

Les aménagements hydrauliques et les périmètres irrigués

À partir d'une contribution de C. Castellonet (GRET)

L'irrigation est souvent vue comme la solution la plus évidente pour augmenter et sécuriser la production agricole dans les zones de climat aride, semi-aride, ou même dans les zones mieux arrosées, mais où la variabilité des précipitations fait courir des risques aux producteurs. En zone de forte densité de population, l'irrigation permet souvent de réaliser deux, voire trois cultures par an, là où une seule était permise par les pluies. En zone désertique, l'irrigation est évidemment la seule solution permettant de garantir une production agricole régulière et de maintenir des populations sédentaires (systèmes oasiens).

Pourtant, d'après la FAO, la surface de terres irriguées abandonnées chaque année par suite de la dégradation des réseaux ou de la perte de fertilité des sols (du fait de la salinité notamment) est égale à celle des périmètres nouvellement aménagés. Il ne faut jamais oublier que l'irrigation demande des investissements lourds en terme de capital. Elle demande un travail important supplémentaire aux paysans, coûte cher en termes d'intrants monétaires et d'entretien, et risque d'entrer en concurrence avec d'autres utilisations des ressources naturelles au niveau des terroirs concernés. Le choix d'aménager un périmètre irrigué est donc lourd de conséquences et ne doit pas être pris à la légère. La participation des futurs usagers est évidemment essentielle à tous les stades, depuis la conception jusqu'à la gestion de ce périmètre.

LES DYSFONCTIONNEMENTS

Quels symptômes observe-t-on sur un périmètre irrigué qui ne fonctionne pas bien ? Ils sont très nombreux. Nous en citerons seulement quelques uns :

- > toutes les surfaces ne sont pas mises en valeur au cours d'une même saison ;
- > seul un petit groupe d'usager souhaite pratiquer l'irrigation dans une saison donnée ;
- > les usagers décident de ne plus cultiver en contre saison, ou en hivernage, contrairement à ce qui était prévu initialement ;
- > ils préfèrent réaliser des cultures maraîchères, sur des surfaces plus petites, mais ne veulent plus irriguer les cultures vivrières ;
- > les rendements sont variables et en moyenne inférieurs au potentiel ;
- > les disputes entre usagers pour l'utilisation de l'eau sont fréquentes ;

- > l'entretien des canaux n'est pas assuré, d'où des pertes importantes (brèches, infiltrations) et le fait que l'eau n'arrive pas en bout de canal ;
- > les redevances ne sont pas payées, ou très partiellement, d'où un entretien insuffisant, et dans le cas du pompage, de nombreuses pannes, un mauvais fonctionnement des pompes, des irrigations insuffisantes ;
- > le tour d'eau n'est pas assuré, ou la durée entre deux tours d'eau devient trop importante en période sèche et chaude, et les cultures souffrent ;
- > les agriculteurs se plaignent de la baisse des rendements ;
- > un conflit oppose les irrigants et d'autres populations vivant sur le même terroir, notamment les éleveurs nomades ou les pêcheurs. Des destructions de clôture sont commises, le bétail divague sur les cultures irriguées, pouvant provoquer des conflits sérieux avec mort d'homme, voire des guerres locales ou régionales.

Il est inutile de s'attaquer seulement aux symptômes si l'on ne connaît pas les causes. Réhabiliter des réseaux dégradés, par exemple, sans garantir l'entretien futur, ou former les responsables des associations d'irrigants à la gestion lorsqu'on constate qu'ils n'arrivent pas à assurer l'entretien des équipements, décider d'exclure les irrigants qui ne payent pas leur redevance sans comprendre leurs motifs et leurs problèmes ne sont que des palliatifs, souvent coûteux et qui n'empêcheront pas le problème de resurgir après quelques années.

Le diagnostic d'un périmètre irrigué doit notamment répondre aux questions suivantes :

- > les cultures irriguées sont-elles intéressantes économiquement pour les paysans ? Comment s'intègrent-elles dans leurs systèmes de production ? Y a-t-il concurrence avec d'autres productions ou activités au cours du calendrier ?
- > quel est le coût de l'entretien et du fonctionnement du périmètre irrigué ? Combien cela coûte-t-il au paysan, par hectare ou par m³ d'eau d'irrigation ? Combien ce coût représente-t-il par rapport aux rendements moyens attendus des cultures irriguées ? Quelle part de ce coût faut-il payer en argent ou en travail ?
- > y a-t-il risque de dégradation de la fertilité des terres irriguées ? Par quel phénomène : baisse du taux de matière organique, baisse de la fertilité chimique, salinisation, prolifération de certaines adventices ? Y a-t-il des zones affectées par des problèmes de drainage ?
- > y a-t-il conflit entre les irrigants et d'autres usagers du terroir, soit autour du foncier, soit pour d'autres usages ? Quel est le statut des parcelles attribuées aux irrigants ? Les irrigants sont-ils tous propriétaires, ou pratiquent-ils le fermage, le métayage, le prêt des parcelles ? Sont-ils en situation de sécurité foncière ?
- > l'exploitation du périmètre irrigué a-t-elle des conséquences sur la gestion des ressources naturelles au niveau du bassin versant ? Quels usages (agriculture, élevage, production de bois, pêche et chasse) supportait la zone occupée par le périmètre avant son aménagement ?
- > comment les irrigants sont-ils organisés ? Forment-ils des groupes socialement homogènes, avec des règles claires et des dirigeants reconnus et respectés ? Quelle sont leurs relations avec l'État et les autorités locales ? Les associations d'irrigants sont-elles légalement reconnues ?

- > qui est le propriétaire du réseau d'irrigation, y a-t-il délégation de gestion à un office public ou aux associations d'usagers, selon quelles modalités ?
- > les règles de distribution de l'eau, de paiement des redevances et d'entretien sont-elles claires, connues par tous, applicables ? Des sanctions sont-elles prévues pour les contrevenants ? Sont elles acceptées, effectivement appliquées, efficaces ?
- > la conception du réseau d'irrigation est-elle satisfaisante : y a-t-il adéquation entre la disponibilité en eau et les besoins ? Les pertes sont-elles excessives ? Y a-t-il une bonne efficacité de l'irrigation ? Les parcelles sont-elles bien nivelées et l'irrigation bien maîtrisée techniquement par les irrigants ?

Seule cette dernière question est souvent posée, par les techniciens comme par les irrigants eux-mêmes, qui trouvent là une explication simple à tous leurs problèmes. Il est plus facile d'accuser la mauvaise conception du périmètre que de reconnaître les problèmes de gestion internes. Evidemment, notre propos n'est pas de minimiser ces questions techniques, qui posent souvent des problèmes, mais de signaler qu'elles ne sont qu'une des causes possibles de mauvais fonctionnement, et rarement les seules.

L'ÉCONOMIE DE L'IRRIGATION

● *L'irrigation dans les systèmes de production*

Rendements supérieurs ne signifie pas nécessairement revenus supérieurs. Tout d'abord, il faut retirer de la production l'équivalent du coût de l'irrigation et des intrants additionnels nécessaires. Par ailleurs, il faut rapporter cette production nette au nombre de jours de travail nécessaires, pour obtenir la productivité du travail, une valeur souvent cruciale en agriculture paysanne.

On doit systématiquement comparer la productivité des cultures irriguées avec celle des cultures pluviales et des autres activités agricoles, tout d'abord sous l'angle de la productivité par jour de travail. On doit ensuite comparer les calendriers culturaux pour détecter les pics de besoin de main d'œuvre qui peuvent rentrer en concurrence. Un rendement élevé des cultures irriguées ne signifie pas forcément un bon revenu pour les paysans. Si le revenu du travail est plus faible que celui des cultures sèches et que la terre n'est pas limitante, l'irrigation ne sera pas une priorité des paysans, et ils risquent de l'abandonner à terme.

La place de l'irrigation dans un système de production paysan au Sahel

Un agriculteur sahélien cultive du mil chandelle extensif en pluvial, sur sols sableux, avec un rendement moyen de 800 kg/ha, et un besoin en travail de 20 jours/ha. Il est capable de cultiver 5 ha par UTH. On a donc une production de $5 \times 800 : 4\,000$ kg/ UTH, ou 40 kg de mil/jour de travail.

