développé par Veolia Water Australie et est exploité par *General Water* Australie (filiale VW Australie) pour le compte de *Sydney Water Corporation*.

Le projet, qui est conçu pour subvenir aux besoins de la communauté jusque dans les années 2022 pour une population de 11 000 habitants, a apporté des bénéfices significatifs à la région, en particulier :

- un réseau d'assainissement,
- une usine moderne de traitement tertiaire des eaux usées (comprenant notamment de la microfiltration et un traitement UV),

1. Veolia Environnement Direction de la Recherche, du Développement et de la Technologie ; 36 rue de Liège 75008 Paris.

• un système de réutilisation des eaux usées à des fins d'irrigation conçu pour utiliser plus de 80 % des effluents traités et 100 % des boues.

Même si le développement et la mise en œuvre d'un tel projet est une tâche difficile et complexe, cet exemple, ainsi que les différentes expériences à travers le monde, montrent que, dans des conditions spécifiques, l'utilisation de ressources alternatives est non seulement une option économiquement compétitive, mais aussi a de nombreux avantages sociaux et environnementaux tels que :

• Surmonter les problèmes de pénurie d'eau en fournissant de nouvelles sources d'eau,

• Réduire la quantité et le coût des rejets d'eaux usées traitées dans l'environnement, et en particulier les canalisations rejetant les eaux usées en mer,

• Réutiliser des eaux usées et dessaler l'eau de mer peuvent coûter moins cher que les eaux de nappes et les eaux importées, en fonction des coûts de pompage,

• Améliorer la qualité des ressources naturelles (rivières, eau de nappe, ...) de deux façons : moins d'eau est prélevée et moins de pollution rejetée,

• Eviter les lourds investissements dans de longues et grosses canalisations pour importer de l'eau d'une région ou d'un pays voisins, de même que diminuer la dépendance envers d'autres régions ou pays,

• Améliorer les activités socio-économiques (sécurité ou création d'emplois, augmentation de la production d'aliments, support au tourisme, nouvelles opportunités pour le développement local).

Mots-Clés : Gestion intégrée des ressources en eau, ressources alternatives, cycle de l'eau, réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation, Gerringong-Gerroa.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) European Commission, 2002. - Euro-Mediterranean Regional Programme For Local Water Management, *Guidelines for Applicants, to Call for Proposals 2001*, European Commission, Euro-Mediterranean partnership.

(2) THOMAS J.S., 2001. - *Watside, a decision methodology for water supply development*, RMIT University, Phd Thesis.

(3) BOAKE M.J., 2005. - *Recycled Water - Case Study : Gerringong Gerroa, in* Integrated Concepts in Water Recycling (2005) - S.J. Khan, A.I. Schäfer, M.H. Muston (Eds) - ISBN 1741280826.

SUMMARY

Drinking water shortage occurring in more and more countries around the world are now well analysed and recognised by international organisations such as WHO or the World Bank. Urban growth and economic development are the main reasons for these shortages, which hamper or are hampering the water supply of many conurbations. In order to contain this phenomenon, integrated water resource management seems to be the most appropriate and sustainable approach. At the catchment area scale, it consists in:

- *Managing water demand;*
- *Using new traditional resources (groundwater, river and reservoirs);*
- *Protecting water resource to maintain or improve their quality and availability;*
- *Developing alternative resources (reclaimed water,rain water, sea water).*

This last point, which can help solving water shortage, will be emphasised and the use of reclaimed wastewater for irrigation in particular; its status in France and around the world as well as examples of projects of this kind are discussed.

(Reçu le 21 juin 2005)

IMPACT SANITAIRE DES AMÉNAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES EN ZONE TROPICALE

par Vincent **Robert** [1]

RÉSUMÉ

Depuis le XIXe siècle, à l'échelle de la planète, les modifications majeures de l'environnement liées à l'homme concernent essentiellement la déforestation, l'urbanisation, et le changement de pratiques agricoles. Ces aménagements de l'environnement sont à la fois sources de progrès socio-économique et objets d'inquiétude pour l'avenir de l'humanité.

Pour se limiter aux aménagements hydro-agricoles et à leurs conséquences sanitaires, cette dichotomie entre bénéfice socio-économique et coût sanitaire est particulièrement évidente lors des remaniements impliquant les eaux de surface afin d'accroître ou de réguler une production agricole.

Trop souvent, les conséquences sanitaires d'aménagements hydro-agricoles sont observées a posteriori, alors que dans l'idéal, l'aménagement devrait incorporer toute une série de mesures visant à prévenir et à traiter les retombées sanitaires, prévues ou imprévues, avant même que le problème ne relève de la santé publique. Cependant, force est de reconnaître que les effets des aménagements ne sont pas toujours catastrophiques et sont même parfois franchement positifs pour la résolution de problèmes sanitaires antérieurs à la mise en route de l'aménagement.

Une difficulté à laquelle les décideurs sont confrontés de façon récurrente, réside dans la faible compréhension des mécanismes d'interaction entre environnement et santé, ce domaine étant éminemment multifactoriel. L'individualisation des causes profondes est souvent incertaine, et parfois non reproductible. Aussi procède-t-on par études de cas, comme si notre époque était plus celle du constat que celle de la prospective.

La communication orale proposera ainsi quelques exemples sous forme d'études de cas, tels que :

- la schistosomose intestinale dans le cours inférieur, maintenant régulé, du fleuve Sénégal,
- le paludisme dans la zone rizicole de la Vallée du Kou au Burkina-Faso,
- la fièvre de la Vallée du Rift dans l'Est et dans l'Ouest de l'Afrique.

Ces exemples, a priori fort disparates, partagent une méthodologie commune par suivi longitudinal. Ils sont choisis à dessein pour illustrer à quel point les situations peuvent être changeantes sur le long terme et donc, difficiles à anticiper.

Les notions de « mauvaises pratiques » (ce qu'il faut éviter lors de la mise en place d'un aménagement d'irrigation) et de « bonnes pratiques » (ce qu'il faut faire avant pour minimiser les impacts négatifs et après pour les corriger) seront discutées.

(Reçu le 7 mars 2005)

1. Directeur de recherche de l'IRD (Institut de recherche pour le développement).

LA PARTICIPATION DES USAGERS À LA GESTION DE L'IRRIGATION : DES MOTS D'ORDRE AUX RÉALITÉS DANS LES PAYS DU SUD

USERS' PARTICIPATION IN IRRIGATION MANAGEMENT: FROM WATCHWORDS TO REALITY IN SOUTHERN COUNTRIES

par Jean-Yves **Jamin** [1], Patrick **Bisson** [1], Jean-Louis **Fusillier** [1,2], Marcel **Kuper** [1,3], Florent **Maraux** [1,4], Sylvain **Perret** [1,5], Klaartje **Vandersypen** [1,6]

(*note présentée par* Jean-Yves Jamin)

RÉSUMÉ

La participation des usagers à la gestion de l'irrigation, promue par la conférence de Dublin (1992), est devenue un mot d'ordre généralisé sur la planète. Elle a souvent été imposée par les bailleurs de fonds, soucieux de réduire les dépenses publiques et d'améliorer la gestion de périmètres irrigués construits dans le cadre de grands projets de développement et jusque-là presque toujours étroitement gérés et encadrés par l'État. La participation s'insère dans un processus général de transfert des périmètres irrigués aux usagers.

Sur les principes, elle s'inspire d'une part de situations très anciennes, où l'irrigation est étroitement associée aux sociétés et gérée dans le cadre de règles partagées par tous, et d'autre part d'expériences plus récentes de petite irrigation lancées avec une plus grande participation des populations concernées et le soutien d'ONG. Pourtant, tant pour des questions d'échelle que pour des raisons techniques, historiques et sociales, cette participation n'est pas toujours aisée à mettre en œuvre. Pour les paysans concernés, elle ne correspond pas forcément à une priorité, l'amélioration du niveau de vie de leurs familles par une meilleure productivité de la terre, de l'eau, et surtout de leur travail, étant souvent plus motivante pour eux qu'une participation active à la co-gestion d'infrastructures en général conçues sans leur implication.

L'irrigation implique, par nature, le partage d'une ressource commune, l'eau, sur des espaces restreints, les périmètres irrigués. Elle nécessite des investissements importants, dépassant souvent les possibilités individuelles. Enfin, elle demande une bonne coordination des actions et donc une circulation de l'information entre les différents acteurs. Elle conduit à une forte organisation sociale pour mieux gérer l'eau, les terres irrigables et les infrastructures mises en place. Il est implicite que cette organisation devrait permettre une répartition équitable des ressources et limiter les conflits d'usage.

Dans les pays du Sud, pour des raisons techniques, sociales, historiques et politiques, cette organisation n'a pas toujours été prise en charge par les sociétés locales concernées, et a été en grande partie imposée par les États, leurs sociétés d'aménagement hydrauliques et les bailleurs de

1. CIRAD, UPR Gestion de l'eau/UMR Gestion de l'eau, Acteurs Usages.
2. CIRAD La Réunion.
3. IAV Hassan II, Rabat, Maroc.
4. FAO/AGLW, Rome.
5. Université de Pretoria, Afrique du Sud.
6. Université de Leuven, Belgique, et Office du Niger, Niono, Mali.

fonds. Les changements souhaités doivent donc s'appuyer sur une évolution de la participation des acteurs de base, les usagers, mais aussi sur des évolutions au sein des technostructures et des États.

Ce texte présente différentes situations rencontrées dans des pays du Sud, en particulier en Afrique. Il analyse les dynamiques sur lesquelles peut s'appuyer une participation plus active des usagers à la gestion de l'irrigation, ainsi que les limites de cette participation.

SUMMARY

Users' participation in irrigation management, which was promoted by the Dublin conference (1992), has become a general watchword across the planet. It has often been imposed by donors keen to reduce public expenditure and improve the management of irrigated areas that are part of large development projects, which until now have almost always been closely managed and supervised by the State. Participation is part of a general process to transfer the irrigated areas to the users.

The principle is partly inspired by traditional systems in which irrigation is closely associated with societies and managed by rules that are shared by all. It is also partly inspired by more recent experience of small-scale irrigation systems that have been established with greater participation of the populations concerned and NGO support. However, putting participation into practice is not always easy because of questions of scale as well as for technical, historical and social reasons. Participation is not necessarily a priority for the farmers concerned. They are usually more motivated by improving their families' standard of living, the productivity of land, water and, above all, their work, than by actively participating in the co-management of infrastructure which has generally been designed without their involvement.

By its very nature, irrigation implies sharing water, which is a common resource, in limited irrigated areas. It involves heavy investment, which is often beyond the means of individuals. Lastly, it requires good coordination in terms of action and, therefore, information has to circulate between the different stakeholders. It leads to sound social organization so that the management of water, irrigable land and the established infrastructure can be improved. This organization should lead to the equal distribution of resources and limit the conflicts over use.

For technical, social, historical and political reasons, the local societies concerned in southern countries have not always taken responsibility for this organization. The latter has largely been imposed by the States, their hydraulic development companies and donors. Therefore, the desired improvements should be based on changes in the participation of the primary stakeholders, the users, as well as changes within the techno-structures and the States.

This article presents different situations met in southern countries, particularly in Africa. It analyses the dynamics that could provide the basis for active users' participation in irrigation management as well as the limits of participation.

L'irrigation : un enjeu majeur pour les États et les acteurs

L'agriculture absorbe la plus grosse part de l'eau douce prélevée pour l'usage de l'homme, les deux tiers environ. Ils servent le plus souvent à l'agriculture irriguée, qui a permis d'améliorer fortement la sécurité alimentaire dans certains pays d'Asie et d'Afrique, sans toutefois pouvoir la garantir totalement (10). Au niveau mondial, 18 % des terres cultivées sont irriguées, mais seulement 3 % le sont en Afrique sub-saharienne. Les pressions sur le secteur agricole sont aujourd'hui de plus en plus fortes pour qu'il consomme moins d'eau.

L'irrigation est un secteur marqué par une très forte culture technique et a longtemps été une affaire d'hydraulique et de génie rural, pilotée directement par l'État. Depuis vingt ans, la tendance est d'aller vers une gestion plus sociale de l'eau, impliquant les différents acteurs (agriculteurs, associations, services d'eau, collectivités, etc.).

Des impératifs de rentabilité des usages agricoles de l'eau sont aussi mis en avant, et ce d'autant que les États se désengagent, souvent sous la pression des bailleurs de fonds, d'un secteur longtemps protégé du fait de son caractère stratégique pour la sécurité alimentaire des pays du Sud.

Il existe donc un mouvement convergent vers une gestion de l'irrigation qui implique plus fortement les usagers (30). Mais tous les acteurs n'ont peut-être pas la même compréhension de cette plus grande implication et de ses conséquences en terme de partage des responsabilités, des décisions et des coûts.

1. Les systèmes irrigués et leurs évolutions. Illustrations africaines

Modalités d'utilisation agricole de l'eau en Afrique [7]

Les terres irriguées en Afrique au sud du Sahara couvrent 5,2 millions d'hectares, soit 3,3 % des terres cultivées. Sept pays (Angola, Soudan, Egypte, R.D. Congo, Ethiopie, Mozambique et Nigeria) concentrent à eux seuls presque 60 % du potentiel d'irrigation de l'Afrique. A l'autre extrémité de la liste, 18 pays ne se partagent que 5 % de ce potentiel. Mais l'exploitation de ce potentiel n'est vraiment importante qu'en Afrique du Nord et en Afrique australe, ainsi qu'au Soudan et au Mali (Figure 1).

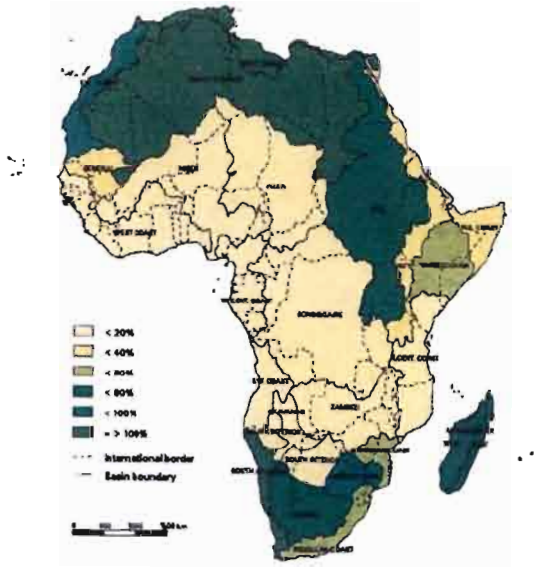

Figure 1. – L'irrigation en Afrique (en % du potentiel)

L'eau est utilisée de façon très diverse selon les régions. A côté des périmètres irrigués équipés d'ouvrages hydrauliques, on rencontre des systèmes où le contrôle de l'eau n'est que partiel : bas-fonds, épandages de crue, cultures de décrue.

La culture des bas-fonds, plus ou moins aménagés, concerne presque toutes les régions d'Afrique, à l'exception des plus sèches. A l'inverse, l'irrigation par épandage de crues n'est présente qu'au Maghreb et dans la corne de l'Afrique. Les cultures de décrue sont pratiquées le long des grands fleuves sahéliens ou d'Afrique australe.

L'essentiel de l'irrigation, en surface, concerne des grands aménagements (de plusieurs milliers d'hectares) réalisés sous la houlette de l'État à travers des offices de mise en valeur. Certaines zones sont anciennement aménagées à grande échelle (Égypte), la plupart l'ont été plus récemment, au cours de la période coloniale ou depuis les Indépendances (Maghreb, Sénégal, Mali, Madagascar, Nigeria, Éthiopie, Soudan). Jusqu'au début des années 1980, ce modèle d'aménagement visant à optimiser l'utilisation technique de l'eau et de l'espace a été la règle, tout comme la gestion par des offices d'État, pour l'eau mais aussi pour le choix des cultures, les calendriers agricoles, les approvisionnements et la commercialisation.

