

COUVERTS NUAGEUX EN DOMAINE TROPICAL ET TELEDETECTION DE CULTURES D'HEVEAS DANS LE SUD DE LA THAÏLANDE.

SELLERON Gilles* et PANAPITUKKUL Nipa**

* GEODE, UMR 5602 – CNRS, 5 allée A.Machado 31058 Toulouse cedex. France.

**Natural Resources Department, Université Prince de Songkhla. Songkhla. Thaïlande.

Commission VII, Groupe de travail 1.

KEY WORDS: Remote sensing, Forestry, Method, Classification, Multitemporal, Spot Landsat Data, Cloud Cover Extraction.

ABSTRACT:

In some countries with heavy cloud cover, it is difficult to obtain satellite images without any clouds. Therefore, it is a handicap to survey land use evolutions by passive remote sensing. In order to take away this inconvenience, a new multitemporal analysis method is proposed to allow entire inventory and cartography of heveaculture in the south of Thailand.

RESUME:

Dans certains pays à forte nébulosité, il est rare d'obtenir des images satellitaires totalement dépourvues de nuages. Cela constitue une gêne pour le suivi de l'occupation du sol par télédétection au moyen des satellites passifs. Une méthode fondée sur une analyse multitemporelle pallie cet handicap et permet l'inventaire et la cartographie de l'hévéaculture en Thaïlande.

INTRODUCTION

Chacun sait que les pays du domaine intertropical accusent un retard certain en matière de cartographie thématique aux moyennes et grandes échelles, ne serait-ce que celles relevant de leurs propres ressources renouvelables.

Survolant régulièrement ces immenses régions, les satellites d'observation de la Terre se doivent d'être utilisés. Mais l'appel aux techniques moderne de l'imagerie spatiale, de la télédétection, dans les pays tropicaux à forte nébulosité, pose un problème majeur: la difficulté d'obtenir des images satellitaires totalement dépourvues de couvert nuageux, et ce, même dans les régions à saisons alternées. En effet, comment réaliser une cartographie valable et obtenir des statistiques sur l'utilisation du sol dès lors qu'une bonne partie du territoire concerné en serait exclue ?

C'est pourtant, au vu de la littérature, ce qui semble se pratiquer assez couramment par des « télédétecteurs », notamment lors de classifications d'image monotemporelle dont la cartographie résultante présente des blancs de toutes tailles et de toutes formes: compactes, disséminées, alignées... bref, ces fameux nuages dits de beau temps, qui reçoivent le plus souvent l'appellation "non classés"!

S'affranchir de ces difficultés omniprésentes dans ces contrées et malheureusement très bien reflétées sur les images spatiales des satellites dits passifs comme Spot ou Landsat, nécessite de valoriser au mieux l'outil télédétection, à savoir la répétitivité d'acquisition d'images numériques sur un même lieu. Acquérir au moins deux images enregistrées à deux saisons végétatives successives s'avère indispensable. Cet atout, dès lors que le thématicien en envisage la maîtrise et ses conséquences (coûts supérieurs, programmations de satellite, traitements numériques multitemporels...) offre un double avantage: d'une part, pouvoir supprimer d'éventuels confusions spectrales entre certains éléments d'occupation du sol, et d'autre part, avoir la possibilité de percevoir au moins une fois le territoire étudié dans son intégralité en "jouant" avec les déplacements des nuages d'une image à l'autre (Panapitukkul, 94).

Dans le premier cas, les confusions spectrales inhérentes à chacune des images peuvent être palliées par la prise en compte des dynamiques et des phénologies différenciées propres aux formations végétales ou culturelles incluses et enregistrées spectralement sur plusieurs images (Selleron, 93). Pour le second aspect, il va de soit que la probabilité de ne pas avoir de nuages sur un même espace à partir d'au moins deux images est, de facto, bien supérieur que pour une seule date, bien que cette chance n'atteigne pas forcément les 100% de succès.

C'est cette expérimentation qui va être maintenant développée dans une région de riziculture et d'hévéaculture du sud-est de la Thaïlande.

