

DÉPARTEMENT SYSTEMES AGRAIRES

PROGRAMME SAHEL

Organisation pour la Mise en Valeur
du Fleuve Senegal (OMVS)
Haut Commissariat
Centre Régional de Documentation
Saint-Louis

ESSAI DE SYNTHESE DES RÉSULTATS DES RECHERCHES

EFFECTUÉES SUR LA RIZICULTURE IRRIGUÉE

EN ZONE SAHÉLIENNE

CONTRIBUTION AU TRAVAIL DE SYNTHESE SUR

LE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE DES RÉGIONS SAHÉLIENNES

J.Y. JAMIN ¹

Septembre 1990

v.9.19

¹ Expert SOFRECO - DSA/CIRAD ; responsable de l'Équipe Recherche-Développement du Projet Retall (Office du Niger, B.P. 11, Niono, Mali) ; ancien coordonnateur de l'équipe Système Fleuve de l'ISRA à Saint-Louis (Sénégal).

1. Introduction

La culture irriguée à grande échelle est un phénomène relativement récent en zone sahélienne. Si les premiers essais remontent au XIX^{ème} siècle au Sénégal (Richard-Toll), ce n'est qu'au début du XX^{ème} siècle que de grands projets d'aménagements sont mis à l'étude. La première réalisation sera l'Office du Niger, où la culture commence en 1935, sur le modèle de la Gézireh au Soudan anglais. Seront ensuite lancées l'O.A.V. puis l'O.A.D. le long du Fleuve Sénégal (Organisation Autonome de la Vallée, O.A. du Delta), dont le réel développement ne se fera qu'après l'indépendance avec la création de la S.A.E.D. (Société d'Aménagement et d'Exploitation du Delta), qui verra ses prérogatives s'étendre progressivement à l'ensemble de la Vallée, avec d'abord de grands bassins, puis des petits périmètres irrigués villageois (P.P.I.V.). Parallèlement, sera mise en place la SONADER (Société Nationale de Développement Rural) en Mauritanie (rive droite du Fleuve), ainsi que les petits périmètres de la Haute Vallée du Fleuve Sénégal au Mali.

D'autres expériences existent au Niger (ONAH, Office National des Aménagements Hydro-Agricoles), au Burkina-Faso (Vallée du Kou) et au Nord-Cameroun (SEMR, Société d'Expansion et de Modernisation de la Riziculture de Yagoua), où de grandes superficies ont été aménagées.

Nous utiliserons ici principalement les résultats des recherches effectuées dans la Vallée du Fleuve Sénégal et à l'Office du Niger, où de nombreux travaux ont été menés plusieurs décennies, ainsi que ceux obtenus au Nord-Cameroun.

Toutes les périmètres sahéliens ont comme caractéristique commune la prédominance absolue de la culture du riz, pour des raisons pédologiques (sols de cuvette, facilement irrigables mais difficilement drainables), et politiques (recherche de l'autosuffisance alimentaire), même si à l'origine de grands espoirs avaient été placés dans le coton ; les efforts de diversification des cultures n'ont pas été abandonnés, mais force est de constater qu'en dehors du maraîchage (pratiqué sur de petites surfaces et de façon souvent "pirate" par les paysans) et du maïs (cultivé en contre-saison dans la partie amont du Fleuve Sénégal), le riz reste encore aujourd'hui la seule culture pratiquée à grande échelle.

Au démarrage des opérations, bien que les bases techniques des rizicultures traditionnelles de Guinée, Casamance, Mali, aient été utilisées, on a surtout importé les techniques de pays ayant une plus longue tradition de riziculture irriguée (Asie, Guyane, Madagascar, etc.). Des stations de recherche ont été ensuite implantées, dans toutes les zones concernées.

Les instituts de recherche nationaux ont fourni un important effort d'expérimentation sur le riz irrigué ; citons en particulier les travaux de l'ISRA au Sénégal, du CNRADA en Mauritanie, de l'IER au Mali, de l'INERA au Burkina-Faso, de l'INRAN au Niger et de l'IRA au Cameroun. Ils ont été appuyés par des instituts internationaux, en particulier l'IRAT (souvent à l'origine des premières recherches), et également l'ADRAO, l'OMVS et la FAO. L'université de Wageningen (Pays-Bas) a également appuyé des recherches sur l'irrigation.

Un trait commun à tous les périmètres considérés est la puissance des sociétés de développement, et l'importance qu'elles ont accordée à la création de structures de "Recherche Appliquée", "Recherche d'Accompagnement" ou "Recherche-Développement" en leur sein. Aussi beaucoup de résultats ont-ils été obtenus dans le cadre de ces sociétés opérations de développement, dont les moyens financiers sont sans commune mesure avec ceux des instituts de recherche nationaux.

Les travaux qui ont été menés sur la riziculture irriguée au Sahel concernent les besoins en eau des plantes et leur traduction en terme d'aménagement hydraulique, les cycles de culture, les variétés, les sols et l'amélioration de leur fertilité, la préparation des terres, les techniques d'implantation, le désherbage, la protection des cultures, et la mécanisation ; plus récemment ont été lancés des travaux sur les systèmes de culture et les systèmes de production.

2. Les besoins en eau des plantes

Ces besoins ont été pendant longtemps satisfaits de façon empirique ; ce n'est qu'à partir de 1970 que des travaux précis et spécifiques aux milieux considérés ont été menés sur ce thème.

Au Sénégal, Rijks C., 1976 a déterminé les besoins en eau du riz pour les différentes saisons de culture sur la base des Evapo-Transpirations Réelles d'une culture de riz, ainsi que les coefficients culturaux K' permettant de relier l'ETR à l'évaporation d'un Bac "Classe A" fréquemment utilisé dans les stations météorologiques ¹.

Pour l'hivernage, les besoins sont d'environ 1100 mm ; ils sont de l'ordre de 1700 mm en saison sèche froide et en saison sèche chaude (très variable selon les années). Les 15 premiers jours, $K' = 0,8$, puis $K' = 1$ les 15 jours suivants, puis 1,2 à 1,4 jusqu'à 15 jours avant la récolte, où il redescend à 1.

