

Innovations en aménagement des sols de mangrove pour la riziculture :

Partie 1 - Cas du périmètre de Yangoyah (Guinée)

M. Sow

Centre National des Sciences Halieutiques de Boussoura, BP 3738, Conakry, Guinée.

RÉSUMÉ

Le riz est la céréale de base en Guinée où il est cultivé de façon extensive dans divers écosystèmes. Les possibilités d'intensification existent, notamment dans les basses terres du littoral. Malheureusement tous les schémas d'aménagement pratiqués depuis plus de cinquante ans ont donné des résultats plutôt médiocres. De nombreux échecs sont imputables aux stratégies de gestion des flux hydriques dans ce milieu. Le surdrainage et l'exclusion définitive de l'eau de mer assèchent les terres tout en favorisant une minéralisation brutale de la matière organique et le déclenchement du processus sulfaté acide dans les sols d'estuaire riches en pyrite. La configuration de ces derniers, associée à un marnage important et à une pluviométrie abondante se prête à un mode d'aménagement favorisant la gestion alternée de l'eau de mer en saison sèche et de l'eau douce en hivernage. L'aménagement réalisé reprend et améliore les pratiques traditionnelles des riziculteurs de mangrove. Une des nouveautés est la réadmission de l'eau de mer en saison sèche dans le but d'éviter l'oxydation des sols à sulfures, de les fertiliser par apport de vases marines fraîches et de contrôler le développement d'adventices. Cette pratique est complétée par des digues et un réservoir destinés à sécuriser la disponibilité en eau de submersion, condition première d'une production de riz inondé. Les objectifs de maintien de la productivité et de l'équilibre des terres ont été atteints.

Mots clés

Riziculture, mangrove, sols sulfatés acides, eau douce, eau de mer, Guinée.

SUMMARY

INNOVATION IN LAND DEVELOPMENT OF MANGROVE SWAMPS FOR RICE CULTIVATION. 1- Example of the Yangoyah polder

Rice is a staple food in Guinea, where it is cultivated extensively in various ecosystems. Means of intensive cultivation exist though, especially in the coastal wetlands areas. Unfortunately all land improvement schemes, undertaken for more than fifty years, have given poor results. Most failures are due to poor water management. Over-drainage and exclusion of seawater dried the land. This triggered the mineralization of organic matter and initiated a sulphate acid process in the soils of the estuaries rich in pyrite. The morphology of estuary's plains is associated with high flows of salt water and abundant rainfall. These factors are favorable to a land development based on alternative management of seawater, during the dry season, and fresh water, during the rainy season. This type of land development is simi-

lar to those of traditional mangrove swamp rice growers. It improves the soil. One of the new techniques developed is the re-admission of seawater, during the dry season, to prevent sulphate soils oxidation, to provide fertilizers from the fresh marine silt, and to control weeds. Dikes, and a reservoir to secure the production of lowland rice, complete these techniques. The objectives of securing crop productivity and maintaining soil equilibrium are achieved.

Key-words

Rice cultivation, mangrove swamps, sulphate acid soils, seawater, Guinea.

RESUMEN**INNOVACIONES EN MANEJO DE SUELOS DE MANGLAR PARA EL CULTIVO DEL ARROZ:****1 - El caso del perímetro de Yangoyah (Guinea)**

El arroz es el cereal de base en Guinea donde es cultivado de manera extensiva en varios ecosistemas. Las posibilidades de intensificación existen, particularmente en las tierras bajas del litoral. Todos los esquemas de manejos practicados desde más de cincuenta años han dado resultados más bien mediocres. Numerosos fracasos son imputables a las estrategias de gestión de los flujos hídricos en este medio. El sobre-drenaje y la exclusión definitiva del agua de mar resequen las tierras y favorecen una mineralización brutal de la materia orgánica y el inicio del proceso sulfato ácido en los suelos de estuario ricos en pirita. La configuración de estos asociada a un aporte de margas importante y a una pluviometría abundante permite un modo de manejo que favorece la gestión alternada del agua de mar en estación seca y de agua dulce en estación lluviosa. El manejo usado usa y mejora las practicas tradicionales de los productores de arroz del manglar. Una de las novedades es la admisión de nuevo del agua de mar durante la estación seca para impedir la oxidación de los suelos que contienen sulfatos, para fertilizarlos por aporte de fangos marinos frescos y para controlar el desarrollo de las plantas naturales. Esta practica es completada con presas y una reserva destinada para mejorar la disponibilidad en agua de sumersión, condición primera de una producción de arroz inundado. Se alcanzó los objetivos de mantenimiento de la productividad y del equilibrio de las tierras.

Palabras claves

Cultivo de arroz, manglar, suelos sulfatados ácidos, agua dulce, agua de mar, Guinea.

Le riz (*Oryza sativa* L.) constitue la denrée alimentaire de base de plus de la moitié de la population du globe, notamment en Asie et dans certains pays africains.

En raison de son long passé de culture et de sélection dans des milieux très divers, *O. sativa* a acquis un large éventail d'adaptabilité et de tolérance. Il peut ainsi être cultivé dans des conditions d'eau et de sol très diverses, depuis les terres fortement inondées jusqu'aux coteaux arides. A travers le monde, on a sélectionné et cultivé des variétés qui tolèrent la submersion par les eaux des crues ou la sécheresse, une forte salinité, qui résistent à la toxicité de l'aluminium ou du fer, qui tolèrent les contraintes thermiques... Cette plante est cultivée dans plus de cent pays, à des latitudes et altitudes très variables, sur tous les continents à l'exception de l'Antarctique, depuis le 50° degré de latitude nord jusqu'au 40° degré de latitude sud et depuis le niveau de la mer jusqu'à une altitude de 3000 m (Juliano, 1994).

L'analyse des méthodes de production du riz révèle que les pratiques sont très variables, depuis les très primitives jusqu'aux fortement mécanisées, en fonction de l'écosystème et du niveau d'équipement des producteurs. Ceci explique l'importante variabilité spatiale de rendement allant de quelques centaines de kg.ha⁻¹ en riziculture de montagne ou de plateau à 2-3 t.ha⁻¹ en riz pluvial de bas-fond et jusqu'à 8-10 t.ha⁻¹ dans les conditions de riziculture intensive irriguée.

En Guinée, le riz, base alimentaire du pays, est essentiellement du type pluvial même s'il est cultivé aussi bien sur les versants que dans les bas-fonds intérieurs et les plaines côtières à mangrove. Les faibles rendements imposent des importations massives dans un contexte de forte croissance démographique aggravée par l'afflux de réfugiés du Libéria et de Sierra Leone, voisins déstabilisés par la guerre civile.

Depuis plus d'un demi-siècle, des efforts importants sont consentis pour l'aménagement des basses terres afin d'intensifier la production et de parvenir à l'autosuffisance. De nombreux périmètres aménagés ont été mis en exploitation dans différents écosystèmes, mais les résultats sont mitigés et le déficit persiste même si ces dernières années on enregistre une légère diminution des importations (Hirsh, 2001).

L'intensification demeure donc une priorité et les vastes plaines du littoral offrent de grandes possibilités en raison de leur fertilité potentielle élevée et malgré les fortes contraintes de mise en valeur, notamment la manifestation du processus sulfaté acide.