1. SITE, DONNEES SATELLITAIRES ET QUALITE DES IMAGES :

1.1 Site expérimental :

A environ 800 Km de Bangkok, capitale de la Thaïlande, sur la côte est de la péninsule thaïlandaise, s'étend le bassin du lac de Songkhla. Encadrées des deux principaux chefs-lieux de province, les villes de Songkhla au sud et de phatthalung au nord, le bassin couvre plus de 8400 Km² dont 1000 Km² pour le seul lac de Songkhla (Fig.1).

La population qui dépasse le million d'habitants, se consacre pour la majorité d'entre elle, aux activités du secteur primaire: riziculture, hévéaculture et pêche. Bien que relevant économiquement des cours mondiaux fluctuants du riz et du caoutchouc, les plans d'aménagements régionaux successifs ont toujours été orientée pour cette région vers l'intensification des productions de riz –par de nouveaux projets d'irrigation– et de celle du caoutchouc –par des replantations d'hévéas–.

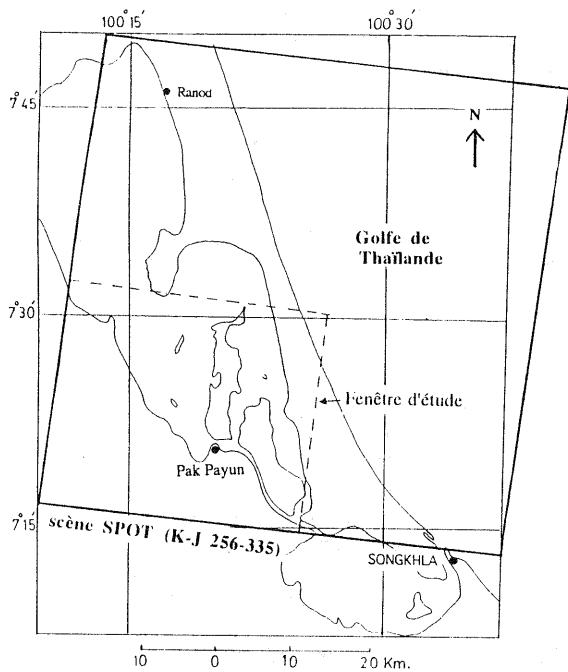


Fig.1- Région d'étude et position des images satellitaires.

En vue de caractériser les systèmes de production agricole et les types de paysages agroécologiques (Bruneau, 84), une étude régionale a été entreprise, associant intimement les connaissances acquises sur le terrain aux traitements numériques d'images satellitaires (Kingpaibon, 91). Mais, un seul aspect de cette étude sera ici exposé: la cartographie des plantations d'hévéas malgré la présence de couvertures nuageuses répétées.

1.2 Qualité des données satellitaires :

Les images spatiales, au nombre de trois, ne recouvrent qu'une portion du Bassin de Songkhla. Correspondant à peu près à la superficie de la moitié d'une scène Spot, la zone d'étude est centrée sur la rive gauche du Lac tout en englobant une partie de ce dernier (Fig.1).

Les trois images -deux scènes Spot, une Landsat-TM- reflètent des saisons végétatives différentes et s'inscrivent sur une période de quatre années. Parmi les deux scènes Spot, la première est enregistrée en début de saison pré-humide -13 mai 1986-, la seconde, en saison sèche -11 avril 1987-, quant à la troisième, elle a été obtenue en pleine saison humide -5 novembre 1989-.

A des degrés divers, chacune de ces images contient une couverture nuageuse uniquement située au dessus des terres rendant ainsi difficile la détection des changements des états de surface d'une image à l'autre. Toutes trois possèdent une visibilité du sol excellente en dehors des fameux nuages et en dépit de la présence d'une légère brume circonscrite au littoral est sur celle de 1987.

Sur la figure 2, la représentation des couverts nuageux des différentes scènes se caractérise ainsi: en 1986, les nuages et leurs ombres portées sont nombreux, de petites tailles et très dispersés, alors qu'en 1987, ils sont gros et concentrés au sud ouest de l'image. Enfin, en 1989, ils paraissent alignés, petits dispersés et peu nombreux : pourtant en pleine saison humide!