Au Mali, les Projets BEAU (Besoins en Eau), 1981, et GEAU (Gestion de l'Eau), 1984, ont menés des travaux similaires, mais en ramenant les ETR à l'ETO, évapo-transpiration de la culture de référence (gazon vert de 8 à 15 cm, en pleine croissance, d'après FAO, 1977). Les résultats obtenus sont proches des précédents : les besoins d'irrigation sont de 1200 mm en hivernage, en tenant compte de deux préirrigations et de la pluviométrie décadaire de probabilité 80 %. Le coefficient K_c est alors de 1,1 les deux premiers mois, puis de 1,25 ensuite (en semis direct) ¹.

Sur ces bases ont été calculés les débits fictifs continus nécessaires. A l'Office du Niger, ils sont de 1,1 l/s ha ; les débits de pointe sont estimés à 1,5 l/s ha ; c'est ainsi qu'au Projet Retail l'aménagement a été fait sur la base d'un débit de 1,8 l/s ha à la parcelle, soit 2 l/s ha en tête de tertiaire ; l'irrigation est organisée avec des tours d'eau de 5 à 7 jours, et des mains d'eau de 20 l/s pour 2 ha.

Il faut noter que les travaux en matière de besoin en eau et d'hydraulique ont pu s'appuyer sur d'importantes bases de données agro-météorologiques (Météorologies Nationales, ASECNA, stations de recherche), et sur des monographies hydrauliques détaillées réalisées par l'ORSTOM.

¹ $K' = \frac{ETR}{Ev A}$ $K_c = \frac{ETR}{ETO}$

3. Cycles cultureux

Dans tout le Sahel se pose un problème de calage des cycles du riz par rapport à la saison froide. En effet, les basses températures peuvent bloquer certaines phases du cycle du riz ou compromettre leur bon déroulement. En dessous de 15°C, la floraison et le début du remplissage sont fortement perturbés et le taux de grains vides est donc élevé ; la germination et la levée sont pratiquement bloquées ; la végétation d'une culture déjà installée mais pas encore parvenue à l'initiation paniculaire n'est par contre pas trop affectée, bien qu'elle soit sérieusement ralentie ; en dessous de 10°C, la végétation est bloquée.

Les maxima de température très élevés enregistrés en avril-mai (plus de 43°C, avec une humidité très faible, surtout lorsque souffle l'harmattan) peuvent aussi perturber la floraison du riz et provoquer des stérilités. L'incidence sur les rendements et sur le calage des cycles est cependant sans commune mesure avec les effets du froid.

Sur la base de ces contraintes, des études fréquentielles de températures ont été effectuées ; citons en particulier les travaux de Rijks C., 1976 dans la Vallée du Fleuve Sénégal, et ceux du Projet Geau, 1984, à l'Office du Niger. Selon la latitude, les contraintes sont plus ou moins fortes : dans la partie Nord du Sahel (Podor, Gao), la fréquence des températures froides est beaucoup plus forte qu'à la lisière de la zone soudanienne (Vallée du Kou). Le calage des cycles doit aussi tenir compte des disponibilités en eau d'irrigation, souvent très réduites en fin de saison sèche dans les fleuves sahéliens en l'absence de barrages de régulation.

Trois grandes saisons de culture sont possibles pour le riz : hivernage, saison sèche froide (ou désaison), saison sèche chaude (ou contre-saison).

Pour l'hivernage, le cycle doit être calé par rapport à la floraison du riz et aux basses températures débutant fin novembre. Sur cette base, et avec des variétés non-photosensibles à cycle moyen (130 jours), les semis doivent se faire au plus tard début août. Avec des variétés à cycle plus court (110 jours), ils peuvent encore avoir lieu fin août. Les potentiels sont cependant plus faibles lorsque l'on s'approche de ces dates limites, les dates optimales de semis étant entre début-juin et fin juillet. Les semis ne doivent pas commencer trop tôt (avant fin mai), pour ne pas risquer que les pluies de septembre viennent endommager les récoltes.

Avec les variétés photosensibles, le problème est un peu différent : leur date d'épiaison est relativement stable, et des semis précoces permettent d'allonger la durée de la phase végétative, et donc le potentiel de matière sèche qui pourra être accumulé puis transféré vers les grains ; à l'inverse les semis tardifs réduisent fortement ce potentiel.

Pour la saison sèche chaude, on cherche en général à faire des semis les plus précoces possibles, pour éviter que les pluies d'hivernage ne viennent endommager les récoltes ou gêner le battage, et également pour permettre une remise en culture rapide pour la campagne d'hivernage dans le cas de la double-culture. Cependant la précocité de ces semis est limitée par les basses températures de janvier. Ce n'est donc que début ou mi-février que les semis sont en général possibles dans de bonnes conditions.

Pour résoudre ce problème, il est possible d'avancer les semis avant la période des grands froids, en novembre, début décembre au plus tard, et de faire une culture dite de saison-sèche froide. La germination et la levée se font alors avant que les températures ne soient trop basses ; la végétation du riz est ensuite très ralentie en décembre-janvier, et elle ne redémarre vraiment pleinement qu'à partir de mi-février. Le cycle du riz est alors nettement allongé.

Pour tous les semis de saison sèche, il est impératif d'utiliser des variétés non-photosensibles : en effet, une variété photosensible semée en février risque de n'arriver à maturité qu'en novembre, soit un cycle de 280 jours ... En saison sèche chaude, il est recommandé d'utiliser des variétés à cycle court, car le début de végétation étant relativement lent en fin-février-début mars, les cycles sont allongés de 15 jours environ par rapport à l'hivernage, et les récoltes des variétés à cycle moyen sont trop tardives. Pour les semis de saison froide, on peut utiliser des variétés à cycle moyen, car les parcelles sont de toute façon libérées à temps pour l'hivernage suivant, mais il faut s'assurer de leur tolérance au froid ; il faut noter qu'en cas de double-culture saison froide / hivernage, le temps disponible entre récolte d'hivernage et semis de saison froide est très court.

Dans la pratique, la plupart des surfaces irriguées ne portent qu'une culture par an, en hivernage. La double-riziculture est cependant réalisée dans certains périmètres : succession saison sèche chaude / hivernage sur une partie des terres de la Vallée du Fleuve Sénégal, ainsi qu'au Projet Retail en zone Office du Niger ; succession saison sèche froide / hivernage dans les petits périmètres de la région de Gao, dans la Vallée du Kou et à la SEMRY. Dans toutes ces situations, la lutte contre les oiseaux mobilise beaucoup de main d'oeuvre en contre-saison.