A côté de ces grands aménagements coexistent localement des petits périmètres irrigués, parfois issus de formes traditionnelles d'irrigation, comme au Maghreb. En Afrique sub-saharienne, ces petits aménagements sont surtout apparus au cours des années 1970 et 1980, en réponse à des problèmes de sécheresse ; ils ont alors été soutenus par la Communauté internationale (bailleurs de fonds et ONG) et parfois intégrés par les États au sein de leurs offices chargés de gérer l'irrigation (vallée du Sénégal). En Afrique du Sud, des petits périmètres ont été mis en place pour aider à couvrir les besoins alimentaires des ex-bantoustans. Ces casiers de petite taille (quelques dizaines d'ha) sont maintenant

7. L'essentiel des informations sur l'Afrique sont tirées de Faurès et Sonou, 2000 (13).

gérés plus directement par les agriculteurs. Ils jouent un rôle essentiel dans la survie des régions concernées et dans leur cohésion sociale.

On note également le développement d'une irrigation privée, surtout au Maghreb où elle couvre des centaines de milliers d'hectares à partir de prélèvements dans la nappe. Cette irrigation est très dynamique et très réactive par rapport aux marchés. En Afrique du Sud, l'irrigation privée est aussi très développée, depuis des décennies, dans les exploitations des fermiers d'origine européenne.

Au plan technique, l'irrigation gravitaire domine largement (90 % des surfaces). Il n'y a qu'en Afrique du Nord et en Afrique du Sud où l'irrigation par aspersion est significativement présente (dans les exploitations commerciales).

Croissance démographique et production

Les projections des Nations Unies indiquent que la population mondiale devrait passer de 6 milliards de personnes en l'an 2000 à 8 milliards en 2025. Plus de 80 % de cette augmentation aura lieu dans les pays en développement. Le défi consistera à produire assez de nourriture et à créer des emplois non agricoles tout en satisfaisant la demande croissante en eau des autres secteurs (villes et industries).

Si le potentiel d'irrigation est encore sous-utilisé en Afrique sub-saharienne, il existe cependant déjà des régions où la pression sur les ressources en terres ou en eau est très forte. Dans d'autres, elle le sera inéluctablement : l'Afrique de l'Ouest ne produisait en 1995 que 63 % du riz qu'elle consommait, alors qu'elle dispose de tout le potentiel pour satisfaire à ses besoins. Les pays concernés ne pourront donc échapper à une politique de développement de la riziculture irriguée.

Transparence dans la gestion et participation des acteurs

Au cours du siècle dernier, la majeure partie de la mise en valeur des eaux a été le fait d'organismes d'État qui ont aménagé pour l'irrigation des superficies agricoles considérables. Leurs performances ont été plus discutables dans la gestion des systèmes mis en place. Les décisions étaient en général prises de manière bureaucratique et centralisée, ne laissant guère de souplesse aux usagers pour le choix des modes de culture, des calendriers ou des programmes de distribution de l'eau. On s'est aussi aperçu, dans les années 1980, que de nombreux projets d'irrigation étaient devenus une charge excessive pour les budgets nationaux.

Les petits aménagements ont montré qu'il était possible d'impliquer plus fortement les agriculteurs dans la gestion de l'irrigation, même quand ils n'avaient aucune expérience préalable des systèmes irrigués, cas le plus fréquent en Afrique sub-saharienne. Pour les bailleurs de fonds, partisans du désengagement de l'État, ils représentent une voie à suivre pour les grands aménagements, même si les États concernés sont plus prudents, voire plus réticents, mais contraints par le contexte d'ajustement structurel qui prévaut depuis les années 1980.

La gestion de l'eau dans les grands périmètres est donc de plus en plus souvent transférée à des paysans plus ou moins organisés et censés participer aux processus de décision. Cette évolution s'accompagne d'une meilleure transparence sur les coûts de l'irrigation et d'une mise en œuvre de processus de facturation.

Projections pour le développement de l'irrigation en Afrique de l'Ouest

Les études prospectives (13) montrent que les superficies irriguées ne sont pas appelées à s'étendre beaucoup. Par contre, l'intensification devrait progresser et le marché orienter les productions. Ainsi, on prévoit le développement des cultures à haute valeur ajoutée (maraîchage), pour lesquelles le marché offrira aux producteurs la capacité d'investir dans l'irrigation, dans le cadre d'une agriculture très intensive. La majeure partie des surfaces irriguées seront mobilisées pour les cultures vivrières, surtout le riz, et le grand défi sera de produire en Afrique de l'Ouest du riz à des conditions économiques satisfaisantes pour les producteurs et pour les consommateurs. La problématique est similaire pour la production de maïs en Afrique Australe.

2. Les défis de l'irrigation en conditions de transfert de gestion

La participation des irrigants à la gestion de leurs périmètres s'inscrit dans le cadre plus général du transfert de ces périmètres collectifs (12, 44), d'un contrôle étatique, vers une gestion par les usagers, avec l'émergence d'organisations et d'institutions locales (33), et une couverture autonome progressive des coûts encourus (39).

En Afrique, ce transfert s'inscrit dans un contexte de révision des politiques nationales de l'eau, mais aussi de pauvreté rurale, de compétition croissante et de rareté de la ressource. Il tend à se généraliser, en Afrique de l'Ouest, au Zimbabwe, ou plus récemment en Afrique du Sud, alors que beaucoup de périmètres irrigués ne paraissent pas viables dans les conditions actuelles : infrastructures déficientes pour cause de conception initiale inappropriée, puis de gestion et de maintenance centralisées défaillantes, manque de savoir-faire et de connaissance de la part des agriculteurs comme des agents locaux de développement, manque de participation, absence d'initiatives d'action collective, institutions et modes de tenure foncière inadéquates, conflits politiques locaux, habitudes de dépendance, faible productivité de la terre, coûts de fonctionnement et de maintenance prohibitifs (IWMI, 2003).

Le processus de transfert de gestion achoppe en particulier sur la difficile émergence d'entités de gestion locales durables et représentatives ; les nouvelles législations nationales sur l'eau suggèrent souvent la création d'associations d'usagers, mais cela est difficile dans un contexte habituel de faible organisation des producteurs. Il bute aussi sur le problème de la couverture durable et acceptable des coûts de maintenance et de fonctionnement (voire de capital, pour les réhabilitations futures) par les usagers ; cette condition constitue un défi dans un contexte de faible productivité et de faibles revenus monétaires.

Le périmètre irrigué, système complexe à plusieurs niveaux de gestion

Dans ce nouveau contexte, il est nécessaire de se doter d'un cadre renouvelé de représentation et de compréhension de ce qu'est un périmètre irrigué collectif.

La gestion d'un périmètre pour l'irrigant ne se limite ni à la gestion de l'eau, ni à sa parcelle irriguée ; elle concerne aussi l'entretien du réseau hydraulique et d'infrastructures à différents niveaux, la gestion foncière, la gestion financière (très importante avec le désengagement de l'État et vu le niveau des investissements, mais aussi très sensible en terme de tarification et de recouvrement), la gestion des flux d'approvisionnement et de commercialisation, ainsi que la gestion de la production agricole elle-même, généralement individuelle, mais qui peut nécessiter certaines coordinations en terme de calendrier ou de moyens.

Des interactions constantes existent entre niveaux collectifs et individuels, et entre gestion technique et gestion financière d'un périmètre irrigué (26). Le système de tarification et de recouvrement des coûts est central, à l'interface entre aspects techniques et aspects financiers de la gestion, et est la clef de la viabilité d'un périmètre autonome.

On doit aussi considérer le système irrigué plutôt que le seul périmètre irrigué, car certains problèmes dépassent le cadre strict du périmètre et intéressent d'autres intervenants, d'autres usagers, d'autres espaces (filières, bassin versant).

Vers une gestion décentralisée, par des organisations locales : l'information pour coordonner les actions

Le fonctionnement d'un système irrigué requiert un ensemble de coordinations entre les acteurs pour gérer des flux de produits (eau, finance, intrants, produits agricoles) et d'information liées à des fonctions diverses et plus ou moins intégrées (27). Ainsi, une association d'irrigants peut gérer l'approvisionnement et le partage de l'eau, mais aussi s'impliquer dans l'approvisionnement en intrants ou la commercialisation des produits.

Tant que les périmètres irrigués fonctionnaient de façon directive, avec un gestionnaire central assurant les diverses fonctions de distribution de l'eau, maintenance des équipements et recouvrement des redevances, les problèmes de coordination se posaient peu, la voie hiérarchique étant censée

résoudre tous les problèmes. Aujourd'hui, avec une multiplication des centres de décision et l'intervention d'acteurs multiples (opérateur public, associations d'usagers, paysans individuels, opérateurs privés), la coordination des actions et donc la circulation de l'information sont devenues un enjeu important.

Les analyses récentes soulignent des problèmes récurrents dans les périmètres : asymétrie d'information entre acteurs, méconnaissance des coûts réels, absence de transparence sur la tarification de l'eau, méconnaissance des réseaux et des ouvrages, imprécision dans la collecte d'information, déficience de l'archivage. Plusieurs expériences sont en cours en Afrique de l'Ouest (Mali, Sénégal), en Afrique du Sud et à Madagascar, pour mettre en place des outils de gestion comme des systèmes d'information, y compris des systèmes d'information géographiques, permettant de faciliter l'accès aux données sur la gestion de l'eau, l'entretien des infrastructures, les coûts afférents, la tarification, l'attribution des parcelles, etc.

Initialement destinés aux gestionnaires des réseaux, ces outils sont aussi utilisés pour alimenter les discussions entre les irrigants et les gestionnaires, et deviennent donc des outils d'aide à la négociation. En effet, une première étape indispensable à la participation des acteurs à la gestion des périmètres est de leur permettre d'améliorer leurs connaissances de cette gestion et de construire des représentations partagées du réel (26, 36). Ces outils, souvent en relation avec des bases de données, s'avèrent intéressants pour améliorer l'efficacité des systèmes d'information en place, et pour impulser une dynamique de changement organisationnel autour des fonctions à gérer.

En pratique, une fois passé le stade expérimental où s'impliquent les chercheurs, les outils mis en place restent encore souvent beaucoup plus largement utilisés par les offices d'irrigation ou par des consultants extérieurs, que par les acteurs paysans ou leurs représentants. Les informations hydrologiques, climatiques et phytosanitaires pertinentes et compréhensibles arrivent toujours difficilement jusqu'aux usagers. Les représentations géographiques de l'espace ne sont disponibles que dans de rares cas. Et les paysans manquent de conseillers agricoles à même de continuer le travail de compréhension et d'appropriation de ces informations et de ces outils, dans un contexte où l'État s'est désengagé du conseil, réduit à une part symbolique. C'est le cas par exemple dans la Vallée du Fleuve Sénégal, au Mali, à Madagascar ou en Afrique du Sud.

L'évaluation des coûts financiers de l'irrigation et leur imputation aux usagers

La structure des coûts dans un périmètre irrigué est généralement marquée par le poids des investissements initiaux (ouvrages de retenue, captage et distribution de l'eau) et la prépondérance des charges de maintenance et de renouvellement des équipements par rapport aux charges de fonctionnement (salaires, énergie). Ces caractéristiques ont deux conséquences sur le plan économique :

(i) la rentabilité financière des périmètres irrigués est souvent très faible voire négative si l'on inclut l'investissement initial à longue durée de vie dans le calcul, tout particulièrement dans les pays en développement où le taux d'actualisation est généralement élevé. La prise en charge de l'investissement par l'État se trouve alors justifiée par ce souci du très long terme, ainsi que par des considérations d'aménagement du territoire ou encore de soutien à l'activité pour contrer une récession économique (politique de grands travaux) ;

(ii) la maintenance peut donner lieu à des stratégies variées en terme de rythme de renouvellement des équipements et de mode d'intervention et de financement (prestation de travaux des irrigants, constitution de provisions ou recours à l'emprunt). L'horizon temporel dans lequel se situe le gestionnaire conditionne largement ces stratégies. En Afrique la forte préférence pour le présent et le coût d'opportunité élevé du capital conduisent souvent à différer les maintenances. L'option choisie a une forte influence sur les coût d'irrigation. Les estimations sont ainsi très variables selon les experts (15, 41).

Pour l'imputation du coût de l'irrigation, il est généralement admis que le coût financier complet ne peut être supporté par les seuls irrigants. Il se pose alors le problème de la répartition des équipements entre ouvrages stratégiques relevant de la compétence des pouvoirs publics et ouvrages à charge des irrigants. Au delà d'une approche d'équilibre budgétaire pour le gestionnaire du périmètre, la capacité et le consentement à payer des irrigants sont à considérer. De nombreux facteurs sociaux ou liés à l'histoire du périmètre interviennent dans ce consentement à payer qui doit être clairement différencié de la capacité économique exprimée par la part des charges d'irrigation dans

le produit brut agricole. Ainsi, à Madagascar où les redevances d'irrigation en grands périmètres gravitaires apparaissent relativement faibles (moins de 5% du produit en riz), les niveaux d'impayés de ces redevances, très variables selon les mailles hydrauliques, sont en relation avec le degré de cohésion sociale au sein de la maille, lui même lié à la convergence de la maille avec le lieu de résidence et à l'homogénéité des statuts fonciers.

Du périmètre au territoire : du niveau local au bassin hydraulique

Un des défis que rencontre aujourd'hui l'irrigation est celui de la prise en compte de différents niveaux d'échelle. En effet, pendant longtemps, l'irrigation a été régie par des règles, écrites ou orales, qui étaient essentiellement locales et concernaient uniquement des populations rurales. Or aujourd'hui, la compétition pour la ressource en eau est plus importante. Elle implique fortement des secteurs non agricoles comme l'industrie et surtout l'alimentation en eau potable des villes ; cette dernière, même si les quantités prélevées n'en font pas en général le principal utilisateur en terme quantitatif, bénéficie cependant toujours de la priorité la plus élevée pour l'accès à la ressource, et impose de fortes contraintes en terme de qualité.

Ainsi, même en Afrique où la sécurité alimentaire est une priorité importante pour les gouvernements et les organisations internationales, l'approvisionnement en eau des villes devient aussi une préoccupation majeure, avec une population urbaine qui tend, dans tous les pays, à rattraper voire à dépasser la population rurale, et donc d'énormes problèmes pour alimenter ces villes en eau potable. Si l'on revient à l'exemple de l'Office du Niger, un des défis auxquels est aujourd'hui confrontée l'Autorité de Bassin du Niger (regroupant les neuf pays partageant ce bassin) est de répartir l'eau disponible entre l'utilisation hydro-électrique, agricole et urbaine. Au niveau du paysan malien, l'eau n'est pas rare et les incitations à une gestion rigoureuse sont donc faibles. Mais le cumul des prélèvements effectués pour l'irrigation par l'Office du Niger est important (10 % des débits en moyenne, mais entre 35 et 80 % en période d'étiage), d'autant que le mode de prélèvement (un barrage de dérivation) permet au besoin de dériver toute l'eau du fleuve en période d'étiage, aux débits de fuite près, ce qui a été effectivement réalisé à plusieurs reprises (24). La ville de Niamey, située très en aval, s'inquiète fortement du niveau du fleuve à cette période (16). Signe des temps, alors que jusqu'ici le rôle de l'ABN restait très limité, les neuf Etats se sont engagés récemment à se consulter systématiquement sous la coordination de l'ABN avant la réalisation de tout ouvrage qui affecterait significativement le régime du fleuve. Mais la question est aussi de savoir comment, au-delà des États, inciter les acteurs agricoles de base à moins consommer d'eau en l'absence de contrainte directe à leur niveau.

