



HAL
open science

Evolution des systèmes d'irrigation et gestion de la salinité des terres irriguées

Serge Marlet

► **To cite this version:**

Serge Marlet. Evolution des systèmes d'irrigation et gestion de la salinité des terres irriguées. Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée, 2004, Rabat, Maroc. 11 p. cirad-00188188

HAL Id: cirad-00188188

<https://hal.science/cirad-00188188>

Submitted on 15 Nov 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Projet INCO-WADEMED
Actes du Séminaire
Modernisation de l'Agriculture Irriguée
Rabat, du 19 au 23 avril 2004



Evolution des systèmes d'irrigation et gestion de la salinité des terres irriguées

Serge Marlet

CIRAD-AMIS,
TA 40/01, 34398 Montpellier Cedex 5, France

E-mail : serge.marlet@cirad.fr

Résumé - Le développement de l'irrigation s'est, dans la majorité des situations, accompagné de l'apparition de processus de salinisation, de sodisation ou d'alcalinisation des sols à des degrés d'importance divers. Si les situations apparaissent très variées en raison des caractéristiques du milieu naturel et des modalités de gestion de l'eau et des systèmes de culture, ces dégradations résultent pour l'essentiel de modes de gestion inappropriés dans les systèmes irrigués. En retour, des mesures correctives permettent souvent d'améliorer ces situations qui ne sont donc pas inéluctables. Ces interactions sont analysées sous l'éclairage de situations dont les évolutions ont été similaires en Egypte, au Pakistan, au Mali et au Maroc, présentés lors du séminaire PCSI 2002 : « Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation » (Marlet et Ruelle, 2003[7]), (confort hydrique, remontée de la nappe, engorgement, salinisation des sols, programme de drainage, raréfaction des eaux de surface de bonne qualité, mobilisation de ressources souterraines, baisse du niveau des nappes, dégradation de la qualité des eaux). La salinisation des sols apparaît aussi comme un indicateur pertinent pour l'évaluation de la performance de ces systèmes irrigués. La période contemporaine est principalement caractérisée par un accroissement de la complexité sous l'influence conjointe d'une libéralisation des pratiques, d'une diversification de la demande et d'une raréfaction des ressources en eau. La mobilisation des eaux souterraines apparaît donc comme une solution intéressante pour les agriculteurs, mais elle s'accompagne aussi de nouvelles menaces sur la conservation des ressources en eau et du sol, et sur la durabilité des systèmes d'irrigation. L'impact réel de l'évolution des sols sur la productivité des systèmes de culture est mal connu. La modernisation de la gestion des systèmes irrigués passe alors par le développement et l'adaptation continue de nouveaux dispositifs pérennes de suivi et d'évaluation et d'outils de pilotage couplant différents critères hydrauliques, agronomiques, organisationnels et environnementaux. Des adaptations des méthodes de pilotage sont nécessaires, mais les responsables ne disposent généralement pas des informations nécessaires, ce qui entraîne des délais et des coûts élevés pour identifier des solutions. Cependant, les indicateurs liés à la salinité des sols sont très utiles car reflètent aussi les performances globales de ces systèmes.

Mots clés : alcalinisation, drainage, eau souterraine, gestion de l'eau, irrigation, ressource en eau, salinisation, sodisation, sol, système irrigué, Egypte, Pakistan, Mali, Maroc.

1 Introduction

L'histoire révèle que certaines sociétés basées sur l'agriculture irriguée ont échoué (Tanji, 1990[10]). La Mésopotamie, aujourd'hui l'Irak, a souffert de la salinisation des sols entre 2400 et 1700 BC. Le problème tire son origine d'une dispute entre les cités sumériennes d'Umma et Girsu concernant les droits relatifs à l'utilisation des eaux et des terres. Les dysfonctionnements qui en résultèrent conduisirent à une élévation de la nappe et une salinité excessive des sols. Malgré près de 5000 ans d'expérience, cette société finit par décliner.

L'histoire récente est marquée par une formidable extension des superficies irriguées (Umali, 1993[12]). Elles sont passées de 8 millions d'hectares en 1800, 48 millions d'hectares en 1900, à près de 300 millions d'hectares aujourd'hui. Elles représentent 15% des superficies cultivées mais produisent plus du tiers de la production alimentaire mondiale, et jusqu'à 50% pour le blé ou le riz. Elles contribuent à la sécurité alimentaire, la réduction de la pauvreté et l'amélioration de la qualité de la vie d'une part importante de la population mondiale. Cependant, le développement de l'irrigation s'est constamment heurté à des menaces sur sa durabilité. Parmi elles, nous nous intéresserons plus particulièrement à celles liées aux évolutions de la salinité des terres en relation avec la gestion des systèmes hydrauliques et des systèmes de culture irriguées. On admet généralement que plus de 50% des systèmes irrigués sont affectés à des degrés divers par la salinité ; 20 à 30 millions d'hectares seraient sévèrement affectés, et 60 à 80 millions d'hectares à un degré moindre, soit 10 à 48% de la superficie irriguée. La salinité est un problème majeur dans la plupart des grands systèmes d'irrigation en Inde, au Pakistan, en Chine, ... et dans le Maghreb.