2 LOCALISER ET DENOMBRER LES NUAGES-OMBRES :

pour "éliminer" les nuages-ombres, faut-il encore chercher à les dénombrer, c'est à dire, les localiser spectralement à chacune des trois dates afin de quantifier les superficies terrestres qu'ils recouvrent, puis d'observer les chevauchements éventuels desdits nuages-ombres d'une date à l'autre, et enfin, entre les trois images.

Pour atteindre cet objectif, une démarche originale a été élaborée. Optant pour une étude de la dynamique de systèmes cultureux à travers une analyse radiométrique multidade (Panapitukkul, 94), il convient tout d'abord de rendre les trois images superposables entre elles.

2.1 Corrections géométriques d'images :

L'image de saison pré-humide (1986) sert d'image de référence. Elle totalise 1392 lignes sur 1612 colonnes, soit 2 243 904 pixels ou 897,6 Km².

En prenant soin de sélectionner un nombre d'amers suffisants - ces derniers doivent être communs aux trois images initiales malgré la présence cumulée des nuages-ombres - les deux fenêtres des images de 1987 et de 1989 sont alors géométriquement corrigées pour se caler sous l'unique référentiel géographique de la première image. La correction est effectuée par un polynôme de degré 2 et l'interpolation des radiométries par la convolution bicubique sur les valeurs de 16 pixels voisins (Walch, 87).

Par son découpage et sa situation géographique, la scène corrigée résultante contient en son centre une partie du lac de Songkhla, à l'est, un espace marin du Golfe de Thaïlande et, à l'ouest, une bordure sans contenu issue de la configuration de l'image elle-même avec la trace oblique du satellite.

2.2 Masquage du Lac et des couverts nuageux :

Après l'étape de la correction géométrique indispensable, intervient une phase de masquage qui prend deux acceptions. La première correspond à un masquage radiométrique des trois zones ci-dessus énumérées afin d'éliminer des entités inutiles aux traitements radiométriques ultérieurs. La seconde traite des nuages-ombres proprement dits au moyen d'un masquage manuel pour les circonscrire comme indiqué précédemment.

Le masquage radiométrique permet d'éliminer l'ensemble des pixels aux valeurs radiométriques absorbantes sur l'histogramme du canal proche infrarouge (PIR) de 1986. Un fois ce seuil bien déterminé sur l'histogramme, les valeurs inférieures au seuillage sont simplifiées et reçoivent toutes la valeur 0. Ainsi est créé un plan condition des espaces "lacustres". Un masquage radiométrique n'est réalisable que pour des entités spectralement homogènes, comme dans ce cas, l'eau.

En revanche, ce procédé n'est pas envisageable pour les nuages-ombres. En effet, ces derniers sont suffisamment hétérogènes pour introduire des assimilations spectrales avec d'autres éléments d'occupation du sol. Ainsi, les nuages légers se confondent avec des sols secs de couleur clair tandis que les ombres épaisses et noires s'assimilent radiométriquement aux sols humifères ou très engorgés. Le masquage manuel suivi d'une segmentation devient le seul recours. Chaque nuage-ombre est délimité visuellement à l'écran par un polygone tracé sur le plan overlay auquel est affectée une valeur arbitraire comprise entre 0 et 255. Ensuite, par une segmentation de ces



Fig.2- Extraction de la couverture nuageuse sur les trois images. (en noir et gris sur la partie continentale).

valeurs, l'ensemble des nuages-ombres est aggloméré sous un unique plan condition de valeur 0. De cette façon, il est ensuite aisé de fusionner ou de séparer les deux derniers plans condition de même valeur: l'espace lacustre-marin-oblicité de scène et les nuages-ombres.

