

## **Les terroirs rizicoles des Hautes Terres de Madagascar environnements physiques et aménagements**

**M. RAUNET (1)**

**RÉSUMÉ** - Madagascar est un pays typiquement rizicole. Les Hautes Terres centrales sont la principale région de production (9 000 km<sup>2</sup> de rizières aquatiques repiquées). Cette région n'est pas exempte de diversité : vallées, grandes plaines et versants façonnés en terrasses, sont, les trois grands types de paysages rizicoles, aménagés différemment suivant les régimes hydrologiques à maîtriser, les traditions socio-culturelles et les moyens techniques mis en œuvre. Les types d'aménagement : sont donc le résultat de la combinaison de trois composantes : milieu physique, milieu humain, injection plus ou moins importante de moyens techniques. Pour illustrer cette problématique, deux pôles extrêmes de mise en valeur sont envisagés et comparés : la riziculture traditionnelle de vallée et la riziculture de plaine colonisée récemment, récupérée par drainage et gérée par une société «d'aménagement». Les modalités d'aménagement sont examinées (drainage, irrigation, récupération des sols tourbeux, planages. ..) ainsi que les problèmes qui en découlent, suivant : les caractéristiques hydromorphopédologiques particulières des milieux concernés, et leurs tailles.

**Mots clés** : Madagascar, riziculture aquatique, terrain rizicole, milieu physique, aménagements.

*NB : de nombreuses figures sont manquantes, dû à la (très) mauvaise qualité des images scannées*

Nous voudrions montrer brièvement pour les terroirs à riz aquatique des hauts plateaux malgaches, comment les caractères du milieu physique orientent leurs modalités d'aménagement. A titre d'exemple, nous choisirons deux types de mise en valeur : la vaste plaine du lac Alaotra d'une part et le réseau de petites vallées, caractéristique des Hautes Terres, d'autre part.

Ce thème sera développé selon une optique comparative et méthodologique. D'un point de vue comparatif, il nous a semblé intéressant d'examiner les pôles opposés de mise en valeur :

-à un pôle, l'exploitation de vastes espaces par l'intermédiaire d'une société d'aménagement demandant la création et la gestion d'un réseau d'irrigation et de drainage lourd ainsi qu'un encadrement semi-dirigé des paysans migrants, allocataires d'un parcellaire prédéterminé ;

-à l'autre pôle, nous trouverons la mise en valeur traditionnelle des bas-fonds et petites vallées, exclusivement par des moyens communautaires propres, et résultant d'un équilibre naturel et ancestral milieu physique/milieu humain. Les aménagements restent alors modestes et adaptés à l'échelle villageoise.

D'un point de vue méthodologique, nous insisterons sur la nécessité d'une analyse du milieu physique, d'une part avant : d'entreprendre de vastes aménagements rizicoles, évitant l'approche technocratique nuisible et coûteuse, d'autre part pour comprendre la logique des techniques traditionnelles et être capable de les améliorer. Une telle analyse comporte :

-l'identification des unités de milieu ;

-la compréhension de leurs processus hydrologiques en relation avec la répartition des sols

et des types de reliefs ;

-la définition des contraintes pertinentes à éviter ou à corriger et des avantages spécifiques à exploiter ;

-la localisation spatiale , c'est-à-dire la cartographie des ensembles hydromorphopédologiques, homogènes, à l'échelle adéquate.

Naturellement, nous n'aborderons ici que ce qui ressort du milieu physique, sans parler du contexte humain et de ses exigences, très variable d'une région à une autre, et qui a, bien entendu, une part au moins, aussi grande dans les choix d'aménagements, qu'ils soient orientés de l'extérieur ou bien issus d'une dynamique et d'une logique internes.

### **Les Hautes Terres malgaches**

Située dans l'océan Indien, l'île de Madagascar a une superficie de 592 000 km<sup>2</sup>. Sa population est en majeure partie d'origine asiatique (indo-malaise), ce qui explique que son économie vivrière soit basée sur la riziculture aquatique repiquée, dont la superficie représente environ 13 000 km<sup>2</sup>.

Les Hautes Terres centrales, dont l'altitude varie de 900 à 1 700 mètres, ont une superficie de 120 000 km<sup>2</sup>.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 1 200/1 500 mm. Pendant l'année, une saison chaude et pluvieuse alterne avec une longue saison sèche et fraîche (altitudes élevées et latitudes relativement basses). Pour cette raison il ne se pratique qu'une seule campagne rizicole, en saison des pluies. D'autre part, depuis maintenant une dizaine d'années le gouvernement tente de promouvoir la culture du blé de contre-saison en rizière (après la récolte du riz, grâce à l'utilisation de la remontée capillaire, à partir de la nappe phréatique peu profonde).

Du point de vue géologique, les Hautes Terres sont constituées essentiellement de roches granito- gneissiques du socle précambrien. Le substratum sain est matelassé par 20 à 40 mètres de « roches pourries » coiffées par des sols rouges ferrallitiques acides sans indurations ferrugineuses (carapaces ou cuirasses), contrairement à ce qu'on trouve souvent en Afrique.

Une nappe phréatique d'altérite permanente imprègne la base de ce manteau d'altération, et joue un grand rôle sur les régimes hydrologiques des plaines et vallées.

### **Les paysages rizicoles des Hautes Terres**

Sur les hauts plateaux, les terroirs rizicoles représentent environ 9 000 km<sup>2</sup>. En termes de paysage, ils sont répartis schématiquement en trois grands ensembles.

Les rizières de vallées (environ 6 000 km<sup>2</sup>). Ce type de paysage (figure 1) est le plus typique et le plus important, il consiste en un réseau remarquablement dense de vallées et vallons encaissés à fonds plats, servant de niveaux de base aux eaux phréatiques (alimentées par les pluies) imbibant le manteau d'altération des plateaux et collines qui les dominent. Ces systèmes de vallées sont entièrement gérés et cultivés en riz: inondé (grâce à des aménagements minima) par le paysannat traditionnel. La maîtrise de l'eau est généralement très imparfaite : le ruissellement direct, la nappe

phréatique et les petits canaux d'amenée qui alimentent les rizières, sont toujours, plus ou moins directement et à retardement, sous la dépendance des pluies (l'IRRI classe ces terres en « *rainfed lowland rice* ...).

Les rizières de plaines (environ 2 000 km<sup>2</sup>). Telles la plaine du lac Alaotra, les plaines de Tananarive et de multiples autres de tailles plus modestes - mais généralement supérieures à 1 000 hectares - ces terroirs rizicoles (figure 2), également caractéristiques des Hautes Terres, requièrent d'importants ouvrages de drainage et d'irrigation, dépassant les ressources des seules communautés villageoises. Quand les aménagements ne sont pas trop anciens, qu'ils ont été correctement conçus, qu'ils sont entretenus et bien utilisés, le contrôle de l'eau dans les rizières peut être effectivement assuré, ce qui permet alors de parler de riz irrigué (*irrigated rice* pour l'IRRI). En réalité, la plupart du temps, une proportion importante de la superficie est encore en *rainfed lowland rice*. Comme dans les vallées, les sols à riz sont ici toujours des sols hydromorphes, minéraux ou organiques, souvent carrément tourbeux (interaction de l'engorgement plus ou moins permanent avec le froid de saison sèche).

Les rizières en terrasses (environ 1 000 km<sup>2</sup>). Paysages rizicoles les plus spectaculaires et photogéniques (figure 3), ils ont été « construits » par nécessité dans les régions [moitié sud des Hautes Terres] où une faible densité de plaines et vallées a obligé les paysans à remonter sur les versants. Les altérations ferrallitiques ont alors été soigneusement modelées en gradins plus ou moins étroits suivant les courbes de niveau et en fonction de la pente des versants. Les terrasses sont alimentées en eaux par des canaux sinueux, en position dominante, parfois pendant des kilomètres, à partir de vallons à sourcins perchés et captés. Ces rizières en terrasses reçoivent également les eaux de pluie et les ruissellements issus des parties supérieures, non aménagées, des versants. Elles sont donc soumises aux aléas pluviométriques, bien que toujours repiquées. Le contrôle de la lame d'eau y est toujours difficile (fréquents « à secs »), d'autant plus qu'il n'y a pas ici d'assistance possible par une nappe phréatique peu profonde. Il s'agit d'un riz mixte : pluvial-inondé [il semble que l'IRRI parle encore ici de *rainfed lowland rice*, ce qui n'est pas très satisfaisant. Signalons que le terme de *upland rice* est réservé aux terroirs, ni planés ni entourés de diguettes, ce qui n'est pas le cas ici]. Les sols d'origine sont ferrallitiques, et les problèmes de pH et de toxicité aluminique peuvent alors apparaître.

Les problèmes d'aménagement, récupération des sols tourbeux ou amélioration du contrôle de l'eau des rizières (irrigation-drainage), se posent essentiellement pour les terroirs des deux premiers types. Nous allons donc en considérer plus en détail des exemples représentatifs : la plaine du lac Alaotra d'une part et les petites vallées de la région de Tananarive d'autre part. Nous verrons que ces problèmes se posent et se résolvent différemment dans les deux cas.

## **Mise en valeur et aménagement des grandes plaines : cas de la plaine du lac Alaotra**

### **Le contexte physique général**

La région du lac Alaotra est située sur la bordure nord-orientale des Hautes Terres centrales. La plaine proprement dite, située à 750 mètres d'altitude, occupe une vaste cuvette d'une superficie totale de 180 000 hectares. Celle-ci est dominée et entourée par de hautes collines couvertes par un épais manteau d'altération ferrallitisé, affectant des roches à prédominance granito-gneissique. La formation de cette cuvette est partiellement d'origine tectonique, mais elle est principalement la conséquence d'une érosion régressive « normale » prenant naissance à partir de son exutoire situé dans sa partie nord-est. Les formations superficielles de la plaine sont constituées de matériaux de fluage et d'alluvions lacustro-fluvio-deltaïques stratifiées. Ces remplissages ont pour origine le déblaiement et le fluage régressif suivis par leur étalement et leur redistribution -localement tris granulométriques et stratifications -en aval, des épaisses altérations ferrallitisées des collines périphériques. Ces processus de fluage ont été conditionnés par la déstabilisation de l'épaisse couverture d'altérites sous l'effet de son imprégnation par une nappe phréatique à mouvements latéraux et à rabattements, activés en aval par le creusement progressif du seuil de l'exutoire. Nous n'insisterons pas davantage sur ces processus hydrogéo-morphologiques, mais signalons qu'ils sont d'une importance capitale pour expliquer la genèse de ces plaines d'évidement, si fréquentes à Madagascar. La plaine du lac Alaotra est spécialement intéressante car elle est suffisamment vaste pour que s'y soient déployées toutes les modalités possibles de ces processus [avec leurs conséquences sur les sols, les eaux et les types d'aménagement souhaitable] que l'on peut voir séparément et parfois de façon moins nette dans toutes les autres plaines des hauts plateaux granito-gneissiques.

