MDG 1-64

Institut de Recherches Agronomiques Tropicales
et des cultures vivrières
Département du Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)

IRAT - DRN - PROGRAMME CONNAISSANCE ET CARTOGRAPHIE DES ESPACES RURAUX.
CIRAD - DELEGATION TELEDETECTION.

UTILISATION DE L'IMAGERIE SATELLITAIRE SPOT EN APPUI A DES PROGRAMMES REGIONAUX DE DEVELOPPEMENT. MISE EN EVIDENCE DES INTERACTIONS ENTRE SYSTEME DE CULTURE RIZICOLE ET MAITRISE DE L'EAU AU LAC ALAOTRA. (MADAGASCAR)

C. FEAU - S. MARLET
AOUT 1988

Avenue du Val de Montferrand, Montferrier-sur-Lez, BP 5035 – 34032 Montpellier Cedex – Tél. : 67 63 91 70 – Télex : 480762 F

IRAT - DRN - PROGRAMME CONNAISSANCE ET CARTOGRAPHIE DES ESPACES RURAUX.
CIRAD - DELEGATION TELEDETECTION.

UTILISATION DE L'IMAGERIE SATELLITAIRE SPOT EN APPUI A DES PROGRAMMES REGIONAUX DE DEVELOPPEMENT. MISE EN EVIDENCE DES INTERACTIONS ENTRE SYSTEME DE CULTURE RIZICOLE ET MAITRISE DE L'EAU AU LAC ALAOTRA. (MADAGASCAR)

C. FEAU - S. MARLET
AOUT 1988

S O M M A I R E

PREAMBULE

I/ - LE MILIEU RIZICOLE

1.1. Inventaire Morphopédologique
1.2. Les Aménagements Hydroagricoles
1.3. Systèmes de culture

2/ - EXPLOITATION DES DONNEES SATELLITAIRES

2.1. Eléments sur la caractérisation spatiale des rizières
2.2. Choix des dates
2.3. Traitement des images

3/ - INTERPRETATION DES RESULTATS

CONCLUSION

UTILISATION DE L'IMAGERIE SATELLITAIRE SPOT EN APPUI A DES PROGRAMMES REGIONAUX DE DEVELOPPEMENT. MISE EN EVIDENCE DES INTERACTIONS ENTRE SYSTEME DE CULTURE RIZICOLE ET MAITRISE DE L'EAU AU LAC ALAOTRA (MADAGASCAR)

C. FEAU - S. MARLET

RESUME

Dans les grands aménagements hydro-agricoles au Lac Alaotra (Madagascar), les systèmes de cultures rizicoles sont étroitement liés à la maîtrise de l'eau. Ils peuvent être caractérisés par la précocité du riz, le statut hydrique de la rizière et son enherbement. Pour ce faire, nous avons exploité la scène SPOT du 18 avril 1986, en utilisant une méthode de classification supervisée. Le traitement s'est appuyé sur l'identification de "zones-test" représentatives des différentes situations, préalablement localisées sur une visualisation en fausses couleurs. Des cartes d'état de surface (9 classes) ont été établies. Leur interprétation permet le zonage des principales situations rizicoles liées à la maîtrise de l'eau. Ce type de démarche, facilement accessible à l'agronome non spécialiste, pourrait devenir un outil utile en appui à des programmes régionaux de développement.

Mots-clés : aménagement hydro-agricoles, projet de développement, système de culture rizicole, télédétection, maîtrise de l'eau.

PREAMBULE

La cuvettte au Lac Alaotra constitue avec ses 70.000 hectares de rizières "le grenier à riz de Madagascar". Près de la moitié de cette surface a fait l'objet de grands aménagements achevés dans les années 70. Leur gestion et l'encadrement des paysans attributaires ont été confiés à la SOMALAC (Société Malgache d'Aménagement du lac Alaotra). L'autre moitié, à aménagement traditionnel, est placée sous la responsabilité des services compétents du MPARA*, CIRVA et CIRIR**. L'hétérogénéité du milieu physique et des aménagements et la diversité des stratégies paysannes ont amené ces derniers à pratiquer des itinéraires techniques variés, dont les productivités sont inégales. Dans le but d'augmenter les surplus de riz commercialisables pour la consommation nationale, le gouvernement malgache a mis en oeuvre des opérations de recherche-développement (dès 1980) et la restructuration des organismes de développement.

Chercheurs et développeurs ont ressenti la nécessité d'inventorier, de caractériser et de cartographier les différentes situations rizicoles :

- les chercheurs, afin de déterminer les contraintes agronomiques des systèmes rizicoles dont ils sont chargés d'améliorer la productivité par la création d'innovations techniques adaptées aux différents cas et de se fixer des priorités en fonction de l'extension de ces systèmes.

- les développeurs, afin de réunir les données statistiques nécessaires au suivi et à l'évaluation de leurs actions.

