

Essais de valorisation des marais tropicaux en écosystèmes agro-piscicoles *

par

Jean-Claude MICHA **

Professeur aux Facultés Universitaires de Namur



ABSTRACT. Valorization of Tropical Marshlands as agro-piscicultural systems.

Two agro-piscicultural systems have been built in the tropical marshlands of Rwanda and Tabasco (Mexico). Manual transformation is used in Rwanda at 1400 m altitude where the slopes are 0.3 to 3 %, whilst mechanical work with a floating dredger is made around the lake (no slope) in the Tabasco's plains. The physico-chemical conditions are different : acid marshlands with very low conductivity ($50 \mu S/cm$) and a marked dry season in Rwanda, alkaline marshlands with high conductivity ($500-600 \mu S/cm$) and a lower rainy season in Tabasco. But in both situations water and soils are very poor in nitrogen ($< 0.1 \text{ mg/l}$) which probably limits the primary production.

* Manuscrit reçu le 16 mars 1987.

Communication présentée au Colloque **Aquaculture et Développement** organisé sous l'égide de la Fondation Roi Baudouin à l'Institut de Zoologie de Liège (18 novembre 1986) à l'occasion des manifestations marquant la remise du Prix International Roi Baudouin pour le Développement à la Fondation Internationale pour la Science (FIS, Stockholm).

** Professeur aux Facultés N.-D. de la Paix (FNDP); Directeur de l'Unité d'Ecologie des Eaux douces (UNECED);
Rue de Bruxelles, 61, B-5000 Namur, Belgique.

In Rwanda, agricultural production is semi-intensive with three yields per year. Two complementary fish species *Tilapia (Oreochromis) nilotica* and *T. rendalli* are fed with the by-products of agriculture and are harvested once a year. In Mexico, the farmers, not so motivated, have only two yields per year and fish culture is not yet going on, excepted in three canals recently closed.

Complementary experiments in laboratory show that the aquatic fern, *Azolla*, could improve the production of the system by increasing nitrogen impact. But the choice of the fern species is very important as *A. pinnata* (African one) is neglected by *T. nilotica* when *A. caroliniana* (Mexican one) is very well consummated. On the other hand, an herbivorous fish will utilize better this fern as far as other sources of feed are available what must be the case in the agro-piscicultural systems.

RESUME

Les marais tropicaux qui ne représentent généralement que quelques pour cent de la surface des bassins versants constituent cependant de vastes zones peu ou mal exploitées par l'homme. Sous la pression démographique, la tendance générale est trop souvent de drainer et d'assécher ces zones qui perdent alors leurs caractéristiques intrinsèques et leur haute productivité potentielle. Une technique alternative pourrait être de maintenir et de contrôler l'eau des marais aménagés en hortillonnages avec production agro-piscicole assurant ainsi un développement et une utilisation durables de l'écosystème naturel.

Deux expériences pilotes à objectif agro-piscicole sont comparées dans un marais tropical d'altitude au Rwanda et dans un marais de plaine du Tabasco (Mexique). Les aménagements manuels effectués au Rwanda occupent des sols à pente de 0,3 à 3 % alors qu'au Mexique les aménagements mécaniques (dragage flottante) s'effectuent en bordure des lacs (pente nulle). Actuellement, quelques dizaines d'ares sont aménagés au Rwanda (billons de quelques ares alternant avec des étangs de quelques ares) et plus de 100 ha au Mexique (billons de 0,4 ha alternant avec des canaux de même surface). Les conditions physico-chimiques du milieu sont différentes : marais acides (pH 4 à 5,5), pauvres en sels dissous (conductivité 50 μ S/cm), avec une saison sèche nette et marais alcalins (pH 7 à 8), riches en sels dissous (conductivité 500-600 μ S/cm), avec une saison moins pluvieuse. Toutefois, les eaux et les sols de ces deux marais présentent des concentrations extrêmement faibles en azote nitrique (< 0,1 mg/l) ce qui limite probablement la production primaire.

Les productions agricoles sont bien maîtrisées au Rwanda où les paysans pratiquent sur billons les mêmes cultures que sur les collines : haricots, maïs, soja, etc... avec trois récoltes par an. Les étangs sont empoissonnés avec deux espèces de *Tilapia* complémentaires, *T. (O.) macrochir*, planctonophage, et *T. rendalli*, herbivore. Une récolte de poissons par an nécessite peu de travail, par comparaison à l'agriculture, mais les ressources piscicoles représentent 50 à 60 % des revenus totaux du système. Au Mexique, les paysans Chontales, nettement moins motivés, effectuent deux récoltes par an en maïs, haricots, etc... La production piscicole, vu l'aménagement inadéquat, n'a pas encore commencé mais des essais sont en cours dans trois canaux qui ont été récemment fermés.

L'examen en laboratoire de la valeur nutritive pour les poissons de la fougère aquatique flottante *Azolla* montre que ceux-ci consomment préférentiellement certaines espèces (*A. microphylla* et *A. caroliniana*, espèce mexicaine) mais négligent *A. pinnata* (espèce africaine). La comparaison de la croissance des différents poissons nourris avec *A. microphylla* indique que seules les espèces herbivores peuvent valablement tirer parti de cet aliment à condition que les quantités d'*Azolla* disponibles soient suffisantes et combinées avec d'autres sources d'aliments. Ceci pourrait être le cas dans les élevages semi-intensifs des systèmes agro-piscicoles.

INTRODUCTION

L'utilisation par l'homme de zones marécageuses s'est généralement développée d'une part sous la pression démographique de populations à activité agricole extensive qui exploitent déjà toutes leurs terres arables et, d'autre part en réponse à des périodes saisonnières de sécheresse conduisant à des pénuries alimentaires plus ou moins fréquentes. Il en résulte que l'objectif principal de cette utilisation des marais a toujours été d'augmenter la production agricole d'une région définie.

Ainsi, en Belgique, on trouve dans la Fagne de Malchamps, en contrebas de la petite-Vecquée (DREZE et SCHUMACKER, 1986), les traces de billons de parcelles d'essartage, drainées de 3 m en 3 m, témoins de l'importance des cultures temporaires de seigle dans cette région. Dans la réserve du Hageven en Campine (SEINGRY, 1986), un système astucieux de drainage-irrigation fut mis au point vers 1850, à proximité du canal Bocholt-Herentals alimenté par les eaux de la Meuse, riches en éléments nutritifs qui ont fertilisé pendant des décennies les prairies en pentes douces.

En France, la basse vallée de la Somme (ROY, 1981) fut aménagée par les habitants en canaux et champs surélevés ou hortillonnages très fertiles dont il subsiste actuellement 300 ha à proximité d'Amiens.

En Indonésie, OPSOMER (1942) signale diverses techniques de mise en valeur des terrains soumis aux crues des rivières.

En Amérique Centrale, la technique de "Las Chinampas", jardins flottants construits avec des nattes de roseaux dans les zones peu profondes des lacs et marais, aurait été développée par diverses tribus indiennes un peu avant l'ère chrétienne (AGUILAR, 1982) et aurait été récupérée et développée par les Aztèques dans la vallée de Mexico au XIII^e siècle. Actuellement, subsistent deux sites "fossiles" toujours exploités dans les lacs "reliques" au Sud de Mexico : Chalco et Xochimilco. Mais des enquêtes archéologiques relativement récentes montrent que la mise en culture des marais fut très répandue non seulement au Mexique mais dans toute l'Amérique Centrale et même en Amérique du Sud (MICHA, 1985).

Ces diverses techniques d'utilisation des marais n'ont toutefois jamais visé qu'à récupérer des terres pour l'exploitation strictement agricole. A la limite, la réalisation maximaliste de cet objectif peut conduire à un drainage généralisé des terres marécageuses. Les exemples les plus connus et les plus spectaculaires sont les polders du Nord de la Belgique et des Pays-Bas. Ce dernier modèle, qui se justifie certainement dans ces petits pays à forte densité de population et à niveau de vie relativement élevé, n'est pas nécessairement le seul à développer pour valoriser les marais tropicaux. Les exemples de drainage de petits marais au Rwanda et

au Burundi ont quelquefois conduit à l'assèchement définitif des sols tourbeux, transformant ces milieux naturellement très productifs en zone quasi désertique pendant la saison sèche.