Les estimations récentes indiquent que dans le monde, il existe environ 24 millions d'hectares de basses terres où dominent les sols potentiellement ou actuellement sulfatés acides, caractérisés par une accumulation plus ou moins importante de pyrite dans leur profil (Van Mensvoort and Dent, 1996)

Dans les mangroves tropicales, la pyrite s'accumule dans les vasières à la fois riches en matière organique, fer et sulfates solubles. En milieu non aéré et avec l'abondance de matière organique, le sol est le siège de processus microbiologiques et chimiques complexes

aboutissant à l'accumulation de FeS₂. La matière organique est fournie par la biomasse souterraine de certaines espèces de palétuviers. Le fer provient des bassins versants où dominent les Oxisols et les sulfates sont abondants dans l'eau de mer qui balaye les vasières au rythme des marées.

Le pH du sol est voisin de la neutralité tant que les conditions de réduction prévalent. Les sols sulfatés acides se développent quand, après drainage, la pyrite est oxydée en acide sulfurique. On observe dans ce cas des chutes drastiques de pH pouvant atteindre des valeurs inférieures à 2, en fonction du taux de pyrite accumulé initialement.

Le principal facteur limitant pour l'accumulation du soufre est le taux de matière organique qui entretient la réduction. Les marais dans lesquels les palétuviers du genre *Avicennia*, à faible biomasse racinaire, se sont implantés en pionniers se caractérisent par une présence négligeable de pyrite dans leur profil et le risque de déclenchement du processus sulfaté acide y est minime. Par contre, les vasières colonisées par les *Rhizophoracées* à système racinaire très abondant sont favorables à l'accumulation de soufre capable de libérer d'importantes quantités d'acide sulfurique lors de son oxydation (Tomlinson, 1957, Hesse, 1961, Marius, 1985).

L'acidification résultant de l'accumulation de la pyrite (FeS₂) et de son oxydation ultérieure demeure le problème le plus crucial dans la majorité des basses terres littorales car il peut provoquer à court terme une stérilisation des périmètres aménagés à grands frais. Le risque est tellement important que certains chercheurs ont conclu à la nécessité de renoncer à l'aménagement des sols potentiellement sulfatés acides (Dent, 1992).

Cependant, de nombreuses observations ont montré que les rizières acides abandonnées sont redevenues productives après une mise en jachère favorisant le retour de la submersion marine. La réadmission de l'eau de mer en dehors de la période de culture pour entretenir la réduction du milieu et éviter la libération de l'acide sulfurique a donc été proposée déjà au début des années cinquante comme alternative à la dégradation de rizières de mangrove en Sierra Leone (Bloomfield et Coulter, 1973). L'eau de mer chargée de vase et de divers sels minéraux, contribue en outre à la restauration naturelle de la fertilité des sols, étant entendu qu'au moment de la culture, il faut disposer de suffisamment d'eau douce pour lessiver les sels nocifs, en particulier le chlorure de sodium. Cette pratique ne peut donc être envisagée que dans des conditions de pluviométrie abondante, comme c'est le cas sur le littoral guinéen.

Plusieurs schémas d'aménagement ont été tentés afin de réaligner ce mode de gestion en Guinée, mais la plupart se sont heurtés à la faisabilité technique du modèle et ont conduit à la stérilisation des terres. Ces échecs sont largement imputables aux nombreuses lacunes concernant la connaissance du fonctionnement hydrosédimentaire du milieu.

Les résultats des récentes investigations pluridisciplinaires permettent aujourd'hui de proposer un modèle destiné aux plaines estuariennes aménagées traditionnellement en petits périmètres vil-

lageois. Le présent travail rappelle le mécanisme général de formation de la pyrite, sa distribution dans les vasières du littoral guinéen et aborde les contraintes pédo-hydrologiques de la riziculture dans ce milieu. Il propose et expose une approche destinée à améliorer le contrôle de l'eau et la fertilité des terres dans une perspective de gestion durable de l'écosystème. Les différentes opérations d'aménagement d'un polder de 10 ha sur des rizières abandonnées sont ensuite décrites en tenant compte des contraintes hydrosédimentaires de gestion de ce périmètre.

LE MILIEU

Données générales

En Afrique de l'Ouest les formations de mangrove constituent un *continuum* dans l'espace baptisé « Rivières du Sud » par les premiers explorateurs (Cormier-Salem, 1994). Dans cet espace, les mangroves de la Guinée (figure 1A) sont typiques à cause de la prédominance d'une dynamique littorale de basse énergie et de conditions hydrométéorologiques particulières.

L'hydrodynamique marine est caractérisée par l'existence d'un large plateau continental qui conditionne un marnage élevé, c'est-à-dire d'un écart de l'ordre de 4 m en moyenne entre la haute et la basse mer, ce qui favorise une importante submersion des terres par l'onde de marée. Sur cette côte de basse énergie, les courants marins mobilisent majoritairement des sédiments fins (essentiellement limoneux) qui, à pleine mer, viennent recharger les vasières et les marais. Le limon réalise ainsi un enrichissement en éléments fertilisants sous forme de divers sels minéraux contenant N, P, K, Ca, Mg... Ces limons contiennent aussi une quantité non négligeable de matière organique. Ainsi la vase n'est pas uniquement un constituant physique du sol, mais une source de fertilisation naturelle et d'enrichissement (Rue, 1995).

Les précipitations sont abondantes, de l'ordre de 4 m.an⁻¹ à Conakry et un peu moins au nord du pays; dans l'arrière pays, la pluviométrie est de l'ordre de 2 m.an⁻¹. Le régime pluviométrique est très contrasté : 80 % des pluies environ tombent entre juin et septembre et 50 % en juillet et août. L'arrière pays étant constitué de hauts plateaux et de contreforts à relief très tourmenté, l'érosion des bassins versants fournit d'importants stocks de sédiments à la côte.

Les conditions sont donc favorables au développement d'une mangrove pratiquement continue du nord au sud, caractérisée par une très forte productivité biologique. Les ressources en bois et en produits halieutiques sont abondantes et les terres sont l'objet de diverses spéculations parmi lesquelles la riziculture occupe une place importante puisqu'elle intéresse la mise en exploitation d'environ 142 000 ha sur les 380 000 liées aux formations de mangrove (Fontana et al., 1995)

Deux types de paysage caractérisent cet écosystème et font l'objet de forme particulière de mise en valeur rizicole.