La cuvette de l'Alaotra est occupée, en position décentrée vers le nord-est, par un lac résiduel (figure 4) peu profond (2 à 4 mètres) de 25 000 hectares. Ce lac est entouré par un vaste marécage (95 000 hectares) à papyrus, dont les débris donnent naissance à une épaisse tourbe flottante (sur 1 à 2 mètres d'eau). Autour de cette eau libre (lac proprement dit et tourbe flottante) s'étend, plus ou moins concentriquement, une série d'unités de milieu, (figure 5) inondables (à l'état naturel initial) ou engorgées, caractérisées par différents types de sols hydromorphes (des sols tourbeux aux sols hydro-morphes minéraux) affectés de dynamiques hydrologiques spécifiques. La quasi-totalité de ces terres entourant les marais résiduels centraux, soit environ 60 000 hectares, est actuellement récupérée et utilisée pour la riziculture.

Sur ces 60 000 hectares, environ 40 000 (ouest et sud) sont aménagés (figure 6) en vue d'une irrigation et d'un drainage permettant un contrôle correct de l'eau (riz irrigué). En fait, nous verrons que, pour diverses raisons, ceci est loin d'être le cas.

Les 20 000 hectares restants (nord et est) n'ont pas fait l'objet de grands travaux d'aménagement, ils sont cultivés en conditions traditionnelles sans contrôle correct et permanent de l'eau (*rainfed lowland rice*).

Ainsi, dans la plaine, suivant les types de milieu considérés, l'importance, la qualité et l'entretien des travaux d'aménagement, les pratiques rizicoles (calendriers, cycles, variétés ..) demandent à être adaptées. Toutes ces situations peuvent se présenter :

- riz irrigué à repiquage précoce (pour les variétés photosensibles) ou plus tardif (riz non

photosensible ou à cycle court.) ;

- riz flottant. et. riz dressé ;
- riz à alternance inondation/exondation ;
- riz de nappe ;
- riz pluvial.

Tous les intermédiaires entre les trois dernières catégories peuvent aussi exister.

L'idéal est le riz irrigué en variétés productives, mais il n'est pas techniquement. ou économiquement. envisageable sur tous les sites. Il convient. donc de trouver les meilleurs compromis entre d'une part, des aménagements efficaces (privilégiant les « meilleures » variétés irriguées) et, d'autre part la recherche de variétés convenant. aux milieux hydromorphologiques considérés, pour lesquels il n'est. pas indiqué d'investir dans des aménagements lourds s'ils s'avèrent en définitive peu adaptés.

### **Répartition des ensembles hydromorphologiques**

S'agissant d'un cas exemplaire représentatif, et non d'un exposé monographique et. technique régional, nous pouvons schématiser ainsi.

De la périphérie amont. à la partie centrale aval, ([figures 5](#) et [7](#)) se dessine une succession subconcentrique, réglée par un enchaînement. génétique logique de processus sédimentologiques, hydrologiques et hydromorphiques.

#### L'unité I

Elle caractérise les situations excentriques des plaines de piémont. (7 500 ha, soit. 4 à 5 % de l'ensemble de la cuvette et. 10 à 15 % des terres rizicultivées). Les matériaux constitutifs proviennent ici du fluage des altérites des collines périphériques, de la « fonte » et de l'étalement régressifs de ces dernières jusqu'au niveau de base des eaux phréatiques et superficielles, correspondant au plancher de la vaste cuvette. Ces matériaux sont argilo-sableux et colmatés dans leur partie supérieure, sableux et lavés (par les circulations phréatiques latérales) en dessous. Ce sont des sols hydromorphes minéraux (c'est-à-dire à moins de 6 % de matière organique). Leur fertilité naturelle est faible : pH acide (4,5 à 5), capacité d'échange très limitée, structure massive, faible porosité, faible capacité de rétention en eau (3 %).

#### L'unité II

Il s'agit maintenant de vraies alluvions fluvio-lacustres montrant une alternance de strates de sable pur et d'argile fine, jamais un mélange argilo-sableux comme dans le cas des matériaux de fluage non triés de l'unité I.

Ces alluvions résultent de la décharge et. du tri en milieu lacustro-deltaïque, de sédiments en provenance des bassins périphériques.

L'unité II représente à peu près 10 % de la plaine, soit. 25 % de l'ensemble des rizières. Il s'agit encore de sols hydromorphes minéraux en majeure partie très argileux, mais pouvant. montrer à faible profondeur des strates sableuses (gênantes pour la riziculture). Ces sols ont une fertilité

globale nettement supérieure à celle de l'unité I : pH 5 à 6, bonne structure (mais porosité faible), capacité d'échange correcte, capacité de rétention en eau également bonne ( 12 %).

### L'unité III

Prolongement aval naturel des mêmes matériaux alluviaux, cette unité se distingue de la précédente par la présence de sols hydromorphes moyennement organiques, avec 6 à 15 % de matière organique non tourbeuse, de type anmoor c'est-à-dire constituée d'un mélange intime d'argile et d'humus. Leur fertilité pour le riz est de ce -fait légèrement valorisée par une meilleure capacité d'échange en surface. Par contre elle est souvent dépréciée par la présence, plus fréquente que dans l'unité II, de niveaux sableux plus ou moins épais près de la surface. En effet, en règle générale, les nappes de sable deltaïque sont d'autant plus fréquentes, dans la partie supérieure des alluvions, que celles-ci sont en position plus aval.

L'unité III intéresse 7 % de la superficie de la plaine, soit. 17 % des rizières.

### L'unité IV

Elle concerne le prolongement: aval des dépôts deltaïques des unités **II** et **III**, ces dernières étant ici recouverts d'un niveau tourbeux résiduel résultant de la récupération pour la riziculture, d'anciennes tourbes flottantes, après drainage et brûlage partiel (voir ci- dessous). L'horizon tourbeux supérieur (plus de 15 % de matière organique) possède maintenant 20 à 50 cm d'épaisseur. Il est plus ou moins épais, tassé, consolidé et: remanié (vers de terre, travail du sol) suivant l'ancienneté de sa récupération, donc sa proximité du marais central actuel à papyrus (unité V). La zone tourbeuse récupérée est vaste, elle représente 15 % de l'ensemble de la plaine et 35 % du terroir rizicole. Des problèmes spécifiques, agronomiques et d'aménagement s'y posent (voir ci-dessous), d'autant plus que les alluvions deltaïques sous-jacentes sont souvent riches en niveaux sableux.

### L'unité V

Cet: ensemble est constitué par le marécage à cyperacées, vaste étendue (50 % de la cuvette) d'eau libre, de 1 à 3 mètres de profondeur, colonisée par une végétation dense de papyrus ; il s'agit du prolongement naturel du lac proprement dit (14 % de la surface totale), lui-même un peu plus profond (sans atteindre une profondeur de 4 mètres).

L'accumulation de débris organiques non humifiés y a formé une épaisse et: grossière tourbe flottante où les papyrus trouvent leur propre support.

### L'unité VI

Cette unité de milieu ne s'intègre pas à la zonalité sub-concentrique décrite précédemment, mais au contraire recoupe transversalement et indifféremment (sans lien génétique) les unités de cette dernière.

Ce sont des cônes d'épandages fluviaux micacés à dynamique hydro-sédimentologique active (appelés *baibohos* à Madagascar). Ils représentent (figure 8) les exutoires aval des bassins versants actuellement très fortement disséqués par une érosion en ravins profonds spectaculaires, (*lavaka*) évacuant une grande quantité de roche pourrie (donc riche en mica), constituant le coeur des reliefs dominants.

Les sols alluviaux (hydromorphes minéraux) qui en résultent, d'une teinte rosâtre, ont une granulométrie limono-micacée dominante. Leur fertilité est généralement bonne (la meilleure dans la région), du point de vue physico-chimique et hydrique. C'est parmi eux, en particulier, que l'on trouve les meilleurs sols à blé de contre-saison, du fait de leur faculté à remonter par capillarité l'eau de la nappe phréatique.

Malgré tout, ces matériaux, ne sont pas homogènes et s'ordonnent granulométriquement suivant une nette loi de répartition : sableux en amont, ils deviennent progressivement à dominance limoneuse, puis argileuse en aval. Partout (avec des probabilités différentes), des couches sableuses peu profondes peuvent exister et sont, difficiles à prévoir et à localiser (dynamique fluviale balayante, plus ou moins aléatoire) .C'est le principal inconvénient de ces sols excellents par ailleurs.

### **Mise en valeur et caractéristiques du milieu : difficultés rencontrées et problèmes agronomiques.**

#### **Conditions de réalisation des aménagements**

Toutes les unités de milieu brièvement décrites ci-dessus présentent en plus de leurs spécificités pédologiques, et liés à elles, des régimes hydrologiques propres. Chacune présente donc, dans l'optique de la riziculture (et: du blé de contre-saison) un certain nombre de contraintes particulières auxquelles il faut s'adapter ou qu'il faut corriger, mais aussi des aspects positifs dont il s'agit de tirer profit. En toute logique, les aménagements devraient donc être conçus spécifiquement. Cela n'a pas été le cas dans la réalité, pour diverses raisons, la principale étant l'absence de diagnostic préalable suffisamment global., et précis, de l'état des lieux. Une attention particulière devrait être également consacrée à prévoir les conséquences des aménagements locaux sur l'évolution future, dans l'ensemble du périmètre. Des effets indésirables et non réversibles, à la suite de travaux de mise en valeur inadéquats en certains endroits peuvent avoir des conséquences néfastes ailleurs, sur des zones déjà aménagées. Il est vrai qu'il est plus facile de constater ces choses *a posteriori* que de les prévoir *a priori*. Au moins pourrait-on en tirer des conséquences pour l'avenir.

Afin de récupérer les terres vierges et de contrôler l'eau dans les rizières, la mise en valeur systématique de la plaine avec de gros aménagements, commençait en 1960. Elle se poursuit, à l'heure actuelle, dans les régions occidentales et méridionales sur environ 30 000 hectares sous l'autorité de la SOMALAC (Société malgache d'aménagement du lac Alaotra). Les 30 000 hectares restants, en cultures traditionnelles, dites hors périmètres, sont, moins aménagés.

Les aménagements ont consisté en travaux standard de génie rural, sans sérieuses considérations concernant leur adéquation aux milieux hydromorphopédologiques, rencontrés dans la plaine et. existant. sur les bassins versants.

De nombreuses difficultés sont donc apparues progressivement, qui n'avaient. pas été prévues. De sorte que depuis 25 ans, des restructurations successives du réseau, l'abandon de

régions coûteusement aménagées, d'importants travaux peu efficaces de réhabilitation et d'entretien ont été entrepris (nous ne parlons pas ici des problèmes d'ordre socio-économique). Depuis quelques années cependant, une nouvelle phase d'adaptation plus rationnelle des aménagements, associée à une recherche agronomique spécifique (systèmes de cultures, variétés ...) a démarré, aidée par un inventaire cartographique du milieu physique. Cependant des problèmes graves subsistent, comme l'envasement des ouvrages de retenue et donc les déficits en eau d'irrigation.