Ce problème ce retrouve dans de nombreux bassins des pays du Sud, le pourcentage de bassins transfrontaliers y étant élevé. Les usagers se trouvent ainsi insérés dans des relations, des négociations et des accords inter-États qu'ils ne maîtrisent pas et qui peuvent leur imposer des contraintes au niveau de la disponibilité de la ressource ou des responsabilités sur des problèmes de pollution.

De nouvelles bases conceptuelles et méthodologiques

Le nouveau contexte et les défis qui accompagnent désormais l'agriculture irriguée collective nécessitent une approche renouvelée (36). Compte tenu des problèmes identifiés, une telle approche peut s'appuyer sur (1) une vision managériale des périmètres, (2) des représentations partagées de la réalité socio-économique, (3) les principes de la recherche-action, et (4) l'élaboration de modèles et d'outils de simulation comme instruments de participation et d'heuristique.

En premier lieu, il est indispensable de poser qu'il existe des coûts liés à l'approvisionnement en eau du périmètre et aux services de gestion qui s'y rattachent. Un objectif de couverture de ces coûts est poursuivi (39). Dans un contexte de transfert de gestion, cela implique que (1) l'entité de gestion - association d'irrigants - assure l'approvisionnement en eau d'irrigation et les services attachés, (2) ces services génèrent des coûts, en capital, maintenance, fonctionnement, personnel, (3) l'entité de gestion facture ces services aux agriculteurs, sur la base d'un système à définir, et (4) les agriculteurs mobilisent une partie de leurs revenus (agricoles ou non) pour couvrir cette charge (27). Le système de tarification des services de l'eau constitue l'interface entre les agriculteurs et l'entité collective de gestion.

En second lieu, l'examen approfondi des stratégies des irrigants et de leurs familles, et de leur environnement socioéconomique, est un préalable à tout appui (44). Dans un périmètre irrigué

collectif, différentes stratégies se développent, en fonction de l'histoire, de la composition, des objectifs des ménages. Comme il est impossible de rendre compte des caractéristiques de chaque famille, mais qu'il n'est pas pertinent de considérer le périmètre comme homogène, on a recours à des typologies, qui regroupent les exploitations présentant des stratégies et caractéristiques similaires, selon des objectifs définis (34).

L'agriculture familiale irriguée collective subit des changements rapides. Pour que les adaptations nécessaires se produisent, il convient d'aller vers une facilitation collective d'apprentissages, de négociation d'objectifs et de moyens partagés (20). La recherche-action vise à jouer ce rôle de facilitation (2) en combinant volonté de changement par les acteurs locaux et intention de recherche, mise en place d'un dispositif commun associant chercheurs, agents de développement et usagers, et cadre éthique commun négocié et accepté par tous (29).

Enfin, les périmètres irrigués sont aussi des lieux de savoirs, de règles, et d'information. Cette information peut être organisée sous diverses formes et peut servir au suivi et à l'évaluation des activités réalisées, et de support de décision et d'action. Ces représentations plus ou moins formalisées sont des outils de gestion, et forment un système d'information (26, 31). En raison de la complexité, de la dynamique et de l'incertitude qui caractérise l'environnement des organisations, les outils de gestion ne peuvent plus viser à rechercher des solutions optimales ou uniques. Ils doivent plutôt viser à informer en continu, à favoriser l'apprentissage, la discussion, la connaissance collective d'une situation, l'adaptation à l'incertain et au changement. A partir du système d'information et d'une connaissance (même partielle) des processus en cours, des outils de simulation peuvent être mis en œuvre pour générer de la connaissance nouvelle et explorer les futurs possibles (38).

Les petits périmètres irrigués des anciens homelands sud-africains

Après les années d'apartheid, les périmètres irrigués des anciens homelands d'Afrique du Sud doivent maintenant passer le cap difficile et imposé du transfert de gestion et devenir rapidement plus autonomes et performants. Des obstacles techniques, économiques et socioculturels s'opposent à ce processus.

La plupart de ces périmètres ont été développés sous le régime d'apartheid avec comme objectif la fixation et la sécurité alimentaire des populations noires des bantoustans. Après plusieurs décennies de paternalisme, de contrôle centralisé, de maintien sous perfusion financière, et faute de maintenance et de marchés, ils sont aujourd'hui sinistrés. Les autorités centrales et provinciales de la nouvelle Afrique du Sud estiment pourtant qu'ils représentent un capital essentiel en zones rurales semi-arides, où les opportunités en termes de revenu et de subsistance sont rares pour les populations. Parallèlement à un démantèlement brutal des anciennes structures para-publiques de gestion, elles ont initié un processus de réhabilitation et de transfert de gestion, en ligne avec la nouvelle législation sur l'eau.

Depuis 1994, le gouvernement sud-africain a entrepris de profondes réformes politiques, économiques, législatives et institutionnelles, visant essentiellement à redresser les inégalités sociales héritées de l'apartheid tout en préservant maintenant l'importante capacité économique du pays (40 % du PIB d'Afrique sub-saharienne). Lourde de contradictions et de dilemmes au plan social, une politique libérale fondée sur des principes de décentralisation, privatisation, participation et démocratie locale, efficience et performance économique, a été mise en place. Une nouvelle et ambitieuse loi sur l'eau a été adoptée en 1998. Elle promeut les principes d'équité, de représentativité, de durabilité et d'efficacité, fondés sur la gestion décentralisée de la ressource, le désengagement de l'État, de nouvelles institutions de gestion locales et régionales, l'enregistrement et l'allocation de licences (permis d'usage) aux usagers.

La pauvreté et la rareté de l'eau comme construits politiques et sociaux

La pauvreté reste très marquée, particulièrement en zones rurales et péri-urbaines, où 61 % des Noirs (contre 1 % des Blancs) sont considérés comme pauvres. Les femmes sont plus exposées à cette pauvreté rurale, notamment en raison de l'importante migration de la main d'œuvre masculine vers les centres miniers, industriels et urbains. Ce sont encore aujourd'hui majoritairement des femmes et des vieillards qui cultivent la terre, et surtout à des fins de subsistance.

L'eau est rare en Afrique du Sud. La pluviométrie est de 500 mm en moyenne et le cinquième du pays reçoit moins de 200 mm. On estime que la ressource disponible sera totalement allouée en 2020, si l'ensemble de la population est correctement pourvu (la consommation en eau moyenne actuelle d'une personne noire est le vingtième de celle d'une personne blanche).

Une agriculture irriguée consommatrice et duale

Le secteur agricole ne contribue qu'à moins de 4 % du PIB du pays mais consomme 53 % de l'eau disponible (essentiellement pour l'irrigation) ; il se trouve en compétition croissante avec d'autres usages, environnementaux (15 %), domestiques (12 %), industriels (8 %), forestiers (7 %), miniers (3 %) et hydro-électriques (2 %). L'Afrique du Sud dispose actuellement de 1,3 millions d'ha sous irrigation, à la fois à des fins commerciales et de subsistance (35).

Les périmètres des anciens homelands aujourd'hui

Durant les années soixante-dix, les périmètres irrigués furent pris en charge par des sociétés de développement soutenues par les autorités des homelands, suite à la politique d'autonomisation de ces bantoustans. Mauvaise gestion financière, démobilisation de producteurs dépourvus de pouvoir de décision et de choix, réhabilitation et choix techniques inappropriés (réseau sous pression) conduisirent à la situation actuelle : infrastructures dégradées, systèmes de culture peu performants, marchés inexistants et désarroi des producteurs.

C'est dans ce contexte que s'inscrit aujourd'hui le transfert de gestion de ces périmètres, qui suppose notamment :

- l'émergence d'entités de gestion locales durables et représentatives ; la loi propose la formation d'associations d'usagers locales (*Water Users Associations*), auxquelles seront délivrés des permis collectifs d'usage. Ce préalable est difficile à mettre en œuvre dans un contexte de manque de confiance et d'habitude des producteurs à s'organiser, de ségrégation socioculturelle à l'encontre des femmes, pourtant chevilles ouvrières de ces périmètres, de lutte de pouvoir local et d'influence des chefferies traditionnelles ;
- la couverture durable et acceptable des coûts de maintenance et de fonctionnement (voire de capital, en vue de réhabilitations futures) par les usagers eux-mêmes. Cette condition constitue également un défi dans un contexte de faible productivité et de faibles revenus monétaires.

De plus, en cas d'ouverture de marchés intersectoriels des licences (prévue par la loi), la faible productivité de l'eau dans ces périmètres induirait une faible capacité de résistance aux offres d'achat de secteurs valorisant économiquement mieux l'eau (mines). Les conséquences de tels transferts pourraient être ravageuses pour le développement rural.

Des recherches par l'action et le partenariat

Le projet SMILE (*Sustainable Management of Irrigated Land and Environment*) (27, 36) s'attache à évaluer le potentiel de périmètres en cours de transfert et les conditions de leur durabilité, notamment financière (couverture des coûts). Ce projet de recherche-action est conduit en partenariat étroit avec les décideurs et opérateurs provinciaux et les producteurs de périmètres pilotes. Une plate-forme de simulation (logiciel Smile) a été établie et permet un travail prospectif avec ces opérateurs par l'analyse de la situation actuelle, puis le test de scénarii mettant en scène des changements techniques, économiques, institutionnels, légaux ou socio-économiques, discutés avec les acteurs.

Les premières actions menées ont suscité un intérêt très marqué (36). Les résultats soulignent les problèmes cruciaux et interconnectés de ces périmètres : des incertitudes sur le type de propriété foncière communale, la démobilisation des producteurs qui induit une sous-utilisation de la terre irrigable, la prédominance des cultures alimentaires (maïs) fournissant de faibles rendements, les faibles revenus monétaires dégagés par l'activité agricole. Ces conditions disqualifient toute idée de gestion autonome et durable de la plupart des périmètres évalués.

En revanche, des scénarios réalistes mettant en scène des améliorations de rendement, de nouvelles cultures, des transactions foncières locales, la commercialisation des produits et une utilisation plus

intensive de la terre indiquent que ces périmètres peuvent être viables. Il ne s'agit pas seulement de scénarii favorisant la stricte performance économique (par l'intensification et la commercialisation), puisque l'installation de jardins communautaires au sein de périmètres existants a aussi un impact très positif en termes financiers (couverture des coûts), de sécurité alimentaire et d'intégration sociale du périmètre dans les communautés avoisinantes. La concrétisation de ces scénarii suppose la formation des producteurs (technique et gestion), des accès améliorés aux marchés (intrants et semences, information, transport, crédit, produits), la clarification des droits fonciers individuels attachés à la terre communale, des réhabilitations réalistes et un appui financier pour les gros investissements (capital et maintenance lourde). Ce qui place les autorités centrales et provinciales devant leurs responsabilités.

3. La gestion de l'eau à l'échelle paysanne

La gestion de l'eau par les acteurs à l'Office du Niger

L'Office du Niger (au Mali) est un périmètre rizicole collectif de 50 000 ha avec une gestion centralisé. Dans le cadre de réformes qui ont débuté il y a 20 ans, la distribution de l'eau et l'entretien du réseau tertiaire ont été transférés aux exploitants. Des enquêtes ont été menées pour analyser leur capacité à résoudre des problèmes d'action collective sur le réseau et à élaborer et appliquer des règles de gestion communes.

Des règles de distribution de l'eau ne sont définies que sur 30 % des canaux tertiaires (irrigation alternée entre paysans en amont et en aval, ou accès préférentiel à l'eau pour les paysans ayant des champs difficiles à irriguer). L'application de ces règles est flexible et est suspendue pendant les périodes de faible demande en eau. Sur les autres canaux (70 %), chaque paysan décide individuellement des horaires et de la durée des irrigations ; des contacts informels entre paysans remplacent les règles fixes.

L'offre en eau étant abondante par rapport à la demande (eau disponible à partir d'un barrage de dérivation, sans pompage), les activités d'irrigation de différents paysans ne se gênent pas forcement, même sans coordination. De plus, la riziculture submergée présente l'avantage de pouvoir stocker de l'eau dans les champs, réduisant ainsi l'importance du moment exact de l'irrigation. Cependant, 20 % des paysans rencontrent des problèmes d'irrigation du fait du comportement des autres paysans : fermeture intempestive des prises des autres, manque de coordination pour les champs difficiles à irriguer, non respect des règles convenues ; nulle part n'ont été prévues de sanctions pour faire appliquer les règles. En fait, les règles n'arrivent à éviter les problèmes que sur 17 % des canaux. Dans 13 % des cas, les règles n'évitent pas les problèmes. Sur 12 % des canaux, des règles seraient utiles selon certains paysans, mais n'existent pas. Enfin, dans les autres 58 % des cas, des règles n'apparaissent pas nécessaires aux paysans, car l'irrigation est toujours facile.

Pour ce qui est de l'entretien, les règles concernent la période et la contribution de chaque paysan. Sur 23 % des canaux, des règles existent pour les deux aspects. Dans 61 % des cas, seul le type de contribution de chacun est défini. Mais si on compare les réponses des paysans d'un même canal tertiaire, il apparaît souvent qu'il n'y a pas de consensus sur les règles censées être communes. Au total, 43 % des paysans interviewés sont mécontents, du fait d'un entretien tardif ou négligé par certains de leurs collègues. Lorsque des règles existent sur la période d'entretien, moins de problèmes sont signalés. Par contre, l'existence de règles sur le type de contribution attendu de chacun est sans effet, car la perception de ce qu'est un bon entretien diffère considérablement d'un paysan à l'autre, et ce d'autant plus que l'impact immédiat est faible dans des canaux récemment réhabilités et largement dimensionnés.

Vingt ans après le début des réformes, les règles paysannes de distribution de l'eau et d'entretien au niveau tertiaire restent donc difficiles à définir et à mettre en oeuvre. L'eau étant abondante et l'infrastructure récemment réhabilitée, une organisation de la gestion de l'eau n'est d'ailleurs pas toujours nécessaire. Mais la situation actuelle n'est pas durable si l'on considère les extensions prévues pour les surfaces irriguées et le vieillissement des infrastructures hydrauliques. Une formation des exploitants et un renforcement de l'organisation collective au niveau tertiaire seraient souhaitables pour accompagner le processus de transfert de la gestion de l'eau.

Organisation et formation des acteurs

Au cours des années 1980, quand les réformes du secteur de l'irrigation ont été mises en place, un accent important a été mis sur la formation des acteurs à la gestion d'un certain nombre de fonctions auparavant assumées par les États et leurs offices de mise en valeur. Pour ce faire, des efforts de formation des cadres de l'agriculture irriguée ont été faits pour faire évoluer ceux-ci du statut d'encadreur de paysans aux ordres à celui de conseillers de ces mêmes paysans. Dans la vallée du fleuve Sénégal, tous les anciens encadreurs sont ainsi passés par un centre de formation où leur étaient données les bases d'une démarche de conseil. A l'Office du Niger, au Mali, un processus similaire a été suivi. Si les postures et les manières de travailler des encadreurs étaient complètement revues, leur nombre était resté presque le même, et il était alors supposé qu'une des fonctions importantes des offices d'irrigation restructurés serait l'appui et le conseil aux agriculteurs, dans le domaine de la gestion de l'eau, mais aussi dans celui des équipements, de la conduite des cultures, du choix des intrants, de la commercialisation, et dans celui de l'organisation collective.