Dans un premier temps, nous présenterons les grands traits de l'histoire hydraulique et agricole de quatre situations en Egypte, au Pakistan, au Mali et au Maroc, symptomatiques de l'évolution des systèmes irrigués. Puis nous tenterons d'en tirer quelques enseignements génériques sur les relations existantes entre les évolutions de la gestion hydraulique et agricole dans les périmètres irrigués, la dynamique des nappes phréatiques et la salinisation des sols. Un intérêt particulier sera porté sur la nécessaire adaptation des modes de gestion des systèmes irrigués dans le contexte actuel marqué par une pénurie croissante d'eau de surface de bonne qualité en concurrence avec les besoins urbains ou industriels ; l'irrigation correspond à environ 69% des prélèvements et 86% de la consommation en eau au niveau mondial.

2 Etudes de cas

2.1 Le delta du Nil (égypte)

La synthèse réalisée par Ruf (1995)[9] montre qu'en deux périodes, de 1890 à 1915 et de 1965 à 1985, la mise en œuvre de nouveaux moyens d'arrosage a conduit aux points limites de la salinisation suite à une remontée de la nappe phréatique. Ces évolutions résultent d'inadéquations entre irrigation et drainage, mais aussi de nombreux bouleversements associés en matière de conduite des systèmes de culture ou de formes d'organisation et de gestion foncière, sociale, politique et juridique pour l'accès aux terres aménagées et aux ressources hydriques.

Le bassin de réception de la crue (*hod*) est resté pendant cinq mille ans la base des aménagements. Les eaux de la crue intervenant d'août à octobre étaient guidées vers les *hods* où elles séjournèrent quelques semaines, humidifiant le sol et déposant ses alluvions. La réussite de la campagne résultait de la capacité des communautés paysannes à entretenir et à gérer les aménagements, et surtout de coordonner la vidange des *hods* pour ensemercer ensuite les terrains à la volée au fur et à mesure du retrait des eaux pour la culture hivernale de blé et d'orge. Aucune préparation du sol n'était alors nécessaire. Les mauvaises herbes étaient asphyxiées par la submersion prolongée.

Les alternances d'humectation et de dessiccation permettaient de maintenir la structure du sol. La fertilité des sols était entretenue par le dépôt d'alluvions. La couche superficielle de sédiments constituait un lit de semence très favorable à la condition de semer avant la formation d'une croûte. Enfin, la submersion contrôlée puis la vidange des bassins permettait de désaliniser les terres.

Le premier bouleversement est intervenu progressivement au cours du XIX^e siècle avec l'introduction et le développement de la culture du coton. Sa mise en place étant assurée au printemps pendant l'étiage du fleuve, il est désormais nécessaire d'irriguer et la *sakkia*, et son corollaire la traction attelé, se généralisent. La récolte du coton n'intervenant qu'en septembre/octobre, il est aussi nécessaire de protéger la récolte de la submersion pendant les hautes eaux en dispersant la lame d'eau dans un vaste réseau de canaux surcreusés. Avec la disparition des périodes de submersion, la préparation des terres en traction attelée devient nécessaire pour la préparation du lit de semence et la lutte contre les adventices. Le fumier est collecté et épandu pour le maintien de la fertilité suite à la disparition du limonage et à une minéralisation plus rapide de la matière organique. Sous l'effet conjugué du surcreusement des canaux, d'une augmentation de l'intensité culturale et de l'extension des superficies irriguées, la nappe phréatique remonte très proche de la surface et des efflorescences salines apparaissent dans différents secteurs du delta. Ces deux phénomènes concourent à une diminution des rendements, en particulier du coton. Le débat oppose alors les tenants de mesures contraignantes de façon à réduire le pompage et la remontée de la nappe aux partisans du drainage. Le réseau de drainage est finalement achevé en 1920 en même temps qu'un système de rotation de la distribution de l'eau au niveau des tertiaires était perpétué pour abaisser le niveau de la nappe et lutter contre la salinisation.

Le second bouleversement fait suite à l'édification du haut barrage d'Assouan (1964) et à l'accentuation d'un encadrement étatique à partir des années 50. La réforme agraire s'accompagne alors de la mise en place de coopératives qui décident du choix des cultures et gèrent la préparation des terres qui devient mécanisée. Des pompes mobiles se substituent progressivement aux *Sakkias* et contribuent à un nouvel accroissement de l'intensité culturale (double culture annuelle) et des irrigations. Le réseau de drainage est devenu insuffisant et de nouvelles efflorescences salines apparaissent. Le débat resurgit alors et un vaste programme de drainage par drains enterrés est financé par la banque mondiale. La mécanisation entraîne par ailleurs de nouveaux problèmes de compaction et d'entretien de la fertilité.

L'état aura consacré les moyens nécessaires à des adaptations des systèmes de drainage pour la lutte contre l'engorgement et la salinité. Elles ont été réalisées avec retard dû en partie à la difficulté d'appréhender l'origine du phénomène, son ampleur et les moyens d'y remédier. Cependant, le système continue d'évoluer avec la colonisation de terres nouvelles posant le problème d'une possible raréfaction des ressources en eau, mais aussi avec la diversification des modes de production agricole associée à des demandes en eau différenciée en terme de dotations et de fréquence d'arrosage.