Cette collecte d'information ne doit pas entrer en concurrence avec la principale activité des agents d'encadrement : la vulgarisation agricole. Par ailleurs, la libéralisation du commerce du paddy a enlevé à la SOMALAC, qui en avait auparavant le monopole, la possibilité d'évaluer directement la production commercialisée.

Pour répondre à ces interrogations, le Projet Recherche Développement et le Service Suivi et Programmation de la SOMALAC (avec l'appui respectivement du CIRAD et du BDPA) ont choisi la Télédétection par imagerie satellitaire SPOT, pour les raisons suivantes (certaines d'entre elles seront justifiées dans la suite de l'article) :

* Ministère de la Production agricole et de la Réforme agraire.
** Circonscription de la Vulgarisation agricole et Circonscription de l'infrastructure rurale

- la taille de l'image fournie (60 x 60 km) correspond à la dimension de la région,
- la haute définition du capteur H R V 1 (pixel de 20 m x 20 m en mode multispectral) permet d'appréhender l'hétérogénéité du milieu à une échelle compatible avec les pratiques agricoles,
- les milieux de monoculture rizicole permettent une bonne interprétation des paramètres mesurés en termes de facteurs de production,
- à terme, il semble que le coût de l'acquisiton et du traitement soit favorable, par rapport à d'autres solutions, comme une prospection de terrain systématique (à condition qu'elle soit possible) ou une mission photographique aéroportée,
- elle peut éventuellement se prêter à un traitement semi-automatisée.

Au cours de cette phase de mise au point méthodologique, notre démarche s'est orientée vers la mise en évidence des différentes situations rizicoles liées à la maîtrise de l'eau, afin de proposer des éléments explicatifs nécessaires au diagnostic de la riziculture et au zonage des potentialités rizicoles. Nous allons passer en revue l'ensemble des étapes de cette démarche en insistant sur son aspect opérationnel en appui à un programme de développement régional.

1 - LE MILIEU RIZICOLE

1.1. Inventaire morpho-pédologique (RAUNET, 1984)

Les sols d'origine fluvio-lacustre, c'est à dire associant des épandages fluviatiles (ANONY, la SAHABE) à des accumulations de tourbes dans les zones initialement marécageuses, se répartissent schématiquement de la périphérie vers le centre de la cuvette de la façon suivante :

- sols hydromorphes minéraux de fluage présents sur toutes zones au pied des TANETY (1). Ils sont fortement engorgés une partie de l'année, alimentés par la remontée de la nappe phréatique. Ces sols "lavés" ont un potentiel de fertilité faible mais leur aptitude à la riziculture est correcte car l'irrigation est le plus souvent facile à mettre en oeuvre.

- sols hydromorphes minéraux d'origine alluviale (PC Nord) : leur bon niveau de fertilité et leur nature souvent très argileuse leur procurent une bonne aptitude à la riziculture irriguée, aptitude localement fortement dépréciée par des

lentilles sableuses (PC ANONY).

- sols hydromorphes moyennement organiques (PC Nord, PC 15) : ces sols sont plus riches en matière organique (6 à 20 %) suffisamment humifiée pour obtenir une bonne fertilité. Leur texture très argileuse leur confère une bonne aptitude à l'irrigation.

- sols organiques tourbeux (PC 23) : ils ont ét récupérés après drainage des marécages à "zozoro" (2). leur mise en valeur mal contrôlée a provoqué leur tassement ce qui les rend particulièrement sensibles aux inondations et a parfois détruit la planéité initiale du terrain. Dans ce milieu réducteur et acide, en particulier après brûlis, l'alimentation minérale (N et P) est souvent déficiente et des déséquilibres peuvent apparaître.

L'existence de matériaux fluviatiles hétérogènes (cône d'épandage), avec (PC 23) ou sans recouvrement tourbeux (PC Nord) est une contrainte majeure pour la mise en oeuvre de l'irrigation.

1.2. Les aménagements hydro-agricoles

Les grands aménagements ne concernent que la moitié des surfaces rizicultivées. On y rencontre une grande diversité de situations :

- les périmètres peuvent être alimentés soit par des prises au fil de l'eau (PC 23, PC ANONY), soit par des lacs de retenues (PC 15, Sahamaloto). Le débit disponible est souvent insuffisant) et la gestion des retenues impose une ouverture tardive des réseaux d'irrigation.

- toutes les zones n'ont pas bénéficié d'aménagements également poussés (en particulier quant au nivellement).

- les réseaux d'irrigation et de drainage se sont dégradés avec le temps.

(1) terme malgache, colline généralement convexe, en "demi-orange".
(2) Cypérus madagascariensis

1.3. Systèmes de culture

De très nombreuses zones ne bénéficient pas d'une bonne maîtrise de l'eau. Pour toutes ces raisons, mais aussi pour des raisons d'ordre socio-économiques, les riziculteurs du lac ont adopté des itinéraires techniques divers, adaptés à leur moyens de production et au milieu naturel, mais parfois de productivité médiocre (CHARPENTIER, FEAU, 1985).