Il y a donc lieu, pour l'aménagement des marais tropicaux, de s'inscrire dans le cadre de la stratégie mondiale de la conservation des ressources vivantes pour assurer un développement durable (UICN, 1980), ce qui signifie d'y maintenir et d'y contrôler l'eau plutôt que de drainer et d'assécher ces milieux potentiellement fertiles. Cette alternative implique inévitablement de surélever les terres au-dessus d'un niveau spécifique à définir, ce qui conduit automatiquement à prélever des vases et donc à creuser des canaux. Dès lors, un bon aménagement des marais en hortillonnages devrait prévoir l'exploitation du milieu aquatique (+ 50 % de la surface aménagée) et permettre la pisciculture semi-intensive, voire intensive, dans les canaux fermés et les étangs.

L'enjeu pourrait être d'importance quand on examine les surfaces marécageuses de diverses régions tropicales. Ainsi, DE MERONA (1986) signale que, dans le bassin de l'Amazone, les "Varzeas", zones inondables, sont potentiellement les milieux les plus productifs du fait d'un apport constant de nutriments arrachés aux latosols, terres très pauvres caractérisant l'ensemble des zones non inondables. Ces "Varzeas" ne représentent que 2,3 % du bassin amazonien, mais c'est tout de même 600.000 km² de terres potentiellement fertiles ! Au Mexique, l'Etat de Tabasco, situé en bordure du golfe du Mexique, d'une superficie de 24.661 km², voit 30 % de sa surface inondée en permanence (7.500 km²) et 60 % en saison des pluies (CHAVEZ et MICHA, 1987). En Afrique, la structure géologique du continent en bassins hydrographiques originellement fermés avec cuvette centrale (ex. : lac Tchad) a laissé des traces nombreuses sous forme de marais dans divers réseaux hydrographiques (marais du Sudd pour le Nil, marais du "delta fossile" du Niger en amont de Timbuktu, etc...). Au Rwanda, les mouvements tectoniques récents ont bouleversé l'écoulement des eaux et conduit à la mise en place d'une série de lacs et de marais dont environ 60.000 ha, soit approximativement 2 % de la surface du pays, sont des zones marécageuses aménageables pour l'agriculture ou mieux pour l'agro-pisciculture.

A cet égard, il faut souligner l'importance des problèmes de malnutrition dans le Tiers-Monde et notamment le déficit en protéines animales qui se traduit par une maladie spectaculaire, le kwashiorkor (enfants au ventre ballonné), relativement répandue dans les populations des pays en voie de développement. Il y a donc lieu dans les stratégies d'auto-suffisance alimentaire de prévoir une production de protéines animales à un coût économique et énergétique acceptable pour satisfaire les besoins locaux mais également les marchés nouveaux qui se créent dans les villes (DEGAND, 1984). A l'évidence, la production de poissons en bas de chaîne alimentaire (MICHA, 1981) dans un système agro-piscicole aménagé dans des terres marécageuses marginales devrait être une solution plus intéressante que la production très intensive basée sur un aliment équilibré mais coûteux qui implique un prix de vente du *Tilapia* croissant d'année en année (cfr. inflation dans les pays en développement), ce qui le rend de moins en moins accessible à la masse des gens à faible pouvoir d'achat.

Afin de tester cette hypothèse, deux projets de recherche appliquée, l'un au Mexique (marais alcalins) et l'autre au Rwanda (marais acides) ont été initiés et développés en collaboration avec des organismes nationaux tout en étant supportés partiellement sur le plan financier par



Photo 1. Billons traditionnels pour la culture de la patate douce dans les fonds de vallée au Rwanda.



Photo 2. Récupération et entassement des terres organiques lors de la construction d'un système agro-piscicole.



Photo 3. Etalement des terres organiques à la surface des billons en fin de construction.



Photo 4. Habitation d'indiens Chontales en zone marécageuse.

la FUCID (Fondation Universitaire de Coopération Internationale au Développement à Namur), l'AGCD (Administration Générale belge de Coopération au Développement à Bruxelles) et la CCE (Commission des Communautés Européennes à Bruxelles). Très rapidement, on s'est rendu compte de la nécessité d'effectuer des recherches plus fondamentales sur le fonctionnement du système agro-piscicole et sur les facteurs limitant sa production. C'est pourquoi, un projet de recherche fondamentale sur le fonctionnement d'un système agro-piscicole aménagé dans les marais alcalins du Tabasco (Mexique) a démarré en collaboration avec l'INIREB (Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bioticos) grâce à un subside partiel de la CCE dans le cadre de son nouveau programme STD (Science et Technique au service du Développement, projet n° TSD-A-123-B).

Ce document tente de faire le point sur les connaissances acquises et sur les résultats obtenus dans deux situations géographiques (marais acides d'altitude, marais alcalins de plaine) et socio-culturelles différentes. Pour ce faire, on examine successivement l'implantation globale du système, ses caractéristiques physiques et chimiques, son niveau de production et ses potentialités futures avec la fougère *Azolla*. Les aspects socio-culturels et économiques sont traités par ailleurs (BARBIER et al., 1985; CHAVEZ et MICHA, 1987).

1. IMPLANTATION GLOBALE DU SYSTEME DANS LES MARAIS

1.1. OCCUPATION DE L'ESPACE

En général, toute zone marécageuse est alternativement drainée et inondée en fonction des variations de débit d'un cours d'eau. Le marnage de celui-ci dans la zone d'aménagement envisagée doit être obligatoirement faible et de l'ordre de 1,5 mètre. Par ailleurs, il est souhaitable que le marécage aménagé présente une pente naturelle de 0,3 à 3 %. Ces contraintes limitent évidemment les zones marécageuses aménageables mais on constate de suite que ce type d'aménagement ne peut concurrencer la pisciculture, au sens strict, qui exige, de préférence, des versants à pente supérieure à 3 % pour équilibrer les déblais et remblais (LAZARD, 1986). Par contre, la riziculture, principale culture développée dans les bas-fonds à pente de 0,5 à 2 %, pourrait être en concurrence avec l'aménagement agro-piscicole. Enfin, en cas de pente inférieure à 0,5 %, la seule valorisation adéquate des marais paraît être le système agro-piscicole proposé. Dans le cas où la pente est nulle, il est encore possible, si le marnage est inférieur à 1,5 mètre, d'aménager le marais en système agro-piscicole avec des étangs ou canaux non vidangeables, mais la production piscicole deviendra inévitablement plus faible ou nécessitera des moyens de pompage plus ou moins importants (cfr. pisciculture en Asie).

1.2. VALORISATION DE L'EAU

Les marais étant situés dans les bas-fonds d'un réseau hydrographique, l'eau ne fait qu'y transiter. Le faible flux d'eau par infiltration et évaporation peut être évalué selon les régions entre 2 à 5 l/sec/ha. L'aménagement du marais en écosystème agro-piscicole ne ré-

duira pas cette consommation naturelle d'eau mais la valorisera en assurant une production agricole et piscicole non négligeable, tout en maintenant les caractéristiques fondamentales de l'écosystème naturel. Il est aussi vrai que la rizipisciculture, technique surtout répandue en Asie (VINCKE et MICHA, 1985), valorise également très bien les zones marécageuses mais elle ne peut conduire qu'à une production de poissons de petite taille et ne peut être envisagée que lorsque la pisciculture est déjà bien développée. De plus, toute la surface aménagée étant sous eau, elle est plus grande consommatrice d'eau, ce qui peut poser de sérieux problèmes d'étiage qui est alors accentué à l'aval (cfr. 750.000 km² de riz irrigués dans le delta interne du Niger).

2. CARACTERISTIQUES GENERALES DES SITES ET DES SYSTEMES AMENAGES

2.1. MARAIS DE L'AKANYARU AU RWANDA ET SITES DE KIRARAMBOGO

2.1.1. Contexte général

Le Rwanda (26.338 km²), pays de collines et vallées (1.300 à 4.000 m d'altitude), n'a que 50 % de ses terres qui sont cultivables ou utilisables en pâturages. Le reste n'est pas utilisable pour l'agriculture (BOUBAKAR, 1972) et est partagé entre le Parc National de l'Akagera (250.000 ha, soit 9,7 %), les forêts "reliques", les rivières et marais non asséchables (338.000 ha, soit 13,4 %), les lacs (12.000 ha, soit 5 %) et les marais asséchables (67.000 ha, soit 2,5 %). Suite à la pression démographique (6 millions d'habitants en 1985, soit 228 hab/km², taux d'accroissement : 3,7 %), ces zones marécageuses font l'objet d'aménagements (drainage) à diverses fins (pâturage, théiculture, riziculture, etc...). Toutefois, ces grands projets contribuent relativement peu à résorber le déficit alimentaire chronique de nombreuses populations rurales et notamment des couches les plus pauvres où les cas de marasme (déficit calorique) et de kwashiorkor (déficit protéique) ne sont pas rares. L'objectif de l'aménagement des marais en écosystème agro-piscicole est donc de permettre aux paysans d'avoir accès à de nouvelles terres de culture et de valoriser le milieu aquatique par le développement d'une pisciculture intégrée.

