

ÉTUDE EXPLORATOIRE  
MILIEU NATUREL PAR TÉLÉDÉTECTION  
LAINE DE L'EGHAZER (NIGER, SW DE L'AIR)

E. BERNUS Y. PONCET

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

TECHNIQUE OUTRE-MER



**INITIATIONS - DOCUMENTATIONS TECHNIQUES**

**N° 51**

**TELEDÉTECTION 6**

---

**O.R.S.T.O.M.**

**PARIS**

**1981**

« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, « que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées « à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but « d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le « consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayant cause, est illicite» (alinéa 1er de l'article 40).

« Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une « contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal».

.....  
ISBN : 2-7099-0617-1

.....  
© ORSTOM Paris, 1981

**ÉTUDE EXPLORATOIRE  
DU MILIEU NATUREL PAR TÉLÉDÉTECTION  
PLAINE DE L'EGHAZER (NIGER, SW DE L'AIR)**

**E. BERNUS\* et Y. PONCET\*\***

\* Géographe ORSTOM – \*\* Géographe CNRS



## Sommaire

Résumé .....	6
<b>A – PRÉSENTATION</b> .....	<b>7</b>
1 - But de l'opération .....	7
Un programme de recherche pluridisciplinaire .....	7
Recours à la télédétection .....	7
Résultats attendus et buts de l'opération .....	7
2 - Description du terrain .....	9
3 - Documents de base disponibles .....	10
Cartes topographiques .....	10
Photographies aériennes .....	10
Cartes thématiques .....	10
4 - Ce que nous connaissons .....	10
<b>B – DÉMARCHE ET OBJECTIFS DES TRAVAUX SUR DONNÉES LANDSAT</b> .....	<b>12</b>
1 - Examen préparatoire des images photographiques .....	13
2 - Examen préparatoire des données numériques .....	15
3 - Sur le terrain : l'utilisation des documents et l'identification des inconnus .....	16
4 - L'affinement en atelier numérique .....	19
<b>C – BILAN ET CONCLUSIONS</b> .....	<b>20</b>
1 - Remarques critiques .....	20
Le choix de la vue d'étude principale .....	20
Les travaux préparatoires avant terrain .....	21
L'utilisation des documents sur le terrain .....	21
L'utilisation du matériel .....	22
2 - Bilan scientifique et bilan matériel .....	22
3 - Conclusions provisoires .....	23
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> (documents directement utilisés pour la préparation de l'étude) .....	<b>25</b>
<b>FIGURES</b> .....	<b>27</b>

### Table des illustrations

Figure 1 -	Carte de situation .....	8
Figure 2 -	Scène 204-048. Vue du 12 janvier 1976. Image noir et blanc du canal 7 .....	28
Figure 3 -	Articulation régionale succincte .....	29
Figures 4 et 5 -	Niveaux et serpents des thèmes .....	30
Figure 6 -	Traçage à l'imprimante de la zone Amumun .....	33
Figure 7 -	Croquis manuel issu du traçage précédent .....	35
Figures 8 et 9 -	Exploitation d'une «mitrailleuse» : étude détaillée de la forêt de Kerbubu .....	36
Figure 10 -	Croquis des paysages végétaux .....	38

## RÉSUMÉ

*Ce texte présente les résultats obtenus par télédétection dans l'étude exploratoire du milieu naturel dans la plaine de l'Eghazer, au SW du massif de l'Air (Niger), en appui à un programme de recherche pluridisciplinaire sur l'origine du peuplement de la région. Les traitements d'imagerie satellite Landsat par des méthodes photochimiques et numériques ont permis, dans une région peu connue et mal cartographiée, d'obtenir rapidement une bonne connaissance du milieu naturel du secteur étudié (géomorphologie, formations superficielles, végétation).*

*Ce travail montre notamment que le traitement des données de télédétection antérieurement à toute connaissance précise du terrain, par classement « piloté au jugé » en fonction de la seule cohérence des structures de l'image, fournit de bons documents cartographiques de base et constitue une aide précieuse au travail sur le terrain.*