- La riziculture pluviale au sens strict, pratiquée sur les tanety, peut aussi se rencontrer en plaine, parfois avec assistance de la nappe phréatique, sur des zones excentrées non irrigables ou des "points hauts". Cette dénomination regroupe aussi bien des zones topographiquement plus élevées, que des parcelles sableuses très drainantes dont l'irrigation rationnelle est impossible.

- La riziculture inondée, caractérisée par une mauvaise maîtrise de l'eau. Elle englobe des situations variées en fonction :

  - de l'origine de la submersion : nappes, crue de rivières ou du lac Alaotra,
  - de la profondeur de la submersion,
  - de la régularité de celle-ci, au cours d'une même campagne ou d'une année à l'autre.

- La riziculture irriguée proprement dite, caractérisée par une maîtrise satisfaisante de la lame d'eau.

Pour ce qui nous concerne, il est important de noter que ces différents systèmes de culture peuvent être définis par un certain nombre d'éléments interdépendants caractérisant l'état de surface :

1.3.1. Lame d'eau

La présence d'une lame d'eau est un premier indicateur pour la mise en évidence de l'irrigation ou de la submersion.

1.3.3. Variétés

On rencontre sur des surfaces significatives trois types de variétés :

- Makalioka 34 (MK 34) :

Elle est la principale variété du lac. Originaire de la région, elle présente un bon compromis entre rusticité et productivité. Son grain long est très apprécié par les consommateurs locaux.

C'est une variété photosensible de cycle optimal long (180 jours). Sa floraison se produit du ler avril pour un repiquage précoce (début décembre) au 25 avril pour un repiquage très tardif (février). A maturité, on observe un brunissement des glumelles et un jaunissement (tardif) des extrêmités.

La date de repiquage influence fortement le développement végétatif et le rendement de la culture. Le potentiel de production est bon pour un repiquage avant le 15 décembre (> 5 tonnes) puis chute rapidement.

- Rojofotsy (1285), Vary Malady...

Ce sont des variétés rustiques non photosensibles de cycle moyen (150 jours). Elles ont un potentiel de production moyen (4 tonnes), mais s'adaptent correctement à la mauvaise "maîtrise de l'eau sur sols minéraux. L'absence de photosensibilité permet en effet d'avancer la floraison et d'éviter l'échaudage quand l'irrigation est insuffisante en fin de cycle (zones amont d'aménagement traditionnel).

- Tché-Kouaï (2798)

Originaire de Chine, cette variété de riz a été proposée à la vulgarisation par la Recherche en 1984. Elle connait une extension rapide sur les secteurs irrigués grâce à sa sensibilité moindre que celle de Makalioka aux repiquages tardifs et à son aptitude à l'intensification (forte reponse à la fertilisation, absence de verse jointe à une rusticité suffisante).

C'est une variété photosensible de cycle optimal moyen (150-160 jours). A conditions de culture égales, elle fleurit 10 à 30 jours plus tôt que Makalioka 34. Elle est caractérisée par une couleur vert clair, un jaunissement précoce de l'extrémité des feuilles, des glumelles jaune paille et une remarquable régularité de la surface du champ à maturité.

1.3.4. Enherbement

Sauf en ce qui concerne le riz à rhizome, la végétation adventice est facilement contrôlable quand la maîtrise de l'eau est bonne pour différentes raisons :

- l'existence d'une lame d'eau permanente limite le développement des plantules,
- le repiquage permet au riz de dominer la végétation,
- la pratique d'une riziculture intensive permet le désherbage.

La situation inverse (semis direct en sec, maîtrise aléatoire de l'eau...) à logique extensive conduit presque inévitablement à un enherbement important.

1.3.4. Précocité

La précocité de la floraison est un élément de caractérisation primordial car fortement lié à la maîtrise de l'eau, qui conditionne :

- le mode de mise en place = repiquage si l'approvisionnement en eau est assuré, pratiques plus extensives à base de semis direct en sec si l'alimentation en eau est aléatoire ou insuffisante,
- la date de mise en place : en irrigué, la disponibilité de l'eau pour les pépinières et le travail du sol permet un repiquage plus ou moins précoce. En zone inondable, le semis direct sera d'autant plus précoce que le risque de submersion est élevé,
- le choix des variétés, photosensibles ou non, selon le risque de manque d'eau en fin de cycle cultural.

Si la maîtrise de l'eau demeure le principal facteur déterminant la date et le mode de mise en place, d'autres éléments peuvent intervenir, d'ordre socio-économique : possession de boeufs de trait et de charrues, ressources en main-d'oeuvre familiale ou en trésorerie pour la main-d'oeuvre salariée fréquement employée, mode de faire valoir, absentéisme...

2 - EXPLOITATION DES DONNEES SATELLITAIRES

2.1. Eléments sur la caractérisation spectrale des rizières (GUYOT, 1984)

Dans le visible (canaux XS1 et XS2), la majeure partie du rayonnement est absorbée par les pigments foliaires. La réflectance est faible et la transmittance négligeable.

