

# **Dégradation saline des sols, induite par l'irrigation en domaine sahélien**

Jean-Yves LOYER \*

Dans la plupart des pays en voie de développement, la pression démographique soutenue se traduit par des besoins nutritionnels et en qualité de vie toujours croissants que les cultures pluviales ne peuvent hélas plus toujours satisfaire. Les pays africains de la bande sahélienne subissent en particulier un épisode de sécheresse qui dure maintenant depuis 18 années, et soumet les cultures à des rendements aléatoires et nettement insuffisants éprouvant aujourd'hui durement les populations. Afin de compenser le manque à produire créé par cet état de faits, une première solution a consisté à augmenter les superficies emblavées par la mise en culture de terres neuves régulièrement défrichées, ou bien à tenter d'accroître les rendements des terres déjà cultivées, par la fertilisation. Cette tendance a d'ailleurs parfois engendré un déséquilibre de ces régions fragiles, agressées par une désertification galopante qui a déjà suscité de nombreux cris d'alarme concernant les risques de ces pratiques sur la dégradation physique du milieu par érosion hydrique ou éolienne, et aussi chimique par épuisement de la fertilité des sols.

Une autre manière de répondre à cette demande alimentaire peut aussi être satisfaite par le recours à l'irrigation. C'est vers cette alternative que, confrontés à une situation coercitive, de nombreux pays se sont récemment tournés, par le biais de projets d'aménagements hydro-agricoles parfois ambitieux, et qui sont réalisés à partir de leurs eaux fluviales ou lacustres ou même de leurs réserves en eaux souterraines. Il est important de souligner que cette pratique, pour séduisante qu'elle soit, n'en demeure pas moins délicate à conduire, exigeant de la maîtrise et de la technicité, et non sans risque pour la conservation du milieu, en particulier sous les climats sahéliens chauds et secs qui créent des situations plus délicates que dans d'autres régions du globe.

## **EVOLUTION RÉCENTE ET SITUATION ACTUELLE DE L'IRRIGATION**

Selon des évaluations récentes (J. S. KANWAR, 1982), on estime aujourd'hui que 230 à 240 millions d'hectares de terres sont soumises à l'irrigation sur la planète et qu'elles atteindraient dans un proche avenir 400 ou même 500

---

\* Pédologue ORSTOM, Centre ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier cedex.

millions d'hectares. C'est là une évolution inéluctable qui correspond à une des options majeures de la politique agricole de nombreux pays souvent planifiée d'ici à l'an 2 000. Cette orientation qui passe par la maîtrise de l'eau, se traduit sur tous les continents par des projets d'aménagements hydrauliques à vocations multiples, mais comportant le plus souvent un important volet hydro-agricole.

Au Pakistan, le bassin de l'Indus avec le barrage de Tarbela, en Égypte celui du Nil avec l'énorme retenue d'Assouan (157 milliards de m<sup>3</sup>), en Syrie celui de l'Euphrate avec Tabqa, au Mexique la bassin-versant du Rio Grande, et beaucoup d'autres (Gange, Mékong, Tigre, Yangtze...), sont parmi les aménagements les plus gigantesques réalisés, mais qui n'ont pas toujours connu la réussite escomptée.

L'Afrique n'est pas en reste dans cette course à la maîtrise de l'eau. En zone méditerranéenne, beaucoup d'aménagements sont déjà fonctionnels, de moindre envergure certes que les précédents, mais importants par le nombre et la diversité des ouvrages. Citons seulement à titre d'exemple récent, le bassin de la Medjerdah en Tunisie, dont le cours est déjà maîtrisé par plusieurs ouvrages, avec dernier en date, le canal Medjerdah-Cap Bon, qui véhicule sur 120 km quelques 1 390 000 m<sup>3</sup> d'eau par jour dont 400 000 sont destinés à l'irrigation.

Dans la bande sahélienne africaine, la sécheresse a rendu prioritaire la résolution des problèmes liés aux aménagements hydrauliques et pour compléter, dans la zone des 500 mm pluviométriques et moins, les cultures pluviales hasardeuses, on mobilisera dans un avenir proche, plusieurs milliards de m<sup>3</sup> d'eau, sur des centaines de milliers d'hectares de terres. Ceci est possible grâce aux énormes potentialités des grands fleuves sahéliens issus des châteaux d'eau guinéens, et aussi grâce à la présence d'immenses espaces de sols au modelé doux constitués par les zones deltaïques et les plaines intérieures :

— Sur le fleuve Sénégal, le projet OMVS, (Office de Mise en Valeur du fleuve Sénégal), après la mise en service imminente des barrages de Diama et Manantali, devrait permettre d'irriguer à terme plus de 400 000 hectares de terres répartis entre trois pays riverains, Sénégal, Mauritanie et Mali. Des dépressions souvent endoréiques pourraient également être mises en eau (lac Rkiz, Tamount en Naaj, Aftout es-Sahel, côté mauritanien ; Vallée du Ferlo côté sénégalais, et Niayes par le canal du Cayor qui pourrait faire transiter 1 500 000 m<sup>3</sup> d'eau par jour depuis le fleuve jusqu'à Dakar).