## PRÉSENTATION

### 1 - BUT DE L'OPÉRATION

#### Un programme de recherche pluridisciplinaire

Dans le cadre d'une RCP du CNRS (1), une étude pluridisciplinaire dans l'Azawagh (département d'Agadez, République du Niger) avait été entreprise par des chercheurs de divers organismes (C.N.R.S., O.R.S.T.O.M., I.N.A.L.C.O.). Géographie, linguistique, ethnologie, histoire, avaient concouru à préciser l'origine du peuplement de cette région située au sud-ouest de l'Aïr et incité à faire appel à l'archéologie pour préciser les données de la tradition orale. Un périmètre minier recouvrant la région étudiée ayant été attribué à une société japonaise (I.R.S.A.) pour la recherche et la production de l'uranium, un programme d'urgence pour la sauvegarde des sites archéologiques fut mis en place avec le concours du C.N.R.S., de l'O.R.S.T.O.M., de l'Institut Nigérien de Recherches en Sciences Humaines et du Ministère de la Coopération. Le programme privilégia l'archéologie dans un but d'inventaire des sites, sans pour autant renoncer au caractère pluridisciplinaire du travail en cours. Il s'agissait de recenser les traces d'occupation humaine ancienne (préhistorique, médiévale) et d'analyser l'occupation actuelle par les pasteurs nomades. Il s'agissait cependant d'une étude menée par une équipe limitée en personnel et en moyens matériels dans une zone où toute recherche revient à un prix élevé.

#### Recours à la télédétection

Une scène du satellite Landsat couvrant exactement la zone d'étude, des images furent commandées qui, dans un premier temps, servirent de plan directeur. Un heureux concours de circonstances permit de lancer un programme de télédétection dans le cadre de l'étude d'urgence. La bande magnétique, disponible avant le stage du bureau de télédétection d'octobre 1979, put servir de travaux pratiques et des tracés furent exécutés à cette occasion. Une mission de deux chercheurs sur le terrain, en novembre et décembre suivant, permit de contrôler les hypothèses, de rapporter des observations et des précisions nouvelles et de poursuivre au retour le travail de l'atelier d'analyse numérique de l'ORSTOM à Bondy au cours des mois de janvier et de février.

#### Résultats attendus et buts de l'opération

Si l'on ne pouvait évidemment pas attendre de la télédétection la découverte de sites archéologiques, l'expérience pouvait préciser différents thèmes et chercher à faire apparaître les principales unités de paysage en fonction de l'hydrographie, de la géomorphologie, des sols et de la végétation. L'expérience pouvait-elle permettre, avec cet outil, de réduire le temps passé sur le terrain et de diminuer les distances à parcourir en obtenant des résultats d'une fiabilité suffisante ?

---

(1) Recherche Coopérative sur Programme du Centre National de la Recherche Scientifique.