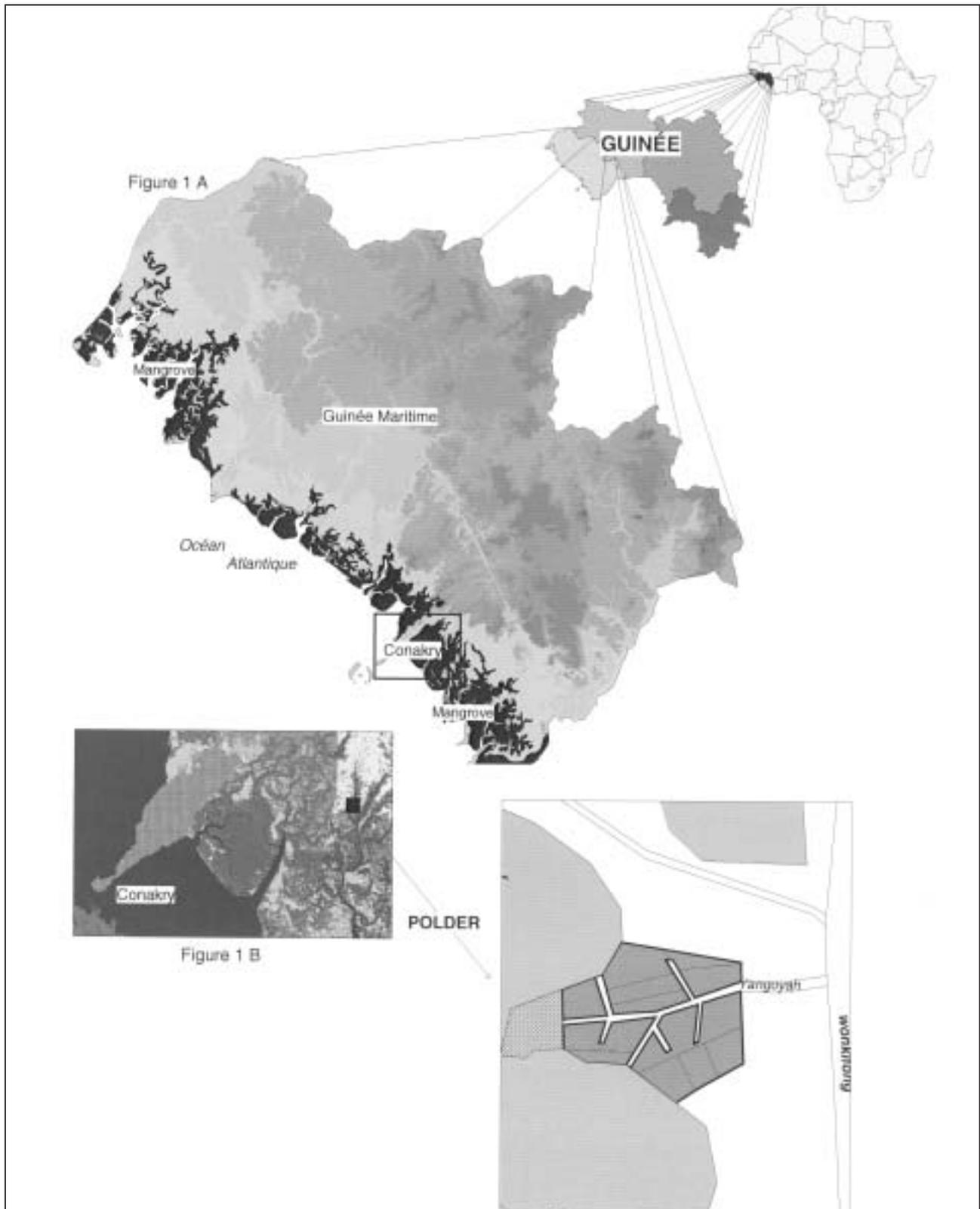
- ① Les mangroves de front de mer constituant de vastes plaines peuplées de palétuviers du genre *Aviennia*, caractérisées par des sols fertiles, à faible teneur en pyrite. Elles sont l'objet d'une inondation importante en hivernage, c'est-à-dire durant la période des pluies. C'est le domaine des exploitations à grande échelle s'intéressant à la mise en valeur de vastes périmètres couvrant, dans l'ensemble, environ 12 000 ha. Le risque d'acidification est minime, mais, compte tenu de leur étendue, leur aménagement nécessite la mise en œuvre de techniques d'ingénierie lourdes et onéreuses. En outre leur mise en valeur rentable exige de gros investissements, notamment la mécanisation et le recours aux intrants agricoles lorsque la fertilité diminue. La pérennité de ces périmètres a toujours été confrontée, entre autres problèmes, à la mauvaise prise en compte de la complexité hydrosédimentaire du littoral guinéen. Il en a résulté une détérioration prématurée des équipements hydrauliques nécessitant des réhabilitations souvent aussi coûteuses que l'aménagement initial. Les investissements importants ont donc rarement été rentabilisés par une augmentation significative des rendements qui, à moyen et long terme, sont restés à peu près identiques à ceux des rizières traditionnelles (Cormier-Salem, op. cit.).
- ② Les plaines estuariennes, découpées par un réseau hydrographique dense et peuplées de palétuviers du genre *Rhizophora*. De plus petite superficie, ces plaines sont caractérisées par des sols également fertiles, souvent plus faciles à drainer, mais qui contiennent de fortes teneurs en pyrite. C'est le domaine des exploitations traditionnelles, petits périmètres de 10 à 20 ha, subdivisés en casiers ou *bougounis* de 3 000 m² environ, et aménagés suivant des techniques manuelles relativement sommaires. Ces *bougounis*, exploités ou abandonnés, couvrent 130 000 ha. De même, pour ces rizières, on constate que les modes d'aménagement et de gestion de l'eau conduisent à des processus de dégradation de la fertilité. Un certain nombre de phénomènes en sont responsables : acidification par oxydation de la pyrite, manifestation de toxicité (fer, soufre...) liée aux difficultés de drainage des casiers, détérioration des aménagements par érosion et/ou envasement aggravée par l'insuffisance d'entretien des ouvrages. Il en résulte un système de riziculture itinérante, de faible rendement et qui, de surcroît, entraîne des défrichements excessifs des formations forestières de mangrove.

Ainsi, l'ensemble des contraintes pesant sur les deux types d'exploitation font que sur les 140 000 ha de rizières aménagées en zone de mangrove, 62 000 ont été abandonnés dont 35 000 sont aujourd'hui stérilisés¹. Les raisons sont multiples et, avant tout, liées aux cycles hydrosédimentaires qui caractérisent ce milieu.

1 : A titre d'exemple, pour la seule zone de la baie de Sangaréah, le Projet Mangrove de Dubréka a estimé que sur les 2800 ha de terres aménagées en *bougounis*, 500 seulement sont aujourd'hui exploités, le reste ayant été abandonné pour cause de salinité, d'acidité, de difficultés de drainage et autres contraintes agronomiques.

Figure 1 - Localisation de la zone d'étude.

Figure 1 - Localisation of the studied area.



Contexte de mise en culture

En Basse Guinée les rizières de mangrove sont confrontées à trois contraintes majeures que sont la salinité, le régime hydrique et l'acidité dans le cas des sols riches en soufre. La salinité est le facteur limitant le plus redouté par les paysans car son effet est immédiat et visible. Une seule intrusion d'eau salée lors d'une grande marée peut anéantir toute la récolte! Tous les schémas d'aménagement sont destinés, en priorité, à lutter contre le sel par l'endiguement périphérique, le casiérage et le réseau de drains servant ensuite à gérer l'eau douce dont les excédants posent également problème.

En effet, si les pluies abondantes sont bénéfiques au dessalement des terres, leur contraction dans le temps provoque de fortes inondations nécessitant le drainage afin d'optimiser le niveau de la lame d'eau dans les rizières². Lorsque les pluies s'arrêtent, les périmètres ainsi aménagés s'assèchent rapidement et les sols sont exposés à une oxydation rapide qui favorise non seulement une minéralisation brutale de la matière organique, mais aussi le déclenchement du processus sulfaté acide dans les sols riches en soufre. L'appauvrissement en matière organique est un handicap majeur nécessitant le recours massif à la fumure organique et minérale pour le maintien des rendements. Dans le cas des sols sulfatés acides, la nécessité d'apport de doses massives de chaux complique davantage la situation dans un contexte économique caractérisé par la pauvreté notoire de la paysannerie (Sow and Barry, 1995).