2.2 Le bassin de l'Indus (Pakistan)

Le travail réalisé par Kuper et Habib (2003)[5] nous permet d'analyser la gestion de la salinité par l'irrigation dans un des plus vastes et plus anciens systèmes irrigués à travers le monde. Le système du bassin de l'Indus irrigue environ 16 millions d'hectares à partir de 128 milliards de m³ dérivés des affluents de l'Indus. Les eaux souterraines sont traditionnellement utilisées dans cette région et 350000 puits existaient au début du XX^e siècle, contribuant alors à 40% des irrigations. Malgré le développement des systèmes hydrauliques, 200000 puits étaient encore fonctionnels dans les années 60, contribuant alors à 15% des irrigations. La salinité est depuis longtemps associée à l'engorgement des sols avec l'introduction à grande échelle de systèmes pérennes d'irrigation, mais aussi localement avec une salinité primaire liée à la nature des matériaux issus de sédiments marins.

Depuis la fin du XIX^e siècle, la priorité a été donnée à différentes mesures hydrauliques de contrôle de la remontée de la nappe, tandis qu'une évaluation annuelle de la salinité est réalisée depuis 1943. La *Water and Power Development Authority* (WAPDA) est créée en 1958 pour s'attaquer aux problèmes d'engorgement et de salinité à travers un vaste programme de drainage horizontal et vertical (*Salinity Control And Reclamation Projects – SCARP*). Depuis les années 70, 16000 forages publics ont été mis en place dans le but d'abaisser le niveau de la nappe phréatique, et de compléter les volumes desservis par le réseau d'irrigation. Les forages furent ensuite transférés aux agriculteurs en raison de coûts d'entretien et d'exploitation excessifs. Rapidement encouragés par des subventions publiques, les agriculteurs préférèrent la mise en place de 500000 forages superficiels de capacité plus modeste (30 l.s^{-1}) contribuant pour 30 à 40% des irrigations à la parcelle. La salinité des sols semble s'être améliorée entre les prospections de 1953-54 et 1977-79, les sols salés passant de 47 à 33%, soit quand même 4.2 millions d'hectares. Cette décroissance est attribuée à l'effet conjugué d'une baisse de la nappe et d'une augmentation de la disponibilité en eau d'irrigation d'origine souterraine pour le lessivage.

Dans le même temps, les sols sodiques sont estimés à 25% et les chercheurs mirent en évidence l'effet défavorable des eaux souterraines, bicarbonatées et sodiques, sur la dégradation de la fertilité. Cette situation a été plus précisément étudiée dans la zone desservie par le canal *Fordwah* (75000 hectares). On y trouve 6.4 forages pour 100 hectares représentant une capacité de pompage supérieure à 3 fois les quantités d'eau desservies par le canal. De l'amont vers l'aval du système hydraulique, on y observe conjointement une diminution de la disponibilité en eau de surface et une dégradation de la qualité des eaux souterraines. Elles se conjuguent avec la variabilité des sols et une certaine iniquité des dotations d'eau entre les canaux tertiaires pour induire à une grande diversité de situations auxquelles les agriculteurs sont confrontés. Malgré une proportion importante de sols salés ou sodiques, ils sont parvenus à maintenir une intensité culturale d'environ 150% grâce à l'utilisation conjuguée des eaux de surface et souterraines. La réallocation d'eau de surface de bonne qualité vers les zones où les eaux souterraines sont salées apparaît comme une solution pour améliorer la qualité des sols et les performances de l'agriculture irriguée.

2.3 L'office du Niger (Mali)

Les périmètres de l'Office du Niger présentent un intérêt particulier en raison d'une double spécificité liée à l'alcalinisation des sols et à une vocation quasi-exclusivement orientée vers la riziculture irriguée (Marlet, 2002[6] ; Kuper et Tonneau, 2002[4] ; N'Diaye *et al.*, 2003[8]). La mise en valeur de la zone a débuté en 1947 avec l'achèvement du barrage de Markala. Initialement présente vers 45 mètres de profondeur, la nappe est devenue sub-affleurante en une vingtaine d'années sous l'influence de l'irrigation et d'un aquifère peu perméable. Les aménagements gravitaires, initialement destinés à la culture du coton, ont alors évolués vers une monoculture de riz pendant la saison pluvieuse. Depuis la réhabilitation progressive des aménagements à partir de la fin des années 80, on observe une intensification spectaculaire de la riziculture irriguée dont les rendements sont passés de 2 t/ha à plus de 5t/ha de paddy en une dizaine d'année, et un développement progressif des cultures de contre-saison, essentiellement maraichères. Les eaux du fleuve Niger sont peu minéralisées. Aussi ont-elles longtemps été considérées comme ne présentant aucun risque jusqu'à ce que des phénomènes d'alcalinisation et de sodisation des sols soient formellement identifiés. Les eaux sont caractérisées par une alcalinité résiduelle positive et conduisent à une augmentation du pH et de la sodicité des sols lorsqu'elles se concentrent.