2.1.2. Contexte local

Au Sud de la préfecture de Butare, à la limite des communes de Muganza (alt. : 1.400 à 1.800 m) et Kibayi, le Centre Médico-Social (C.M.S.) de Kirarambogo, confronté au problème de malnutrition, fait appel, en 1979, à la Fondation Universitaire pour la Coopération Internationale au Développement (FUCID) pour l'assister dans le développement de la pisciculture. Après une première enquête sur le terrain, il est apparu plus avantageux et plus original de tenter la transformation de sites marécageux non exploités en écosystèmes agro-piscicoles.

Dans cette région, le climat est relativement tempéré, de type sub-équatorial, caractérisé par une température relativement constante (19 à 20°C, avec minimum et maximum absolus de 11 à 29°C), par des précipitations moyennes de 1.110 mm et l'alternance de quatre saisons (**tableau 1**), qui permet un développement de la végétation pendant deux sai-



Photo 5. Aménagement des Camellones d'Olcuatitan en bordure de lac.



Photo 6. Aménagement de Camellones d'Oxiacaque en bordure de rivière.



Photo 7. Système agro-piscicole de Tucta en bordure du lac del Horizonte



Photo 8. Système agro-piscicole de Kibangu au Rwanda : production de maïs, soja et tilapia.

sons agricoles préférentielles (mars à juillet et octobre à janvier). Le déficit hydrique est généralement limité aux mois de juillet, août et septembre et ses répercussions sur les cultures varient selon leur disposition dans les bas-fonds :

- dans les parties basses où le déficit hydrique est compensé par la remontée capillaire à partir de la nappe, les cultures de patates douces subsistent en saison sèche;
- dans les parties plus élevées, la sécheresse est plus manifeste; par ailleurs, les conditions climatiques défavorables (pluies tardives ou arrêt précoce) entraînent des déficits plus longs s'étalant de juin à octobre.

L'aménagement traditionnel de ces marais à cypéracées consiste à les drainer en construisant, dans le fond de la vallée, des billons parallèles au cours de la rivière (**photo 1**) et, sur les parties latérales plus élevées, des billons perpendiculaires à l'axe du lit mineur. Les paysans cultivent, essentiellement en saison sèche, 3 à 5 ares de billons par famille et produisent surtout de la patate douce, du sorgho et un peu de haricot. Cette culture dite de "soudure" est très importante pour les paysans. Et il faut éviter, comme cela a souvent été proposé, de drainer les marais pour pouvoir cultiver le sorgho en saison des pluies, car, en saison sèche, toute culture devient impossible (MICHA, 1985).

Tableau 1. Pluviométrie et évapotranspiration potentielle (E.T.P.) dans la commune de Kibayi (d'après SCETAGRI, 1983).

Période	Pluviométrie moyenne (mm)	E.T.P. moyenne (mm)	Bilan P - E.T.P. (mm)
Février à mai : grande saison pluies	560	250	+ 310
Juin à mi-septembre : grande saison sèche	90	330	- 240
Mi-septembre - novembre : petite saison pluies	260	190	+ 70
Décembre et janvier : petite saison pluies	200	140	+ 60
TOTAL	1.110	910	+ 180

Les eaux de cette région sont très pauvres en sels dissous et présentent des conductivités généralement inférieures à 50 μ S/cm. Ceci conduit à des pH acides de 4 à 5,5. Les concentrations en sels biogènes traduisent généralement un déficit marqué en azote assimilable puisque les nitrates ne sont généralement pas détectables avec la technique classique de colorimétrie. De même, les sols très hétérogènes présentent des concentrations faibles en cations classiques :

Ca⁺⁺ : 2,0 à 8,0 meq/100 g

Mg⁺⁺ : 0,7 à 6,0 meq/100 g

Na⁺ : 0,5 à 1,0 meq/100 g

K⁺ : 0,2 à 0,8 meq/100 g

Les concentrations en carbone varient fortement : de 0,1 à 34 % ! Quant aux concentrations en azote, elles sont variables : 92 à 328 mg/100 g. Il en est de même pour la concentration en phosphore : 1,5 à 24 mg/100 g. Il faut également noter des valeurs élevées en Fe (80 à 452 mg/100 g) et en Mn (8 à 78 mg/100 g).

2.1.3. Aménagement du système agro-piscicole

Le but de l'aménagement des marais en système agro-piscicole est d'obtenir des terres cultivables pendant toute l'année alternant avec des étangs ou canaux, ce qui implique un bon contrôle de l'eau basé sur le double principe du drainage en saison des pluies et de l'irrigation en saison sèche. Le drainage doit être effectué sans modification du profil en long du ruisseau ou de la rivière pour éviter les phénomènes souvent non maîtrisables d'érosion régressive. L'irrigation des billons peut se faire par simple infiltration, si la différence de niveau d'eau entre les étangs et les billons est de l'ordre de 0,5 à 1 m, selon les cultures. Le débit d'entretien du système en saison sèche devrait être en tête de réseau de l'ordre de 1,5 l/sec/ha.

Toute transformation des marais en système agro-piscicole doit faire l'objet d'une étude de faisabilité technique et d'un plan d'aménagement selon les normes classiques (BARD et al., 1974; KALIMANZIRA et NOISET, 1982; BARBIER et al., 1985). D'une façon générale, on envisagera d'abord de récupérer des terres en aménageant des billons qui puissent être cultivables toute l'année y compris en saison sèche. Cela implique de récupérer les vases organiques (**photo 2**) pour les installer à la surface des billons (**photo 3**) et non pas à les enfouir sous une couche plus ou moins importante d'argiles stériles puisées en profondeur. Pour assurer une bonne infiltration d'eau des étangs vers les billons, ceux-ci ne doivent pas être trop larges (5 à 10 m). Leur longueur peut varier (de 20 à plus de 100 m) selon la topographie du site (**fig 1**). Plus la pente est faible, plus les surfaces en eau par rapport aux terres augmentent, passant de 18,5 % pour une pente de 2 % à près de 50 % pour une pente de l'ordre de 0,5 % (**tableau 2**).

Pour les informations complémentaires concernant les techniques d'aménagement et les réalisations dans les communes de Kibayi et Muganza, on consultera les documents de KALIMANZIRA et NOISET (1982), BARBIER et al. (1985), NOISET (1985 et 1987).

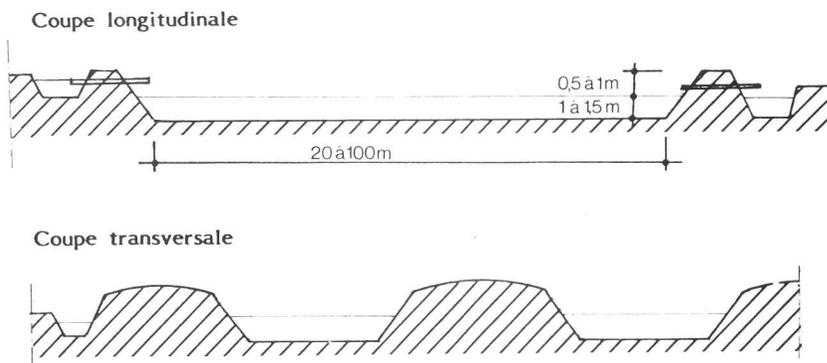


Fig. 1. Principe d'aménagement du système agro-piscicole.

Tableau 2. Caractéristiques générales de quelques hortillonnages aménagés dans les marais de Kibayi et Muganza.