L'amélioration de la riziculture traditionnelle passe donc nécessairement par la résolution des contraintes qui viennent d'être évoquées afin de favoriser l'optimisation des innovations proposées par la recherche agronomique en matière d'amélioration variétale ou de technique culturale. Le modèle d'aménagement se base sur des observations et déductions en matière de géomorphologie littorale, de génie rural et d'agronomie.

CONCEPTION DE L'AMÉNAGEMENT

Objectifs

Les objectifs généraux sont de favoriser le maintien d'une humidité permanente du sol, son enrichissement en vase marine fraîche et l'optimisation de la gestion de l'eau douce en période de culture. Rappelons que la réaction des sols potentiellement sulfatés acides est voisine de la neutralité et que c'est l'assèchement qui provoque leur stérilisation. Pour l'éviter en saison sèche, la réadmission de l'eau de mer (la seule disponible pendant cette période) s'impose, d'autant plus qu'elle permet, par la vase qu'elle véhicule, de renouveler la fertilité. En outre, cette pratique évite l'accumulation excessive de chlorure de sodium dans le profil du sol provoquée par remontée capil-

laire. Dans ces conditions le dessalement de la couche arable devient plus aisé au moment de la mise en culture, de sorte qu'on crée des conditions de salinité, de fertilité et de pH optimales pour le riz. La gestion de l'eau devient alors la contrainte majeure.

La difficulté de gérer l'eau douce est liée au régime des précipitations et, en général pendant toute la saison de culture, la situation oscille entre l'excès et le déficit. Le problème est de pouvoir drainer l'excédent tout en évitant l'assèchement des casiers. Pour cela il faut disposer d'un réseau de drains fonctionnels et d'une réserve d'eau en amont destinée à l'irrigation par gravité en cas de nécessité. Ce réservoir permet également le curage des drains par effet de chasse en cas d'envasement favorisé surtout par la réadmission de l'eau de mer en saison sèche.

Toutes les améliorations évoquées sont bien connues et parfois utilisées séparément; la nouveauté de la démarche est de les combiner avec l'ambition de mettre au point un modèle d'aménagement le mieux adapté possible à la dynamique littorale du milieu estuarien de Basse Guinée.

PRÉSENTATION DU SITE D'EXPÉRIMENTATION

Le périmètre de Yangoyah est localisé dans une plaine drainée par un petit bras de mer connecté en aval à la Soumbouya et à la Morebaya, deux estuaires proches de Conakry, côté sud. Ces estuaires sont courts mais puissants, car ils drainent un bassin versant qui collecte d'importantes quantités d'eau pluviale à partir des contreforts du mont Kakoulima (*figures 1a et 1b*). Située dans la préfecture de Coyah, à moins de 50 km à vol d'oiseau de la capitale, la zone est densément peuplée, d'où une forte pression sur les terres. Pratiquement toute la forêt de mangrove a été défrichée et convertie en rizières et/ou salines traditionnelles. Dans cette zone où on note une forte proportion de terres abandonnées, la productivité de la plupart des rizières est médiocre, de l'ordre de 500 à 1 000 kg.ha⁻¹ de paddy.

Le domaine, d'une superficie de 14 ha, est la propriété des habitants du village de Yangoyah, sous-préfecture de Wonkifong. Il avait été mis en exploitation il y a une quinzaine d'années et abandonné après acidification. Son acquisition a été facilitée par l'assurance pour les propriétaires de pouvoir exploiter une partie de la superficie réaménagée.

2 : Rappelons que l'objectif est de maintenir en permanence une lame dont l'épaisseur varie suivant les différentes phases végétatives du riz. Ainsi, après la reprise le riz étant de petite taille, une lame d'eau de 5 cm est suffisante et doit être maintenue jusqu'à fin du tallage. A partir de l'initiation paniculaire (mi-septembre) jusqu'à la maturité, une plus grande quantité d'eau doit être stockée parce que l'intensité des pluies commence à baisser.

RÉALISATION DE L'AMÉNAGEMENT

Objectifs

Le premier objectif est de mettre en place un aménagement basé sur le modèle traditionnel auquel on apporte les innovations permettant d'améliorer la stabilité des équipements hydrauliques (digues, drains et vannes). Le second est de permettre de gérer les flux d'eaux douce et salée afin de créer un milieu optimal pour le riz tout en assurant le maintien et l'accroissement de la fertilité des terres. Cette partie met l'accent sur les innovations apportées, les imperfections enregistrées et les améliorations testées au terme d'un affinement de la connaissance du milieu.

L'aménagement comprend :

- les digues de protection autour du périmètre, les diguettes intérieures pour le casierage et la digue amont de retenue d'eau pluviale ;
- les ouvrages de contrôle de l'eau dans les casiers et la réserve ;
- les canaux d'irrigation à partir de la réserve ;
- les siphons de communication entre les casiers contigus.

Les digues

Contrairement aux grands périmètres de front de mer où l'on utilise la latérite compactée pour édifier les digues de protection, dans les rizières traditionnelles d'estuaire le substrat *in situ* est le seul matériau à portée des paysans. Les édifices réalisés sont relativement fiables, mais leur stabilité peut varier en fonction de la granulométrie du substrat, de l'orientation par rapport aux axes de drainage et de la technique de confection des digues. On enregistre régulièrement des éboulements dans les secteurs où le substrat est à dominance sableuse, surtout du sable grossier. Les dégâts sont toutefois limités aux quelques poches sableuses que l'on rencontre dans ces vasières où domine l'argile.

Le facteur d'instabilité le plus important est situé au niveau des lits des estuaires. L'aménagement traditionnel, pour réaliser l'exclusion définitive de l'eau de mer, inclut le barrage du lit du chenal constitué de vase semi-fluide à très faible portance. Malgré des efforts importants de stabilisation, tous les endiguements à ce niveau sont déstabilisés par l'action conjuguée de la marée et des eaux de ruissellement en hivernage. L'état des aménagements antérieurs à Yangoyah indiquait clairement que tous les efforts dans ce sens étaient vains et l'innovation proposée fut de protéger les casiers de l'intrusion saline par des digues latérales longeant les chenaux sans entraver la circulation naturelle des flux hydriques (figure 2).

Pour la confection des digues en mangrove, les paysans utilisent traditionnellement soit la *daba* classique, soit le *koffi*, pelle oblongue à long manche. Les résultats montrent partout que les digues au *koffi* sont mieux compactées et donc plus stables et plus étanches. Son maniement nécessite cependant plus de technicité et il est peu utilisé par les villageois de Yangoyah habitués à la *daba*. Il fut introduit dans le but de démontrer sa supériorité et d'encourager sa vulgarisation.

Les vannes

Les vannes qui équipent les casiers sont conçues sur le principe du clapet anti-retour, étant destinées à assurer la gestion alternée de l'eau de mer et de l'eau douce. Ces ouvrages en béton (figure 3) sont constitués d'un radier, de deux murs et quatre ailes de protection contre l'affouillement. Des blocs de latérite disposés dans le drain servent de disperseur d'énergie pour éviter l'érosion à la base. La fermeture est assurée par une porte basculante en bois de *Terminalia ivorensis* résistant à l'humidité ambiante. L'étanchéité est renforcée par deux rangées de planchettes qui s'emboîtent au milieu du radier, créant ainsi un espace à remplir de vase. La porte est amovible, pouvant être placée côté casier ou côté drain en fonction des objectifs saisonniers de gestion de l'eau. Son fonctionnement est commandé automatiquement par la marée.

