

# UNE EXPÉRIENCE D'APPLICATION DE LA TÉLÉDÉTECTION SPATIALE A L'ANTHROPOLOGIE : L'ÉTUDE DES PEUPELEMENTS ANCIENS DU DIAMARÉ (CAMEROUN SEPTENTRIONAL)

Alain MARLIAC\*, Yves PONCET\*\*

\*Archéologie ORSTOM, \*\*Géographe ORSTOM, Centre ORSTOM de Bondy, 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy

## RÉSUMÉ

*A partir de l'observation d'une relation entre des vestiges archéologiques et des sols appelés « hardé » au nord du Cameroun on a recherché par la télédétection spatiale à identifier ces sols grâce à leur haute réflectance qui est fonction de leur aspect de surface. L'expérience montre d'abord que cet aspect de surface est le fruit de divers facteurs, pédologiques, topographiques, climatiques et anthropologiques agissant dans le temps peut-être du Néolithique à l'Actuel, ensuite que les résultats cartographiés peuvent préciser la prospection.*

MOTS-CLÉS : Cameroun — Télédétection — Archéologie — Age du Fer.

## ABSTRACT

A TENTATIVE APPLICATION OF REMOTE SENSING TO ANTHROPOLOGY: THE STUDY OF THE FORMER POPULATIONS OF DIAMARÉ (NORTHERN CAMEROON)

*From the observation of an association between archaeological remains and soils termed "harde" in N. Cameroon, remote sensing has been used as to identify these soils thanks to their high reflecting state which is linked with their texture. This study shows firstly that this texture is the product of varied factors: pedological, topographic, climatic and anthropological, acting through time possibly from Neolithic times up to nowadays and secondly that the mapped results can help to focus the surveys.*

KEY WORDS : Cameroon — Remote sensing — Archaeology — Iron Age.

## Introduction

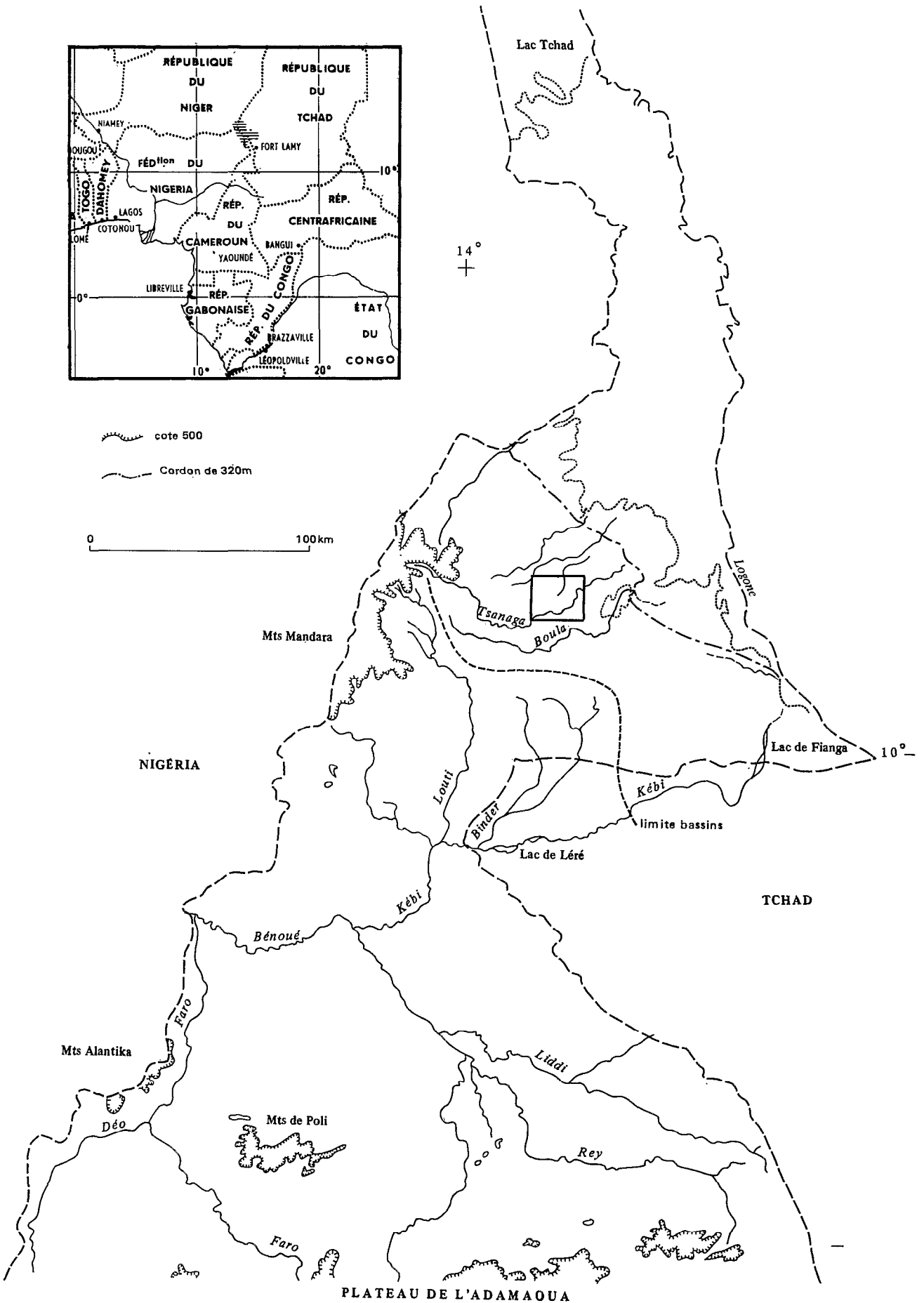
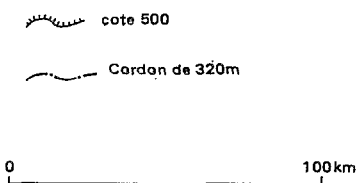
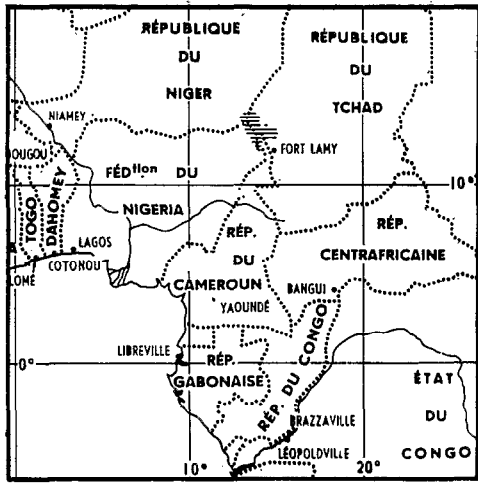
Nous nous plaçons ici du point de vue de l'archéologue-anthropologue utilisateur dont les buts sont :

- trouver des sites, des ensembles de sites ;
- des associations milieux-sites ;
- des groupes éventuellement différenciés de ces associations.

Dans cette optique la Télédétection Spatiale (TDS) est considérée comme une méthode d'approche complémentaire de l'étude anthropologique proprement dite comme l'est la Télédétection par photos aériennes (TDPA).

Le problème était de voir ce qui était saisissable et traitable par la TDS tout en étant utilisable par l'archéologie soit du point de vue prospectif soit du point de vue de la connaissance. Le point de jonction était bien évidemment les « traces » qui matérialisent les points d'interface entre les groupes humains et la biosphère (MARLIAC A. 1983).

Pour identifier géographiquement les traces qui matérialisent les points d'interface entre les groupes humains et la biosphère, telle qu'elle est restituée par les données de télédétection spatiale, nous disposons *a priori* de deux types d'indicateurs :



PLATEAU DE L'ADAMAOUA

CARTE 1. — Situation

(a) les formes façonnées par l'homme : réseaux de pistes ou d'irrigation, parcellaires, constructions diverses (digues, remparts, alignements tumulaires...);

(b) les milieux transformés par l'homme : champs cultivés, espaces construits ou modifiés, etc.

Les données spatiales Landsat, seules disponibles actuellement sur le Diamaré ne permettent pas une analyse très détaillée des formes ; celle-ci est envisagée ultérieurement, sur données Spot qui restent à enregistrer. C'est donc aux milieux transformés par l'homme que nous nous sommes intéressés et tout particulièrement aux sols *hardé*, indicateurs possibles d'une présence humaine ancienne et prolongée.

Les sols *hardé* ont donc été étudiés sur données spatiales de type photographique d'abord, de type numérique ensuite, dans leurs caractéristiques radiométriques propres et dans leurs rapports avec leur voisinage.

Par « peuplements anciens » on entend les peuplements allant du Subactuel saisissable par la tradition orale (ou les textes, parfois) aux peuplements de l'Age du Fer ou postnéolithiques. L'appellation « peuplements anciens » est volontairement utilisée en ce sens que rien ne permet de décider encore pour ce qui est des paysages, entre ce qui ressort de tel ou tel peuplement daté. On peut plutôt conjecturer un empilement d'impacts anthropiques successifs, imbriqués, où bien entendu les dernières traces sont probablement les plus lisibles. C'est au sein de ces séries de traces, résultats de modifications anthropiques prolongées et peut-être ethniquement et socio-économiquement différenciées, que l'archéologue mène des investigations. Même s'il admet, par prudence, le caractère biaisé de son optique personnelle, plutôt encline à voir ce qui est structuré à l'échelle de petits groupes, il ne peut oublier que les traces en question sont à toutes les échelles depuis les tumulus et leurs abords jusqu'aux étendues de sols surpâturés ou surcultivés en passant par les parcs systématiquement construits et les vergers simplement favorisés...

La région considérée ici, le Diamaré *lato sensu* (1), est une plaine en deux parties distinctes qui s'étendent en continuité du piémont est des Mandara à la plaine du Logone, c'est-à-dire :

— les vallées des mayos Tsanaga et Boula (2) jusqu'au cordon dunaire de 320 m ;

— un morceau de la plaine du Tchad, zone d'extension du Logone (carte 1).

Nous sommes là dans une zone biogéographique complexe où s'interpénètrent les influences sahéliennes et soudaniennes.

Dans le passé il a pu y avoir dominance alternée de l'une ou de l'autre (MALEY J. 1981), le tout ayant été de l'avis général profondément modifié par l'homme (DAVID N. 1981 ; BOUTRAIS J. 1984) sans qu'on puisse justement préciser comment, quand et par qui. Il est fort possible que dans le cadre d'une péjoration climatique générale depuis 6 500 B.P. (avec quelques récurrences humides) cette modification date du « néolithique » tel qu'il est conjecturé dans cette région (3 000/4 000 B.P.?)

Nous nous sommes focalisés dans cette région sur la partie centrale et n'y avons retenu dans un premier temps que la zone alluviale du Diamaré au débouché de Maroua (carte 2) plus nettement représentative du problème posé.

Elle présentait en effet un de ces phénomènes d'interface que nous avons appelé « trace » (MARLIAC A. 1983) : le *hardé* (sol plan, dénudé, stérile ; cf. p. 165). En outre ces *hardé* n'apparaissent que sur sédimentaire ce qui excluait les problèmes liés aux reliefs. Elle offrait de plus :

. Toute une série de sites variés sur *hardé* (ou non) localisés :

— relevant soit de l'âge du fer daté par comparaison avec Salak (MARLIAC A. 1985) soit de l'âge du fer *lato sensu* ;

— relevant du néolithique final tel qu'il est connu pour le moment (Tsanaga II, MARLIAC A. 1969, 1982 b).

. Une certaine uniformité des formations superficielles :

— alluvions récentes et actuelles bien repérées (cf. plus loin) ;

— pédiment bien circonscrit, ce qui limitait déjà les possibilités de scénarios d'évolution des *hardé* et de modes d'installation des habitats (étaient ainsi exclus les argiles « lagunaires » ou « lacustres », les vieilles dunes, le cordon sableux...).

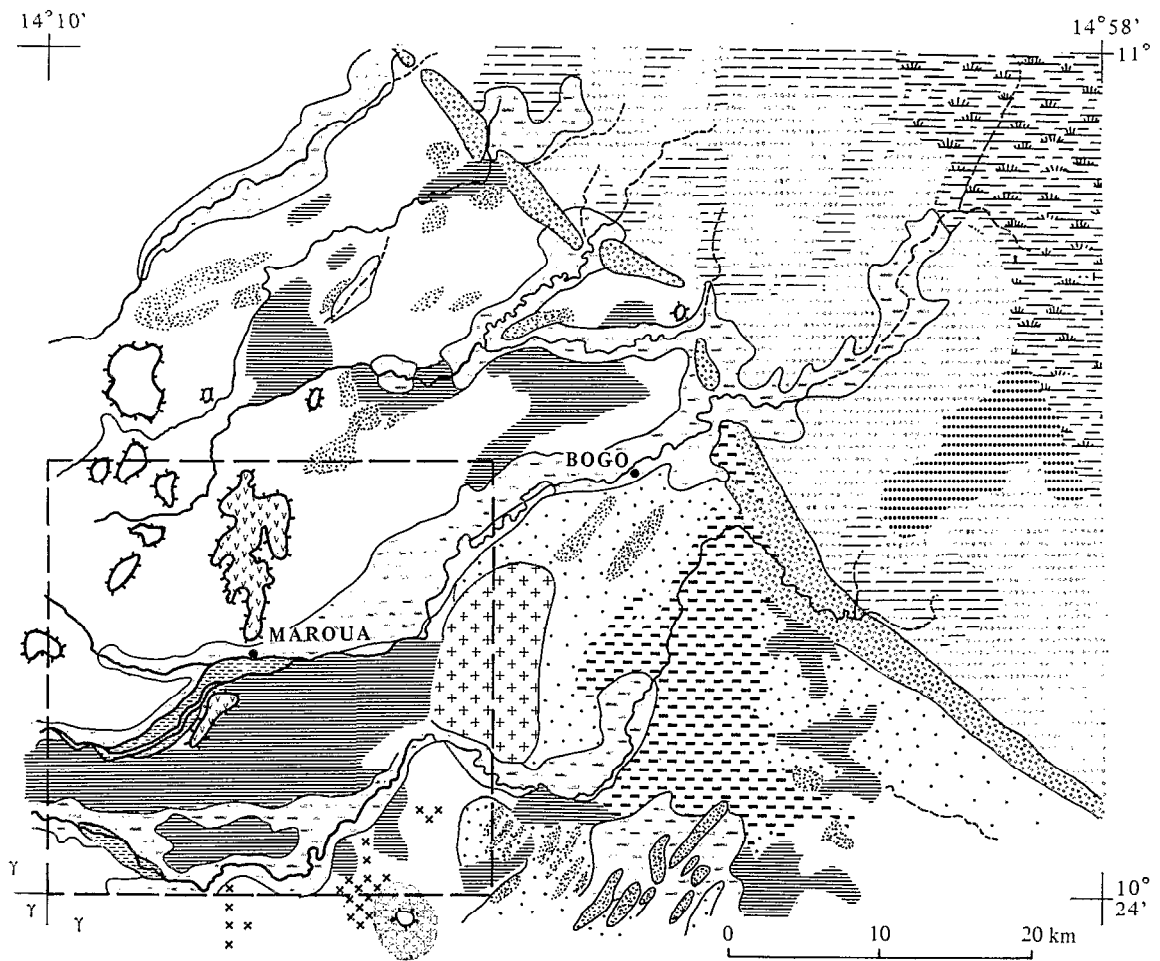
. Une bonne accessibilité pour la vérification terrain ultérieure.



