— Sur le fleuve Gambie, le projet OMVG (Office de Mise en Valeur du Fleuve Gambie), après la construction de trois barrages dont un anti-sel, verra la mise en riziculture de quelques 150 000 hectares, dont une partie de terres de mangroves.

— Sur le bassin du Niger, le Mali envisage de porter son programme à 200 000 hectares en submersion contrôlée après régularisation des débits grâce à la réalisation d'un barrage sur le Bani. Au Burkina-Faso, l'aménagement des vallées des Volta devrait permettre de passer de 10 000 à 150 000 hectares irrigués ici à l'an 2 000. Sur le bassin du Chari, d'importants projets d'aménagement des polders du lac Tchad se mettent progressivement en place.

L'Afrique sahélienne pourrait donc disposer d'une superficie de près de un million d'hectares de terres irriguées ou susceptibles de l'être dans un proche avenir, grâce à une capacité en eaux de surface, plus rarement souterraines, généralement satisfaite avec une forte probabilité. Il faut toutefois savoir que plusieurs épisodes de sécheresse successifs peuvent altérer sensiblement le débit

de ces grands fleuves africains : le fleuve Sénégal par exemple, en régime d'abondance avant 1903, avait des écoulements dépassant les 20 milliards de m<sup>3</sup> par an ; aujourd'hui, ils sont de moitié inférieurs et sont même tombés à 7 milliards en 1983-84 ; le fleuve Niger pour sa part a cessé de couler à Niamey en 1984...

## ÉVALUATION DES NOUVEAUX RISQUES INDUITS PAR CETTE PRATIQUE

Ce type de mise en valeur intensive comporte déjà en soi certains risques naturels inhérents aux caractéristiques mêmes des sols susceptibles d'être irrigués : les sols salés ou alcalisés, les Vertisols, les sols sulfatés acides, les sols sableux, les sols organiques, fréquemment représentés dans les zones alluviales, posent au départ un certain nombre de problèmes liés à leurs contraintes chimiques (salure, alcalinité, acidité, toxicité), ou physiques (compacité, perméabilité), (G. AUBERT, 1985). Concernant la contrainte de salure par exemple, et selon BECK *et al.*, (1980), 323 millions d'hectares de sols seraient affectés à des degrés divers par les sels sur la planète.

Mais secondairement, sous l'effet de mauvaises pratiques liées à la conduite des irrigations, des dégradations pernicieuses et néanmoins importantes et parfois irréversibles, peuvent aussi intervenir sur des sols sains. Au monde, les exemples de ce type sont nombreux et KODVA (1974) a estimé que 20 à 25 millions d'hectares de terres auraient déjà été perdus par une salinisation ou une alcalisation secondaire induite par l'homme, due principalement à une absence de drainage, et ce, à un rythme de 120 000 hectares par an (Nations-Unies — 1977). Les terres lourdes des plaines de l'Inde dont près de 7 millions d'hectares auraient été rendus stériles par l'effet du sodium (KANWAR, 1982), en sont un exemple, comme celles du bassin du Rio Grande dont les eaux qui se concentrent graduellement de l'amont vers l'aval, de 0,2 à 1,7 g de sel par litre, contribuent à la salinisation de plusieurs centaines de milliers d'hectares de terres productives au Mexique.

