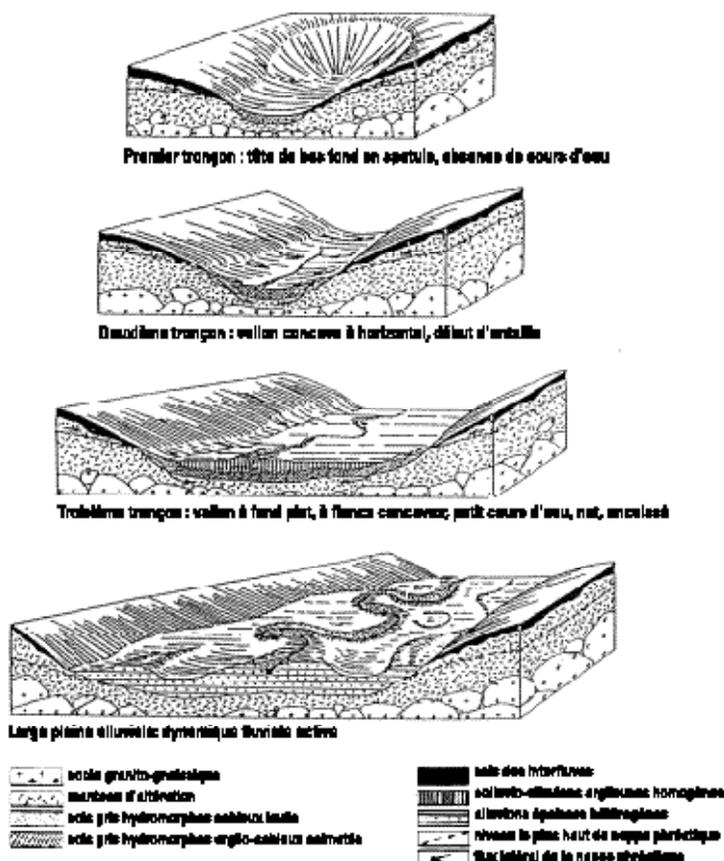


Aménager les bas-fonds : l'exemple de l'Afrique de l'Ouest

À partir d'une contribution de P. Lavigne-Delville (GRET)

Les bas-fonds sont des portions amont des réseaux hydrographiques, dont le lit mineur peu ou pas marqué. Ils sont submergés une partie de l'année par la concentration des ruissellements de surface et parfois par la remontée des nappes superficielles. Les bas-fonds représentent 2 à 5 % du paysage ouest-africain. Ce sont des lieux où, en fonction des conditions agro-climatiques, une culture intensive permanente, parfois avec double culture, est possible.



► Figure 1 : Différenciations d'amont en aval (Raunet 1985)

En Afrique de l'Ouest, les bas-fonds ont longtemps été peu ou pas cultivés, à l'exception de certaines zones, péri-urbaines notamment. Ils sont aujourd'hui davantage mis en valeur, grâce à des aménagements de maîtrise partielle de l'eau qui peuvent permettre de lever certaines contraintes hydriques et d'accroître leur productivité. Ils sont alors souvent cultivés en riz ou en maraîchage et procurent des revenus importants. Mais il est toutefois important de rappeler plusieurs points.

- > *l'aménagement est un moyen au service d'objectifs de production des paysans.* Ce n'est pas l'aménagement qui crée l'intensification, ou l'intérêt économique ; un aménagement ne sera valorisé que là où les conditions économiques le justifient, et où il a un impact technique réel ;
- > *aménager n'est pas nécessairement la meilleure façon de lever les contraintes.* En zone soudanienne, une intensification culturale peut augmenter significativement la productivité des bas-fonds, même sans aménagement ; face aux contraintes d'enherbement, un herbicide de prélevée peut être aussi efficace qu'un ouvrage visant à maintenir une lame d'eau. Avant de décider d'aménager, il faut vérifier d'abord l'opportunité d'un aménagement et ensuite sa faisabilité ;
- > *aménager n'est pas toujours la panacée.* Les impacts des aménagements sont souvent moins importants qu'on ne le croit : parfois on sous-estime les rendements pré-aménagements ou on surestime la part des contraintes hydrauliques dans les performances pré-aménagement ; parfois on aménage des bas-fonds qui ne sont pas aménageables ; parfois on fait des choix inadaptés. Il faut mesurer les risques, ne pas sous-estimer le coût d'opportunité de l'aménagement (qu'est-ce qu'on perd ?) et rester prudent.

Les bas-fonds ont un fonctionnement hydrologique complexe, combinant nappes, ruissellement, crues. Aménager les bas-fonds, c'est proposer aux paysans qui le souhaitent des aménagements, peu coûteux, mais efficaces et simples à gérer, permettant de modifier partiellement les flux hydriques afin de résoudre les principales contraintes qu'ils rencontrent dans leurs modes d'exploitation du bas-fond. Sauf en zones humides, avec écoulement permanent, un aménagement de bas-fonds relève d'une logique de maîtrise partielle de l'eau. Un certain nombre de grands modèles techniques existent, qui permettent de résoudre, de façon plus ou moins satisfaisante, les contraintes identifiées. Ils ont chacun des domaines de validité, et doivent être adaptés à chaque cas de figure.

Chaque bas-fond est en effet en partie spécifique et certains bas-fonds ne sont pas aménageables. Le travail de l'aménagiste et du projet de développement consiste à élaborer, avec les paysans, un aménagement adapté, qui soit techniquement efficace pour lever les contraintes, et qu'ils soient à même de gérer. Cela demande de faire le lien entre :

- > des demandes paysannes, plus ou moins explicites au départ. Une partie du diagnostic initial vise à les préciser : est-ce pour sécuriser une production de riz, pour intensifier dans une logique commerciale, pour abreuver le bétail, pour faire du maraîchage de saison sèche ?
- > une compréhension du fonctionnement hydrique du bas-fond ;
- > une connaissance des modèles techniques disponibles et de leur domaine de validité.

La décision d'aménager résulte d'un compromis entre coût, technicité, impact prévisible et incertitudes, dans un contexte économique et social donné. À partir du moment où elle engage les paysans, cette décision doit être élaborée en commun avec eux. Cela suppose que la démarche de préparation leur ait permis de maîtriser les tenants et aboutissants du projet : raisons des choix techniques, effets positifs et négatifs prévisibles, coûts et risques.

Les contextes sont très différents d'une région agroclimatique à une autre et les référentiels techniques n'ont qu'une validité régionale. En outre, les démarches d'intervention et les modèles techniques évoluent rapidement. Il est donc important de se renseigner sur les expériences dans la région : là où un nombre significatif d'expériences existe, comme en Afrique soudano-sahélienne, des outils de diagnostic rapide et d'aide à la décision fondés sur des paramètres précis ont été élaborés. Ailleurs, une analyse préalable plus fine sera nécessaire pour éviter les paris hasardeux.

Ce texte traite surtout de l'Afrique de l'Ouest. Pour d'autres régions, la grille d'analyse des bas-fonds sera un outil, mais les modèles techniques seront parfois largement différents. Outre les différences de milieu, les savoir-faire locaux en matière de maîtrise de l'eau sont un paramètre important : en Asie du Sud-Est, à Madagascar, rares sont les cas où l'intervention de spécialistes du génie rural est nécessaire.

Cet article s'adresse à des agronomes ou agents de développement concernés par les aménagements, mais il ne rentre pas dans le détail des questions de génie rural qui relèvent de spécialistes. Des manuels, ouvrages et cédéroms récents font le point sur ces questions et proposent un état de l'art technique et méthodologique. L'ÉTSHER et l'EIER à Ouagadougou travaillent aussi sur ces questions.