### Présentation du milieu

La partie centrale du Diamaré, du massif des Mogazang au cordon dunaire vers Bogo-Petté, est une plaine essentiellement argileuse due au comblement d'une pénélaine métamorphique et éruptive par le réseau des rivières descendant des Mandara et coulant vers l'est. Elles ont déposé une forte quantité de matériaux sous forme d'alluvions et d'étendues lagunaires planes. Dans cette plaine

(1) Différencier du Diamaré, département de la province de l'Extrême-Nord.

(2) *Maayo* : rivière (peul du Cameroun).



- |   |                                |            |   |   |
|---|--------------------------------|------------|---|---|
|  | alluvions récentes             | } modernes |  | syénites/granites                               |
|  | alluvions actuelles            |            |  | inselbergs                                      |
|  | alluvions anciennes            |            |  | plaine sableuse exondée                         |
|  | argiles et alluvions actuelles |            |  | zone hétérogène sablo-argileuse souvent inondée |
|  | argiles de dépôts lagunaires   |            |  | argiles noires (karal) plus ou moins inondées   |
|  | dunes à sables rouges          |            |  | zone très inondée (yaéré)                       |
|  | sables fins                    |            |  | gneiss  |
|  | cuirasse en profondeur         |            |  | image étudiée                                   |
|  | «roches vertes» de Maroua      |            |   |   |
|  | cordon dunaire de 320 m        |            |   |   |

CARTE 2. — Diamaré : formations naturelles (d'après J. BOUTRAIS, 1984 : 52)

de comblement la pente est très faible, le drainage mauvais et l'engorgement généralisé.

La puissance des dépôts augmente vers l'est au fur et à mesure que le toit du socle s'enfonce (à 70 m à 40 km à l'est de Maroua).

On y a repéré trois séries d'alluvions en majorité argileuses (carte 2) :

. Les alluvions « anciennes » représentées par les remblais d'interfluve plats à *Anogeissus leiocarpus*, Acacias, Balanites et Terminalia. La nappe phréatique y est profonde.

. Les alluvions « récentes », dont les zones d'épannage sont indépendantes des rivières actuelles. Leurs horizons profonds sont sableux parfois graveleux. Elles correspondent à un mode de transport diffus (lié à des conditions plus sèches que l'actuel?). La végétation y est dense : *Acacia Seyal*, *Lanea humilis*, *Balanites Aegyptiaca*, *Anogeissus*, *Terminalia macroptera*, Combretum. La nappe y est moins profonde et continue.

. Les alluvions « actuelles » constituant de minces bandes dans la plaine avec quelques tracés anciens. Elles correspondent à un mode d'alluvionnement en levées qui individualisent de petites cuvettes fermées remplies d'argiles fines par entraînement latéral. La nappe n'y est pas profonde et elle est continue.

On peut déduire de ces observations générales que le paysage du Diamaré — séparé de celui du Logone par le cordon dunaire qui marque une nette rupture — d'un point de vue aspect de surface (sol + végétation) se différenciera en sous-unités. Celles-ci, si elles existent, ont cependant subi une anthropisation puissante au point qu'il ne subsiste plus de paysage végétal « primaire » (BOUTRAIS J. 1984 : 93) et que cette zone soudanienne est fortement pénétrée d'espèces sahéliennes. L'héritage en sols consiste en sols amendés ou dégradés depuis longtemps par plusieurs occupations humaines relativement denses. La diversité linguistique locale confirmerait la rencontre et le mélange de nombreux peuples dans un passé plus ou moins lointain sur une zone particulièrement favorable (BARRETEAU D., BRETON R., DIEU M., in BOUTRAIS J. 1984 : 164). Sur ces peuples, les connaissances archéologiques sont encore fragmentaires. Quant aux connaissances ethnologiques elles sont insuffisantes pour ce qui est des descriptifs de la culture matérielle et de l'occupation des sols.

Au plan archéologique les connaissances sont de deux ordres :

(a) La prospection du Diamaré et plus spécialement de la bande centrale, réalisée au sol à l'aide d'enquêtes, de parcours tests et réalisée par TDPA, révèle une continuité d'occupation dont les bornes chronologiques mal connues peuvent être provisoirement placées du <sup>v</sup>e au <sup>xvii</sup>e A.D. (MARLIAC A. 1978, 1982 a, MARLIAC A. 1985).

(b) Les sondages effectués sur des sites tests fournissent des jalons chronologiques applicables aux cultures préhistoriques qui y ont été définies (MARLIAC A. 1982 a, 1982 b, 1985).

### Les données initiales de l'archéologie

La prospection classique à l'aide d'une couverture photographique aérienne 1/20 000 (AE 194/200 NC 33 XV, Maroua 1/200 000) un peu vieillie (1961-62) concernant uniquement la partie plaine du Diamaré (notre image) et à l'aide de parcours de terrain a permis d'identifier (1) (MARLIAC A. 1978) :

. Des paysages différenciés par la topographie, la flore (celle-ci pouvant être soit révélatrice soit masquante selon une combinatoire présence/absence, ordre/désordre, espèces...), l'hydrographie, les sols, l'installation anthropique générale.

. Des installations anthropiques « anciennes » : sols de village, levées rehaussées, buttes anthropiques, sols dénudés avec ou sans vestiges culturels.

. Des tracés et structures énigmatiques, peut-être des « constructions » dans certains cas (drainage, fortifications, diguettes, pistes...).

Si on peut attribuer ces indices archéologiques à des peuplements postnéolithiques *lato sensu*, rien ne s'oppose à ce que les paysages dans leur état actuel comportent aussi des impacts anthropiques plus anciens (néolithiques) et une possible pérennité d'habitat datant elle aussi parfois du néolithique (2).

En première conclusion la prospection archéologique confirme une occupation dense du Diamaré Central au moins.

L'indice le plus nettement saisissable à l'œil comme à la photo aérienne est la butte consistant essentiellement en un dôme aplani par l'érosion (photo 1); sauf cas rare, dôme composé des débris de structures architecturales empilées, plus ou moins remaniés et repris, de dépôts de toute nature (tessons, cailloux, ossements, perles, objets de fer, scories, coquillages terrestres ou lacustres...) et de dépôts intentionnels (tombes, fosses, foyers, forges, piquets...). Nous avons dans un premier temps différencié deux types de buttes :

(1) Et, pour mémoire, d'identifier aussi les formations quaternaires (terrasses en particulier) datant du pléistocène à l'holocène récent.

(2) Cf. les indices d'occupations profondes découverts dans la plaine du Logone par sondages hydrogéologiques.

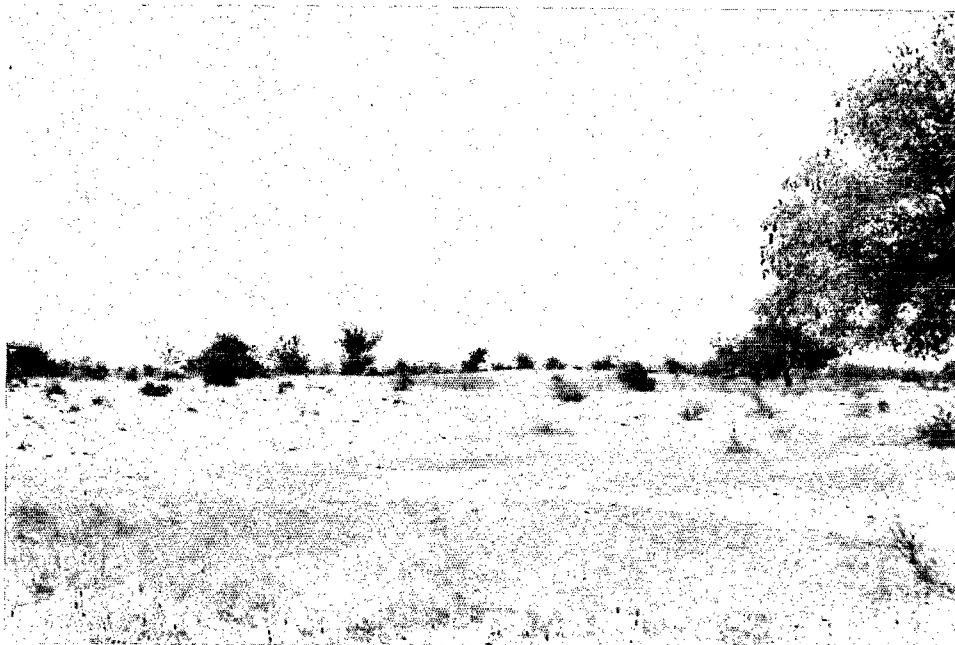


PHOTO 1. — Butte de Djiddéré Saoudjo, exemple de butte de type 1 (dôme aplani entouré à sa base, dans ce cas précis, d'un cercle arbustif, très net à la photo aérienne)



PHOTO 2. — Butte de Salak : exemple de butte de type 2 (sols de villages exhaussant les levées alluviales, formant des renflements multiples ; le sondage de Salak a eu lieu au sommet de la coupe naturelle visible)

. Grandes buttes en dôme de 2 à 6 m de hauteur souvent accompagnées de mares disposées autour ou parfois, de fossés circulaires (butte de type 1).

. Buttes-levées de 1 à 2 m de hauteur plus ou moins fondues dans le paysage et parfois multiples (butte de type 2) (MARLIAC A. 1978 : 345) (photo 2).

Cette dichotomie purement extérieure joue sur l'absence de précision du terme « butte » et ne peut être retenue. Nous proposerions comme première hypothèse l'expression « accumulation d'habitat » dont le volume et la morphologie se différencient entre les deux sous-unités du Diamaré Central en fonction de la topographie :

. Buttes nettes et élevées dans un paysage très plan, partiellement et plus ou moins longuement inondé (plaine du Logone et défluence des mayos).

. Zones rehaussées par un habitat plus ou moins permanent (plaine alluviale).

Rien pour le moment n'indique que cette proposition soit suffisante et l'étude archéologique en cours sur le matériel des sondages effectués sur les deux types de buttes révélera une possible différenciation culturelle (MARLIAC A. 1985).

Lors de la première prospection (1978) les buttes de type 1 se dispersaient apparemment anarchiquement ; les buttes de type 2 se rassemblaient le long des mayos Tsanaga et Boula.

Un autre phénomène nous avait paru intéressant : la récurrence d'association sols stérilisés/vestiges d'occupation. Nous avons déjà noté ce phénomène (MARLIAC A. 1981, 1982) souligné à la fois son importance, sa complexité et la difficulté qu'il y avait à le traiter de notre seul point de vue d'archéologue (MARLIAC A. 1983). Il s'agit d'une association entre :

. Des sols à aspect de surface caractéristique : plaques dénudées, très dures, lisses ou squameuses, plus ou moins interrompues par des plages d'herbes rases annuelles, rares, surplombantes de quelques centimètres, le tout parfois accompagné de ligneux rabougris discontinus, très isolés, épineux exclusivement et souvent monospécifiques (Balanites...).

. Des vestiges d'occupation sous forme de semis de tessons de poterie, petits et abrasés, cailloux, meules en surface et déchets de fer ou, sous forme de tessons plus grands, meules, objets de fer, etc., pris dans la masse des argiles planiques ou encore, sous forme d'ateliers de taille de la pierre pris dans la masse.

Ces sols stériles sont particulièrement visibles à l'œil nu à cause de leur aspect. Ils font partie des sols appelés *hardé* (1) au Diamaré.

Ce terme signifie très exactement *sol plat, nu et stérile*. Il est de même racine que le mot *karal* (1) qui, lui, désigne des sols plats, nus (parce que défrichés) mais porteurs de mil repiqué (*muskwaari*) donc non stériles de nos jours et jadis sûrement porteurs d'une végétation hygrophile caractéristique. Cette appellation a été reprise par les pédologues pour désigner des sols variés caractérisés essentiellement par leur aspect de surface qui traduit leur composition et leur structure physique (cf. MARLIAC A. 1982 : 52, d'après Guis R. 1972 : 164).

Sont susceptibles d'évoluer en hardés certaines terres argileuses, toutes celles qui comportent une couche sableuse de moins de 100 cm d'épaisseur sur une couche argilo-sableuse à sablo-argileuse de couleur grise (c'est-à-dire sans hydroxydes de fer associés à l'argile (2)). Il s'agit donc des planosols, certains vertisols et des sols lessivés (BRABANT P., GAVAUD M. 1985).

Il existe des hypothèses divergentes quant au processus de départ et d'évolution conduisant aux hardés. Le facteur humain est souvent inclus dans la chaîne des facteurs déterminants, ce qui semble corroboré par la variété des réalités pédologiques concernées par ce processus. C'est l'aspect paysagique possédant une dénomination vernaculaire qui est donc pris en compte ici, sans oublier les réalités pédologiques variées qu'il recouvre.