Mais au cours des années 1990, une seconde phase de restructuration de l'irrigation a été lancée, parallèlement aux pressions faites sur les États en matière d'ajustement structurel. Le personnel des offices d'irrigation a alors été largement compressé pour réduire les coûts. Dans l'esprit des bailleurs de fonds, cela était aussi censé diminuer la pression des structures d'encadrement sur les paysans, et donc faciliter la prise de responsabilités par ceux-ci.

Une décennie après, on constate que ce désengagement a parfois été trop rapide, et que le travail de préparation et d'accompagnement des paysans qui leur aurait permis de prendre ces responsabilités n'a pas été fait. Ainsi, le nombre de conseillers au service des paysans a-t-il fortement chuté, dans des proportions qui ne permettent plus guère d'envisager un travail sérieux d'appui aux agriculteurs. A l'Office du Niger, il ne reste aujourd'hui plus qu'un conseiller pour 5 à 10 villages, c'est-à-dire plusieurs centaines d'agriculteurs. De plus, comme parallèlement les équipes de gestion technique ont, elles aussi, été fortement réduites, les conseillers de l'Office sont de fait très absorbés par les taches de gestion technique que la structure d'encadrement leur confie, et ne sont plus très disponibles pour conseiller les paysans. Au total, en incluant ceux relevant des ONG, des projets et des organisations paysannes, l'ensemble des conseillers ne travaillent effectivement en terme de conseil qu'avec 5 % des paysans. Finalement, les logiques financières ont largement pris le pas sur des logiques de développement participatif s'appuyant sur une formation et un accompagnement des producteurs.

Transfert des responsabilités et des coûts

La vérité des coûts et leur recouvrement par les offices chargés de la gestion des grands périmètres irrigués, ou par les organisations paysannes dans le cas des petits casiers ou des casiers transférés, pose plusieurs types de problèmes, liés au calcul de ces coûts (cf. supra), aux clés de répartition à adopter, aux modalités de recouvrement et aux sanctions à appliquer en cas de non recouvrement, mais aussi aux capacités des agriculteurs à couvrir ces coûts et à leurs capacités à négocier la part qu'ils en assurent.

Deux grands principes de répartition des coûts d'irrigation existent : la répartition à la surface et la répartition au volume consommé. Si la dernière a les faveurs de ceux qui souhaitent que la tarification de l'eau influe sur les niveaux de consommation, elle n'est possible que dans des systèmes où l'installation de compteurs volumétriques est aisée, donc essentiellement dans les systèmes d'irrigation par aspersion ou par réseau basse pression. Dans les systèmes gravitaires, les plus fréquents dans les pays du Sud, la clé la plus utilisée reste la répartition à la surface irriguée, modulée par le nombre de campagnes agricoles effectuées chaque année et la nature des cultures réalisées. Cette dernière est prise en compte non seulement du fait de la différence de consommation estimée à partir des besoins en eau des différentes cultures, mais aussi du fait des différences de marge qu'elles peuvent générer.

Les modalités de recouvrement sont le point qui a le plus évolué ces dernières années avec le transfert d'un certain nombre de responsabilités aux paysans et à leurs associations. La tendance est en effet d'essayer d'aller vers un recouvrement assuré par les associations d'usagers, de façon solidaire, ce qui simplifie la tâche des gestionnaires des périmètres, qu'il s'agisse d'offices d'Etat ou de fédérations d'associations comme dans le cas du lac Alaotra à Madagascar.

L'histoire de nombreux périmètres est jalonnée de témoignages de l'incapacité des gestionnaires à s'assurer du paiement des redevances par les paysans. Les associations d'usagers n'échappent pas à ce problème, et doivent, comme les gestionnaires étatiques, établir un régime de sanctions à

appliquer en cas de non-paiement. La chose peut paraître relativement aisée pour un office public, qui peut ne pas hésiter à évincer les paysans de leurs parcelles en cas de non paiement, liant ainsi foncier et redevances hydrauliques. Il peut cependant aussi avoir à faire face à de fortes résistances paysannes, comme cela a été le cas fin 2004 à l'Office du Niger après des évictions massives, qui ont conduit les syndicats de paysans à saisir le pouvoir politique et les bailleurs de fonds ; depuis, la décision reste suspendue à un arbitrage politique. Cet exemple montre que la démocratisation des sociétés du Sud et l'émergence de contre-pouvoirs complique la tâche des gestionnaires, mais évite aussi des abus liés aux fortes tensions foncières. Pour les associations paysannes, la tâche est plus rude, car les pressions sociales pour sauver les mauvais payeurs et leur faire éviter les sanctions sont très fortes. En pratique, les sanctions sont souvent peu appliquées (27).

Dans la vallée du fleuve Sénégal, il est apparu que les paysans raisonnaient le niveau des redevances à appliquer plus en fonction des capacités de paiement que des coûts, et qu'en particulier les charges d'entretien étaient largement sous-évaluées, conduisant à un entretien insuffisant pour garantir la pérennité des aménagements (27). Mais il faut dire que sur ce dernier point, les offices publics n'avaient guère été plus efficaces, conduisant souvent à des réhabilitations très coûteuses au bout de quelques décennies (14).

Ainsi, les discussions entre l'État, les bailleurs de fonds et les organisations paysannes sur les niveaux de redevance portent souvent plus sur les capacités à payer et à négocier que sur les types de coûts à prendre en compte. Dans ces discussions, la façon dont le désengagement de l'État a été initialement négocié apparaît comme un facteur important, tandis que la complexité des calculs des coûts conduit à la faible prise en compte des questions de durabilité, d'autant que les garanties foncières sont en général faibles (27).

4. La participation des paysans à la gestion des bassins versants

Depuis l'Agenda de Dublin (1992), toutes les grandes réunions internationales prônent la gestion intégrée des ressources en eau au sein des bassins versants. Mais on doit faire face à une dichotomie entre cette approche par bassin versant, vision des techniciens et des États, et une approche par le territoire et ses différents maillages (agricole, administratif, social), qui permet de considérer un ensemble d'acteurs individuels ou collectifs en interaction vis-à-vis de la gestion de l'eau.

Si l'on ne considère pas seulement l'eau comme une ressource naturelle, mais aussi comme une ressource anthropisée, l'approche des problèmes de gestion de l'eau ne peut être basée sur les seuls bassins versants (quelle que soit l'échelle considérée), elle doit aussi prendre en compte les territoires humains qui maillent ces bassins (40). Il peut s'agir d'États pour les grands bassins versants internationaux, de communes et de communautés pour les plus petits, ou encore de zones urbaines et péri-urbaines autour des grandes métropoles.

Au Brésil, la présence de gigantesques villes comme Sao Paulo, induit de fortes pressions sur l'agriculture, en terme de quantités prélevées, mais aussi de qualité des eaux. Comme dans les pays développés, l'agriculture est a priori suspectée de polluer la ressource, et ce d'autant plus que l'agriculture péri-urbaine est du maraîchage intensif, consommateur de produits phytosanitaires et d'engrais. Pourtant, au-delà des suspicions restant à préciser par des mesures adéquates, l'agriculture intensive apparaît aussi comme pouvant être un moindre mal, en protégeant les zones de captage d'une urbanisation sauvage qui pollue beaucoup plus les nappes. En terme de participation des acteurs, des efforts ont été faits pour intégrer les agriculteurs aux comités de bassin, au côté des autres usagers. Mais cette représentation est déséquilibrée, et c'est surtout l'agro-business qui est représentée plus que les producteurs individuels (8).

Un autre effet de l'urbanisation est l'augmentation rapide de la demande énergétique et donc des aménagements hydroélectriques Les barrages peuvent certes avoir un rôle dans l'irrigation des périmètres qu'ils dominent mais la priorité de leur gestion est donnée à la production d'énergie, qui conditionne leur rentabilité. Les conséquences peuvent être l'obligation de cultiver en fonction du rythme du turbinage, et donc de la demande énergétique urbaine, ou la disparition des cultures de décrue. Dans le cas de la vallée du Sénégal, l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal

gère les intérêts des différentes parties. Mais elle reflète surtout les points de vue des États qui la composent, car aucun mécanisme de prise en compte des points de vue des acteurs de base, et en particulier des agriculteurs, n'est en place.

Dans les climats arides ou semi-arides, les quantités d'eau apportées et les modes de gestion (à la parcelle et dans les drains) sont susceptibles de jouer fortement sur des phénomènes de salinisation/sodisation qui peuvent avoir des conséquences dramatiques pour la fertilité des sols.

Ainsi, à l'Office du Niger, chaque paysan a plutôt intérêt à ne pas gérer l'eau au plus juste, pour diminuer son temps de travail et limiter les risques de pénurie d'eau, dans un contexte où l'eau ne manque pas et n'est pas facturée au volume. Mais à l'échelle de l'ensemble de l'Office, cela conduit à un engorgement des réseaux de drainage, qui pénalise tout le monde en période de récolte ou pour la préparation des sols des parcelles en double culture. De plus, le niveau élevé quasi-permanent des nappes, conduit à des problèmes de salinisation, très inquiétants pour le futur. Ces problèmes de niveau des nappes et de dégradation des sols, déjà contraignants en riziculture, le sont encore plus dès qu'il s'agit de cultures ne supportant pas la submersion. La diversification des cultures, souhaitable au plan économique, est ainsi handicapée. Stratégies individuelles et intérêt collectif ne convergent donc pas forcément, et il faudrait pouvoir impliquer collectivement plus les agriculteurs dans la gestion de l'eau et du drainage à des échelles plus vastes pour pouvoir progresser, car les efforts actuels d'organisation au niveau des réseaux tertiaires (15 à 30 ha) sont largement insuffisants pour régler des problèmes qui concernent plusieurs dizaines de milliers d'ha et plusieurs milliers de paysans.

Le point de vue des techniciens et des institutions est souvent de privilégier la conservation des ressources naturelles (eau et sols) à l'échelle du bassin versant ; mais les enjeux perçus par les usagers du territoire peuvent être bien différents et se concentrer plus sur le foncier et les objectifs de production à une échelle plus restreinte. Ainsi, en Thaïlande, Bécu et Perez (5) montrent que les représentations du système des usagers sont situées dans l'espace du village et de ses environs immédiats ; la place de la relation amont/aval au sein du bassin versant y est limitée, même si elle est plus importante à l'aval. Dans l'ensemble, les usagers révèlent des modes de représentation plus portés sur les systèmes de cultures, la commercialisation ou la gestion foncière que sur la ressource en eau et sa gestion. L'eau semble être perçue comme un facteur secondaire pour les usagers, alors qu'elle est citée par les institutions gouvernementales et de nombreuses ONG comme un enjeu de première importance en Thaïlande.

Désirer faire participer les acteurs à la gestion de l'eau n'apparaît donc pas suffisant dès que les échelles dépassent celle d'une petite communauté d'irrigants. Pour affronter les problèmes collectifs qui se posent à des échelles plus vastes, qu'il s'agisse de bassins versants ou de périmètres irrigués de grande taille, des outils de dialogue, de négociation, de résolution des conflits et de formation des acteurs sont à mettre au point... mais aussi en œuvre.

5. Le foncier irrigué : spécificités, évolutions et blocages

Dans de nombreux pays africains, la propriété privée de la terre n'existait pas et celle-ci était souvent gérée de façon communautaire, en fonction de droits acquis par les familles ayant procédé au défrichement initial. La terre avait rarement une valeur marchande. Depuis la colonisation, et malgré les Indépendances, il y a coexistence entre des droits traditionnels et un droit national officiel, largement inspiré des droits européens, mais peu appliqué. Dans de nombreux pays, des actions sont en cours pour essayer de réglementer le foncier et augmenter la sécurité d'exploitation des producteurs, pour les inciter à pratiquer une agriculture durable.

Dans les périmètres irrigués, la situation est plus complexe et les enjeux plus importants, du fait du niveau des investissements réalisés, des revenus que permettent les cultures irriguées, mais aussi de réglementations plus élaborées, impliquant plus fortement l'État, soucieux de contrôler ce potentiel. Les grands périmètres irrigués des pays du Sud ayant été créés par les États, la terre y est souvent devenue la propriété de ces États. Les producteurs installés ne sont pas forcément originaires de la région, et n'ont donc pas toujours de liens forts avec les terres qui leurs sont attribuées. Ils peuvent ainsi être plus facilement expulsés, et cette menace a constitué un moyen de contrôle très efficace dans le passé.

Le désengagement de l'État et les transferts de responsabilité aux paysans auraient dû faire évoluer cette situation, dans le sens de plus grandes responsabilités foncières confiées aux acteurs. Mais dans de nombreux pays, on assiste à des valses-hésitations de la part de l'État sur ce sujet très délicat, qui a pu donner lieu à de très graves dérapages dans d'autres contextes (Côte d'Ivoire). Du côté des producteurs, l'immobilisme est cependant mal compris, leur plus grande autonomie actuelle relançant des revendications foncières anciennes, et l'intrusion d'exploitants extérieurs les poussant à mettre en avant des droits coutumiers qui avaient été étouffés par la puissance publique. Les gestionnaires de périmètres constituent à l'inverse un frein aux évolutions, car le foncier reste pour eux un moyen de pression important.

On assiste actuellement à des essais de formalisation du droit d'exploiter avec des permis à temps limité, ou des baux à court et moyen termes qui sont assortis de cahiers des charges à respecter sous peine d'expulsion. Parallèlement, des commissions paritaires peuvent être créées pour gérer les problèmes fonciers. Un problème important est celui de la transmission de la parcelle irriguée aux héritiers, qui porte un risque de morcellement des terres irriguées. Mais la pleine propriété des terres irriguées pose aussi le problème de leur cession éventuelle, surtout lorsque arrivent dans le paysage des opérateurs privés disposant de moyens financiers importants, ou de leur saisie par les banques en cas de non remboursement des crédits.

Le foncier à l'Office du Niger : les bonnes intentions et la réalité

L'Office du Niger, depuis l'origine, a oscillé entre deux options, la mise en valeur par des petits propriétaires terriens mus par leurs propres intérêts, et la gestion directive par l'État encadrant étroitement des paysans métayers faciles à évincer.

A la création des casiers, dans les années 1930, les terres furent considérées comme « vacantes et sans maîtres » par un décret du gouverneur général de l'AOF et incorporées au domaine privé de l'État (7). Le problème foncier était ainsi évacué d'emblée, même si l'objectif était de faire des colons africains installés, paysans déplacés de force pour mettre en valeur la zone, des petits paysans, propriétaires individuels, sur un modèle français. Une attribution provisoire de terre fut faite aux paysans, qui après 10 ans de « bail d'adaptation », devaient recevoir un « permis d'occuper », bail d'établissement permanent transmissible par héritage, faisant de chaque colon africain l'usufruitier intégral d'un domaine qu'il ne pourrait cependant aliéner, puisque restant propriété de l'État. Des réglementations correspondant à ces promesses furent édictées en 1937, puis en 1955, mais ne connurent aucune application pratique et les revendications renouvelées des paysans et de leurs syndicats sur un droit à la propriété des terres et des bâtiments restèrent sans réponse ; les maisons des paysans étaient en effet soumises au même régime que les terres irriguées, et les colons évincés de leurs lots agricoles pour non-paiement des redevances ou résultats insuffisants devaient aussi quitter leur logement (19). Au contraire, la tendance des années 1950, observée aussi au Sénégal, fut de développer l'exploitation directe en régie, avec des salariés.