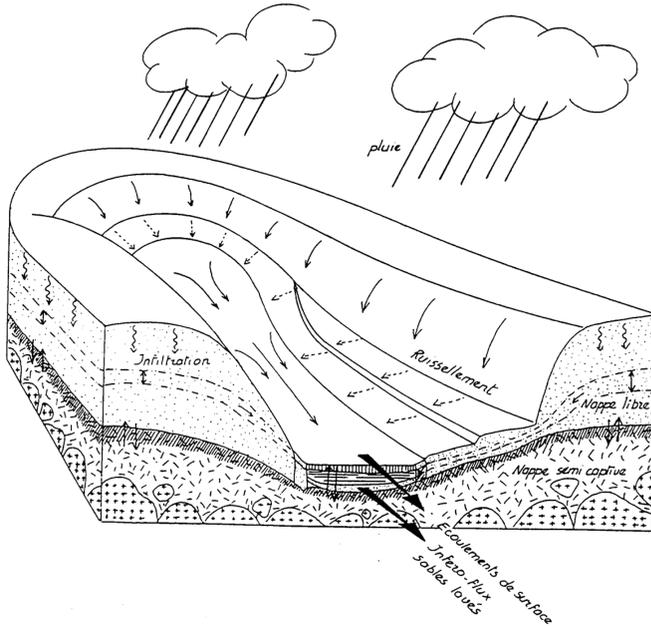
AMÉNAGER : ÉTAPES ET DÉMARCHE

● *Modifier les flux hydriques*

Pour les paysans, l'objectif d'un aménagement est économique : réduire ou contrôler les risques liés à l'eau, accroître la productivité du travail. Pour atteindre ces objectifs, l'aménagement doit modifier la forme et la dynamique des flux hydriques au niveau d'une section de bas-fond cultivé, voire à celui de la parcelle ou d'un ensemble de parcelles. Les types de risques et leur ampleur dépendent du type de production, de la zone agroclimatique et de la saison. Au sein d'une même région, ils dépendent de la configuration particulière du bas-fond concerné.

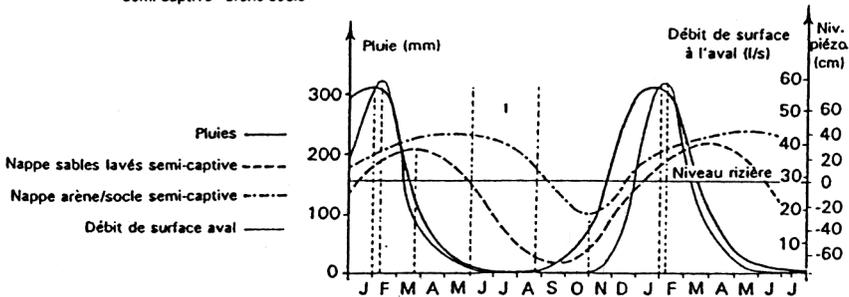
L'alimentation en eau du bas-fond est multiple : pluie, ruissellements de surface, fluctuations des nappes phréatiques. Les écoulements y sont à la fois superficiels et souterrains. Le fonctionnement hydrologique du bas-fond est donc complexe. Les nappes, superficielles ou d'altérites, répondent avec un certain retard aux épisodes pluvieux.

Les écoulements permanents sont rares en dessous de 1 500 mm de pluviosité. Le lit mineur, lorsqu'il existe, est en relation avec la nappe superficielle en hivernage, les écoulements de surface qu'il concentre contribuent en général à recharger la nappe. Inversement, il sert parfois de drain en fin de saison des pluies, et contribue alors à vidanger la nappe superficielle.



► Figure 2 : Fonctionnement hydrologique d'un bas-fond (Legoupil et al, 2001)

Drainance ascendante maxima de la nappe semi-captive "arène-socle" ①

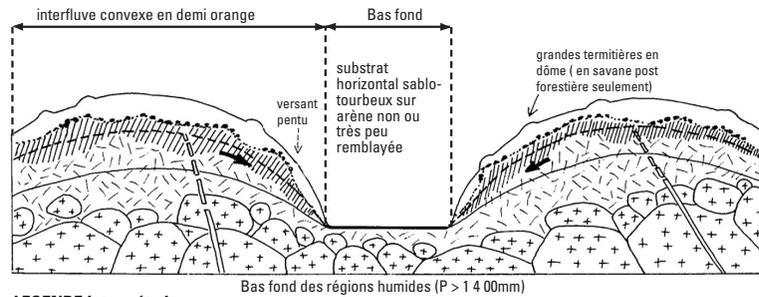
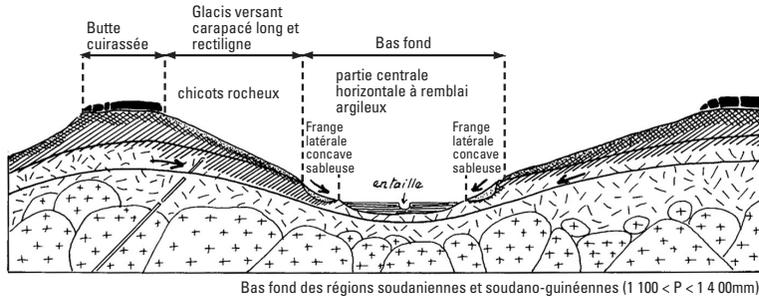
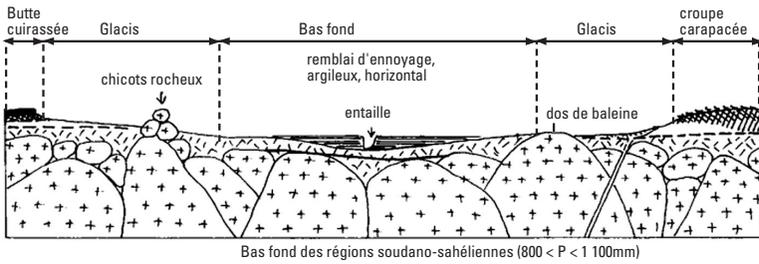


► Figure 3 : Dynamique des nappes à Ambohitrakoho (Raunet, 1993)

Par un aménagement, on peut intervenir :

- > sur la forme des crues : épandage par submersion d'un seuil ou à travers des digues filtrantes, vidange accélérée, etc ;
- > sur le stockage en surface : en amont d'un ouvrage ou à la parcelle grâce au casiérage ;
- > sur la dynamique de la nappe : accroître l'infiltration, réduire sa descente en fin de saison des pluies par des barrages souterrains ou en bloquant le lit mineur ; drainer pour rabattre la nappe.

La morphologie des bas-fonds et leur hydrologie sont très différentes selon les zones agro-écologiques et le substrat géologique, ce qui entraîne des types d'aménagements différents. Au sein de ces grands types régionaux, la morphologie de chaque bas-fond doit être identifiée pour ajuster les choix techniques.