2.3 Quantifier les nuages :

Après les phases de superposition géométrique des trois images

Région de Songkhla et décomposition des nuages-ombres	Recouvrement sur image (en %)	Recouvrement de surface terrestre (en %)
Lac de Songkhla	35,33	
Bordure ouest	2,39	
Dépôts sédimentaires	0,95	
total :	38,67	
Nuages et ombres portées en 1986	11,6	18,63
Nuages et ombres portées en 1987	6,7	10,83
Nuages et ombres portées en 1989	1,46	2,35
chevauchements nuages-ombres 1986-87-89	0,17	0,27
chevauchements nuages-ombres 1986-87	2,05	4,02
chevauchements nuages-ombres 1986-89	0,57	0,91
chevauchements nuages-ombres 1987-89	0,41	0,66
total des trois années :	22,96	37,67

Tableau 1- Bilan statistique du couvert nuageux présents aux trois dates.

et d'extraction des nuages-ombres sur chacune d'elles, le calcul des superficies couvertes par les nuages-ombres est obtenu en transformant leurs trois plans condition en trois néo-canaux radiométriques binaires. Ce procédé autorise la création d'une

composition colorée en R.V.B. contenant respectivement le lac et les nuages en 1986, en 1987 et en 1989 (Fig.2).

Une simple analyse de l'histogramme de ces trois nouveaux canaux permet d'atteindre l'objectif fixé et de fournir des données statistiques complètes, précédentes. Le traitement statistique des images peut maintenant intervenir.

3. CARTOGRAPHIE MULTITEMPORELLE DE L'HEVEACULTURE:

C'est à travers une classification supervisée classique en concordance avec la typologie acquise sur le site, que cinq catégories de plantations d'hévéas sont discriminées:

Code:	Typologie:
H1	Plantations en exploitation avec hévéas vigoureux.
H2	Vieilles plantations et plantations à variété ancienne.
H3	Plantation d'hévéas de santé médiocre.
H4	Jeunes plantations prêtes à entrer en exploitation (4 - 11 ans).
H5	Très jeunes plantations improductives âgées de moins de trois ans.

3.1 Classifications mono et multidates :

En étroite relation avec les connaissances acquises au cours de plusieurs missions, une cinquantaine d'échantillons ayant des données numériques complètes sur les trois images multidates - c'est à dire hors des périmètres nuageux - sont sélectionnés et localisés sur l'image. En sont extraits leurs valeurs radiométriques par type de plantation et par canal. Le calcul des moyennes et des écarts-types assurent le contrôle de leur homogénéité (Tableau 2 a et b).

La matrice de confusion des échantillons permet quant à elle d'envisager la qualité des classifications. Ces dernières sont réalisées pour chaque date et uniquement à partir des données multispectrales des canaux XS2 et XS3 de Spot en 1986 et 1987, TM3 et TM4 de Landsat en 1989.

Par conséquent, à cette étape, chaque classification, qu'elle soit réalisée à partir d'une seule date ou de deux ou encore de trois, contient bien entendu les nuages-ombres respectifs des images incriminées. Les plantations masquées par les nuages-ombres demeurent donc toujours invisibles.

3.2 Analyse des matrices de confusion :

De surcroît, comme l'indique très bien les différentes matrices de confusion du tableau 2, le résultat de chaque classification à chaque date ne peut être que différent, ne serait-ce que par le fait des évolutions phénologiques et des modifications de structures de ces plantations au cours de cette période. D'où certaines confusions spectrales plus ou moins marquées entre tous ou quelques types de plantation à chaque date (Tableau 2: g, h, i). On constate également que si l'on ne tient pas compte de l'espace nuageux cumulé, le résultat aux trois dates est satisfaisant du point de vue des discriminations des différentes catégories de plantations d'hévéas comme l'indique les hauts scores affichés en 2c. En revanche, si l'on tient compte de ce couvert nuageux, les résultats comportant seulement deux dates apportent des confusions bien perceptibles entre certaines plantations, comme par exemple en 2d, 2e et 2f. On notera que les données de la seule saison pré-humide (1986) fournissent de meilleurs résultats que celles de saison sèche et de saison des pluies en comparant les scores affichés en 2g par rapport à 2h et 2i.