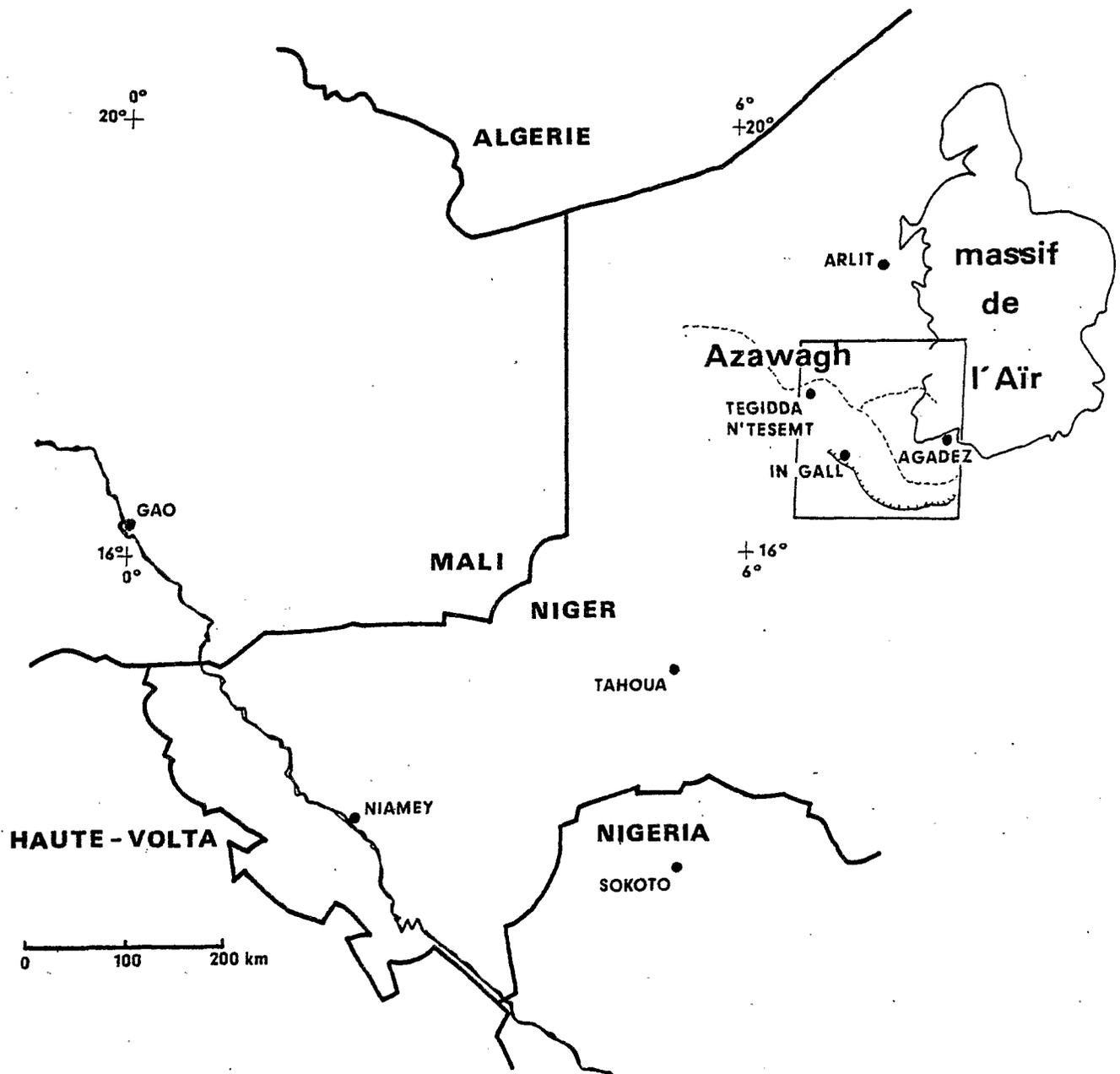


Figure 1 - Carte de situation

## 2 - DESCRIPTION DU TERRAIN (cf. fig. 3)

La région étudiée au sud-ouest de l'Air est très bien individualisée, encadrée par une cuesta au sud et au sud-ouest, et par les premiers contreforts de l'Air au nord-est. Elle forme un quadrilatère d'environ 180 km de côté.

C'est une zone de transition entre le Sahel et le Sahara, limitée très grossièrement par les isohyètes moyennes de 100 et 200 mm. Les deux stations de référence, Agadez avec 158 mm (53 ans d'observation) et In Gall, 192,3 mm (14 ans d'observation) possèdent des moyennes qui ne rendent pas compte de la grande irrégularité interannuelle (à Agadez, 288,2 mm en 1958 et 39,7 en 1970). La saison des pluies dure environ trois mois, de mi-juin à mi-septembre.

Les formations sédimentaires du «continental intercalaire» avec leurs couches gréseuses et argileuses alternées, de pendage NE/SW, constituent la trame des plateaux et dépressions qui se développent dans un relief de «cuestas» entourant un massif ancien, l'Air. La région concernée est centrée sur la vaste dépression développée dans les argilites de l'Eghazer wan Agadez et ses abords, au nord de la falaise de Tigidit, cuesta qui dessine un arc de cercle régulier autour de l'Air et dont le «revers» se prolonge vers le sud par les plateaux formés dans les grès du Tegama. Cette falaise constitue une frontière marquée entre deux types de paysages.

Au sud, c'est un paysage monotone où l'horizon s'étend rarement au loin, limité par de légers mouvements de terrain ou de petites barres rocheuses, mais portant un couvert arboré relativement dense, avec des forêts linéaires importantes dans les larges vallées ensellées dans le plateau. Les essences arborées sont relativement nombreuses et variées : *Commiphora africana* sur les plateaux ; *Acacia nilotica*, *Ziziphus mauritiana*, *Balanites aegyptiaca* dans les zones basses.

Au nord, c'est un paysage relativement différent : immenses horizons qui frémissent sous l'effet des mirages, couvert arboré rare et dispersé, avec des espèces peu nombreuses, de taille réduite, et une majorité d'*Acacia ehrenbergiana*.

La frontière est aussi bien marquée pour le couvert herbacé : au sud, on note une majorité d'espèces annuelles, avec de riches «prairies» dans les vallées, alors qu'au nord les vivaces occupent de larges surfaces (*Panicum turgidum*) avec, dans les vallées, des espèces annuelles liées aux parties basses argileuses inondables (*Sorghum aethiopicum*, *Psoralea plicata*) ou au bas de pentes sablo-argileuses (*Aristida hordeacea* et *funiculata*, *Schoenefeldia gracilis*).