LEGENDE interprétative

-  Socle granito gneissique classique, à filons de quartz non altéré.
-  Arène argilo-sablo-mocacée (roche pourrie), principal réservoir aquifère généralement imbibée en permanence par la nappe phréatique.
-  Argile tachetée ferrugino-kaolinique (plinthite) à particules sub-horizontaux. Zones de fluctuation et de circulation latérale de la nappe phréatique.
-  Carapace ferrugineuse (plinthite indurée), ancienne zone à fluctuation de la nappe phréatique actuellement rabattue et n'affectant plus ce matériau.
-  Cuirasse ferrugineuse (alvéolaire en profondeur, pisolitique ou conglomératique en surface) armant les buttes témoins de surfaces anciennes.
-  Nappe de gravas ("stone line") à débris quartzeux et/ou ferrugineux, ondulée ou festonnée, mais globalement parallèle à la surface topographique.
-  Matériaux de recouvrement de la "stone line" argilo-limo-sableux, coloré (rouge, ocre ou jaune), d'épaisseur variable (jusqu'à 4m). Horizon B des sols ferrallitiques, probablement remanié biologiquement (remontées par les termites).
-  Matériaux sableux (souvent à sables grossiers) hydromorphe grisâtre, résultant de la dégradation du lavage et de la décoloration de la plinthite par l'action des fluctuations et circulations latérales de la nappe phréatique.
-  Matériau gravillonnaire (sols ferrugineux tropicaux appauvris, gravillonnaires) résultant de la dégradation physico-chimique de la carapace ferrugineuse sous-jacente par des ruissellements hypodermiques, les actions des racines et des termites.
-  Matériaux "planique" limono-sableux de 20 à 40 cm d'épaisseur, lavé et blanchi par la dégradation de l'argile montmorillonitique sous-jacente développée sur arène sablo-micacée en place (roche pourrie). Présence d'une discontinuité texturable brutale (planosol).
-  Argile montmorillonitique de teinte grise à olive foncée au sein de l'arène sablomiacée (roche pourrie). Niveau imperméable qui maintient fréquemment en charge la nappe phréatique sur le bas fond.
-  Remblaiement colluvio-alluvial brun à grisâtre, tacheté, à dominance argileuse kaolinique.
-  Niveau tourbeux, semi-tourbeux à hydromor, constamment engorgé.
-  Nappe phréatique d'altérite à son niveau le plus bas (étiage).
-  Nappe phréatique d'altérite à son niveau le plus haut.
-  Mouvements latéraux de la nappe phréatique en saison des pluies.

► Figure 4 : Différents types de bas-fonds (Raunet, 1985)

● **Aménager en réponse à des demandes définies**

Un aménagement adapté n'est pas celui qui valorise au mieux les « potentialités » d'un site ; c'est celui qui permet aux paysans de produire davantage, ou à un moindre coût, et d'améliorer leurs conditions de vie en fonction de leurs priorités. En milieu paysan, le travail de l'aménagiste consiste à proposer, à partir d'une demande précise, la ou les solutions techniques qui permettent d'y répondre, à en préciser les coûts et les impacts prévisibles, éventuellement à proposer des alternatives si le bas-fond en question se révèle impossible à aménager.

Travailler avec le ou les demandeurs pour préciser les contraintes rencontrées, les finalités souhaitées pour un éventuel aménagement, les alternatives possibles, représente un travail à part entière. De plus en plus souvent, ce travail est confié à des équipes spécifiques d'appui à la maîtrise d'ouvrage locale, disposant d'un savoir-faire d'animation et ayant le temps d'accompagner la progression de la réflexion avant de mobiliser, si besoin, des spécialistes du génie rural pour les études techniques et la réalisation. Cette division du travail permet de donner aux spécialistes du génie rural un cahier des charges clair et évite de tomber sur une solution technique standard, qui ne correspond pas nécessairement aux attentes des paysans. Elle permet également une meilleure qualité du travail.

Quand y a-t-il besoin de spécialistes du génie rural ?

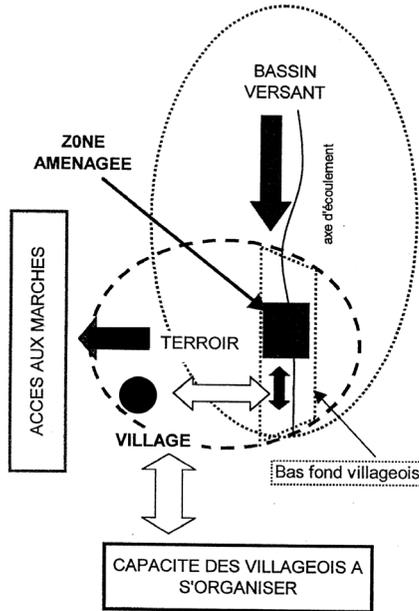
En zones humides, l'aménagement est essentiellement en terre, il se dimensionne qualitativement, il s'ajuste d'année en année. Une bonne connaissance qualitative du fonctionnement hydrologique du bas-fond à partir de questions clés, un peu de topographie, une implantation sommaire, suffisent souvent. Là où les paysans disposent de savoir-faire hydrauliques, ils aménagent sans levé topographique. Un spécialiste du génie rural aura tendance à proposer des ouvrages en dur, pas toujours nécessaires, ou à réaliser des études de crues, inutiles et peu fiables dans ce contexte. L'application de modèles de maîtrise totale de l'eau risque même d'aboutir à des échecs graves.

En zones plus sèches, où les crues sont fortes, un dimensionnement plus complexe est indispensable. Les ouvrages importants, en béton ou en pierres sèches, doivent respecter des normes strictes pour résister aux crues. Le recours à des spécialistes pour des études techniques et le chantier est indispensable.

● **Identifier les stratégies et les contraintes hydriques**

Sur un bas-fond donné, l'objectif du diagnostic est de construire une compréhension globale de son fonctionnement hydrologique et de ses modes d'exploitation, pour engager la discussion avec les paysans sur les contraintes rencontrées et les objectifs d'un éventuel aménagement qui, le cas échéant, serviront de base aux études techniques de conception de l'aménagement.

Comme espace physique, la partie du bas-fond à aménager (éventuellement) fait partie d'un bassin versant et d'un réseau hydrographique. Comme espace productif, il s'inscrit dans des terroirs villageois, et dans les systèmes de production des paysans qui y ont accès. Comme espace social et foncier, il s'intègre dans des trames foncières plus larges. Un diagnostic doit prendre en compte ces différentes dimensions.



► Figure 7 : Place du bas-fond dans un terroir (Lidon et al, 1998)

Le diagnostic se réalise de façon itérative, en dialogue avec les producteurs concernés. La première étape est une caractérisation sommaire du bas-fond, base des discussions ultérieures.

● Identifier les stratégies d'exploitation

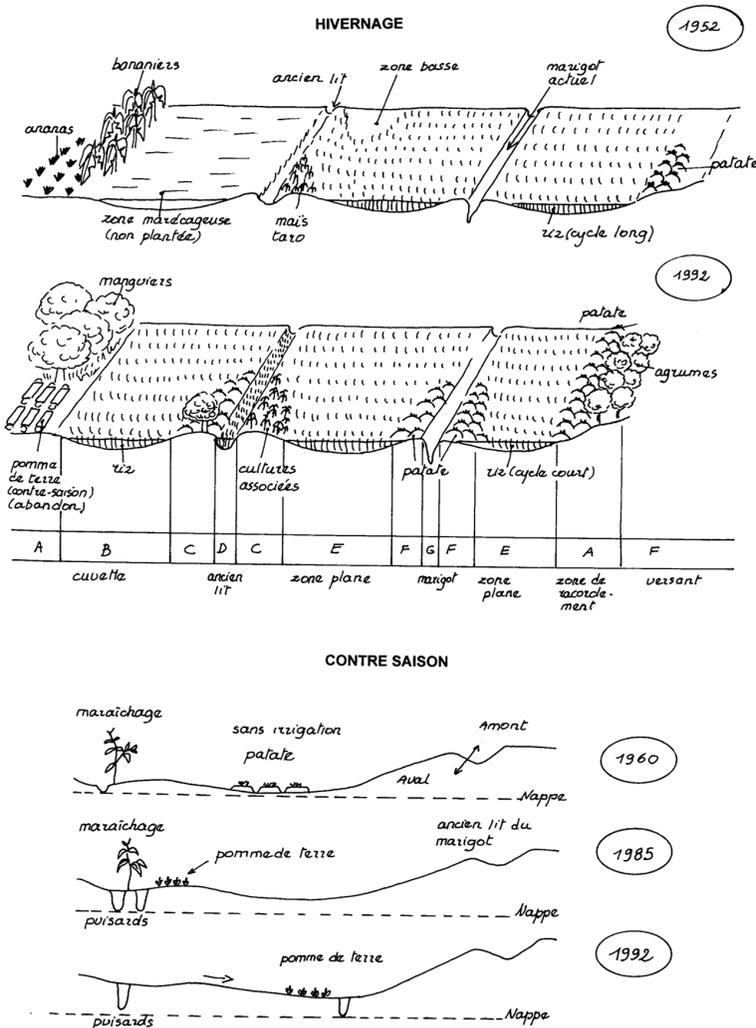
Les bas-fonds ne sont pas toujours le lieu d'une agriculture intensive. En Afrique de l'Ouest, rares sont les endroits où ils sont cultivés intégralement.