3.3 Remplacer les nuages – ombres :

Mais le bilan de l'analyse des matrices de confusion précédentes fournit, en quelque sorte, la solution au problème du couvert nuageux. Pour cartographier – classifier l'ensemble des plantations d'hévéas de l'espace étudié y compris celles masquées temporairement par les nuages–ombres, une première classification des données radiométrique des trois dates est réalisée: on distingue ainsi correctement l'ensemble des plantations hors des nuages–ombres aux trois dates. Puis, comme cela est schématisé sur la figure 3, les "vides" –données spectrales de la surface terrestre absentes à une ou deux dates sur trois– créés par les nuages–ombres à une date sont remplacés par la classification des hévéas aux dates complémentaires. Par exemple, les nuages–ombres de 1986 sont remplacés par les plantations classifiées à partir des données radiométriques de 1987 et 1989, ou encore, les nuages–ombres des années 1986 et 1987 par les plantations classifiées de 1989 et ainsi de suite. Par cette méthode, les nuages–ombres disparaissent petit à petit au gré des combinaisons des meilleures classifications des thèmes recherchés.

3.4 Défrichements des plantations d'hévéas :

Pour être plus complet et présenter une cartographie de l'hévéaculture la plus fiable possible, aux cinq catégories de ces plantations reconnues sur le terrain et classifiées sur images, doit s'ajouter la perception de la dynamique propre des plantations d'hévéas, de l'impact humain, à travers les défrichements intervenus aux cours de ces quatre années.

En effet, le cycle de vie ou la rotation culturale des plantations d'hévéas est facilement identifiable sur images par le simple calcul de la différence entre les valeurs radiométriques des canaux PIR et R. Sur les parcelles d'hévéas, les valeurs élevées de cette différence (PIR–R) sur l'image de 1986 traduisent une couverture végétale dense (par exemple, les vieilles plantations) et les faibles valeurs de la même parcelle sur l'image suivante (1987) expriment la présence d'un sol nu qui traduit lui-même un défrichement en 1987.

Cette méthode conduit à traiter simultanément des couples d'images d'années successives: l'image résultante de PIR–R en 1986 et 1987 et celle de PIR–R en 1987 et 1989. A partir de ces binômes, six parcelles–tests exprimant ces mutations sont saisies à l'écran afin d'effectuer deux nouvelles classifications dont les résultats sont alors introduits sur la cartographie finale.

3.5 Cartographie de l'hévéaculture et critiques :

La cartographie des plantations d'hévéas autour du lac de Songkhla, à petite échelle, comporte cinq catégories d'hévéas et deux concernant les défrichements (Fig.4). Les éléments statistiques sont inscrits au tableau 3.

Par cette méthode de traitements radiométriques multitemporels différenciés et complémentaires, même sans atteindre la perfection ultime, ce résultat final paraît tout à fait correct compte–tenu de l'objectif fixé et des images nuageuses de départ. Les nuages et leurs ombres portées ont "disparu" et la quasi totalité des plantations est présente, retrouvée et inventoriée.

Une confrontation de cette classification–cartographie avec les statistiques officielles de l'ORRAF –organisme régional gestionnaire– n'est cependant guère envisageable du fait de la non concordance des découpages administratifs de cet organisme avec celui de la portion d'image. Néanmoins, les missions successives sur le terrain ayant justement permis d'accorder une grande attention aux lieux masqués par les nuages–ombres

autorisent, entre autre, une évaluation subjective de la cartographie. La logique d'implantation régionales des hévéas, les formes, les dimensions, les parcellaires imbriqués que révèlent cette cartographie thématique renforce la qualité de ce résultat qui, de plus, permet de visualiser des organisations de terroirs spécifiques aux hévéas et bien délimités, voire opposés, aux domaines rizicoles voisins.

Précisons que ce résultat, par la manière dont il est obtenu, présente un biais compréhensible: celui de ne pouvoir rendre–compte d'un unique état temporel de l'ensemble des plantations d'hévéas puisqu'il intègre partiellement des données de trois dates disjointes s'étalant sur quatre années. En revanche, la méthode initiée procure une cartographie quasiment exhaustive de la région, et ce, sans "vides" correspondant aux couverts nuageux. Enfin, même si des confusions spectrales entre certaines catégories d'hévéas peuvent subsister par endroits, la méthode de permutation–remplacement des meilleurs résultats obtenus à chaque dates, minimise fortement ces confusions. Du reste, ces dernières relèvent moins de confusions entre les plantations elles–mêmes qu'entre des plantations et des groupes d'habitations pourvus d'une couverture arborée dense. Or, une analyse texturale ultérieure des types d'habitat permettra d'éliminer cet handicap.