L'irrigation lui permet d'obtenir 5 tonnes de riz par ha en employant le repiquage. Mais il lui faut pour cela acheter des semences certifiées et de l'engrais (équivalent à 600 kg de paddy/ha), et payer une redevance équivalente à 800 kg/ha. Sa production nette est donc de 3,6 tonnes/ha. Cette production nécessite 200 jours de travail par ha (pépinière, labour et mise en boue, repiquage, désherbage et récolte). Il ne peut cultiver que 0,5 ha/UTH. Il peut donc obtenir une production de 1 800 kg de paddy par UTH, 18 kg par jour de travail. Même si le riz a une valeur supérieure au mil, il est nettement moins intéressant que le mil sous l'angle de la productivité moyenne du travail. Il faudrait évidemment prendre en compte l'aspect sécurité découlant de la variabilité des rendements, en comparant également le rendement du mil en mauvaise année (faibles pluies), à celui d'une mauvaise année pour le riz irrigué.

Il faut également prendre en compte la diversité des familles paysannes. Une famille qui n'a pas accès aux terres à mil, et pas d'autres sources de revenus, pourra être très intéressée à investir toute sa main-d'œuvre dans l'irrigation. D'autres familles qui disposent d'une abondance de terres ou d'autres sources de revenus (artisanat, revenus de l'émigration) seront nettement moins intéressées. On observera alors des comportements très divers au sein d'un même périmètre.

En cas de concurrence entre les deux cultures (si leurs calendriers coïncident, par exemple, le semis du mil aux premières pluies rentrant en concurrence pour la main d'œuvre avec la préparation des parcelles de rizière), il y a fort à parier que les agriculteurs donneront la priorité au mil. C'est parfaitement logique d'un point de vue économique, même si cela se traduit par des baisses de rendement du riz. Le résultat risque d'être une culture irriguée tardive, qui empêche une deuxième culture irriguée, mais permet d'optimiser les calendriers de travail.

● **Le coût de l'irrigation**

Le coût de l'irrigation est très variable selon le type d'aménagement. L'irrigation gravitaire (à partir de barrages) nécessite des investissements de départ souvent très élevés. Le coût d'entretien des infrastructures est donc également élevé. En revanche, les frais de fonctionnement sont réduits puisqu'il n'y a pas de pompage. À l'inverse, l'irrigation par pompage entraîne des coûts de fonctionnement élevés, d'autant plus importants que l'eau est profonde. Mais les frais d'aménagements peuvent être réduits, surtout sur les petits périmètres privés. Il est intéressant de calculer le coût de l'irrigation à l'hectare, mais aussi par mètre cube d'eau apportée. Le tableau suivant donne une base de comparaison, qu'il faut actualiser dans chaque situation.

Tableau 1. Coûts de l'irrigation à l'hectare et par mètre cube d'eau apportée (coûts exprimés en euros)

Type d'aménagement	Investissement (par ha)	Coût d'entretien et amortissement (équipements seulement) (par ha et par an)	Autres coûts de fonctionnement (pompage, distribution de l'eau) (par ha et par an)	Coût de l'irrigation hors amortissement de l'aménagement) (par ha et par an)	m ³ /ha/an	Coût en euro par m ³ d'eau apportée
Barrage moyen (Galmi, Niger)	30 000	300	60	360	5 000	0,072
Périmètres villageois par pompage sur fleuve (Matam, Sénégal)	1 900	250	60	310	8 000	0,039
Pompage électrique sur forages (10 m) (Girawata Niger)	14 600	370	270	640	15 000	0,043
Pompage sur forage profond (Louma, Sénégal)	79 300	430	150	580	2 400	0,242
Grands périmètres gravitaires (Office du Niger)	7 600	90 (sans amortissement)	50	140	10 000	0,014

On retiendra de ce tableau que le coût de l'irrigation par hectare varie d'un facteur de 1 à 5 selon le type d'aménagement, de 1 à 20 si l'on considère le coût du mètre cube. Cette différence serait réduite si l'on intégrait le coût d'amortissement des grands aménagements, ce que pratiquement aucun gouvernement ne fait, considérant qu'il s'agit d'investissements d'intérêt public.

Le coût réel de l'irrigation se situe rarement en dessous de 300 euros/ha, soit l'équivalent de 2 tonnes de paddy/ha. Ce coût peut être réduit en termes monétaires, si une partie importante de l'entretien des aménagements est réalisée par les irrigants eux-mêmes. On voit bien cependant que l'irrigation ne se justifie économiquement que dans les situations suivantes :

- > elle est absolument indispensable (zones désertiques) pour la survie des populations ;
- > elle permet de réaliser des cultures commerciales à forte valeur ajoutée et marché assuré (maraîchage péri urbain surtout) ;
- > en zone de forte pression démographique, la surface par agriculteur est tellement faible qu'ils sont obligés pour survivre d'intensifier et de produire deux ou trois cultures par an, à haut rendement, avec une très forte intensité de main d'œuvre à l'hectare.

En zone sahélienne, l'intérêt de l'irrigation dépend de sa productivité comparée à celle des cultures pluviales. En général les agriculteurs sont intéressés par de petites surfaces irriguées qui complètent leur système de production et permettent de réduire les risques (facteur de sécurité alimentaire). Une exception importante semble

constituée par l'Office du Niger, où la maîtrise de nouvelles techniques sur les surfaces réhabilitées (semis direct sur parcelles parfaitement planes, contrôle de la lame d'eau) permet de hauts rendements sur des surfaces importantes (4 ha par famille avec 5 t/ha en moyenne).

Il est bien entendu possible et légitime que les gouvernements et bailleurs de fonds décident de subventionner l'irrigation, même si elle n'est pas économiquement viable, pour garantir la sécurité alimentaire des populations ou du pays. Il faut cependant savoir que la poursuite de l'irrigation dépend dans ce cas de celle des subventions.

L'ORGANISATION DES IRRIGANTS

La gestion d'un périmètre irrigué suppose un niveau élevé d'organisation collective pour une série de décisions indispensables.

Les mises en culture et le début de l'irrigation

Quand commence-t-on l'irrigation, pour quelles cultures et sur quelles parties du périmètre ? Souvent la culture de riz en submersion est incompatible avec celle d'autres cultures qui ne tolèrent pas la submersion. Quand peut-on laisser les animaux pâturer les résidus de récoltes ou les jachères ?

La gestion de l'eau

Comment organiser la distribution de l'eau (le tour d'eau) pour éviter que certains gaspillent l'eau alors que d'autres en manquent, et aussi pour éviter que les périodes entre deux irrigations se prolongent exagérément lorsque le climat est plus chaud ? Un tour d'eau où chacun irrigue à volonté sans limite de temps ou de volume aboutit toujours à ce résultat. Il faut aussi contrôler que la main d'eau (le volume auquel chacun a droit) est respectée et que le débit d'eau entrant dans les parcelles est adapté : un débit trop important se traduit par des gaspillages, car l'irrigant n'arrive pas à contrôler la régularité de l'application et à empêcher que l'eau ne déborde en bout de parcelle ; un débit insuffisant risque d'augmenter inutilement le temps nécessaire à l'irrigation ainsi que les pertes dans les canaux.

Les vols d'eau sont fréquents, surtout la nuit. Les irrigants situés en amont (près de la prise ou de la pompe) peuvent facilement détourner l'eau des canaux principaux si les autres irrigants se sont absentés ou si les règles sont floues. Cela peut produire des conflits croissants si des régulations collectives (sanctions, avertissements) ne sont pas mises en place.

QUELQUES ENJEUX ESSENTIELS

● Éviter le gaspillage

Un des objectifs les plus importants du gestionnaire du périmètre est de maximiser la surface irriguée et le nombre de bénéficiaires afin de maximiser le gain de production agricole résultant de l'irrigation.