S'ils sont stériles et donc sans intérêt pour les cultivateurs, ils sont aussi très inconfortables pour une éventuelle installation. Malgré leur dureté, leur faible résistance à l'eau (marches d'escalier, ravines, boue de surface) les rend boueux, glissants et fragiles en saison des pluies (3). On peut en inférer que ceux qui répondent le mieux à la définition sont « anciens » relativement : personne ne songerait à s'y installer ! Les sols plutôt sableux sont plus habitables.

Il convient de préciser que l'association relevée est complexe :

(a) Association sous forme de présence en surface de hardés mais pas toujours, de vestiges globalement classables Age du Fer (du <sup>v</sup>e au <sup>xviii</sup>e).

(b) Association sous forme de présence de vestiges dans le hardé :

— en dispersion : tessons abrasés et petits mal identifiables mais attribuables provisoirement à l'Age du Fer *lato sensu* ;

— en masse :

(1) *Harde/kare; karal/kare* (peul du Cameroun).

(2) Formant ainsi en profondeur un horizon argileux très compact et très imperméable.

(3) Saturation par l'eau entre 0 et 30 cm de profondeur environ.

. tessons encollés dans un trou poubelle attribuable à une culture précise : Salak, centrée autour du XI<sup>e</sup> siècle A.D. (MARLIAC A. 1982 b, 1985) ;

. déchets de débitage lithique (atelier de taille), tessons et morceaux de fer et d'os travaillé (intrusifs?) attribuables à la culture dite « Tsanaga » provisoirement placée avant le début de l'ère (MARLIAC A. 1982 : 66).

Ces diversités d'association impliquent, outre le fait que les cultures concernées sont différentes par leur nature et leurs dates, que le phénomène de « hardéisation » s'est produit à des dates différentes, à des échelles variées. Elles impliquent aussi des scénarios « culturels » différents :

— Occupation d'un sol à horizon supérieur faible et meuble (sableux, sablo-argileux), abandon et déblayage rapide de cet horizon, piégeage des vestiges culturels par effet-plancher de l'horizon B planique.

— Occupation d'un sol évoluant en vertisol ensuite et piégeant dans ses fentes de retrait des vestiges dispersés puis évoluant en hardé (prise en masse des vestiges (Nanikalou) (1).

— Enfouissement systématique dans un sol verticale de vestiges plus ou moins structurés (Mongossi II, Nanikalou IIB, Yakang), sépultures par exemple ou autres, puis évolution en *hardé* localisé.

— Occupation d'un sol avec piégeage dans les bas-fonds hydromorphes environnants des déchets puis évolution de ces bas-fonds en *hardé* (Salak XI, MARLIAC A. 1985 ; Tsanaga II, MARLIAC A. 1969) (2).

La datation des cultures enfouies peut permettre de donner une date de départ du processus de hardéisation.

Le constat général serait que les vestiges culturels n'apparaissent que là où l'érosion a joué, donc :

— que l'étendue spatiale de ces cultures n'est pas coextensive aux *hardé* ;

— que la position topographique habituelle des *hardé* les met en position d'être attaqués par les ruissellements étant donné leur mauvaise résistance à l'eau ;

— que cette position — si les *hardé* sont effectivement « anthropiques » — correspond à une constante d'installation humaine liée à des pratiques culturelles particulières.

Visibles à l'œil, parce que nus réfléchissants et présentés en plaques de dimensions assez importantes,

ces *hardé* devraient apparaître sur clichés Landsat et servir d'indicateurs de peuplements que l'histoire et l'archéologie définiraient par leurs propres moyens (photo. 3, 4).

A la suite de l'examen par TDPA, focalisé sur la bande centrale précédemment définie, nous avons donc décidé d'étudier l'aspect photographique sur clichés satellites et la « signature radiométrique » des sols dits *hardé*. On peut déjà souligner que d'autres sols que ceux-ci peuvent avoir une signature équivalente ou proche : les sables nus, les accumulations de pentes ou les champs cultivés en certaines saisons, les sols sableux peu épais, et les rochers en montagne.

Une aire-test a été retenue au cœur du Diamaré. Elle comportait en effet une série de sites déjà repérés, des zones *hardé* selon la carte pédologique (SÉGALEN P. 1962) et un paysage bien connu à différents points de vue. Sur cette aire nous avons délimité à l'aide de la carte pédologique à 1/100 000 les étendues à sols sodiques et à sols halomorphes (carte 4) dont on remarque qu'elles ne se recouvrent pas exactement, étendues reportées sur la carte de prospection archéologique à 1/100 000 (MARLIAC A. 1982 a). Un premier coup d'œil permet de discerner un relatif alignement en position interfluviale des *hardés*, recoupés par le mayo Tsanaga, localement à l'est de la carte. Les sites pointés ne semblent pas avoir une organisation spatiale générale en soi, ni par rapport aux *hardé* (3).

Par contre, on peut relever :

— La convergence d'une tache bien circonscrite avec un village nommé « hardéo » (4) : le village du *hardé*.

— L'alignement relatif des sites repérés sur des alluvions « récentes » soit du sud-ouest au nord-est : Goubéo-Djidéo (4)-Djôngola Djolao-Wuro Kari-Wuro Kaïdal-Seratao-Yambaram Tchakao, en proximité avec une bande de sols sodiques.

L'examen a porté sur ces deux aires au sein desquelles sera conduite l'étude radiométrique (p. 173). Les deux points de référence isolés seront appelés : h1 et h2.

## L'utilisation de la télédétection spatiale

### L'EXAMEN DES DONNÉES PHOTOGRAPHIQUES

Étant donné la résolution spatiale des images Landsat soit environ 60×80 m (pixel de 57×79)

(1) Les vestiges dispersés peuvent être « purs » ou repris...

(2) A noter que l'atelier CFDT (QUÉCHON G. 1974 : 5) gisait entre des limons argileux et les lentilles sableuses.

(3) Sans oublier que toute prospection est partielle !

(4) *Hardeewo* (peul) ; *jiddeewo* (peul) : village à poubelle ; *gubbeewo* : village à buissons (peul).





PHOTO 3. — Sol *hardé* à tessons de Ouro Bouné. On y remarque l'aspect du sol avec plaques herbeuses rares (photo prise en décembre) ainsi qu'un ficus résiduel

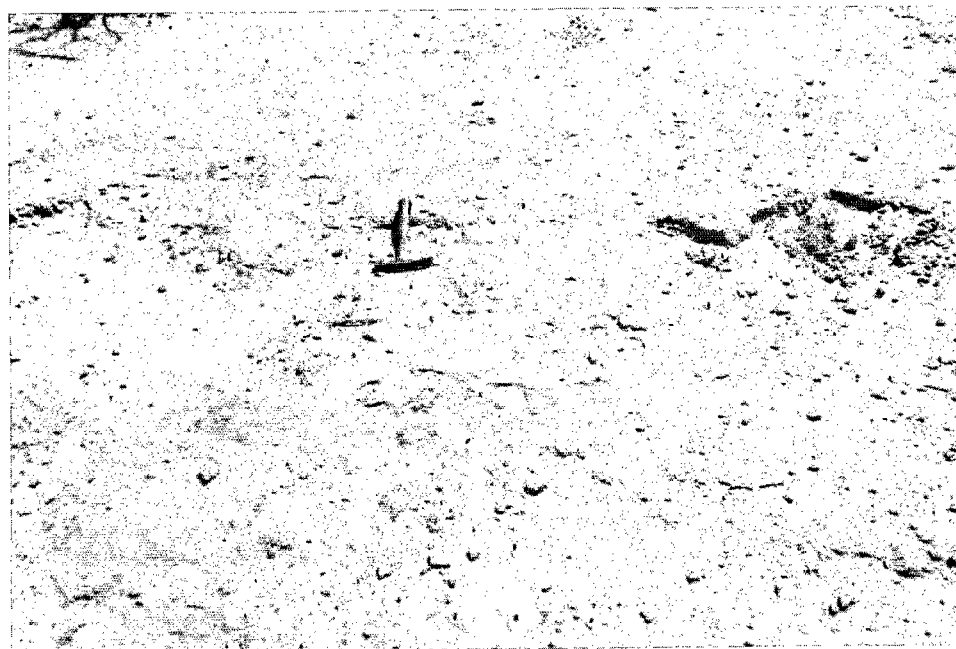
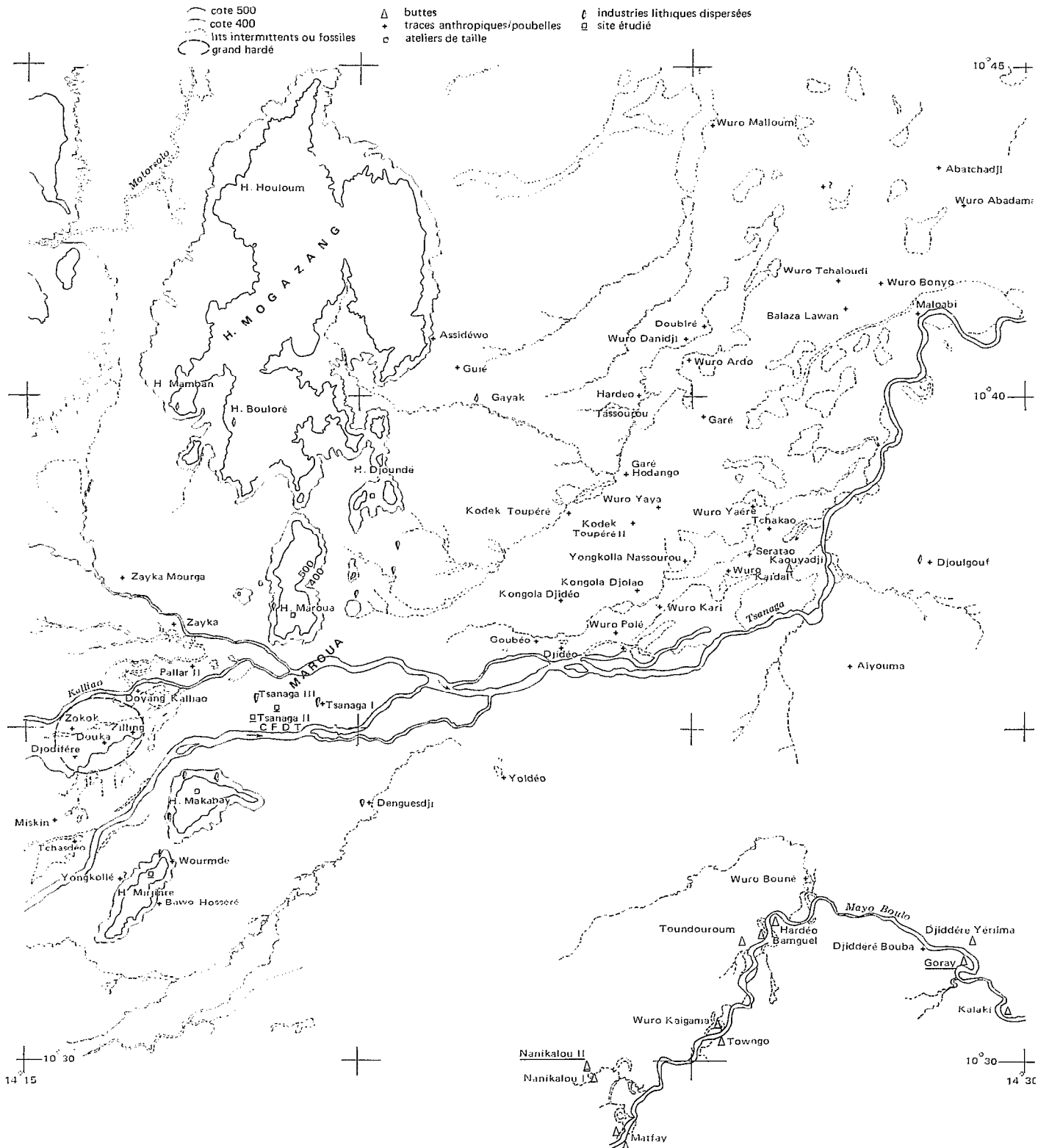
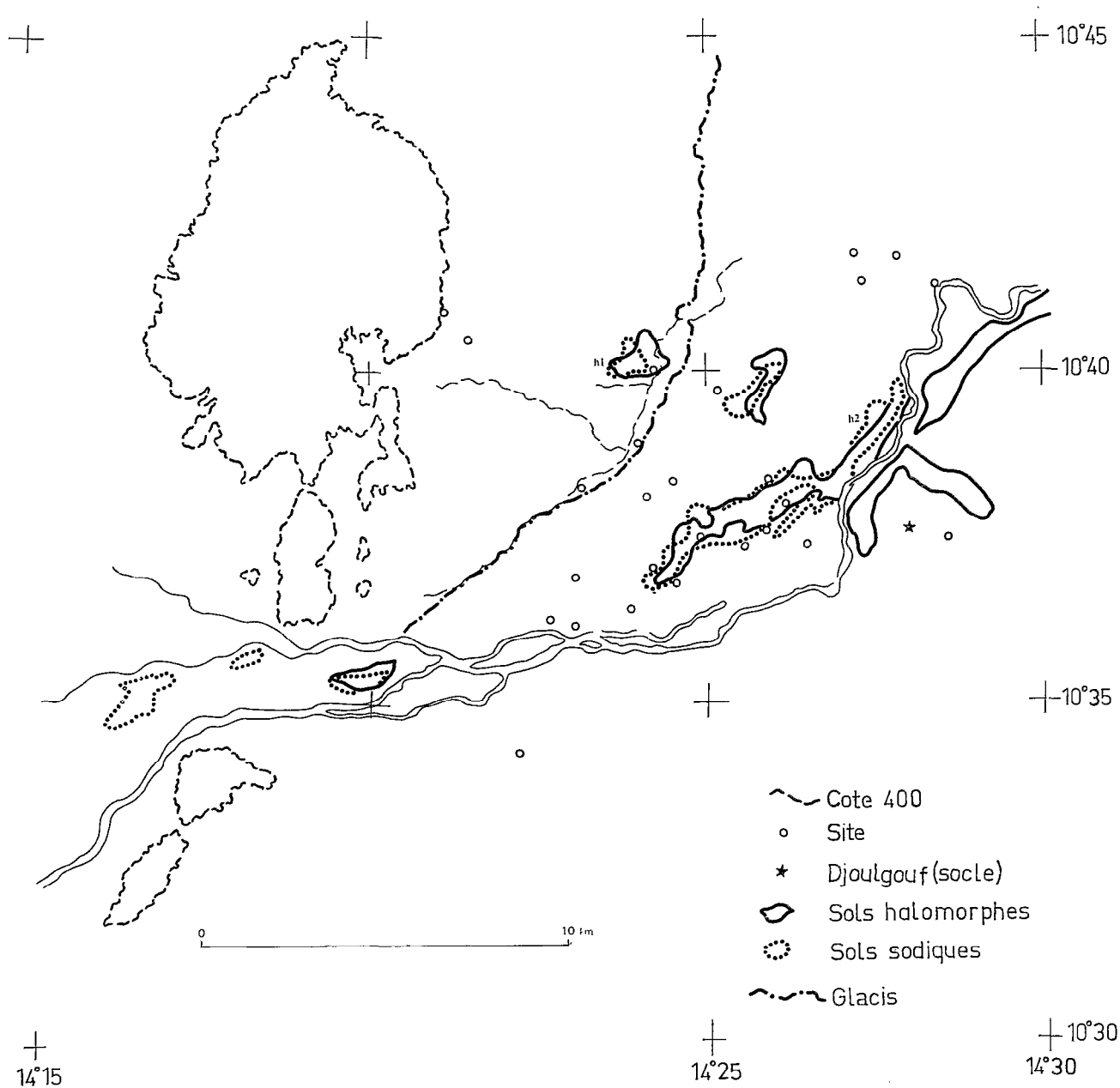