Au nord-est de la dépression argileuse de l'Eghazer apparaissent de nouveaux plateaux dans les grès d'Agadez, formation sous-jacente aux argiles : une nouvelle auréole se termine par une cuesta nord-sud face à l'Air ; plein nord, les recouvrements sableux prennent une place de plus en plus importante.

Un réseau de failles quadrille la région avec deux orientations principales. Failles W-SW/E-NE le long desquelles s'orientent les décrochements et piques de la falaise de Tigidit (Tabazagor, Shineguran) et le long desquelles également se sont maintenues les buttes-témoin de grès du Tegama (Anyokan, Azuza), ou par surrection, les grès d'Agadez (Azelik). Failles nord-sud à proximité de l'Air, qui ont permis l'apparition des grès d'Agadez entre Asawas et Tegidda n'Tagait.

La région concernée (plaine argileuse de l'Eghazer et ses abords) possède une réelle originalité : couvert herbacé constituant des pâturages à très hauts rendements mais éphémères, zone d'artésianisme jaillissant avec des sources d'eaux minéralisées. Cette région s'organise autour du réseau hydrographique de l'Eghazer et de son cours majeur, véritable colonne vertébrale qui reçoit des affluents de ses bordures nord et sud.

Tels sont les grands traits de cette région d'étude, qui frappe surtout par ses horizons infinis, où toute petite éminence, en rompant les lignes planes du paysage, prend une importance démesurée.

### 3 - DOCUMENTS DE BASE DISPONIBLES

Les documents de base dont nous disposions avant de faire appel à l'outil télédétection étaient nombreux, mais variés tant par la qualité que par l'échelle.

#### Cartes topographiques

- Carte à 1/1 000 000 de l'I.G.N., feuille Air-Agadez ;
- Carte à 1/500 000 de l'I.G.N., feuille Agadez, parue en 1978, qui est commode car elle couvre l'ensemble de la région étudiée et ses abords ;
- Carte à 1/200 000 de l'I.G.N., datant de 1959 et réalisée dans le cadre de l'O.C.R.S. Cette carte en plusieurs feuilles, la première réalisée dans les zones sahariennes du Niger, est aujourd'hui ancienne et comporte des erreurs dues à une vérification insuffisante au sol.

#### Photographies aériennes

- Photographies aériennes de l'I.G.N. à 1/70 000 et à 1/68 500, dont il n'a été possible d'acheter qu'un nombre limité couvrant deux transects nord/sud et est/ouest, car le coût de la couverture totale dépasse le montant des crédits accordés. L'échelle, par ailleurs, est insuffisante pour des études précises et le pouvoir de résolution ne permet pas de forts agrandissements de bonne qualité.
- Photographies aériennes à 1/25 000 et 1/10 000. Cette couverture a été réalisée pour la société japonaise de recherche et d'exploitation de l'uranium (I.R.S.A.) ; elle ne couvre que des aires limitées, mais parmi elles la zone principale de recherche archéologique médiévale. Il a été possible de les consulter sur place, grâce à l'obligeance du directeur de la société, mais leur acquisition n'a pas été possible.

#### Cartes thématiques

- Cartes géologiques de reconnaissance à 1/2 000 000, 1/1 000 000 et 1/500 000 ; cartes et figures des rapports du B.R.G.M. ;
- Carte hydrogéologique à 1/1 000 000 ;
- Atlas des points d'eau en surcharge des feuilles I.G.N. à 1/200 000 ;
- Carte agrostologique à 1/1 000 000 des types de pâturages, dont les signes sont groupés et associés sans permettre, à cette échelle, des zonations pour chacun d'eux.

Ces documents, très riches, donnent des informations essentielles, mais à des échelles différentes et presque toujours sans la précision requise pour une étude de détail.

### 4 - CE QUE NOUS CONNAISSONS

Si les cartes thématiques restent insuffisantes, les cartes à 1/200 000 sont souvent imprécises et même erronées en raison d'une mauvaise interprétation des photographies aériennes et d'une insuffisante vérification sur le terrain ; la toponymie est également inexacte et rend les repérages délicats ; enfin, les images satellite ne donnent, à première vue, qu'un schéma très général.