Les principaux travaux de mise en valeur des zones vierges, marécageuses ou engorgées ont consisté à :

- construire de hautes digues parallèles de protection contre la divagation, la défluece anarchique et les crues des principales rivières qui alimentaient l'inondation et la sédimentation semi-deltaïque dans les plaines ;

- creuser des canaux de drainage principaux évacuant l'eau vers le lac ;

- créer un réseau de drainage secondaire dense (oblique par rapport. aux canaux principaux) ;

- construire, parallèlement. aux drains et. en légère surélévation, un réseau d'irrigation ;

- construire des barrages-réservoirs et des barrages de dérivation en amont. de la plaine ;

- brûler partiellement la tourbe flottante récupérée sur la zone marécageuse à papyrus ;

- niveler, créer du parcellaire et construire des diguettes, éventuellement en courbes de niveau.

### **Difficultés rencontrées**

Les principaux problèmes de la mise en valeur des plaines et ceux en relation avec la gestion de l'eau, sont les suivants :

- récupération de la tourbe flottante ;

- granulométrie variable (verticalement et latéralement) des matériaux ;

- apparition d'un méso-relief ;

- érosion sur les bassins versants et ensablement des ouvrages ;

- recouvrement sableux brutaux de certaines rizières sur *baibohos* ,

- disponibilité insuffisante en eau de surface pour l'irrigation ;

- utilisation agricole des zones de la plaine difficiles à irriguer ;

- introduction de la culture du blé de contre-saison.

Tous ces thèmes étant étroitement interdépendants.

### **Récupération de la tourbe flottante**

Environ 20 000 hectares ont été gagnés sur la tourbe flottante (moins de deux mètres d'eau libre) au sud-ouest du périmètre. La tourbe initiale est composée ([figure 9](#)) dans sa partie supérieure de 100 cm de débris organiques grossiers brun-rougeâtre (racines et tiges vivantes et mortes). En dessous se trouve environ 100 cm de débris morts finement fibreux. Cette tourbe est très lâche et noyée d'eau libre. Au fond, se trouve le substrat alluvial ferme, avec d'abord un horizon organo-minéral gris foncé de 50 cm d'épaisseur, puis le matériau de teinte claire purement minéral (sable pur et argile fine alternés).



La récupération de la partie périphérique du marais à papyrus a vu les opérations suivantes :

- creusements des canaux de drainage principaux, traversant. 10 à 30 km de végétation de papyrus, jusqu'au lac.

- brûlage des papyrus et. de la. partie supérieure la plus grossière de la tourbe flottante.

Finalement, il subsiste une tourbe résiduelle ([figure 9](#)), noire, de 20 à 50 cm d'épaisseur, au-dessus d'un petit niveau cendré rosé à granules orangés durs (argile cuite), de 5 à 15 cm d'épaisseur. Ce dernier repose sur le substratum alluvial d'abord organo-minéral (aspect d'anmoor) puis strictement minéral. L'horizon cendré à granules provient de la combustion lente, à haute température, de la base de la tourbe et de la cuisson de débris argileux du substratum.

La tourbe résiduelle évolue avec le temps et la riziculture : elle se tasse puis se fragmente finement, par le travail du sol et l'intense activité des vers de terre qui incorporent des particules argileuses au sein des débris organiques fibreux.

Ainsi, les caractères physiques de ce matériau ne s'améliorent que très progressivement pour la riziculture, en devenant un meilleur support racinaire et en retenant mieux l'eau d'irrigation. Cette évolution est lente et irrégulière dans les parcelles (4 à 5 hectares chacune) où la topographie ondulante et le colmatage insuffisant empêchent le maintien d'une lame d'eau correcte (trop ou pas assez d'eau), d'autant plus incontrôlable qu'elle coïncide longtemps avec le niveau de la nappe phréatique qui peut encore monter très au-dessus de la surface en cours de saison des pluies. Le semis direct y est donc le plus souvent pratiqué. Des variétés de riz flottant y sont alors à préconiser lorsque l'inondation dépasse 1 mètre. Les rendements restent faibles (grains vides) tant que la tourbe n'est pas assez affermie.

Ces problèmes sont d'autant plus accentués que la récupération du marais à papyrus se poursuit vers l'aval ([figure 10](#)). Non seulement le drainage devient impossible, mais il y a un moment où l'on observe un reflux de l'eau vers les terres antérieurement aménagées. En effet, la végétation dense de cyperacées et l'épaisse tourbe flottante ont pour effet de maintenir la surface d'eau libre au-dessus des précédentes terres récupérées en amont ([figure 9](#)). Mais, au fur et à mesure que la largeur du marais à papyrus se réduit, sa résistance naturelle à un reflux de l'eau libre (qui seule permettait de récupérer ces espaces), se réduit jusqu'à être insuffisante. Une partie des rizières en amont sur tourbe résiduelle est ainsi envahie par l'eau du marais et cette fois de façon irréversible. Elles doivent être reconverties en riz flottant ou dressé. Autrement dit, le drainage centripète excessif de la tourbe flottante a dépassé un seuil dangereux et aboutit à l'inverse de l'effet recherché.

### **Effets néfastes de couches de sable imprévues à faible profondeur**

Les alluvions sableuses près de la surface sont fréquentes sur les *baibohos* (alluvions fluviales actuelles, unité VI), ainsi que sur les sols moyennement organiques (unité III) et tourbeux (unité IV), c'est-à-dire surtout en aval des zones aménagées.

L'inconvénient majeur en riziculture aquatique est: que les rizières ne retiennent plus l'eau et qu'il n'est donc plus possible d'y faire du riz irrigué, sinon avec consommation excessive et gaspillage d'eau aux dépens des rizières voisines. Dans la plaine, 8 000 hectares environ, ont été

aménagés. Beaucoup devraient être abandonnés pour l'irrigation et reconvertis en riz pluvial ou bien cultivés avec des variétés spécifiques adaptées aux alternances inondation-exondation. C'est un des problèmes posés à la recherche agronomique.

### **Apparition d'un méso-relief**

Une topographie ondulée, contraignante pour le nivellement, d'autant plus qu'elle n'est pas aisément perceptible au départ, peut avoir trois origines :

-Le tassement différentiel et progressif de la tourbe résiduelle (unité IV).

C'est le plus gênant car le plus prévisible et évolutif. Un parcellaire établi trop tôt peut se révéler inadéquat pour le contrôle de l'eau, quand la topographie apparemment plane au début tend ensuite à onduler.

Cette dynamique persiste longtemps dans les parties récemment drainées, frangeant l'actuelle zone à papyrus. Le riz irrigué n'y est pas possible dans de bonnes conditions.

Comme nous l'avons vu cette contrainte est souvent corrélée avec la présence de niveaux sableux peu profonds, ce qui dévalorise encore davantage ces zones tourbeuses.

-La mise en place deltaïque des matériaux

Sur les unités II, III et IV. au cours du nivellement, les aménagements ont été souvent confrontés au micro-relief dû à l'hydro dynamique deltaïque caractérisée par une imbrication de lits. de défluent sinueux et de levées se recoupant séparés par des cuvettes allongées. Les dénivellations n'excèdent pas 75 cm mais sont très contraignantes du fait de leur enchevêtrement qui nécessite un parcellaire en courbes de niveau très sinueuses. Cette topographie est associée également avec d'imprévisibles strates sableuses, augmentant donc les difficultés de contrôle de l'eau. Beaucoup de parcelles ainsi aménagées dans ces zones ont dû par la suite être abandonnées.

-La présence de cuvettes ovoïdes de « soutirage » Cette topographie, caractérisée par de très nombreuses cuvettes subcirculaires (parfois reliées) de 20 à 100 mètres de large et 50 cm de profondeur, s'est révélée très gênante sur certaines parties de l'unité I (matériaux non alluviaux, fluage). Les cuvettes sont dues à l'affaissement du terrain, suite au soutirage de particules argileuses dans le sous-sol (vers un mètre de profondeur) opéré par les intenses circulations latérales de la nappe phréatique (ce processus pseudo-karstique de lavage interne par les nappes, suivi d'effondrements corrélatifs de la surface, est appelé suffosion ; il est fréquent en régions tropicales où il peut prendre une ampleur bien plus considérable qu'ici).

Les zones les plus criblées de cuvettes, qui ont été aménagées à grands frais (parcelles extrêmement contournées, gênant la mise en eau et l'exploitation) sont actuellement en cours d'abandon.

L'érosion sur les bassins versants et l'ensablement des ouvrages. Les champs de *lavaka* (figure 11) très actifs sont abondants en amont de certaines retenues dominant des périmètres aménagés. Ils causent le remplissage rapide des ouvrages qui, en fait, captent les *baibhos*. Ces processus d'érosion avaient été sous-évalués à l'origine ; ils sont actuellement un des principaux problèmes, à moyen terme, de la mise en valeur de la région puisqu'ils limitent progressivement les ressources en eau d'irrigation ; cette -forme d'érosion en *lavaka* généralisés est pratiquement

impossible à contrarier. Un diagnostic erroné a conduit à reboiser coûteusement et inutilement la périphérie immédiate de certains ouvrages, alors que les champs de *lavaka*, à l'origine du mal, étaient situés beaucoup plus en amont et n'avaient pas été identifiés à l'origine. A l'heure actuelle, un programme d'étude et de réalisation anti-érosif devrait en principe être établi dans son ensemble et sur de nouvelles bases.

### **Les ensablements brutaux de rizières**

Cette contrainte, bien que liée à la précédente, n'affecte pas les « grands périmètres » aménagés, mais les rizières plus traditionnelles où le parcellaire est moins régulier. Or, la plupart des rizières hors-périmètres sont situées sur les cônes d'épandages actuels (unité VI) déversant leurs *baibohos* (figure 8). Ces terroirs sont fertiles mais, dominés par des bassins compacts à champs de *lavaka*, ils ne bénéficient pas toujours d'une protection contre les débordements brutaux en chasse d'eau et les épandages sablo-limoneux dans la plaine. Périodiquement, surtout en période cyclonique, des terroirs sont ainsi détruits ou stérilisés.

La disponibilité en eau de surface pour l'irrigation. Liée à la capacité de remplissage des ouvrages (diminuant avec le temps), à la remise en état des réseaux, à l'intensification de la production régionale, ce problème pose des questions de politique d'ensemble de gestion de l'eau actuellement disponible, de création éventuelle de nouveaux ouvrages, de rehaussement des barrages actuels, d'une meilleure adaptation des systèmes de cultures aux régimes hydrologiques correctement identifiés. La recherche agronomique joue donc un rôle fondamental pour proposer un compromis souhaitable (technique, sociologique et économique) d'une part en corrigeant le milieu (aménagements), d'autre part en y adaptant (meilleures affectations des terres, variétés idoines, calendriers culturels, doubles cultures annuelles ...).

La recherche variétale est particulièrement importante dans ce contexte : les contraintes physiques, en particulier hydriques, s'avèrent conditionner de plus en plus, ces types de riziculture. Les critères suivants seront privilégiés : hauteur et vitesse d'allongement des tiges, longueurs des cycles, photopériodicité, résistance aux tssecs, résistance au froid (contre-saison), préférence pour des conditions pluviales, phréatiques ou combinées. Le milieu naturel est plus différencié qu'il ne semblait et moins justiciable d'une mise en valeur standardisée avec riz irrigué à haut rendement.