Dans le proche infra-rouge (canal XS3), les pigments foliaires sont transparents et le rayonnement est réfléchi et transmis en proportions égales.

Au cours de la sénescence, on observe un fort accroissement de la réflectance dansle visible, alors qu'elle n'augmente de façon significative dans le P.I.R. que lorsque la structure interne de la feuille est désorganisée par son déssèchement.

La réflectance d'un sol sec croit progressivement du visible au P.I.R. En général, un sol est plus réfléchissant que la végétation dans le visible (sauf si il est très riche en matière organique ou très humide) et moins réfléchissant dans le P.I.R.

La réfléctance évolue peu pendant la saison de culture ; elle n'évolue que pendant la phase de couverture croissante du sol par la végétation et pendant la maturation.

Le riz est une plante érectophile, c'est à dire que les feuilles dressées sont les plus fréquentes. On peut donc s'attendre à ce qu'une lame d'eau ou un enherbement important aient une influence importante sur la réflectance.

2.2. Choix des dates

Pour obtenir une représentation cartographique des différentes conditions de maîtrise de l'eau, deux solutions sont envisageables :

- la multiplication des dates d'intervention afin de mettre en évidence les variations saisonnières de l'eau dans le paysage. Cette solution implique un travail d'analyse et un coût considérables.

- une sélection raisonnée de dates, solution moins coûteuse permettant d'envisager un suivi opérationnel sans perte sensible de précision.

La situation de monoculture rizicole dans la cuvette simplifie le problème car nous n'aurons à mettre en évidence que les surfaces cultivées et les facteurs agronomiques liés à la maîtrise de l'eau, sans que se pose le problème de la reconnaissance des cultures.

Il a été choisi de programmer une image au mois d'avril 1986 pour différentes raisons :

- les contions favorables de nébulosité à la sortie de la saison cyclonique,
- cette période charnière correspond à la période de floraison de la principale variété utilisée (MK 34), et des variétés non photosensibles semées en décembre,
- le drainage des rizières n'est pas encore terminé et la récolte n'a pas débuté.

Ces conditions particulières devraient nous permettre de caractériser la maîtrise de l'eau à travers la mise en évidence de la précocité, du statut hydrique et de l'enherbement. L'image du 18 avril a été ainsi exploitée (FEAU, RAMALANJAONA, 1981).

La végétation naturelle ne pouvant être parfaitement distinguée des rizières, une image a été programmée en contre-saison. L'acquisition des données a eu lieu le 26 septembre 1986.

2.3. Traitement des images

2.3.1. Méthodologie

La réflectance mesurée par les capteurs du satellite est influencée par un grand nombre de paramètres :

- l'état de surface de la culture,
- la date et l'angle de visée, difficilement prévisible avec le satellite SPOT,
- l'atmosphère.

Même si il est possible de suivre au sol la réflectance du couvert (radiomètre) et si des progrès considérables sont réalisés dans la compréhension des phénomènes, l'interprétation des images nécessite des interconnections étroites avec les techniques cartographiques traditionnelles. Nous avons donc choisi une approche empirique, supervisée, itérative et en partie visuelle.

- empirique, parce qu'elle s'appuie sur l'expérience et le savoir des agronomes et techniciens de terrain,

- supervisée, c'est à dire qu'elle implique le choix d'échantillons d'entrainement bien identifiés qui déterminent le nombre de classes à représenter. La classification vaut ce que vaut l'expérience du thématicien qui la supervise (WANG J.S., HIRSCH J., 1984),

- itérative, parce qu'elle nécessite une évaluation systématique des résultats et un retour aux données pour améliorer les caractéristiques du classement,

- en partie visuelle, à partir d'une visualisation en fausses-couleurs qui "est l'image d'une réalité qui reste à comprendre" (BRUNEAU, KILIAN, 1986). TRICART en définit très bien l'intérêt (TRICART, 1978). Notre subconscient est héritier de notre sens d'interprétation visuelle, qui peut être d'un grand intérêt pour identifier des phénomènes qui parfois échappent à nos sens : proche infra-rouge, visée verticale... Cela permet tout d'abord d'analyser dans le détail la structure du paysage, puis de reconnaître les principales situations à identifier.

2.3.1. Choix des zones d'entrainement

La visualisation du 18 avril nous a permis de reconnaître les principales situations (caractérisées par leur couleur) et de localiser pour chacune d'elles de 5 à 10 zones d'entrainement (ou zones test).

Sur le terrain, ces zones ont été visitées dans un double but :

- comprendre l'origine de la variabilité des réponses spectrales et mettre au point une classification préliminaire des états de surface,
- identifier précisement chacune d'elles par une fiche d'observation comprenant : l'état du couvert (variété, précocité...), l'enherbement, la nature du sol et le statut hydrique de la parcelle.