Notre connaissance de la région était précise dans un espace limité et les photographies aériennes achetées ne couvraient pas l'ensemble de la zone d'étude, mais deux transects perpendiculaires ; cette connaissance s'appuyait donc avant tout sur une expérience du terrain qui avait permis de reconnaître un certain nombre de paysages caractéristiques et d'oppositions majeures :

- le contraste entre les espaces argileux au centre et sableux tout autour ;
- les diverses unités paysagiques de la zone des argilites : plaines argileuses à fentes de retrait profondes ou finement craquelées en surface, terrasses recouvertes de cailloux roulés ou de plaquettes, terrains sableux à herbes vivaces en touffes (*Panicum turgidum*) et à petits arbres espacés (*Acacia ehrenbergiana*, *Maerua crassifolia*), terrains de bas de pente sablo-argileux couverts d'herbes annuelles fines (*tazmey* en tamacheq,

*Aristida hordeacea* et *funiculata*, *Schoenefeldia gracilis*), dalles de grès sur les plateaux ou les buttes témoin ...

Le réseau hydrographique de l'Eghazer, qui apparaît sur les cartes et les images satellite comme le fil directeur de la région était mal discernable au sol, n'étant pas souligné par un rideau arboré continu.

Les différentes unités reconnues étaient difficilement cartographiables en raison de leur enchevêtrement, du manque de lieux d'observation élevés et de points de repère. C'est pourquoi on pouvait se demander si ces connaissances précises mais discontinues et inorganisées pouvaient être classées et répertoriées valablement en ayant recours à la télédétection satellite. Ceci dit, on n'a pas attendu de ce moyen autre chose qu'un dégrossissage dans le choix des thèmes pertinents et de leur répartition géographique en premier lieu ; en second lieu, la preuve de la praticabilité d'un outil avec des moyens limités. Notre objectif général a été de trouver le plus grand nombre de réponses possibles avec les moyens les plus simples.

- B -

## DÉMARCHE ET OBJECTIFS DES TRAVAUX SUR DONNÉES LANDSAT

La démarche suivie a été largement déterminée par le calendrier de disponibilité des matériels et opérations nécessaires aux travaux, soit :

- commande et réception des documents des États-Unis ;
- exécution des travaux photochimiques effectués à partir des négatifs de base ;
- disponibilité de l'atelier d'exploitation numérique ;
- séjour sur le terrain.

A la date du 30 mars 1979, le catalogue USGS des vues Landsat sur la scène 204-048 (qui circonscrit la région étudiée) comprenait quatorze vues à moins de 40% de nébulosité. Il existait par ailleurs quatorze autres vues enregistrées par Telespazio, correspondant aux mêmes critères de nébulosité, mais qui n'étaient à l'époque inscrites sur aucun catalogue disponible. Leur existence n'a donc pas été prise en compte dans les opérations qui sont décrites ci-dessous.

Parmi les 14 vues USGS (1), trois ne présentaient pas une qualité d'image suffisante pour leur utilisation dans aucun canal, 6 présentaient des irrégularités de qualité d'un canal à l'autre ; en outre, dans le choix de notre image de base nous avons rejeté les vues prises au cours des années 1972 et 1973, années où les conditions naturelles avaient été affectées par la sécheresse, ce qui, *a priori*, ne nous paraissait pas correspondre à un aspect « normal » (ou s'en rapprochant) souhaité.

Une vue (2) a particulièrement retenu notre attention car l'enregistrement correspondait justement à une période « moyenne », celle du 12 janvier 1976, qui se situe au milieu de la saison sèche, c'est-à-dire à un moment où la végétation herbacée - qui est pour nous un objet d'intérêt particulier - est encore présente sur le terrain, desséchée mais pas encore disparue par broutage ou complète dessiccation. La date, en outre, correspondait à la période de présence probable sur le terrain (saison froide). C'est cette vue qui a été plus particulièrement étudiée par la méthode photographique et la méthode numérique, malgré une qualité de canaux inégale. L'indication d'inégalité figurant au catalogue appelle d'ailleurs quelques commentaires : la vue est qualifiée de 5858 (les quatre canaux sont respectivement notés de 0 à 8, 8 représentant une qualité parfaite), c'est-à-dire que les canaux 5 et 7 sont censés être de très bonne qualité, les canaux 4 et 6 de qualité plutôt médiocre. Or, si le canal 4 est en effet de qualité plus que médiocre (l'un des capteurs n'a pas fonctionné correctement, ce qui entraîne des rayures sur l'image et des données numériques aberrantes dans une ligne sur six), le canal 7 est lui aussi de lisibilité très moyenne et le canal 6 manque absolument dans le jeu des restitutions photographiques. Malgré plusieurs demandes réitérées, il n'a pas été possible d'obtenir le négatif de ce même canal 6. Il est, par contre, de qualité parfaite sur la bande numérique. Enfin, et pour couronner le tout, le négatif d'un des canaux ne porte pas les mêmes repères de calage géographique ce qui a posé des problèmes de superposition des films diazo.