4. Conclusion

L'utilisation d'images satellitaires mêmes imparfaites, parce que partiellement voilées de nuages, demeure possible pour inventorier et caractériser l'ensemble des éléments d'occupation du sol d'une région comme le démontre cette expérimentation sur les plantations d'hévéas autour du lac de Songkhla, dans le sud est de la Thaïlande.

Moyennant certaines conditions matérielles et méthodologiques:

- l'emploi d'au moins deux ou trois images satellitaires à deux ou trois saisons végétatives complémentaires pour appréhender la dynamique et la phénologie des ressources renouvelables présentes.

- l'application d'une méthode où s'emboîtent successivement des phases de correction géométrique d'images, puis de masquages radiométriques et manuels suivis d'opérations de segmentation et de binarisation autorisant maints calculs sur les superficies nuageuses et leurs chevauchements au cours du temps, pour enfin aboutir à des classifications multitemporelles spécifiques car autorisant les remplacements des nuages–ombres par un contenu thématique. Une cartographie multitemporelle spatialement exhaustive est alors réalisable.

Bibliographie

BRUNEAU M. 1984: Inventaire agroécologiques, paysages et télédétection en milieu tropical. in *Agronomie tropicale*, 39–2, p.97–106.

KINGPAIBON S., 1991: Intégration de données exogènes à des données satellitaires pour l'analyse de l'évolution de milieux agricoles sous la dépendance de l'eau. Thèse de Doctorat. Univ.de Montpellier II. 177 p.

PANNAPITUKKUL N.,1994: Contribution de la télédétection spatiale à la cartographie des systèmes de production agricole en Thaïlande du sud. Thèse de Doctorat, 194 p. Université Toulouse II.

a) MOYENNE DES CLASSES PAR CANAL

	XS3	XS2	XS3	XS2	TM4	TM3
1*	135,3	26,1	150,7	31,7	108,3	28,1
2	114,7	25,1	114,9	35,4	96,1	30,2
3	99,8	30,8	105,9	41,1	115,3	33,6
4	86,5	46,4	108,1	56,0	112,2	29,7
5	76,2	54,1	91,1	68,1	116,7	31,1

---1986--- ---1987--- ---1989---

b) ECART-TYPE DES CLASSES PAR CANAL

	XS3	XS2	XS3	XS2	TM4	TM3
1	4,13	1,27	3,68	1,27	6,42	2,39
2	5,60	1,55	7,70	1,36	5,96	1,75
3	4,91	2,73	7,74	8,00	8,14	2,23
4	4,27	5,23	4,72	8,66	4,23	2,21
5	2,59	7,43	5,15	9,08	8,82	2,52

---1986--- ---1987--- ---1989---

e) 86,89 (nuages 87)

	0	1	2	3	4	5
1	0,0	98,1	1,9	0,0	0,0	0,0
2	0,0	7,5	91,8	0,6	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,8	98,4	0,8
5	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	85,8

h) 87 (nuages 86,89)

	0	1	2	3	4	5
1	0,0	100,0	0,0	11,9	0,0	0,0
2	0,0	0,0	88,1	17,3	0,0	0,0
3	0,0	0,0	34,1	51,6	11,9	2,4
4	0,0	0,0	6,8	0,0	67,5	8,4
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	99,5

c) 86,87,89 (hors des nuages)

	0	1	2	3	4	5
1*	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	99,4	0,6	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	93,7	6,3	0,0
4	0,0	0,0	0,0	2,0	93,6	4,4
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

d) 86,87 (nuages 89)

	0	1	2	3	4	5
1	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	97,5	2,5	0,0	0,0
3	0,0	0,0	15,1	78,6	6,3	0,0
4	0,0	0,0	0,0	2,8	93,6	3,6
5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	99,0

i) 89 (nuages 86,87)

	0	1	2	3	4	5
1	0,0	47,5	18,5	3,8	20,9	9,4
2	0,0	17,6	81,8	0,6	0,6	0,0
3	0,0	17,5	5,6	39,7	9,5	27,8
4	0,0	33,3	1,6	5,6	34,9	24,5
5	0,0	13,2	5,4	13,7	16,7	51,0

f) 87,89 (nuages 86)