Ce sont souvent des espaces multi-usages, où différents modes d'exploitation se combinent de façon dynamique :

- > pâturage de saison sèche dans les larges bas-fonds déboisés, jouant un rôle essentiel dans les systèmes pastoraux ;
- > sorgho vivrier, assurant une sécurité alimentaire en cas d'échec des cultures pluviales, en zones sahéliennes et sahélo-soudaniennes ;
- > culture de tubercules (patate douce, manioc, igname) sur buttes, en zones soudaniennes et guinéennes ;
- > riziculture inondée, permanente ou temporaire, avec ou sans maîtrise de l'eau, en zones soudaniennes et guinéennes ;
- > collecte de plantes médicinales, de bois, et exploitation pour l'artisanat dans les forêts-galeries des bas-fonds sahéliens et soudaniens, dans les bas-fonds boisés des zones humides ;
- > exploitation du raphia, aux forts enjeux économiques (fibres, bois de construction, vin) ;
- > pêche ou pisciculture dans les mares et retenues ;

> et plus récemment, maraîchage de saison sèche, avec différents modes d'accès à l'eau selon la profondeur de la nappe en saison sèche (humidité résiduelle, puits ou puisards, pompage dans une retenue, dérivation à partir du lit mineur en cas d'écoulement permanent).

Identifier les usages actuels, les localiser, reconstituer leur évolution, savoir qui les met en œuvre, permet de ne pas se polariser sur le riz et de prendre en compte l'ensemble des modes de mise en valeur (le pâturage de saison sèche en zone sahélienne, l'exploitation des raphias ou des forêts galeries en zones humides, peuvent être tout aussi intéressants). Tout aménagement a un coût d'opportunité : la perte des raphiales, l'inondation de vergers, l'exclusion du bétail, peuvent avoir un coût supérieur aux gains liés à l'aménagement. Il est important de comprendre la façon dont les paysans valorisent la diversité des conditions pédologiques et hydriques et de repérer les dynamiques en cours et donc les centres d'intérêt, et en particulier ceux des paysans demandeurs.



➤ Figure 8 : Localisation et dynamique des cultures dans le bas-fond de M'Péniasso (Hourdillie, 1993)

Il faut également identifier les usagers et les détenteurs de droits fonciers dans la zone à aménager. Un aménagement couvre rarement la totalité d'un bas-fond. C'est une portion définie qui sera aménagée, sur laquelle s'exercent des usages et des droits définis. Identifier ces ayants droits permet de savoir avec quels groupes d'acteurs approfondir le diagnostic et discuter des objectifs à donner à un éventuel aménagement, et repérer ceux sur lesquels l'aménagement aura éventuellement un impact : acteurs exerçant d'autres usages, agriculteurs d'amont ou d'aval touchés par les répercussions de l'aménagement, etc.

On cherche ensuite à répondre, pour les principaux modes d'exploitation actuels, aux questions suivantes : quels sont les acteurs impliqués ? Pour quelles cultures ? Quelle est la place de ces cultures dans l'économie familiale et dans la gestion de la force de travail ? Quels sont les itinéraires techniques pratiqués et leur évolution (cf. chapitre 421) ? Quelles sont les causes de cette évolution ?

Les cultures de bas-fond posent des problèmes de pénibilité du travail. Elles sont souvent secondaires dans des systèmes de production organisés autour des cultures pluviales¹. L'enjeu économique des bas-fonds s'accroît lorsque la pression sur la terre augmente, et lorsqu'il existe des débouchés pour des productions spécifiques, valorisant les conditions hydriques du bas-fond : riz, tubercules, maraîchage. Il peut se lire à travers les stratégies économiques et les itinéraires techniques des différents types d'acteurs : chefs de famille, jeunes hommes, jeunes femmes, femmes âgées ; migrants ou autochtones.

Exemples en Côte d'Ivoire et au Mali

En Côte d'Ivoire, dans le centre-ouest (zone guinéenne), l'intensité culturale en riziculture varie entre 0,15 (culture une année sur sept environ) en brousse et 2,5 (5 cycles sur 2 ans) en péri-urbain. Dans la région de Sikasso (Sud Mali, zone soudanienne), on rencontre aussi bien une riziculture « compétitive », contrôlée par les hommes, dans les bas-fonds bénéficiant de bonnes conditions hydriques et proches des marchés, qu'une riziculture « résiduelle » laissée aux femmes.

Le diagnostic, qui croise observations de terrain et entretiens approfondis avec les différents types de producteurs impliqués, permet de préciser l'enjeu économique de la culture de bas-fonds. Là où cet enjeu économique est réel, il est lié :

- > aux caractéristiques des systèmes de culture pratiqués :
 - cultures de sécurité, garantissant une production céréalière en année sèche : sorgho en zone sahélo-soudanienne; mais aussi tubercules, et même riz en Moyenne Guinée ;
 - cultures de rente, parfois principale source de revenus monétaires ;
 - productions décalées dans le temps par rapport aux cultures pluviales, permettant une meilleure gestion du calendrier de travail, et un étalement des revenus dans l'année ;
- > aux acteurs concernés : là où les chefs de famille s'en désintéressent, les bas-fonds permettent un accès à la terre aux « groupes vulnérables » (femmes, jeunes, chefs de famille pauvres, parfois migrants).

¹ Inversement, sur les hautes terres malgaches (ou en Asie du Sud-Est), certaines paysanneries disposent de savoir-faire hydrauliques, et leurs systèmes de production sont organisés autour de la culture du bas-fond.

Ce diagnostic permet également de repérer les attentes des différents types de producteurs. Il constitue la base pour discuter l'opportunité de l'aménagement et les objectifs techniques qu'il doit remplir : quelles sont les contraintes techniques rencontrées par les producteurs ? Quelle est la part des contraintes hydriques ou liées au fonctionnement hydrique du bas-fond ? Travailler sur la maîtrise de l'eau est-il pertinent, par rapport à quelle contrainte ?

Des contraintes de fertilité ?

Les sols de bas-fonds sont de texture variable, souvent sableux, parfois lessivés, de faible richesse minérale, avec des variations selon la topographie et l'hydrologie. Sur substrat gréseux, ils sont acides, de faible CEC, avec des risques de toxicité aluminique ; sur substrat basaltique, ils sont au contraire de pH presque neutre, riches en Ca et Mg. En zones humides, on rencontre fréquemment des sols pauvres, avec un horizon organique peu minéralisé, et des sables gris lessivés dessous.