- 
- (1) United States Geological Survey, qui gère les données Landsat enregistrées aux États-Unis. Telespazio gère celles enregistrées en Italie (Station de réception de Fucino).
  - (2) Pour la signification précise du vocabulaire spécifique à la Télédétection satellite employé ici, on se reportera à : Lointier, M. et Pieyns, S. : Méthodologie de constitution d'une base de données d'occupation du sol par télédétection, ORSTOM, Paris, 1981, *Initiation, Documentation technique*, n°47, Télédétection 4.

Les opérations d'examen et de traitement des données ont été les suivantes, dans l'ordre :

- examen, dans les canaux disponibles, des images photographiques des vues du 12 janvier, 17 février et 16 avril 1976 ;
- examen des données numériques de la vue du 12 janvier 1976 et familiarisation avec la manipulation des équipements d'analyse numérique ;
- parcours du terrain pour vérification des observations et des hypothèses émises au cours des épisodes précédents ;
- au retour du terrain, en laboratoire numérique, affinage des données recueillies, vérifications des données de terrain ;
- extrapolation des données acquises en numérique sur de petites surfaces, à l'ensemble de la vue, sur support photographique.

L'objet de la présente note est de décrire chacune de ces opérations qui, rappelons-le, se sont déroulées de façon quelque peu empirique ; de mettre en évidence les difficultés rencontrées et les erreurs commises afin de dresser un bilan de l'opération, de déduire enfin les améliorations possibles ou souhaitables.

## 1 - EXAMEN PRÉPARATOIRE DES IMAGES PHOTOGRAPHIQUES

Il s'agissait d'identifier et de délimiter des **objets connus** afin de faire apparaître :

- des **objets semblables** par leur forme ou leur contenu dans des secteurs d'image correspondant à des secteurs de terrain non connu ;
- des **objets nouveaux**, même non identifiés, dans les secteurs connus ;
- des **thèmes** identifiables par la «réponse» ou signature qui les traduit, sur toute la surface de l'image.

Les images ont été examinées canal par canal (pour les trois canaux disponibles de la vue de base) sur tirages papier en noir et blanc et sur montages standard diazoïques afin de combiner les canaux, aux échelles suivantes : 1/1 000 000, 1/500 000 et, en ce qui concerne certains secteurs, à 1/200 000 et même davantage par projection de l'imagé sur écran.

Il s'est avéré que le 1/200 000 était l'échelle d'agrandissement maximale qui conserve une bonne lisibilité de l'ensemble du document. Mais sur certains secteurs très contrastés ou sur certains objets nettement délimités (le rebord de la falaise de Tigidit, le contact des grès d'Agadez avec le massif primaire de l'Aïr, les réseaux hydrographiques de l'Aïr), des agrandissements supérieurs sont lisibles.

Ce sont les tirages positifs sur film et les tirages couleur diazo en combinaison de trois canaux (canal 4 en jaune, canal 5 en magenta, canal 7 en cyan), étudiés à la table lumineuse, qui ont donné les lectures les plus nuancées. Les tirages à contraste différencié se sont révélés très utiles, en particulier la lecture de deux ensembles diazo, l'un favorisant la lecture dans les aires à faible réflectance (zone des argilites, au milieu de l'image, et massif de l'Aïr, à l'est), le second favorisant la lecture dans les aires à forte réflectance (zones périphériques de l'image, en particulier les linéarités fluviales au sud).

En ce qui concerne l'identification des objets, bon nombre d'entre eux étaient reconnaissables au moyen des cartes disponibles : parmi eux, les contacts géologiques, mais dans une certaine mesure seulement, car l'examen des images montrait que certains contours présentaient un tracé sensiblement différent (et plus précis) que celui de la carte géologique à 1/1 000 000. C'est le cas en particulier de la région d'Asawas où le compartiment des grès d'Agadez surgi en bordure des argilites de l'Eghazer est bien mieux détaillé sur image satellite, et celui des buttes-témoin des grès du Tegama dont les alignements rectilignes sont ici parfaitement mis en évidence.