Si l'on admet (c'est le cas général), que l'on dispose d'un débit maximum fixe imposé par la pompe ou par la ressource, il faut faire en sorte que ce débit soit réparti sur la

plus grande surface possible, tout en couvrant les besoins des plantes aux périodes les plus sèches (chaudes et sans pluie). Pour cela, il faut :

- > minimiser les pertes dans les canaux. C'est le résultat d'un bon entretien. En évitant que tous les canaux ne soient en eau simultanément, on diminue aussi les pertes, c'est l'un des intérêts du tour d'eau ;
- > éviter que les irrigants ne gaspillent l'eau, c'est à dire n'en apportent des quantités bien supérieures aux besoins.

Ce gaspillage est lié à plusieurs facteurs :

- > parcelles mal planées, avec pour conséquence des différences de hauteur d'eau importantes et de très fortes percolations en zones basses ;
- > mauvaise maîtrise des techniques d'irrigation ;
- > recherche d'une économie de temps de travail, aboutissant à envoyer un débit très supérieur à celui qu'une personne seule peut gérer dans la parcelle, ou à laisser l'irrigation *se faire toute seule*, quitte à ce que l'eau en excès se déverse dans le drain ou la parcelle voisine ;
- > tendance à apporter des doses bien supérieures aux besoins (lame d'eau de 20 cm, quand 5 cm suffiraient par exemple), qui augmentent beaucoup les pertes par percolation (en gros, elles sont proportionnelles à la hauteur de la lame d'eau) et prolongent inutilement le tour d'eau. Plus il fait sec, plus l'irrigant a tendance à apporter des quantités (lames d'eau) importantes, au-delà des besoins immédiats de la plante, pour *garantir l'avenir...* et plus il risque effectivement d'attendre le prochain tour d'eau.
- > cultures inadaptées aux sols : décision de tout cultiver en riz, alors que certaines zones du périmètres sont sableuses ou plus hautes, par exemple.

L'idéal serait que chaque irrigant paie sa redevance en fonction du volume d'eau qu'il utilise et non de sa surface, et qu'en contrepartie il irrigue quand il le souhaite (à la demande). C'est malheureusement rarement possible, en dehors des réseaux de canalisation enterrés, fort coûteux à l'investissement.

Les modes de régulation entre les irrigants et l'organisation gestionnaire du périmètre sont très nombreux et varient selon le type de ressource en eau, le type d'organisation et la technicité des irrigants.

La solution généralement retenue est celle d'un « tour d'eau », dans lequel chaque irrigant dispose d'un débit déterminé (la main d'eau, qui correspond à un débit facilement gérable par un homme seul, de l'ordre de 15 litres par seconde sur billons, et 50l/s sur rizières) durant une période déterminée, à intervalle fixe.

Exemple de gestion d'un tour d'eau

Par exemple, si le tour d'eau dure une semaine, et est divisé en périodes de 6 heures, avec une main d'eau de 15 l/s, l'irrigant dispose d'un apport de : $(15 \times 3\,600 / 1\,000) \times 6 = 54 \text{ m}^3/\text{heure} \times 6 \text{ heures} = 324 \text{ m}^3$. Si la parcelle de base est de $4\,000 \text{ m}^2$, cela représente une dose de : $324 / 4\,000 = 0,081 \text{ m}$ ou 81 mm par semaine, équivalent à 11,5 mm/ jours. Si l'efficacité de l'irrigation à la parcelle est de 70 % (irrigation à la raie), cela couvre des besoins maximaux (ETM) de 8 mm/j, donc suffisants en général, sauf dans les mois les plus chauds en climat sahélien. En cas d'augmentation des besoins, on peut soit augmenter les durées d'irrigation journalières en irriguant la nuit, soit diminuer l'intervalle entre deux tours d'eau (si on avait adopté une période « sèche » entre deux tours d'eau).

● **L'entretien des infrastructures et son financement**

C'est évidemment un point essentiel, vu le coût des aménagements et de leur fonctionnement.

L'entretien des périmètres irrigués est souvent problématique : les irrigants ont souvent tendance à payer le minimum requis pour obtenir l'eau (par exemple, les frais de carburant pour les motopompes), mais pas le coût de l'entretien des équipements et du réseau d'irrigation. À court terme, les effets semblent limités : quelques fuites apparaissent sur les canaux, qu'on bouche avec des moyens de fortune. Par suite de l'érosion, certains canaux s'enfoncent au-dessous du niveau des parcelles (mais on peut continuer à irriguer en les barrant avec des barrages temporaires), alors que d'autres se comblent sous l'effet de l'alluvionnement, et débordent de plus en plus fréquemment. Les vannes se cassent, mais on bricole des « bouchages » plus ou moins efficaces. Les pompes ont des pannes de plus en plus fréquentes. Ces petits problèmes ont un effet cumulatif et s'aggravent rapidement. Par suite des pertes d'eau dans les canaux, il faut pomper plus, donc on fait travailler encore plus la pompe en négligeant son entretien, etc. Encore quelques années, et le périmètre est tellement dégradé qu'il coûte moins cher de tout refaire à neuf que d'essayer de le remettre en état. Pourtant, un entretien bien fait coûte beaucoup moins cher que ces réhabilitations périodiques.

Tableau 2. Estimation du coût de l'entretien d'un périmètre irrigué

Type d'investissement	Coût d'entretien annuel en pourcentage du coût initial de l'investissement
<i>Ouvrages en terre : digues, canaux, drains</i>	2 %
<i>Pistes</i>	2 %
<i>Ouvrages bétonnés</i>	1 %
<i>Matériel électro-mécanique</i>	5 %
<i>Équipements mobiles (mécaniques, pompes)</i>	5%
<i>Canalisations fixes</i>	1 %

Il faut également prévoir la nécessité de renouvellement du matériel, donc réaliser des amortissements (ou « provisions pour renouvellement du matériel »). On considère que les pompes électriques durent en moyenne 10 ans, les équipements de régulation (vannes, régulateurs) 15 ans, les moteurs de motopompes 5 à 10 ans selon l'intensité de leur utilisation.

Estimation du coût d'entretien et de renouvellement d'un périmètre

Pour un périmètre dont le réseau d'irrigation et drainage en terre a coûté 3 000 euros/ha, plus 750 euros/ha pour les ouvrages en béton et 300 euros/ha pour les vannes, et 750 euros/ha de motopompes, on peut donc estimer le coût d'entretien à : $(3\,000 \times 2\%) + (750 \times 1\%) + (300 \times 5\%) + (750 \times 5\%) = 120$ euros/ha. Il faut également rajouter une provision pour renouvellement de $(300/15) + (750/10) = 95$ euros. Au total, le coût d'entretien et de renouvellement représente donc 215 euros/ha/an. Il s'agit d'une estimation, le coût réel peut s'avérer inférieur si les usagers assurent un bon entretien et un contrôle journalier, ou plus élevé en cas contraire.

Il faut que l'organisation responsable du périmètre soit en mesure de calculer une redevance équitable, de dresser la liste exacte des « contribuables », organise les opérations d'entretien collectif (travail communautaire) le cas échéant, et surtout soit en mesure de prélever et gérer les redevances dans la transparence. Les sanctions en cas de non-paiement doivent être clairement établies et appliquées rapidement.

● **La « bonne gouvernance » des périmètres**

Vu la complexité des fonctions à mettre en œuvre pour assurer le bon fonctionnement des périmètres irrigués et le coût élevé de leur aménagement, on a longtemps pensé que seul l'Etat était en mesure de gérer efficacement les périmètres. De nombreux exemples dans des pays et situations très différentes ont montré qu'il n'en était rien. La tendance à la constitution de bureaucraties nombreuses et peu efficaces était générale ; par ailleurs, l'autorité de l'Etat n'empêchait pas les agriculteurs de refuser de coopérer, voire de tricher par tous les moyens possibles, aboutissant à des situations ingérables et des périmètres peu productifs et mal entretenus.

Depuis les années 80, un consensus international s'est établi sur le fait qu'il est souhaitable de déléguer le plus possible de responsabilités aux irrigants eux-même, regroupés en associations d'irrigants. Il existe en effet de nombreux exemples d'associations locales d'usagers capables de gérer de manière satisfaisante des systèmes d'irrigation traditionnels depuis des dizaines d'années, voire des siècles, sans intervention directe de l'Etat.