Le fonctionnement physico-chimique des sols de bas-fonds dépend de l'alternance et de la durée des phases de submersion et d'exondation. En climat humide, le passage en phase anaérobie (inondée) provoque une remontée du pH et une réduction des ions, dont certains deviennent solubles, et donc assimilables. Ceci permet une meilleure alimentation minérale, malgré une faible CEC, mais peut provoquer des risques de toxicité ferreuse. L'assèchement en fin de saison des pluies entraîne inversement une oxydation, une acidification, avec parfois un lessivage, tant horizontal que vertical, des ions Ca^{++} et Mg^{++} , et parfois une toxicité aluminique. Ces processus sont plus marqués dans les sols sableux, acides, à faible richesse organique. Ils peuvent disparaître avec des amendements. La présence d'argiles et la matière organique permettent de tamponner ces phénomènes. La dynamique de la matière organique est elle aussi fonction des conditions hydriques : bloquée en phase anaérobie, la minéralisation reprend en phase aérobie.

● Le diagnostic hydraulique

Il vise à repérer la morphologie du bas-fond et les grandes lignes de son hydrologie. Un minimum de levés topographiques (profil en long, quelques profils en travers) sont utiles pour préciser l'analyse. Selon sa complexité, ce diagnostic peut être réalisé par les équipes d'appui à la maîtrise d'ouvrage, ou bien devoir être confié à des spécialistes. Un diagnostic qualitatif général, à partir de photos aériennes et de visites du bas-fond avec les paysans, permet le plus souvent de caler le champ des possibles et de définir les grands types d'ouvrages. Il comprend la caractérisation :

- > de la structure du paysage et de la morphologie du bas-fonds au sein du bassin versant ;
- > des éléments-clés du fonctionnement hydrologique : le plus délicat concerne la dynamique des nappes, qui n'est perceptible que de façon indirecte : affleurement, écoulements dans le lit mineur ou tarissement, observation des puits ou puisards proches, etc.

Seuls certains types d'ouvrages, avec béton et crues importantes, nécessitent une étude technique approfondie, indispensable pour vérifier la faisabilité de l'aménagement et dimensionner l'ouvrage. Lorsque des référentiels régionaux existent, le diagnostic peut être rapide et porter sur un nombre limité d'indicateurs dont la pertinence a été vérifiée.

Le DIARPA, une méthode de diagnostic rapide pré-aménagement

Dans la région de Sikasso, au Mali (zone soudanaïenne), le CIRAD a mis au point une méthode de diagnostic rapide pré-aménagement (DIARPA) qui devrait être valable pour les zones sahélo-soudanaïennes. Il permet de définir le type d'aménagement possible, en fonction de quelques paramètres pédologiques, topographiques et hydrologiques, et d'estimer le coût de l'ouvrage. Un logiciel de DIARPA a été mis au point. L'IRD et l'EIER travaillent à la mise au point d'un logiciel de calcul des crues en zones sahéliennes et soudano-sahéliennes, qui sera une aide inestimable.

● ***Anticiper les enjeux fonciers et les questions d'action collective***

Tout bas-fond est un espace socialisé, approprié, et ses différents modes de mise en valeur font l'objet de règles d'accès et de gestion. Un aménagement n'est jamais réalisé en terrain vierge (cf. chapitre 231). Il transforme le statut et la valeur de la terre, il peut être une façon de consolider des droits sur l'espace à aménager, ou au contraire d'en conquérir. Spécialisant l'espace, modifiant les flux hydriques, il aura des effets sur les différents usages (pâturage, vergers de bas de pente), et donc sur les différents usagers.

Il n'y a guère d'aménagement sans enjeu foncier. Il faut donc, préalablement à tout aménagement, clarifier s'il y a ou non redistribution foncière et selon quelles modalités, en négociant le devenir de ceux qui exploitent en faire valoir indirect, en négociant avec les usagers potentiellement lésés, en précisant les règles d'accès à la ressource (limitation des zones de culture autour d'un barrage pour permettre l'accès au bétail).

Lorsque l'aménagement crée une interdépendance fonctionnelle entre exploitants, lorsqu'il y a des vannes à ouvrir ou fermer, des canaux à mettre en eau, se posent des questions de responsabilité collective : qui est habilité à prendre des décisions qui ont des impacts sur tous ? Sur quels principes, selon quelles modalités ? Ces questions de responsabilité collective et de maintenance doivent être traitées elles aussi avant l'aménagement.

● ***La conception de l'aménagement et la décision d'aménager***

La conception de l'aménagement et la discussion sur les modalités de réalisation sont réalisées en dialogue avec les producteurs concernés. Le type d'ouvrage possible dépend de la zone agroclimatique et des caractéristiques physiques du bas-fonds en question. Un ouvrage sera plus ou moins bien adapté, et donc plus ou moins efficace ou rentable.

Les impacts possibles, positifs ou négatifs, doivent être explicités. Il est indispensable de prendre en compte les effets de l'aménagement pour les autres acteurs : impact sur les autres usages du bas-fond, impacts hydrauliques en aval. Fondés sur une logique exclusivement agricole, les aménagements tendent à spécialiser l'espace et à empêcher ou rendre plus difficiles les différents autres usages. Prendre en compte ces usages peut permettre de faciliter leur co-existence : échelles à poissons sur les ouvrages qui bloquent un lit mineur, accès du bétail aux mares, etc.

Tableau 1 : critères de choix du type d'aménagement en zone soudano-sahélienne pour DIARPA (Lidon et al, 1998)

Critères	Indicateurs						
	Pédologiques		Topographique		Hydrologiques		
	Perméabilité (m/s)	Profondeur d'une couche imperméable	Pente longitudinale moyenne du bas-fonds	Axe d'écoulement	Débit de crue par mètre de largeur de bas-fond	Profondeur de la nappe d'inéoflux du bas-fond début janvier	Durée minimum de couverture des besoins en irrigation par les écoulements de base
Diguettes déversantes en courbe de niveau	< 10 ⁻⁴	indifférent	< 1%	Pas d'axe	3 l/s	indifférent	indifférent
Diguettes en courbe de niveau avec ouvrage de déversement des crues	< 10 ⁻⁴	-	< 1%	Avec ou sans axe marqué	25 l/s	-	-
Seuils déversants sans masque d'étanchéité	< 10 ⁻⁴	-	< 0,5 %	Axe marqué	250 - 600 l/s	-	-
Seuils déversants avec masque d'étanchéité	> 10 ⁻⁴	< 2m	< 0,5 %	Axe marqué	250 - 600 l/s	-	-
Ouvrage de diversion pour l'épandage des écoulements	< 10 ⁻⁴	indifférent	< 1%	Axe encaissé	50 l/s	-	1 mois
Ouvrage de diversion pour réinfiltration et recharge des nappes	> 10 ⁻⁴	-	< 1%	Axe encaissé	50 l/s	< 2 m	1 mois

Type d'aménagement du bas-fond

S'il y a recours à des spécialistes pour les études techniques, ceux-ci doivent travailler à partir d'un cahier des charges précisant les fonctions hydrauliques à remplir. L'étude technique doit être restituée aux paysans et débattue avec eux, de même que les coûts et financements. C'est seulement à ces conditions que les paysans peuvent s'engager en connaissance de cause dans le choix d'aménager. Les modalités de financement et les formes d'autofinancement local (en travail et en argent) doivent être réfléchies et discutées.

Lorsqu'il y a recours à des entreprises, la réalisation de consultations restreintes permet de bénéficier d'un meilleur rapport qualité/prix. Les paysans peuvent être associés à la sélection des prestataires, dès qu'ils disposent de référentiels.

● **Les coûts et la rentabilité**

Un aménagement est un investissement productif. Il est donc essentiel d'en mesurer la rentabilité, et d'avoir une politique de financement adaptée. On peut considérer comme raisonnable une durée de retour sur investissement de trois ou quatre ans pour des aménagements demandant essentiellement un investissement en main-d'oeuvre (digues filtrantes, aménagements en zones humides), et de cinq à dix ans maximum pour des digues rizicoles en béton. Ces résultats sont atteints assez facilement dès lors que le choix d'aménager a été raisonné².