Sites	Pente %	Surface terrestre		Surface aquatique		Surface exploitable		Surface totale
		ares	%	ares	%	ares	%	exploitable ares
Akadahokwa	2,0	47,6	54,0	18,5	21,0	66,0	75,0	87,4
Rwintama	0,5	28,9	50,3	28,6	49,7	44,1	76,7	57,5
Urubanda	0,5	64,1	56,2	49,9	43,8	99,8	86,7	114,0

2.2. MARAIS DU TABASCO ET CAMELLONES DE TUCTA

2.2.1. Contexte général

Le Mexique est une République confédérée de 31 Etats. Celui de Tabasco d'une superficie de 24.661 km² est situé dans le Sud-Est du pays en bordure du golfe du Mexique. Le système hydrographique est formé des rivières Mezcolapa, Grijalva et Usumacinta. Plus de 30 % du territoire est sous eau en permanence; cette surface inondée peut atteindre 60 % en saison des pluies. La population de l'Etat atteint actuellement près de 1.500.000 habitants (61 hab/km²) et présente un taux de croissance annuelle très élevé (4 %). Bien que toutes les terres hautes soient loin d'être utilisées de façon optimale notamment dans la partie Ouest de l'Etat en bordure de l'Etat de Chiapas, les populations rurales autochtones d'Indiens Chontales, situées à l'Est de l'Etat, dans la plaine inondable, réclament des surfaces cultivables plus importantes et entrent ainsi en compétition avec le développement des élevages extensifs de bétail. Il est vrai que

traditionnellement les Indiens Chontales pratiquaient en saison sèche la culture de décrue le long des fleuves et lacs. Cependant, la construction de quatre barrages à des fins hydroélectriques et d'irrigation sur le rio Grijalva dans l'Etat de Chiapas a perturbé totalement le cycle hydrologique du fleuve et de la zone inondable, réduisant la productivité piscicole et les captures de poissons. De plus, les lâchers irréguliers rendent impossible les cultures de décrue en saison sèche. En compensation, les autorités politiques et administratives de l'Etat de Tabasco ont décidé de construire, au moyen d'une grosse drague flottante, des "Camellones", billons alternant avec des canaux ouverts de plus ou moins même surface en bordure de rivières et de lacs de cuvettes. L'objectif originel de l'aménagement de ces marais est donc de compenser la perte de terres de décrues cultivables avant le fonctionnement des barrages.

2.2.2. Contexte local

A 30 km au Nord-Est de Villahermosa, capitale de l'Etat de Tabasco, vit dans quatre communes dont celle de Nacajuca, une population de 65.000 Chontales. Certains vivent en bordure du lac del Horizonte (**photo 4**) dans les villages de Tucta où 60 ha de Camellones ont été construits de 1977 à 1980, d'Olcuatitan où 40 ha ont été construits en 1978 (**photo 5**), d'Oxiacaque et dans d'autres sites (**photo 6**) où de nouveaux Camellones sont en construction depuis 1986. En général, ces Indiens sont encadrés par l'Institut National Indigène (I.N.I.), divers organismes agricoles et épisodiquement par l'I.N.I.R.E.B. avec lequel la FUCID puis l'Association pour le Développement et la Recherche Agronomique Intégrés (ADRAI) ont développé des contacts privilégiés. C'est dans ce cadre que nous avons commencé, avec mon collègue J. MEYER de l'Université Catholique de Louvain, à nous intéresser à cet autre type d'écosystème agro-piscicole potentiel. Plus récemment en 1985, une étude fondamentale de fonctionnement de ce système a pu être entreprise en collaboration avec l'I.N.I.R.E.B. grâce à un subside de la Commission des Communautés Européennes (C.C.E.).

Dans cette région, le climat est de type chaud [$AW_2(X^2)$], caractérisé par des précipitations moyennes annuelles de 1.588 mm² (moyenne de neuf années à Nacajuca). En fonction des pluies, on distingue deux saisons (HALEN, 1985) :

- saison sèche de novembre à avril avec 30 % des précipitations (54 à 173 mm selon le mois);
- saison des pluies de mai à octobre avec 68 % des précipitations (64 à 281 mm selon le mois).

L'évaporation totale annuelle est élevée (1.281 mm), ce qui donne un bilan positif pour la différence entre précipitation et évaporation (+ 471 mm). La température moyenne annuelle est de 25,9°C avec des variations faibles d'un mois à l'autre (moyenne mensuelle minimale : 22,5°C et maximale : 28,5°C). Toutefois, la température minimale extrême peut descendre jusqu'à 13,5°C (février) et la température maximale extrême peut monter jusqu'à 39,0°C (mai).

Généralement, les paysans Chontales font deux cultures par an : de mai à octobre, cycle "temporal", et de novembre à mars, cycle "tornamil" (**fig. 2**). De mars à mai, la décrue ("marseno") leur permettait de cultiver en association maïs et haricots sur les parties basses des marais

(troisième culture : marseno). Ceci n'est plus possible depuis la construction des barrages. Les eaux de cette région sont très riches en sels dissous étant donné les couches géologiques calcaires traversées. Dans le lac del Horizonte (HALEN, 1985 et 1986), la conductivité est de l'ordre de 400 à 520 μ S/cm et le pH des eaux de surface varie entre les valeurs 7,0 et 8,3. Les concentrations en cations indiquent une nette dominance du calcium (1,3 à 2,2 meq/l) suivi par le magnésium (0,3 à 1,0 meq/l) puis le sodium (0,5 à 1,7 meq/l) et le potassium (0,1 à 0,2 meq/l). Les anions sont surtout représentés par les bicarbonates (2,0 à 2,6 meq/l), les chlorures (1,4 à 1,9 meq/l) et les sulfates (0,7 à 0,9 meq/l). En ce qui concerne les sels biogènes, on constate que les concentrations en nitrates sont très faibles et varient entre 35 et 87 μ g/l en N nitrique. Pour les ortho-phosphates, on mesure des concentrations de 2,4 à 10,6 μ g/l en P phosphate, ce qui est faible mais par rapport à l'azote non limitant pour la production primaire.

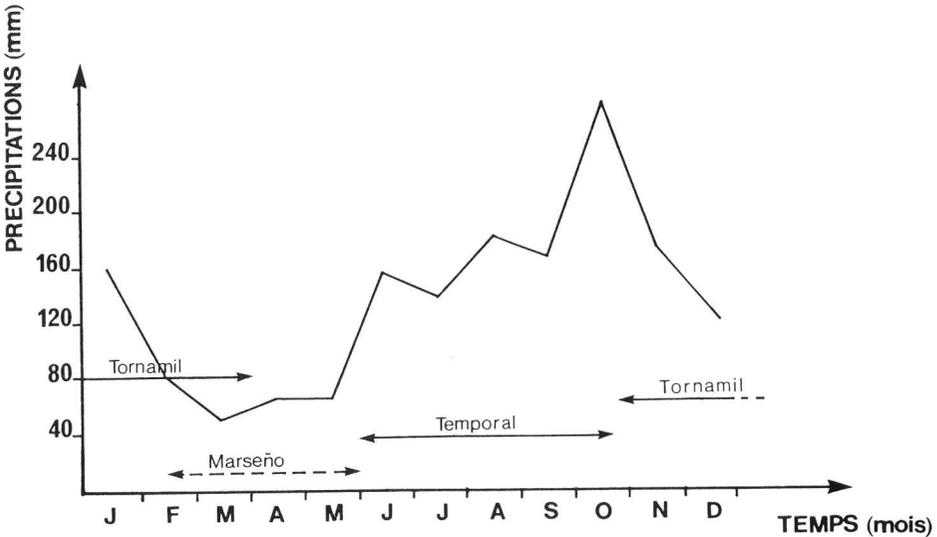


Fig. 2. Cycles culturels traditionnels dans la région de Nacajuca (d'après PIERARD et CHAVEZ, 1985).

L'examen des sols indique que les concentrations en cations sont assez élevées et présentent la même importance relative que dans les eaux puisque le Ca^{++} domine avec $6,7 \pm 1,0$ meq/100 g et est suivi par le Mg^{++} ($2,0 \pm 0,2$ meq/100 g) puis le Na^+ ($0,6 \pm 0,1$ meq/100 g) et le K^+ ($0,2 \pm 0,05$ meq/100 g). La capacité d'échange cationique (HALEN, 1986) est évaluée à $32,9 \pm 4,8$. Les concentrations en carbone sont très faibles variant de 0,5 à 1,9 %. Il en est de même pour l'azote total qui varie de 0,04 à 0,16 % et pour le phosphore (6 à 48 ppm).

2.2.3. Aménagement des Camellones de Tucta

En bordure du lac del Horizonte, où la pente est nulle, des billons ont été construits mécaniquement au moyen d'une grosse drague installée sur une "péniche" de 15 m de large. Les billons sortis de l'eau sont constitués de sols très hétérogènes avec poches d'argiles et de tourbes. La couche organique (vases du marais et du lac) n'a pas été rassemblée préalablement pour être installée à la surface des billons et est enfouie sous une couche importante d'argiles stériles prélevées en profondeur. Les canaux qui alternent avec les billons sont ouverts vers le lac et ne peuvent convenir à la pisciculture sans aménagement complémentaire.