Cette classification de base pourra être complétée, simplifiée ou modifiée lors du traitement en fonction des

données radiométriques et des caractéristiques des zones identifiées, de façon à lever certaines confusions ou à distinguer certaines situations qui n'étaient pas apparues clairement sur la visualisation. Pour plus de clarté, seule la classification finale sera présentée.

2.3.2. Traitement numérique

Le traitement des données a été réalisé sur un système NUMELEC Péricolor 1000.

Les canaux bruts (XS1, XS2, et XS3) ne sont que très peu contrastés dans ce milieu relativement homogène. Aussi nous avons préféré travailler à partir d'une autre série de variables nous permettant d'obtenir des contrastes plus marqués et une localisation plus précise des zones-test identifiées :

- Indice de végétation normalisé (I.V.N.) : $\frac{XS3 - XS2}{XS3 + XS2}$

- Somme des canaux (+++) : $XS1 + XS2 + XS3$

- Indice de brillance (I.B.) : $\sqrt{XS1^2 + XS2^2}$

Ces trois variables, dont on a vérifié l'indépendance 2 à 2, ont servi de base au traitement de l'image en Analyse en Composantes Principales. Les deux premiers axes :

$$ACP1 = 0.932 \times (I.V.N.) - 0.0355 \times (I.B.) + 0.3608 \times (+++)$$

$$ACP2 = -0.323 \times (I.V.N.) + 0.3701 \times (I.B.) + 0.871 \times (+++)$$

contribuent à 99 % de la variance totale et ont été utilisés pour le classement de l'image par histogramme bidimensionnel.

L'image de septembre n'a été utilisée que pour la localisation de la végétation naturelle, qui a été obtenue par histogramme bidimensionnel entre les Indices de Végétation Normalisés des images d'avril et de septembre.

2.3.3. Classification des états de surface

Nous allons présenter succintement la nature des différentes classes mises en évidence, sachant que nous aurons l'occasion d'y revenir dans l'interprétation des

résultats. Elles caractérisent :

- Classe 1 : la présence d'eau libre sans végétation apparente ou des zones complétement sinistrées par excès d'eau.

- Classe 2, 3 et 4 : rizières en eau.

- en zone inondée, les classes 4, 3 et 2 matérialisent un gradient croissant de submersion, c'est à dire une dominance de plus en plus marquée de la lame d'eau dans la réponse radiométrique.

- en zone irriguée, la maîtrise de la lame d'eau est bonne et le passage de la classe 2 à 4 matérialise une domination croissante du végétal sur la lame d'eau. Le classement est donc en étroite relation avec la date de mise en place, dont nous avons noté l'influence prépondérante sur le développement végétatif de Makalioka 34.

Classe 2 : repiquage très tardif
Classe 3 : repiquage tardif
Classe 4 : repiquage précoce

- Classe 5 : un ensemble très large de rizières exondées, non enherbées, dont la sénescence du feuillage n'est pas encore commencée, c'est à dire des rizières, irriguées ou inondées, récemment drainées.

- Classe 6 : des rizières enherbées, à maîtrise aléatoire de l'eau, dont la sénescence du couvert végétal n'est pas encore commencée. Cela traduit généralement un semis direct en sec dans des zones subissant une alternance d'assec et d'inondation.

- Classe 7 : des rizières exondées, généralement enherbées, dont la sénescence du couvert végétal est commencée, c'est à dire une mise en place précoce ou une alimentation hydrique déficiente.

- Classe 8 : la variété 2798, le plus souvent en zone irriguée, mais aussi des friches et des prairies naturelles, à la fois sur TANETY et en rizières, dont le feuillage très sec au mois de septembre ne peut être distingué des chaumes et repousses d'adventices en rizière.

- Classe 9 : la végétation pérenne dont l'activité chlorophylienne reste forte en septembre. Il n'est pas exclus qu'il puisse exister des confusions avec des repousses en particulier dans les points bas sur tourbe où la nappe reste

très proche de la surface du sol.

3 - INTERPRETATION DES RESULTATS

Cette image classée du 18 avril 1986, avec sa légende, constitue une carte des états de surface. Elle traduit les combinaisons existantes entre le milieu physique et des pratiques agricoles (BRUNEAU, KILIAN, 1986). En ce qui nous concerne, elle matérialise les interactions entre la maîtrise de l'eau et les systèmes de cultures rizicoles, à travers la mise en évidence de quelques critères sélectionnés. Ce diagnostic du thématicien, en l'occurance de l'agronome, est la base d'une classification supervisée.

Ce premier niveau d'analyse entraine deux conséquences ;

- une généralisation (classement), donc une perte d'information,
- une interprétation, donc un document plus facilement exploitable par l'utilisateur.