L'Etat continue cependant à avoir un rôle essentiel de contrôle et d'appui à ces associations (pour faire respecter leurs règles). Il ne suffit pas de transférer les responsabilités aux usagers pour qu'ils règlent miraculeusement tous les problèmes existants. Il faut procéder progressivement, et prendre en compte certains principes observés par les spécialistes des organisations locales gestionnaires de biens communs.

Ainsi, une organisation d'usagers va mieux fonctionner si :

- > elle regroupe des personnes ou familles qui se connaissent bien, partagent la même culture et habitent au même endroit ;
- > ces personnes ont déjà l'habitude de travailler ensemble ;
- > elle est de taille réduite (dix à trente familles qui se connaissent toutes). S'il n'est pas possible de tout gérer à l'échelle d'un groupe réduit, il est souhaitable d'adopter une organisation « à plusieurs étages », les groupes de base (par exemple groupes d'irrigants au niveau d'un canal tertiaire) se regroupent en groupes secondaires (par exemple : groupe de gestion d'un canal secondaire), eux même fédérés à un troisième niveau (association des groupements pour un périmètre), etc. ;
- > les règles d'entrée et de sortie dans un groupe sont clairement définies et font l'objet d'un large consensus, qui sert de base au groupe (règles « constitutionnelles ») et ne peut être remis en cause qu'exceptionnellement ;

- > les règles de fonctionnement et de sanction sont débattues en commun et revues périodiquement (règlement intérieur) pour améliorer leur efficacité et s'adapter aux circonstances. En général, des systèmes de sanctions graduelles sont préférables. Une règle n'a de chance d'être respectée que si le nombre de contrevenants reste faible (en dessous de 5 %), et que tout contrevenant court le risque d'une sanction réelle qui lui coûtera plus qu'il n'a retiré de bénéfice de son comportement de désobéissance ;
- > des mécanismes de recours (appel) sont possibles pour les adhérents qui s'estiment injustement pénalisés. Dans certains cas, les associations d'irrigants ont mis en place des « tribunaux de l'eau » indépendants, dont la seule fonction est de départager les plaignants et d'éviter que les conflits ne dégénèrent ;
- > des mécanismes assurant la transparence de la gestion financière et l'information des adhérents de base sont mis en place ;
- > les associations d'usagers sont reconnues par l'Etat et les collectivités locales, et reçoivent l'appui sans faille des services de l'Etat et de la justice. Ceci est tout à fait essentiel. En dernier recours, les associations doivent en effet pouvoir faire appel à l'Etat pour faire appliquer les sanctions les plus graves envers des adhérents récalcitrants, mais aussi pour intervenir en cas de conflit interne insoluble, etc. Ces interventions doivent rester exceptionnelles, mais elles n'en sont pas moins essentielles.

Quand et à quel niveau sanctionner

Si on laisse s'installer des situations où plus de 10 % des membres n'appliquent pas une règle sans sanction immédiate, il y a fort à parier que l'année suivante c'est la moitié des membres qui ne respecteront plus la règle ; et que l'année suivante elle sera totalement abandonnée. Si la sanction reste en moyenne moins coûteuse que le bénéfice de la triche, il est probable que les tricheurs vont se multiplier. Par exemple, si en volant l'eau je m'assure d'un rendement additionnel de 500 kg de paddy, mais que je ne risque, en étant pris la main dans le sac, qu'une amende de 50 kg de paddy, je peux trouver rentable de continuer à tricher, tout en jurant que je ne le ferai plus ! En revanche, si je risque de me faire expulser, ou de devoir payer l'équivalent de 800 kg de paddy, je vais hésiter à poursuivre !

● **La question foncière¹**

L'implantation d'un nouveau périmètre se traduit souvent par une situation foncière complexe. Les ayants droits traditionnels acceptent difficilement d'être privés de leurs terres ; d'un autre côté, l'Etat qui réalise les aménagements (ou les ONG dans certains cas) peut difficilement accepter de réaliser ces investissements au profit d'une minorité de familles privilégiées. En dehors de l'injustice sociale, il y aurait un risque fort que les familles en question, incapables de mettre en valeur toutes les terres irriguées, les confient à d'autres en métayage ou fermage. Ces situations aboutissent très souvent à des mises en valeur plutôt extensives, avec de faibles rendements. Ni le métayer, ni le propriétaire n'ont intérêt à optimiser l'utilisation de l'eau d'irrigation et à entretenir correctement les réseaux.

¹ Cf. chapitre 231.

La solution souvent adoptée dans le passé a été la confiscation par l'Etat des terres en question, suivie d'une redistribution égalitaire soit aux populations locales, soit dans le cas des périmètres plus importants également à des migrants qu'on a incités à venir s'installer sur le périmètre. Pour éviter toute revente de terre aboutissant à une nouvelle concentration foncière, et pour maintenir leur contrôle sur les irrigants, les Etats n'ont cependant généralement pas officiellement attribué les terres en question : les irrigants n'ont pas de titre de propriété, tout au plus des titres d'occupation provisoires et non transférables.

Cette situation d'insécurité foncière est dommageable au bon fonctionnement du périmètre. Les usagers, qui n'ont pas de garantie sur leur avenir, ne sont pas intéressés à aménager leurs parcelles, encore moins à assurer le bon entretien du périmètre. Souvent les parcelles sont transférées officieusement à d'autres agriculteurs, ou abandonnées pendant une saison ou plus. Le prélèvement des redevances est rendu difficile en l'absence de registre foncier à jour.

Il est donc souhaitable que l'aménagement des périmètres aille de pair avec des opérations de sécurisation foncière, fournissant aux usagers des titres de propriété ou d'occupation permanente incontestables. Une négociation pour le dédommagement des ayants droits traditionnels expulsés est également souhaitable.

Enfin, lors des opérations de distribution des parcelles, il est souhaitable de faire en sorte que les terres soient attribuées par quartier, afin que les groupes d'irrigants sur le périmètre soient aussi des groupes de voisins au village. Cela facilitera beaucoup la gestion des canaux tertiaires et le fonctionnement de l'association des irrigants, surtout si elle est organisée en plusieurs étages comme suggéré plus haut. Il conviendra d'associer le plus possible les futurs bénéficiaires au choix du mode d'organisation du réseau et de répartition des terres afin d'assurer la distribution la plus satisfaisante.

Quand les sols sont très différents

Si des sols très différents sont observés sur le périmètre, il est possible que les agriculteurs préfèrent l'attribution de plusieurs parcelles situées dans les différents types de sols plutôt que l'attribution d'une parcelle unique. Cela complique le travail de l'ingénieur aménagiste et du topographe, mais cela peut être très bénéfique au fonctionnement du périmètre, en évitant des sentiments de jalousie ou d'injustice dans la distribution des parcelles. Les modes d'irrigation et les cultures pourront ainsi être mieux adaptés aux différents types de sols, en faisant du maraîchage sur les terres les plus sableuses et du riz sur les sols argileux par exemple.

MIEUX CONCEVOIR LES PÉRIMÈTRES

● **Associer les usagers à la conception et à la construction des périmètres**

On a tout intérêt à associer les futurs usagers à l'ensemble des études préalables ainsi qu'à la construction des périmètres irrigués.

Ceci est admis par tous, mais dans la pratique il est rare d'observer que les usagers soient réellement associés aux études techniques ou à la construction du périmètre. Cela complique en effet le travail des ingénieurs, des entreprises de travaux publics, du bailleur de fonds. Et pourtant, nombre de décisions concernant les modules irrigués, la répartition des parcelles en fonction des différents types de sol, l'organisation des tours d'eau, ou même le type d'ouvrages à réaliser concernent en premier lieu les futurs usagers et affectent la *gouvernabilité* du futur périmètre.

On ne peut qu'encourager un dialogue systématique entre les concepteurs, le maître d'ouvrage et les futurs usagers, même s'il entraîne quelques délais et coûts initiaux supplémentaires. Il est d'ailleurs souhaitable d'encourager l'organisation des futurs irrigants (sous forme d'une pré-association au moins) dès cette phase de conception, et de l'associer au contrôle et à la réception des travaux, afin de développer ses capacités de gestion, l'appropriation de l'aménagement par ses usagers, et d'améliorer sa conception socio-technique dans le sens des intérêts des usagers.