Sur le continent africain, si les régions méditerranéennes, soumises à des hivers frais et relativement humides, sont moins affectées par la sécheresse et moins sensibles aux phénomènes évaporatoires, les régions sahéennes par contre, subissent après les courtes pluies d'été, une longue saison chaude et sèche de 8 à 9 et même 10 mois, à demande évaporatoire intense (de l'ordre de 7 mm par jour), amplifiée par le déficit pluviométrique. Celle-ci favorise la concentration des sels solubles dans les retenues d'eaux de surface peu profondes, et aussi, dans les sols, par remontées capillaires. Cette tendance naturelle, si elle n'est pas prise en compte, maîtrisée et suivie sous irrigation, peut provoquer, à court terme, dans certains milieux sensibles, une dégradation des terres entraînant des chutes de rendements agricoles ; elle peut aussi aboutir à plus longue échéance à la stérilisation et à l'abandon de certains périmètres de culture. Le gigantesque barrage d'Assouan par exemple n'a pas connu toute la réussite escomptée dans les domaines de la production et de la conservation de la fertilité des terres de la vallée du Nil... Sans entrer dans la polémique des petits ou des grands aménagements, et sur la seule analyse technique des risques de dégradation que pourrait entraîner une pratique maladroite de l'irrigation, deux exemples permettront d'illustrer ces risques en domaine sahéen côtier : l'un par utilisation d'eaux de surface de bonne qualité sur des sols salés, l'autre par utilisation d'eaux souterraines saumâtres, sur des sols sains.



à double barrage devrait permettre la mise en eau de 475 000 hectares de terres, dont 240 000 au Sénégal, 126 000 en Mauritanie et 9 000 au Mali.

Plusieurs facteurs de risques naturels existent dans ce contexte physique :

— L'existence d'une salure primaire d'origine fossile et de nature chlorurée sodique et magnésienne, apportée par d'anciennes invasions marines à la faveur d'un golfe aujourd'hui comblé par les alluvions du fleuve. Elle affecte les sols et les eaux de nappe du Delta, mais aussi plus en amont ceux de la basse vallée au-delà de Podor, à 250 km de l'embouchure. Dans le Delta, la majorité des sols sont touchés par ce phénomène de salure, et vers l'amont, ce sont les terres hautes de levées alluviales qui sont les plus salées, les cuvettes de décantation argileuses étant elles, souvent dessalées par les inondations lors de la crue du fleuve.

— Au niveau des eaux de surface du fleuve lui-même, une invasion marine actuelle par le lit mineur et les défluent qui, en période d'étiage, du fait de la pente longitudinale infime du bassin (0,005 % sur les 400 km inférieurs du cours), remontait très loin en amont, se faisant sentir à une salinité de 1 g/l, jusqu'à près de 250 km de l'embouchure (241 km en 1982, KANE, 1985). Cette intrusion d'eaux saumâtres qui empêchait toute irrigation, une partie de l'année, a dans un premier temps été partiellement maîtrisée par endiguement du lit mineur et fermeture des défluent qui ont ainsi constitué des réserves d'eau douce ; elle l'a aussi été temporairement par la construction précipitée, pour prévenir un déficit hydrique dramatique, au niveau de l'irrigation d'un périmètre sucrier et de l'alimentation de Dakar, d'un « bouchon-barrage » anti-sel à 115 km de l'embouchure pendant les périodes d'étiage 1983 et 1984 ; aujourd'hui, après la fermeture du barrage anti-sel de Diama intervenue en novembre 1985, elle l'est totalement malgré quelques aléas (absence d'endiguement côté mauritanien, obligation de laisser pénétrer l'eau de mer en Juillet 1986 pour équilibrer les niveaux).

Dans ce nouveau contexte, les interventions agricoles iront en s'intensifiant avec possibilité de mise en eau de tous les sols du Delta, pratique de la double culture annuelle en riziculture ou polycultures maraîchères, et possibilité d'extension de la canne à sucre. Du fait de cette fermeture par contre, la salure originelle, qui se trouve aujourd'hui piégée dans les sols et dans les nappes en amont de la retenue, évoluera et il paraît important de cerner les risques induits par cette situation nouvelle :

— Le rehaussement général du plan d'eau et du réseau d'irrigation par la construction de « canaux portés » surélevés sur des digues, et alimentés par de puissantes stations de pompage, a déjà permis et accentuera la mise en eau des terres hautes des levées alluviales où sont piégés les sels chlorurés originels, qui seront remis en mouvement et redistribués dans le paysage du fait de leur forte solubilité.

— La pratique de la riziculture par submersion permanente et apport de 10 à 12 000 m<sup>3</sup> d'eau à l'hectare sur ces terres, permet la redissolution de ces sels qui vont contaminer la nappe phréatique et rehausser en même temps son niveau piézométrique. Cette recharge artificielle fait que dans tout le Delta actuellement, une nappe peu profonde (inférieure à 2 m), soumise à un flux latéral, circule dans les alluvions. Cette nappe salée, atteignant par endroits deux fois la salinité de l'eau de mer, à indice de sodicité élevé (70 g/litre, SAR, « Sodium Absorption Ratio » de 10 à 50), provoque sous riziculture, une alcalisation remontante dans les sols avec une dégradation sensible de leurs

propriétés physico-chimiques due à la présence du Sodium (élévation sensible du pH jusqu'à 9,6, et diminution de la macroporosité des sols avec baisse de perméabilité) (LE BRUSQ, LOYER, 1982 ; ZANTE, LOYER, 1984).