Pour pallier cette perte de détail sur la structure du système, on peut compléter ce premier document par une carte du milieu agricole ou des paysages agro-écologiques (BRUNEAU, KILIAN, 1984). Elle permet d'intégrer, outre les états de surface :

- leur position dans le paysage. Une carte du milieu physique en est l'outil privilégié (carte morphopédologique),

- l'arrangement dans l'espace des pixels classés. Chaque type de milieu peut être défini par les proportions des différentes classes représentées à l'intérieur d'une fenêtre de taille donnée (LE MEN, 1982),

- la texture de l'image classée, c'est à dire une appréciation sur la variabilité locale, selon que l'on observe de vastes zones homogènes ou une mosaïque plus ou moins organisée. Si la bonne maîtrise de l'irrigation associée au repiquage permet d'appréhender facilement le parcellaire, la texture observée semble le plus souvent liée à la nature du milieu.

Les grands types de milieux (ou paysages agro-écologiques) suivants ont pu ainsi être délimités :

- bonne maîtrise de l'irrigation (A) : ces zones sont situées à l'amont des réseaux d'irrigation et de drainage sur des sols argileux imperméables. Elles sont caractérisées par la dominance des classes 4 et 5, et un parcellaire bien matérialisé. La présence significative de la classe 3 traduira une arrivée tardive de l'eau ou une faible fertilité.

- zones inondables (C) : elles sont situées en bordure du lac ou des zones marécageuses. Elles sont caractérisées par la dominance des classes 2, 3 et 4 qui forment un gradient continu de la nappe d'eau libre (classe 1) aux zones exondées (classe 5).

- maîtrise aléatoire de l'eau (B) : elles sont généralement situées en position intermédiaire. Elles sont caractérisées par la dominance de la classe 6, en association avec les classes 5 et 7. On peut rapprocher cette situation de celles où on retrouve ces classes en imbrication avec les classes 3 et 4.

Si dans le premier cas, cela traduit une arrivée tardive et insuffisante de l'eau, dans le second cas, cela traduit une forte hétérogénéité du milieu (hétérogénéité des matériaux, planage déficient...) et imbrication d'axes naturels de circulation de l'eau et de zones le plus souvent émergées.

- mauvaise maîtrise de l'eau (D) : elles sont situées sur des zones excentrées, des "points hauts" ou des sols très drainants non irriguables. Elles sont caractérisées par la dominance la classe 7.

CONCLUSION

La télédétection par imagerie satellitaire SPOT devrait très probablement connaître un essor important pour l'appui à des programme régionaux de développement. Dans ce contexte, l'exemple du lac Alaotra nous parait tout à fait significatif d'une démarche qu'implique l'utilisation rationnelle de la télédétection dans ces conditions. En effet, le coût relatif à l'acquisition de l'image et à son traitement ne permettra pas de "coup d'essai". Il nous parait alors important :

- que l'objectif soit clairement défini,
- que le choix des dates de prise de vue soit solidement argumenté,
- que ce diagnostic, à travers la sélection de zones-tests représentatives, serve de base à l'analyse des données et au classement (approche supervisée). L'analyse en composantes principales en est l'outil privilégié,
- que les résultats soient valorisés sous forme de documents utilisables par le développement. Il semble qu'une carte des états de surface et son interprétation sous forme d'une carte du milieu agricole (ou des paysages agro-écologiques) pourraient utilement être complétées par une carte du milieu physique (carte morpho-pédologique) et une visualisation en fausses-couleurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BRUNEAU (M.), KILIAN (J.), 1984 : Inventaires agro-écologiques, paysages et télédétection en milieu tropical. Essai méthodologique. L'Agron. Trop., 39 (2), pp. 87-106.

BRUNEAU (M.), KILIAN (J.), 1986 : L'apport des données satellitaires dans l'établissement de cartes utilisées par le développement rural. In : Colloque international SPOT 1, premiers résultats en vol. Toulouse, France, 16-19 septembre 1986, pp. 197-199.

CHARPENTIER (H.), FEAU (C.), 1985 : Expérimentation d'accompagnement pour le développement de la productivité des rizières de la SOMALAC. Rapport de synthèse 1982-1984, CIRAD-IRAT-SOMALAC.

FEAU (C.), RAMALANJAONA (F.), 1988 : Les systèmes rizicoles à Madagascar. Mappemonde, 88-1, 2 p.

GUYOT (G.), 1984 : Caractérisation spectrale des couverts végétaux dans le visible et le proche infra-rouge. Application à la télédétection. Bul. S.F.P.T. n° 95 (3), pp. 5-22.

LE MEN (H.), 1982 : Classification des paysages par statistique locale de l'occupation du sol. Méthode de généralisation thématique et cartographique. In : Actes du

symposium international de la commission VII de la société internationales de photogrammétrie et télédétection, Toulouse, France, GDTA, 13-17 semptembre, pp. 921-928.

RAUNET (M.), 1984 : Région du lac Alaotra (Madagascar) : le milieu physique. Aptitude à la mise en valeur agricole. Montpellier, IRAT-CIRAD, 2 cartes, 226 p.