Dans la période précédant la réhabilitation des périmètres, la maîtrise de l'irrigation et du drainage était déficiente. L'alcalinité et la sodicité des sols argileux peu perméables et situés dans des cuvettes mal drainées ont augmenté. Les sols sableux plus perméables semblent avoir été plus efficacement lessivés et drainés, notamment avant la remontée de la nappe. Dans la période suivant la réhabilitation des périmètres, la maîtrise de l'irrigation et du drainage s'est améliorée

et les cultures se sont développées pendant la contre-saison. Ces évolutions ont profondément modifié le régime hydrologique des sols et de la nappe et induit une rupture dans l'évolution des propriétés chimiques des sols : le pH, la conductivité électrique et la sodicité des sols sableux ont rapidement augmenté tandis qu'ils diminuaient sur les sols argileux. Ces évolutions sont particulièrement sensibles dans l'horizon superficiel tandis que les propriétés des horizons profonds restent partiellement héritées des évolutions antérieures. La topographie joue un rôle déterminant dans la distribution des sels à différentes échelles, les points hauts apparaissant, aux yeux du chercheur comme à ceux du paysan, comme les plus sensibles à la dégradation.

Les travaux réalisés permettent d'analyser les processus qui conditionnent ces évolutions. Le bilan des sels apparaît négatif pendant la saison rizicole en raison d'importantes sorties d'eau et de sels par le système de drainage et 73% des sels sont issus de la vidange superficielle (*flushing*) des bassins rizicoles. Le bilan des sels apparaît positif pendant la contre-saison en raison de l'alimentation de la nappe résultant d'une mise en eau quasi-continue des canaux d'irrigation, notamment sur les formations les plus perméables. Le maintien d'une lame d'eau permanente permet aussi le développement de conditions réductrices, la mobilisation de l'alcalinité et sa diffusion vers la lame d'eau superficielle, puis son évacuation par le drainage (Dicko et al, 2002[2]). Il permet en outre de maintenir le pH des sols à des valeurs favorables pour la riziculture. Sur les parcelles maraîchères, les techniques de culture et d'irrigation apparaissent moins aptes à prévenir ou à contourner le problème posé par l'alcalinisation et l'engorgement.

L'eau est encore très abondante à l'office du Niger en raison de la faiblesse des superficies équipées, et la maîtrise de l'irrigation et du drainage est globalement satisfaisante. Les perspectives d'évolution sont néanmoins marquées par une amplification des facteurs de risque liés à l'accroissement des superficies irriguées, une moindre qualité des infrastructures hydrauliques et un développement de cultures de diversification plus sensibles à l'engorgement et à l'alcalinité des sols.

2.4 L'office régional de mise en valeur agricole du Tadla (Maroc)

Le périmètre du Tadla est l'un des plus anciens du Maroc. Il est souvent pris en exemple pour les questions qu'il pose en matière de prévention de la salinisation des sols (Debbarih et Badraoui, 2003[3]; Bellouti et al, 2003[1]). La mise en eau des premiers secteurs hydrauliques remonte à 1938, et environ 100000 hectares sont irrigués gravitairement depuis 1974 pour la culture du blé, de la betterave, des fourrages, l'arboriculture fruitière et le maraîchage. Le périmètre est traversé par l'oued *Oum Rbia* et se trouve ainsi divisé en deux sous-périmètres : *Beni Amir* d'une superficie de 27000 ha en rive droite est irrigué par les eaux relativement salées (0.7 g/l) récemment régularisées du barrage *El Hansili* sur l'oued *Oum Rbia*; et *Beni Moussa* d'une superficie de 69500 ha en rive gauche est irrigué par les eaux de bonne qualité (0.3 g/l) du barrage *Bin el Ouidane* sur l'oued *El Abid*.

Comme dans beaucoup de périmètres irrigués, le développement de l'irrigation s'est accompagné d'une remontée générale de la nappe induisant des problèmes d'engorgement et de salinité. Le réseau de drainage par fossé a été conçu entre 1948 et 1950 pour contrôler la remontée de la nappe et évacuer les eaux excédentaires hors du périmètre. Son impact est resté très limité.

Le pompage dans la nappe s'est développé après la période de sécheresse des années 1980. A côté de 17 stations de pompage mis en place par l'ORMVAT, les agriculteurs ont recouru à des pompes dans la nappe pour faire face aux fréquentes pénuries d'eau. Le nombre de puits ou forages est estimé à plus de 10000 à l'heure actuelle et continue d'augmenter. Les deux phénomènes contribuent à un abaissement du niveau de la nappe pendant les périodes de sécheresse tandis que ce niveau tend à remonter pendant les périodes de meilleure pluviométrie. La nappe apparaît ainsi comme un moyen de pallier l'irrégularité et l'insuffisance des apports d'eau de surface par le réseau hydraulique. Mais la période actuelle est marquée par une baisse

rapide de la nappe qui menace la durabilité du système. De plus, l'utilisation accrue de la nappe s'accompagne aussi d'une aggravation des risques de dégradation des sols et des eaux souterraines en l'absence de véritable exutoire naturel. Les phénomènes de salinisation et sodisation des sols se manifestent principalement dans le périmètre de *Beni Amir* et la partie avale du périmètre de *Beni Moussa* en raison de la mauvaise qualité des eaux souterraines.