● **Envisager les impacts du périmètre et les alternatives**

Avant d'aménager un nouveau périmètre irrigué, il faut évaluer sa viabilité économique et l'intérêt qu'il présente pour les agriculteurs concernés². Cela n'est cependant pas suffisant : il faut également évaluer les autres impacts de ce périmètre sur les groupes humains présents dans la région et leurs activités.

Les impacts sur l'élevage

Les zones aménagées sont souvent situées sur des bas fonds producteurs de fourrage en saison sèche. Il risque donc d'y avoir un impact négatif sur l'élevage, souvent pratiqué par des groupes sociaux non représentés dans les villages sédentaires (éleveurs transhumants). Les accès aux points d'eau sont souvent coupés par les aménagements, d'où une perte d'accès à des pâturages voisins même non insérés dans le périmètre. Les risques de conflits sont importants si les animaux sont en pâturage libre traditionnellement sur le terroir une partie de l'année.

Les impacts sur la pêche

Les cours d'eau voient leur régime modifié par les prélèvements (parfois asséchés en saison sèche) et les barrages peuvent empêcher les migrations des poissons, d'où un impact sur la pêche ; à l'inverse, la pêche peut parfois se développer dans la retenue d'un barrage mis en place.

Les impacts sur l'agriculture en aval

Les modifications du régime des crues et d'étiage peuvent affecter l'agriculture de décrue, voire irriguée, pratiquée en aval de barrages importants. Les lâchers

2 Voir plus haut les paragraphes sur l'économie de l'irrigation.

incontrôlés peuvent également détruire des cultures de berge. L'arrêt des crues par les barrages modifie par ailleurs le transport de limons fertilisants par les fleuves, diminuant la fertilité des sols inondés en aval, et risquant de combler les réservoirs de barrage assez rapidement.

Les impacts sur la santé

La présence d'eau stagnante ou peu mobile dans certains canaux utilisés aussi bien pour le bain que pour l'eau de boisson peut se traduire par le développement ou l'aggravation d'endémies dans la région, notamment la bilharziose, la malaria, etc.

Les impacts sur la biodiversité

L'irrigation de vastes surfaces autrefois faiblement exploitées, le drainage de zones basses, les modifications du régime hydrique et de la répartition de la salinité dans le milieu peuvent provoquer des modifications importantes du fonctionnement d'écosystèmes voisins, en particulier dans les zones d'embouchure des fleuves et affecter des espèces protégées, mais aussi le gibier ou les espèces halieutiques d'intérêt économique : poissons marins, crevettes...

Sur certains périmètres irrigués, les effets négatifs indirects l'emportent sur les effets positifs pour les irrigants, même si l'on ne considère que les effets économiques. Trop souvent, on n'étudie que les bénéficiaires directs (les agriculteurs des villages voisins), en oubliant les autres groupes qui risquent d'être affectés.

Une étude sur le delta du Sénégal

Dans une étude sur le delta du Sénégal, on a ainsi observé³ que l'endiguement du Delta a permis le développement de 10 000 ha de périmètres irrigués, et une production additionnelle de 36 000 t de paddy. En revanche, l'arrêt des crues naturelles a occasionné la perte des pâturages de décrue, et une perte considérable pour les éleveurs transhumants (Maures et Peuls) et locaux (le cheptel bovin est passé de 80 000 à 30 000 têtes), la disparition des cultures de décrue traditionnelles, la baisse de la pêche, et l'apparition de conflits entre ethnies pour le contrôle des nouvelles zones irriguées. Le bilan économique global de l'aménagement reste à faire...

L'irrigation n'est pas la seule manière de mieux contrôler l'eau et de lutter contre les aléas climatiques en climat aride ou semi-aride. De nombreuses autres techniques, moins spectaculaires mais aussi souvent moins coûteuses, existent et doivent être envisagées, notamment les aménagements anti-érosifs (diguettes, haies vives), les méthodes de collectes des eaux de ruissellement (zaï, cuvettes en demi lune), les aménagements de bas-fonds, les aménagements des cuvettes de crue et décrue. Ils sont traités dans les chapitres 233 et 236.

³ JAMIN et TOURRAND, *Evolution de l'agriculture et de l'élevage dans une zone de grands aménagements : le delta du fleuve Sénégal*. CIRAD/ISRA 1986.

LES ASPECTS TECHNIQUES D'UN RÉSEAU D'IRRIGATION

● **L'efficacité de l'irrigation**

L'efficacité de l'irrigation sur un périmètre est le rapport entre le volume d'eau prélevé ou pompé en tête de réseau, et la quantité effectivement utilisée (évapotranspirée) par les cultures, à laquelle on ajoute les besoins liés au maintien d'une lame d'eau dans le cas du riz.

Exemple de calcul d'efficacité de l'irrigation

Si au cours d'une semaine, on pompe en tête de réseau d'un périmètre de 100 ha de maïs un débit de 400 litres/ seconde ou 1440 m³/heure pendant 12 heures par jour et 6 jours par semaine, on a apporté au total 1 440 x 12 x 6 : 103 680 m³ d'eau, soit 1 036 m³/ha, équivalent à 103,6 mm si la lame d'eau était répartie de manière parfaitement uniforme. Si les besoins de la culture durant cette période sont estimés à 7 mm/jour ou 49 mm/semaine, on a donc une efficacité globale de 49/103,6 = 47 %. Cela signifie que plus de la moitié de l'eau a été perdue entre la tête de réseau et la plante. Ces pertes se produisent soit au cours du transport, soit au champ du fait d'une irrigation mal faite se traduisant par une application irrégulière ou par un excès d'eau qui se perd en percolation profonde. Dans l'ensemble, toute l'eau perdue pour l'irrigation se retrouve soit dans la nappe phréatique après percolation, soit dans les eaux de drainage du périmètre.

Vu le coût élevé de l'eau d'irrigation en général, on doit systématiquement rechercher la meilleure efficacité possible de l'irrigation en réduisant les pertes, ce qui permet de réduire le coût de l'eau à l'hectare ou, ce qui revient au même, d'irriguer plus de surface à partir d'une ressource donnée.

● **L'efficacité de la distribution**

Les pertes dans les canaux en terre sont à peu près proportionnelles au *périmètre mouillé*⁴ ainsi qu'à la hauteur de l'eau dans le canal⁵, et dépendent évidemment du type de sol. Elles représentent entre 0,05 m³/jour et par m² de canal (sols très argileux) à 0,5 m³/m² jour en sols sableux. On voit qu'il est préférable d'éviter de sur-dimensionner les canaux et de ne pas les maintenir en eau en permanence si on veut réduire les pertes. Une autre cause fréquente de perte de distribution résulte de la mauvaise coordination des irrigants.

Exemple de problème d'organisation

Un certain débit est envoyé dans un secondaire, alors que certains irrigants ne sont pas prêts à irriguer. Comme les prélèvements sont inférieurs au débit fourni, l'excès d'eau va directement dans le réseau de drainage soit par débordement du secondaire, soit en se déversant en bout d'arroseurs dans les drains. Selon les périmètres, l'efficacité de la distribution (par canaux en terre) peut varier de 85 % à 50 %. Avec des canaux en béton ou des canalisations, l'efficacité est évidemment meilleure, mais le coût d'investissement est également beaucoup plus élevé.

4 Approximativement longueur x largeur du canal.

5 En réalité, elles sont proportionnelles à la racine de la hauteur d'eau.

● **L'efficacité de l'application**

Elle résulte de deux facteurs principaux :

- > l'adéquation de la fréquence et de la dose d'irrigation par rapport aux besoins de la plante;
- > la régularité de l'application.

Si les quantités sont globalement plus importantes que les besoins, l'excédent se perd en percolation profonde ou drainage latéral. Les irrigants ont souvent tendance à apporter des doses excessives, surtout lorsqu'ils manquent d'expérience, en préférant apporter *trop* que *pas assez*. D'autre part, même si la quantité est globalement adaptée, il est préférable de réaliser des irrigations plus fréquentes avec des quantités d'eau inférieures, que l'inverse (une grosse dose espacée dans le temps). Il faut en effet tenir compte de la capacité de rétention de l'eau des sols. La réserve facilement utilisable varie de 4 % à 8 % du volume de sol exploré par les racines.