Les aménagistes doivent veiller à conserver des coûts raisonnables en valorisant au mieux les matériaux locaux et en adaptant les normes techniques à la taille des ouvrages (un seuil déversant de 0,8 m de haut n'est pas un barrage de 5 m). En zone guinéenne, où l'essentiel de l'investissement consiste en travail, les paysans aménagent progressivement leurs bas-fonds : drainage la première année, puis planage et casié-rage par tranches, en fonction de la main-d'oeuvre dont ils disposent. On est alors en auto-financement quasiment total, à l'exception de l'appui technique qui peut être financé de l'extérieur.

En zones sahélo-soudanienne et soudanienne, les ouvrages demandent des compétences pointues en génie rural et des investissements monétaires (ciment, location de camion pour le transport des pierres, etc.). En outre, pour résister aux crues, l'ouvrage doit être fini en une saison. Un financement extérieur – en crédit ou subvention – est donc nécessaire, pour une partie au moins des coûts monétaires.

● **La contractualisation**

La décision d'aménager aboutit à une demande de financement. Clarifier le statut juridique du futur ouvrage, les règles internes d'accès au foncier et désigner l'instance responsable de sa gestion devraient être des conditionnalités pour le déblocage des financements. La décision de financement fait l'objet d'un contrat avec le groupe demandeur. Les modalités de financement, la part d'autofinancement, le circuit de l'argent doivent être réfléchis. En cas d'aménagement en béton, un cahier des charges d'entretien, explicitant les différentes opérations, leur coût, leur fréquence, est à adjoindre au dossier.

Lorsque la réalisation demande l'intervention de prestataires techniques, le groupe demandeur, maître d'ouvrage du projet et futur gestionnaire ou propriétaire officiel

² En zone soudanienne, rares sont les endroits où le riz suffit à rentabiliser une digue déversante.

est co-signataire du contrat. Il co-signe également le procès verbal de réception de l'ouvrage.

AMÉNAGER : LES CHOIX TECHNIQUES

La morphologie des bas-fonds, leur hydrologie, les logiques paysannes et, *in fine*, les modèles techniques d'aménagements sont totalement différents selon la zone agroclimatique. On présente ici de façon très synthétique les principales contraintes hydriques rencontrées dans les grandes zones agroclimatiques et les grands modèles correspondant. Les choix techniques sont plus complexes dans les zones intermédiaires. Dans toutes les zones, des ouvrages de correction de lit mineur ou de contrôle de l'érosion peuvent être utiles.

● **En zone sahélienne et sahélo-soudanienne (300 - 600 mm)**

En hivernage, la contrainte agricole principale est le risque d'échec des cultures pluviales. Bénéficiant de meilleures conditions hydriques, le bas-fond permet des cultures moins risquées : outre leur fonction de pâturage de saison sèche, les bas-fonds sont donc souvent cultivés en sorgho à cycle long, qui assure une récolte en année sèche, même si les cultures pluviales sont sinistrées. Les crues, souvent violentes, transitent dans le bas-fond sans toujours permettre une humidification permanente.

L'objectif est d'épandre les crues sur toute la largeur du bas-fond, pour :

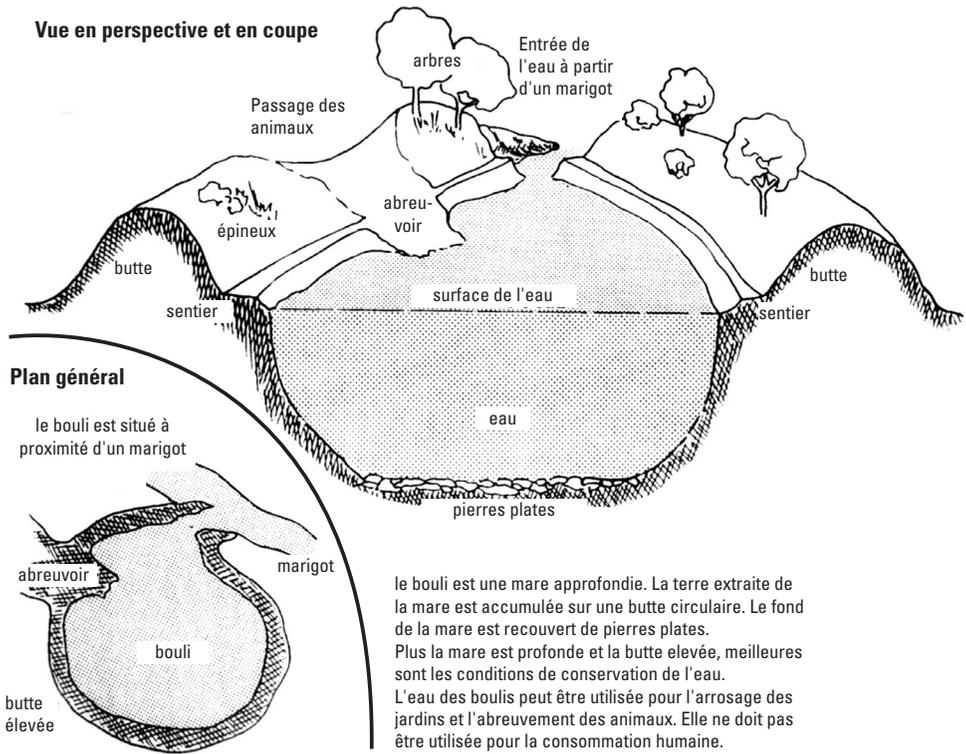
- > réduire la violence des crues et leur capacité érosive ;
- > faire sédimenter les éléments fins ;
- > assurer l'alimentation hydrique du sorgho sur toute la largeur du bas-fond ;
- > accroître, en sols filtrants, l'infiltration et la recharge de nappe, pour alimenter les puits domestiques ou destinés au maraîchage.

La création de points d'eau permanents pour le bétail est également importante. Mais, vu l'ETP annuelle, le stockage d'eaux de surface implique des pertes énormes.

● **Surcreusement de mares, mares artificielles**

Aménager une mare existante revient à faciliter son alimentation ou à accroître sa capacité de stockage. Pour les mares qui se sont envasées, un curage manuel ou au bulldozer permet d'accroître la profondeur et éventuellement la surface. Une protection amont, par digues filtrantes par exemple, est souvent nécessaire. La capacité de stockage peut être accrue par une digue aval, qui permet aussi de stocker les déblais sortis de la mare. Mais la mare ne sera permanente que si l'on atteint la nappe (ce qui n'est pas toujours possible), ou si la hauteur d'eau stockée dépasse les pertes.

Les mares artificielles (ou boullis) sont des dépressions surcreusées (cf. fig. 9). Elles sont alimentées en hivernage par dérivation des crues du lit majeur. Leur profil est beaucoup plus encaissé que les mares naturelles : il faut atteindre une profondeur supérieure à la hauteur de l'évaporation, qui peut être freinée en limitant la surface à l'air libre et en végétalisant la digue.



► Figure 9 : Les boulis (Chlecq et Dupriez, 1987)

● Petits barrages

Les petits barrages sont des retenues de 3 à 4 m de hauteur, visant à constituer un stockage d'eau en surface et non plus en profondeur. Ils peuvent être en béton, en terre compactée, en gabion, ou mixtes. Un ouvrage en terre implique un déversoir partiel bétonné ou en gabions, capable d'évacuer la totalité de la crue. Les petits barrages nécessitent des calculs hydrauliques sérieux³.