L'utilisation des parties non irrigables de la plaine. Beaucoup de zones sont hors de portée de l'irrigation en particulier celles qui sont dans les angles morts des aménagements. Cela concerne surtout une partie des glacis le piémont (unité I) à sol argilo-sableux et à pente assez sensible. Ce sont également les sols les moins fertiles par leurs propriétés physico-chimiques défavorables. Pour ces zones, des variétés de riz pluviales, en rotation avec d'autres cultures vivrières (maïs, arachide, haricot ...) sont préconisées.

### **L'introduction de la culture du blé en contre-saison**

Afin de rendre productive la saison sèche et fraîche, il est envisagé de cultiver du blé, dont les essais ont été très encourageants (figure 12). A partir de la nappe phréatique peu profonde, la remontée capillaire sera utilisée pour l'alimentation hydrique de la culture, dans les sites favorables.

Les meilleures terres quant à leur fertilité et à leur capillarité, sont les alluvions fluviales limono-micacées, *baibohos*, situées au sein de l'unité VI, à conditions toutefois qu'aucune couche de sable pur, située entre la nappe (2 m de profondeur max. ) et la surface, ne cause d'interruption brutale de capillarité. Une autre exigence de nature hydrique, pour le blé, est que les sols se drainent assez rapidement après la récolte du riz de saison des pluies. Les *baibohos* sont, pour cela aussi, les sols les plus indiqués car ils bénéficient d'une réoxydation précoce.

Les rizières à sols tourbeux résiduels, mais déjà assez évolués (unité IV) vérifient la première condition (remontée capillaire) mais généralement pas la seconde : leur ressuyage est lent, leur oxydation en saison sèche (nécessaire à la nitrification) est très faible. C'est sur ce type de sol que l'apport de fumier (catalysant l'activité biologique nitrifiante) montre les effets les plus nets.

## **La mise en valeur traditionnelle des petites vallées**

### **Le paysage**

La région collinaire entourant la plaine de Tananarive, spécialement au nord, est très représentative du paysage des Hautes Terres : 1 300 mètres d'altitude moyenne, 1 400 mm de pluviométrie, 2 saisons très contrastées dont une très fraîche, socle granito-gneissique, épaisses altérations, sols ferrallitiques rouges, nappe phréatique d'altérites généralisée, réseau encaissé et dense de bas-fonds (figure 13) intégralement rizicultivés, collines et plateaux à flancs convexes escarpés, faiblement cultivés. Il n'y a pas d'érosion en *lavaka* dans cette région, qui, de ce point de vue est stable.

La particularité la plus remarquable du paysage est son système de vallées très hiérarchisé, profondément enfoncé entre les collines, et dont l'amont est constitué de bas-fonds plats, larges, non incisés, à têtes en forme de vastes amphithéâtres (figure 13).

Ces vallées, qui peuvent représenter jusqu'à 50 % du paysage, constituent l'essentiel du terroir rizicole (6 000 km<sup>2</sup> sur un total de 9 000) des Hautes Terres. Il s'agit de riz repiqué, dont l'alimentation en eau dépend de la pluie et des affleurements de la nappe phréatique . L'irrigation est rarement, parfaitement assurée. Il s'agit donc de *rainfed lowland rice*.

L'effort du gouvernement malgache, en matière de recherche et de vulgarisation, incite de plus en plus de paysans à tirer profit de la saison sèche, pour cultiver du blé. Certains sites conviennent en effet parfaitement à cette culture en régime de remontée capillaire.

## **Répartition des unités hydromorphopédologiques**

### **Les grands ensembles**

D'amont en aval, un système de vallées des hauts plateaux, montre trois grandes différenciations longitudinales ([figure 14](#)) :

-les parties amont du réseau, sont des bas-fonds typiques, sans cours d'eau individualisé ni véritable ennoyage alluvial, engorgés par une nappe phréatique permanente subsuperficielle, la plupart du temps tourbeux ou fortement organiques, plutôt sableux en-dessous ; la largeur des bas-fonds est ici de 20 à 100 mètres.

-les parties moyennes du réseau passent progressivement à de véritables vallées d'envoyage alluvial de 100 à 400 mètres de large, où sinue un petit cours d'eau peu encaissé. Le régime hydrologique de débordement est encore peu turbulent ; ainsi le matériau alluvial est limono-argileux assez homogène, sans fréquentes lentilles sableuses. Les sols hydromorphes ne sont ici jamais tourbeux en surface (une tourbe enterrée est cependant souvent visible).

-les parties aval du réseau s'élargissent (plus de 400 mètres) et acquièrent un vrai régime fluvial avec une dynamique hydrologique et sédimentologique turbulente : topographie alluviale marquée (levées, cuvettes, anciens lits ...) et changeante, discontinuités et hétérogénéité granulométriques (lits sableux fréquents et imprévisibles). L'aménagement rizicole de ces plaines demande des ouvrages importants pour rectifier les conditions naturelles défavorables. Sur les hauts plateaux, ces types de milieu sont généralement peu utilisés. Nous n'en parlerons donc pas. Signalons cependant qu'à plus basse altitude, où le froid n'est plus une contrainte, les sols fertiles de ces vallées à *baibohos* sont utilisés en saison sèche pour des cultures de décrue (coton, tabac, céréales...).

### **Différenciations dans les bas-fonds et petites vallées**

Dans les parties amont et les parties moyennes du réseau, les unités de milieu présentent les caractéristiques suivantes ([figures 15](#) et 16) :

La terrasse ancienne. Environ 40 % de la surface des vallées est occupée par un vieux niveau de base perché 1 à 3 mètres au-dessus du niveau engorgé fonctionnel et rizicultivé (figure 1). Le matériau est argilo-sableux, gris jaunâtre, massif ; il s'agit d'un ancien sol hydromorphe (ancien niveau de bas-fond), qui n'est plus engorgé jusqu'en surface, la nappe phréatique n'affleurant plus.

Ces sols sont toujours très pauvres et la plupart du temps, hors d'atteinte du réseau d'irrigation traditionnel de la vallée.

Les tronçons tourbeux d'extrême amont (1 à 3 kilomètres). A l'état initial naturel, c'est-à-dire dans les vallées non rizicultivées (rares sur les hauts plateaux), une épaisse tourbe fibreuse (100 à 150 cm) occupe les fonds de vallées, au-dessus du substrat lavé sableux (matériau de fluage - voir ci-dessus) ou de la roche pourrie aréno-micacée en place (figure 16). Ainsi les matériaux du bas-fonds ne sont pas des alluvions. La roche non altérée (granitogneiss) n'est jamais très loin de la surface.

Lors de la récupération pour la riziculture de ces tronçons amont, les paysans ont recouvert la tourbe avec une couche de 30 à 60 cm d'argile kaolinique prélevée à la base des collines bordant les bas-fonds (figure 18). Ce colluvium anthropique améliore les conditions de culture (colmatage, support à l'enracinement).

Dans ces tronçons, la nappe phréatique, en continuité avec la nappe des versants, reste en permanence près de la surface même en saison sèche.

La largeur de la vallée est affectée d'une succession de lobes élargis et de rétrécissements rocheux, morphologie qui est étroitement liée à la lithologie du socle. La vallée s'élargit considérablement en tête prenant la forme d'un amphithéâtre encaissé (figure 17). Le fond plat de la

vallée, malgré sa pente longitudinale sensible (jusqu'à 5 %) n'est jamais incisé par un cours d'eau. Les eaux de surface et de subsurface s'écoulent en nappe, lentement dans les rizières et à travers la couche tourbeuse sous-jacente.

### **Les tronçons non tourbeux d'amont**

La tourbe disparaît progressivement et est remplacée par une argile humique (anmoor) de 30 à 100 cm d'épaisseur recouverte par 30 à 80 cm de colluvio-alluvions argilo-limoneuses non organiques (moins de 6 % de matière organique).

En profondeur se retrouve le substratum sableux (altérite fluée et lavée ou arène micacée non remaniée). Ces tronçons sont plus intéressants pour la riziculture que les tronçons carrément tourbeux. Le sol est ferme, il se colmate facilement et ne laisse donc pas filtrer facilement les eaux d'irrigation ou la nappe remontante. Durant la saison des pluies la totalité du matériau est engorgée et inondée par la nappe phréatique et les eaux de surface amenées par le micro-réseau d'irrigation.

Pendant la saison sèche, la nappe descend jusqu'à 50 à 80 cm de profondeur. La culture du blé de contre-saison par alimentation hydrique capillaire commence à être possible à condition de pouvoir drainer rapidement avant le semis et, si possible, avant la récolte du riz précédent.

Par comparaison avec les cours d'extrême amont, ici la pente longitudinale décroît, la largeur de la vallée s'accroît, il n'y a toujours pas de cours d'eau individualisé, et la couleur superficielle du sol est plus claire (brun grisâtre).

Les franges latérales des vallées amont. En position latérale à la vallée, entre la terrasse ancienne et le fond plat, se trouve fréquemment une frange concave intermédiaire. Cette unité de milieu résulte d'un soutirage d'argile au sein du matériau de la terrasse ancienne, opéré par les mouvements latéraux de la nappe phréatique, provoquant une suffosion (affaissements). Les sols sont ici particulièrement sableux car ultra-lavés, parfois recouverts de tourbe. La nappe phréatique y suinte une grande partie de l'année, avant de plonger sous le colluvium argileux du centre du bas-fond, alimentant ainsi les écoulements hypodermiques sous-argileux dans le sable flué ou l'arène, qui sont lavés à leur tour.

Les flancs sableux des petites vallées sont généralement réservées aux pépinières (fin de saisons sèches) grâce à la disponibilité en eau à partir de la nappe suintante.

Les petites vallées des tronçons moyens, modérément aval. Quittant maintenant le domaine des bas-fond proprement dits (vallons mal drainés, sans cours d'eau et à sol plus ou moins organiques), nous entrons dans le domaine des vallées à véritable ennoyage alluvial. En même temps que la vallée s'élargit (figure 16) un cours d'eau (1 à 2 mètres d'encaissement) est maintenant bien net ; par ses débordements sans grande turbulence, il est à l'origine d'un alluvionnement argilo-limoneux (parfois micacé) homogène, épais de 100 à 150 cm, reposant sur une semelle sableuse assez systématiquement constamment noyée par la nappe phréatique. Celle-ci, près de la surface en hivernage, descend entre 80 et 120 cm de profondeur en saison sèche. C'est un élément très favorable pour la culture du blé de contre-saison, d'autant plus que ces sols se ressuent

suffisamment tôt après la récolte du riz, sur au moins 40 cm de profondeur, pour permettre de semer dans de bonnes conditions. Ce sont les meilleurs sols à blé de contre-saison des systèmes de vallées. Leur homogénéité granulométrique (avec présence de mica) conduit parfaitement, et sans rupture, la capillarité jusqu'au système racinaire.