Exemples de l'efficacité du rythme d'irrigation

Pour une culture maraîchère sur sol sableux, à enracinement superficiel (50 cm), l'eau facilement utilisable après irrigation ne représente que : $0,5 \text{ m} \times 4 \% = 20 \text{ mm}$! Si l'ETRM est de 6 mm, il est donc souhaitable d'irriguer tous les 3 jours, en apportant 20 ou 25 mm, selon l'efficacité de la répartition de l'eau (voire ci-dessous). Si on apporte au contraire des quantités d'eau supérieures, par exemple 50 mm chaque semaine, il est probable qu'une partie de l'eau apportée percolera en profondeur (en dessous des 50 cm explorés par les racines), et que les plantes souffriront de stress en fin de semaine : la RFU étant épuisée, elles devront explorer la RU, avec des débuts de flétrissement, etc.

À l'inverse, un sorgho sur sol limoneux, avec un système racinaire profond de 1,5 m, disposera d'une RFU de $1\,500 \times 6 \% = 90 \text{ mm}$, lui permettant de «tenir» 15 jours entre deux irrigations.

La régularité de l'application est fonction du nivellement, de l'homogénéité des sols dans les casiers, de la méthode d'irrigation et de la technicité de l'irrigant.

● **Méthodes d'irrigation gravitaire**

Sur une parcelle parfaitement horizontale et au sol peu perméable (casier bien nivelé) on peut atteindre une bonne régularité en établissant une lame d'eau uniforme qui va ensuite s'infiltrer lentement. En revanche, dès que l'on a des dénivelés dans ce casier, l'application devient irrégulière.

Dénivelé et perte d'efficacité

Par exemple, un dénivelé de 5 cm entre le point haut et bas du casier se traduira par un besoin en eau supplémentaire d'environ 25 mm pour garantir une lame de 50 mm au point haut, soit une efficacité de $50/75 = 66 \%$. Au lieu d'apporter 500 m^3 à l'hectare, on va devoir en apporter 750 !

Si on a des sols plus ou moins perméables au sein d'un casier, les vitesses d'infiltration différentes se traduiront aussi par une irrégularité des apports. Il est souhaitable dans ce cas de subdiviser les casiers, afin que chaque casier soit constitué d'un type de sol homogène. D'ailleurs plus les casiers sont petits, plus il est facile de les niveler. La taille

des casiers est donc un facteur d'amélioration de l'efficacité de l'irrigation mais augmente le travail des agriculteurs.

L'irrigation à la raie permet aux irrigants de fournir des quantités d'eau à peu près constantes à chaque raie entre deux billons. Cependant, plus la raie est longue, moins on arrive à contrôler la répartition de l'eau entre le début et la fin de la raie (en principe réalisée avec une légère pente), d'où des efficacités souvent assez faibles dans la pratique.

L'irrigation par calants est une variante d'irrigation par ruissellement. Sur une surface plane en pente uniforme, on fait couler une lame d'eau régulière jusqu'à ce que l'ensemble de la planche ait été couverte. Elle est peu pratiquée dans le monde, du fait notamment de son efficacité réduite lorsque les planches ne sont pas parfaitement nivelées.

L'alternative qui consiste à réaliser de petites planches (mini casiers) nivelées, billonnées ou non selon le type de culture, assure une meilleure efficacité de la distribution, au prix d'un travail supérieur de préparation de la parcelle ; elle demande également une présence permanente lors de l'arrosage. Elle est bien adaptée aux paysanneries tropicales.

Les techniques d'aspersion mécanique (asperseurs sous pression) ou manuelles ont une meilleure efficacité de répartition. Leur coût en terme d'investissement (pour l'aspersion sous pression) et de main-d'œuvre (pour l'arrosage manuel) en font cependant des techniques rarement utilisées à grande échelle dans les pays en développement.

Tableau 3. Efficacité des différentes techniques d'irrigation

	Efficacité de l'irrigation à la parcelle	Efficacité globale du périmètre (y compris distribution)		
		<i>Optimale</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Mauvaise</i>
Bassins et planches	50 à 80 %	75 %	60 %	30 % (parcelles mal nivelées, canaux mal entretenus)
Billons et sillons	50 à 70 %	65 %	55 %	35 % (parcelles mal nivelées, sols sableux)
Aspersion	80 à 90 %	85 %	70 %	50 %
Arrosage à l'arrosoir	80 à 95 %	90 %	80 %	50 % (apports excessifs)
Goutte à goutte	90 à 100 %	95 %	90 %	70 % (mauvais réglage)

D'après CTGREF et FAO.

● **Le drainage et la salinité**

● **Les risques de salinisation**

Beaucoup de périmètres irrigués sont menacés par la salinisation. Le risque de salinisation est d'autant plus élevé que l'on se trouve en climat aride et que les eaux d'irrigation sont salées. Il est donc important de mesurer ce risque et de prendre des mesures afin de le combattre.

Le phénomène de salinisation est lié à la différence qui existe entre les quantités de sel apportées par l'eau d'irrigation, et la quantité exportée par l'eau de drainage. L'évapotranspiration des cultures joue comme mécanisme de concentration du sel dans la solution du sol. À la limite, si on n'apporte que les quantités d'eau strictement nécessitées par la culture (donc si le drainage est nul) pendant plusieurs années en zone aride, on va fatalement aboutir à la salinisation des sols, même si l'eau est faiblement salée au départ. En revanche, en climat plus humide, les pluies d'hivernage vont lessiver une partie du sel accumulé en saison sèche. On arrivera donc à un équilibre de salinisation moyenne du sol.

Calcul du bilan de la salinisation à l'équilibre

Le bilan de la salinisation à l'équilibre se calcule simplement sous la forme suivante :

$$V_i \times S_i = V_d \times S_d,$$

avec V_i = volume d'eau d'irrigation apporté, S_i = taux de sel dans l'eau d'irrigation, V_d = Volume drainé, S_d = concentration de sel dans l'eau de drainage.

Si l'on fait l'hypothèse que l'eau de drainage a la même concentration en sel que la solution du sol, on voit qu'un volume d'eau de drainage (également appelé *fraction lessivante*) représentant 20 % de l'eau apportée par l'irrigation aboutit à maintenir à l'équilibre une concentration en sel cinq fois plus élevée dans les sols que dans l'eau d'irrigation. Il faut donc raisonner les doses d'irrigation en rajoutant une proportion supplémentaire, la fraction lessivante, qui sera d'autant plus élevée que la teneur initiale de l'eau d'irrigation est élevée et que la culture est sensible à la salinité. Encore faut-il avoir un bon système de drainage pour éviter une remontée de la nappe phréatique.

L'équation n'est, en effet, valable que si l'on considère qu'il n'y a pas de remontée d'eau et de sels depuis la nappe phréatique. Or l'expérience montre que sur les grands périmètres irrigués par gravité, cette remontée de la nappe est un phénomène général. Elle se manifeste après quelques années, voire quelques dizaines d'années selon les cas. Lorsque ces nappes sont salées ou sodiques, elles affectent négativement la qualité des sols et provoquent des remontées de sel par évaporation.

Le cas de l'Office du Niger

La nappe est remontée de 20 m en 50 ans, elle affleure actuellement, provoquant des phénomènes d'alcalinisation progressive des sols. Seul un drainage énergétique peut permettre d'éviter la dégradation, puis la perte des sols.

Selon le taux de salinité de l'eau d'irrigation, et la tolérance des cultures au sel, on va donc recommander des apports d'irrigation supplémentaires plus ou moins élevés pour assurer le lessivage des sols.