— En contre saison rizicole, ou bien sous irrigation intermittente à la raie, cette nappe est le point de départ de mouvements verticaux de sels par ascension capillaire et concentration à la surface du sol. En cultures billonnées, sur sols légers de levées alluviales, l'ion chlorure très mobile, se concentre au sommet des billons qui jouent le rôle de mèche évaporatoire, les affectant de taux de chlorures très élevés, pouvant atteindre 35 g Cl/litre de solution sur extrait saturé, et bien supérieurs au seuil de tolérance des plantes cultivées (tomate en particulier). Par ailleurs, l'utilisation en polycultures d'engrais potassique sous forme de KCl (Sylvinite), à forte dose (250 kg/ha), moins onéreux que le sulfate mais à indice de salinité plus élevé, provoque une toxicité chlorurée qui interfère avec la salinité naturelle.

— Il est aussi à craindre que l'eau d'irrigation elle-même, actuellement de bonne qualité (60 à 80 mg/l de charge soluble en période de crue, et faible sodicité), ne voie sa concentration augmenter sensiblement de l'amont vers l'aval sous l'effet de l'évaporation d'un plan d'eau de 250 km<sup>2</sup>, mais surtout des nombreux rejets qui seront opérés dans la retenue depuis Manantali jusqu'à Diama. Les exemples du Colorado, du Rio Grande ou de l'Euphrate sont instructifs à cet égard. Il faut enfin savoir que la multiplication des cycles rizicoles, avec deux campagnes annuelles, apportera à terme une quantité non négligeable de sel (aujourd'hui 600 à 800 kg/ha pour un seul cycle rizicole avec 10 000 m<sup>3</sup> d'eau) dont une bonne partie peut être retenue par le sol.

Cette salure d'origine naturelle ou agronomique, ainsi que cette alcalisation, provoquent déjà des chutes de rendements et des mortalités dans les cultures ; à terme, elles peuvent affecter gravement la potentialité agricole des sols eux-mêmes dont certains ont déjà des rendements cultureux nettement insuffisants (inférieurs à 500 kg/ha de riz paddy). Or, dans ces zones estuariennes à pente infime, ces contraintes sont difficiles à maîtriser car aucun drainage naturel n'est possible ; d'ailleurs, tous les projets hydro-agricoles mis en place dans la vallée (excepté une partie de l'exploitation sucrière), ont fait l'impasse sur le drainage souterrain pour des raisons économiques. Seule est pratiquée une évacuation à ciel ouvert par drains de colature des eaux en excès. Actuellement, celles-ci sont rejetées soit directement dans le fleuve lui-même, certaines stations ayant la double fonction de pompage et d'exhaure, soit dans les défluent qui se salent progressivement (lac de Guiers), soit aux limites mêmes des périmètres de culture où leurs sels sont recyclés par le jeu de divers mécanismes (eaux, vent).

Il existe néanmoins des possibilités de contrôle ou de limitation de ces risques de salinisation secondaire et les deux expériences de dessalement menées sur ces terres l'ont prouvé : l'une conduite avec drainage souterrain (MUTSAARS, 1970-1973), l'autre avec seulement des drains de colature ouverts (LE BRUSQ — LOYER, 1982-1984) ont en effet montré que le dessalement des sols même très salés, même très argileux, était possible en un à deux ans selon les conditions ; le problème actuel qui se pose étant la maîtrise du niveau et de la qualité des eaux de nappe.

Il resterait donc à assurer, de façon efficace par un émissaire naturel (ancien défluent) ou artificiel (grand canal de drainage), l'évacuation de ces eaux chargées jusqu'à la mer, d'autant plus nécessaire que l'ensemble du système fonctionnera désormais en circuit partiellement fermé, à fort pouvoir évaporant et à risques de chloruration et de sodisation élevés.