En saison sèche, pour admettre l'eau salée, la porte est placée côté casier et la marée montante la pousse pour s'engouffrer dans les terres. Au jusant, la pression de l'eau ayant diminué, la porte se referme et permet de conserver l'eau dans le casier. Cette opération se réalise au moment des vives-eaux et, en assurant une bonne étanchéité grâce à la vase entre les planchettes, la lame d'eau est conservée pendant toute la période des mortes-eaux, puis renouvelée à chaque cycle de vives-eaux pour éviter la sursalure et favoriser la décantation du limon fertilisant.

En saison des pluies, l'objectif étant d'interdire l'intrusion de la marée, la porte est placée côté drain et, pendant le flot, elle est bien plaquée contre le mur de l'ouvrage empêchant toute intrusion de l'eau salée dans la rizière. En cas de nécessité, les excédents pluviométriques sont évacués automatiquement pendant le jusant lorsqu'aucune pression n'agit sur la porte, le niveau de la lame d'eau dans le casier étant réglée par la hauteur des planchettes. La pratique a montré que le système fonctionne bien en un minimum de temps car il suffit d'une demi-heure pour faire fonctionner une vanne dans un sens ou dans un autre.

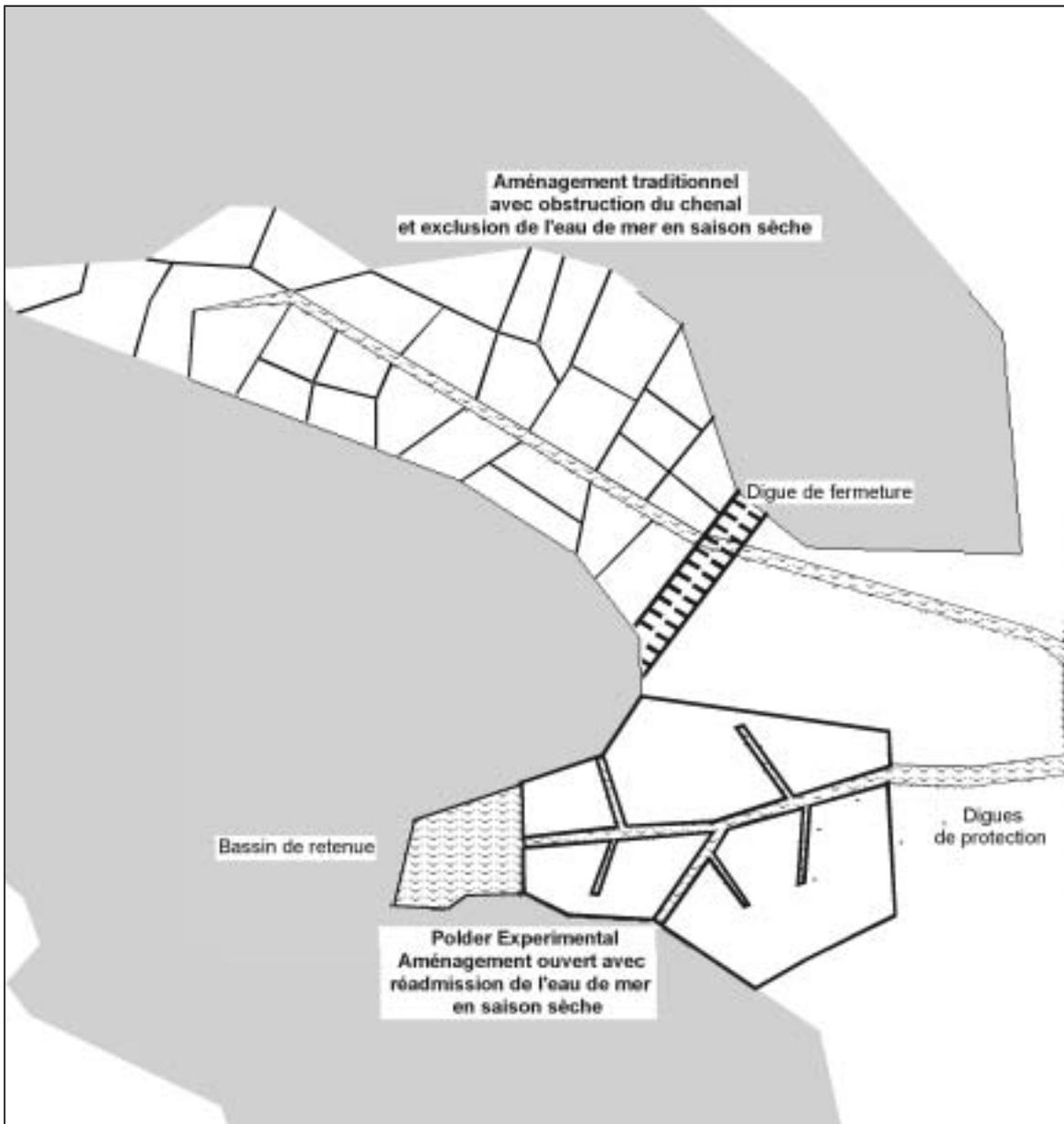
La vanne qui équipe la retenue d'eau douce en amont est destinée à réaliser les effets de chasse qui assurent l'autocurage de l'estuaire en cas d'envasement. Cet ouvrage, en béton armé, est réalisé dans le corps de la digue, au niveau du lit mineur de l'estuaire qui alimente la plaine. Implanté sur un socle latéritique qui garantit la stabilité, il est de type classique comprenant un radier, deux murs, un pilier central, quatre ailes et un système de fermeture à l'aide de planches en bois de *Terminalia ivorensis*. Lorsqu'il est fermé, l'eau peut s'écouler vers les casiers par les canaux latéraux.

Les canaux latéraux d'irrigation

Ces canaux sont destinés à l'écoulement, par gravité, de l'eau douce du barrage vers les casiers lorsque les précipitations sont insuffisantes, soit pour assurer le dessalement avant le repiquage (juillet), soit pour maintenir la lame d'eau au même niveau lorsque les pluies se raréfient en fin d'hivernage (septembre-octobre). Ils constituent une ceinture autour du périmètre sous forme de canaux à ciel ouvert comprenant un radier et deux murs en béton en blocs de laté-

Figure 2 - Périmètre traditionnel et périmètre amélioré du Polder

Figure 2 - Traditional and experimental plots of the Polder



rite. Aux deux extrémités de la digue du barrage et au niveau des casiers périphériques, ils sont équipés d'ouvrages de prise d'eau. Au départ du canal la prise comprend, un bassin de décantation et une vannette de garde munie de planchette en bois réglant le débit dans le canal.

L'eau est admise dans le périmètre grâce aux prises des casiers périphériques qui ravitaillent les casiers intérieurs par des siphons en PVC de deux mètres de long, équipés à l'une des extrémités d'un coude permettant de régler le débit par simple rotation.