L'Indépendance en 1960 fit évoluer ce délicat dossier : en désaccord avec la France, qui avait gardé la propriété de la zone, en 1962 le Mali nationalisa les terres de l'Office du Niger. Mais pour les paysans, cela changea peu de choses : à l'exploitation des terres en régie succéda un modèle collectiviste inspiré des sovkhozes qui représenta jusqu'à 40 % des terres irriguées, ainsi que des expériences de collectivisation totale. A la chute du régime socialiste, les autorités militaires qui prirent le pouvoir gardèrent un cap proche, même si progressivement l'exploitation en régie fut abandonnée pour des raisons économiques. Et les paysans n'obtinrent toujours pas de permis d'occuper. Par contre, le nombre d'attributaires de parcelles « divers » (non paysans) ne cessa d'augmenter (fonctionnaires, commerçants, agents de l'Office), à tel point qu'une décision finit par être prise par le Président de la République de supprimer cette catégorie d'exploitant... ce qui ne fit que les masquer dans les statistiques.

Avec la réhabilitation des casiers au cours des années 1980, il parut intéressant de relancer cette idée du permis d'occuper, de façon à garantir l'entretien et donc la pérennité des investissements très coûteux faits par l'État et les bailleurs de fonds (6 000 euros/ha). Premier pas dans cette direction, une « lettre d'attribution » fut remise à chaque exploitant, après accord des associations paysannes, et un cadastre fut progressivement élaboré. En 1990, un décret présidentiel a relancé la possibilité d'accorder des droits fonciers pérennes aux paysans, avec un permis d'exploitation agricole et un permis d'habitation ; il prévoit aussi la gestion du foncier par les organisations paysannes. Mais en pratique, après quelques années, l'Office du Niger a gelé la situation ; malgré la mise en place de comités paritaires de gestion du foncier, il reste en fait le seul maître des attri-

butions et des évictions, cette dernière arme étant jugé stratégique pour garantir le paiement des redevances, même si elle se heurte désormais à un contexte politique plus favorables aux paysans.

Parallèlement, des lois adoptées par le Mali en matière de décentralisation ont conduit à l'opposition de deux logiques : celle de l'Office du Niger, qui détient de l'Etat un mandat de gestion de toutes les terres potentiellement irrigables, et celle des communes rurales nouvellement créées, à qui la décentralisation accorde la gestion du foncier sur leur territoire. L'équilibre actuel ne résulte pas d'un consensus, mais plutôt du rapport de force entre l'Office du Niger et les communes : le premier gère les terres actuellement irriguées, tandis que les secondes gèrent les pâturages, les forêts et les champs exondés.

Si l'on considère l'expérience en cours à Madagascar, au lac Aloatra, cette entrée en jeu des communes rurales pourrait aussi être la solution du problème foncier : là-bas, ces communes rurales ont reçu de l'État le pouvoir d'attribuer des « certificats fonciers » ; ce ne sont pas des titres de propriété, mais une reconnaissance des droits d'usage actuels, et ils sont considérés par tous les acteurs comme une première étape vers l'obtention d'un titre foncier par l'Administration, non cessible et non aliénable, mais transmissible par héritage. Les communes ne sont ici plus en concurrente avec l'office de mise en valeur, qui a été dissous il y a quelques années, et dont les rôles en matière gestion de l'eau et de perception des redevances sont maintenant remplis par des associations d'usagers au niveau tertiaire et une fédération de ces associations pour les réseaux primaires et secondaires. Perception de la redevance et contrôle du foncier ont donc été séparés : association d'usagers pour la première, communes pour le second. Il est encore trop tôt pour dire quelles seront les conséquences, en matière d'entretien en particulier, mais cette voie plus ouverte sur la prise en charge effective des responsabilités, y compris foncières, par les acteurs locaux, sera intéressante à suivre.

6. Gouvernance et institutions pour une participation des usagers

Les questions « institutionnelles » apparaissent comme centrales, tant pour la gestion de l'eau que pour la terre (33). Cela est particulièrement dû aux mouvements concomitants en matière de responsabilisation des acteurs (désengagement de l'État de la gestion des grands périmètres irrigués, implication des paysans dans des associations d'usagers) et en matière de décentralisation territoriale. Mais institutions de l'eau et institutions des territoires ne sont pas forcément confondues.

La question posée, au-delà du principe d'une plus grande participation des usagers, est de savoir s'ils ont les moyens d'assurer cette gouvernance, dans des situations où l'information est limitée et les mécanismes de concertation et de résolution des conflits balbutiants. Les usagers ont souvent de plus en plus de libertés pour gouverner, mais sans disposer des outils appropriés pour le faire.

Le bilan du transfert de responsabilités de gestion de l'État vers des associations d'usagers est ainsi mitigé. Ces dernières ne sont, dans la plupart des cas, pas fonctionnelles et contribuent peu à la gestion de l'eau (21). Elles ne fonctionneront que si les agriculteurs y voient des avantages, participent à la formulation et à l'évolution des règles de gestion (33) ; elles ne peuvent être mises en place par des processus directifs (9).

Par ailleurs, l'aménagement hydro-agricole, fruit d'un investissement lourd de la part de l'Etat, est presque toujours considéré dans le processus de transfert comme structurant et immuable. Or, il y a un décalage entre la demande en eau des agriculteurs, intéressés entre autres par des cultures rémunératrices répondant aux marchés, ce qui implique une flexibilité dans la mise à disposition de l'eau, et la conception de l'aménagement, prévue pour des grandes cultures industrielles avec des tours d'eau rigides. De plus, le transfert de gestion ne concerne souvent que des petites parties de réseau (tertiaire, ou au plus secondaire) pour que les associations aient un rôle réel sur le contrôle de la source de l'eau.

Il n'est pas facile de bâtir des actions collectives autour d'une ressource souvent associée à un historique de compétition et de conflits. Dans les grands périmètres, on observe ainsi plus souvent des actions collectives autour d'un produit agricole ou de services locaux tels que l'eau potable, peut-être du fait d'une présence moindre de l'administration dans ces domaines. C'est probablement à partir de ces expériences concrètes d'action collective dans les filières agricoles ou le

développement local que l'on peut commencer à construire de nouvelles institutions de l'eau agricole (22, 33).

Les agriculteurs des périmètres irrigués ont souvent le sentiment que l'État se désengage de ses problèmes en leur transférant la gestion de l'eau. A *contrario*, ils souhaitent une contractualisation de la fourniture de l'eau entre les gestionnaires des périmètres et les agriculteurs, qui pourrait impliquer des industriels des filières intéressés par une augmentation de la productivité et de la qualité.

Par l'orientation vers la modernisation et le marché, la revendication de nouvelles règles et de nouvelles structures de représentation et de négociation on se trouve en fait face à l'émergence d'une véritable professionnalisation agricole dans les pays du Sud. Ces agriculteurs professionnels veulent s'affirmer en tant qu'acteurs du développement et dépasser le cadre étroit de bénéficiaires ou d'usagers. Ils veulent marquer une rupture avec l'agriculture d'hier, où l'accès à l'information était un privilège et où la négociation avec l'État était un tabou (22).

Conclusions

Les indispensables progrès du fonctionnement des institutions de gestion de l'eau nécessitent des appuis spécifiques pour permettre que les indispensables transferts de responsabilités ne se fassent pas sur des bases dictées uniquement par les États ou les bailleurs de fonds. Ils peuvent passer par des partenariats de société civile à société civile (Sud-Sud et Sud-Nord) entre structures homologues dans le domaine : associations d'usagers de l'eau, sociétés d'aménagement, gestionnaires de cadastres, etc. Les organismes français de coopération s'y emploient en particulier (17) :

- appui institutionnel aux États ou aux opérateurs spécialisés pour la mise en place de systèmes de connaissance et d'information sur la ressource et sur les espaces concernés par les systèmes irrigués ;
- programmes de professionnalisation, incluant des actions visant à l'émergence ou au renforcement d'associations d'usagers de l'eau, là où cela est utile ;
- aide à la définition de normes d'entretien et de maintenance du réseau, de politiques de tarification équitable de l'eau, etc. ;
- développement de liens entre la profession agricole et la recherche.

Pour les appuyer, et pour aider les acteurs dans le nouveau contexte institutionnel, politique et socio-economique de l'agriculture irriguée, les recherches doivent s'appuyer sur différents acquis méthodologiques, combinés et adaptés en fonction des différents terrains et des demandes exprimées, sans *a priori* sur les meilleures configurations. Modèles statiques de représentation (typologies, zonages), modèles systémiques dynamiques, modèles multi-agents, modèles et analyses fondées sur la théorie des jeux, outils d'optimisation sous contraintes, jeux de rôles, systèmes d'information géographique, tableaux de bord et outils de pilotage, peuvent et doivent ainsi être utilisés.

Ces outils et démarches doivent surtout être utilisés en suivant des principes de recherche-action (1, 20), favorisant la participation et l'apprentissage des irrigants eux-mêmes.

Au plan conceptuel, on s'appuiera utilement sur une conception systémique et constructiviste de la science (4, 28) et sur les démarches de recherche en intervention, développées par le Centre de Gestion Scientifique de l'École des Mines de Paris (31), l'Inra (3, 11) et le Cirad (26).

Enfin, les démarches et principes de l'organisation et de l'émergence institutionnelles pour la gestion locale de la ressource en eau, notamment en situations irriguées (33), constituent des outils incontournables.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) ALBALADEJO C., CASABIANCA F. (eds), 1997. - *La recherche-action: ambitions, pratiques, debats*. Doc. Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement, **30**, INRA, Versailles, France.

(2) ARGYRIS C., PUTNAM, R., SMITH, D.M. 1985. - *Action science: concepts, methods and skills for research and intervention*. Jossey-Bass publisher, San Francisco, USA.

(3) ATTONATY J.M., LE GRUSSE P., LE BARS M., 2000. - Towards new instruments to help negotiation concerning irrigation. *In: International Symposium of Information Technology*, December 1-4, Beijing, China, 8 p.
(4) AVENIER M.J., 1992. - Recherche-action et épistémologies constructivistes, modélisation systémique et organisations socio-économiques complexes : quelques « boucles » étranges fécondes. *Revue Internationale de Systémique*, **6**(4), 390-403.
(5) BECU N., PEREZ P., 2003. - La gestion intégrée de bassin versant face aux représentations des acteurs locaux. Le cas du bassin versant de Pang Da, Nord Thaïlande. Actes du séminaire PCSI « La gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant », 2-3 décembre 2003, Montpellier, France, 13 p.
(6) BELIERES J.F., SOURISSEAU J.M., JAMIN J.Y., KUPER M., 2002. - Le statut foncier. Une appropriation difficile des terres aménagées. In : Kuper M., Tonneau J.P. (eds). L'office du Niger, grenier à riz du Mali : succès économiques, transitions culturelles et politiques de développement. - Montpellier : CIRAD, pp. 222-226.
(7) BORDAGE J.M., 1991. - De la terre, de l'eau et des hommes. Colons et techniciens de l'Office du Niger, 1932-1985. Thèse de l'Université F. Rabelais, Tours, 980 p.
(8) BOUZID M., DUCROT R., CHAGAS DE CARVALHO Y.M., LIGUORI IMBERNON R.A., 2005. - Dynamiques agricoles périurbaines et gestion intégrée de l'eau. Cas d'un bassin versant producteur d'eau dans la région métropolitaine de Sao Paulo (Brésil). Cah. Agricultures, **14** (1), 131-137.
(9) CHAMBERS R., 1988. - Managing canal irrigation: practical analysis from South Asia. Cambridge University Press.
(10) CHEVALLIER P., 2004. - Gestion intégrée des eaux et des territoires vue sous l'angle agronomique. Exemples commentés au Pérou, en Inde et en Asie centrale. Colloque enjeux et perspectives de la recherche agronomique pour les pays en développement. Paris, Académie d'Agriculture de France, 13/10/2004, 11 p.
(11) DAVID A., HATCHUEL A., LAUFER R. (coord.), 2000. - Les nouvelles fondations des sciences de gestion. Eléments épistémologiques pour la recherche en management. Vuibert, Paris, France, 224 p.
(12) FAO, 2002. - Proceedings of the International e.mail conference on irrigation management transfer. June-October 2001. FAO Land and Water Digital Media Series, **17**.
(13) FAURES JM, SONOU, M., 2000. - Les aménagements hydro-agricoles en Afrique. Situation actuelle et perspectives. FAO, Colloque International « Eau/Santé - Ouagadougou 2000 ».
(14) FRANÇOIS G., TONNEAU J.P., JAMIN J.Y., 2002. - Le projet Retail. Le succès de l'intensification de la riziculture. In : Kuper M., Tonneau J.P. (eds). L'office du Niger, grenier à riz du Mali : succès économiques, transitions culturelles et politiques de développement. - Montpellier : CIRAD, pp. 111-115.
(15) GLEYSES G., LOUBIER S., TERREAUX J.P., 2002. - Le coût de la distribution de l'eau. Méthode et application à l'irrigation. In Garin P., Le Gal P.Y., Ruf T. (eds). La gestion des périmètres irrigués collectifs. Montpellier, PCSI, Cirad, collection colloques, pp157-167.
(16) HASSANE A., KUPER, M., 2002. - L'impact à Niamey des aménagements maliens. In : Kuper M., Tonneau J.P. (eds). L'office du Niger, grenier à riz du Mali : succès économiques, transitions culturelles et politiques de développement. - Montpellier : CIRAD, pp. 75-80.
(17) HOFFMANN J.M., SADOULET D., 2000. - Stratégie française de l'eau agricole pour le développement. Note DCT n° 12/00. Paris, Ministère des Affaires étrangères, 30 p.
(18) IMWI, 2003. - Irrigation management transfer: How to make it work for Africa's smallholders? IWMI, Water Policy Brief Series, issue **11**, 6 p
(19) JAMIN J.Y., DOUCET M.J., 1994. - La question foncière dans les périmètres irrigués de l'Office du Niger (Mali). *Cah. Rech. Dev.* **38**, 65-82.
(20) JIGGINS J., ROLING N., 1997. - Action research in natural resource management. Marginal in the first paradigm, core in the second. *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, **30**, 151-167.
(21) JOHNSON S.H., VERMILLION D., SAGARDOY J.A., 1995. - Irrigation Management Transfer: Selected Papers from the International Conference on Irrigation Management Transfer, Wuhan, China 20-24 September 1994 (Water Reports: 5), F.A.O., Rome, Italie.
(22) KEMMOUN H., KUPER M., ERRAHJ M., 2004. - La vidéo comme support de concertation autour de la gestion de l'eau d'irrigation en grande hydraulique au Maroc. Coordinations hydrauliques et justices sociales. Actes du séminaire, novembre 2004, Montpellier, France. Cirad, Montpellier, Colloques, à paraître.