Des successions riz / autre culture sont également possibles, et elles sont pratiquées en particulier dans la Vallée du Sénégal : riz d'hivernage / maïs de saison froide autour de Matam et Bakel (mais sur une partie seulement des surfaces en vraie double-culture), ou riz / tomate entre Richard-Toll et Podor, mais avec un décalage des cycles conduisant plutôt à faire 3 cultures sur 2 ans : riz de saison sèche chaude / tomate de saison froide / riz d'hivernage. Ces successions posent d'autres problèmes que celui des cycles, en particulier par rapport au planage des parcelles (succession de cultures à plat et de cultures sur billon).

Signalons enfin que la double-culture est surtout réalisée dans les périmètres où les surfaces attribuées par famille sont faibles (0,2 à 0,5 ha), et qu'elle est plus rare ou ne porte que sur une partie des surfaces dès que ces attributions sont de l'ordre de un ou plusieurs hectares par famille. L'utilisation de variétés à cycle court et de façons culturales simplifiées, voire du non-travail du sol, sont susceptibles de favoriser l'extension de la double-culture, de même que la mécanisation. La pratique de la repousse, étudiée par l'ADRAO au Sénégal, a fait jusqu'à présent l'objet de peu d'applications en milieu paysan.

Pour mémoire, on notera que la triple-culture (riz de saison sèche chaude / riz d'hivernage / blé de saison froide) a été tentée au Sénégal par la FAO, mais que sa réalisation effective n'a pu être perennisée, même en station de recherche.

4. Les variétés

Les variétés cultivées dépendent en tout premier lieu du degré de maîtrise de l'eau qui est atteint. Lorsque les dénivelés intra-parcellaires sont importants, on utilise des variétés à paille longue (1,5 m ou plus), qui tolèrent de fortes lames d'eau ; la levée se fait en général sous pluie, et l'inondation n'intervient que lorsque le riz a atteint une taille suffisante. Lorsque le planage est bon, on peut utiliser des variétés à paille courte (0,7 à 1,1 m), qui ont un fort potentiel de rendement et l'implantation peut se faire par semis en prégermé ou par repiquage.

Les variétés à paille longue sont en général photosensibles. Elles ont une croissance rapide, et sont donc compétitives par rapport aux adventices ; par contre leur réponse aux engrais est limitée, elles sont sensibles à la verse, et leur potentiel de rendement est assez faible (4-5 t/ha environ), en liaison avec leur faible rapport grain/paille. Ces variétés rustiques ont été très employées au début des aménagements au Sénégal et au Mali, et continuent de l'être dans les zones non réhabilitées de l'Office du Niger. Citons quelques variétés, avec leur origine, et leur cycle, donné à titre indicatif pour un semis de fin-juin début-juillet (premières pluies régulières) : Ségadis (Indonésie, 135 j), H 15-23 DA (Sénégal, 145 j), D 52-37 (Guyane, 150 j), Gambiaka Kokum (Mali, 155 j), BH2 ou IRAT 14 (Mali, 165 j), DK 3 (Mali, 165 j).

Les variétés à paille courte se sont développées depuis 1970. Elles ont une croissance moins rapide, et sont donc plus sensibles aux adventices. Mais elles répondent très bien aux engrais, ont de forts potentiels de rendement (7 à 10 t/ha, voire plus) et sont peu ou pas photosensibles. Elles sont systématiquement employées dès que les conditions de planage le permettent. De nombreuses variétés sont utilisées, originaires d'Asie le plus souvent (par l'intermédiaire de l'IRRI ou de l'ADRAO), ou parfois obtenues sur place (ADRAO, IRAT ou instituts nationaux). Citons parmi les plus répandues, avec leur cycle en hivernage, IR 8 (IRRI, 135 j), JAYA (Inde, 130 j), BG 90-2 (Sri-Lanka, 130 j), IR 46 (IRRI, 125 j), Sri-Malaysia (Malaysie, 125 j), IR 1529-680-3 (IRRI, 125 j) ; et pour les cycles plus courts (ayant un potentiel un peu plus faible), Kwang She Sheng (KSS, Chine, 105 j), I Kong Pao (IKP, Taïwan, 110 j), Taïchung Native n° 1 (TN 1, Taïwan, 115 j), Tatsumi Moschi (Japon, 100 j). De nombreuses autres variétés sont en cours de test.

Pour la contre saison chaude, on recherche des variétés à cycle court, ayant un bon démarrage malgré les basses températures, et pouvant aussi être cultivées en hivernage pour les semis tardifs de double-culture ; les plus utilisées sont IKP (au Sénégal et au Mali), China 988 (à l'Office du Niger) ; TN 1, IR 1561-228-3-A et Aiwu semblent aussi pouvoir être très intéressantes. Pour la saison froide, on utilise IR 46, Jaya, BG 90-2, IR 1529-680-3. Les cycles sont très variables selon la date de semis et le climat de l'année (effet du froid) ; ils sont toujours supérieurs à ceux de l'hivernage, de 10 à 20 jours en saison sèche chaude, d'un mois ou plus en saison froide.

La sélection variétale doit prendre en compte non seulement le potentiel de rendement et le cycle, mais aussi la tolérance à certaines maladies (pyriculariose pour les périmètres les plus au Sud), et surtout le goût des agriculteurs et éventuellement les contraintes du marché national. Même si la plupart du temps le riz décortiqué commercialisé contient un fort taux de brisures (autour de 50 %), les variétés les plus recherchées sont en général celles ayant des grains longs, et une couleur très blanche, mais cela peut varier selon les régions.

Dans tous les pays existent, une ou plusieurs variétés bien adaptées, ayant un potentiel de rendement correct. Dans les introductions (il y a peu de travaux de création variétale dans la zone, ce que justifie l'abondance et la diversité des variétés existant dans les collections internationales), on recherche en général une diversification du matériel végétal (recherche de la sécurité), des variétés à cycle plus court (plus grande souplesse d'utilisation), des variétés pouvant être utilisées en saison sèche, froide ou chaude ; et dans tous les cas un potentiel de rendement élevé.