Les petits barrages sont destinés à créer un point d'eau permanent, la hauteur stockée dépassant les pertes par évaporation. Dans la réalité, c'est rarement le cas. Les intervenants de développement sont aujourd'hui souvent réticents face à cette technique, coûteuse, et à l'impact productif incertain. En sols peu filtrants, il ne faut cependant pas négliger l'impact sur la recharge des nappes d'un stockage d'eau de surface, même temporaire. Les petits barrages sont une option technique à réserver à des cas spécifiques : site favorable, enjeu de recharge de nappe, possibilité de valorisation agricole du fait de l'existence de dynamiques maraîchères ou de proximité urbaine, etc.

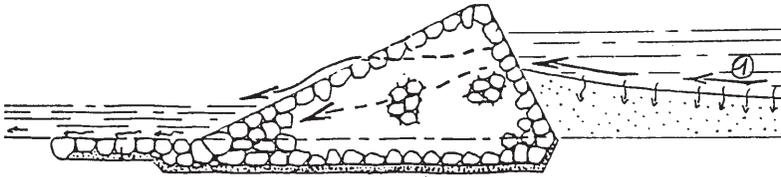
3 Cf. ROYET, P. 1992 *Les ouvrages en gabions*, CEMAGREF/Ministère de la Coopération.

● Digués filtrantes

Constituées de pierres libres, éventuellement renforcées par des gabions, les digués filtrantes sont construites perpendiculairement à l'axe du bas-fond, ou en courbes de niveau, pour ralentir et étaler les flux de ruissellement. Un bas-fond s'aménage par une série de digués, de façon à ce que la base de l'une soit à la cote du sommet de l'autre.

Les digués laminent les faibles crues mais n'ont que peu d'influence sur les fortes crues. Elles augmentent de quelques heures la durée de submersion des parcelles amont, ce qui accroît nettement l'infiltration ainsi que l'humidité du sol. L'impact est marqué en début et fin de saison des pluies, en année sèche. Il peut être nul ou même négatif en année pluvieuse.

Les digués filtrantes sont également utilisées, dans différents contextes agroécologiques, en lutte anti-érosive ou en protection d'ouvrages aval contre l'envasement. Sur des bas-fonds à sols filtrants, des digués filtrantes peuvent avoir à elles seules un effet positif sur la recharge de la nappe superficielle.



L'eau de crue est freinée et est retenue quelques heures après la pluie.



Les particules solides transportées par l'eau se déposent en une terrasse de sédimentation : un sol se recrée.



L'eau stagnante s'infiltrate dans le sol et recharge sa réserve utile.

Le drain de pied est prolongé sur le talus amont. On le prolonge chaque année avant la saison des pluies (sur le talus non colmaté par la terrasse). Il intercepte et dévie les écoulements à travers la diguée. En augmentant le parcours à travers la diguée, il ralentit donc la vidange de la retenue temporaire.



L'eau en excès filtre dans le massif d'enrochement où elle perd sa force érosive avant d'être évacuée vers l'aval où une autre diguée l'attend.

► Figure 10 : Les digués filtrantes (Berton, 1988)

● En zone soudanienne (800 - 1 200 mm)

En hivernage, les cultures sont variées, en fonction de la topographie et des conditions hydriques : tubercules, maïs, etc. dans les zones hautes ; riziculture mixte, pluviale/assistée par la nappe/inondée dans les zones basses. Les champs sont semés en conditions humides après les premières pluies et l'inondation du bas-fond ne survient qu'en cours de saison. À 800-1 000 mm, les quantités d'eau sont rarement limitantes, mais il peut y avoir des risques au semis, voire des sécheresses de fin de

cycle. En dehors des très grands bassins versants, le risque d'arrachage des pieds par les crues semble réduit.

Les contraintes principales tiennent à :

- > une submersion tardive, qui fait que le riz commence en pluvial, avec une forte pression adventice ; dans un certain nombre de cas l'abandon récent de la riziculture de bas-fonds est lié à la difficulté à contrôler les adventices plus qu'à une réelle contrainte hydrique ;
- > une succession d'assecs et de phases inondées en cours de cycle, qui peut avoir un effet dépressif sur le riz.

En saison sèche, l'extension du maraîchage est déterminée par la dynamique de la nappe et, en particulier, par son niveau en début de saison et en fin de cycle (les puisards étant limités à environ 2 m de profondeur).

Dans les bas-fonds étroits et filtrants, des barrages souterrains permettent de freiner les écoulements longitudinaux de la nappe et de ralentir sa descente. Ils sont totalement efficaces lorsqu'on rencontre une couche imperméable à moins de 2 m.

Dans les bas-fonds larges avec lit mineur, bloquer la vidange de la nappe via le lit mineur et épandre la crue sur le bas-fond peut avoir le même effet. Là où les conditions de marché sont favorables, une remontée de la nappe étend la zone cultivable, réduit le coût de puisage et peut avoir un impact économique spectaculaire. Les aménagements pastoraux⁴ constituent également une priorité fréquente des ruraux.

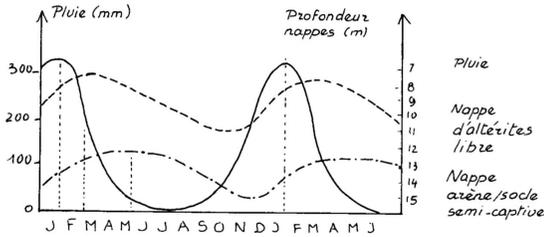
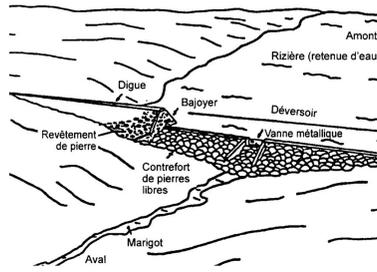
Pour la riziculture, certains bas-fonds à nappe affleurante sont aménagés par les paysans en casiers. On se rapproche là des conditions de la zone humide, où la gestion de la nappe et le maintien d'une lame d'eau à la parcelle sont essentiels. Sur les larges bas-fonds plats (pente < 1 %) et non-filtrants, avec des crues limitées (quelques l/s par mètre de largeur de bas-fond), des diguettes en terre en courbes de niveau ou du casiéage peuvent permettre de stocker une lame d'eau qui sécurise l'alimentation en eau et facilite la maîtrise des adventices.

Mais les courbes de niveau ne se superposent pas au parcellaire, ce qui complique la gestion foncière. En cas de lit mineur, un barrage sur le lit mineur peut épandre la crue et réduire son impact, à condition qu'il n'aggrave pas les problèmes d'inondation en amont.

Les aménagements rizicoles sont les digues déversantes ou « seuils rizicoles », qui coupent perpendiculairement un bas-fond plat ou légèrement concave, afin de stocker l'eau des crues et de constituer une lame d'eau favorable au riz. Ils sont constitués d'une partie aérienne (un micro-barrage de 0,7 à 1 m de haut en moyenne) et, pour des sols filtrants, d'une partie souterraine. Cette barrière anti-drainage bloque tout ou partie des écoulements longitudinaux de la nappe et ralentit son abaissement en fin de saison (cf. fig. 11). On gère la lame d'eau en ouvrant ou fermant les vannes, en fonction des besoins du riz. Il n'y a pas d'aménagement à la parcelle.

D'autres modèles sont en voie d'expérimentation, mettant plus l'accent sur le contrôle de la nappe, qui est en fait l'enjeu principal (ouvrages de diversion pour le soutien de la nappe, dans les bas-fonds filtrants larges à crue modérée < 50 l/s/mètre de largeur de bas-fond).