PHOTO 4. — Aspect d'un sol *hardé* à tessons de poterie avec érosion en « marches d'escalier »



CARTE 3. — Carte des sites



CARTE 4. — Carte des sites et des sols hardé

il est bien évidemment peu profitable d'y rechercher le type de structures que les archéologues prospectent communément, non plus que des « objets du milieu » (espèces arborées, herbacées, arrangements...) (1). Il faut plutôt considérer que l'image Landsat

restitue des *types de paysages*, ou plus exactement encore qu'elle restitue des différences entre des types de paysages différents. La nature de ces différences, le détail de ces paysages sont ici d'autant moins connus que nous ne disposons pas de cartes

(1) Dans certains cas cependant par effet de contrastes alignés, on peut repérer des « formes » dont la dimension en elle-même n'atteint pas 80 m, mais dont la récurrence peut être significative (pistes, tracés de drainages...).

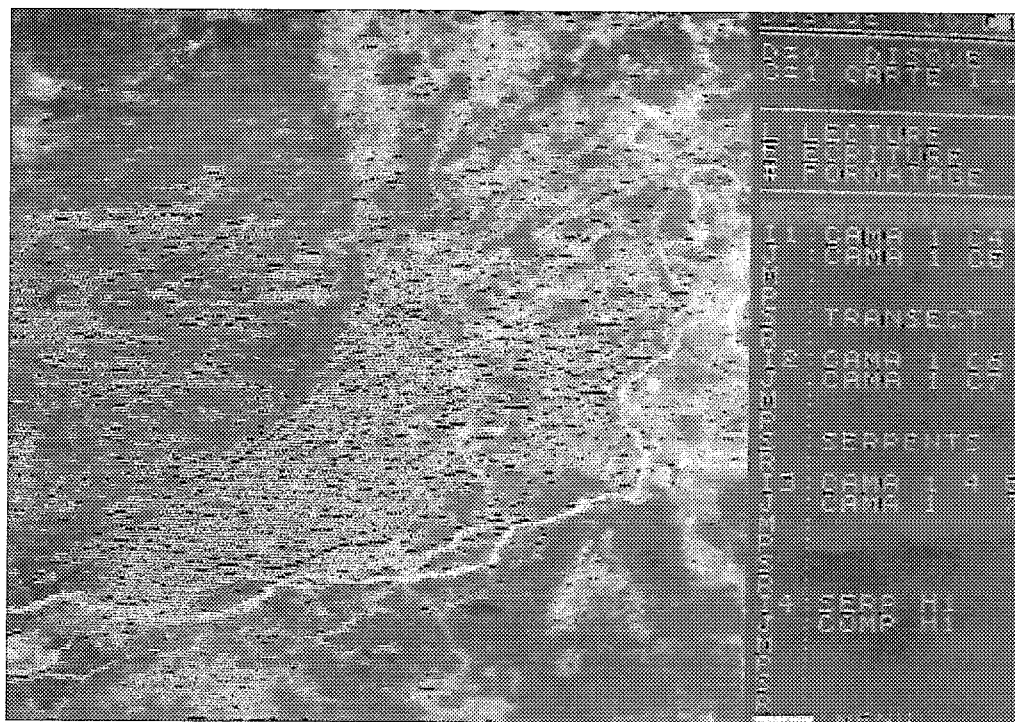


FIG. 1. — Composition colorée numérique standard

thématiques variées non plus que de cartes topographiques très détaillées susceptibles de donner des éléments d'interprétation fiables en termes de description des unités.

Notre problème était donc d'identifier sur les images Landsat disponibles les zones correspondant aux unités du paysage mises en relation avec les sols *hardé*. On a vu que la notion vernaculaire et la notion pédologique du *hardé* ne se recouvrent pas exactement. Ici c'est la notion vernaculaire qui nous intéresse dans la mesure où elle englobe, avec l'aspect du sol, la couverture végétale et où elle est moyennement coextensive à la distribution spatiale des vestiges archéologiques. Seule l'imagerie Landsat était susceptible de transmettre, par opposition par exemple aux cartes pédologiques, cette notion de *hardé* vernaculaire.

Nous avons observé une image photographique afin d'y voir :

1. L'aspect général de la région par rapport à son descriptif connu (géographie, géopédologie, flore et installations humaines).

2. Les oppositions et ambivalences possibles des sous-unités.

3. L'aspect des deux aires d'étude : h1 et h2.

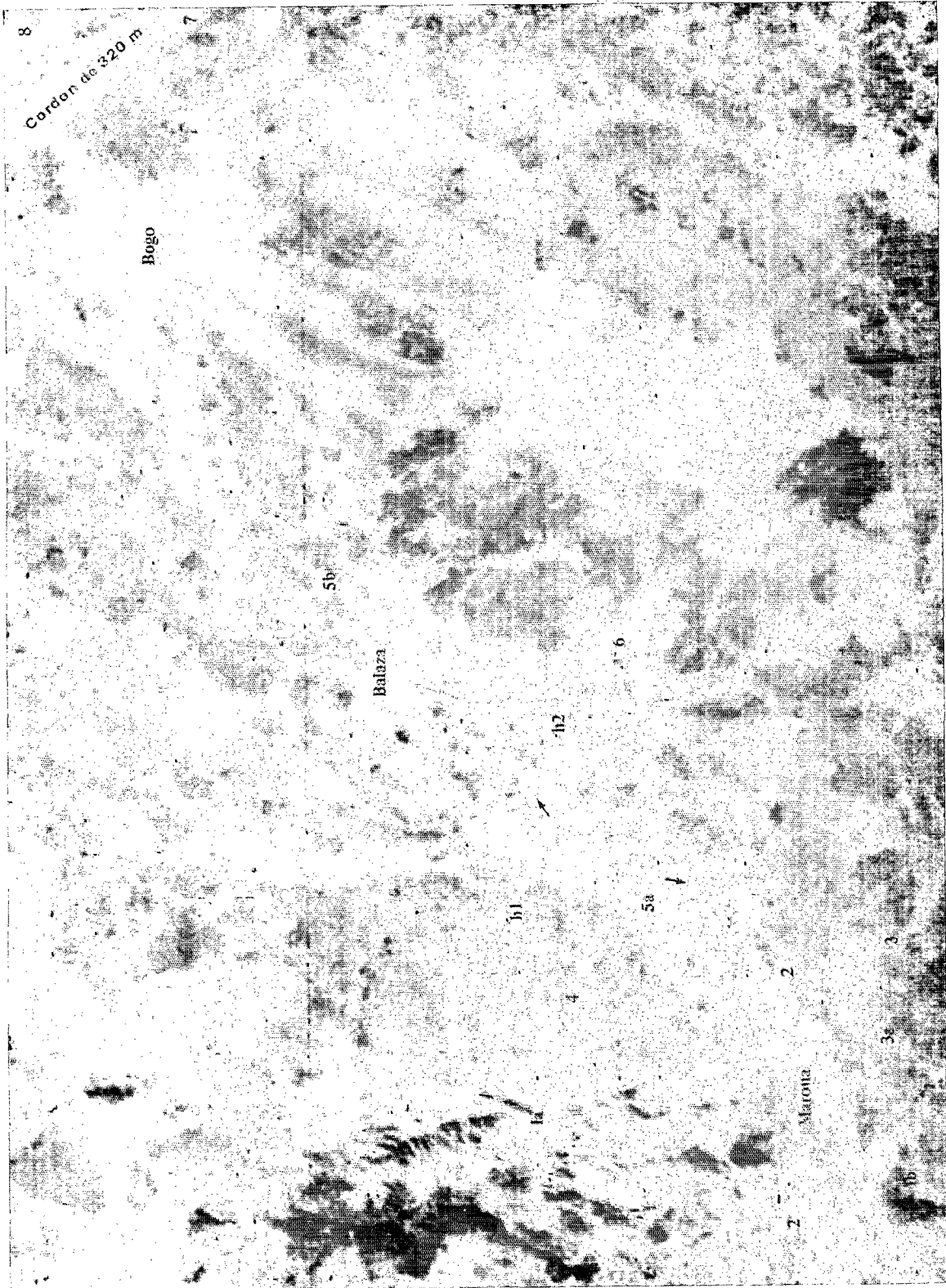
4. D'éventuelles structurations non forcément anthropogéniques.

L'image étant la transcription résultante de réflectances liées à l'aspect du sol (sol + végétation), le résultat est une gradation de gris par plages, points imbriqués, juxtaposés de façon variable. Ce puzzle de teintes de gris est d'intensité et de distribution différentes selon les bandes spectrales.

Parmi les données existantes sur la région (1) nous avons choisi celle du 6 janvier 1976 parce que la seule à être accompagnée d'une bande magnétique disponible à la téléthèque de l'ORSTOM (1).

Il se trouve qu'elle permet d'éviter, dans un premier temps du moins, d'avoir à analyser les enregistrements de périodes critiques comme la pleine saison des pluies ou la pleine saison sèche (Harmattan) Les périodes mal définies du passage de l'une à

(1) Trace et rang : 198-053.



CARTE 5. — Photo satellite à 1/200 000 et repères

l'autre (septembre-octobre et mai-juin) pourraient par contre être pertinentes.

Sur la photo à l'échelle du 1/200 000<sup>e</sup> (sur canal 7, cf. carte 5 et composition colorée fig. 1), les sous-unités géographiques sont bien visibles :

1. Les massifs et inselbergs (rochers nus ou presque et inclination par rapport au soleil).

1a. Massif des Mogazang.

1b. Makabay-Mirjinré.

2. Le mayo Tsanaga, avec son affluent de rive gauche le Kalliao : sables nus.

3. L'étendue d'argiles lagunaires du sud de Maroua, avec un ancien tracé.

3a. Karal cultivé (au mois de janvier le muskwaari a levé), avec zones *hardé* arbustives.

4. Le pédiment des Mogazang : alluvions « anciennes » et colluvions portant des sols gris avec sables au nord et des vertisols arbustifs (argiles foncées tropicales calcaires).

5. La plaine alluviale : alluvions modernes et récentes, avec karals cultivés, végétation arborée (alluvions sablo-argileuses à argilo-sableuses avec vertisols (argiles foncées non-calcaires) et étendues de sols halomorphes (*hardé*)).

5a. Partie plus claire : peuplements d'*Acacia albida*, karals et *hardé*.

5b. Partie tigrée, de Balaza au cordon dunaire : savane arbustive à buissons et disparition des acacias.

6. Le pointement du socle à Djoulgouf avec son auréole de sols dénudés.

7. Le cordon dunaire découpé par la Tsanaga avec *Guiera senegalensis* sur sables.

8. La plaine du Logone où les zones à végétation (hydromorphie prolongée) contrastent avec le revers plus dénudé au nord-est du cordon.

Sur l'agrandissement à 1/100 000 environ sur la zone où se trouvent les deux aires choisies (h1 et h2) (carte 6), la répartition de gris devient plus complexe mais conserve cependant les sous-unités précédemment décrites : terrasse ancienne/pédiment, terrasses modernes et actuelles, socle, argiles lagunaires, plus les quelques formes curieuses du type cercles plus foncés, alignements de courbes plus foncés, ceci en particulier dans la zone 5a (fig. 1 et carte 5, flèches).

A l'intérieur des sous-unités qui nous intéressent, soit n° 4 (pédiment sur alluvions anciennes) et n° 5a (partie amont des alluvions modernes et actuelles) on observe :

1. Le pédiment se différencie très nettement de la plaine et comporte quelques taches bien réfléchissantes tout en correspondant assez à une association particulière Sol-Végétation.

2. La vallée plus réfléchissante mais moins que les sables nus (n° 2) exhibe un mélange très imbriqué de trois niveaux de gris au moins, plus quelques taches moins réfléchissantes et correspond bien aux alluvions à taches d'hydromorphie et taches *hardé* plus ou moins arborées.