Pour faire face à ces difficultés, l'ORMVAT s'est engagé dans deux directions. La première initiative porte sur la mise en place d'un dispositif de suivi de la qualité des eaux et des sols. Il repose sur un réseau d'environ 272 piézomètres pour le suivi de la bathymétrie, dont 100 pour le suivi de la qualité des eaux souterraines, d'une part, et un réseau de 40 sites pour le suivi de la qualité des sols. La seconde initiative porte sur le développement d'un système de gestion des eaux de surface permettant de rationaliser et de planifier la distribution des eaux de surface, notamment pendant les périodes de pénurie. Ce système reste cependant à adapter en fonction d'une situation marquée non seulement par une utilisation accrue des eaux de nappe, mais aussi à la modernisation des techniques d'irrigation, à une libéralisation des choix d'assolement par les agriculteurs et à la mise en place d'associations d'usagers de l'eau.

3 Discussion

3.1 Des évolutions similaires dans de nombreux périmètre irrigués

Ces différents exemples s'inscrivent dans le cadre d'évolutions similaires que l'on retrouve dans de nombreux grands programmes d'irrigation.

Dans une phase initiale de développement, la disponibilité est eau est généralement suffisante. Ce confort hydrique conduit à une remontée de la nappe induisant conjointement des contraintes liées à l'engorgement et, à plus long terme, à la salinité des sols (*twin menace*).

Elle se poursuit le plus souvent par la mise en œuvre de programmes de drainage dont l'objectif est de contrôler la profondeur de la nappe et d'évacuer les sels excédentaires apportés par la nappe ou les eaux d'irrigation. Le drainage par fossé ou par réseau de drains enterrés est progressivement adapté aux évolutions des systèmes irrigués et à l'intensité des contraintes liées à l'engorgement, notamment dans les zones de delta à l'exemple du delta du Nil. Dans les situations où l'engorgement cohabite avec la nécessité de mobiliser des ressources en eau additionnelles lorsque les eaux de surfaces sont déficitaires (vallée de l'Indus, plaine du Tadla), les politiques publiques sont souvent relayées par des initiatives individuelles de pompage dans la nappe qui contribuent ainsi à résorber les problèmes d'engorgement. L'office du Niger fait exception dans la mesure où la riziculture sous submersion est généralisée pendant la saison pluvieuse. Le système de drainage superficiel n'a pas ici d'autres fonctions que l'évacuation des eaux pluviales excédentaires et la vidange rapide des casiers rizicoles, même si il contribue conjointement à l'évacuation de sels hors des zones aménagées. Les contraintes liées à l'engorgement et à l'alcalinité des sols s'y expriment davantage pendant la contre-saison mais aucun programme spécifique n'a encore été mis en œuvre.

Avec la raréfaction des ressources en eau de surface de bonne qualité, la mobilisation de ressources en eau additionnelles devient nécessaire. Elle apparaît comme la conséquence de situations variées associant un accroissement de la demande (accroissement des superficies irriguées, augmentation de l'intensité culturale, ...) et une réduction de l'offre (dégradation du climat, concurrence des besoins urbains ou industriels, ...). L'utilisation accrue des ressources en eau souterraine prend la forme d'un développement, généralement anarchique, de puits et forages par les agriculteurs, parfois aussi par la mobilisation de ressources en eau marginales : eaux de drainage, eaux usées, ... Les exemples du Pakistan et du Tadla au Maroc illustrent ces évolutions. La durabilité de ces systèmes résulte alors de la gestion raisonnée du réservoir constitué par

la nappe, les bonnes années lorsque la ressource en eau (pluie ou irrigation) est abondante contribuant à recharger une nappe dans laquelle les agriculteurs puisent pendant les périodes de pénurie. La tendance est cependant marquée par une baisse préoccupante du niveau des nappes. Dans le même temps, le système conduit à un recyclage continu des eaux qui favorise l'accroissement de la salinité, de l'alcalinité ou de la sodicité des sols, et ce d'autant plus que la qualité des eaux souterraines apparaît localement de mauvaise qualité.