Le système actuel de Tucta (**photo 7**) se compose de trois enceintes indépendantes et juxtaposées représentant une surface totale de 60 ha, dont 30 ha terrestres et 30 ha aquatiques. Les billons ont une largeur de 18 à 20 m et une longueur variable, de l'ordre de 200 m. Le niveau des billons n'est malheureusement pas standard et certains présentent un affaissement central avec une concavité qui conduit à la stagnation des eaux en saison des pluies. Le niveau de l'eau dans les canaux n'est pas contrôlé et fluctue avec celui du lac. Les données limnimétriques indiquent, en 1984, un marnage de l'ordre d'un mètre, avec un niveau minimal en avril et maximal en septembre. Les conséquences de ces variations pour les billons aménagés sont d'être, en saison des pluies, recouverts à raison de 20 à 30 % et, en saison sèche, improductifs par manque d'eau.

Caractéristiques du milieu édaphique

- Les profils en travers d'un billon (HALEN, 1986) révèlent que :
- en saison des pluies, le niveau de la nappe y est identique à celui du plan d'eau dans les canaux;
 - en saison sèche, le niveau de la nappe peut s'abaisser jusqu'à 70 cm en-dessous de celui du plan d'eau des canaux. La couche capillaire s'étend seulement sur une trentaine de cm au-dessus de la nappe.

Les sols analysés présentent un pH constant, légèrement alcalin, un contenu organique très faible (0,8 à 3,2 %), une capacité d'échange cationique élevée (25,2 à 39,3 meq/100 g) et des concentrations en phosphore très variables (23 à 185 ppm). En général, les concentrations en azote (0 à 12 ppm) et potassium (0,1 à 0,8 meq/100 g) sont très faibles et voisines du seuil de carence. La distribution des teneurs en azote minéral le long d'un profil vertical type (0 à 60 cm) (**fig. 3**) indique que :

- les teneurs en azote minéral assimilables sont toujours très faibles;
- la nitrification semble s'effectuer normalement;
- les nitrates sont déjà absents à 20 cm sous la surface du sol;
- la dénitrification doit être importante et serait en rapport avec le pH alcalin, l'engorgement fréquent en eau et la grande capacité de ces sols;
- l'apport d'azote par diffusion au départ des eaux des canaux doit être négligeable.

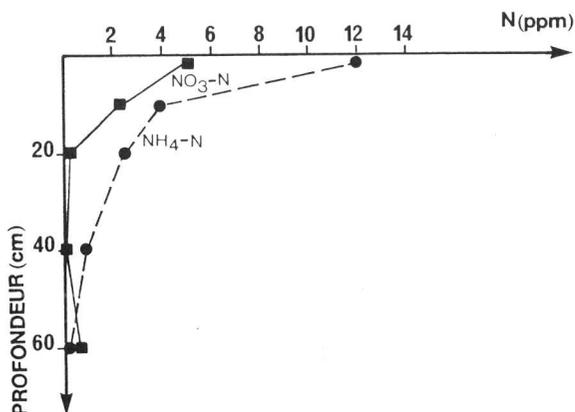


Fig. 3. Distribution type des teneurs en azote minéral dans un profil de sol des Camellones de Tucta (d'après HALEN, 1986).

Caractéristiques du milieu aquatique

Les eaux des canaux (tableau 3), comme celles du lac, présentent une conductivité élevée et sont riches en bicarbonates de calcium et en chlorure de sodium. Par contre, les concentrations en azote nitrique sont extrêmement faibles et constituent certainement un facteur limitant la production primaire. Les concentrations en ortho-phosphates sont caractéristiques de milieux plutôt mésotrophes.

Tableau 3. Composition des eaux du système agro-piscicole de Tucta mesurée à différentes saisons en 1986 (modifié d'après HALEN, 1986).

Paramètres chimiques	Canal sud	Canal central
Ca ⁺⁺ (meq/l)	3,5 à 4,9	2,4 à 3,3
Mg ⁺⁺ (meq/l)	1,6 à 2,1	1,0 à 1,5
Na ⁺ (meq/l)	0,9 à 1,6	0,8 à 1,2
K ⁺ (meq/l)	0,1 à 1,2	0,1 à 0,2
Somme cations (meq/l)	6,0 à 7,0	4,8 à 5,5
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	3,0 à 3,2	3,5 à 3,6
Cl ⁻ (meq/l)	1,0 à 1,3	0,8 à 1,2
SO ₄ ⁻ (meq/l)	1,3 à 1,7	0,7 à 0,9
Somme anions (meq/l)	5,4 à 6,0	4,8 à 5,5
Conductivité à 25°C (µmhos/cm)	654 à 677	524 à 535
pH	6,9 à 8,0	6,3 à 7,1
N-NO ₃ (µg/l)	22 à 83	58 à 148
P-PO ₄ (µg/l)	20 à 40	4 à 21

Les mesures de température et d'oxygène dissous dans l'eau des canaux à différentes profondeurs montrent qu'en période fraîche et venteuse (septembre à janvier) la circulation verticale des eaux est relativement bonne. Mais, pendant les mois chauds et de faible turbulence (fin février à juin, une nette stratification thermique (**fig. 4**) apparaît avec un thermocline qui s'étend de 1,5 à 2,5 m. Toutefois, cette stratification est labile et peut être annulée par l'action de vents violents comme ce fut le cas après une tempête, le 21 mars 1986. Ces résultats sont nettement confirmés par l'étude des profils d'oxygène dissous qui sont dans le canal sud (**fig. 5**) typiquement clinogrades avec des concentrations en oxygène dissous homogènes dans les deux premiers mètres (6 ppm) pour devenir anoxiques à la profondeur de 3 mètres. Cette stratification peut toutefois être annulée par de fortes turbulences (**fig. 5** : juillet 1986).

L'ensemble de ces caractéristiques édaphiques et aquatiques démontre qu'il est indispensable d'aménager les marais en fonction d'un plan précis qui tienne compte de quelques principes simples :

- récupérer sélectivement les vases organiques pour les placer à la surface des billons aménagés;
- concevoir un système agro-piscicole avec des billons moins larges (± 10 m), accessibles par terre, et tous à un même niveau, supérieur à celui des inondations;
- construire des billons bombés à surface convexe pour limiter l'effet des tassements et éviter les zones creuses où l'eau de pluie risque de stagner;
- isoler les canaux entre eux et les protéger des lacs par un système de tuyau "pipe" qui permette de réguler les variations de niveau d'eau. Leur profondeur ne doit pas dépasser 2 m, le fond doit être régulier et les berges en pente douce pour servir de frayères et faciliter la pêche à la senne.

3. PRODUCTIONS DES SYSTEMES AGRO-PISCICOLES AU RWANDA ET AU MEXIQUE

Bien que la production piscicole du système Camellones au Mexique n'en soit qu'au stade expérimental étant donné la fermeture très récente de seulement trois canaux, il nous paraît intéressant de comparer les productions actuelles de ces deux systèmes dans deux situations géographiques nettement différentes.

3.1. PRODUCTIONS AGRO-PISCICOLES D'URUBANDA ET RWINTAMA (RWANDA)

La production agro-piscicole a été mesurée régulièrement sur deux des sites aménagés dans les marais d'Urubanda et de Rwintama. Sur les billons (**photo 8**), on pratique la culture du soja, du maïs et de légumes divers avec trois cultures par an. Dans les étangs, on élève ensemble deux espèces de *Tilapia* à régime alimentaire complémentaire :

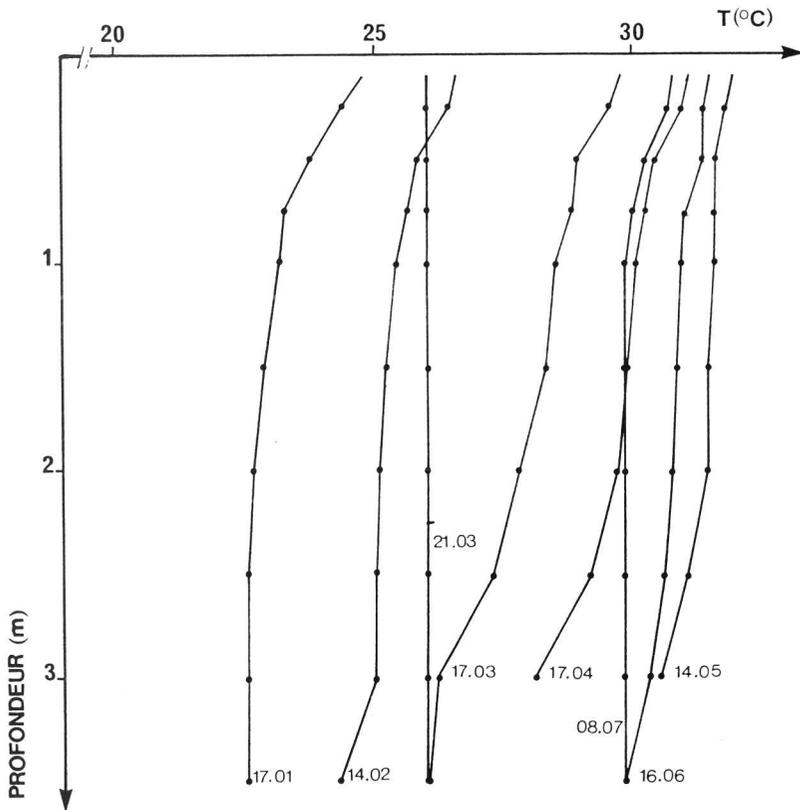


Fig. 4. Evolution des profils de température de l'eau du canal de janvier à juin 1986 (d'après HALEN, 1986).