Les deux zones isolées pour examen, h1 et h2 (cf. p. 169) apparaissent de façon très différente :

h1 : Tache bien réfléchissante aux contours assez bien définis avec une tache centrale plus absorbante (bonne correspondance) ;

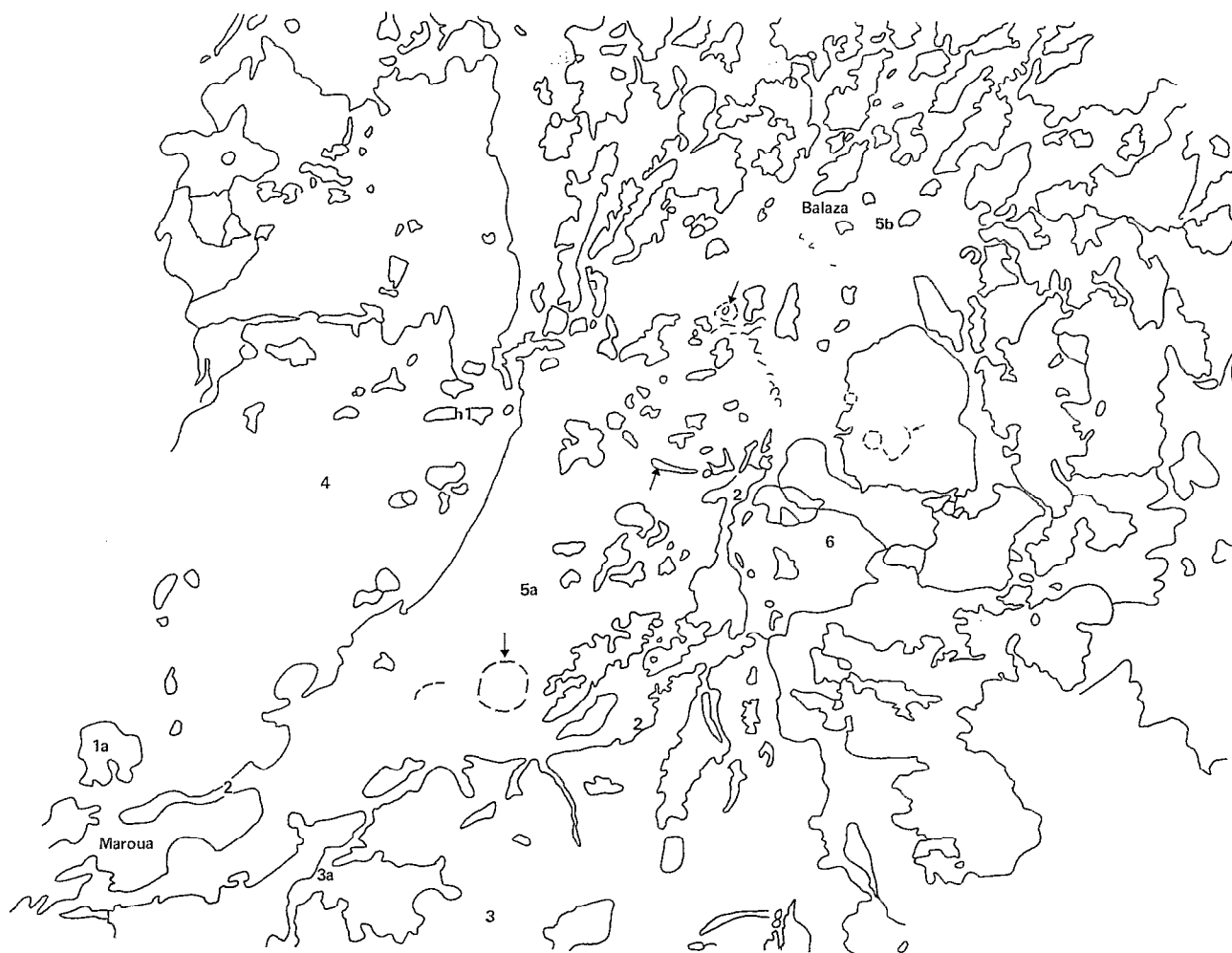
h2 : Ne ressort pas de la plage générale de la vallée à trois niveaux de gris distribués d'une façon très imbriquée ou « marbrée ».

Par contre, on observe des taches d'un gris équivalent à celui de h1 un peu partout sur la fenêtre : autour du pointement du socle à Djoulgouf (n° 6), sur la zone lagunaire du sud de Maroua (n° 3a) sur la zone 5b. Ceci permet de dire pour le moment que, sous réserve de vérifications, les *hardé* figurent dans une famille de paysages à même réflectance sensiblement. Cette famille est plutôt localisée dans la plaine alluviale et les vallées et se distribue différemment d'ouest en est suivant la distribution des sols, la présence de la nappe et leurs répercussions sur le tapis végétal.

Les *hardé* apparaissent donc en conclusion de l'examen photo majoritairement dans la partie amont de la plaine alluviale, secondairement dans sa partie aval, ensuite beaucoup moins sur le pédiment et, pour ce qu'on peut en juger d'après la fenêtre observée, plus faiblement le long des thalwegs soit sur le pédiment, soit sur les argiles lagunaires du sud de Maroua (enfin en position particulière autour du pointement du socle, mais là il s'agit de *hardés* sur socle dont nous ne tenons pas compte (p. 161)).

Ceci permettrait de proposer que ce phénomène est bien répandu et s'impose à plusieurs types de profils pédologiques, avec, comme caractérisation, la position topographique haute, mais ceci était connu (Guis R. 1972). Cette relative concentration témoignerait si l'anthropisation est impliquée que l'installation fut liée à un milieu précis très probablement favorable à telle ou telle culture.

La bonne correspondance pour h1 entre notre cartographie et l'image Landsat est à opposer au fondu relatif de l'aire h2, elle aussi *hardé*, fondu qui indique que plusieurs stades sont observables depuis le *hardé* totalement nu jusqu'au *hardé* encore quelque peu arboré. Ceci est confirmé par l'examen du terrain et seuls les faciès très érodés, nus et ravinés ont à la fois la réflectance maximale et une chance de fournir des vestiges archéologiques.



CARTE 6. — Zonage sur photo à 1/100 000 environ

#### L'EXPLOITATION DES DONNÉES NUMÉRIQUES

Le choix des données spatiales et le matériel d'exploitation :

Nous avons exploité, dans cette étude, les données Landsat sous forme numérique disponibles à la téléthèque de l'ORSTOM à Bondy. Ces données immédiatement disponibles ne sont contenues que dans une seule vue (un seul enregistrement, donc une seule date) de la scène Landsat couvrant le secteur de l'étude (scène 198-053). Cette date est le 6 janvier 1976 où la situation saisonnière peut donc être considérée comme « moyenne » ; le milieu n'est déjà plus influencé par la saison des pluies et il n'est pas encore complètement desséché, comme il le sera un peu plus tard ; l'année 1976 peut être considérée elle aussi comme une année « moyenne » : ni très

humide (la saison des pluies 1975 a été une année à peu près « ordinaire ») ni très sèche. L'analyse thématique du milieu qui sera faite à partir de ces données n'aura donc pas à tenir compte d'une situation « paroxystique » ce qui aurait été gênant compte tenu de l'insuffisante connaissance des détails de ce milieu qui est le nôtre. Les traitements numériques — très simples comme on va le voir — ont été effectués à l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM à Bondy (ATOB), sur les matériels et logiciels suivants :

- Chargement de fichiers et mise sur disquettes des données de la fenêtre étudiée : Mini 6 Honeywell Bull ;

- Exploitation des disquettes : Pericolor 1 000 de Numélec indépendant et ses propres capacités

de programmation : le tracé de la courbe (1) et du tableau des valeurs numériques dans chaque canal a fait l'objet d'un petit programme « séquence » et le traitement de compacité a été programmé par langage Assembleur (2).

La fenêtre étudiée mesure 255 pixels sur 255 (soit environ 20 kilomètres sur 15 sur le terrain). Elle porte, dans la scène Landsat, les coordonnées suivantes : pixel haut gauche ligne 231, colonne 1579. On remarquera, sur les illustrations qui sont des photographies d'écran, que les pixels Landsat, normalement rectangulaires, sont transcrits sous forme carrée, ce qui introduit une anamorphose ; celle-ci n'a pas paru gênante pour notre recherche, à condition de ne pas l'ignorer.

#### *La procédure d'étude*

Nous nous trouvons devant deux problèmes à résoudre successivement :

(a) quels aspects radiométriques revêtent, sur l'image étudiée, les aires *hardé*, étant entendu que ce sont les *hardé* vernaculaires qui nous intéressent (en termes de paysages, par conséquent) et étant entendu qu'il n'est évidemment pas question, dans cette phase *préparatoire*, justement, d'aller voir sur le terrain où se trouvent localisés les *hardé* vernaculaires ?

(b) comment identifier, sur l'image étudiée, *toutes* les aires *hardé* et *seulement* les aires *hardé* ?

#### *L'identification spectrale des aires hardé (fig. 2).*

Pour identifier les aires *hardé* sur le plan spectral, nous nous sommes appuyés sur la seule source d'information spatialisée disponible en relation avec la notion de *hardé* : la carte pédologique, bien que, comme on l'a vu, cette conception nous ait paru incomplète pour notre propos. Sur la zone étudiée, on a recherché si correspondaient, *par leur forme*, c'est-à-dire par leurs frontières avec le voisinage, des aires qualifiées de *hardé* à la fois sur la carte pédologique, sur l'image Landsat, dans la mémoire du chercheur et dans la conception agronomique des habitants-cultivateurs locaux. En fait, il s'agissait de rechercher une ou des aires dans lesquelles la notion *vernaculaire* de *hardé* et la classification pédologique *hardé* correspondent géographiquement en termes de localisation et d'extension. A la comparaison de la carte pédologique et de la composition colorée Landsat à trois canaux (4, 5 et 7) nous avons identifié deux territoires susceptibles de servir de zones-tests, d'échantillons significatifs.

La compacité de la première aire (h1), qui couvre un nombre élevé de pixels, présentant des valeurs radiométriques proches, permet d'en faire un échantillon représentatif et de ne pas « être gêné », à l'intérieur même de l'échantillon, par des valeurs « étrangères » (fig. 2 bis).

La seconde aire échantillon, h2 est moins nette et moins significative : sur la carte pédologique, des aires classées comme *hardé* s'allongent dans la vallée, plus ou moins parallèlement à la rivière ; on ne retrouve pas sur la composition colorée de l'image Landsat de délimitations aussi nettes, mais plutôt des pixels plus ou moins dispersés, contrastant en effet avec leur voisinage et présentant des réflexances élevées, semblables à celles de l'aire compacte précédente. L'absence de compacité rend plus incertaine ici la représentativité de l'échantillon.

C'est donc le premier de ces deux échantillons qui a servi de base à l'identification radiométrique, quelques pixels du second servant de confirmation.

L'identification radiométrique a été faite par une méthode simple et rapide qui est celle « des transects » : on ne travaille pas sur l'information contenue dans la totalité de l'image, où les pixels sont identifiés en x, en y et en valeur radiométrique dans chacun des quatre canaux, mais sur une information réduite, donc plus simple à analyser : on travaille sur des *segments* d'image, dans lesquels les pixels sont identifiés en x ou en y, et en valeur radiométrique dans chacun des quatre canaux. La prise en compte d'une *ligne* et non plus d'une *surface* permet de tracer des courbes radiométriques pour chacun des quatre canaux, de les comparer directement et d'analyser leur superposition.

On a donc étudié des segments, des *transects* horizontaux et verticaux, traversant les aires-échantillons (fig. 2).

La comparaison des quatre courbes (fig. 3) correspondant à un transect vertical qui traverse la première aire échantillon (au voisinage du village de Hardéo) montre que le segment correspondant à la qualification pédologique, géographique et agronomique vernaculaire *hardé* se différencie bien, par ses valeurs radiométriques, des autres secteurs traversés par le transect.

#### *Commentaire de la figure 3*

« On peut proposer les termes d'une interprétation rudimentaire de la figure 3, d'après l'allure générale des courbes et d'après l'organisation relative des espaces traversés par le segment dans la composition colorée (fig. 2 et 2 b).

(1) Le programme de la séquence « transects » trace les courbes radiométriques dans chaque canal, sur données brutes et sur données lissées : ces dernières permettent une comparaison plus aisée des quatre canaux.

(2) Rédigés par Bernard LORTIC, ORSTOM, ATOB.