La «boutonnière» d'Azelik est, elle aussi, bien reconnaissable au milieu des terrains qui l'entourent, mais non identifiable dans l'absolu, car elle ne se distingue pas plus de l'auréole des grès d'Agadez - à laquelle elle appartient géologiquement - que du «delta» de Sekkiret situé au nord, avec lequel elle n'a aucun rapport géologique mais dont la couverture végétale est comparable.

Les points de repère urbains ne sont pas identifiés aisément du fait que les constructions aux toits de terre séchée, entourées d'aires dénudées et piétinées, ne se différencient guère des terrains environnants ; In Gall et Agadez sont visibles grâce à la végétation dense qui s'y trouve : palmeraie à In Gall, arbres d'ombrage et jardins d'agrément à Agadez. Une convergence de pistes visibles marque la place de Tegidda n'Tesemt ; une convergence semblable (sur terrain semblable) marque le point d'eau voisin de Gélélé. Inversement, aucune trace perceptible, directement ou indirectement, des grands points d'eau d'Azelik, Fagoshia, Adar Agalen, etc.

Les axes d'écoulement d'eau temporaire ne sont identifiés clairement que lorsque le lit se trouve en situation morphologiquement contrastée sur les terrains environnants : c'est le cas des vallées de l'Air, ensablées et claires sur fond de roches nues à basse réflectance, souvent marquées, dans les coudes sur rive convexe, de croissants de végétation dense particulièrement visibles dans le canal 5. L'identification des axes d'écoulement est indirectement possible, dans les grès du Tegama, où ils sont soulignés d'une mince ligne de végétation. Par contre, dans les argilites, le cours de l'Eghazer et de ses affluents est peu distinct en général.

Enfin, les cuirasses non ensablées des grès de Tegama (falaise de Tigidit, alignements le long des failles) sont elles aussi bien distinctes en raison de leur réflectance très basse dans tous les canaux, en particulier dans le canal 7. Les cartes topographiques nous apprennent qu'elles couronnent les points culminants du paysage.

Quant au bassin de l'Eghazer proprement dit, et plus particulièrement dans la zone des argilites, il est figuré sous la forme de séries à basse réflectance, souvent soulignées de croissants clairs qui figurent une apparence de relief, non perceptible sur les photographies aériennes et sur les cartes topographiques. On verra plus loin que ce relief existe en fait.

Le lac artificiel de Tigerwit, encore en eau en janvier 1976, est parfaitement visible et identifiable par sa traduction en bleu sur les montages diazo (réflectance nulle dans le canal 7, élevée dans les autres canaux, caractéristique de l'eau libre).

Les axes de circulation ne sont pas visibles (sauf sur les courts tronçons radiaux cités plus haut) à une exception près, assez étrange : la piste automobile Agadez-Marandet, axe peu fréquenté quoique fort ancien, mais qui ne se distingue pas, par les terrains traversés et par le substratum de la piste, des autres axes (In Gall - Tegidda n'Tesemt et In Gall - Agadez - Arlit pour ne parler que des principaux). Il est possible qu'un chantier important ait été en cours à Marandet au moment de la prise de vue (construction d'une école, d'un puits ?) et que la poussière soulevée par le passage répété de véhicules de fort tonnage ait mis leur itinéraire en évidence. Mais alors, la piste In Gall - Agadez - Arlit, sillonnée en permanence par des convois considérables, devrait être aussi visible... Autre interprétation possible : ce sont les traces des milliers de chameaux des caravanes traditionnelles (dont Marandet et Agadez sont deux points de passage entre Dakoro et Bilma), traces peu profondes et peu marquées sur le terrain, mais que leur largeur et leur rectilinéarité peuvent mettre en évidence vues de satellite.

L'examen attentif de l'image dans son ensemble fait apparaître des linéaments rectilignes ou courbes dont l'interprétation semble dépendre largement de celle de chacun des éléments de l'image.

En fait, la lecture superficielle de l'image, mise en parallèle avec les documents cartographiques disponibles, met en évidence quelques ensembles, précise certaines limites, mais suscite surtout beaucoup d'interrogations et de perplexité.

Une partie de cette perplexité est due au fait que fort peu d'objets, en réalité, sont identifiés. D'autre part, l'examen *ex abrupto* de l'image (sous quelque forme que ce soit) n'est pas facile ; les figures des trois canaux sont fort semblables, à de rares exceptions près ; les limites d'objets sont en général «floues» et en dégradé, ce qui ne correspond guère aux tracés systématiques des cartes.