### **Unités de milieu et aménagements traditionnels**

Depuis environ 800 ans, les paysans des Hautes Terres malgaches ont progressivement modifié l'aspect initial des petites vallées, afin de les rendre favorables à la riziculture aquatique repiquée. Les objectifs en sont essentiellement les suivants :

- colmatage des zones tourbeuses ;
- création d'un réseau de petite hydraulique en terre ;
- nivellement d'un parcellaire à diguettes pour retenir l'eau ;
- rectification, recreusement et endiguement des petits cours d'eau afin de limiter les inondations,
- aménagement des sites de pépinières.

### **Le problème de la tourbe**

Les tronçons de tête de réseau et certaines franges latérales présentaient, dans leur état vierge, des sols fortement tourbeux formant un matelas élastique semi-flottant, continuellement gorgé par la nappe phréatique affleurante.

Un tel support n'est pas rizicultivable tel quel pour des raisons d'inaptitude à l'enracinement (sol creux), d'impossibilité de contrôle de l'eau indépendamment des mouvements de la nappe phréatique, de déficiences minérales et toxicités diverses.

Les paysans malgaches ont résolu le problème en enterrant la tourbe avec de l'argile kaolinique raclée sur les bas versants voisins à sols ferrallitiques (figure 18).- L'épaisseur de recouvrement varie entre 25 et 60 cm.

Ainsi les labours (à la houe), les mises en boue et piétinages (zébus) annuels (figure 19) ont progressivement amélioré la stabilité et l'imperméabilité des fonds de vallées tourbeuses. La tourbe spongieuse sous-jacente se fait encore sentir par une certaine élasticité quand on y marche, mais le colmatage nécessaire au maintien d'une lame d'eau est relativement assuré. La nappe phréatique est alors légèrement en charge sous le recouvrement argileux, et s'écoule latéralement dans l'axe du bas-fond.

La solution inadéquate du brûlage et du drainage de la tourbe n'a donc pas été tentée dans ces types de milieu, ce qui aurait eu pour conséquences néfastes inverses d'abaisser le niveau topographique et donc de rendre encore plus difficile le contrôle de l'eau de surface indépendamment de la nappe.

### **Modification de la topographie**

Le profil longitudinal de la vallée- Le réseau de vallées des Hautes Terres présente la plupart

du temps une pente sensible, parfois même très accentuée dans les tronçons amont (jusqu'à 5 % en tête). Dans les vallées des tronçons moyens, la pente reste en dessous de 1 % ; c'est pourtant là qu'apparaît une concentration des eaux de surface en un cours d'eau bien défini. Dans les tronçons tourbeux, pentus, au contraire, l'eau s'écoule lentement dans toute l'épaisseur de la tourbe, qui, par son rôle de filtre modérateur, empêche toute incision du bas-fond.

Les paysans, pour adapter ces pentes à la riziculture aquatique, ont donc dû rectifier la topographie en nivelant des parcelles étagées, à peu près rectangulaires. Les parcelles (10 à 100 ares) sont d'autant plus étroites et transverses à la vallée que sa pente est élevée. Elles peuvent n'avoir en tête, que 2 mètres de large. En aval, les pentes diminuant, le parcellaire tend à devenir plus large, en perdant son orientation préférentielle. Les rizières étagées sont raclées en amont et remblayées en aval, faisant ainsi apparaître au niveau de la parcelle, un gradient de fertilité et de contrôle de l'eau.

### **Le profil transversal de la vallée**

Latéralement, le profil topographique initial a souvent été modifié. Il s'agit essentiellement de la frange concave sableuse (frange de suffosion de la terrasse ancienne) où suinte la nappe phréatique en provenance des interfluvés dominants. Ne dépassant généralement pas une largeur de 25 mètres, ces zones sont aménagées en lanières étroites étagées, allongées dans le sens de la vallée. Ce sont les sites préférentiels d'installation des pépinières (présence d'eau en saison sèche). On y trouve aussi des réservoirs (remplis par la nappe phréatique) pour les animaux et l'alimentation des rizières à repiquage précoce.

### **La petite hydraulique traditionnelle**

Les petits aménagements dans les vallées ont pour objectifs :

- d'évacuer et de limiter les arrivées d'eau excédentaires ou brutales (ruissellements après orages, débordements des petits cours d'eau ...) ;
- de répartir correctement les eaux dans les rizières.

Ils comportent :

-la construction entièrement en terre d'un réseau de distribution de l'eau dans les parcelles entourées de diguettes (figure 20). Celles-ci sont ouvertes ou fermées en amont ou en aval selon les besoins de remplissage ou de vidange.

-le creusement de canaux latéraux (un seul canal dans les petites vallées, un canal de chaque côté des vallées plus importantes). Ces fossés non cimentés ont pour rôle, à la fois, d'évacuer les excès d'eau et d'alimenter les rizières. En plus du ruissellement des versants, ils court-circuitent, en le recoupant, le sommet de la nappe phréatique qui arrive latéralement, en provenance des versants, avec un débit important en saison des pluies, et sous forme de suintements en saison sèche. Ces canaux peuvent aussi se dédoubler et courir sur les bas de versant ou terrasses afin d'élargir le bas-fond fonctionnel naturel, en y irriguant quelques rizières hautes.

-les creusements de petits réservoirs en tête ou en position latérale (de faible volume) ont pour fonction de tamponner relativement l'alimentation en eau de quelques rizières pendant la saison des pluies, d'irriguer les pépinières en fin de saison sèche et parfois quelques cultures



marâchères en saison sèche. Ces réservoirs sont creusés sur les flancs des bas-fonds, dans la zone d'arrivée de la nappe phréatique ; ils ne sont donc remplis que par cette nappe.

**-Les travaux sur les petits cours d'eau**, qui intéressent les vallées non tourbeuses, plus larges que les bas-fonds en amont.

Les cours d'eau, à l'état naturel, sinueux et encaissés de moins de 2 mètres, sans levées de berges très marquées, peuvent faire l'objet de divers aménagements :

-rectification du lit par abandons des principaux méandres (ceux-ci étant alors recoupés par un lit rectiligne creusé artificiellement),

-recreusement du lit et construction corrélative de levées latérales (pour limiter les débordements intempestifs),

-mise en place de vannes en bois et de prises de dérivation (pour l'irrigation des rizières),

-une petite hydraulique plus élaborée.

Grâce à une aide extérieure aux communautés villageoises, les sites favorables des réseaux de vallées (figure 21) font souvent l'objet de travaux (en béton, gabions ...) destinés à améliorer sensiblement la maîtrise de l'eau donc la productivité des rizières : construction de petits barrages de dérivation au niveau des seuils rocheux rétrécis en position sensiblement dominante par rapport aux rizières aval, construction d'un réseau amélioré d'amenée d'eau grâce en particulier à des canaux principaux en ciment longeant les bas de versant, avec petites vannes et prises d'eau donnant: sur des canaux secondaires.

Ces travaux de microhydraulique sont simples et résistants ; ils peuvent être gérés et entretenus par les paysans eux-mêmes.

## **Conclusions**

Un des enseignements de cette comparaison de types extrêmes de milieux aménagés pour la riziculture à Madagascar est de distinguer quatre facteurs principaux, interdépendants, conditionnant les modalités d'utilisation des terres.

La rapidité avec laquelle les modifications de milieu sont entreprises. En général le temps d'établissement d'un nouvel équilibre naturel va en raison inverse de la durée et de l'importance des bouleversements apportés. Cette nouvelle évolution peut alors être difficile à prévoir et être la source de surprises désagréables et irréversibles.

Le rôle des études cartographiques préalables du milieu physique et la compréhension de ses composantes dynamiques (processus hydrologiques en particulier) est alors fondamental pour minimiser les risques.

Le degré de technicité et l'intensité des aménagements. Des changements trop énergiques peuvent accélérer les processus naturels ou bien au contraire les contrecarrer, et dans les deux cas, être soit positifs, soit négatifs. Au contraire, les techniques traditionnelles, manuelles sont plus évolutives et moins irréversibles ; elles s'attaquent à des territoires réduits dont les paysans connaissent empiriquement le fonctionnement hydrologique. Nous avons vu que le drainage,

l'irrigation, la protection contre les crues, la récupération des terres tourbeuses, mettent en oeuvre des techniques radicalement différentes suivant les contextes humains et physiques.

L'étendue des espaces mis en valeur. Plus le territoire est vaste et d'un seul tenant, plus les modifications apportées au milieu sont difficiles à gérer et à moduler ; au contraire les espaces villageois éclatés sont plus aptes à être aménagés spécifiquement, et à l'échelle humaine, même si les ambitions en jeu sont modestes.

L'ancienneté des traditions et le degré d'autonomie et de motivation du paysannat vis-à-vis des aménagements entrepris. La conception, la réalisation et l'entretien des travaux bénéficient d'autant plus du consensus des communautés villageoises, que ces travaux sont issus du milieu rural utilisateur lui-même, et que celui-ci est peu modifié. Le régime du colonat individualiste et en même temps assisté de l'extérieur (société d'aménagement), à faible responsabilité collective est à l'opposé de ce qui se fait: en respectant les structures du milieu traditionnel. Il est certain que les deux types extrêmes de mise en valeur du milieu ont leurs finalités (augmentation de la productivité ou auto-subsistance), leurs espaces (vierges et vastes ou cultivés depuis longtemps et éclatés) et leurs exigences propres. Il ne faut pas les comparer en termes d'alternative. Cette alternative se pose cependant souvent dans tous les cas intermédiaires, qui sont finalement les plus fréquents.

## Références bibliographiques

RAUNET M., 1984. Les potentialités agricoles des bas-fonds en régions intertropicales : l'exemple de la culture du blé de contre-saison à Madagascar- *L'Agron. Trop.* 39 (2) : 121-135.