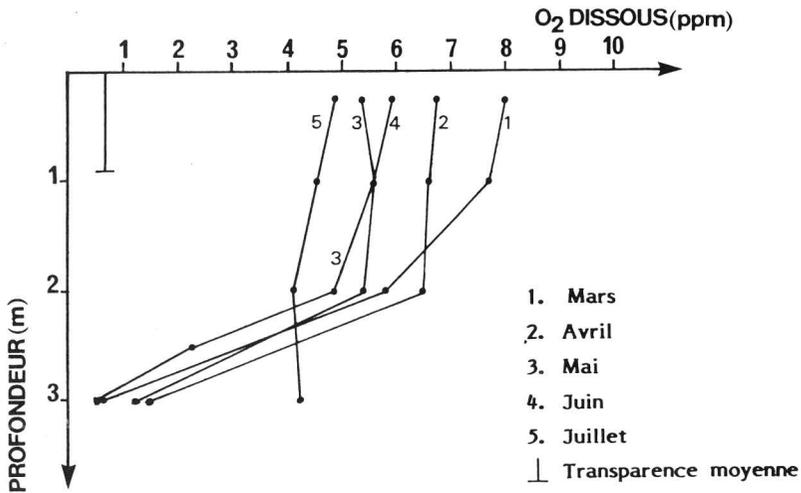


Fig. 5. Evolution des profils des concentrations en oxygène dissous dans l'eau du canal sud de mars à juillet 1986 (d'après HALEN, 1986).

Tilapia (Oreochromis) macrochir, omnivore et planctonophage, et *T. rendalli*, plutôt macrophytophage. Les proportions d'alevins des deux espèces à la mise en charge (100 ind/are) sont respectivement de 80 % de *T. (O.) macrochir* et 20 % de *T. rendalli*. Les déchets de culture sont découpés et jetés aux poissons. La vase des étangs est récupérée, après récolte annuelle des poissons, pour la fertilisation des billons.

Les résultats de production (**tableau 4**), obtenus sur les parcelles des paysans avec qui nous avons conduit nos expériences, montrent que le soja se comporte très bien sur ces sols constitués à partir du marais et les niveaux de production sont nettement supérieurs à ceux obtenus sur colline (moyenne nationale : 7,8 kg/are/an). La production des autres cultures est relativement bonne et également légèrement supérieure à la moyenne nationale. La production piscicole semi-intensive est d'un niveau acceptable pour les conditions de milieu (eaux acides et relativement fraîches : altitude 1.400 m). L'amplitude des variations des résultats provient notamment des différences d'acidité des eaux de ces marais et des différences d'intensité du nourrissage des poissons. Toutefois, cette production piscicole, qui demande très peu de travail au paysan, doit être considérée comme une plus-value de l'aménagement de l'hortillonnage et peut représenter 50 à 60 % des ressources du système (BARBIER et al., 1985).

Tableau 4. Caractéristiques et niveaux de production agro-piscicole des hortillonnages d'Urubanda et Rwintama.

Types de Culture	Durée (mois)	Superficie (ares)	Récolte (kg)	Production (kg/are/an)
Soja	3,5 à 4	11 à 17	55 à 250	14,6 à 65,9
Maïs	4 à 4,5	9 à 12	293 à 578	72,7 à 177,3
Choux	3	3	608	529,3
Tomates	4	4	663	150,5
<i>Tilapia</i> sp.	9 à 11	5 à 22	75 à 250	10,1 à 28,6

3.2. PRODUCTIONS AGRO-PISCICOLES DES CAMELLONES DE TUCTA (MEXIQUE)

Actuellement, les 30 ha de billons qui ont été distribués à 65 familles de Chontales (0,4 ha/famille) font l'objet d'une exploitation plus ou moins régulière. Les Chontales cultivent diverses plantes en association : bananiers, maïs et haricots (**photo 9**). Les résultats de production agricole (**tableau 5**) sont relativement faibles et limités par la pauvreté des sols en éléments fertilisants. L'apport d'engrais NPK, actuellement à l'essai, est susceptible d'améliorer nettement la production. Les cultures principales sont le maïs traditionnel (10 à 18 ha), la banane plantain (8,5 à 9,0 ha) et le haricot noir (3,8 à 6,1 ha). Des essais de production d'autres cultures non traditionnelles telles que piments et tomates sont menés avec

huit paysans volontaires encadrés par les membres du projet INIREB-ADRAI. Sur les deux billons en bordure des deux canaux, des essais de production (porc et volaille) sont en cours. Le poulailler est construit sur pilotis (photo 10) et des essais de production de poissons en cages (*Tilapia* et *Cichlasoma*) sont en cours. Parallèlement, trois canaux ont été fermés afin d'y tenter la pisciculture semi-intensive de *Tilapia* (*O. nilotica* L. en association avec des *Cichlasoma* autochtones.

Tableau 5. Caractéristiques et niveaux de production agricole des Camellones de Tucta de 1981 à 1984 (modifié d'après PIERARD et CHAVEZ, 1985).

Type de culture	Durée (mois)	Superficie (ha)	Récolte (T)	Rendement (T/ha)
Mais	± 4 mois	10,1 à 17,5	8,5 à 26,4	0,9 à 1,5
Haricot noir	± 3 mois	3,8 à 6,1	3,5 à 6,0	0,7 à 1,1
Haricot "pelon"	± 3 mois	0,5 à 1,1	0,4 à 0,8	0,7 à 0,9
Banane plantain	continu	8,5 à 9,0	20,6 à 63,4	2,4 à 7,3
Manioc doux	± 1 an	0,3 à 1,4	4,2 à 31,0	13,0 à 21,7
Papaye	continu	0,4 à 1,5	22,5 à 67,2	23,9 à 44,8
Canita (<i>Cyperus</i>)	continu	?	?	?
Piment	continu	0,2	-	-
Tomate	± 3 mois	0,4	-	-

4. POTENTIALITES D'AZOLLA POUR LE SYSTEME AGRO-PISCICOLE

Etant donné les très faibles concentrations d'azote dans les eaux et les sols des systèmes aménagés dans les deux marais tropicaux, il nous a semblé intéressant d'examiner les possibilités d'utilisation de la fougère aquatique flottante *Azolla*, bien connue pour sa fixation d'azote atmosphérique grâce à sa symbiose avec une cyanophycée : *Anabaena* (VAN HOVE, 1987). L'objectif final est d'augmenter la production aquatique et édaphique via la chaîne *Azolla* - poissons - fèces azotées - vases azotées - sols fertilisés (par récupération des vases). Cela correspond à un programme de longue haleine et des essais préliminaires *Azolla*-poissons sont menés au laboratoire de pisciculture du Blocry à l'U.C.L.

Grâce au laboratoire de Physiologie végétale de l'U.C.L. qui maintient en permanence de multiples souches des neuf espèces d'*Azolla*, nous avons pu commencer par un test d'appétence en nous limitant toutefois à 25 souches appartenant à quatre espèces d'*Azolla* dont *A. pinnata*, naturellement présente dans les marais du Rwanda, et *A. caroliniana*, présente dans les marais du Tabasco. A notre surprise (ANTOINE et al., 1986), *Tilapia* (*Oreochromis nilotica* L. préfère nettement *A. filiculoides* puis *A. microphylla* et *A. caroliniana*. L'espèce africaine *A. pinnata*



Photo 9. Indien Chontale plantant du haricot intercalaire au maïs et au bananier dans les Camellones de Tucta.



Photo 10. Agro-pisciculture expérimentale (maïs, poulailler, cages à tilapia) dans les Camellones à Tucta.

n'est presque jamais consommée. L'essai avec un cichlide mexicain, *Cichlasoma (Tilapia) melanurum* (= *fenestratum*) Gth., donne des résultats fort semblables : *A. microphylla* est préférée, suivie de *A. caroliniana* puis *A. filiculoides*. *A. pinnata* n'est pas appréciée par ce *Cichlasoma*. Les essais biochimiques avec l'aide du Pr. J.C. BRAECKMAN de l'U.L.B. confirment ces premiers résultats et indiquent qu'*Azolla pinnata* contient probablement une substance répulsive pour les poissons (WERY et al., 1987) alors que *A. microphylla* contiendrait une substance attractive.