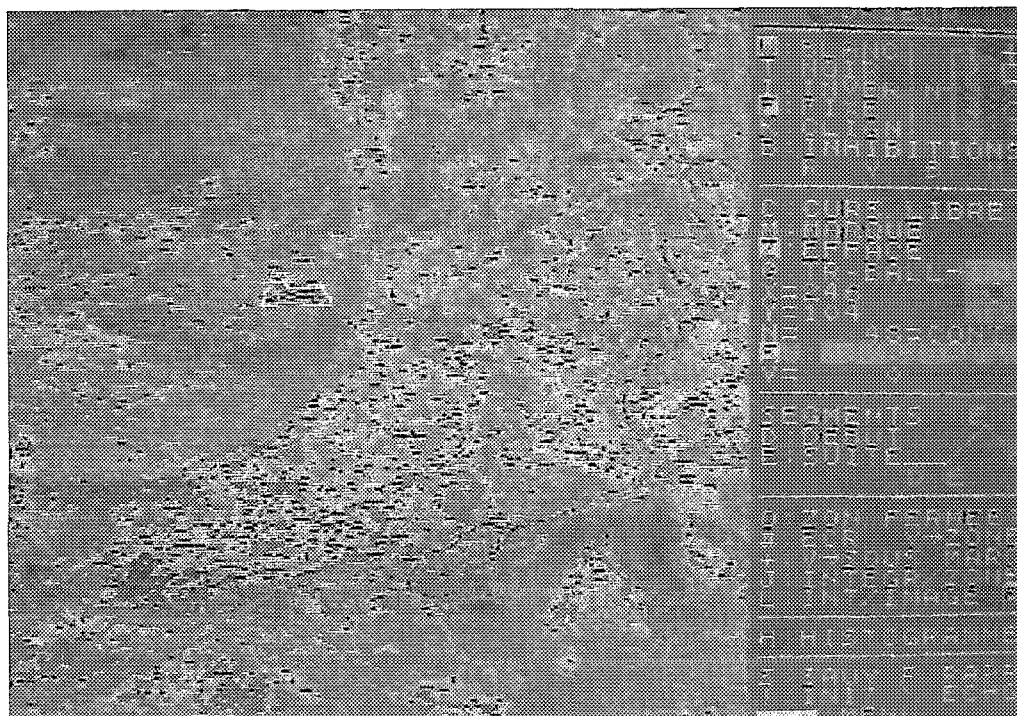


FIG. 2. — Image numérique (canal 5) ; contours de la zone test h 1

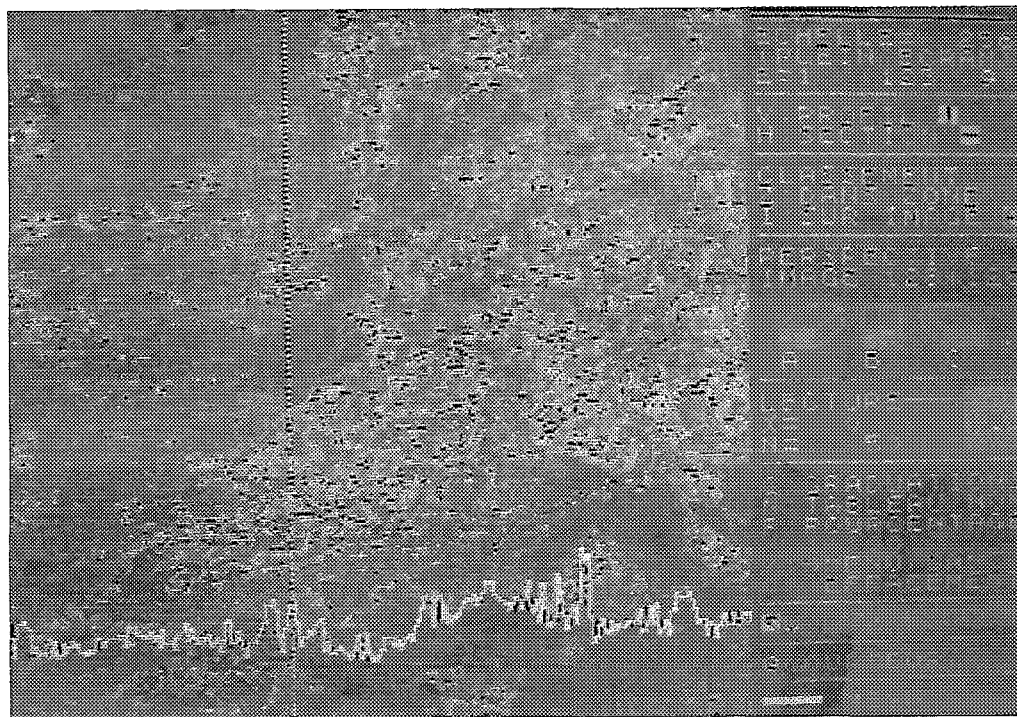


FIG. 2 bis. — Image numérique (canal 5) ; courbes des niveaux radiométriques sur un segment traversant h 1

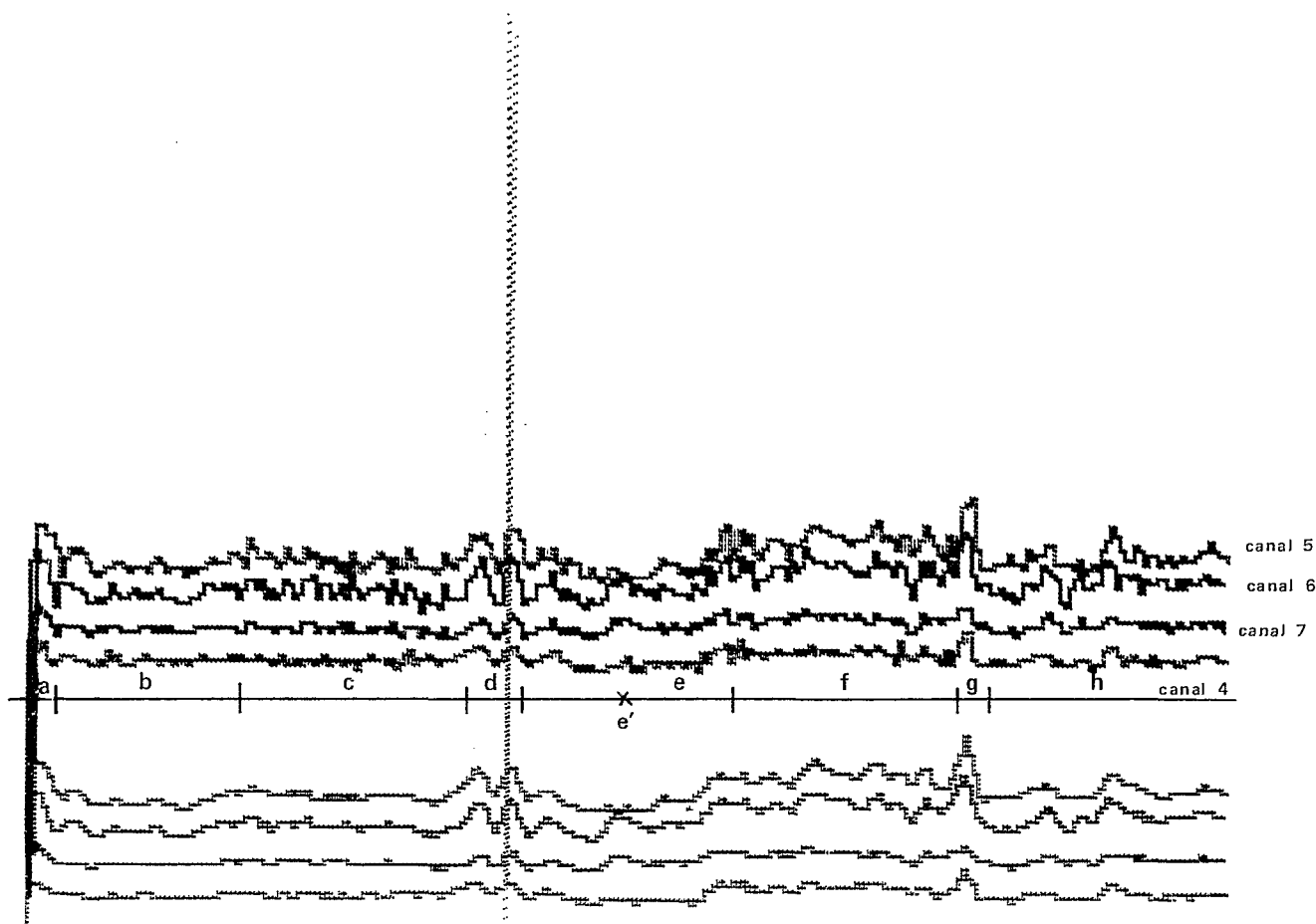


FIG. 3. — Courbes radiométriques des 4 canaux sur le segment traversant la zone h I

(a) Aire réfléchissante dans tous les canaux (sables alluvionnaires?).

(b) Aire absorbante dans tous les canaux, texture relativement homogène (peu de différences de valeurs d'un pixel au pixel voisin) : hauteurs et roches, formations rugueuses, couverture végétale faible et/ou peu active. Entre a et b, une ligne très absorbante dans tous les canaux : rebord de plateau? Éboulis avec effets d'ombre?

(c) Aire un peu moins absorbante que b, à structure hétérogène ; les différences de valeur de pixel à pixel sont assez fortes (allure générale des courbes en zigzags) : plateaux plus ou moins ensablés? Présence de champs cultivés et de jachères? Les pics accentués dans le canal 5 marquent l'activité chlorophyllienne de la végétation.

(d) Deux secteurs réfléchissants dans tous les canaux, très marqués dans les canaux 4, 6 et 7 : ce sont les aires *hardé* du village de Hardéo, séparées

par une mince bande de végétation peu active. Malgré leur faible extension (surtout dans l'axe nord-sud), on remarque leur compacité.

(e) Aire semblable à c précédent.

(e') Petit secteur plus réfléchissant que son voisinage, surtout dans le canal 6 (ce qui est plus visible sur la courbe lissée) : végétation active.

(f) Valeurs générales nettement plus élevées que précédemment.

(g) Valeurs très brutalement élevées dans tous les canaux : sables dénudés du lit fonctionnel de la rivière.

(h) Valeurs semblables à l'aire c précédente, quoique avec des pics plus nombreux et plus accentués : même milieu, en plus hétérogène?

On voit que le long de ce segment, les aires *hardé* se différencient assez nettement des autres secteurs sur l'ensemble des quatre courbes. Les valeurs

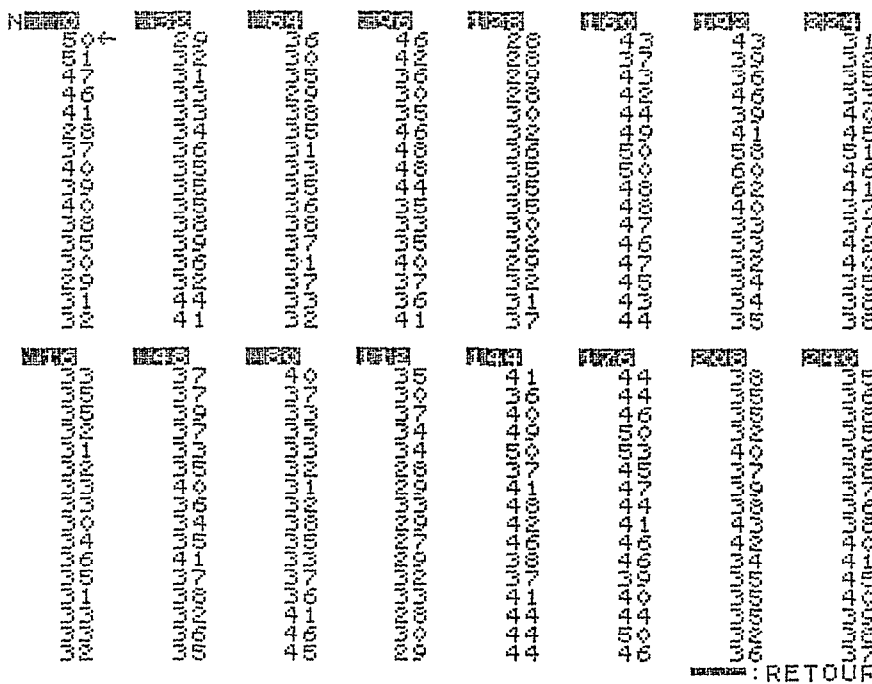


FIG. 4. — Tableau des valeurs numériques (canal 5)

générales, plus distinctes sur les courbes généralisées (« lissées ») et les détails de texture (intégralement restitués sur les courbes non lissées) permettent d'identifier des « faciès radiométriques » différents et, éventuellement, de retrouver le long d'autres courbes, le ou les faciès considérés comme significatifs d'un thème ou d'un paysage ».

Le même travail a été effectué sur un transect horizontal traversant l'aire échantillon du village de Hardéo et des aires *hardé* moins distinctes dans la vallée. Là aussi, la superposition des courbes a montré un comportement radiométrique spécifique des aires qualifiées de *hardé*, donc présentant, avec une forte vraisemblance, les *paysages* caractéristiques du *hardé*.

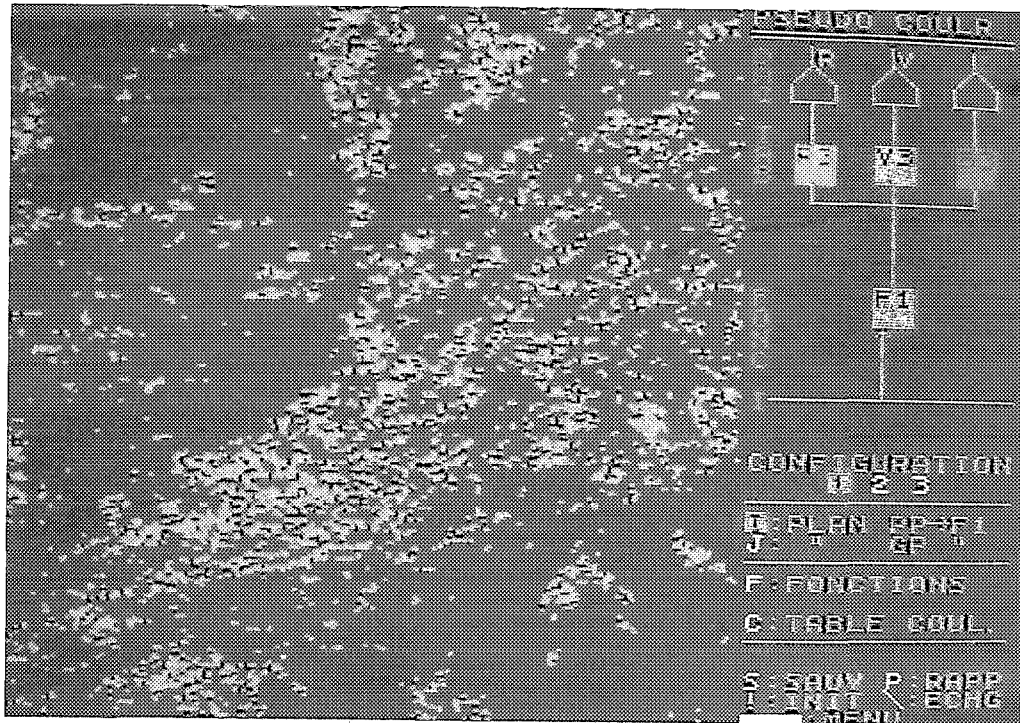
L'analyse des courbes radiométriques dans les quatre canaux, appuyée sur les indications précises des tableaux des valeurs correspondants (fig. 4), a permis de fixer les bornes radiométriques entre lesquelles s'identifient, dans chaque canal, les

paysages *hardé*. Ces bornes constituent l'identifiant radiométrique du thème, le polynombre caractéristique du thème, constituant l'une des bases de sa signature spectrale (1).

Ici, compte tenu du fait que nous travaillons sur une image Landsat unique, ce polynombre a été considéré comme l'identifiant nécessaire et suffisant du thème dans l'image étudiée, ce qui est peut-être hasardeux : l'expérience montre que si le polynombre est souvent un identifiant nécessaire (2), il n'est pas toujours suffisant ; néanmoins, nous avons considéré volontairement que, compte tenu du caractère exploratoire de notre étude, sur un territoire mal connu dans ses détails et pour la recherche d'un thème insuffisamment défini dans l'ensemble de ses composants, il n'était pas rentable de rechercher des éléments encore plus incertains tels que la texture des aires concernées ou la nature du contact entre aires *hardé* et aires non *hardé* voisines : nous ne disposons pas d'informations suffisantes pour aborder de tels compléments.

(1) La signature spectrale d'un thème peut être définie comme son identifiant radiométrique, non seulement sur une image de référence, mais dans son évolution, saisonnière par exemple.