5. Le travail du sol

Le labour a été partout systématiquement employé au démarrage de ce type de riziculture ; il est progressivement apparu que des façons culturales plus superficielles pouvaient être utilisées pour gagner du temps.

Les conditions sahéliennes font en effet que le labour n'est pas indispensable : si on peut semer tôt, les résidus de récolte et les adventices à enfouir sont très faibles en fin de saison sèche, et ceci est accentué par l'utilisation des périmètres irrigués comme zone de pâture. La plupart des essais, menés en particulier au Sénégal, ont montré que d'aussi bons rendements qu'avec un labour peuvent être obtenus avec un travail superficiel au pulvérisateur ou au rotavator, et que de plus ces façons superficielles présentent l'avantage de ne pas détériorer le planage. Cependant, lorsque la traction animale est utilisée, aucun outil ne permet de se passer du labour (dont la profondeur est en général assez faible : 10-12 cm).

A l'Office du Niger, où on laboure avec des boeufs, on a remarqué que le labour systématique à la Felleberg, ou en planches avec répétition des ados aux mêmes endroits chaque année, contribue fortement à dégrader le planage. Il faut alors utiliser d'autres techniques de labour (alterner ados et dérayure au même endroit selon les années), ou utiliser la charrue réversible ; avec les boeufs, seule une charrue réversible "japonaise" (à lame) est utilisable. Le labour est ensuite repris avec un passage de herse, voire deux pour le semis direct (pour lequel on cherche un lit de semence assez fin), mais on remarque aussi que pour gagner du temps, en repiquage, certains paysans font l'impasse sur ce travail. Des essais ont montré que le double labour pouvait permettre un plus fort rendement, à cause d'une meilleure lutte contre les adventices, mais son utilisation est assez réduite du fait des contraintes de calendrier et d'équipement qu'il impose.

Lorsqu'une bonne maîtrise de l'eau est atteinte, des travaux sous eau peuvent être effectués : de très bons résultats sont obtenus avec une fraise (rotavator) sur tracteur ou motoculteur, surtout si l'on peut ensuite maintenir une lame d'eau jusqu'au repiquage ou au semis en prégermé : la persistance de conditions asphyxiées freine considérablement la levée des adventices ; de plus la mise en boue facilite les travaux de planage. Le piétinage mécanique (tracteur à roue cage) a aussi été testé à la SEMRY. En culture attelée, il est possible d'utiliser, après le labour, le puddler à cônes de l'IRRI, qui permet de faire une mise en boue correcte (son utilisation est cependant problématique dans les sols lourds) ; plus rapidement en cours de diffusion, la barre niveleuse utilisée directement après hersage permet l'amélioration du planage, sans toutefois autoriser des mouvements de terre importants.

Dans certains petits périmètres, où les surfaces cultivées par famille sont faibles, le travail du sol est entièrement manuel ; un pseudo-labour peu profond est alors réalisé à la Daba. Cette technique trouve ses limites dès qu'un accroissement des surfaces est possible.

Le labour est absolument nécessaire dans deux types de situations : lorsque l'on veut enfouir de la végétation ou des résidus de récolte (restitution des pailles), et pour lutter contre certaines adventices comme le riz à rhizome. L'enfouissement n'est cependant pas une opération courante : il est souvent difficile à réaliser si la végétation n'est pas au préalable broyée ou compostée, particulièrement en traction animale. Pour la lutte contre le riz à rhizome, le labour permet d'obtenir de bons résultats, si il est réalisé en début de saison sèche, mais ils ne sont pas définitifs, et doivent être suivis d'une extirpation manuelle.

La simplification extrême des façons culturales abouti au non-travail du sol. Cette technique a été longuement testée au Sénégal (P. Courtessole), et a connu un développement rapide lors de son introduction en milieu paysan. Elle permet un gain de temps et d'argent appréciable, sans avoir de conséquences importantes sur le rendement ; son utilisation doit être précoce (avant que les pluies ne permettent un développement des adventices) ; elle est bien adaptée au semis en prégermé. Eventuellement, en cas d'infestation récente, la végétation adventice peut être détruite au paraquat avant un semis en prégermé sans travail du sol. Le repiquage sans travail du sol a aussi été testé, et donne de bons résultats, mais il y a une contrainte de dureté des sols : il faut en effet que les repiqueurs puissent enfoncer les plants dans la terre.

6. Les techniques d'implantation

Trois grands modes d'implantation existent dans les périmètres irrigués de la zone : le semis direct en sec, le semis direct en prégermé, le repiquage. L'implantation se fait le plus souvent à la volée (semis) ou en foule (repiquage).

Le semis en sec est le mode de semis le moins performant en terme de rendement, parce que la germination et la levée sont mauvaises si l'eau n'est pas bien répartie et surtout à cause de la concurrence rapide des adventices. C'est cependant le seul mode facilement utilisable lorsque le planage ne permet pas un bon contrôle de l'eau d'irrigation et que la levée doit se faire sous pluie. Les quantités de semence nécessaires sont importantes : 120 à 180 kg/ha.

Le repiquage et le semis en prégermé peuvent tous les deux donner de très bons résultats. De nombreux essais réalisés au Sénégal et au Mali montrent que les potentiels de ces deux techniques sont très proches si l'on a une bonne maîtrise de l'eau et des adventices, le repiquage facilitant beaucoup cette dernière. Le choix dépend principalement des conditions économiques locales, en particulier du coût de la main d'oeuvre et de celui des herbicides (le repiquage demande environ 40 à 50 journées de travail de plus).

Le semis en prégermé a l'avantage de demander peu de main d'oeuvre ; cependant la nécessité de faire un léger assec pour faciliter la levée implique un bon fonctionnement du système de drainage, et peut favoriser l'envahissement des parcelles par les adventices ; les temps de désherbage peuvent alors être importants, ou le recours aux herbicides nécessaire, si l'on veut viser un

rendement élevé. Le planage doit être de bonne qualité pour que la levée soit homogène. 120 kg de semences sont nécessaires par hectare. Le semis peut être manuel, ou réalisé avec un petit semoir centrifuge portatif.