## LE CAS DES EAUX DE LA NAPPE PROFONDE SÉNÉGALO-MAURITANIENNE (fig. 1 b)

Comparées aux eaux de surface, les eaux souterraines dont disposent certains pays du Sahel sont loin d'atteindre la même importance en volume. Mais elles sont généralement bien réparties et très diversifiées tant sur le plan quantitatif que sur celui de leur qualité en fonction de la dimension du réservoir, de ses possibilités de recharge actuelle, et de sa nature ; et si elles font, le plus souvent, l'objet d'une exploitation prioritaire pour les besoins vitaux des populations et du bétail, elles sont en outre fréquemment utilisées à des fins agricoles.

S'agissant des réserves renouvelables, on constate que celles-ci sont elles aussi touchées par la crise pluviométrique qui a des conséquences non seulement sur la quantité d'eau disponible dans la réserve elle-même, mais également sur la frange capillaire des sols et du sous-sol, dont l'abaissement continu affecte gravement le système racinaire et la strate arborée. Cet abaissement général du niveau de base peut aussi, en bordure de l'océan, par inversion du gradient de pression, provoquer une contamination par des eaux saumâtres d'origine marine. Ces phénomènes sont aujourd'hui constatés dans divers pays côtiers, la Mauritanie, le Sénégal (région des Niayes et du Sine Saloum), certaines îles de la République du Cap-Vert (Boa Vista, Sal), où en quelques années l'eau de certains aquifères est devenue impropre à la consommation et même à l'utilisation agricole.

Les réserves fossiles quant à elles, non renouvelables, ne présentent pas toujours non plus les critères de qualité indispensables à toute utilisation : la nature du réservoir dont elles sont issues, qu'il soit éruptif comme au Niger ou sédimentaire comme en Mauritanie ou au Sénégal a en effet pu en altérer la qualité, les affectant d'une concentration totale en sels excessive, d'un rapport du sodium aux autres cations défavorable, d'une toxicité spécifique à certains ions (fluor), d'une alcalinité résiduelle bloquant la disponibilité de certains éléments.

Dans le bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien par exemple, la nappe profonde des sables du Maestrichien, constitue une énorme réserve fossile dont le réservoir est estimé à 3 000 milliards de m<sup>3</sup> (AUDIBERT, 1966). De bonne qualité dans la partie est de la réserve, ces eaux évoluent dans l'espace et voient leur minéralisation augmenter vers l'ouest où elles atteignent des teneurs de 2,5 g/litre ; elles sont en outre alcalisantes (S.A.R. de l'ordre de 30). Leur utilisation en irrigation serait donc normalement à proscrire.

Malgré les mises en garde qui ont pu être faites suite aux travaux de recherche menés en particulier par l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, (ISRA), elles sont néanmoins utilisées de façon incontrôlée par le paysannat ou les sociétés villageoises en particulier, dans de nombreux petits périmètres établis sur les sols sableux du bassin arachidier, (« sols diors »), sur lesquels elles provoquent des effets néfastes dûs à leur concentration sous l'effet de l'évaporation. Le sodium en excès favorise une élévation sensible du pH des sols qui devient alcalin et non seulement induit une certaine toxicité chimique, mais également favorise secondairement une prise en masse physique du sol due à la dispersion des colloïdes (DUC 1975 ; PENNANEACH, 1977). L'imperméabilité des sols qui en résulte, associée à la dégradation chimique, provoque une baisse sensible de la fertilité de ces terres. Or, il a été montré que celle-ci pouvait être corrigée par des solutions techniques appropriées : apport de phospho-gypse à différents niveaux, (sols ou eaux),

d'engrais verts, de chélates de fer, d'engrais ammoniacaux plutôt que nitriques (DANCETTE, 1984). Ce n'est pas toujours le cas.

Par ailleurs, une incertitude plane sur l'évolution que peut présenter cette nappe dans le temps en particulier dans la partie ouest du réservoir où la tranche d'eau douce peu épaisse qui repose sur une nappe salée, se déprime suite aux nombreux pompages qui y sont effectués (Sine Saloum). Une surveillance chimique de la qualité des eaux serait nécessaire pour éviter tout risque de contamination induite par un surpompage.

## CONCLUSION

L'intensification des pratiques agricoles par le biais de l'irrigation n'est donc pas sans risque pour les sols, en particulier pour les sols tropicaux soumis à des conditions climatiques qui exacerbent leur sensibilité à la dégradation par les sels qui en sont les agents les plus courants et dont les manifestations sont à multiples facettes. Mais d'autres formes de détériorations pédologiques plus pernicieuses peuvent aussi être induites sous ces climats par l'irrigation. La toxicité ferreuse par exemple affectant le riz de la maladie du « bronzing » comme dans le périmètre du Kou au Burkina-Faso ; l'engorgement de certaines terres de la boucle du Niger qui provoque des phénomènes de colmatage et d'asphyxie au niveau des racines des plantes cultivées ; l'accumulation d'acides organiques apportés par les débris de récolte qui induit sur les sols du périmètre sucrier de la Comoé au Burkina-Faso, une diminution du pH, et des phénomènes de toxicité à faible profondeur dans la zone racinaire...