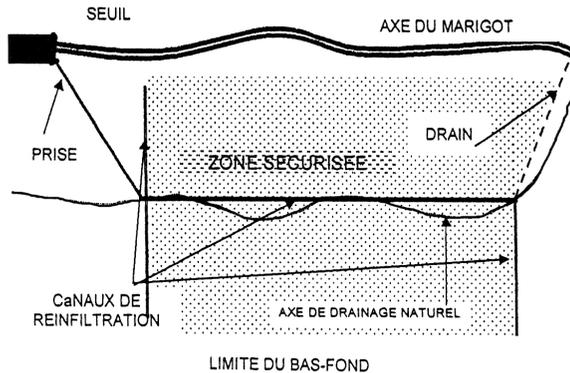
4 Surcreusements des mares ou petites retenues de surface visant à accroître la capacité de stockage de mares existantes.



► Figure 11 : Les seuils rizicoles (Albergel et al, 1993)

Les seuils rizicoles

Un tel seuil permet, après remplissage de la retenue, de cultiver un riz inondé sous une lame d'eau de hauteur variable selon la position du champ par rapport à l'ouvrage, sécurisant la production en année médiocre ou mauvaise, et facilitant le contrôle des adventices. L'ouvrage doit être muni d'un dispositif de vidange, jusqu'au sol naturel, dimensionné pour évacuer rapidement les excès d'eau. Les effets sont variables selon la morphologie du bas-fond : les seuils rizicoles sont bien adaptés aux bas-fonds dits « rubans », plats et étroits, à faible pente longitudinale (< 0,5 %), où un seuil de faible hauteur permet de contrôler une surface importante. L'impact et la rentabilité sont plus discutables dans les bas-fonds concaves ou à forte pente, qui obligent à augmenter la hauteur du seuil, et donc les coûts, risquant en outre de noyer les zones basses. Un mètre semble la hauteur maximale. La gestion des vannes pose des conflits d'intérêts entre paysans.



► Figure 12 : Epannage de crues et soutien à la nappe (Lidon et al, 1998)

● **En zone guinéenne (> 1 500 mm)**

On ne cherche plus à stocker de l'eau, mais au contraire à éliminer les excès. En hivernage, les bas-fonds sont noyés assez rapidement en saison des pluies, mais la culture du riz démarre souvent en conditions exondées. Les risques liés à l'arrachage des plants sont limités, voire absents. En revanche, en cas de vidange insuffisante du bas-fond, les plants peuvent être noyés.

Les principaux objectifs de la maîtrise de l'eau sont :

- > de drainer pour assainir le terrain et limiter l'impact des crues (réduire la durée de submersion) ;
- > d'assurer une lame d'eau permanente, afin de contrôler les adventices et d'améliorer l'alimentation minérale du riz ;
- > le cas échéant, de pouvoir gérer l'eau (quelques assecs contre la toxicité ferreuse).

En saison sèche (ou en petite saison des pluies), les potentialités dépendent des conditions hydriques : second cycle de riz en cas de nappe affleurante et de cours d'eau permanent permettant d'assurer une lame d'eau ; maraîchage par capillarité et/ou irrigation lorsque la nappe est suffisamment rabattue pour éviter les nécroses racinaires. Le contrôle du drainage et l'irrigation de complément par dérivation du lit mineur sont les deux aspects sur lesquels on peut jouer. Les débits d'étiage sont rarement suffisants pour assurer à eux seuls l'alimentation hydrique : ils ne peuvent que maintenir une humidité de surface et compléter des remontées capillaires dues à une nappe proche.

Les aménagements visent à jouer sur les entrées et les sorties d'eau pour contrôler le niveau de la nappe et assurer de bonnes conditions hydriques à la parcelle : maintien d'une lame d'eau pour du riz, drainage superficiel assurant une alimentation hydrique par capillarité pour le maraîchage ou la culture sur butte. Ils combinent, en fonction de chaque cas, aménagement parcellaire, et infrastructure d'ensemble : lit mineur recalibré ou creusement d'un drain, parfois canaux latéraux d'irrigation. Il faut veiller aux risques de surdrainage : ne pas approfondir le lit mineur, pouvoir fermer le drain ou le lit mineur en saison sèche.

La conception des aménagements, et surtout leur dimensionnement, est essentiellement empirique : observer pour reconstituer qualitativement les grandes lignes du fonctionnement hydrologique du bas-fond ; dimensionner avec beaucoup de prudence, en considérant qu'on affine le travail après une première saison et qu'un aménagement se stabilise sur deux ou trois ans. Il est néanmoins indispensable de raisonner cet empirisme et de se donner les moyens, dans les premières années d'intervention, de suivre les bas-fonds pour constituer un référentiel technique régional qui pourra être ensuite formalisé.

DES QUESTIONS À APPROFONDIR

Ce ne sont pas les potentialités agronomiques qui font l'intérêt d'un aménagement, mais les dynamiques paysannes qui justifient, parfois, d'artificialiser le milieu pour permettre des gains de productivité. On observe dans un certain nombre de régions des dynamiques paysannes d'exploitation croissante des bas-fonds qui justifient des actions d'appui. Pour autant, il ne faut pas surestimer l'impact des aménagements, ni sous-estimer les nombreuses incertitudes qui demeurent.

La façon de concevoir les aménagements de bas-fonds a beaucoup évolué au cours de la dernière décennie. Des modèles techniques assurant une maîtrise partielle de l'eau, plus proches des logiques paysannes, ont été mis au point. Des méthodes de diagnostic rapide et d'appui aux demandes paysannes ont été formalisées. Mais l'évolution n'est pas achevée et trop peu de projets se donnent les moyens d'évaluer l'impact technico-économique des aménagements qu'ils contribuent à créer, réduisant ainsi les possibilités de capitalisation et d'apprentissage. Dans la plupart des régions, les référentiels techniques restent à concevoir et à formaliser.

Certains points restent insuffisamment approfondis, et les intervenants devraient y être attentifs :

- > les questions d'action collective au sein des aménagements collectifs ;
- > les interdépendances hydrauliques entre villages d'amont et d'aval ;
- > les questions d'impact environnemental : destruction de flore, effets du drainage ou au contraire du stockage d'eau, etc.

Bibliographie

- ALBERGEL J. et al., 1993 *Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel*, CORAF/CIEH
- BERTON, S. 1988 *La maîtrise des crues dans les bas-fonds, petits et micro-barrages en Afrique de l'Ouest*, GRET/AFVP/Ministère de la Coopération/ACCT
- CEMAGREF/CIEH/ORSTOM 1997 *Crues et apports, manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche*, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage n° 54, FAO, 245 p.
- GADELLE, F. 1989 *Hydraulique pastorale et rurale : le surcreusement des mares*, coll. Maîtrise de l'eau, Ministère de la Coopération et du Développement.
- LAVIGNE DELVILLE Ph. et BOUCHER L. 1996 *Les bas-fonds en Afrique tropicale humide, guide pour le diagnostic et l'intervention*, coll. Le point sur, GRET/Ministère de la Coopération/CTA, 416 p
- LAVIGNE DELVILLE Ph. et CAMPHUIS N. 1997 *Aménager les bas-fonds dans les pays du Sahel*, coll. Le point sur, GRET/Ministère de la Coopération/CTA.
- LAVIGNE DELVILLE Ph., BOUJU J. et LE ROY E., 2000, *Prendre en compte les enjeux fonciers dans une démarche d'aménagement : stratégies foncières et bas-fonds au Sahel*, coll. Etudes et Travaux, Paris, Editions du GRET.
- OOSTERBAAN R.J., GUNNEWEG H.A. et HUIZING A. 1986 « *Water control for rice cultivation in small valleys of west Africa* », ILRI Annual Report, Wageningen, ILRI, pp. 30-49
- RAUNET, M. éd. 1993 *Bas-fonds et riziculture*, Actes du séminaire d'Antananarivo, CIRAD/ORSTM/FOFIFA, 517 p