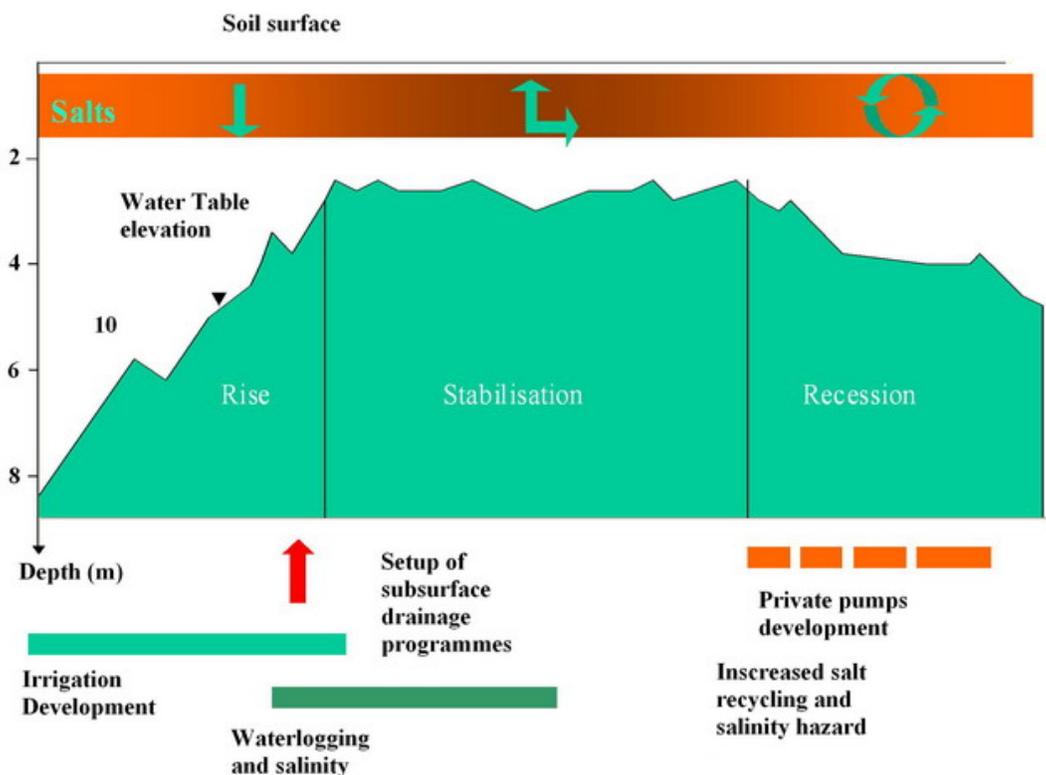


FIG. 1 – Des évolutions conjointes des contraintes hydriques, de la nappe et de la salinité similaires dans de nombreux périmètres irrigués (d'après Zimmer, 2003[11])

3.2 Des causes spécifiques aux innovations hydrauliques et agricoles et à l'évolution de la salinité

Les exemples présentés permettent aussi d'illustrer la diversité des processus de décision, de choix techniques et de leurs conséquences sur l'évolution de la salinité. En cohérence avec le modèle général présenté précédemment, nous distinguerons deux approches : la première relève d'une intensification des systèmes de culture irriguée par la mobilisation de nouveaux moyens de production ; et la seconde d'une optimisation de la productivité de l'eau et des terres irriguées en raison de leur disponibilité limitée.

Il convient avant toute chose de souligner que les logiques d'intensification et d'amélioration de la productivité de l'eau et des terres sont totalement légitimes et qu'il n'est pas question de les condamner, qu'elles qu'en soient les conséquences environnementales. Le débat a toujours opposé les tenants d'un équilibre des systèmes selon une approche naturaliste ou anthropologique, aux adeptes de la modernisation selon une confiance dans la technologie et le progrès. Il ne s'agit pour nous ni de privilégier, ni d'opposer l'une et l'autre de ces approches qui semblent à la

fois nécessaires et complémentaires. Ces débats qui ont pu par exemple émailler les différents épisodes de l'histoire hydraulique du delta du Nil sur le drainage, sont les mêmes que ceux nous rencontrons aujourd'hui au sujet du développement inconsidéré du pompage dans les nappes ou de la dégradation de la qualité des eaux sous l'influence des pratiques agricoles.

Dans un premier groupe de situations, la mobilisation de ressources en eau additionnelles va permettre une augmentation de l'intensité culturale dont l'influence sur la remontée de la nappe phréatique et l'apparition progressive d'efflorescences salines ont été développées précédemment. Les propriétés des sols, la topographie, les systèmes de culture ou les techniques d'irrigation interagissent pour déterminer le fonctionnement hydrologique et une répartition hétérogène des sels dans le milieu. Ces processus se déroulent dans un contexte général de développement de l'irrigation mais aussi sous l'influence de certaines conditions spécifiques comme :

- l'amélioration successive des méthodes de pompage et la régularisation des ressources hydriques (barrage d'Assouan) en égypte rendant inopérant le système de drainage préexistant ;
- la réhabilitation du système d'irrigation permettant une mise en eau continue du système d'irrigation et le développement de cultures de contre-saison au Mali, et conduisant à une alimentation accrue et de la nappe et une augmentation de la salinité sur les formations les plus perméables (tandis que le statut des cuvettes argileuses était amélioré par la réhabilitation du réseau de drainage) ;
- la désaffectation progressive des puits traditionnels au profit des eaux de surface dans les premières phases du développement de l'irrigation au Pakistan, favorisant la remontée de la nappe et le développement de la salinité.

Dans un second groupe de situations, des déficiences en eau locales ou généralisées ont progressivement conduit les agriculteurs à recourir aux eaux souterraines, non seulement pour la mobilisation de volumes d'eau supplémentaires, mais aussi pour améliorer la flexibilité de la distribution de l'eau dans une logique de diversification des productions. Les qualités des eaux de surface et souterraines vont alors influencer fortement l'intensité et la nature des processus géochimiques et, en conséquence, les modalités de mise en valeur des terres. La salinisation des sols se manifeste rapidement mais les agriculteurs parviennent dans le même temps à contrôler cet excès de sel par une conduite des irrigations et un choix de culture approprié ; ces processus sont par ailleurs réversibles avec l'amélioration du lessivage. Les processus d'alcalinisation et de sodisation se développent plus progressivement et de manière insidieuse dans la mesure où les manifestations sont peu visibles et qu'ils sont moins réversibles. Contrairement à certaines idées reçues, la riziculture sous submersion et le drainage superficiel apparaissent comme un moyen efficace de pallier ces contraintes, même si elle favorise dans le même temps une recharge importante de la nappe.