(23) KUPER M., J.P. TONNEAU (eds.), 2002. - L'Office du Niger, grenier à riz du Mali : succès économiques, transitions culturelles et politiques de développement. Cirad/Karthala, 256 p.
(24) KUPER, M., OLIVRY J.C., HASSANE A., 2002. - Le Fleuve Niger, une ressource à partager. In : Kuper M., Tonneau J.P. (eds). L'office du Niger, grenier à riz du Mali : succès économiques, transitions culturelles et politiques de développement. - Montpellier : CIRAD, pp. 75-80.
(25) LAMACQ S., 1997. - *Coordination entre l'offre et la demande en eau sur un périmètre irrigué. Des scénarios, des systèmes et des hommes...* Thèse de doctorat, CEMAGREF-ENGREF, 134 p.
(26) LE GAL P.Y., 2002. - De nouvelles démarches d'intervention pour améliorer la gestion des périmètres irrigués tropicaux. C.R. Acad. Agric. Fr., **88** (3), 73-83.
(27) LE GAL P.Y., RIEU T, FALL C., 2003. - Water pricing and sustainability of self governing irrigation schemes. Irrigation and drainage systems **17**, 213-238.
(28) LE MOIGNE J.L., 1990. - *La modélisation des systèmes complexes*. Ed. Dunod-Bordas, Coll. Afcet-Systèmes, Paris, France, 178 p.
(29) LIU M., 1994. - Action-research and development dynamics. *In : Systems-Oriented Research in Agriculture and Rural Development.* International Symposium, Montpellier, France, 21-25 nov. 1994. pp. 111-116.
(30) MEINZEN-DICK R., 1997. - Farmer participation in irrigation. 20 years of experience and lessons for the future. *Irrigation and Drainage Systems,* **11**, 103-118.
(31) MOISDON J.C. (coord.), 1997. - *Du mode d'existence des outils de gestion. Les instruments de gestion à l'épreuve de l'organisation.* Seli Arslan publ., Paris, France.
(32) OJA S.N., SMULYAN L., 1989. - *Collaborative action research: a developmental approach.* Falmer Press publisher, London, UK.
(33) OSTROM E., 1992. - Crafting institutions for self-governing irrigation systems. Institute for contemporary studies, San Francisco (CA), USA, 111 p.
(34) PERRET S., 1999. - *Typological techniques applied to rural households and farming systems. Principles, procedures and case studies.* University of Pretoria / CIRAD, working paper 99/2, nov., 35 p.
(35) PERRET S., 2002. Water policies and smallholding irrigation schemes in South Africa : An history and new institutional challenges. *Water Policy,* **4** (3), 283-300.
(36) PERRET S., 2003. - Une démarche de modélisation pour accompagner le transfert de gestion de périmètres irrigués en Afrique du Sud. *In : Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux, Actes du Colloque,* 25-27 février 2003, UMR Sagert-CIRAD Publ., Montpellier, France.
(37) PERRET S., LAVIGNE M., STIRER N., YOKWE S., DIKGALE K.S., 2003. - *The Thabina irrigation scheme in a context of rehabilitation and management transfer: Prospective analysis and local empowerment.* Dwaf Project 2003-068, final report, Cirad-UP-IWMI, Pretoria, South Africa.
(38) PERRET S., LE GAL P.Y., 1999. - Analyse des pratiques, modélisation et aide à la décision dans le domaine de l'irrigation : cas de la gestion d'une retenue collinaire collective à la Réunion. *Economie Rurale,* **254**, 6-11.
(39) PERRY C.J., 2001. - *Charging for irrigation water: the issues and options with a case study from India.* IWMI research report num. **52**, Colombo, Sri Lanka.
(40) RUF T., 2003. - Comprendre le maillage territorial d'un bassin versant, une étape préliminaire pour engager une gestion concertée sur l'eau. Actes du séminaire PCSI « La gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant », 2-3 décembre 2003, Montpellier, France, 7 p.
(41) TARDIEU H., 1999. - La valeur de l'eau en agriculture irriguée : une information économique nécessaire pour mieux réguler la gestion de l'eau et les productions agricoles dans un marché ouvert. In: Actes du 17e congrès CIID de l'irrigation et du drainage, Grenade, Espagne. Vol 1G, pp. 33-51.
(42) TOUCHAIN E., PERRET S., 2002. - *A simulation-based approach to access the economic viability of smallholding irrigation schemes in South Africa.* University of Pretoria, CIRAD-Tera, research report num. 02/02, Pretoria, SA.
(43) VANDERSYPEN K., KALOGA K., COULIBALY Y., KEÏTA A., RAES D., JAMIN J-Y., 2004. - Water management at tertiary level after transfer to farmers at the Office du Niger irrigation scheme (Mali). Paper presented at the international workshop Water Resource Management for Local Development: Governance, Institutions and Policies. November 8-11, 2004, Loskop Dam, South Africa, 14 p.
(44) VERMILLION D.L., 1997. - *Impacts of irrigation management transfer: a review of evidence.* IWMI research report num. 11, Colombo, Sri Lanka.

(45) YUNG J.M., 1998. - Stratégies des acteurs et aménagements hydro-agricoles. *In : Tiercelin J.R (éd.) Traité d'Irrigation.* Lavoisier, Paris, France, pp 725-737.

(*Reçu le 22 mai 2005*)

DISCUSSION

G. Paillotin [1] – J'ai deux questions différentes :

1°) J'ai cru comprendre que la quantité d'eau nécessaire à la production agricole était de l'ordre de 1 000 m³ par habitant. Cela me paraît énorme. Y a-t-il quelque chose à gagner sur ce volume de consommation ?

2°) Il me semble, rejoignant les idées développées par J.M. Boussard qu'il convient d'avoir une approche localisée de l'équité et de la pauvreté. Il ne me paraît pas évident d'identifier partout pauvreté et essor de l'agriculture.

P. Dubreuil. – Le chiffre de 1 000 m³/an/hab est communément admis par les instances compétentes comme celui du seuil de pénurie, et il correspond à la consommation globale. Le même chiffre appliqué au besoin en eau pour nourrir la population en 2000 (tableau présenté dans l'exposé) est une moyenne mondiale incluant les pays en développement qui sont les plus peuplés et dans lesquels évidemment de gros efforts d'amélioration de l'efficience d'usage de l'eau en agriculture irriguée sont à rechercher.

J.M. Boussard. – Il faut prendre garde au rôle des prix dans une économie. Il est double : d'abord, assurer l'efficacité « allocative » (en l'espèce, inciter à économiser l'eau), ensuite, déterminer (au moins partiellement) la répartition des revenus.

Il existe chez les économistes un assez fort consensus pour dire que, dans toute la mesure du possible, il faut dissocier les deux fonctions. En tout cas, il faut éviter de poursuivre des objectifs redistributifs par le biais de politiques ayant des incidences allocatives. Dans cette hypothèse, en effet, le risque est grand d'obtenir *in fine* des systèmes productifs très peu efficaces, alors qu'obtenir un effet redistributif par l'intermédiaire, par exemple, de l'impôt est beaucoup moins gênant. C'est pourquoi il est très maladroit de prétendre « aider les pauvres » en fournissant gratuitement l'eau d'irrigation : le résultat pourrait être simplement que les pauvres vont gaspiller l'eau.

Il existe en revanche des raisons très sérieuses de fournir gratuitement l'eau d'irrigation aux agriculteurs pauvres : c'est que, comme ils sont pauvres, ils n'ont pas de quoi la payer, et comme ils n'ont pas de garanties bancaires, personne ne voudra leur prêter de l'argent pour le faire. De ce fait, ils n'utiliseront pas l'eau, alors qu'ils sont probablement les mieux placés pour le faire. Il en résultera une sous-utilisation des ressources, sinon des ouvrages construits à grand frais, qui sera finalement dommageable à tout le monde.

En pratique, les deux mode de raisonnement conduisent souvent à des prescriptions très voisines pour l'action : il faut donner l'eau gratuitement au début de la vie d'un projet d'irrigation, lorsque les agriculteurs sont pauvres, et doivent en outre consentir des investissements importants (en matériel pour l'irrigation, et en inputs complémentaires, comme les engrais), tandis que les ressources en eau sont abondantes, et qu'il y en a pour tout le monde. Il faut la faire payer plus tard, lorsque le développement de l'irrigation induit une pression réelle sur la ressource, tandis que les agriculteurs, ayant remboursé leurs emprunts, disposent d'un capital encore utilisable et « gratuit ».

Cependant, il vaut mieux être conscient de ce que l'on fait : d'une part, pour éviter de raconter des sottises sur la pauvreté (il n'est pas évident que l'irrigation améliore le sort des agriculteurs : elle peut très bien, en fournissant de l'alimentation à bon marché, améliorer la situation de pauvres urbains plus que celle des agriculteurs, qui transmettront en aval leurs gains de productivité), d'autre part, parce que, dans certains cas, les deux logiques (aider les pauvres, améliorer l'efficacité) peuvent conduire à des actions différentes : par exemple, au lieu de donner l'eau gratuitement, donner aux agriculteurs les moyens de l'acheter, sous forme de crédits *ad hoc*, de sécurisation de la vente des outputs, et d'autres méthodes.

H. Tardieu. – Dans les pays de grandes irrigations fortement représentés à la CIID, l'agriculture reste un élément majeur de la lutte contre la pauvreté. Cela ne les empêchent pas de regarder vers les nouveaux métiers ruraux comme on l'a fait en France depuis plusieurs décennies. Quant à l'équité, il s'agit de l'équité très concrète entre l'amont et l'aval que permet un meilleure gestion locale de l'eau.

---

1. Secrétaire perpétuel de l'Académie d'Agriculture de France, président du Conseil général de l'Institut national agronomique Paris-Grignon, président de l'Agence française de Sécurité sanitaire environnementale.

C. Levèque [2]. – La plupart des évaluations économiques concernant l'irrigation, la création de lacs de barrages ou les zones humides en région tropicales, ne prennent pas en compte la santé humaine. On a créé les conditions de développement de maladies parasitaires pour le moins invalidantes sans internaliser les coûts. Est-ce sérieux dans une perspective de développement durable ?

J. Dunglas [3]. – Il serait bon de définir avec précision la portion d'eau perdue, c'est çà dire le pourcentage consommé par rapport au prélèvement. On compte habituellement 70 %. Cette valeur n'est – elle pas surévaluée ? Elle est probablement très variable suivant les régions.

Il s'agit d'un problème plus compliqué qu'il ne paraît. Si l'on n'irriguait pas il y aurait une consommation et une évaporation. Prendre l'évapo-transpiration (potentielle ou réelle ?), comme consommation de la culture irriguée, est à l'évidence excessif, d'autant qu'elle néglige l'eau fournie par les précipitations.

P. Dubreuil. – Le chiffre de 70 % est la moyenne mondiale du rapport consommation/prélèvement, toutes consommations confondues. Pour ce qui est de l'irrigation le même rapport, c'est-à-dire l'efficience de cette irrigation varie énormément d'une région à l'autre suivant les techniques employées et l'état de bonne gestion des réseaux. Dans ce cas un rapport de 70 % est un assez bon chiffre, car des valeurs de 25 % ont été relevées en d'autres périmètres aux pertes élevées.

J.C. Ignazi [4]. – Il a été rappelé que la satisfaction des besoins en eau de la population mondiale estimée en 2050, suppose une augmentation de 27 % de la consommation individuelle. Une amélioration de l'efficience de l'eau n'est-elle pas possible par l'amélioration des techniques agronomiques appliquées aux cultures irriguées (variétés améliorées, fertilisation, désherbage, etc.), afin de tirer partie de la synergie positive entre ces techniques agronomiques ?

P. Dubreuil. – Cette augmentation de 27 % est à mettre en rapport avec l'accroissement de la population correspondante qui est de 49 % entre 2000 et 2050, sachant dans le même espace de temps que la consommation propre aux habitants en eau distribuée est de plus de 60 % ; cette augmentation de 27 % intègre donc déjà une amélioration de l'efficience de l'eau irriguée, mais vous avez raison de dire que la prise en compte de techniques agronomiques appropriées serait aussi bénéfique à l'économie à réaliser en ce qui concerne l'usage de l'eau.

A. Neveu [5]. – Pour contribuer le mieux au nécessaire accroissement de la production agricole, convient-il de créer de très grands ouvrages fort coûteux et dégageant d'importantes externalités négatives, où bien doit-on encourager les petits équipements beaucoup plus faciles à gérer localement et perturbant moins l'environnement ?

H. Tardieu. – M Neveu connaît bien la réponse qui a été donnée en Gascogne pour être à l'optimum économique : des lacs collinaires pour l'irrigation dans les coteaux, des petits réservoirs pour les petites rivières et des grands pour les grandes. Dès lors que ces rivières transportent l'eau pour l'irrigation il y a un intérêt économique au multi-usage. Dans les pays où l'irrigation se compte par millions d'ha, il est vrai que les ingénieurs ont souvent ignoré les solutions locales là où elles étaient possibles. Ce n'est pas partout le cas. Après une décennie de lutte acharnée contre les grands barrages cette évidence réapparaît entraînant une approche plus honnête et plus réaliste de la conception et de l'analyse économique des aménagements. C'est en tout cas la nouvelle doctrine de la Banque Mondiale.

R. Fauck [6]. – Les techniques de dessalement des sols et de régénération de sols sodiques sont toujours complexes. Elles pourraient souvent se traduire par un transfert de pollution dans l'environnement avec risques de dégradation des terres hors des périmètres irrigués. Dans les pays

---

2. Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, responsable du programme Environnement, Vie et Sociétés du CNRS-PEVS, 1, place Aristide Briand, 92195 Meudon cedex. Courriel :cleveque@mnhm.fr

3. Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, ingénieur général honoraire du Génie rural, des Eaux et des Forêts, Conseil général du GREF, 30, rue Las-Cases, 75007 Paris.

4. Membre de l'Académie d'Agriculture de France, président d'honneur du COMIFER.

5. Membre de l'Académie d'Agriculture de France, ancien adjoint au Directeur de l'Agriculture et des Collectivités locales de la Caisse nationale de crédit agricole.

6. Membre de l'Académie d'Agriculture de France, ancien chef du Service au *Special Program for African Agricultural research*, Banque mondiale (Washington).

pauvres il faut faire porter l'effort sur les méthodes agronomiques empêchant ou limitant la salinisation secondaire. Il vaut mieux prévenir que guérir.

J. Dunglas. – 1) Le chlorure de calcium ($CaCl_2$) est très dangereux pour la stabilité des sols. Il diminue la perméabilité et favorise le compactage.

2) Les conflits d'usage de l'eau (énergie, agriculture, environnement), sont un vrai problème.

C'est le cas des réservoirs d'EDF en France. Ne pourrait-on pas par exemple échanger des m^3 à but agricole dans les zones déficitaires (Sud-Ouest de la France), avec des m^3 réservés à l'agriculture (canal de Provence), dans les zones (PACA), où il y a de l'eau en excédent (Durance, Verdon). Cela devrait pouvoir se faire puisqu'il s'agit du même producteur d'énergie électrique ?

3) Les fosses à poissons, même si elles ne sont pas parfaites, permettent de limiter les dégâts aux populations piscicoles.

4) Il n'est pas bon de laisser les bois pourrir dans les plans d'eau. Il serait bon d'intégrer le coût du déboisement dans le prix de l'eau ou de l'électricité. Toutefois il faut se rappeler que cette matière organique aurait de toute façon pourrie en dégageant, même à sec, la même quantité de Carbone (avec peut-être moins de méthane). Il faut éviter sur ce point de faire des évaluations biaisées, quoique le problème soit évidemment difficile.

B. Lesaffre [7]. – L'exposé de Christian Lévêque est très complet. J'ai deux questions :

1) En ce qui concerne le mercure, la seule mesure possible semble donc la réduction de la consommation de poisson ; y a-t-il des mesures de prévention ou de remédiation alternatives ?

2) Dans l'introduction de ce colloque, Pierre Dubreuil et moi-même avons souhaité que des réussites soient présentées ; y a-t-il, en matière de grands barrages, des exemples réussis ou des cas démonstratifs d'une certaine durabilité ?

En complément de l'intervention de Jean Dunglas sur l'émission de gaz à effet de serre, il faudrait comparer des dispositifs limitant leur production (par exemple, par l'utilisation des arbres abattus) et des dispositifs producteurs soit de dioxine de carbone, soit de méthane, ce dernier gaz étant plus néfaste.