Tableau 4. Echelle de salinité des sols mesurés par la conductivité électrique (CE) de l'eau

CE à 25°, en micromhos/cm	Utilisation possible de l'eau pour irriguer
CE < 250	Eau peu salée
250 < CE < 750	Eau légèrement salée. Ne convient pas aux plantes très sensibles (haricots par exemple) ; un léger lessivage est nécessaire pour les autres cultures
750 < CE < 2 250	Eau salée, utilisable seulement sur les cultures tolérantes (sorgho, coton, certaines variétés de riz) avec un fort lessivage
CE > 2 250	Eau très salée, seulement utilisable avec un fort lessivage, sur sols perméables, avec des cultures très tolérantes (palmier dattier en particulier)

Tableau 5. Echelle de salinité des sols par la conductivité électrique (CE) de la solution extraite du sol saturé

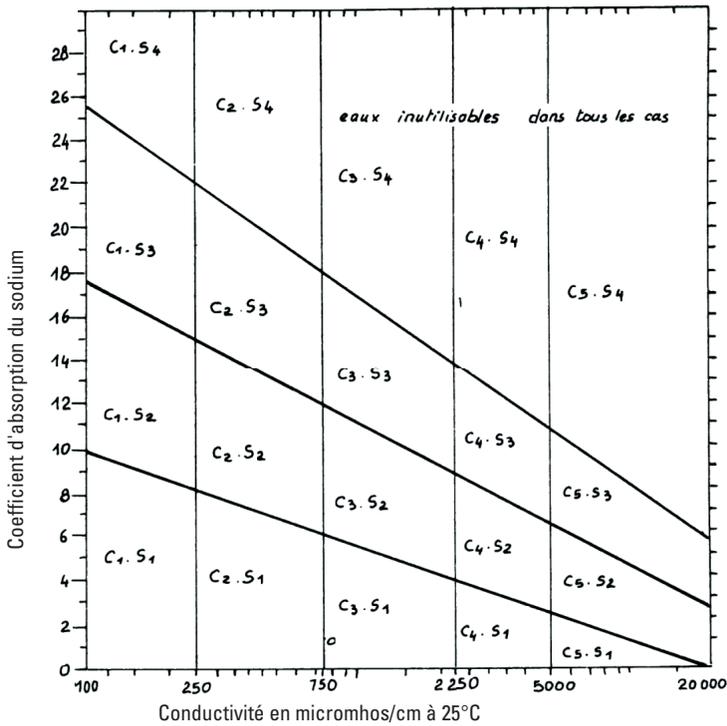
CE < 2000	sol non salin
2000 < CE < 4000	sol peu salin
4000 < CE < 8000	sol salin
CE > 8000	sol très salin

Il n'y a pas que du chlorure de sodium (NaCl) dans les sels dissous dans les eaux. On trouve également des carbonates (Ca^{++}), des sels magnésiens (Mg^{++}). Lorsque l'ion sodium prédomine par rapport aux autres ions (Ca^{++} et Mg^{++}), on a un risque d'alcalinisation et de sodisation des sols par substitution progressive des ions sodium aux autres ions dans la CEC du sol. Les sols sodiques sont mal structurés, difficiles à travailler et à drainer. Pour les récupérer, il faut apporter des amendements calciques, du gypse en particulier.

Le risque d'alcalinisation/sodisation s'estime à partir du rapport d'absorption du sodium SAR dans l'eau : $\text{SAR} = \text{Na}^+ / ((\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) / 2)^{1/2}$

Lorsque le SAR est élevé, (à partir de 10), il faut augmenter le drainage, et apporter des amendements organiques, puis calciques lorsque le SAR du sol augmente, sauf sur les sols déjà riches en calcium soluble. Au delà de 26, les risques d'alcalinisation sont élevés.

La qualité des eaux d'irrigation dépend donc à la fois de leur salinité totale, et de leur teneur relative en sodium. Des eaux de salure moyenne, mais à faible SAR, sont considérées comme bonnes pour l'irrigation (moyennant un bon système de drainage), alors que des eaux à fort SAR et salure légère sont considérées comme impropres à l'irrigation sur la plupart des sols non calciques.



► Figure 1 : Salinité et teneur en sodium des eaux d'irrigation

● Les besoins en drainage

Il faut toujours prévoir un système de drainage pour l'évacuation des eaux excédentaires sur un périmètre irrigué. Cependant, le besoin de drainage est particulièrement important dans trois situations :

- > *en climat humide*, le drainage est nécessaire pour évacuer les excès d'eau résultant des précipitations sur des sols déjà humides et pour éviter l'asphyxie des plantes ;
- > *en zones de bas fonds*, le drainage est nécessaire pour rabaisser la nappe phréatique et évacuer les eaux de crue après pluie ;
- > *en zone aride*, le drainage permet de lutter contre la salinisation (voir ci-dessus) en assurant le lessivage des sols, et d'empêcher la remontée de la nappe salée.

Drainage et lutte contre la salinité sont donc étroitement liés en climat aride ou lorsque les eaux d'irrigation sont fortement salées.

Les systèmes de drainage doivent être adaptés aux besoins et aux caractéristiques pédologiques et hydrauliques de chaque périmètre. Un drainage relativement superficiel peut être adapté pour évacuer les pluies en excès dans un climat humide pour le riz, alors qu'un drainage profond sera nécessaire pour lutter contre la remontée de la nappe phréatique dans un autre périmètre.

● **Les principales techniques d'irrigation**

● **Une comparaison**

Tableau 6. Avantages et inconvénients des principales techniques d'irrigation de surface

	Irrigation gravitaire (bassins et raies)	Aspersion haute pression (canons)	Aspersion basse pression (rampes ou sprinklers)	Goutte à goutte
Coût d'investissement	Faible en terrain plat	Elevé	Elevé	Elevé
Besoins énergétiques (pompage)	Nul	Elevé	Moyen	Faible
Technicité requise	Faible	Moyenne	Moyenne	Elevée (filtration)
Temps de travail	Elevé	Faible	Moyen	Faible
Efficience de l'irrigation	Faible (50 à 70 %)	Bonne (80-85 %)	Bonne (90 %)	Très bonne (100%)
Coût de l'irrigation (hors travail)	Faible à moyen	Elevé	Moyen à élevé	Elevé
Remarques	Ne convient pas en sols très sableux ni accidentés	Utilisation très souple. Problèmes phyto-sanitaires possibles	Problèmes sanitaires possibles	Convient à des cultures à haute valeur ajoutée, aux eaux salées

Un des éléments qui augmente beaucoup le coût du pompage par aspersion est le coût de l'énergie (électrique ou carburant pour motopompes). Actuellement, l'irrigation par gravité est la mieux adaptée aux besoins et capacités financières des paysans des pays en développement. Si l'énergie leur était accessible à moindre coût (électricité en particulier), de nombreux systèmes d'irrigation alternatifs deviendraient compétitifs, en particulier pour les cultures maraîchères et dans les zones où l'eau est rare.

● **Les méthodes de captage des eaux**

On peut capter les eaux nécessaires à l'irrigation soit en dérivant les eaux d'un cours d'eau permanent, soit en réalisant un barrage de retenue qui accumule l'eau pendant la saison des pluies et la restitue en saison sèche, soit en pompant dans des cours d'eau ou mares permanentes, dans des puits ouverts ou dans des forages.

Sans entrer dans le détail de ces différentes techniques, notons simplement que la première solution est de loin la plus économique à la fois en coût d'investissement et en coût de fonctionnement. Cela explique sans doute le fait qu'elle est pratiquée de manière traditionnelle par de nombreux paysans, de l'Himalaya au Pérou en passant par le Kenya.

Les barrages représentent des investissements en général coûteux. En revanche leur coût d'entretien et de fonctionnement est relativement faible. Il faut cependant distinguer les grands barrages, très coûteux et ayant souvent des impacts sociaux et environnementaux élevés, et les petits barrages en terre qui peuvent représenter des solutions intéressantes, relativement peu coûteuses, et appropriables par des communautés locales dans certains milieux favorables sur le plan morpho-géologique et

climatique (voir en particulier à ce sujet le succès des petits *açudes* dans le Nordeste brésilien).

Les forages profonds produisent une eau en général beaucoup trop chère pour l'irrigation (coût d'investissement et de pompage élevé). En revanche, l'irrigation sur puits ou puisards, réalisée individuellement avec de petites motopompes essence peu coûteuses, s'est développée spontanément dans de nombreux pays, pour le maraîchage périurbain en particulier. La ressource ne permet en général que d'arroser de petites surfaces (0,1 à 0,2 ha par puit), mais qui sont compatibles avec les capacités des producteurs maraîchers familiaux.