Si l'on peut relever le caractère durable des contraintes liées à la salinité, on pourra aussi noter que ces processus ne sont pas linéaires mais connaissent des ruptures, favorables ou défavorables, résultant de l'évolution des choix techniques. Dans l'espace, ils s'avèrent de plus en plus comme extrêmement hétérogènes, les zones affectées étant souvent limitées à certaines situations (influence du type de sol, de la position dans le réseau hydraulique, ...) dans le périmètre et à certaines parties des parcelles de culture (influence de la topographie en irrigation gravitaire, ...). Enfin, les dimensions spatiales et temporelles peuvent interagir à l'exemple de l'Office du Niger où les zones d'accumulation de sels se sont reportées des cuvettes argileuses vers les levées sableuses suite à la réhabilitation des aménagements.

Au-delà de ces grands traits, l'impact réel de l'évolution des sols sur la productivité des systèmes de culture est paradoxalement mal connu. Les concepts habituels permettant d'apprécier l'influence de la salinité sur la réduction des rendements sont inopérants. Dans les faits les paysans adaptent leurs pratiques en matière de choix de culture, de dose et fréquence d'irrigation, ... pour minimiser les impacts défavorables. C'est donc davantage en terme de contraintes sur le fonctionnement du système et de coût de ces formes d'externalité qu'il conviendrait de raisonner

les contraintes liées à la salinité.

3.3 Le contexte actuel du décideur marqué par un accroissement de la complexité

L'origine des grands systèmes irrigués est souvent liée à une stratégie coloniale de production de matières premières agricoles. La culture du coton irrigué a ainsi été promue pour les besoins des industries textiles des pays du nord, et certains choix restent encore assujettis aux politiques macro-économiques et sectorielles des états, à l'exemple de la betterave ou encore du blé au Maroc. Le temps des politiques dirigistes en matière d'assolement ou de gestion des systèmes de culture apparaît cependant révolue dans la plupart des situations. Les choix techniques des agriculteurs résultent désormais principalement d'une analyse du contexte technico-économique. Les agriculteurs s'orientent de plus en plus souvent vers une diversification de leurs systèmes de culture et des techniques de production, notamment en matière de choix des assolements ou de reconversion des méthodes d'irrigation gravitaire. L'allocation des ressources en eau et la prévention des impacts environnementaux de l'irrigation doivent désormais se raisonner dans un contexte économique, social ou institutionnel marqué par le désengagement de l'état et l'émergence de nouveaux acteurs.

On constate dans le même temps une forte interdépendance entre les différents acteurs dans les aménagements collectifs. Les pratiques des agriculteurs sont contraintes par un certain nombre de causes qui les dépassent : aménagements antérieurs, modification des règles d'allocation de l'eau par les gestionnaires en fonction de l'évolution de la ressource, contexte économique, ... De même, les gestionnaires doivent s'adapter aux stratégies des agriculteurs et à leurs conséquences sur la demande en eau dans des situations où l'offre est de plus en plus souvent déficitaire. Dans un aménagement collectif conçu pour l'organisation d'un "tour d'eau", de quel autre choix dispose un agriculteur que creuser un forage pour augmenter la souplesse des arrosages ?

Les mesures prises en matière de lutte contre la salinité par l'adaptation à la fois des choix techniques des agriculteurs et des modalités de pilotage des systèmes d'irrigation ont pu se révéler d'une certaine efficacité. Mais les situations considérées ne sont ni stationnaires, ni homogènes, et il convient de les aménager en permanence. De plus, les choix effectués peuvent conduire à des effets contradictoires, résolvant un problème pour en créer de nouveaux. Ces évolutions sont donc marquées par un accroissement de la complexité dans le fonctionnement et la gestion de ces systèmes irrigués.

3.4 Grille d'analyse pour l'aide à la réflexion et à la décision

Il découle de cette complexité que toute amélioration des performances hydrauliques, agronomiques et environnementales des systèmes irrigués est rendue difficile sans la mise en œuvre de nouvelles démarches associant les différents acteurs et institutions concernées, et combinant le développement d'outils d'évaluation des performances et d'aide à la gestion des systèmes d'irrigation.

Les outils et méthodes et leurs utilisateurs sont à définir en fonction des situations considérées, et restent pour une large part un domaine d'investigation pour la recherche. Cependant, nous suggérons d'insister sur :

La définition préalable des objectifs prioritaires et leur hiérarchisation. Derrière cette évidence se cache en fait de grandes difficultés quant à la nature des critères économiques, agronomiques, politiques, sociaux ou environnementaux à privilégier dans le contexte ;

La mise en œuvre de démarches participatives croisant les jugements des différents acteurs du

système sur chacune des étapes de la démarche ;

La prise en compte concomitante et cohérente des différents domaines hydrauliques, agronomiques, socio-économiques et environnementaux qui déterminent les performances des systèmes irrigués, que ce soit pour l'évaluation et la mise en œuvre de dispositifs de suivi, ou le développement d'outils d'aide à la décision et de pilotage des systèmes d'irrigation au profit des institutions en charge de leur gestion ; et :

La prise de conscience des problèmes d'incertitude rencontrés en raison de situations complexes et évolutives et du caractère forcément partiel et subjectif des critères retenus pour le diagnostic et la décision. Plus spécifiquement en matière de salinisation et d'évolution de la fertilité des sols, il convient de noter qu'il se passe généralement quelques années entre les causes et l'apparition des premiers symptômes, puis quelques années supplémentaires pour la mise en œuvre de mesures correctives et la résolution du problème observé.