Nous avons ensuite comparé la croissance de deux espèces de cichlides : *Tilapia (Oreochromis) nilotica* (africain) et *Cichlosoma melanurum* (d'Amérique Centrale) alimentés avec trois types de régimes différents (100 % granulés, 50 % granulés + 50 % *Azolla microphylla*, 100 % *A. microphylla*). Les résultats (ANTOINE et al., 1987) montrent que pour l'aliment artificiel (100 % granulés), *T. (O.) nilotica* est nettement plus performant et présente un taux de croissance spécifique plus élevé ($G = 2,3$) que *C. (T.) melanurum* ($G = 0,9$). Avec le régime mixte (50 % granulés et 50 % *Azolla*), la croissance des deux espèces est fortement réduite mais cette réduction est proportionnellement plus faible chez *C. (T.) melanurum*. Les poissons exclusivement nourris d'*Azolla* présentent une croissance pondérale négative mais la perte de poids est moindre chez *C. melanurum*. Ces premiers résultats indiquent donc que la valeur alimentaire d'*Azolla microphylla* pour les poissons paraît faible mais la ration alimentaire quotidienne était faible (3,6 %/jour) et les poissons utilisés sont loin d'être des herbivores typiques.

C'est pourquoi nous avons recommencé les expériences précédentes en comparant la croissance de deux espèces africaines, l'une typiquement herbivore, *Tilapia rendalli* et l'autre planctonophage, *T. (O.) nilotica*. Le régime granulés (100 %) donne de meilleurs résultats (MICHA et al., 1987 pour *T. (O.) nilotica* ($G = 2,3$) que pour *T. rendalli* ($G = 1,8$). L'incorporation d'*Azolla microphylla* (50 %) dans la ration alimentaire réduit la croissance des deux espèces mais *T. rendalli* ($G = 1,1$) est moins affecté que *T. (O.) nilotica* ($G = 0,9$). Le régime *Azolla* (100 %) donne, pour les deux espèces, une croissance négative.

Ces résultats sont assez décevants et confirment, s'il en est encore besoin, que l'espèce herbivore est moins affectée qu'une autre par l'incorporation d'*Azolla microphylla* dans son régime alimentaire. Toutefois, des essais complémentaires des capacités d'ingestion d'*Azolla* (MICHA et al., 1987a) montrent que *T. rendalli* peut ingérer une quantité beaucoup plus importante d'*Azolla microphylla* (jusqu'à 12 % de son poids/jour) que l'espèce planctonophage *T. (O.) nilotica* (jusqu'à 4 % de son poids/jour). C'est pourquoi nous avons recommencé les expériences en augmentant la ration alimentaire quotidienne (5 %) et en essayant de tester un apport précis d'*Azolla microphylla* dans la croissance des poissons. Les résultats avec trois régimes différents (100 % granulés, 50 % granulés + 50 % *Azolla*, 50 % granulés seuls) montrent que l'incorporation d'*Azolla microphylla* (50 % granulés et 50 % *A. microphylla*) permet une croissance nettement meilleure de l'espèce herbivore, *T. rendalli*, que des espèces planctonophages (MICHA et al., 1987b).

Finalement, il apparaît que *A. microphylla*, combinée avec d'autres sources de nourriture, présente une valeur nutritive raisonnable pour l'espèce herbivore mais quasi nulle pour les espèces omnivores et planctonophages.

5. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les zones marécageuses représentent en région tropicale de très vastes superficies non seulement dans les plaines bordant les mers mais aussi à différentes altitudes où les eaux, à la suite de contraintes géologiques, s'écoulent difficilement vers l'aval. Ces marécages à dominantes herbacées (marshlands) ou arbustives (swamps) ont été, jusqu'à présent, peu ou non exploitées. Dans diverses régions (Amérique Centrale, Afrique, Asie), les traditions culturelles ont conduit à exploiter durablement ces zones en effectuant une culture saisonnière de décrue (maïs au Mexique, patate douce au Rwanda). Mais l'augmentation démographique des pays en voie de développement a conduit à l'exploitation de toutes les bonnes terres arables disponibles et les aménagistes se tournent, de plus en plus fréquemment, vers les terres marginales de type marécageux.

Le dénominateur commun de la plupart des aménagistes est leur phobie des eaux et leur objectif primordial est généralement de drainer et d'assécher les marais et de les transformer en zones agricoles. Dans certains cas, la solution est certainement valable. Toutefois, le drainage de certains marais d'altitude au Rwanda les a rendus totalement improductifs en saison sèche, ne permettant plus aux paysans de faire leur culture traditionnelle dite de soudure et réduisant ainsi leur auto-suffisance alimentaire. La destruction de la forêt marécageuse au Tabasco, qui permettait aux pêcheurs de récolter régulièrement du poisson (50 kg/ha/an), pour en faire de très mauvais pâturages pour l'élevage extensif de bovins ("ganadarisation") permet aux éleveurs de produire un bétail très maigre à faible productivité (50 à 100 kg/ha/an). La destruction de ces écosystèmes semi-aquatiques en valait-elle la peine ? Ne faudrait-il pas, pour l'avenir de ces zones marécageuses et des hommes qui sont amenés à y vivre et à en vivre, envisager une autre stratégie de développement plus durable qui maintienne les caractéristiques fondamentales du système, ce qui implique de gérer correctement l'eau dans ces milieux particuliers.

L'objectif premier des populations humaines qui ont utilisé les marais a toujours été d'assurer durablement leur auto-suffisance alimentaire. Les aménagements des marais devraient donc partir de ce constat et renforcer cette stratégie, en aménageant les marais pour obtenir, au moins, une récolte de produits agricoles en saison sèche. L'expérience de Kirarambogo montre que c'est non seulement possible mais que, en plus, on peut obtenir deux autres récoltes de produits agricoles sur le reste de l'année, complétées par une récolte de poissons qui peut être programmée selon les besoins. L'agro-pisciculture présente donc pas mal d'avantages et, comparativement à la riziculture, elle permet au paysan de diversifier sa production et d'être beaucoup plus indépendant. Toutefois, l'aménagement agro-piscicole implique un plan général d'utilisation du marais et une bonne conception technique du système. A la construction, il faut prévoir :

- pour le milieu terrestre :
- de récupérer les vases organiques pour les installer à la surface des billons;
- de bomber les billons pour limiter les effets du terrassement;
- de limiter la largeur des billons pour permettre une irrigation naturelle par la nappe phréatique;
- une dénivellation terre-eau de 0,5 à 1 m selon le type de culture;

- pour le milieu aquatique :

- des étangs ou canaux fermés à fond plat et régulier, indispensable pour une exploitation piscicole;
- une profondeur maximale de 2 m pour éviter l'hypolimnion anaérobie;
- des berges (au moins une) en pente douce pour le frai des poissons et leur récolte au filet de senne si le canal n'est pas vidangeable.

Le niveau de production de ces milieux marécageux est toutefois limité par la pauvreté en azote assimilable ($< 0,1$ mg/l). L'utilisation d'engrais (NPK) permet d'augmenter de façon spectaculaire la production notamment agricole (cfr. Tutca au Mexique) mais leur coût est souvent élevé. Malgré la rentabilité de cette technique, elle ne se répand pas facilement dans les milieux ruraux pauvres. C'est pourquoi l'introduction d'*Azolla*, fougère aquatique flottante, fixant grâce à sa symbiose avec une cyanophycée (*Anabaena*) l'azote atmosphérique (900 à 1.200 kg/ha/an), pourrait augmenter la productivité des systèmes agro-piscicoles via la chaîne *Azolla* - poissons - fèces - vases - terres agricoles. A cet égard, les expériences de laboratoire démontrent l'importance du choix de l'espèce d'*Azolla* qui doit être appréciée par les poissons. Ainsi, l'espèce américaine *Azolla caroliniana* paraît être excellente, ce qui n'est pas le cas de l'espèce africaine *A. pinnata*. De même, le choix des espèces de poissons pour valoriser *Azolla* est lui aussi crucial puisque *Tilapia nilotica*, espèce planctonophage, ne peut consommer en *Azolla* que l'équivalent de 4 % de son poids par jour et présente une croissance très faible alors que *Tilapia rendalli*, espèce herbivore, peut consommer en *Azolla* jusqu'à 12 % de son poids par jour et présente une croissance intéressante.