Le repiquage assure un peuplement régulier, et permet, à condition qu'une lame d'eau soit maintenue (ce qui souvent ne peut être fait dans les P.P.I.V. situés sur des hautes levées), une très bonne maîtrise des adventices. Les quantités de semences demandées sont faibles, 40 à 50 kg/ha, et l'obtention d'un bon rendement est presque garantie, si toutefois les plants ne sont pas repiqués trop âgés : les plants ne doivent pas avoir plus de 3-4 feuilles, soit 20-25 jours en hivernage, 25-30 jours ou plus en contre-saison suivant les températures ; au delà la reprise est difficile, et le potentiel de tallage réduit. Les densités optimales varient selon les zones et les conditions ; en hivernage des peuplements de 25 x 25 cm peuvent donner de bons résultats, mais un repiquage à 20 x 20 cm assure une plus grande sécurité ; en contre-saison le repiquage à 20 x 20 cm semble nécessaire.

Dans la Vallée du Fleuve Sénégal, le semis en sec a été abandonné dès que les conditions de maîtrise de l'eau l'ont permis ; dans tous les grands périmètres, où les surfaces par famille sont d'un hectare ou plus, le semis en prégermé est pratiqué, avec association ou non de désherbage chimique ; dans les P.P.I.V., où les surfaces ne dépassent guère 0,5 ha par famille, le repiquage est utilisé. A l'Office du Niger, le semis direct en sec est le mode le plus répandu dans les zones où la maîtrise de l'eau est faible ; avec le réaménagement, le repiquage progresse, malgré l'importance des attributions (plusieurs hectares par famille), même dans les zones non encore réaménagées dès que les paysans peuvent réaliser un compartimentage ; le semis en prégermé est expérimenté avec de très bons résultats, et pourrait être une alternative au repiquage pour certaines familles. Dans les P.P.I.V. de la Vallée du Fleuve Niger (Mali et ONAHA), à la Vallée du Kou, à la SEMRY, le repiquage est systématique, en rapport avec les faibles surfaces exploitées.

Les implantations en ligne sont assez rares, soit parce qu'elles nécessitent un matériel spécial relativement onéreux (semoirs en sec, semoirs en prégermé, repiqueuses mécaniques), soit parce qu'elles impliquent une forte technicité de la main d'oeuvre (repiquage manuel en ligne). Leur principal intérêt est d'autoriser ensuite un sarclage mécanique (cf § 8.). Des matériels expérimentaux existent, en particulier en provenance de l'IRRI : semoir prégermé en ligne (simple et robuste), repiqueuse (plus fragile) utilisant des plants issus de pépinière Dapog ou humide modifiée ; ces plants étant repiqués très jeunes, ils sont très sensibles à la submersion, et un très bon planage est donc nécessaire. L'utilisation de la pépinière Dapog facilite beaucoup le transport des plants, mais son utilisation implique un respect très strict du calendrier de repiquage, car les plants ne peuvent vieillir en pépinière.

7. La fertilité des sols

7.1. La pédologie

Au départ, les sols ont été essentiellement choisis sur des critères topographiques : grandes cuvettes facilement dominables du Delta et de la Basse-Vallée du Fleuve Sénégal ou du Delta Central Nigérien, ou au contraire hautes-levées situées à proximité immédiate de la ressource en eau et ne nécessitant pas de protection

importante contre les crues (P.P.I.V. de la Moyenne et de la Haute Vallée du Fleuve Sénégal, et de la Vallée du Fleuve Niger).

Des travaux d'inventaire des sols ont ensuite été en général menés, souvent à une échelle (1/50 000^{ème}) permettant un bon choix des sites à aménager mais assez peu d'avoir une perception claire des contraintes à la parcelle ; quelques zones ont cependant été cartographiées au 1/10 000^{ème}, avec parfois une carte des contraintes : texture, profondeur de la nappe, salinité.

Des problèmes importants de salinité ont été reconnus dans le Delta du Fleuve Sénégal (origine géologique des sels) ; lorsque la couche d'argile n'excède pas un mètre, un dessalement est possible si une irrigation continue (double-culture) est assurée avec de l'eau douce. Au Mali, Toujan, 1980, puis Bertrand, 1985, ont mis en évidence un phénomène de dégradation des sols par alcalinisation et sodisation, lié au déséquilibre chimique de l'eau du Fleuve Niger vers le pôle sodique et à sa concentration progressive dans les sols ; sur les zones les plus hautes et les plus sableuses, ce phénomène se traduit par l'apparition de salants (noirs ou blancs) et l'impossibilité de cultiver du riz sans maintien permanent d'une lame d'eau ; dans les sols argileux à nodules calcaires des cuvettes, on note un syndrome de rabougrissement-dépérissement du riz, lié probablement au blocage du zinc.

Dans la plupart des situations de cuvette, le drainage pose un problème important, et souvent mal résolu, qui ne laisse pratiquement pas d'autre choix que la riziculture pour la mise en valeur. A l'inverse, sur les hautes-levées, c'est plutôt la forte perméabilité des sols qui est une contrainte, et ce d'autant plus que l'irrigation se fait par pompage, donc avec un souci d'économie d'eau (l'absence de maintien d'une lame d'eau facilite alors l'envahissement par les adventices).

7.2. Fertilisation

Les besoins en azote sont partout les premiers à satisfaire pour obtenir de bons rendements, car tous les sols considérés sont en général pauvres en matière organique, et totalement incapables de fournir des besoins en azote d'autant plus élevés que progresse l'intensification. Au Sénégal, dans des conditions assez intensives, des doses de 120 à 150 N/ha sont préconisées (ISRA, ADRAO). A l'Office du Niger, des doses relativement faibles suffisent en zone non réaménagée où la maîtrise de l'eau est faible et les variétés du type "paille longue" : 25 à 40 unités ; en conditions intensifiées, on recommande 70 à 100 unités, et jusqu'à 150 N dans les meilleures parcelles (IER, Projets Geau et Retail). A la SEMRY, une dose de 90 à 120 unités est vulgarisée (IRA, SEMRY). Dans toutes les situations, les réponses à l'azote sont toujours très bonnes dès que les conditions (variété, enherbement, planage) le permettent, et elles sont souvent linéaires jusqu'à 100, voire 150 ou 200 unités. Le conseil des doses à appliquer doit donc être relativement fin, et tenir compte du niveau de rendement visé, compte-tenu des autres contraintes.