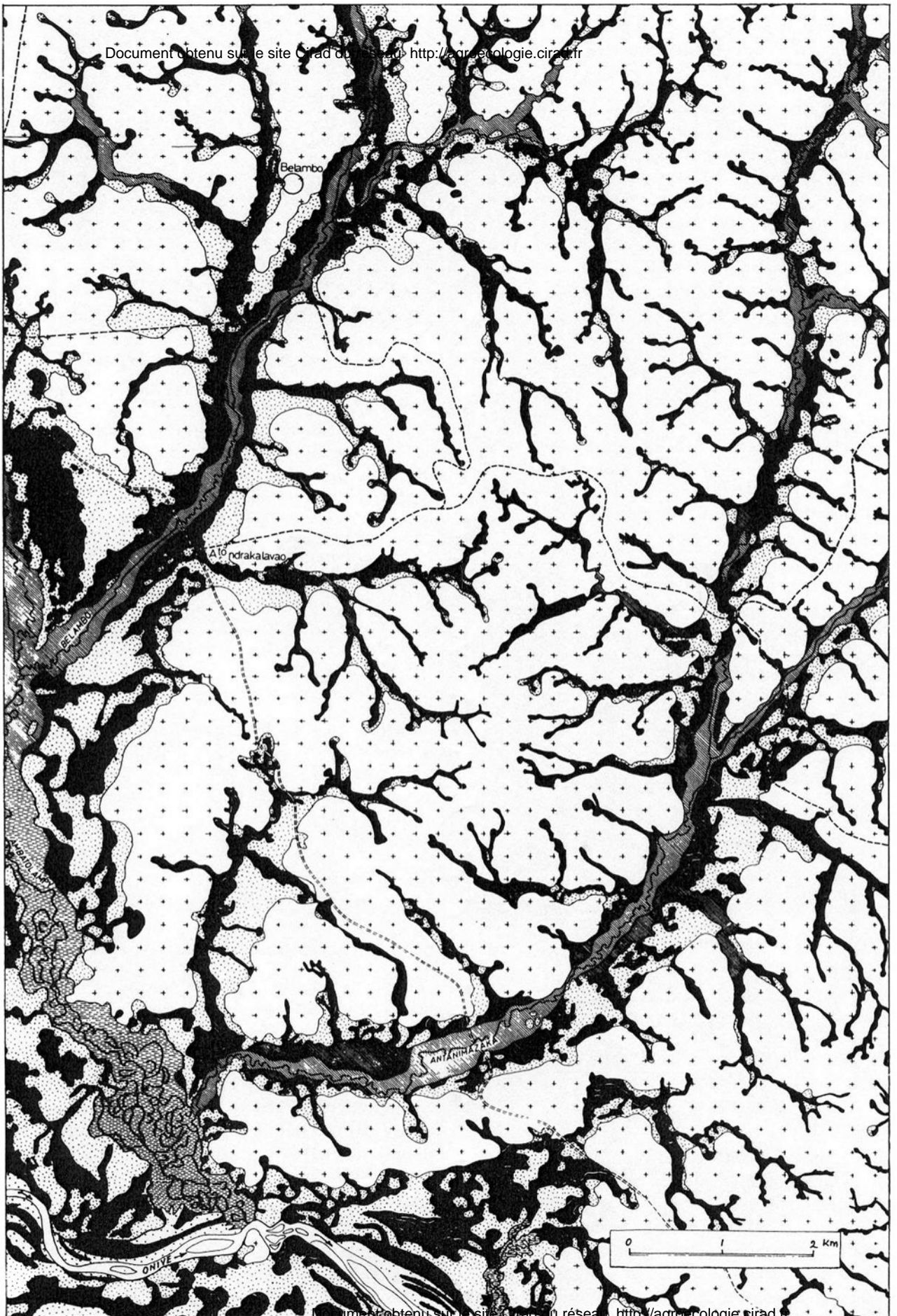
RAUNET M., 1984. Région du lac Alaotra (Madagascar). Etude du milieu physique. Système et structure. IRA.T, carte 1/50000 (3 000 km<sup>2</sup> ). [Communication personnelle].

### Summary

RAUNET M. - Physical environment and rice land management on the malagasy highlands

Madagascar is a typical rice growing country- Rice cultivation on the Central Highlands, the main production area (9 000 km<sup>2</sup> of transplanted lowland rice fields) has particular characteristics. This specific character does not exclude diversity : valleys, wide plains, and terraced slopes are three major types of rice landscapes. These landscapes are managed in different ways according to the hydrological regimes to be controlled, social and cultural traditions, and technical means used, thereby leading to different management types and landscapes as the result of the interaction of three components : physical environment, human environment, more or less important injection of technical means and outside aid. To illustrate this problem two opposite poles of land development are considered and compared : traditional valley rice culture and rice culture in a recently exploited plain, reclaimed by drainage and managed by a development company. The different management methods such as drainage, irrigation, reclamation of peaty soils and levelling, and their associated problems, are discussed in relation to the particular hydromorphopedological characteristics of each environment: and to its size.

**Key words** : Madagascar, aquatic rice cultivation, rice lands, physical environment, land management.



Exemple d'organisation des systèmes de vallées sur les Hautes Terres malgaches

**A.T.P. : influence à l'échelle régionale des couvertures pédologiques et végétales sur les bilans hydriques et minéraux des sols**

DUREE : 3 ANS

FINANCEMENT CIRAD-CNRS  
400 000 FF

TUTELLES SCIENTIFIQUES

**CIRAD - CNRS - MRSTD**

RESPONSABILITE SCIENTIFIQUE , COORDINATION  
ET GESTION DES CREDITS :

**IRAT**

CONTRAT DE PROGRAMME  
IRAT-FOFIFA

FRANCE

MADAGASCAR

**IRAT**

Milieu physique , physiologie riz ,  
Analyses plantes

**UNIVERSITES MONTPELLIER-AVIGNON**

Hydrogéologie hydrochimie  
Tracage isotopique

**ORSTOM**

Hydrologie  
Physico-chimie

**CNRS/IMG**

Géostatistique  
Hydrodynamique

**FOFIFA**

MRSTD  
Agronomie , pédologie ,  
Enquête en milieu rural

**LRI**

MES  
Physico chimie , agronomie  
Hydrodynamique

**DIRECTION DE L EAU**

MIEM  
Forages ,  
essais de pompage , piezométrie

**ESSA**

MES  
Microbiologie

Figure 3 : Organigramme

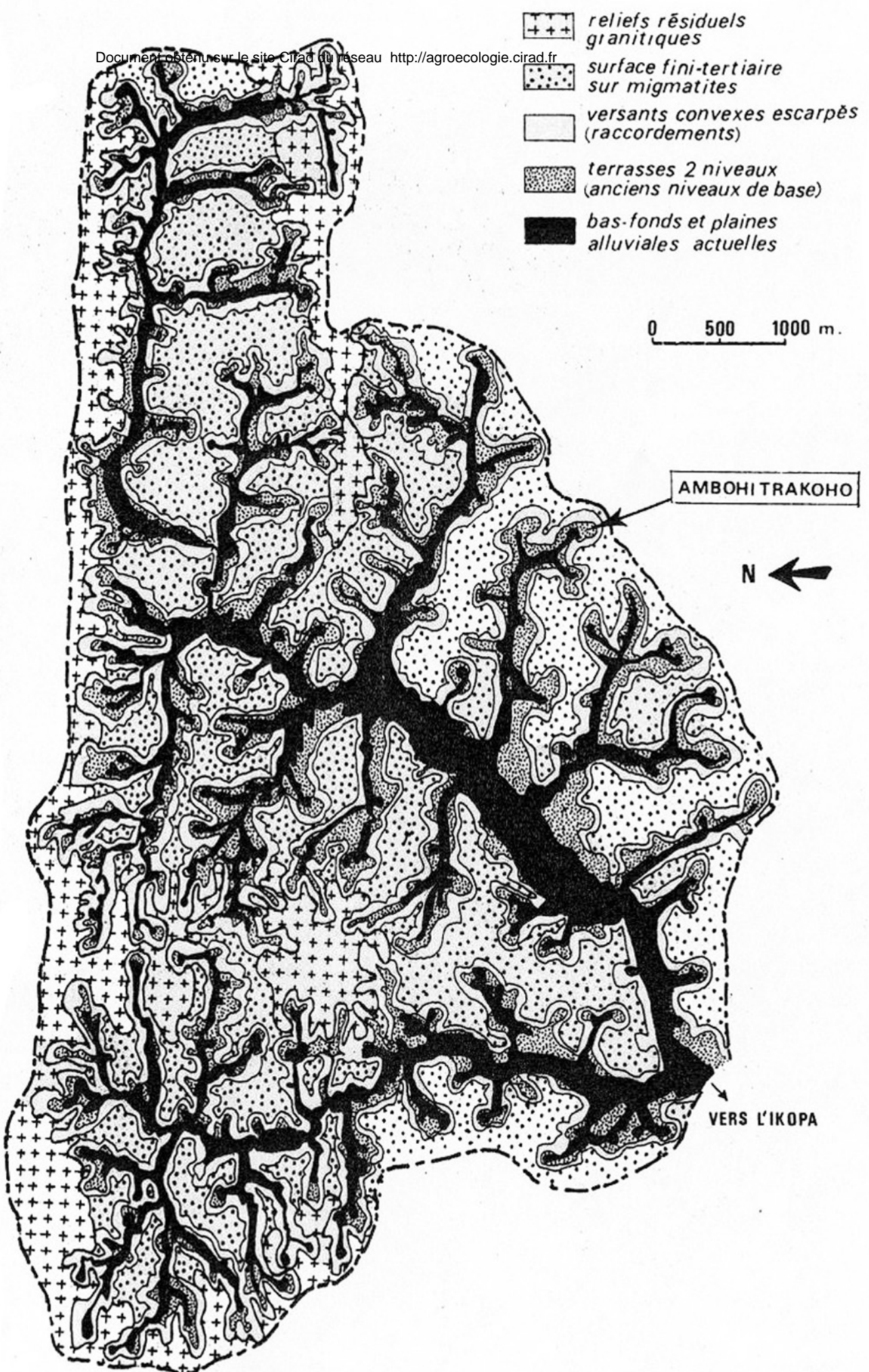


Figure 4 : Réseau de vallées autour du bas-fond d'Ambohitrakoho.