Une variante intéressante est constituée par le pompage sur petits forages tubés manuels, développé notamment au Cambodge et en Inde à plus grande échelle. Ces forages, fort peu coûteux, ne sont utilisables que dans des zones alluvionnaires, où la nappe est peu profonde et avec une forte perméabilité (zones sableuses inondables en bordure de grands fleuves).

Enfin, les périmètres irrigués par pompage sur fleuve sont intermédiaires entre les périmètres gravitaires sous barrage, et les petits périmètres irrigués par pompage individuel sur puits ou mare. Leurs coûts d'aménagements et d'entretien sont moyens. En revanche le coût du pompage est important, du fait du coût de l'énergie et des pompes diesel.

Nous avons fourni quelques éléments de calcul de coût de l'irrigation dans le paragraphe *économie de l'irrigation*. Rappelons seulement que dans la plupart des cas, l'irrigation s'avère une technique relativement coûteuse à l'usage, et qui demande une forte mobilisation des irrigants et de bonnes capacités collectives et individuelles de gestion.

● **Les principes de base des réseaux gravitaires**

La distribution de l'eau dans un périmètre peut obéir à deux principes : distribution à la demande ou distribution successive, par tour d'eau déterminé par avance. La première méthode se heurte à deux obstacles pratiques de taille : tout d'abord, pour garantir que tous les irrigants puissent avoir accès en même temps à l'eau, il faut des installations surdimensionnées par rapport au système de distribution en continu, avec des équipements de régulation nombreux. En second lieu, il faut pouvoir contrôler les quantités prélevées pour éviter le gaspillage et la monopolisation de l'eau par les irrigants les mieux placés. Dans la pratique, c'est possible avec des réseaux de canalisations enterrées avec compteur, avec des systèmes d'arrosage à débit relativement limité.

Le système le plus courant en irrigation gravitaire est donc celui de l'irrigation par tour d'eau. Comme nous l'avons vu plus haut, le tour d'eau est basé sur la fourniture d'un débit en principe constant (la main d'eau) pendant une durée déterminée à chaque irrigant à tour de rôle, avec une périodicité souvent déterminée d'avance (une semaine par exemple).

Le quartier hydraulique est constitué par l'ensemble des parcelles qui se partagent la même main d'eau, transportée par un canal tertiaire (ou quaternaire) dénommé *arroiseur* et géré en général par le groupe de base d'irrigants, ayant leurs parcelles situées dans ce quartier hydraulique.

Le réseau est donc constitué de la tête morte, qui apporte l'eau depuis la prise jusqu'au primaire, sans ouvrage de prélèvement, puis de canaux primaires, secondaires et éventuellement tertiaires, qui répartissent le débit du primaire entre les différents quartiers, afin que chacun dispose de sa main d'eau. Des équipements de régulation (vannes, seuils, déversoirs) sont implantés au niveau des ouvrages de prise qui assurent le passage du primaire au secondaire, du secondaire au tertiaire, etc.

Le réseau d'irrigation est complété par un réseau de drainage, constitué de drains qui recueillent les eaux en excès en bout de réseau (colatures) puis les mènent vers le drain principal, situé au point le plus bas du périmètre.

● Le tracé des canaux

Les canaux en terre doivent avoir une légère pente afin que l'eau circule à une vitesse suffisante mais pas trop rapide, pour éviter les phénomènes d'érosion. Pour les canaux en terre peu compactée, et sur sols limoneux de berge, on recommande de ne pas dépasser une vitesse moyenne de 0,4 m/s. En sol argileux bien compacté, on peut se baser sur une vitesse maximum de 0,8 m/s. À l'inverse, une vitesse trop lente risque de favoriser les phénomènes d'alluvionnement (dépôt de limons) pour les eaux chargées en alluvions. À noter cependant qu'il est plus facile de curer un canal qui s'alluvionne, que de reboucher un canal qui subit de l'érosion et s'enfonce dans le sol en se transformant en ravine (cas fréquent sur les périmètres villageois sur berge de fleuve).

Débit prévu	20 l/s				40 l/s				80 l/s				160 l/s			
	b	hc	he	ve	b	hc	he	ve	b	hc	he	ve	b	hc	he	ve
0,01 %	0,50	0,45	0,30	0,08	0,60	0,50	0,35	0,12	0,80	0,60	0,45	0,15	1,20	0,60	0,45	0,22
0,1 %	0,30	0,35	0,20	0,20	0,30	0,45	0,30	0,22	0,50	0,50	0,35	0,26	0,80	0,55	0,37	0,37
0,5 %	0,25	0,30	0,14	0,36	0,25	0,31	0,20	0,44	0,40	0,40	0,25	0,49	0,60	0,45	0,30	0,61
1,0 %	0,25	0,30	0,12	0,48	0,25	0,35	0,17	0,58	0,25	0,40	0,25	0,64	0,40	0,45	0,29	0,81
2 %	0,25	0,25	0,09	0,63	0,25	0,30	0,14	0,74	0,25	0,35	0,20	0,89	-	-	-	-

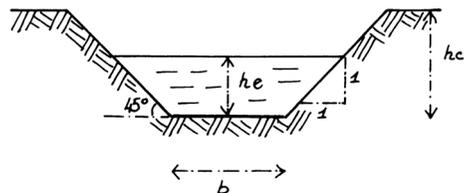
Les cases grisées correspondent aux situations avec risque d'érosion dans le cas de canaux en terre

b: largeur de fond du canal en mètres (dénommé "plafond")

hc: hauteur des cavaliers en mètres

he: hauteur de l'eau en mètres

ve: vitesse de l'eau en mètres/seconde



► Figure 2 : Calcul de la forme et la pente des canaux en fonction du débit désiré

On essaye autant que possible d'épouser le niveau du terrain pour éviter les déblais et remblais trop importants. L'idéal est d'avoir des canaux dont le fond est à environ 10 cm en dessous du niveau du sol, et les cavaliers à 30 cm au moins au-dessus, ce qui permet que le niveau d'eau domine le terrain d'au moins 20 cm quand le canal est en charge.

Si la pente du terrain est importante, certains canaux (secondaires en particulier) risquent d'avoir une pente trop importante. Il faut alors prévoir des ouvrages de chute régulièrement espacés pour éviter l'érosion. Ces ouvrages doivent être soigneusement construits et dimensionnés pour éviter l'érosion qui résulte de la chute (affouillements latéraux, etc.)

Les canaux en terre doivent être régulièrement entretenus (chaque année) afin d'éviter leur dégradation progressive par comblement, érosion et tassement des talus qui diminuent leur capacité de transport et augmentent les pertes.

Bibliographie

- ARNAUD L., GAY B., *De l'eau pour le maraîchage*. GRET – Ministère de la Coopération, Paris, 1994
- CASTELLANET C. *L'irrigation villageoise*. coll. «Le point sur les technologies». GRET/Ministère de la Coopération, Paris, 1992.
- DUPRIEZ H. et de LEENER P. *Les chemins de l'eau. Ruissellement, irrigation, drainage*. CTA / ENDA. L'Harmattan. Paris 1990.
- FAO. *Bulletins FAO d'irrigation et de drainage - Cahiers techniques de la FAO*.
- ORSTROM E., 1997, *Pour des systèmes irrigués auto-gérés et durables : façonner les institutions* (traduction et synthèse de OSTROM E., 1994, *Crafting institutions for self-governing irrigation systems*, ICS Press, Institute for Contemporary studies, 111p.), Inter-réseaux, 35 p. (<http://www.inter-reseaux.org/publications/presentationpub.htm>)
- TIERCELIN J.R. (coord.). *Traité d'irrigation*. Lavoisier. « Techniques et documentation ». Paris 1998. 1 011 p.
- VERDIER J. ET MILLO J.-L. *Maintenance des périmètres irrigués*. Coll. « Techniques rurales en Afrique ». Ministère de la Coopération, Paris, 1992.