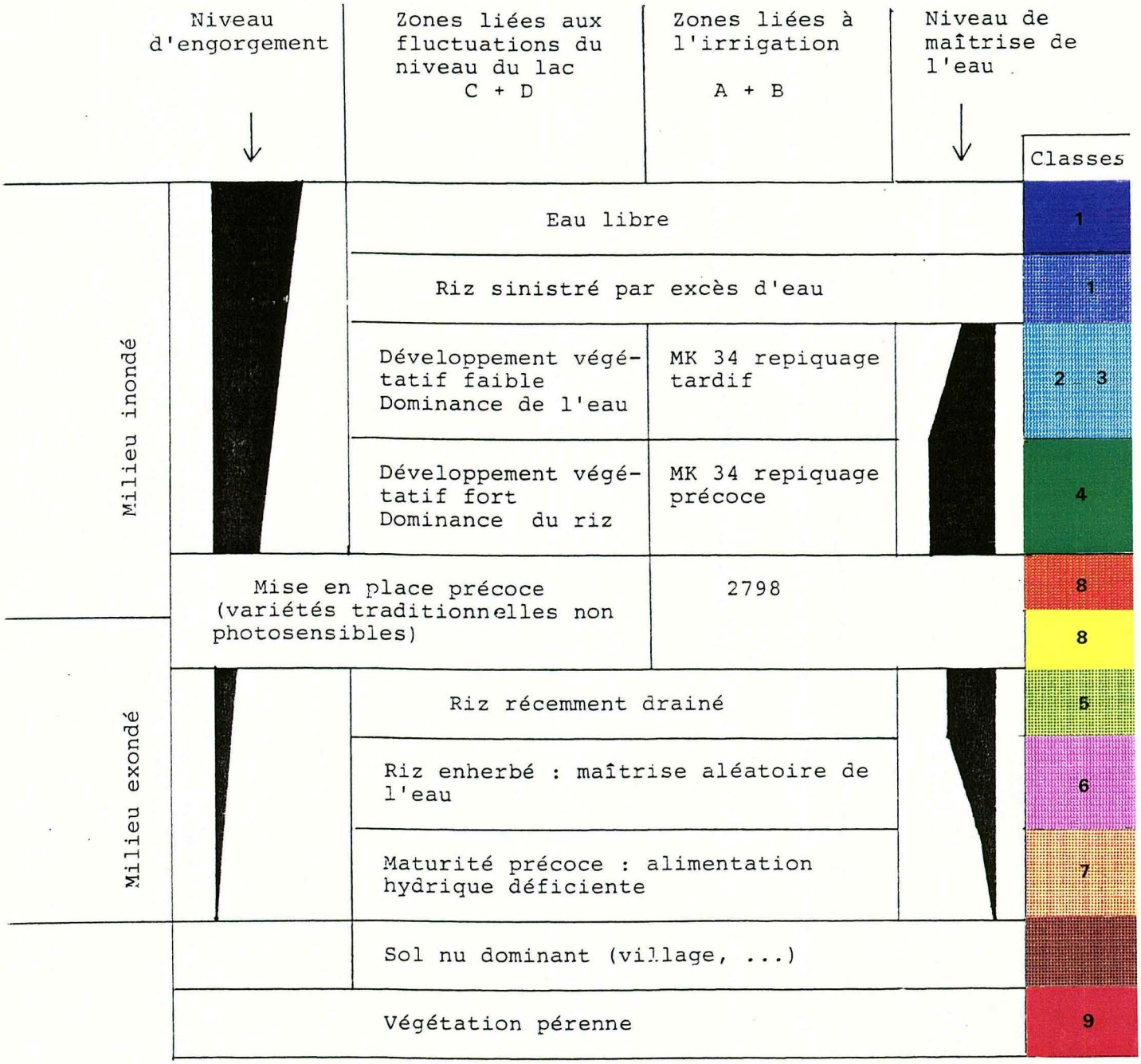
TRICART (J.), 1978 : Méthodes de travail. Les enregistrements de télédétection, source d'informations pour l'étude de l'environnement écologique. Revue de géomorphologie dynamique, XXVII années, n° 1, pp. 29-41.

WANG (J.S.), HIRSCH (J.), 1984 : Classification non supervisée par segmentation itérative. Recherches géographiques de Strasbourg, n° 27, pp. 53-58.