C. Lévêque. – Concernant le mercure, on peut bien entendu, dans certaines situations, penser à réduire les pollutions par le mercure. Mais dans le cas de la Guyane par exemple, les recherches ont montré que le fonds géochimique des sols est très riche en mercure de telle sorte que toute perturbation des sols remobilise du mercure minéral qui se transforme dans les conditions anoxiques du barrage en methyl mercure. Cette situation semble fréquente en Amérique du sud.

Il est difficile de trouver des exemples de « *success story* » dans tous les domaines. Ce que l'on peut dire c'est que des efforts importants ont été faits dans certaines régions pour réduire les effets négatifs des barrages sur l'environnement. Par exemple dans le bassin du Rhône où les chasses d'eau et la question des débits réservés en particulier ont fait l'objet de beaucoup d'attention de la part des scientifiques et des gestionnaires pour trouver les meilleurs compromis acceptables. La réduction des apports en sédiments à la côte reste quand même sans solution à ma connaissance.

Le déboisement des réservoirs avant la mise en eau est un problème qui a souvent été évoqué, mais presque jamais pratiqué, sauf pour créer des couloirs de navigation dans les réservoirs. Il semble que le coût du déboisement serait prohibitif par rapport à la construction du barrage.

Des progrès importants ont été faits concernant les passes à poissons, notamment grâce aux travaux de notre collègue Michel Larinier. Mais ces passes ne sont pas efficaces pour toutes les espèces, notamment en zone tropicale, et elles ne sont pas installées sur tous les ouvrages. En outre la question des migrations de dévalaison n'est pas encore bien résolue.

Il ne faut pas nécessairement opposer grands et petits barrages ; ils répondent souvent à des finalités assez différentes. Mais il est vrai que l'exemple des milliers de petits barrages construits en zone aride ou semi-aride, sur tous les continents, donne l'impression qu'ils sont plus proches des besoins de développement des communautés locales qui en tirent profit, et parfois même auto financent leur construction. Il s'agit souvent d'une réponse locale à la gestion de l'eau dans des contextes climatiques difficiles. Quant aux grands barrages, on peut se poser la question pour certains d'entre eux de leur raison d'être ; on sait que dans les années 1950-1960 il y a eu une sorte de compétition dans ce domaine, plus de nature politique que technologique ; des solutions alternatives

7. Membre de l'Académie d'Agriculture de France, directeur général du CIRAD, 42, rue Scheffer 75116 PARIS.

moins coûteuses et moins stressantes pour l'environnement auraient pu être envisagées dans certains cas. C'est le sens du message de la Commission Mondiale des Barrages.

A. Rérat [8]. – Parmi les problèmes posés par les barrages, on peut citer la perte d'eau par évaporation et le développement de certains parasites transportés par des vecteurs vivant en eaux stagnantes.

L'évaporation : on situe par exemple à 10 milliards de mètres cubes la perte d'eau annuelle par évaporation pour le barrage d'Assouan, dont la retenue est de 160 milliards de m^3. Connaît-on maintenant des moyens pour contrôler une telle perte ?

Les parasites : On connaît l'importance du paludisme qui frappe environ 300 millions d'êtres humains avec une mortalité qui dépasse le million d'individus. De même, le risque de bilharziose existe pour 600 millions d'individus, là aussi avec une mortalité élevée. A-t-on progressé dans la prévention du développement des vecteurs de ces parasites – moustiques d'une part, et escargots d'autre part – ?

P. Dubreuil. – On a essayé, je crois il y a quelques années sur de petits barrages du Nord-Est du Brésil, de réduire l'évaporation sur de tous petits plans d'eau en déposant une fine pellicule de billes plastiques ; le résultat n'a pas été très satisfaisant à cause du vent.

C. Lévêque. – On dispose de moyens efficaces de lutte chimique contre les moustiques et les mollusques. Mais on peut également pour certaines maladies pratiquer la prévention. Il existe ainsi un médicament efficace contre la bilharziose.

C. Maréchal [9]. – Sur les sols salés ne peut-on pas associer l'agronomie et utiliser des variétés de plantes adaptées aux sols salés ?

Une remarque sur l'irrigation au Maroc : la construction de barrages ne remonte pas à trente ans mais a été commencée bien avant en particulier avec le barrage de Béni el Ouidane inauguré en 1952.

A. Rérat. – Question à E. Soyeux : pourrait-il nous préciser deux points importants concernant les eaux usées ? Quel est leur rôle possible dans la fertilisation des sols et la formation d'humus ? Quels inconvénients peuvent-elles avoir concernant la pollution des sols : imprégnation des sols par des contaminants chimiques, contamination des nappes phréatiques par les nitrates, contamination biologique par des virus, microbes ou parasites divers ?

E. Soyeux. – Lorsque l'on envisage une réutilisation des eaux usées en irrigation, les prescriptions des autorités sont essentiellement sanitaires : traitement physico-chimique avancé des eaux usées suivi d'une désinfection poussée. L'objectif est d'éviter toute contamination microbiologique des cultures et des eaux souterraines. Dans ce contexte d'eaux usées fortement traitées sur le plan physico-chimique et microbiologique, celles-ci perdent tout intérêt sur le plan agronomique. En ce qui concerne les polluants chimiques, ils se retrouvent concentrées dans les boues d'épuration qui devront être « éliminées » par des filières garantissant une innocuité pour les sols et les eaux souterraines.

H. Tardieu [10]. – 1) Recyclage des eaux pour l'irrigation (E. Soyeux) :

On est passé progressivement, pour l'irrigation, d'un recyclage d'eau moins traitée que pour le rejet en rivière, à semble-t-il un traitement plus important. Du point de vue économique cela enlève un intérêt au recyclage qui était une manière d'épandre les boues de traitement. Comment se fait cette évolution, qui laisse penser que l'irrigation ne serait pas un gros client ?

E. Soyeux. – En effet, au début du XXe siècle, les traités d'agriculture vantaient l'intérêt fertilisant des eaux résiduaires urbaines. Aujourd'hui, la garantie d'une innocuité sanitaire et environnementale rend les conditions économiques plus difficiles mais pas rédhibitoires pour la réutilisation d'eaux usées en irrigation du fait des traitements physico-chimiques et microbiologiques poussés prescrits.

2) (Pour P. Ruelle). L'irrigation par aspersion se développe au Maghreb. Attends-t-on des efficiences proches de 90 % comme en Europe ?

---

8. Vice-président de l'Académie d'Agriculture de France, membre de l'Académie nationale de Médecine et de l'Académie vétérinaire de France.

9. Membre de l'Académie d'Agriculture de France, ancien directeur des relations extérieures de l'Union des Industries de la fertilisation, UNIFA.

10. Directeur général de la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne.

P. Ruelle. – J'ai effectivement fait référence à plusieurs travaux réalisés avec nos collègues du Maghreb. Ils ont porté sur l'irrigation gravitaire, mais aussi sur l'irrigation goutte à goutte et par aspersion, avec des diagnostics en parcelles d'agriculteurs complétant des travaux en stations expérimentales. Une poursuite des suivis chez les agriculteurs est prévue dans le cadre du projet FSP « Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb » (SIRMA). Le cas des pivots n'est par contre pas étudié ; les pivots sont encore en nombre limité et ils sont surtout présents sur quelques grands domaines (région de Settat au Maroc ou Jendouba en Tunisie par ex.) hors de la zone retenue pour le projet.

J.M. Boussard [11]. – On vient de nous présenter une foule de techniques pour faire passer l'eau de la ressource aux racines des plantes. Il pourrait même en exister encore d'autres. Je crois qu'il faut bien souligner que aucune d'entre elles n'est objectivement « meilleure » que les autres. Tout dépend des circonstances et du contexte : dans un pays en voie de développement, avec une ressource en eau relativement abondante, des disponibilités en travail en excédent, et des prix très faibles, il est sûr que les techniques gravitaires les plus « primitives » sont sans doute à recommander. Dans une station touristique en pays aride, évidemment, le recyclage des eaux usées s'impose. C'est pourquoi il est impératif de ne pas se focaliser sur ce qui peut paraître « *high tech* », pas plus que sur ce qui peut sembler « bon car traditionnel et naturel ». Les choix en la matière dépendent des circonstances et doivent être évolutifs.

P. Ruelle [12]. – Le stockage des eaux usées dans les aquifères, après leur traitement, est une solution qui paraît séduisante. Des projets existent où sont déjà en cours de réalisation dans les différents pays du Maghreb. Quelles précautions sont prises pour éviter la contamination et la pollution des nappes ?

P. Dubreuil. – Mr. Soyeux, vous avez mentionné plusieurs cas concrets d'emploi d'eaux usées recyclées en France, dont un pourcentage non négligeable a été abandonné ; pourquoi ?

Par ailleurs, l'exemple australien réussi correspond à un pays développé apte à absorber les coûts de ces traitements sophistiqués d'eaux usées à des fins de recyclage pour irrigation ; de tels coûts sont-ils tolérables dans des pays moins développés ?

E. Soyeux. – D'après le récensement que nous avons pu faire en France, 30 projets de réutilisation des eaux usées en irrigation (agricole, espaces verts ou golfs) ont été menés à bien de 1976 à 2004 et 10 ont été abandonnés. Je ne connais pas le détail des raisons de ces abandons. En ce qui concerne les coûts, la question de savoir s'ils sont tolérables dans des pays en développement nous ramène à une approche coût/bénéfice qui doit être réalisée au cas pas cas et qu'il est difficile de généraliser. En guise d'éclairage sur cette approche coût/bénéfice au cas par cas, l'exemple cité d'Adélaïde en Australie correspond à un contexte dans lequel la réutilisation des eaux usées doit permettre de sauver la zone horticole dont la ressource en eau d'irrigation a été mise en péril par une trop forte sollicitation (augmentation de la salinité) mais également de permettre son expansion grâce à cette nouvelle ressource. Dans d'autres cas également, si l'usage d'irrigation rentre en compétition avec d'autres usages jugés plus importants comme la lutte contre la subsidence des sols ou l'eau potable, le contexte économique peut devenir très favorable à la réutilisation d'eaux usées.

A. Rérat. – Je pense que Monsieur Robert a fait un peu de provocation. Puisqu'on connaît les conséquences sanitaires des installations hydro-électriques, je pense, et il le pense certainement aussi, qu'il est très possible de les prévenir en partie, sinon complètement, tout en préservant la production agricole. On peut citer trois exemples :

– Pour le paludisme, n'est-il pas possible de combiner riziculture et pisciculture, de telle sorte que les poissons des rizières les débarrassent des larves de moustiques ?

– Pour la bilharziose, n'est-il pas possible d'utiliser des molluscicides pour tuer les escargots, vecteurs du parasite ? Et le curage fréquent des canaux d'irrigation ne peut-il pas contribuer à la disparition de ces mollusques ?

---

11. Membre de l'Académie d'Agriculture de France, directeur de recherches de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), Laboratoire de politique économique, CIRAD, 45bis, avenue de la Belle-Gabrielle, 94736 Nogent-sur-Marne. Courriel :boussard@ ivry.inra.fr

12. UMR G-Eau Cemagref Montpellier.

– Enfin, un exemple pour montrer combien le strict respect des règles d'hygiène peut être efficace. Entre les deux guerres mondiales, il s'est produit une grande épidémie de typhoïde en Normandie, dont une enquête serrée a permis de définir la cause, qui résidait simplement dans l'utilisation d'un seau servant à la traite des vaches dans une exploitation laitière, comme seau hygiénique par le fermier qui était porteur sain du microbe de la typhoïde. Le retour à des habitudes de propreté normales, plus saines, a fait disparaître l'épidémie. Je rappelle que la morbidité par typhoïde en France qui était de 50 pour 100 000 habitants en 1950 n'était plus que de 0,2 pour 100 000 habitants en l'an 2000.

V. Robert. – Si Monsieur Rérat a ressenti quelque provocation dans mes propos, c'est que la réalité est elle-même provocante : l'aspect sanitaire des conséquences d'aménagements hydro-agricoles reste trop peu pris en compte dans la zone tropicale. Et ceci malgré l'accumulation des observations réalisées, dont le caractère néfaste, ou au contraire bénéfique, a été souligné.

En pratique, rizicuture et pisciculture ne font pas bon ménage. La raison principale réside dans la durée de mise en eau des parcelles, de l'ordre de trois mois (entre le repiquage et l'assèchement qui précède la récolte), soit une période trop courte pour autoriser une vraie pisciculture. L'assèchement périodique des casiers est également une contrainte pour l'utilisation de poissons larvivores dans le but de réguler l'abondance des moustiques à leurs stades aquatiques.

Les molluscicides, hélas, restent encore peu sélectifs. Cela en limite grandement l'utilisation.

Enfin, en plein accord avec Monsieur Tardieu, je voudrais terminer sur cette distinction fondamentale qui ne doit pas nous échapper : dans le domaine sanitaire, ce qui est considéré comme acquis dans nos pays développés, reste encore inaccessible dans nombre de pays du Sud. En zone tropicale, les urgences sont nombreuses et les moyens sont limités. Dès lors, il y a une vraie cohérence pour un responsable de pays pauvre à privilégier la production alimentaire et le développement économique, en mettant éventuellement entre parenthèse le risque sanitaire encouru. On peut le déplorer. On peut aussi le comprendre. On doit cependant tout faire pour promouvoir la prévention.

C. Levêque. – La création de milieux aquatiques artificiels en zone sahélienne induit systématiquement les conditions pour que se développent les vecteurs de maladie. Il est surprenant que les bailleurs de fonds n'associent pas systématiquement des mesures de prévention et de santé publique aux projets d'aménagement. Ils en ont les capacités.

J.Y. Jamin [13]. – L'épidémie de schistosomiase à Richard Toll (Sénégal), que vous avez mentionnée comme ayant pris au dépourvu les services sanitaires locaux, avait en fait été prévue dans son principe.

En effet, si jusque là aucun développement important de cette maladie n'avait été enregistré, c'est parce que le fleuve Sénégal était envahi chaque année par les eaux salées marines pendant plusieurs mois en saison sèche (la mer est remontée au-delà de Podor les années les plus sèches). Mais tous les ingrédients étaient prêts pour un développement de la schistosomiase :

– des casiers irrigués toute l'année avec de l'eau douce venue du Lac de Guiers, et donc des canaux en eau douce déjà toute l'année, dans lesquels les mollusques vecteurs avaient déjà été identifiés,

– des populations migrantes venues de Casamance (d'où la schistosomiase dite « des forêts ») travaillant à la Compagnie sucrière, et porteuses connues de la maladie à Richard Toll, où elles étaient les seules dans ce cas (le personnel de la CSS bénéficie d'un dispensaire bien équipé, qui avait identifié ces malades).

Si les services sanitaires ont été pris au dépourvu, c'est donc probablement à cause du manque d'argent, et non du manque d'information sur ce risque, qui était connu des médecins de la CSS et mentionné dans les rapports de l'OMVS sur l'après-barrage, même si bien entendu, personne ne pouvait prévoir quand et dans quelle proportion la maladie de développerait.

H. Tardieu. – La question n'est pas de comparer la valeur de la vie au Nord et au Sud, ou de dire que les aménagements ne se soucient pas de la santé. La question est : nos référentiels de santé du Nord peuvent-ils s'appliquer immédiatement au Sud même si la conséquence est le blocage des nouveaux aménagements susceptibles d'être « à risque sanitaire » et donc aussi celui du développement économique des zones rurales ?