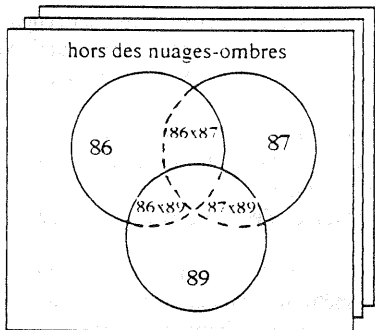
	0	1	2	3	4	5
1	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	2,4	83,3	11,9	2,4
4	0,0	0,0	2,4	12,9	77,9	6,8
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

g) 86 (nuages 87,89)

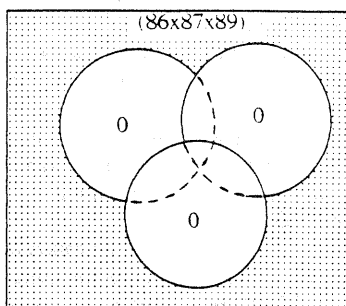
	0	1	2	3	4	5
1	0,0	98,7	1,3	0,0	0,0	0,0
2	0,0	1,3	93,1	5,7	0,0	0,0
3	0,0	0,0	7,1	92,9	0,0	0,0
4	0,4	0,0	0,0	0,8	96,0	2,8
5	0,0	0,0	0,1	0,0	14,2	85,8

Tableau 2- Valeurs radiométriques moyennes et matrices de confusion des parcelles-échantillons d'hévéas.
*abréviations : 1 = H1, 2 = H2, 3 = H3, 4 = H4, 5 = H5.

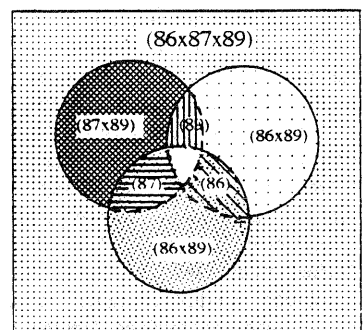
(1) Images multitemporelles de la zone des plantations d'hévéas



(2) Classification multitemporelle (données utilisées)



(3) Classification multitemporelle ou monotemporelle (données utilisées)



(4) Image classée finale

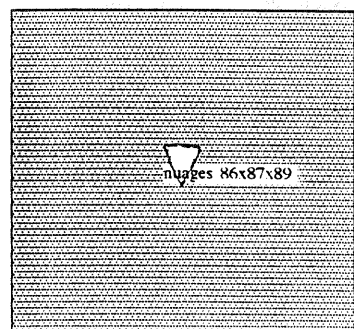


Fig.3- classification multitemporelle des plantations d'hévéas sous procédure de remplacement des nuages-ombres par la classification des autres dates.

- (1)chaque cercle symbolise les nuages aux dates indiquées.
- (2) les masques nuages-ombres sont « vides »(0).
- (3) remplacement des vides .
- (4) nuages-ombres subsistants aux trois dates.

SELLERON G., 1993: Suivi de la déforestation d'un front pionnier par images Spot. in Bull. Soc. Française de photogram. et télédétection n° 130; pp.25-36,47-48.

WALCH SJ., 1991: Image enhancement of landsat-TM data and GIS data integration for evaluation of resources characteristic. in Photogram. Engin. and Remote Sensing, vol.86-8.

Tableau 3- Statistiques sur les plantations d'hévéas en 1989 par la méthode de classification multitemporelle des trois images satellitaires.