(2) Il est nécessaire dans les identifications thématiques *directement* radiométriques. Des travaux sont en cours à l'ORSTOM et ailleurs sur les identifiants texturaux et morphologiques, qui sont des identifiants *indirectement* radiométriques.

Fig. 5. — Polynombre *hardé*

A cette phase du travail, nous avons donc considéré comme *hardé*, au sens paysagique, tous les pixels compris entre ces bornes :

27-33, 44-51, 48-60, 23-27 (1).

#### L'exploitation du « polynombre *hardé* »

La figure 5 présente sous forme binaire tous les points qui satisfont au polynombre des « paysages *hardé* » et eux seuls. On peut faire d'emblée deux constatations :

(a) l'aire échantillon du village de Hardéo apparaît nettement et de façon cohérente avec ce que l'on en sait, dans sa localisation et dans ses contours ; cependant, elle apparaît de façon peu compacte : l'espace délimité à la simple lecture de la composition colorée (fig. 2) n'est pas entièrement rempli par les pixels *hardé* ;

(b) les pixels correspondant au polynombre *hardé* sont très nombreux, dispersés, répartis à peu près dans toute la partie de l'image correspondant à la vallée.

Compte tenu de la connaissance du terrain, cette répartition géographique n'a pas paru aberrante :

les pixels « polynombre *hardé* » semblent bien placés partout où peuvent logiquement se rencontrer les paysages *hardé* et on n'en trouve pas là où les sols *hardé* ne se développent pas. Cela dit, les pixels « polynombre *hardé* » paraissent anormalement nombreux et dispersés dans certains secteurs de la vallée ; on est donc obligé de considérer que les pixels « polynombre *hardé* » ne représentent pas tous un *paysage hardé* réel. On considère qu'intervient ici l'hétérogénéité du milieu, notamment la répartition inégale des végétations ligneuses par rapport aux espaces dénudés ou herbacés ; on sait que les ligneux ont une réflectance très inférieure aux espaces argilo-sableux dénudés ou couverts de pailles (herbacées spontanées ou chaumes de cultures). Il est possible, sinon probable, que des pixels « polynombre *hardé* » isolés ou répartis en masses peu compactes correspondent en réalité à des thèmes différents du *hardé*, mixtes au niveau de la résolution au sol en raison de la petite taille de certaines unités de paysage : on a vu que l'intervention humaine, juxtaposant parcelles cultivées et parcelles en jachère, dénudant plus ou moins les sables en saison sèche (période de l'enregistrement étudié), piétinant (par

(1) Chaque couple de nombres correspondant respectivement aux bornes inférieures et supérieures dans les canaux 4, 5, 6 et 7.

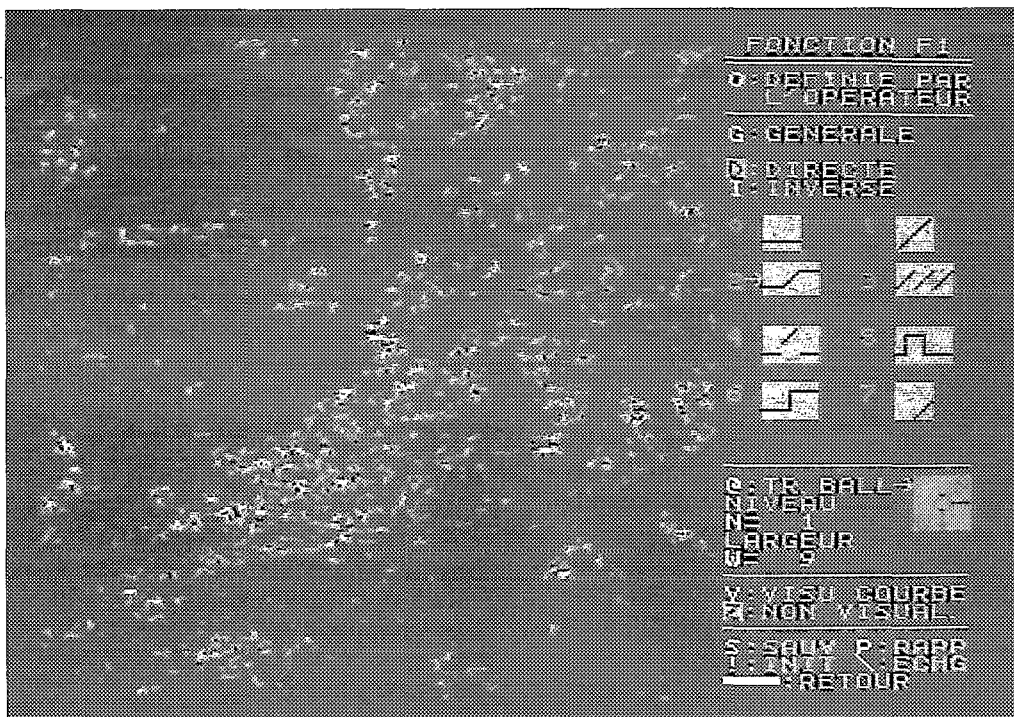


FIG. 6. — Image résultant du traitement de compacité 3

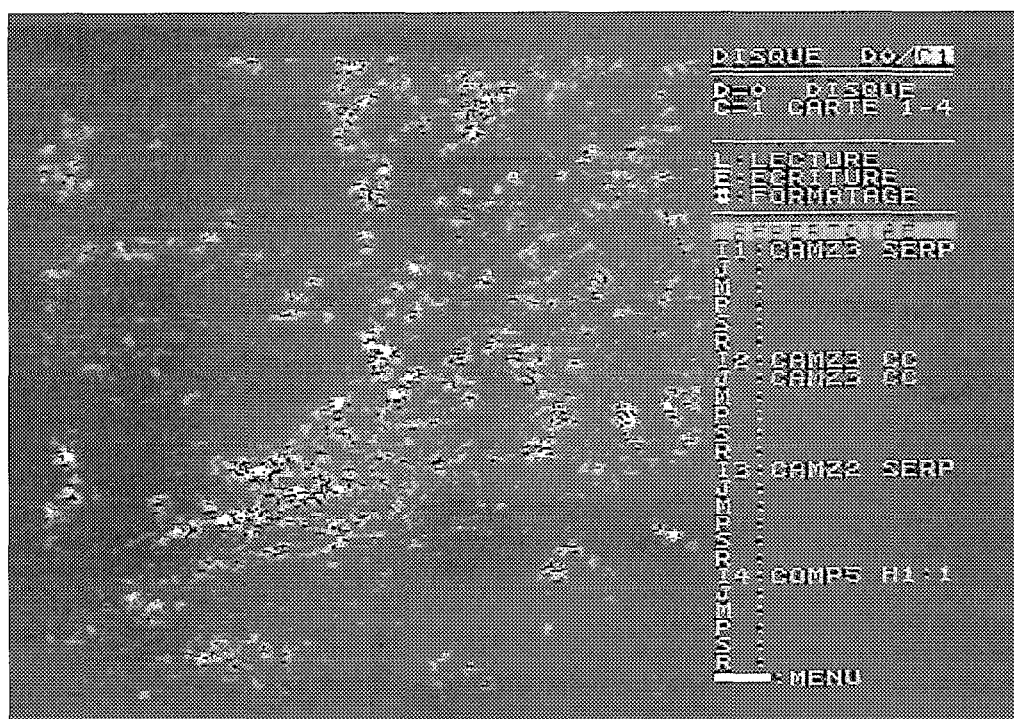


FIG. 6 bis. — Image résultant du traitement de compacité 5



l'intermédiaire du passage ou du stationnement des troupeaux) les terrains argilo-sableux, morcelle les états de surface et en particulier le rapport quantitatif entre les surfaces radiométriquement réfléchissantes (pailles, argiles « glacées » en surface...). Des valeurs non significatives d'un thème unique et homogène apparaissent alors, par « effet de texture ».

Il est donc probable que les points « polynombres *hardé* » représentent d'une part des *paysages hardé* tels qu'ils ont été recherchés et définis, et qu'ils représentent d'autre part des aires différentes, non définies sur le plan thématique actuellement (ce n'est pas le but de notre recherche) : pour des raisons d'ordre textural, qui tiennent à la répartition et à la taille des objets réfléchissants et des objets absorbants à l'intérieur du pixel et dans un groupe de pixels conjoints, ces aires présentent un polynombre identique à celui du *hardé*.

La simple logique et la texture relativement homogène de la zone échantillon du village de *Hardéo* conduisent à penser que les aires réellement *hardé* sont les zones où les pixels « polynombre *hardé* » présentent la plus grande compacité et que, inversement, les pixels « polynombre *hardé* » isolés ou arrangés en ensembles peu compacts représentent des thèmes étrangers à notre recherche.

Cette hypothèse nous a donc conduits à poursuivre le travail en appliquant à l'image binaire « polynombre *hardé* » un traitement de compacité destiné à faire ressortir statistiquement les aires à forte compacité et les aires à faible compacité : les premières seraient à considérer comme réellement *hardé* et traitées comme telles sur le terrain (examen du paysage, vérification de la correspondance image-paysage, intérêt archéologique), les secondes étant considérées comme non-*hardé* présumées et, de ce fait, laissées provisoirement de côté.

#### *Le traitement de compacité*

Le traitement superpose à l'image binaire « polynombre *hardé* » (ou à toute autre image binaire) une grille de  $n \times n$  pixels à l'intérieur de laquelle sont décomptés les pixels jointifs :

On obtient ainsi plusieurs classes statistiques selon que, dans la grille, on rencontre 1, 2, 3 pixels...

Dans un premier temps, nous avons appliqué une grille de  $3 \times 3$  (qui est le calibre minimal applicable ici), laquelle donne une gamme théorique de 9 classes, à laquelle il faut ajouter une classe 0, qui correspond à l'absence de pixels du polynombre dans la grille ; dans un second temps, nous avons appliqué une grille de  $5 \times 5$  pixels, qui donne donc une gamme théorique de 25 classes, 26 avec le niveau 0. Devant une classe où, par exemple, 6 pixels sont jointifs, on dira qu'on a une compacité de niveau 6.

L'exploitation rationnelle du traitement de compacité impliquait de ne pas conserver autant de niveaux, mais de regrouper ceux-ci en trois ou quatre classes seulement afin d'obtenir un document simple. Les programmes qui sont à notre disposition nous permettent de dresser les histogrammes qui figurent les populations des divers niveaux de compacité : ceci nous permet de constituer logiquement les classes regroupées en séparant les niveaux très différents.

L'histogramme des niveaux de compacité de la grille de taille  $3 \times 3$  nous a permis de constituer 3 classes définitives :

- de 0 à 4 : compacité nulle ou faible, les pixels correspondants ont de très faibles probabilités d'être des *hardé* proprement dits, les aires concernées sont négligées ;

- à l'autre extrémité, de 7 à 9 : compacité maximale à forte, les pixels correspondants sont considérés comme significatifs des *paysages hardé* ;

- entre les deux, niveaux 5 et 6 : compacité moyenne, les pixels correspondants sont considérés comme ayant d'intéressantes probabilités d'être des *paysages hardé* et les aires sont prises en compte : elles sont à étudier particulièrement sur le terrain afin de vérifier leur appartenance au thème *hardé* et de rechercher les raisons de leur médiocre compacité.

La transcription des résultats hiérarchisés en trois classes à partir de neuf niveaux a donc fourni une « carte » modulée des *paysages hardé* (fig. 6).

Le résultat graphique n'a cependant pas paru assez « concentré » au chercheur, qui a souhaité un regroupement plus brutal des pixels du polynombre. On a donc appliqué un programme de compacité 5, dont l'histogramme a révélé 21 niveaux : on voit déjà que les compacités élevées (de 22 à 25 pixels *jointifs* dans la grille  $5 \times 5$ ) n'existent pas ici. L'histogramme a permis de regrouper ces 22 niveaux (on y inclut le 0) en 4 classes (fig. 6 *bis*).

- de 0 à 5 : compacité nulle ou très faible ; les pixels correspondants sont considérés comme non significatifs et négligés ;

- de 6 à 10 : compacité faible à moyenne, les pixels correspondants sont considérés comme non significatifs, ils seront négligés dans un premier temps de l'étude de terrain quitte à être examinés ultérieurement et si les conditions de travail le permettent ;

- de 11 à 13 : compacité moyenne à forte, les pixels correspondants sont considérés comme présumés significatifs (on notera que l'aire échantillon du village de *Hardéo* se trouve dans cette classe) ou significatifs dans une partie des cas seulement ; cette « partie » n'est pas connue, toutes les aires correspondantes seront examinées sur le terrain ;

— de 14 à 21 : la compacité est maximale, les pixels sont tous considérés comme significatifs et les aires correspondantes seront systématiquement examinées sur le plan archéologique.

### Conclusions et perspectives

Cette opération a été l'occasion de tester l'intérêt et la validité de quelques raisonnements méthodologiques et de quelques procédures pour l'utilisation des données multispectrales à faible résolution dans une recherche paysagique en milieu insuffisamment connu.

Raisonnements et procédures se sont appuyés sur deux principes : d'une part celui de la conservation maximale de l'information multispectrale, d'autre part celui de l'association de la notion de radiométrie directe et de la notion de voisinage.

#### (a) La conservation maximale des informations

En milieu insuffisamment connu sur le plan de la nature des thèmes géographiques présents sur le terrain et donc sur l'image, sur le plan de la signification thématique des différences entre plages radiométriques et sur le plan de l'état des thèmes (et tout particulièrement du thème recherché) au moment de l'enregistrement, il nous avait paru fâcheux de sélectionner à l'avance les informations à traiter. C'est la raison pour laquelle on a travaillé sur les quatre canaux Landsat. Une combinatoire à quatre canaux en deux dimensions de l'espace étant impossible à maîtriser (faute, justement, d'une information de terrain suffisante) nous avons sélectionné l'information sur le plan géographique en ne travaillant que sur quelques segments linéaires, c'est-à-dire dans un espace à une dimension : l'information radiométrique, la plus importante à nos yeux puisqu'il s'agissait de définir *radiométriquement* un thème choisi, a été intégralement conservée.