En conclusion, l'avenir des zones marécageuses, de plus en plus menacées, ne connaîtra une utilisation durable que si on les aménage en y maintenant l'eau. Ces zones potentiellement très productives peuvent et doivent garder leurs caractéristiques actuelles pour contribuer au bien-être de l'homme. Les résultats expérimentaux des projets de Kirarabongo et Tutca l'ont déjà démontré et, sur ces bases, les futurs essais de production d'*Azolla* dans ces systèmes apparaissent prometteurs.

REMERCIEMENTS

Sans L. MORALES et A. GOMEZ-POMPA qui m'ont fait connaître les réalisations mexicaines anciennes et récentes en hydro-agriculture, ces travaux n'auraient pas vu le jour.

La F.U.C.I.D., l'A.G.C.D. et la C.C.E. ont subsidié partiellement ces études pilotes.

Au Rwanda, la population de Kirarabongo concernée par les activités agro-piscicoles, Mme M. VERMANDELE, animatrice de base et directrice du Centre Médico-Social de Kirarabongo, C. KALIMANJIRA, T. SHYAKA et J.-L. NOISET ont travaillé les pieds dans l'eau pour aménager le système et le faire produire; P.C. KAJYAMBERE et E. NDAYAMBAJE, respectivement bourgmestres des communes de Kibayi et Muganza, ont sans relâche soutenu cette action; P. BARBIER et P. WILLOT ont collecté et traité les données socio-économiques; toutes ces personnes ont contribué au développement de ce projet.

Au Mexique, les Indiens Chontales de Tucta, M. CHAVEZ, directeur du centre régional de Tabasco de l'I.N.I.R.E.B., O. PIERARD, H. HALEN, L. ROSADO et toute l'équipe de techniciens mexicains contribuent à une meilleure production et connaissance du système.

Que toutes ces personnes et institutions soient sincèrement remerciées de leur aide précieuse dans l'étude et le développement de ces projets d'aménagement de marais en écosystèmes agro-piscicoles.

BIBLIOGRAPHIE

AGUILAR, I., 1982

Las Chinampas, una tecnica agricola muy productiva, 86 p.
Arbol Editorial S.A. de C.V. Mexico.

ANTOINE, T., S. CARRARO, J.-C. MICHA, C. VAN HOVE, 1986

Comparative appetency for *Azolla* of *Cichlosoma* and *Oreochromis* (*Tilapia*).

Aquaculture, 53 : 95-99.

ANTOINE, T., P. WERY, J.-C. MICHA et C. VAN HOVE, 1987

Comparaison de la croissance et de la composition biochimique d'*Oreochromis* (= *Tilapia*) *niloticus* (L.) et de *Cichlosoma* (*Theraps*) *melanurum* Gth, nourris avec *Azolla*. En préparation.

BARD, J., P. DE KIMPE, P. LESSENT et J. LEMASSON, 1974

Manuel de Pisciculture Tropicale, 209 p.
C.T.F.T., Nogent-sur-Marne.

BARBIER, P., C. KALIMANZIRA, J.-C. MICHA, 1985

L'aménagement de zones marécageuses en écosystèmes agro-piscicoles. Le projet de Kirarabongo au Rwanda. Rapport de synthèse 1980-1985, 35 p.

Ed. F.U.C.I.D., Namur.

BOUBAKAR, Bă, 1972

Le Rwanda et son avenir, 216 p.
Afrique Edit., Bruxelles.

CHAVEZ, M. et J.-C. MICHA, 1987

Développement d'écosystèmes agro-piscicoles dans les marais tropicaux. Prélude, sous presse.

DE MERONA, B., 1986

Conditions écologiques et économiques de la production d'une île de *Varzea* : l'île de Careiro, 23 p.
Bulletin d'information Careiro N° 0.

DEGAND, J., 1984

Relever le défi de la faim dans le monde, une préoccupation majeure pour l'homme du vingtième siècle, 13 p.
Economie et humanisme, 280.

- DREZE, A. et R. SCHUMACKER, 1986
Faniae. Réserve naturelle des Hautes-Fagnes, 280 p.
Locoms, Eastbourne.
- HALEN, H., 1985
Etude du fonctionnement d'un écosystème agro-piscicole de la région marécageuse de l'Etat de Tabasco. Premier rapport d'avancement, 32 p.
Deuxième rapport d'avancement, 29 p.
F.N.D.P. - U.N.E.C.E.D., Namur.
- HALEN, H., 1986
Etude du fonctionnement d'un écosystème agro-piscicole de la région marécageuse de l'Etat de Tabasco. Troisième rapport d'avancement, 41 p.
Quatrième rapport d'avancement, 45 p.
F.N.D.P. - U.N.E.C.E.D., Namur.
- KALIMANZIRA et C., J.-L. NOISET, 1982
Rapport technique sur l'aménagement de systèmes agro-piscicoles ("hortilonnages") dans les marais de l'Akanyaru, à Kirarambogo, au Sud du Rwanda., 67 p.
Ed. U.N.E.C.E.D./F.N.D.P. Namur.
- LAZARD, J., 1986
Une voie pour le développement de la pisciculture en Afrique : son intégration aux systèmes de production agricole.
Aqua Revue, 7 : 31-35.
- MICHA, J.-C., 1973
Etude des populations piscicoles de l'Ubangui et tentatives de sélection et d'adaptation de quelques espèces à l'étang de pisciculture, 110 p.
Ed. C.T.F.T., Paris.
- MICHA, J.-C., 1974
La pisciculture africaine, espèces actuelles et espèces nouvelles, 163-197
in RUWET, Zoologie et Assistance Technique, 381 p.
Ed. FULREAC, Liège.
- MICHA, J.-C., 1981
Aquaculture. Potentialités actuelles et futures en eaux douces.
Bull. Fr. Piscic., 284 : 178-188.
- MICHA, J.-C., 1985
L'aménagement de marais tropicaux en écosystèmes agro-piscicoles.
Bull. Séanc. Acad. r. Sci. Outre-Mer, 31 (3) : 371-389.
- MICHA, J.-C., T. ANTOINE, P. WERY and C. VAN HOVE, 1987a
Growth, ingestion capacity, comparative appetency, and biochemical composition of *Oreochromis niloticus* (L.) and *Tilapia rendalli* fed with *Azolla*.
2nd Int. Symp. on Tilapia in Aquaculture, Bangkok, sous presse.
- MICHA, J.-C., B. N'GUESSAN et C. VAN HOVE, 1987b
Azolla, aquatic fern, as feed for fish.
Soumis pour publication.

- NOISET, J.-L., 1985
Aménagement d'un système agro-piscicole dans le marais de Akadahokwa, commune de Kibayi, 9 p.
Inédit.
- NOISET, J.-L., 1987
Proposition pour l'aménagement des marais de Ndyrume et Busave dans la commune de Muyanza (Rwanda), 150 p.
Inédit.
- OPSOMER, J.E., 1982
La mise en valeur des terrains soumis aux crues des rivières.
Bull. Agr. Congo Belge, 33 (4) : 445-458.
- PIERARD, O. et M. CHAVEZ, 1985
Projet de développement d'un système agro-piscicole en zone marécageuse des Chontales Tabasco - Mexique. Rapport d'avancement, 15 p.
Inédit.
- ROY, P., 1981
Les hortillonnages, 31 p.
Ed. Le Courrier Picard, Amiens.
- SCETAGRI, 1983
Zone de Butare Sud. Schéma de développement des communes de Kigembe et Kibayi.
Minagri, République Rwandaise, Inédit.
- SEINGRY, G.F., 1986
Les plus belles réserves naturelles de Belgique, 304 p.
N.V. Reader's Digest S.A., Bruxelles.
- U.I.C.N. - P.N.U.E. - W.W.F., 1980
Stratégie mondiale de la conservation. La conservation des ressources vivantes au service du développement, 51 p.
F.A.O., Rome et Unesco, Paris.
- VAN HOVE, C., 1987
Potentiel de valorisation d'*Azolla* en agriculture africaine; pp. 31 - 42 in Aquaculture et Développement.
Cah. Ethol. Appl., 7 : 152 pages.
- VINCKE, P. et J.-C. MICHA, 1985
Fish Culture in rice fields, 291-314 in Proceedings of the 16th Session of the International Rice Commission, Los Banos, Laguna, Philippines, F.A.O., Rome, 326 p.
- WERY, P., J.-C. MICHA, C. VAN HOVE and J.-C. BRAEKNAM, 1987
Chemical relationship between *Azolla* and *Cichlosoma*.
Aquaculture, 61, sous presse.