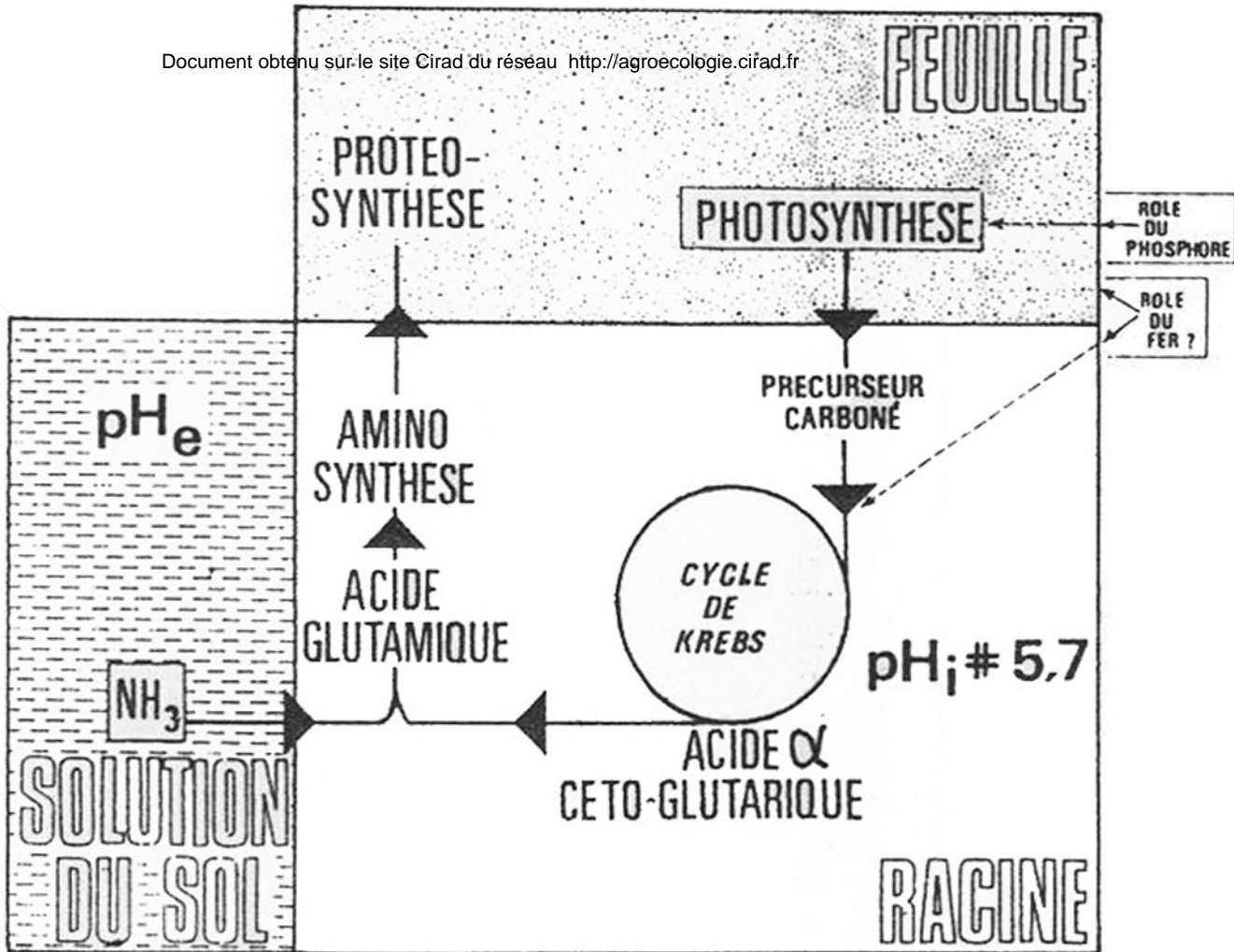
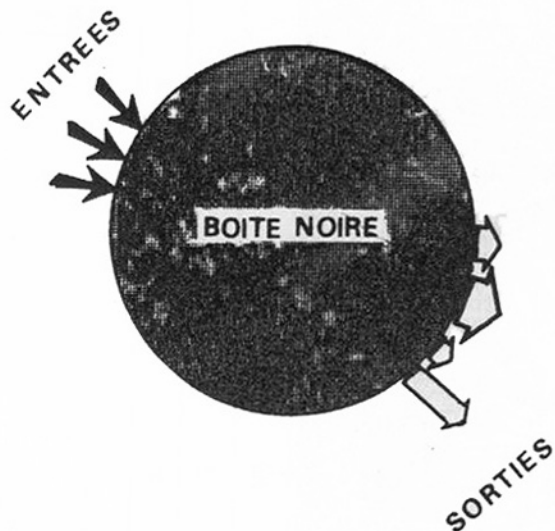


Figure 8 : Métabolisme azoté, processus de transamination.

( Considéré de l'extérieur )



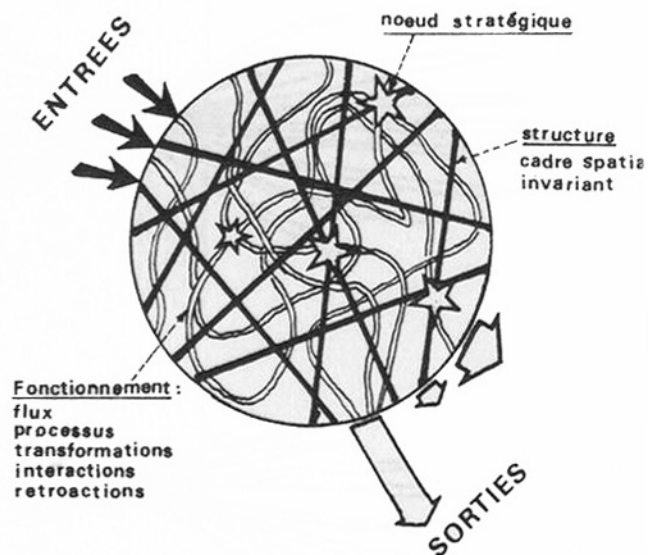
## commande externe

par contrôle empirique des entrées  
avec l'espoir d'augmenter  
certaines sorties intéressantes

### INCONVENIENTS

- Recherche longue , coûteuse  
et de faible rendement
- Tentation de réponse sectorielle  
illusoire
- Danger et impossibilité d'extrapolation  
temporelle (d'une année à l'autre) et  
régionale

( Considéré de l'intérieur )



## commande externe et interne

par modulation des entrées  
et actions sur les noeuds stratégiques  
du fonctionnement du système

### NECESSITE

d'une démarche interdisciplinaire

### AVANTAGES

- Identification des contraintes internes  
et des marges de manoeuvre
- Optimisation des possibilités du système
- Extrapolation possible

Figure 9 : Etude des systèmes naturels.



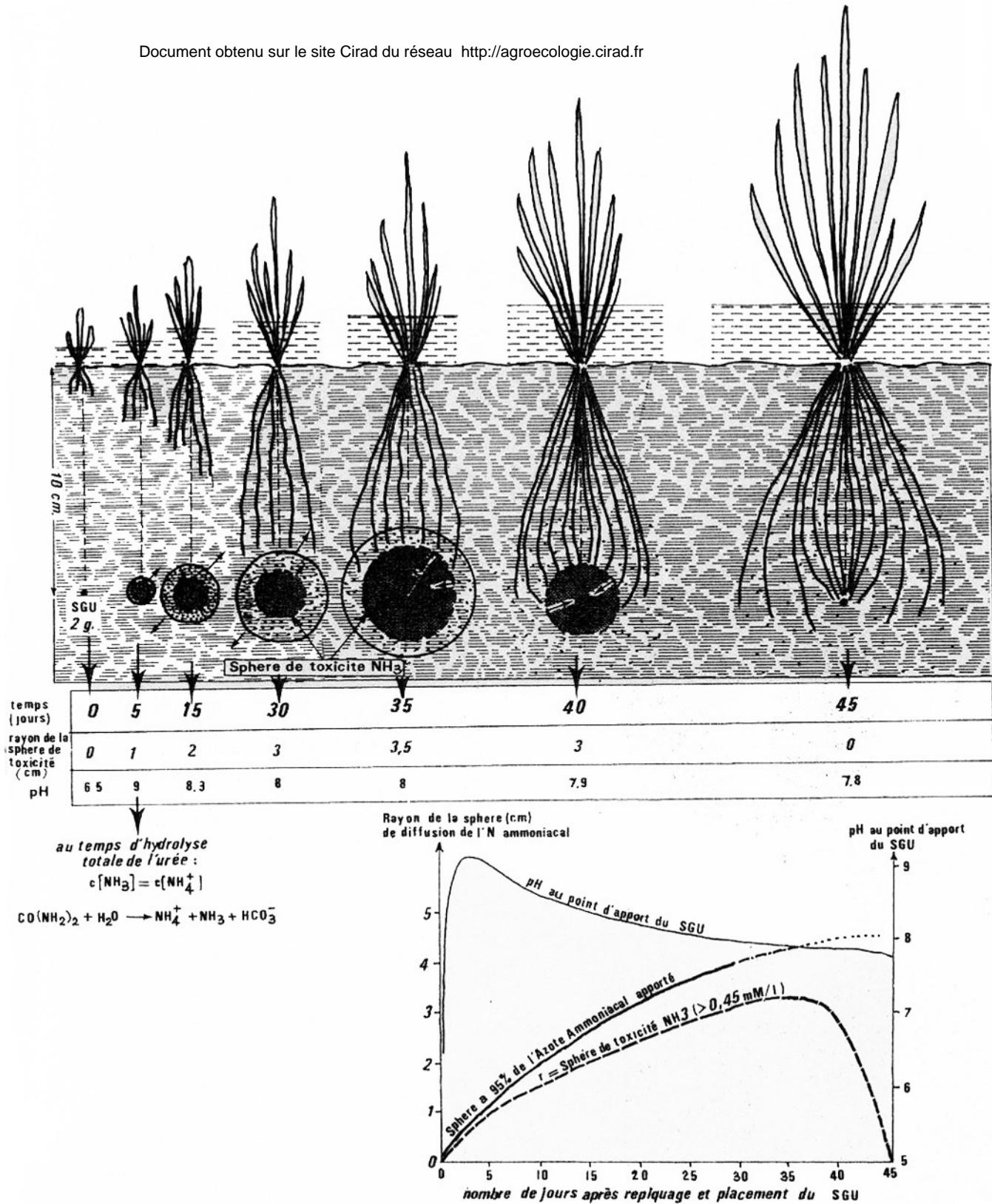


Figure 10 : Schéma de la cinétique (diffusion-échange-prélèvement) de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$ ) apporté par un SGU de deux grammes.

**AVEC RIZ**

**SANS RIZ**

**SPHERE DE TOXICITE DE NH<sub>3</sub>**

(les racines n'y  
penètrent pas)