13. CIRAD, UPR Gestion de l'eau/UMR Gestion de l'eau, Acteurs Usages.

A. Neveu [14]. – Monsieur Jamin nous a présenté des exemples africains qui tous concernent de grands périmètres irrigués anciens, avec toutes les difficultés de changement de méthodes de gestion que l'on cherche à mettre en œuvre. Existe-t-il des exemples de nouveaux aménagements où des règles de gestion plus efficaces peuvent dès l'origine être appliquées ? Sont-elles alors effectivement plus efficaces ?

J.Y. Jamin **–** Oui, il existe des exemples de nouveaux aménagements où l'on s'efforce d'impliquer plus fortement dès l'origine les agriculteurs et les populations concernées. Cependant, pour les grands aménagements, la priorité était encore jusqu'à ces derniers temps de réhabiliter l'existant plutôt que de créer du neuf *ex-nihilo* ; on a donc peu d'exemples pour ce type de grands aménagements. Par contre, pour les petits aménagements, depuis les années 1980 leur création se fait en associant beaucoup plus les futurs irrigants, voire à leur initiative comme cela a été le cas dans la vallée du fleuve Sénégal avec les périmètres des « Foyers de jeunes » créés à côté des grands aménagements. La gestion est alors plus simple, du fait de la taille plus réduite, mais aussi du fait de l'implication précoce des intéressés, et les résultats sont alors meilleurs en terme de participation effective des acteurs, même si les grandes questions économiques sur la durabilité demeurent.

14. Membre de l'Académie d'Agriculture de France, ancien adjoint au Directeur de l'Agriculture et des Collectivités locales de la Caisse nationale de crédit agricole.

CONCLUSIONS

par Alain **Perrier** [1]

Il ne peut y avoir de conclusions sur les divers aspects présentés au cours du colloque, sans rappeler trois points essentiels du contexte factuel relatif à la gestion de l'eau. En effet les principaux aspects du thème « Irrigation et développement durable » traités sont sous leur contingence.

1) En premier, **une demande** qui dépend de l'évolution de la population humaine et de l'accroissement de ses besoins vitaux ainsi que des activités qu'elle génère :

(i) Indépendamment des hétérogénéités spatiales considérables, la disponibilité moyenne en eau, grâce au couple actuel demande-techniques, atteint un taux réel moyen de prélèvement de 10 % (rapport entre l'eau prélevée et l'eau potentiellement disponible). Le simple maintient de ce prélèvement moyen pour 2025, nécessite de faire un effort technique considérable (passer de 10 % à 15 %).

(ii) Au niveau mondial, il résulte que 70 % des prélèvements sont destinés à l'irrigation afin d'assurer l'alimentation (Rendement triple en irrigué par rapport au pluvial et efficience de l'eau double). Ce poids de l'irrigation est énorme, aussi toute meilleure gestion de l'eau dite « *intégrée et socio-économique* » sera efficace (seulement 20-25 % des irrigations étant à ce jour réellement consommés par les plantes).

(iii) Le développement augmente toujours les priorités qu'elles soient alimentaires (eau et nourriture), sanitaires (tant domestique que collectif - villes et agglomérations -) ou encore liées aux loisirs, à la production industrielle ou au respect de l'environnement.

2) En second, **une ressource** : qui est essentiellement climatique, résultant du bilan entre les apports (Pluie) et les pertes (Evaporation) induites par la demande climatique :

(i) Ce climat se caractérise par une variabilité climatique qui rend la ressource très discontinue (pas d'étude ni de diagnostic possible sur une période de moins de 20 ou 30 ans) ; de plus cette variabilité devrait indubitablement croître avec les changements climatiques prévisibles (ce qui va accroître d'autant le poids des situations extrêmes). Avec l'augmentation des températures d'autres changements se profilent, la pluviométrie tend à croître (tendance d'environ 10 % sur les 25 dernières années par rapport au XXe siècle) et la demande climatique baisse (ennuagement et humidité plus forts mais en partie compensés par l'augmentation de la température). Enfin l'atmosphère se caractérise par un recyclage rapide de la vapeur d'eau évapotranspirée (environ 11 jours). Aussi l'augmentation de l'évaporation, induite par l'irrigation, est recyclée sous forme de pluies - des résultats montrent (données obtenues sur GCM au LMD) une amplification des pluies (+ 5 % à + 7 %) sur de grands bassins irrigués (Mississipi, Gange, Yangzijiang et Huang He).

(ii) La ressource utilisable dépend des systèmes tampons naturels et artificiels (systèmes espace-temps qui permettent des régulations sur quelques mois à quelques années). Le principal système est bien sûr le sol mais de constante de temps insuffisante face aux besoins des écosystèmes agronomiques. Notons que l'effet tampon des glaces et des neiges sur tous les grands châteaux d'eau montagneux du globe diminue (réchauffement climatique); la durabilité de ces systèmes naturels et artificiels devient une préoccupation majeure.

(iii) Face aux ressources potentielles, la ressource disponible du futur dépendra aussi des progrès techniques de mobilisation de ces ressources potentielles (la limite estimée actuelle est de 30 %). En conséquence toute recherche d'une amélioration de l'efficience de l'eau (gestion et apports à la parcelle) est primordiale ainsi que la mobilisation des eaux de recyclage ou le dessalement de l'eau de mer selon les coûts dans le futur.

3) En troisième, **la durabilité du bilan demande-offre** qui devient dans le temps le facteur prépondérant de la durabilité des irrigations et du développement durable induit. Aussi, toute disjonction temporelle accrûe entre demande et ressources nécessitera toujours plus d'efforts et d'investissements dans la recherche comme dans la mise en œuvre de nouvelles techniques.

---

1. Membre de l'Académie d'Agriculture, professeur à l'INA P-G. Délégué permanent à l'Environnement de l'INRA, Laboratoire de météorologie dynamique, 4 place Jussieu (Tour 45, 37e étage), 75252 Paris cedex 05.
Courriel : perrier@inapg.fr

Les Colloques de l'Académie d'Agriculture de France, 2005, n° 1. Colloque du 19 mai 2005.

(i) Ce bilan dépendra directement de l'évolution de la demande selon la croissance de la population et demain, vers 2050, peut-être, une certaine stagnation ou décroissance (taux de natalité de 1.4 dans certains pays ?). Cette demande suivra aussi celle de l'alimentation en croissance avec le développement (consommation carnée dix fois plus coûteuse en eau), mais décroissance possible s'il apparaissait une utilisation réelle d'aliments de synthèse ?

(ii) Le développement n'est durable qu'avec la durabilité de la ressource ; il faut donc gérer les prélèvements selon les apports nets résultants et modifier les espaces ruraux pour améliorer selon les climats les apports nets et l'efficience des systèmes irrigués.

(iii) Le développement n'est durable qu'avec la durabilité du milieu (écosystèmes et sols) selon les pratiques de gestion de l'eau ; la protection ainsi que la réhabilitation des milieux dégradés est essentielle : protection des sols (chimique, hydrique, phytotechnique) et surtout des écosystèmes.

(iv) Enfin, le développement n'est durable qu'avec une durabilité socio-économique des systèmes irrigués dont les facteurs peuvent être assez rapidement changeants.

En conclusion il n'y a pas de gestion des irrigations et de développement durable dans la majorité des cas sans une vision spatio-temporelle essentielle de cette gestion qui puisse s'appuyer sur une approche intégrée à la fois des ressources et de leur mobilisation. Pour cela une approche multidisciplinaire s'impose qui doit s'intégrer au sein d'un territoire et prendre en compte les liens avec tous les acteurs dont les exploitants responsabilisés. Il en résulte un jeu important de négociations à conduire, mais sans oublier les régulations dues aux politiques agricoles et à celles de l'eau ; ces régulations permettent de prendre en compte l'insertion du territoire dans des systèmes d'échelles spatiales plus grandes (système géographique donné et surtout relations avec les entités plus vastes de type politico-socio-économique). Quelques points clefs de cette journée peuvent être rappelés :

1 – La mobilisation et la protection de la ressource sont les facteurs premiers d'amélioration de l'irrigation et du développement durable. Cette ressource doit satisfaire d'abord l'alimentation et les besoins domestiques et sanitaires ; deux aspects cruciaux pour les zones d'urbanisation effrénée où le sanitaire l'emporte sur l'irrigation de l'agriculture périurbaine, pourtant premier fournisseur en produits frais de ces populations.

2 – Dans ce cas en particulier, le recours à l'assainissement (protection des ressources), à l'utilisation raisonnée d'engrais et pesticides, comme au développement de ressources alternatives est nécessaire : (i) recherche de nouvelles ressources profondes durables et de qualité ; (ii) recyclage des eaux usées pour l'irrigation avec toutes les garanties sanitaires nécessaires, (iii) enfin, dessalement des eaux pour les besoins domestiques.

3 – Développer une stratégie de gestion de l'irrigation qui puisse être plus économe et plus respectueuse de la qualité des sols (éviter la salinisation et réhabiliter les sols salés). Puisque environ 70 % des prélèvements destinés à l'irrigation sont en moyenne non valorisés par la production, toute amélioration conduite avec soin de la gestion des modes d'irrigation est primordiale ; en première approximation, il est possible d'atteindre 80 % d'efficacité quelles que soient les techniques choisies (certes de petites différences apparaissent à la marge avec un avantage certain pour les techniques de micro-irrigation par exemple).

4 – L'appropriation par les associations et les exploitants de cette gestion et des pratiques utilisées, assortie d'une aide offerte par l'utilisation de modèles pour l'aménagement des espaces, la protection des ressources comme l'aide à la décision et au pilotage des irrigations sont les meilleurs moyens de réduire les pertes et d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau apportée réduisant coûts et pollutions. Malheureusement n'oublions pas que l'irrigation favorise aussi de nombreuses maladies dont il faut limiter les risques.

5 – L'irrigation et le développement durable passent par une durabilité socio-économique qui nécessite une évaluation quantitative fine (mesures volumétriques de l'eau consommée au niveau des exploitants) et aussi complète que possible des coûts et bénéfices de cette utilisation de l'eau d'irrigation, en y associant toutes leurs aménités. De façon plus précise, en ce qui concerne les services d'irrigation et de drainage, une charte internationale nous a fait ressortir les cinq points de bases pour une bonne durabilité et une bonne gouvernance de la gestion de l'eau : « *Transparence des coûts durables complets et de leur recouvrement pour permettre une négociation continuelle claire, forte et équitable prenant en compte une gestion économique régulée par les politiques (eau et agriculture en ce qui concerne l'irrigation)* ».

Les voies sont nombreuses, diverses mais devront être toutes exploitées au mieux pour atteindre en 2025, il est un peu tôt pour aborder 2050, une utilisation mondiale de l'eau plus satisfaisante.

ACADÉMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE

COLLOQUE « IRRIGATION ET DÉVELOPPEMENT DURABLE »

19 mai 2005

SYNTHÈSE

par Pierre **Dubreuil** [1]

Au plan mondial, l'extrême diversité des irrigations entre pays et à l'intérieur de ceux-ci rend très difficile d'établir un bilan actuel et de tracer des perspectives d'avenir ayant une portée générale. Cependant, il est patent que d'ici 2025 les 3 milliards d'humains supplémentaires dépendront à 80 % des produits agricoles fournis grâce aux irrigations. Les surfaces irriguées vont donc augmenter encore d'environ 25 %. Les prélèvements d'eau qui leur seront destinés vont se heurter à une compétition accrue avec les besoins des autres usagers ; une compétition qui sera très sévère dans le pourtour méridional et oriental de la Méditerranée et importante dans toute l'Asie du sud et de l'est.

Pour satisfaire cette demande d'aliments les irrigations doivent respecter trois séries de conditions :

a) Une compétition équitable entre usagers laquelle exige que :
- l'efficience d'usage de l'eau soit augmentée par réduction des pertes, meilleure maintenance des équipements, recours aux bonnes pratiques agricoles et passage progressif aux techniques économes d'eau,
- la gestion des ressources en eau s'effectue à l'échelle du bassin versant et avec la participation des usagers dans les périmètres collectifs.

b) L'objectif d'une pérennité de leur fonctionnement laquelle demande que :
- le choix d'un prix de l'eau distribuée aux irrigants soit équitable et acceptable, sachant que le coût durable de cette eau, souvent supérieur à ce prix, doit inclure les charges de maintenance et de renouvellement des équipements avec l'aide des collectivités publiques et des bailleurs de fonds,
- les sols dégradés par salinisation soient réhabilités (recours au drainage avec amendement et maintien de la matière organique du sol).

c)Leur inscription dans le développement durable laquelle implique :
- la minimisation des altérations de l'environnement dus aux effets des réservoirs (envasements, émission de gaz à effet de serre, érosion des côtes) et aux rejets d'eaux d'irrigation dans les rivières et nappes aquifères,
- la prise en considération des problèmes de santé tant en matière de coût que de règles de prévention des maladies liées à l'eau et amplifiées dans les zones irriguées, et cela dès la conception des nouveaux aménagements.

Étayée par des travaux sur plusieurs continents, l'expertise française existe dans tous ces domaines des aménagements, de leur gestion et de leur réhabilitation. Elle est disponible pour servir partout où il y a des irrigations et où l'on en projette.

1. Membre de l'Académie d'Agriculture de France, directeur de recherches honoraire de l'IRD - Institut de recherches pour le développement (ex-ORSTOM).

Les Colloques de l'Académie d'Agriculture de France, 2005, n° 1. Colloque du 19 mai 2005.

Achevé d'imprimer en décembre 2005 sur les presses numériques de l'Imprimerie Maury S.A.S. - Z.I. des Ondes - 12100 Millau
N° d'impression : J05/30787 C - Dépôt légal : décembre 2005

Publications de l'Académie d'Agriculture de France

avec le concours de :
L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

Administration, rédaction et édition

Académie d'Agriculture de France
18, rue de Bellechasse - 75007 PARIS
Tél. : 01 47 05 10 37 - Télécopie : 01 45 55 09 78
C.C.P. 3829-19 X Paris

Secrétaire perpétuel et **Rédacteur en chef :** Guy Paillotin

Trésorier perpétuel : Robert Stroppiana

Secrétaire de rédaction : Christine Ledoux-Danguin
Courriel : christine.ledoux@paris.inra.fr

Site Internet : http://www.academie-agriculture.fr

Secrétariat administratif : Corinne Migné
Courriel : corinne.migne@paris.inra.fr

Imprimerie MAURY S.A.
Z.I. des Ondes - B.P. 235 - 12102 Millau Cedex

Les Actes du Colloque seront en vente au siège de l'Académie d'Agriculture au prix de 15 euros pour les Membres et Correspondants et de 31 euros pour les particuliers

Si vous vous abonnez au site, demandez votre login et votre mot de passe avant le 5 janvier de l'année civile, sinon il sera périmé.

Dépôt légal n°

C.P.P.A.P. n° 70502

Les irrigations constituent de beaucoup le premier consommateur d'eau dans le monde mais de plus en plus en conflits avec les autres usages. Elles fournissent en outre une très grande part des biens alimentaires, en particulier dans les pays en développement.

Certaines sont critiquées pour les pertes d'eau et les dégradations environnementales qu'elles engendrent, comme pour leur piètre management. Arriveront-elles à respecter les critères de durabilité au cours de ce siècle ? Telle est la question posée et l'objet de ce colloque.

Successivement les critères politiques, économiques, techniques, et sociaux ont été traités. Présentations et discussions ont montré que l'objectif de durabilité était possible et dépendait de la volonté politique, des moyens financiers, des compétences techniques et de l'implication étroite des usagers dans la gestion. L'expertise française dans ce domaine prouve toujours sa compétitivité.

Pierre DUBREUIL