Dans la recherche de solutions pour l'augmentation de la production par le biais de l'irrigation, il importe que l'utilisateur soit vigilant à plusieurs niveaux :

— *dans l'analyse et la caractérisation* des divers facteurs hydrologiques et pédologiques susceptibles d'influencer la production de façon à lever toute incertitude liée à la connaissance incomplète d'un milieu destiné à un aménagement hydro-agricole (cartographie détaillée des sols et analyse des eaux).

— *dans la prévision* à l'échelle humaine des modifications que ce type d'aménagement est susceptible d'apporter au milieu physique par la prise en compte de toutes les données et la prédiction de leur évolution grâce à des « systèmes-experts ».

— *dans le suivi de l'évolution réelle* des différents paramètres au cours du temps sous irrigation, de façon à apporter des corrections au modèle et prévenir une éventuelle dégradation plutôt que d'avoir recours ultérieurement à des pratiques curatives onéreuses, pour tenter de récupérer des sols dégradés.

## BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.), 1985. — Utilisation des terres et alimentation des populations des pays tropicaux en voie de développement. C.R.Ac. d'Agriculture de France. Tome 71, n° 10.
- AUDIBERT (M.), 1966. — Étude hydrogéologique de la nappe profonde du Sénégal « Nappe maestrichienne » BRGM.
- BECK (K. J.), BLOKUIS (W. A.), DRIESSEN (P. M.), VAN BREEMAN (N.), BRINKMAN (R.), and PONS (L. J.), 1980. — Land reclamation and water management : development problems and challenges. I I L R I, pub. n° 27 the Netherlands.
- DANCETTE (C.), 1984. — Conservation des eaux et du sol au Sénégal. Séminaire atelier C.I.L.S.S. Institut du Sahel, PRAIA Cap-Vert.

- DUC (T. M.), 1975. — Irrigation de la zone Centre-Nord du Sénégal — Résultats de recherches et perspectives. Comité Consultatif FAO/AIEA, Bambey 10/14 Novembre 1975.
- KANE (A.), 1985. — Le Bassin du Sénégal à l'embouchure, flux continentaux dissous et particuliers. Invasions marines dans la vallée du fleuve. Th. 3<sup>e</sup> cycle Université de Nancy II.
- KANWAR (J. S.), 1982. — Managing soils resources to meet the challenges to mankind : Presidential address. 12<sup>th</sup> International Congress of Soil Science — New Delhi.
- LE BRUSQ (J. Y.), LOYER (J. Y.), 1982, 1983, 1984. — Évolution de la salinité des sols et des eaux en relation avec la riziculture submergée dans le Delta du fleuve Sénégal (campagnes 1981/1982/1983), ORSTOM/Dakar.
- LOYER (J. Y.), 1983. — Dans la perspective du développement des cultures irriguées au Sénégal : Maîtrise de l'eau et des sols. Journées de réflexion sur la production agricole et la stratégie alimentaire, Dakar, 7/11 Novembre 1983.
- LOYER (J. Y.) et LE BRUSQ (J. Y.), 1983. — Influence de l'intensification des cycles de riziculture sur les sols irrigués de la basse vallée du fleuve Sénégal. Colloque Barrages en terre et développement des zones rurales en Afrique. AUPELF, Thiès/Sénégal, 10/16 Avril 1983.
- MUTSAARS (M.) et VAN DER VELDEN, 1973. — Le dessalement des terres du Delta du fleuve Sénégal. Bilan de trois années d'expérimentations (70/73) et perspectives. FAO.
- PENNANEACH (B. S.), 1977. — Effet des eaux salées du Maestrichien sur quelques sols du Sénégal — Thèse Université de Laval.
- United-Nations, Conférence on Desertification, 1977. — Désertification, an overview. United Nations, New-York.
- ZANTE (P.) et LOYER (J. Y.), 1984. — Influence des cycles d'irrigation par submersion permanente sur le comportement hydrique d'un sol de la vallée du fleuve Sénégal. Journées du GFHN Montpellier 13/14 Novembre 1984.