Superficies et pourcentages des classes définies dans la carte des Etats de surface (Extrait) - Interactions : Situations rizicoles x Maîtrise de l'eau

Classe	Total pixels	Surface en hectares	%
1	36 935	1 447,4	7,04
2-3	21 166	846,64	4,04
4	49 462	1 978,48	9,43
5	87 940	3 517,6	16,77
6	26 127	1 048,68	4,98
7	41 562	1 662,48	7,93
8	14 013	560,52	2,67
9	110 992	4 439,68	21,17
Sol nu dominant Tanety	2 509	100,36	0,48
	81 423	3 256,92	15,53
Non classés (nuages, ombre, pistes mailles)	52 159	2 086,36	9,95
TOTAL	524 288	20 971,52	

LEGENDE



Zonage des principales situations rizicoles :

A	Bonne maîtrise de l'irrigation
B	Maîtrise aléatoire ou mauvaise de l'irrigation
C	Zone inondable
D	Milieu hétérogène : pas de maîtrise de l'eau
	Tanety

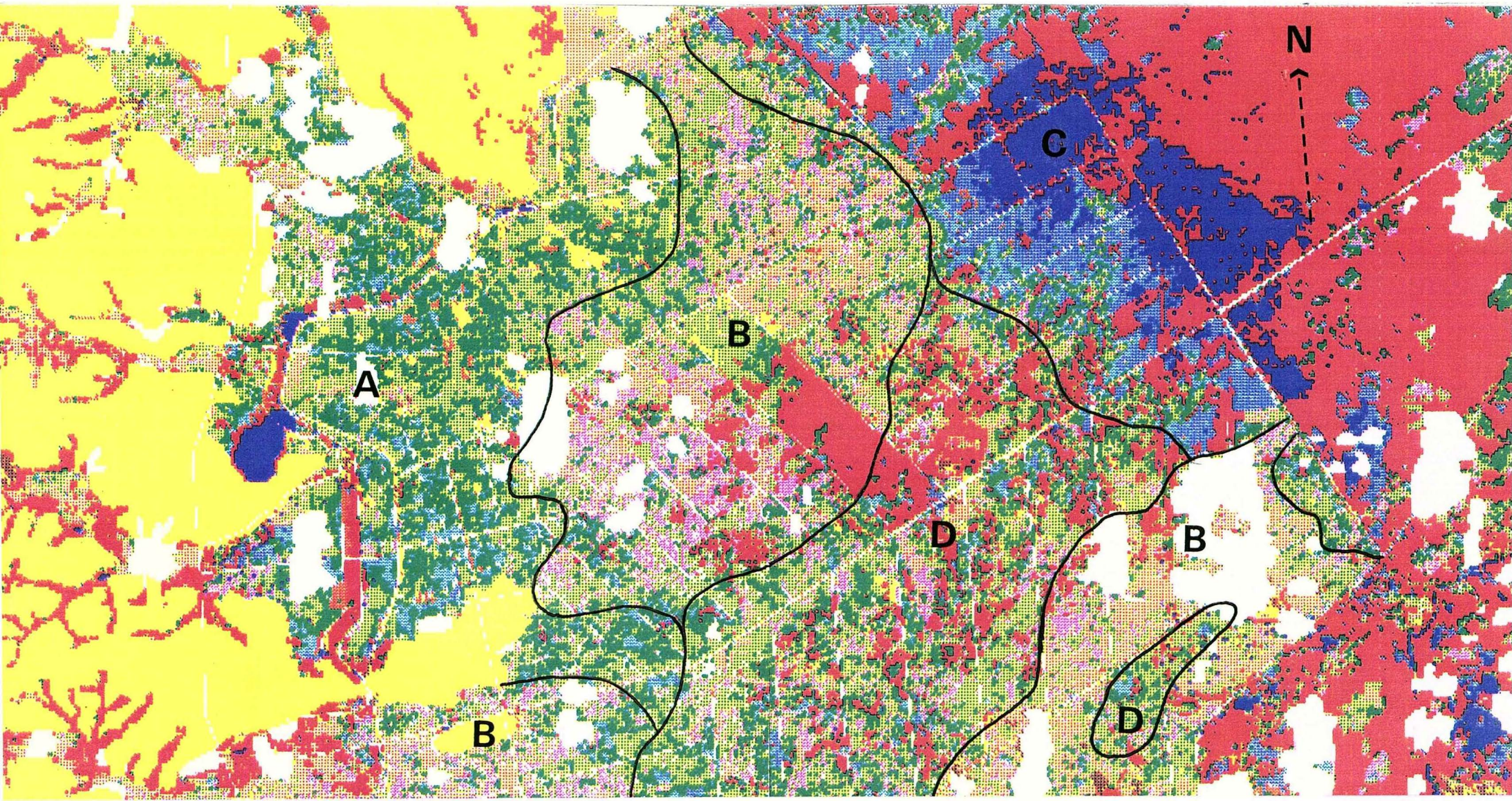
MADAGASCAR
LAC ALAOTRA - PC 23

CARTE DES ETATS DE SURFACE (EXTRAIT)

INTERACTIONS : MAITRISE DE L'EAU - SITUATIONS RIZICOLES
échelle : 1/60.000 environ

S. MARLET - SOMALAC/IRAT-CIRAD avec la collaboration de P. FOL IRAT

D'après image SPOT du 18 avril 1986



Office d'Edition de la
Recherche Scientifique et
Coopération Internationale

REPROGRAPHIE INDUSTRIELLE
EDITIONS - DUPLICATIONS -

MINIPARC N° 7-ZOLAD- 34100 MONTPELLIER
67.52.20.05