Le périmètre ainsi aménagé (*figure 1C*) en six mois de travaux (novembre à mai), couvre 9,2 ha de rizières subdivisées en 15 casiers et 1,6 ha de retenue d'eau en amont. Dès la première année il fut mis en exploitation pour tester son fonctionnement et apporter les corrections nécessaires. Les premiers résultats furent un succès aussi bien au niveau du fonctionnement des équipements qu'en terme de productivité des terres, quoique des améliorations soient indispensables à tous les niveaux. Le diagnostic et la correction de ces imperfections ont fait l'objet d'investigations combinant la sur-

veillance des équipements hydrauliques, le suivi *in situ* de la lame d'eau, de la salinité et du pH du sol, ainsi que des analyses de sol au laboratoire et des essais agronomiques.

Le suivi du périmètre s'est focalisé sur :

- le comportement des équipements hydrauliques par une veille quotidienne destinée à identifier les secteurs endommagés et à tester des solutions de stabilisation ;
- les cycles des flux hydriques étudiés par suivi de la lame d'eau

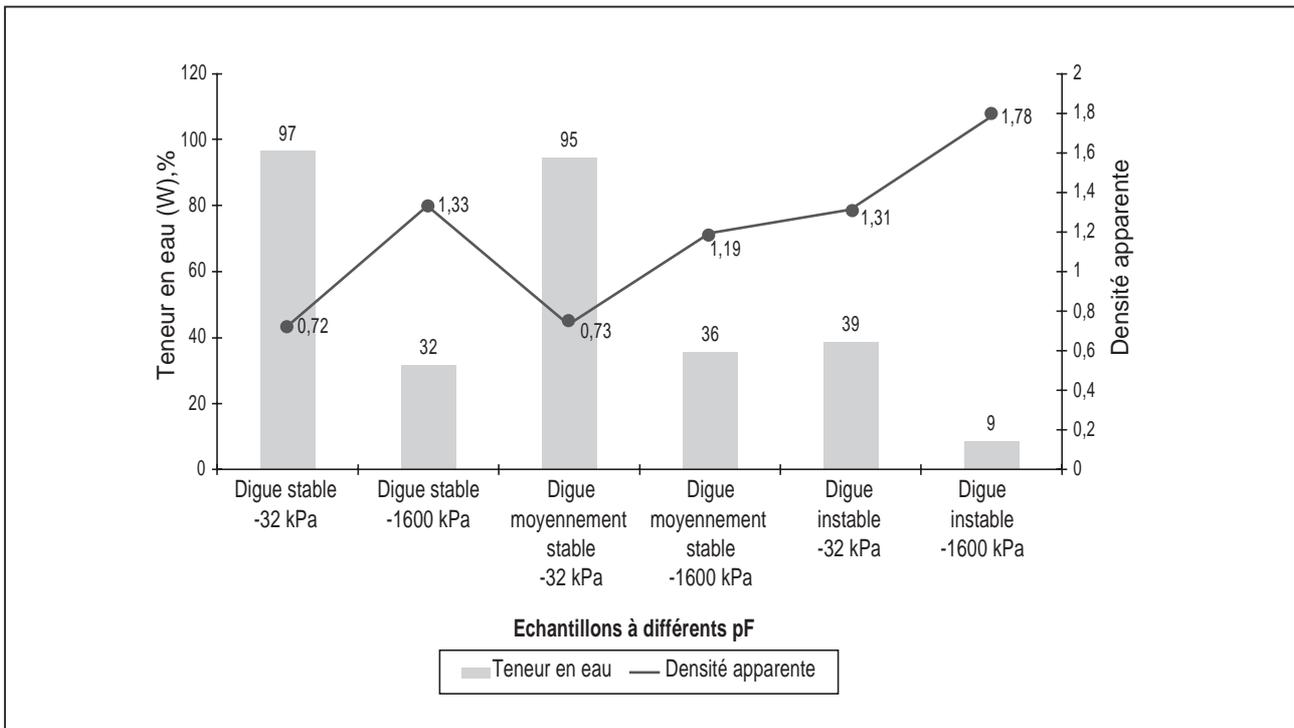
Figure 3 - Vanne à clapet anti-retour, polder de Yangoyah

Figure 3 - *Tanti-return lock gate, Yangoyah polder*



Figure 4 - Comportement physique du matériau des digues de Yangoyah.

Figure 4 - *Physical behaviour of the Yangoyah dikes material.*



dans trois casiers (amont, milieu et aval) sur des échelles géoréférences.

IDENTIFICATION DES FACTEURS D'INSTABILITÉ DE L'AMÉNAGEMENT

La pérennité des dispositifs hydrauliques est conditionnée par la stabilité des matériaux à partir desquels les digues sont construites et la disposition des vannes des casiers.

Importance de la nature du matériau

Les digues sont faites de vase marine, excellent matériau de construction à l'état pur, mais dont la stabilité est souvent compromise par la présence de fortes proportions de tourbe fibreuse et/ou de sable grossier.

Des échantillons de sol et de vase furent prélevés dans le chenal principal, les casiers suivant un transect *amont-milieu-aval* et sur les digues. Au niveau de ces dernières, le critère d'échantillonnage était le degré de stabilité échelonné en digue *stable, moyennement stable et instable*. Il fut procédé à la détermination de la texture et du comportement physique du matériau dans les laboratoires de l'INRA à Versailles et Arras (Sow, 2001).

L'étude du comportement physique montre que la teneur en eau à deux valeurs du potentiel de l'eau (-32 et -1 660 kPa) et la densité apparente varient beaucoup d'une digue à l'autre (figure 4).

Si les digues stables et moyennement stables retiennent fortement l'eau et possèdent une densité apparente faible, la digue instable se caractérise par une rétention de l'eau inférieure aux précédentes avec une augmentation concomitante de la densité apparente.

Ces données sont corrélées avec la composition granulométrique des échantillons (tableau 1). Lorsque la teneur en argile est faible et la proportion de sables élevée, la digue est instable.

La granulométrie est variable d'une digue à l'autre et la stabilité est fonction de l'équilibre textural du matériau. La digue stable contient une importante proportion d'argile, mais aussi du limon fin et du sable grossier. Par contre, la digue de stabilité intermédiaire ne contient pratiquement pas de sable, fraction excédentaire dans la digue instable.

Sur le plan pratique ces informations peuvent être utilisées lors de l'implantation des digues en privilégiant les secteurs de la plaine dont la granulométrie est la plus proche de celle d'une digue stable, c'est-à-dire environ 75 % d'argile, 15 % de limon et 10 % de sable. Dans les secteurs où la granulométrie s'écarte de cet équilibre idéal, il conviendra de prévoir une stabilisation par la technique mise au point par les paludiers de Guérande qui est bien adaptée aux vasières de mangrove (Sow et al.1998).

Elle consiste à :

- planter deux rangées parallèles de perches en bois de palétu-
viers de 2-3 m de long et environ 6 cm de diamètre ; bien
enfoncez dans la vase à l'aide d'une cloche³. La distance entre
les perches sur la même rangée est d'environ 30 cm et l'écar-
tement des deux rangées correspond à la largeur à la base de
la digue ;

Tableau 1 - Composition granulométrique du matériau
des digues (g.kg⁻¹)

Table 1 - Particle size distribution of dikes material

Degré de stabilité	Digue stable	Digue moyennement stable	Digue instable
Fractions			
Limons fins	118	158	65
Limons grossiers	20	25	28
Sables fins	29	2	126
Sables grossiers	82	3	429
∑ limons	138	173	93
∑ sables	111	5	555
Argiles	~750	822	~350

3: La cloche est un tube métallique de 15 cm de diamètre et 60 cm de hauteur, fermé à une des extrémités et munie de deux poignées. Elle pèse environ 15 kg et est facile à fabriquer dans un atelier de chaudronnerie.