4 Conclusion

Les différents exemples présentés permettent de souligner les conséquences des évolutions hydrauliques et agricoles sur l'évolution de la salinité, et plus généralement les performances des systèmes irrigués. Des corrections et adaptations des méthodes de pilotage et de gestion sont nécessaires mais les responsables ne disposent généralement pas des informations et outils permettant d'y parvenir. Cette situation est susceptible d'induire des délais importants pour l'identification de solutions, et des coûts considérables.

Les évolutions constatées sont la conséquence d'une évolution des choix techniques en fonction du contexte et des contraintes imposées par l'environnement physique et socio-économique, mais aussi de l'inadaptation progressive des moyens utilisés pour la gestion des systèmes d'irrigation. *A contrario*, l'amélioration qui résulte de mesures correctives parfois tardives, souligne la capacité d'un contrôle accru de la salinité par la mise en œuvre non seulement de moyens techniques, mais aussi de formes d'organisation plus appropriées.

Pour y remédier, la mise en œuvre d'approches intégrées et démarches participatives sont un élément déterminant de la modernisation des systèmes irrigués dans un contexte de libéralisation des choix techniques des agriculteurs, et donc de plus grande complexité du système. La hiérarchisation des objectifs, la mise en place de dispositifs pérennes de suivi ou le développement d'outils d'aide à la décision et de pilotage au profit des utilisateurs sont un ensemble d'enjeux indissociables pour une gestion plus réactive et efficace. Parmi les différents indicateurs considérés, ceux liés à la salinité des sols apparaissent comme des indicateurs synthétiques des performances globales de ces systèmes et de leur durabilité.

Références

- [1] BELLOUTI A., CHERKAOUI F., BENHIDA M., DEBBARH, A., SOUDI B., BADRAOUI M., 2003. Mise en place d'un système de suivi et de surveillance de la qualité des eaux souterraines et des sols dans le périmètre irrigué du Tadla au Maroc. *In* S. Marlet, P. Ruelle (eds), *Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation*. Cédérom du CIRAD, Montpellier, France
- [2] DICKO M.K., MARLET S., VALLES V., NDIAYE M.K., CHEVASSUS-ROSSET C., CONDOM N., 2002. Influence of biogeochemical mechanisms on soil alkalinity in flooded soil. *In* Transactions of 17th ISSS world congress, August 2002, Bangkok, Thailand. CDROM

- [3] DEBBARH A., BADRAOUI M., 2003. Irrigation et environnement au Maroc : Situation actuelle et perspectives. *In* S. Marlet, P. Ruelle (eds), Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation. Cédérom du CIRAD, Montpellier, France
- [4] KUPER M., TONNEAU J.P., 2002. L'Office du Niger, grenier à riz du Mali. Montpellier, Ed. CIRAD/KARTHALA
- [5] KUPER M, HABIB Z., 2003. Containing salinity through irrigation management : the case of the Fordwah area in Pakistan. *In* S. Marlet, P. Ruelle (eds), Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation. Cédérom du CIRAD, Montpellier, France
- [6] MARLET S., NDIAYE M.K., 2002. La fertilité des sols. Des risques d'alcalinisation liés à l'irrigation et aux pratiques de culture. *In* M. Kuper et J.P. Tonneau (eds). L'Office du Niger, grenier à riz du Mali. Ed. CIRAD/KARTHALA, 163-167
- [7] MARLET S., RUELE P., 2003. Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation. Actes de l'atelier du PCSI, 29-29 mai 2002, Montpellier, France. Cédérom du CIRAD, Montpellier, France.
- [8] N'Diaye M.K., Marlet S. et Dicko M., 2003. Maîtrise de l'irrigation et du drainage en riziculture irriguée et désalcalinisation des sols à l'Office du Niger (Mali). Modèle, hypothèses et arguments. *In* : S. Marlet, P. Ruelle (eds), 2003. Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation. Cédérom du CIRAD, Montpellier, France (figure en page 4 au début du paragraphe 2.3)
- [9] RUF T., 1995. Histoire hydraulique et agricole et lutte contre la salinisation dans le delta du Nil. *Sécheresse*, 6, 307-317.
- [10] TANJI K.K., 1990. Nature and extent of agricultural salinity. *In* K.K. Tanji (ed.), Agricultural salinity assessment and management. New-York, ASCE, 1-17.
- [11] ZIMMER D., 2003. Introduction du séminaire PCSI. *In* S. Marlet, P. Ruelle (eds), Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation. Cédérom du CIRAD, Montpellier, France
- [12] Umali, D.L., 1993. Irrigation-Induced salinity. A growing problem for development and the environment. World Bank technical paper number 215, 78 p. (figure en introduction en haut de la page 2).