diffusion + échange +  
prélevement racinaire

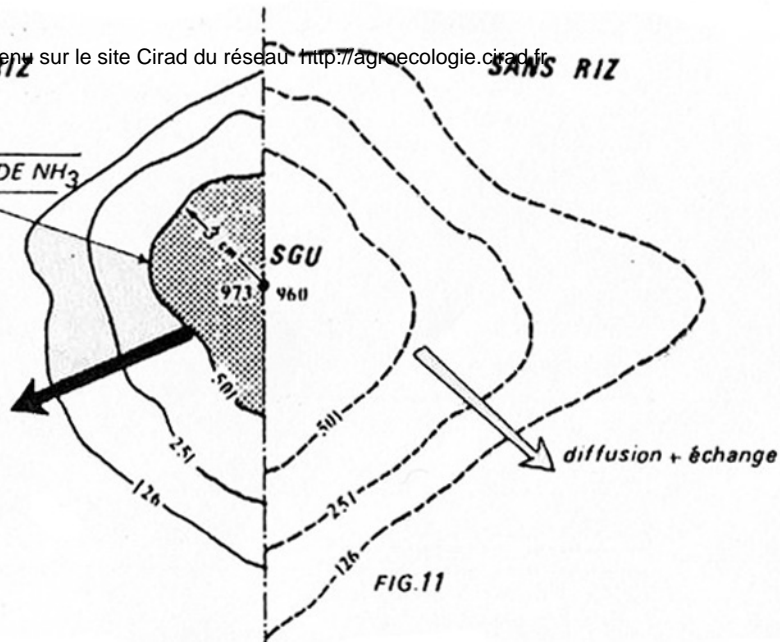
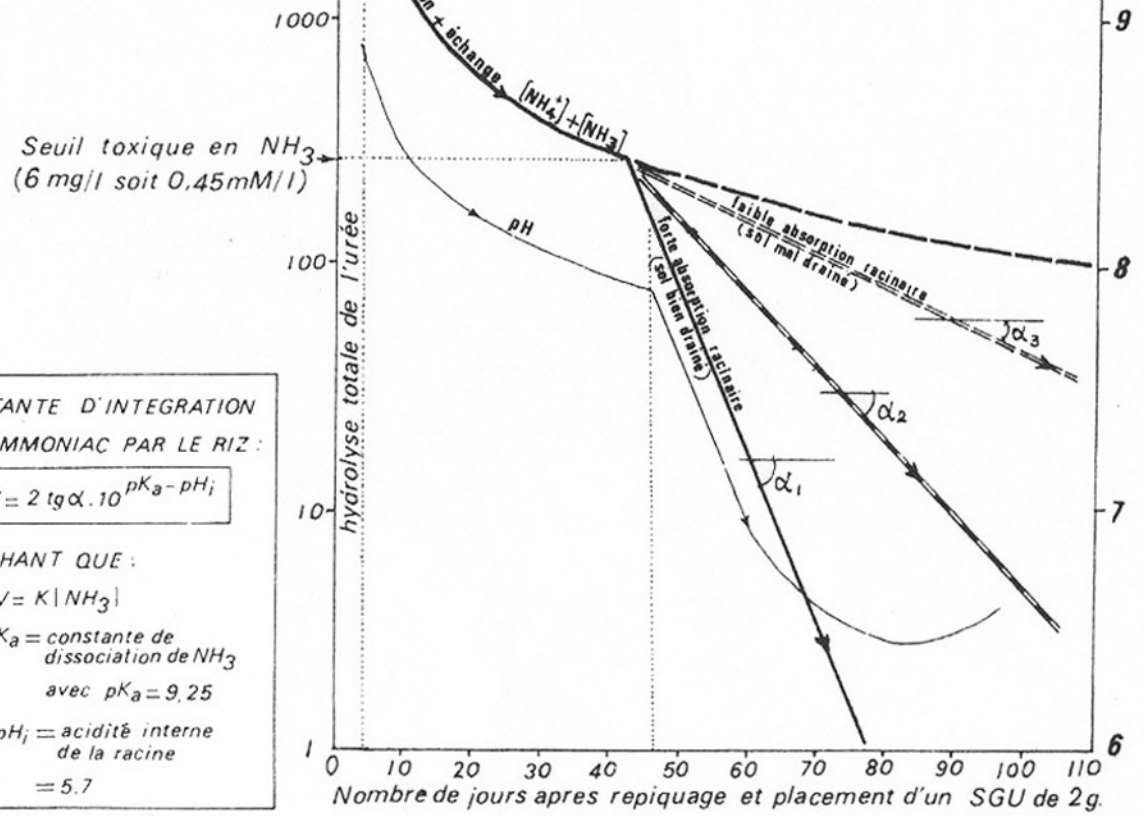


Figure 11 : Concentration en azote ammoniacal total (EN mg /dm<sup>3</sup> de sol) autour du SGU, 28 jours après le repiquage et le placement.

$[\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3]$  ppm N au p<sup>1</sup>d'apport du SGU

Document obtenu sur le site Cirad du réseau <http://agroecologie.cirad.fr>

pH  
au p<sup>1</sup>d'apport  
du SGU



CONSTANTE D'INTEGRATION  
DE L'AMMONIAC PAR LE RIZ :

$$K = 2 \operatorname{tg} \alpha \cdot 10^{pK_a - pH_i}$$

SACHANT QUE :

$$V = K [\text{NH}_3]$$

$K_a$  = constante de dissociation de  $\text{NH}_3$   
avec  $pK_a = 9,25$

$pH_i$  = acidité interne de la racine  
= 5.7

Document obtenu sur le site Cirad du réseau <http://agroecologie.cirad.fr>

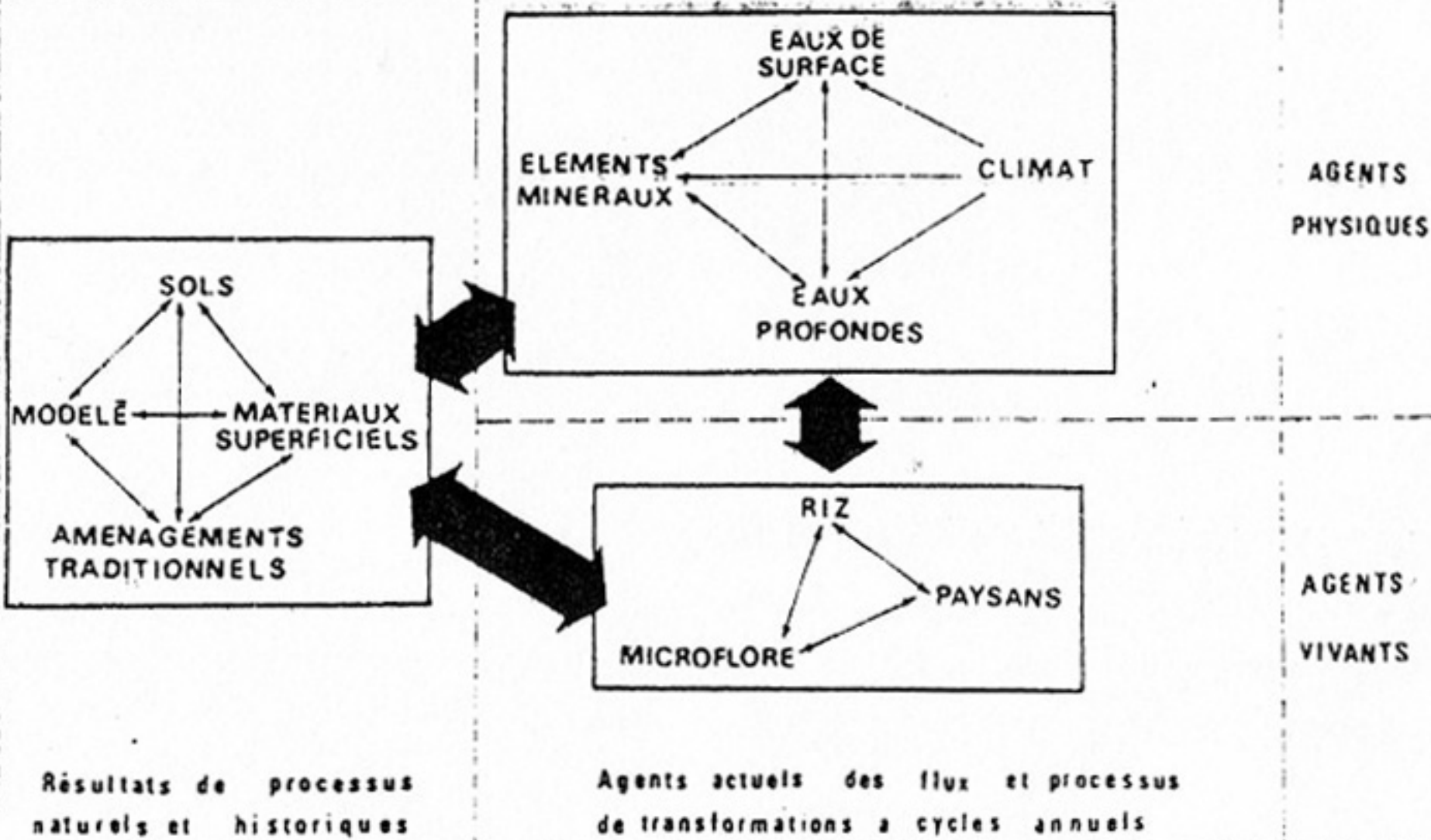
Figure 12 : Cinétique de l'azote ammoniacal issu d'un supergranulé d'urée enfoui en sol de rizière.

# STRUCTURE

# FONCTIONNEMENT

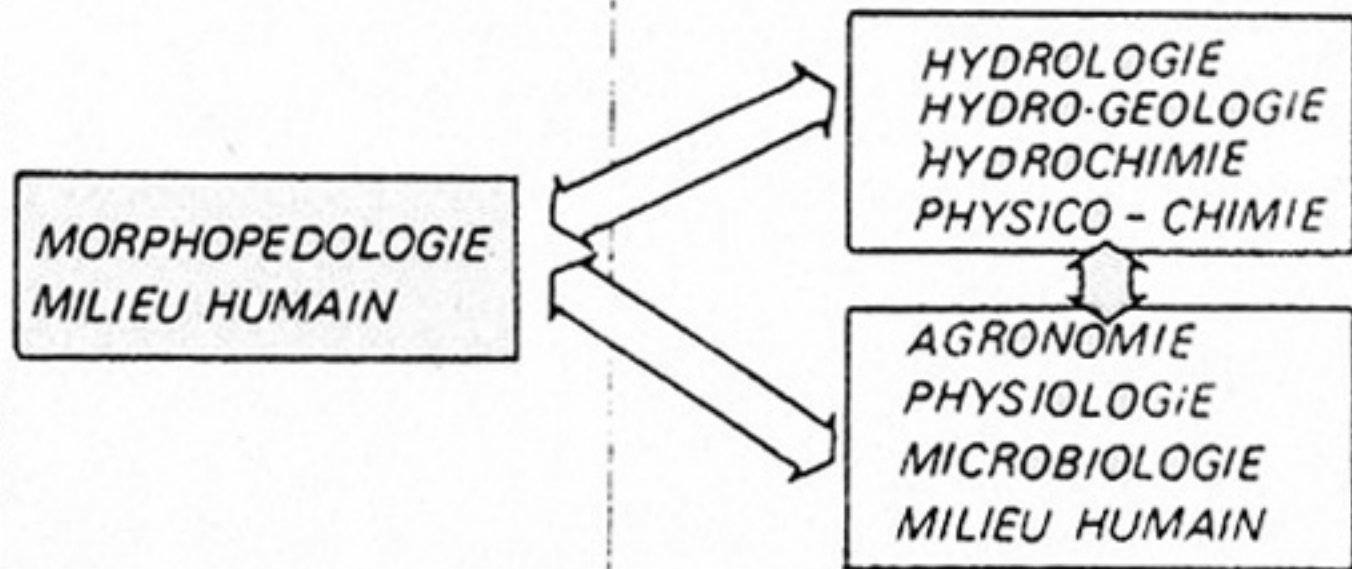
CADRE SPATIAL

DYNAMIQUE ACTUELLE DU BAS-FOND TRAVERSANT LA STRUCTURE



Résultats de processus naturels et historiques

Agents actuels des flux et processus de transformations à cycles annuels



DISCIPLINES D'ÉTUDE

Figure 13 : Schéma d'interactions dans l'écosystème "bas-fond rizicultivé".

Document obtenu sur le site Cirad du réseau <http://agroecologie.cirad.fr>

DISCIPLINES EHELLES	MILIEU HUMAIN	MORPHO- PEDOLOGIE GEOLOGIE	AGRONOMIE	HYDROLOGIE	HYDRO GEOLOGIE	PHYSICO- CHIMIE	MICROBIO.	PHYSIOLOGIE VEGETALE
1 Réseau de vallées	☆	★		★	★			
2 Bas-fond élémentaire	★	★	★	★	★			
3 Tronçon homogène	☆	★	★	☆	☆	★		
4 Rizièrè	★	☆	★	☆	☆	★		☆
5 Rhizosphère						★	★	★

Figure 14 : Fonctionnement des bas fonds, relations : échelle de perception - disciplines d'étude.

Document obtenu sur le site Cirad du réseau <http://agroecologie.cirad.fr>