#### (b) La notion de voisinage

A un raisonnement fondé directement sur la radiométrie exploitée par les transects pour identifier les éléments de signature spectrale du thème recherché, on a associé, en traitant l'image résultante par un programme de compacité, la notion de *voisinage*, c'est-à-dire un raisonnement sur le mode de juxtaposition des pixels. Cette association a été certes faite en termes très élémentaires puisqu'il ne s'est agi que de traiter une image binaire et dans

les seuls termes « connexité » et « non-connexité » entre pixels.

Néanmoins, même appliquée avec simplisme, cette association « radiométrie directe » et « voisinage » a donné des résultats théoriquement intéressants, c'est-à-dire qu'elle a fourni, préalablement à toute investigation de terrain, d'une part des informations, d'autre part un mode de présentation de ces informations, sous une forme satisfaisante pour la préparation au terrain.

Les résultats, présentés dans les illustrations ci-jointes par des photographies d'écran, peuvent être transcrits sous une forme « pseudo-cartographique » (1).

La carte des paysages *hardé* présumés, en trois ou quatre classes de vraisemblance, fournit non seulement la localisation et l'extension du thème recherché mais aussi des éléments de critique de son contenu, partant, des éléments de fiabilité : pour ses investigations sur le terrain, le chercheur peut alors disposer d'une information plus riche et plus complète.

(c) *D'un strict point de vue d'archéologue*, à savoir étant donné les caractéristiques des documents Landsat (2), passer de certaines images brutes (photo) ou analysées (numérique) à la caractérisation d'installations anthropiques « anciennes », le travail n'est encore que partiel. Il est de plus encore limité par les nombreuses inconnues qui pèsent sur la connaissance des peuplements anciens du Diamaré surtout en termes d'occupation des sols au-delà de leur définition chronoculturelle.

Cependant sur un point connu de la zone (en termes de paysage, de prospection archéologique) où se recouvrent le mieux les notions de *hardé* pédologique, vernaculaire et archéologique (h1) on a pu réussir à définir une signature radiométrique particulière. A partir de celle-ci on a pu localiser sur la zone en question (3) une série de points/taches où, pour l'archéologue, la probabilité de découvrir des vestiges culturels est augmentée. On peut envisager donc comme complément à la prospection archéologique d'utiliser cette signature comme indice à la condition de rester dans la même sous-unité (ici 5a) ou dans une unité très proche...

Le concept anthropologique d'occupation des sols n'est cependant pas coextensif au concept géographique de *hardé*, de même que ce dernier ne l'est pas par rapport au concept pédologique. On ne peut donc espérer trouver une relation stricte

(1) « Pseudo-cartographique » car l'échelle, la projection et la déformation des pixels ne sont pas directement maîtrisés.

(2) Les documents SPOT devraient être beaucoup plus parlants !

(3) Appelée Z1, par opposition à d'autres zones du Diamaré susceptibles d'autres examens par TDS : Z2 : Diamaré NE (cordon dunaire) et Z3 : Diamaré Central (Mayo Boula).

sol-hardé-culture x, mais, par contre, poser une relation lâche et chercher par l'archéologie quelle(s) culture(s) sont liées aux *hardé*. Le résultat obtenu ici permet donc d'attaquer le terrain d'une façon beaucoup plus serrée.

(d) La résultante des recherches exprimées dans le « polynombre » (fig. 5) et dans les images de compacité (fig. 6, 6 b) permet de voir que si une signature précise correspond aux *hardé* à une certaine époque du cycle saisonnier (h1 est connu par la pédologie, l'archéologie de surface) ceux-ci existent sur toute l'étendue de la zone I en particulier, sans localisation très précise sauf qu'ils se regroupent bien dans la plaine alluviale et les thalwegs du pédiment. Ils expriment donc un choix d'occupation fort probablement lié à un système agricole caractéristique, ce qui serait corroboré par les différences de distribution entre 5a (homogène) et 5b (plus irrégulier et étiré) la répartition et la nature des sols n'étant pas les mêmes. Ils expriment en même temps un degré d'évolution des sols lié à la topographie : la zone amont de la fenêtre (5a) étant globalement plus dégradée que la zone aval (5b). À l'intérieur de la plaine alluviale (5) ils ne sont pas en corrélation directe avec la distribution des sites pour autant que celle-ci est exhaustive. Ils sont par contre en relation assez bonne avec l'étendue des alluvions modernes récentes dont la date provisoire serait entre 4 100 et 2 000 B.P. (MARLIAC A. 1985). On peut en inférer puisqu'une bonne partie d'entre eux est associée à un peuplement ancien (entre 0 et le XVII<sup>e</sup> siècle) qu'il s'agissait d'agriculteurs installés sur la terrasse sur laquelle ils pouvaient trouver des sols adéquats, à rétention hydrique suffisante (nappe proche) plutôt sablo-argileux (bien drainés) favorables aux mils de saison des pluies (*Sorghum caffra*). La dégradation moindre relativement de la zone 5b exprimerait peut-être un peuplement de moins en moins dense vers l'est où les sols favorables sont moins importants ou plus souvent recoupés par des sols inadéquats et où la nappe s'enfonce, encore que, comme nous l'avons dit plus haut, la topographie puisse jouer.

Les différentes gradations observées expriment que nous avons peut-être des *hardé* d'âges différents et que le processus se poursuit ou s'installe encore aujourd'hui... Les *hardé* les plus nets (nus et dégradés) sont les plus visibles et, soit ils datent d'un peuplement ancien, soit leur position les fragilise, soit encore ils sont *et* anciens *et* fragiles... Comme ce sont eux qui en général fournissent des vestiges culturels « anciens », on serait tenté de

relier leur origine aux peuplements anciens, mais, inversement, on peut s'attendre à ce que des vestiges aussi anciens existent ailleurs, non encore déchaussés pour des raisons complexes (topographie et hydrographie).

L'étalement dégradé des *hardé* exprime peut-être aussi des passages d'occupants soit successifs soit répétés par rotations au fur et à mesure d'une stérilisation de petits espaces recherchés, stérilisation provoquée par la surculture/suroccupation... Guerres et famines ont pu, bien sûr, intervenir en plus... Les *hardé* les plus dégradés représenteraient les passages les plus anciens dans des positions topographiques fragiles, les plus arborés, des passages relativement plus récents (1).

On note de plus, que les *hardé* « purs » n'existent pas au-delà d'une certaine taille.

L'inexistence dans la représentation de la compacité 5 (fig. 6, 6 b et p. 180) de la classe maximale regroupant 22/25 pixels correspondrait bien à un phénomène anthropique sur de petites aires : villages nombreux mais petits, d'agriculteurs plantant le mil de saison des pluies (*S. caffra*) aux alentours de l'habitat. Ceci est très comparable au mode de culture actuel des occupants considérés comme les plus anciens (païens de plaine ou « kirdi/habé » (2) ) qui continuent à planter en pourtour de cases et de villages des mils de saison des pluies qui leur sont justement attribués (*jigaari* par exemple). Ceci est à mettre en parallèle avec l'observation des *hardé* souvent en auréoles autour des villages actuels, au-dessus des vertisols hydromorphes cultivés (karal). Ces auréoles créent, par coalescence, de plus grands *hardé* plus ou moins réfléchissants selon qu'y subsistent des arbres (figus...) des arbustes (balanites, acacia) ou des buissons (bauhinia, *Calotropis procera*).

L'utilisation de la TDS nous semble intéressante pour le problème posé à la condition que la définition du « phénomène-trace » où interviennent conjointement l'archéologie et la TDS soit claire dans ces deux domaines respectifs. Pour l'archéologie il s'agit d'un aspect de surface (sol + végétation) lié à des vestiges culturels que l'archéologie précisera dans ses propres termes et sous un angle bien évidemment spatial. Les problèmes que cela soulève sont d'ordre stratégique pour l'archéologie : définition des civilisations en question en fonction d'un objectif et, ici, en définissant autant que possible comment saisir dans un premier temps l'extension du site, la distribution des sites et leur organisation dans le paysage.

(1) On note effectivement sur les *hardé* moins dégradés des arbres anthropiques « anciens » (figus) alors que les plus abîmés ne possèdent que les épineux classiques (balanites, *Acacia seyal*, *Lannea*...).

(2) *Kaado/Habe* : païen (peul).



Pour la TDS il s'agit aussi d'un aspect de surface traduit par un type de réflectance (identifiant), aspect de surface particulier qu'il faudra définir par opposition à d'autres : précision de l'identifiant, surfaces en question, répartition spatiale, contours, cycle saisonnier, état hydrique du sol, végétation...

Le point de jonction, l'aspect de surface, s'il permet comme dans cet essai d'affiner la stratégie de réflexion et de recherche de l'archéologue, pose en même temps de nouveaux problèmes à la fois archéologiques mais aussi géopédologiques, phytogéographiques et anthropologiques comme on a pu le constater dans les paragraphes de conclusion.

La complexité relative des résultats de la TDS conduit à penser que plusieurs scénarios évolutifs d'installation des sols, associés à la contingence d'établissements anthropiques dont on connaît encore mal le mode de subsistance précis, ont dû avoir lieu.

Tout ceci pour proposer que la « hardéisation » est d'origine climatique sur différents sols où la combinaison de la topographie et de l'occupation anthropique prendrait le relais, à un certain stade, d'une évolution pédologique interne, en mobilisant et fragilisant les horizons supérieurs au point que ceux-ci sont peu à peu déblayés. L'occupation humaine abandonne ensuite ce qui est devenu stérile en laissant dans les horizons mobiles et parfois dans les argiles jadis plus pénétrables certains vestiges. L'érosion déclenchée dans un climat à dominance tropicale sèche depuis plusieurs millénaires (6 500/5 000 B.P.) aurait fait le reste.

## REMERCIEMENTS

Ce texte a bénéficié des critiques de MM. P. BRABANT, F.-X. HUMBEL et J. POUGET, pédologues à l'ORSTOM et de M. G. QUÉCHON, archéologue à l'ORSTOM.

*Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 27 janvier 1986*

## BIBLIOGRAPHIE

- BARRETEAU (D.), BRETON (R.), DIEU (M.), 1984. — Les langues, in BOUTRAIS (J.) (Éd.), 1984 : 159-180.
- BERNUS (E.), BERNUS (S.), PONCET (Y.), 1984. — Rapport final du Programme Archéologique d'Urgence, Région d'In Gall-Teffida n'Tesemt (Niger). I. Introduction : Méthologie et les environnements. *Études Nigériennes* n° 48, IRSH, Niamey.
- BOUTRAIS (J.) (Éd.), 1984. — Le Nord du Cameroun : des hommes, une région. *Mém. ORSTOM* n° 102, 551 p., carte h.t.
- BRABANT (P.), GAVAUD (M.), 1985. — Les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun. Paris, ORSTOM-MESRES, 285 p.
- DAVID (N.), 1981. — The archaeological background of Cameroonian History. Comm. au Colloque International du CNRS « Contribution de la recherche ethnologique à l'histoire des civilisations du Cameroun ». Paris, sept. 1973. *Coll. Intern. du CNRS* n° 551, vol. 1 : 79-98.
- GUIS (R.), 1972. — Contribution à l'étude des sols hardé du Diamaré (Nord-Cameroun). IRAT, *multigr.*, 180 p.
- MALEY (J.), 1981. — Études palynologiques dans le bassin du Lac Tchad et paléoclimatologie de l'Afrique Nord-Tropicale de 30 000 à l'époque actuelle. *Trav. et Doc. ORSTOM* n° 129.
- MARLIAC (A.), 1969. — Contribution à l'étude de la Préhistoire au Cameroun Septentrional. *Trav. et Doc. ORSTOM* n° 43.
- MARLIAC (A.), 1973. — Prospections des sites néolithiques et post néolithiques au Diamaré (Nord-Cameroun). *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum.*, vol. XV, n° 4 : 333-351.
- MARLIAC (A.), 1981. — L'état des connaissances sur le paléolithique et le néolithique du Cameroun. Comm. au Colloque International du CNRS « Contribution de l'ethnologie à l'histoire des civilisation du Cameroun » Paris, sept. 1973. *Coll. Intern. du CNRS* n° 551, vol. 1 : 27-77.
- MARLIAC (A.), 1982 a. — Recherches ethno-archéologiques au Diamaré (Cameroun Septentrional). *Trav. et Doc. ORSTOM* n° 151.
- MARLIAC (A.), 1982 b. — L'Age du Fer au Cameroun Septentrional : données chronologiques nouvelles sur le Diamaré. *Jour. Soc. Africanist, Fr.* 52 : 1-2 : 59-67.
- MARLIAC (A.), 1983. — Pour une approche pluridisciplinaire d'un problème préhistorique : les peuplements néolithiques et postnéolithiques au Nord du Cameroun. Comm. au 1<sup>er</sup> Symp. Internat. « Archéologie Africaine et Sciences de la Nature appliquées à l'Archéologie », Bordeaux, sept. 1983, ACCT-GMPCA, II p. *multigr.* 2 cartes.
- MARLIAC (A.), 1985. — L'Age du Fer au Cameroun Septentrional : rapport préliminaire sur le site de Salak au Diamaré. ORSTOM-MESRES, *multigr.* 227 p., 49 fig., 55 pl., 18 photos, 8 tabl., 4 cartes.
- MERING (C.), PONCET (Y.), RAKOTO-RAVALONTSALAMA (M.), 1985. — Études de structure dunaière sur images Landsat filtrées. *Programmation et Sciences Humaines* n° 4, LISH du CNRS, Paris.
- PONCET (Y.) (dir.), 1983. — Rapport final du Programme Archéologique d'Urgence., Région d'In Gall Teggida n'Tesemt ; Atlas ; *Études Nigériennes* n° 47, IRSH, Niamey.
- PONCET (Y.), 1984. — La télédétection spatiale dans un inventaire géographique à petite échelle. *L'espace géographique* n° 3 : 173-184.
- PONCET (Y.), 1985. — Images spatiales et paysages sahéliens, une étude des milieux naturels par télédétection en Azawagh (République du Niger). *Trav. et Doc. ORSTOM* (sous presse).
- QUÉCHON (G.), 1974. — Un site protohistorique de Maroua (Nord-Cameroun). *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum.*, vol. XI, n° 1 : 3-46.
- SEGALÉN (P.), 1962. — Carte pédologique du Nord-Cameroun à 1/100 000<sup>e</sup> Feuille Maroua. ORSTOM Yaoundé, *multigr.* 67 p., 3 cartes h.t.