La forme d'azote la plus utilisée est l'urée (46-0-0), bien adaptée aux conditions aquatiques des rizières irriguées (même si un assec est préférable à l'épandage) ; l'apport se fait en couverture, en général en plusieurs fractions (tallage et initiation paniculaire le plus souvent). On note cependant l'utilisation du sulfate d'ammoniaque à la SEMRY (21-0-0), enfoui à la préparation du sol, parallèlement à celle de l'urée. La matière organique est peu utilisée en riziculture, pour plusieurs raisons : quantités disponibles assez limitées (en liaison avec l'écologie de ces

zones et le caractère extensif de l'élevage), utilisation préférentielle sur le maraîchage, problème de transport, faible efficacité sur les sols en dehors de l'apport d'azote (dans les conditions sahéliennes, la matière organique est vite détruite, et il faut des quantités importantes pour avoir un effet sur la structure du sol, qui est rarement un problème dans ce type de riziculture). L'utilisation d'*Azolla*, fougère aquatique fixant l'azote grâce à une algue bleue symbiotique (*Anabaena*), est en cours d'expérimentation (ADRAO, ISRA, IER) ; elle pose des contraintes d'adaptation des souches aux conditions locales (sols et eaux), et surtout d'enfouissement.

Pour le phosphore, la situation est plus variée : dans la Vallée du Sénégal, les réponses au phosphore sont assez rares, et la fertilisation phosphorée n'est pas systématique ; une fumure, plutôt destinée à corriger les exportations, est recommandée (50-60 unités), mais elle est peu appliquée. Au Mali, on note par contre une réponse assez bonne aux formes solubles (phosphate d'ammoniaque), sans pour autant que l'absence de fertilisation soit grave à court terme ; 45 unités sont recommandées en conditions intensives. A la SEMRY, les réponses sont très variables selon les sols et les sites, les carences les plus prononcées se trouvant dans les sols argileux à nodules calcaires. Le phosphore est certainement l'élément pour lequel la fertilisation doit être la plus étudiée en fonction des conditions locales. La substitution des formes solubles (phosphate d'ammoniaque 18-46-0) par des phosphates naturels (de Matam au Sénégal, du Tilemsi au Mali) présente un intérêt économique certain, mais il se heurte à des problèmes de présentation du produit (pulvérulent), et à sa solubilité parfois limitée dans les conditions de sols des rizières (pH, réduction) ; à l'Office du Niger, les réponses enregistrées au Phosphate Naturel du Tilemsi (PNT) sont faibles, même après plusieurs campagnes ; les essais de granulation et d'attaque partielle effectués par l'IRAT ou la SOFRECHIM pourraient rendre ces phosphates très intéressants si le prix du traitement reste raisonnable.

Pour le potassium, on note partout une situation relativement satisfaisante : les sols alluviaux sont en général assez correctement pourvus, et bien que les exportations du riz soient très fortes, aucune réponse au potassium n'a jamais été notée. Un apport de 60 unités est recommandé au Sénégal, mais aucun paysan ne l'effectue.

D'autres éléments doivent parfois être apportés par la fertilisation. Citons par exemple le cas du zinc : une carence a été notée au Projet Retail de l'Office du Niger lorsque l'on passe en conditions intensives : les teneurs du sol sont très faibles, et les conditions de pH alcalin peuvent dans certains terrains bloquer sa disponibilité. L'apport de sulfate de zinc fournit une très bonne réponse à court terme (doublement de la biomasse en pépinière par exemple), mais son effet ne va pas au delà d'une campagne.

8. Le désherbage

Le mode de désherbage le plus répandu est l'arrachage manuel des adventices. Cependant des essais de désherbages mécanique et chimique ont été effectués, avec des applications pratiques au niveau des paysans dans certains pays. Partout le maintien d'une lame d'eau est un élément capital du contrôle des adventices, et de ce point de vue le repiquage est très intéressant (il donne de plus une avance de végétation importante au riz).

Les méthodes mécaniques correspondent soit à des façons culturales utilisées pour la préparation des sols (double-labour recommandé en culture attelée au Mali, labour profond en début de saison sèche contre le riz à rhizome, travail sous eau), soit à des passages de sarcleuses rotatives manuelles dans la culture ; ce dernier type d'intervention nécessite bien entendu une implantation en ligne, rarement réalisée. Des sarcleuses provenant de Madagascar et de l'IRRI (sarcleuses à cône) sont testées à l'Office du Niger.

Les méthodes chimiques sont actuellement assez variées. Au Sénégal, de nombreux herbicides sélectifs sont disponibles (Jamin J.Y., 1985) ; la plupart sont à base de propanil, éventuellement associé à du benthocarb, du bentazon, du 2-4-5 TP, de l'oxadiazon, du molinate, ou du 2-4 D ; ils sont largement utilisés par les paysans dans les grands périmètres, mais leur efficacité est fonction du choix de matières actives adaptées à la flore adventice, des doses appliquées, et surtout du respect de la période de traitement (stade 2-3 feuilles des adventices en général). Une formulation à base d'oxadiazon spécialement étudiée pour le repiquage existe, et donne de bons résultats ; elle est facile à utiliser, car elle ne nécessite pas de pulvérisateur (bouteilles à vider dans l'eau). Au Mali, les herbicides ne sont pratiquement pas employés par les paysans ; les essais effectués par l'IER montrent que les produits utilisés au Sénégal peuvent donner de bons résultats. A la SEMRY, en repiquage, la formule spéciale repiquage à base d'oxadiazon a été essayée avec de bons résultats.

Deux herbicides totaux peuvent être intéressants en riziculture : le paraquat, qui permet une élimination des riz rouges annuels (et d'autres adventices éventuelles) avant le semis (aucune rémanence, un semis peut suivre très rapidement, par exemple sans travail du sol) et le glyphosate qui permet d'éliminer le riz à rhizome (97 à 99 % d'efficacité dans des essais de l'IER au Mali) tout en ayant une faible rémanence (10 jours environ).