Code des plantations	Nb de pixels	Superficie (en Ha)	Occupation du sol (en %)
H1	56878	2275,1	2,53
H2	74702	2988,1	3,33
H3	93982	3759,3	4,19
H4	111173	4446,9	4,95
H5	23501	940	1,05
H6	2066	82,6	0,09
H7	2233	89	0,1
total :	364535	14581	16,24

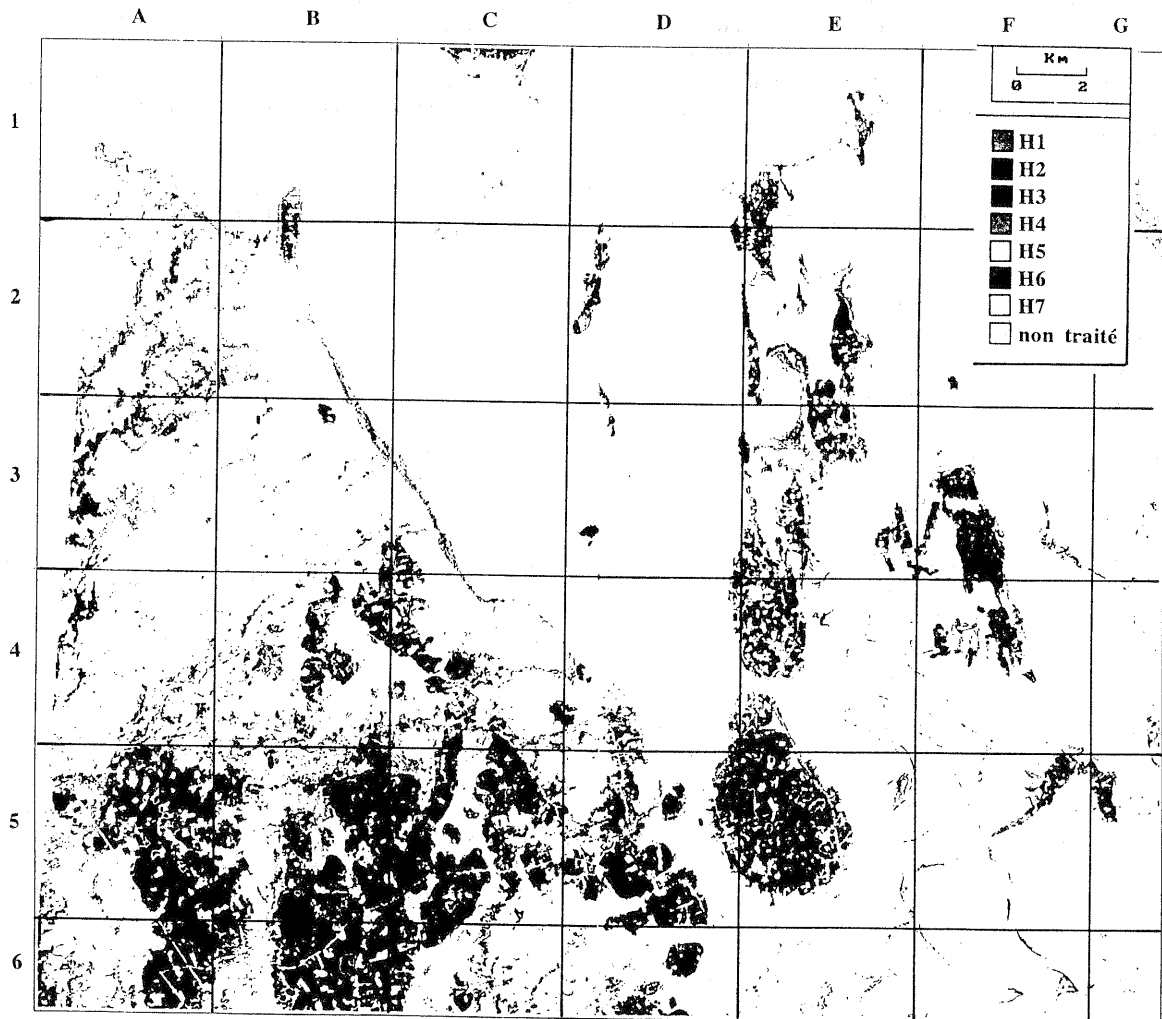


Fig.4- cartographie des plantations d'hévéas en 1989. H1. Plantations en exploitation avec hévéas vigoureux H2. Vieilles plantations H3. Plantations de santé médiocre H4. Jeunes plantations prêtes à entrer en exploitation H5. Très jeunes plantations improductives (< 3 ans) H6. Défrichements en 1987 H7. Défrichements en 1988 et 1989.