- introduire horizontalement des branchages de 3 cm de dia-
mètre sur cette structure verticale, de manière à former une palis-
sade dense ;

- remplir la palissade de vase et bien compacter. Le résultat est
amélioré si la vase est placée dans des sacs en plastique empi-
lés régulièrement.

L'efficacité de ce dispositif est maximale dans les brèches de peti-
te taille, ce qui nécessite d'intervenir avec promptitude pour éviter
l'amplification des éboulements favorisée par les nombreuses gale-
ries creusées par les crabes. Il y a donc nécessité d'une veille per-
manente sur le périmètre, surtout au moment des vives-eaux.
Précisons par ailleurs que cette technique est utilisable seulement
si les secteurs d'instabilité occupent une superficie réduite, ce qui
est le cas dans la plupart des vasières d'estuaire où le modèle
d'aménagement a été testé.

Enfin, la présence de la tourbe fibreuse de *Rhizophora* a pour
effet de favoriser l'effritement et la fragilisation du matériau séché et
l'amplification du phénomène de tassement provoquant l'abaisse-
ment de la cote des digues et l'intrusion des marées de vives-eaux.
La correction de la cote par recharge des digues est une activité de
routine indispensable dans ce milieu.

Importance du séchage du matériau

Une digue réalisée avec un matériau à texture équilibrée et
contenant une faible proportion de tourbe fibreuse peut être très stable
pendant plusieurs années, à condition que la dessiccation soit maxi-
male dès la première année. Le facteur limitant est le temps de sécha-
ge qui est important pour la vase marine gorgée d'eau au départ,
nécessitant une longue période d'exposition au soleil. Les obser-
vations faites à Yangoyah montrent que pour obtenir une stabilité cor-
recte, la période optimale d'endiguement se situe entre mi-novembre
et fin avril, sinon les pluies tardives ou précoces déstabilisent l'édi-
fice. Par ailleurs, il n'est possible de travailler qu'en période de
mortes-eaux, la submersion en vives-eaux ayant le même effet
que les pluies. Toutes ces contraintes diminuent le travail effectif pro-
pice à un endiguement viable comme le montre la figure 5.

Le graphique, réalisé à partir des données de hauteur de marée
et de pluviométrie enregistrées à Yangoyah, montre que pendant la
saison sèche 1998/1999, entre le 20 novembre (arrêt des pluies) et
le 30 avril (fin de la saison sèche), le temps de travail pour un endi-
guement viable est de 75 jours pour un total de 161 que couvre cette
période. Sur la base d'une journée de travail de 7 heures pendant
les mortes-eaux, la norme journalière d'endiguement observée est
de 21 m linéaires de digue/personne. On en déduit que, pour endi-
guer un hectare par jour (400 mètres linéaires de périmètre), il faut
utiliser 20 personnes. Ceci montre bien que la construction de
digues fiables est un travail à haute intensité de main-d'œuvre com-
parable aux opérations culturales.

Instabilité des digues au niveau des vannes

Les vannes en béton qui drainent les casiers sont dimensionnées de manière à avoir un poids minimum supportable par la vase de mangrove semi-fluide. Si elles restent effectivement fonctionnelles et sont capables de résister aux effets de chasse, l'instabilité est reportée au niveau de leur contact avec les digues en vase, notamment lors du drainage des marées de vives-eaux en toute saison et des crues hivernales en juillet-août. On a observé que ce phénomène provoque, à proximité des ailes des vannes, l'ouverture de brèches (figure 6) capables d'assécher le casier en quelques heures. Le renforcement des ailes est assuré d'une part par la technique guérandaïse utilisée sur les digues (figure 7), d'autre part par l'orientation de la vanne dans le sens de l'écoulement des eaux de vidange du casier permettant de protéger une des ailes de la vanne de l'érosion, de sorte que la consolidation par les sacs de sable ne s'appliquera qu'à l'aile opposée soumise à l'effet de chasse des eaux de drainage (figure 8).

CONCLUSION

Dans les plaines estuariennes de la mangrove guinéenne, habituellement utilisées pour la riziculture traditionnelle, les bas-fonds sont de faibles étendues et forment des digitations à l'intérieur du plateau côtier. Cette configuration, associée à un marnage important et à une pluviométrie abondante se prête à un mode d'aménagement favorisant la gestion alternée de l'eau de mer en saison sèche et de l'eau douce en hivernage. L'aménagement est destiné à répondre aux exigences de création d'un environnement favorable à la croissance du riz tout en préservant l'équilibre du milieu, notamment la fertilité des sols. La démarche a consisté à tester des méthodes d'aménagement relativement rustiques ayant permis la mise en place d'équipements hydrauliques plus stables et de faible coût. Les premiers résultats sont concluants en ce sens qu'ils ont permis de :

- améliorer la gestion de la lame d'eau à la parcelle pour une meilleure croissance du riz;
- protéger le riz contre la salinité et/ou les stress hydriques par stockage d'eau douce destinée à l'irrigation;
- prévenir l'acidification des sols en assurant, en saison sèche, une submersion permanente en eau de mer;
- favoriser une restitution naturelle de la fertilité par les sel minéraux et les sédiments contenus dans l'eau de mer.

Le modèle, caractérisé par une haute intensité de main d'œuvre, a été conduit en milieu paysan et en grandeur nature sur une dizaine d'hectares. Il constitue un cadre favorable à des investigations sur les systèmes de production dans un milieu rural où la multi-activité est la stratégie dominante de gestion des risques.

Les actions destinées à conforter ces résultats sont variées et intéressent aussi bien le milieu physique que social :

le milieu physique à travers :

- une évaluation, à moyen et long terme, de la viabilité des équipements hydrauliques,
- une connaissance plus poussée de l'évolution des sols,
- une évaluation des itinéraires agronomiques (variétés, méthodes culturales...) performants,
- la possibilité de diversifier les activités dans et autour du périmètre (pisciculture, maraîchage...),

et le milieu social par une évaluation de l'engagement des villageois à favoriser la diffusion du modèle.

BIBLIOGRAPHIE

- Bloomfield C., Coulter J.K., 1973 - Genesis and management of acid sulphate soils. *In Ad. Agronomy*, 25, Academic press Inc., p 265-326.
- Cornier-Salem M-C, 1994 - Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des rivières du sud. Ed. ORSTOM, 343 pp.
- Dent D., 1992 - Reclamation of acid sulphate soils. *In adv. Soil Sciences*, n° 17. Pp 79-122.

Figure 5 - Calendrier des endiguements pour la période du 1/07/98 au 1/07/99.

Figure 5 - Dam construction calendar for the period July 1st, 1998 - July 1st, 1999.