9. Les ennemis des cultures

L'écologie de la zone sahélienne fait que les problèmes entomologiques et phytopathologiques sont beaucoup moins importants qu'en zone soudanienne.

Les foreurs de tige (stem borers) sont les seuls insectes nuisibles assez couramment répandus, sans toutefois représenter en général une menace économique justifiant un traitement systématique des rizières. Les principales espèces sont *Chilo zacconius*, *Maliarpha separata*, *Sesamia calamistis*, *Scirpophaga* sp. ; les attaques sont plus rares en contre-saison qu'en hivernage. Le traitement au carbofuran en pépinière, très économique, permet de lutter contre les coeurs morts au tallage, mais contre les panicules blanches un traitement au champ, beaucoup plus onéreux, est nécessaire.

Certains défoliateurs peuvent faire ponctuellement des dégâts importants ; par exemple au Mali, des chenilles de *Spodoptera* sp. ravagent régulièrement certaines pépinières. Un traitement au carbofuran, à la deltaméthrine, ou avec de nombreux autres produits est efficace ; en repiquage, l'attaque est limitée aux pépinières, car les chenilles ne peuvent survivre en milieu inondé.

Parmi les maladies, la seule qui ait une influence notable dans certaines zones est la pyriculariose. La lutte est essentiellement organisée autour de la résistance

variétale (remplacement de D 52-37 par H 15-23 DA à l'Office du Niger). On note également, sans grande incidence, un peu d'helminthosporiose et de cercosporiose. La mosaïque (ou panachure) jaune du riz (RYMV, Rice Yellow Mottle Virus) commence à faire son apparition dans certaines zones.

Les oiseaux posent un problème très grave dans la plupart des périmètres ; les dégâts sont particulièrement élevés sur les cultures de contre-saison. Les principaux responsables des dégâts à la maturation sont les *Quelea quelea*, *Euplectes* sp., *Ploceus* sp. ; des destructions au parathion sont organisées pour réduire les populations. Certains oiseaux peuvent aussi provoquer des dégâts au semis, en particulier les oiseaux d'eau (canards, etc) sur les semis en prégermé.

Les rats peuvent provoquer de graves dégâts. Les pullulations sont brusques. Les raticides sont efficaces, mais sans pouvoir éliminer totalement la menace.

10. Le machinisme

Le premier problème en riziculture est la mécanisation du travail du sol. Des solutions techniques très variées existent (cf § 5.), et le choix dépend essentiellement de critères économiques. La culture manuelle n'est viable que pour les petites surfaces ; au delà la culture attelée peut être utilisée (Office du Niger), ou la motorisation (grands périmètres de la SAED, SEMRY) ; partout la motorisation a abouti à l'utilisation de tracteurs de fortes puissance (plus de 100 cv) ; cependant depuis quelques années des tentatives de motorisation plus modeste ont été entreprises : tracteurs de 40 à 60 cv, qui semblent les plus intéressants (surtout pour un travail sous eau au rotavator), ou motoculteurs, avec des résultats souvent peu encourageants, en particulier au niveau fiabilité et temps de travaux (SAED, Office du Niger, SEMRY) ; l'utilisation du motoculteur ne semble à retenir que pour le travail à la fraise sous eau.

Des petits matériels d'implantation existent (semoirs et repiqueuses, cf § 6.) ainsi que des sarcleuses manuelles pour le désherbage (cf § 8.)

Pour la récolte, les moissonneuses-batteuses ont été testées, en particulier au Sénégal, mais elles ne semblent pas pouvoir être rentables ; même les petites motofaucheuses ne sont pas très intéressantes. Par contre la mécanisation du battage est partout un succès : si les petites batteuses à pédale asiatiques n'ont pas été appréciées, par contre les batteuses à moteur sont très répandues ; des modèles simples et facilement transportables ont été développés à l'Office du Niger par la coopération néerlandaise ; bien que ne vannant pas, ils sont intéressants car très économiques. Dans de nombreux P.P.I.V., le battage reste manuel, au bâton ou sur des fûts.

Au niveau du décorticage, le marché commande le développement : partout où la commercialisation est libre et le prix du riz attractif, une diffusion rapide des décortiqueuses artisanales est enregistré.

11. Les systèmes de culture et les systèmes de production

Les aspects économiques et les raisonnements en terme d'itinéraire technique, et non en terme de technique isolée, sont de plus en plus pris en compte dans les recherches. Dans tous les périmètres des suivis des budgets de culture sont effectués, ainsi que des suivis des temps de travaux. Il a été plus difficile dans de nombreux endroits de s'intéresser à l'ensemble du système de production des paysans, activités non-rizicoles incluses. Des travaux sont en cours dans ce sens au Sénégal (ISRA) et au Mali (Office du Niger) ; cet aspect semble encore avoir été peu pris en compte à la SEMRY.

12. Conclusion

Il existe de nombreux acquis en matière de riziculture irriguée au Sahel, et beaucoup des résultats de la recherche sont déjà appliqués par les paysans : dans ces systèmes intensifs, le décalage entre la recherche et les techniques paysannes est beaucoup plus faible que dans les systèmes de culture pluviale. Les potentiels de production sont élevés, et les recherches actuelles visent (ou devraient viser) plus à faciliter l'obtention de ces potentiels (souplesse des itinéraires techniques, existence de pratiques alternatives, économie de temps ou d'intrants) qu'à les augmenter. D'où l'importance des travaux menés en matière de systèmes de culture et de systèmes de production, pour faciliter le transfert des acquis et mieux définir leurs conditions d'application, mais aussi pour permettre une meilleure orientation des recherches techniques vers la satisfaction des besoins des agriculteurs.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages de Synthèse

ADRAO, 1989 : Rapport Annuel 1988.

Angladette A., 1966 : Le riz. Maisonneuve et Larose, Paris, 1966.

Bosc P.M., Yung J.M. et al, 1989 : Essai d'évaluation des acquis de la recherche agronomique au regard du développement en zones soudano-sahéliennes. DSA-CIRAD, Montpellier, oct. 1989.

Jamin J.Y. et Caneill J., 1984 : Diagnostic sur les systèmes de culture pratiqués dans le cadre de la SAED sur la rive gauche du Fleuve Sénégal. Tome 2 : Le milieu naturel et transformé. Tome 3 : Les systèmes de culture irriguée

Jamin J.Y., Sanogo M.K., 1989 : Note sur les acquis du Projet Retail de l'Office du Niger en matière de Recherche-Développement. Office du Niger, Projet Retail, Niono, juil. 1989.

Seguy J. et al, 1985 : La recherche agronomique dans la vallée du Fleuve Sénégal. Bilan et diagnostic. ISRA, SAED, FAC, St-Louis, mai 1985.

Documents plus spécialisés

BEAU (Projet), 1981 : Besoins en eau au niveau arroseur. Riz, Canne. Office du Niger, Ségou, Univ. Wageningen, 1981.

Bertrand R., 1985 : Sodisation et alcalisation des sols de l'Office du Niger. IRAT, Montpellier, nov. 1985.

Brenière J., 1976 : Principaux ennemis du riz en Afrique de l'Ouest et leur contrôle. ADRAO, IRAT, Monrovia, 1976.

Coulibaly M., 1988 : Etude de la fertilité des sols du Projet Retail. Mémoire de fin d'études dirigé par Coulibaly G. et Jamin J.Y.. ENSUP, Office du Niger, Bamako, mai 1988.

Coulibaly M., Jamin J.Y., 1989 : Etude sur l'alcalinité et la sodicité des sols du Projet Retail. Office du Niger, Projet Retail, Niono, jn. 1989.

Coulibaly M.M., 1989 : Expérimentation variétale en contre-saison chaude 1989 au Projet Retail. IER, Kogoni, 1989.

Coulibaly M.M., 1990 : Expérimentation variétale en contre-saison froide et chaude 1989/1990 au Projet Retail. IER, Kogoni, 1990.

Courtessole P. et Jamin J.Y., 1982 : Etude en milieu rural d'un système d'exploitation comportant une petite motorisation. Expérimentation d'appui au Projet Ndombo-Thiago. ISRA, SAED, Richard-Toll, juil. 1982.

Dabin, B., 1951 : Contribution à l'étude des sols du Delta Central Nigérien. in L'Agro. Tropicale, nov. 1951

Dembélé B. et al., 1990 : Comm. technique. Malherbologie. IER Bamako, mars 1990.

Deniaud J., 1988 : Mise en place et suivi d'essais fertilisation sur riz irrigué de contre-saison. Elaboration de valeurs de référence. Mémoire dirigé par Jamin J.Y. et Sebillotte M.. INAPG, Projet Retail, Paris, déc. 1988.

FAO, 1977 : Crop Water Requirements. FAO, Rome, 1977.

Geau (Projet), 1984 : Gestion de l'eau. 3 tomes : rapport principal, gestion de l'eau, expérimentation agricole. Office du Niger, Ségou, U. Wageningen, mai 1984.

Godderis W., 1986 : Sélection variétale du riz dans la moyenne vallée du Fleuve Sénégal en rapport avec les contraintes locales. ADRAO, St-Louis, mai 1986

Godon P., 1987 : La recherche variétale en riz irrigué dans l'Extrême-Nord Cameroun : 10 ans d'IR 46. IRA, SEMRY, Maroua, mai 1987.

Godon P., Adamou A., 1988 : Etude des systèmes de production végétale. Mise au point de systèmes alternatifs dans les zones d'intervention de la SEMRY. IRA, SEMRY, Maroua, jn. 1988.

Godon P., Adamou A., 1988 : Fertilisation azotée, bilan. IRA-SEMRY, Maroua, jn. 1988

Godon P., Adamou A., 1988 : Gestion de la matière organique dans un périmètre irrigué. IRA, SEMRY, Maroua, jn. 1988.

IER, 1988 : Expérimentation variétale en contre-saison chaude au Projet Retail. IER, Kogoni, 1988.

IER, 1988 : Observations phytosanitaires sur riz en contre-saison chaude au Projet Retail. Kogoni, 1988.

IER, 1989 : Résultats des essais d'hivernage 1988 au Projet Retail. Cellule Agropédologie. IER, Kogoni, 1989.

IER, 1989 : Comm. Technique Amélioration variétale riz 1988. IER, Bamako, avr. 1989

IER, 1989 : Comm. technique. Cellule agropédologie 1988. IER, Bamako, avr. 1989

IER, 1989 : Résultats des essais de la cellule agropédologie en contre-saison 1989 au Projet Retail. IER, Kogoni, 1989

IER, 1990 : Comm. technique. Cellule agropédologie 1989. IER, Bamako, mars 1990

IRAT, 1978 : Le désherbage des rizières en Afrique de l'Ouest et leurs principales adventices. IRAT, ADRAO, Monrovia, 1978.

IRAT, 1989 : Rapport annuel 1987-1988 du programme Riz. IRAT-CIRAD, Montpellier, sept. 1989.

Jamin J.Y., 1985 : Principaux herbicides utilisés pour le riz par les paysans ou la recherche dans la vallée du fleuve Sénégal. ISRA, St-Louis, nov. 1985.

Jamin, J.Y., 1986 : Propositions d'actions de recherche et de développement pour une meilleure connaissance et une meilleure utilisation du milieu naturel de la Vallée du Fleuve Sénégal. ISRA, St-Louis, nov. 1986.

Jamin J.Y., 1986 : La double-culture dans la Vallée du fleuve Sénégal : Mythe ou réalité ? ISRA, DSA-CIRAD, Montpellier, déc. 1986.

Notteghem J.L. et Baudin P., 1981 : Main rice diseases in West Africa. ADRAO, IRAT, Monrovia, 1981.

Office du Niger, 1985 : Evaluation de la première expérience en vraie grandeur de la double culture du riz à l'O.N. Contre-saison chaude 1985.

Projet Retail : Rapports annuels 1986 à 1988. Comités de Suivi Technique 1 à 10.

Rijks C., 1976 : Agrométéorologie. Développement de la recherche agronomique dans le bassin du Fleuve Sénégal. FAO, PNUD, OMVS, Rome, 1976.

Toujan M., 1980 : Evolution des sols irrigués. Office du Niger, SOGREAH, Grenoble, nov. 1980.

Van Hove C. et al., 1983 : Azolla en Afrique de l'Ouest. ADRAO, Oct. 1983.