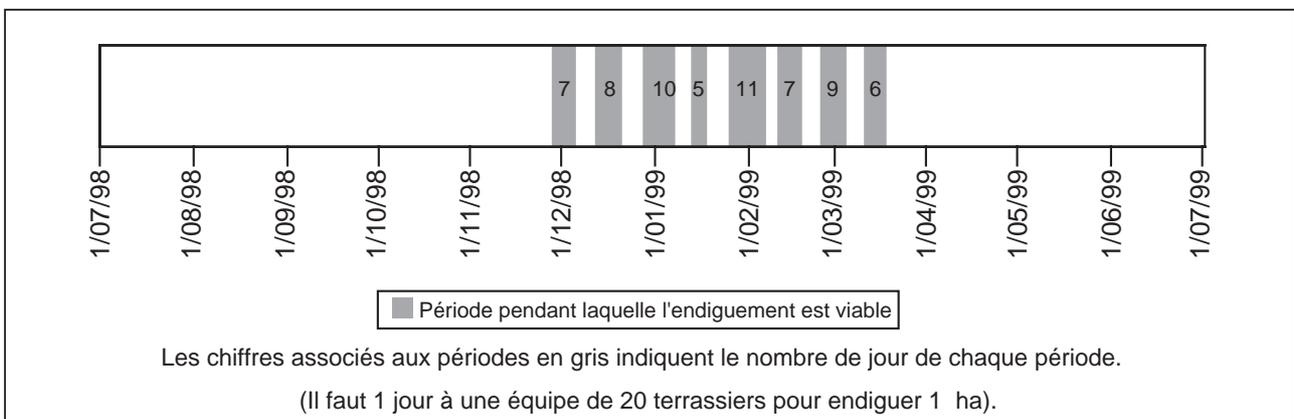


Figure 6 - Ouvrage endommagé par les courants de chasse lors de la vidange du casier. (La concentration du flux hydrique au niveau de la vanne provoque le démantèlement des digues à la jonction vase-béton).

Figure 6 - Works damaged by the water flows during the draining of the compartments. (The concentration of flows at the lock gate, ruins the dikes).

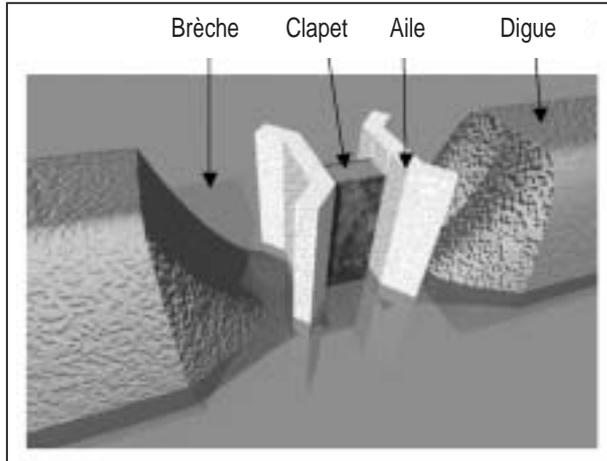


Figure 8 - Nouvelle solution avec réorientation de l'ouvrage:

- imprimer une rotation de 45° à la vanne de manière à respecter le sens de l'écoulement de l'eau,
- élargir les ailes de l'ouvrage.

Résultats : diminution de la pression au niveau du contact vase-béton. Au besoin consolider l'ouvrage comme sur la figure 6.

Figure 8 - Solution for the future.

To make a 45° rotation of the lock gate, in order to respect the flow direction and enlarge the concrete work. The purpose is to lower the contact mud-concrete.

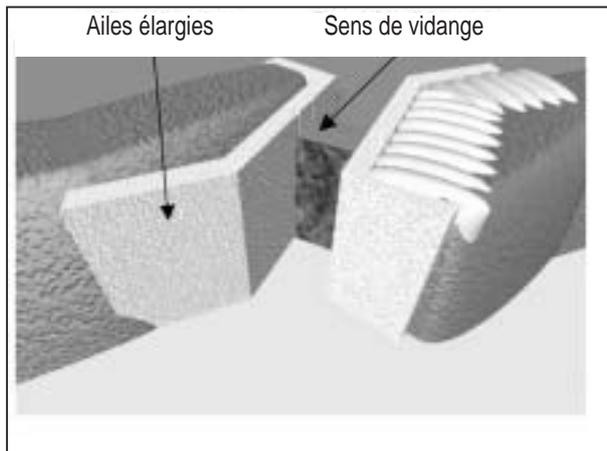
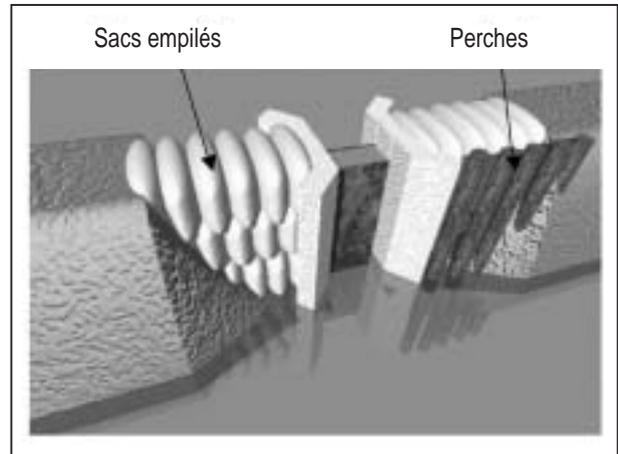


Figure 7 - Solution de réparation de l'ouvrage d'origine :

Comblement des brèches par empilement de sacs de sable et/ou de vase, soutènement par des perches de 3-4 m fichées dans la vase à 2-3 m de profondeur à l'aide de la cloche guérandaïse et recouvrement de l'ensemble par une couche de vase.

Figure 7 - Repair of the breaches with sand and/or mud bags, wooden pole stuck into the mud, 2-3 m deep.



Fontana A, Rue O., Sow M., Bangoura K., 1995 - Actes du séminaire « Quel avenir pour la zone littorale guinéenne ? », 90 pp.

Hesse P.R., 1961 - Some differences between the soils of *Rhizophora* and *Avicennia* mangrove swamps in Sierra Leone. *Plant & soil*, 14 (4), p. 335-346.

Hirsch, R., 2001- Le riz en Guinée ou la difficulté de concilier autosuffisance et lutte contre la pauvreté. Rapport de mission avril/mai 2001 p/c Agence Française de Développement en Guinée, 11 p.

Juliano B.O., 1994 - Le riz dans la nutrition humaine, Collection FAO. Alimentation et nutrition, n° 26, 180 p.

Marius C., 1985 - Mangroves du Sénégal et de la Gambie : Ecologie-Pdologie-Géochimie-Mise en valeur. Ed. ORSTOM. 357 p.

Rue O., 1995 - La mémoire des mangroves ; revue et évaluation des interventions publiques en milieu de mangrove depuis 50 ans. 113 p.

Sow M., 2001 - Quelques propriétés des sols du polder de Yangoyah. Rapport de mission à l'INRA-Versailles, France. 7 p.

Sow M., Barry M.B., 1995 - amélioration de la productivité des rizières acides de mangrove en Guinée au moyen d'amendement calcaire coquillier. 20 pp. In Actes du séminaire « Quel avenir pour les rizières Ouest africaines ? », Bordeaux, France,

Sow M., Camara S., Barry M.B., 1998 - Polder Experimental - Rapport Phase I, Conakry Guinée. 17 p.

Tomlinson T.E., 1957 - Relationship between mangrove vegetation, soil texture and reaction of surface soil after empodering saline swamps in Sierra Leone. *Trop. Agric., Trin.* 34 (1), p. 41-50.

Van Mensvoort, M.E.F., Dent D., 1996 - Review of recent developments in acid sulphate soils research. In *Soil knowledge for farmers, farmer knowledge for soil scientists. The case of acid sulphate soils in the Mekong Delta*. PhD thesis. Wageningen Agricultural Uni. The Netherlands, 135 p.