Les photographies aériennes n'ont pas été d'une grande utilité, à ce niveau de l'exploitation, soit parce que leur échelle (voisine de 1/70 000) ne permettait pas l'identification d'objets délimités, soit parce que l'objet y apparaît sous une forme (contenu et environnement) différente, la différence n'étant pas interprétable faute de connaître la saison précise des prises de vues aériennes.

## 2 - EXAMEN PRÉPARATOIRE DES DONNÉES NUMÉRIQUES

Devant la perplexité engendrée par la lecture - superficielle il est vrai - des images photographiques, le besoin s'est fait sentir d'informations beaucoup plus précises - au pixel près - sur des secteurs géographiques très limités mais choisis pour leur intérêt particulier, permettant de disposer des valeurs de réflectance numérisées sur bande magnétique (1) en une gamme de 64 ou 128 niveaux selon le canal concerné.

À l'occasion du stage d'initiation à la télédétection d'octobre 1979, l'équipe de recherche a pu manipuler avant le séjour sur le terrain les données numériques de la vue 204-048 du 12 janvier 1976 et obtenir, sur le terminal de visualisation Pericolor et sur le terminal de traçage Benson des informations sélectionnées sur une zone correspondant à l'aire de terrain la plus étudiée antérieurement (2) et susceptible d'être étudiée avec le plus de précision au cours du séjour sur le terrain qui allait suivre (3) : la région d'Azelik.

En outre, la zone choisie (30 km d'est en ouest, 40 km du nord au sud) avait l'avantage de contenir un grand nombre d'objets différents, dont quelques-uns étaient identifiés, sinon dans leur contenu, du moins dans leur topographie.

La dégradation par canaux a été effectuée à partir des objets connus dans leurs contours (boutonnière d'Azelik, cours de l'Eghazer, collines d'Erawenzegiran) mais guère dans leur contenu précis, mise à part la boutonnière d'Azelik (sables). Il s'est donc agi d'une dégradation avec très peu de «points d'appui». Elle a fait apparaître un certain nombre d'objets nouveaux, à peu près identiques, quant aux contours et aux différences relatives de réflectance, dans les quatre canaux.

Les histogrammes des canaux 4 et 7, très étroits, n'ont pas donné des indications très précises. Ceux des canaux 5 et 6 ont fourni des indications de coupures pertinentes.

Pour chacun des canaux, on n'a pas pu se limiter, dans cette recherche préliminaire, à moins de sept niveaux de dégradation. Ils correspondent, par ordre de réflectance décroissante :

- niveaux 1 et 2 : au «delta» de Sekkiret, confluence héritée entre un cours d'eau descendant directement de l'Air, présumé ensablé, et l'Eghazer wan Agadez, à vallée argileuse. La différence entre les deux niveaux isole des linéarités présumées pertinentes et quelques taches isolées.
- niveau 3 : identification très nette de la boutonnière d'Azelik et des kori (petits axes d'écoulement intermittent) qui en sont issus ; mise en évidence d'une aire non identifiée au sud du coude de l'Eghazer ; grandes surfaces de remplissage non identifiées au nord-est de la fenêtre.

(1) C.C.T. : Computer Compatible Tape.

(2) Études géologiques de Joulia ; études géographiques et archéologiques de E. et S. Bernus et P. Gouletquer.

(3) Séjour au cours duquel nous pourrions consulter les couvertures aériennes IRSA à 1/25 000 et 1/10 000 de cette même aire.

- niveaux 4 et 5 : grandes surfaces de remplissage au sud de la zone, non identifiées mais cernant avec précision des objets identifiés tels que la boutonnière d'Azelik, la vallée mineure de l'Eghazer ; mise en évidence de ce qui correspond aux hauteurs d'Erawenzegiran, cours du Tiegubay.
- niveaux 6 et 7 : linéarités présumées pertinentes dans la vallée de l'Eghazer (le niveau 7 correspond approximativement aux chenaux vifs), aires non identifiées au sud de la zone.

La dégradation par canaux a donc donné, pour la région étudiée, une sélection d'informations restituées sous la forme de plages de réflectances voisines dont la répartition géographique prend appui sur des repères identifiés. Ces repères ne sont identifiés que grâce à leur forme ou à leur répartition géographique, mais nous ne connaissons ni leur contenu précis ni le thème représenté : la situation et la répartition des points du thème 7 ci-dessus impliquent un thème en rapport avec l'hydrographie ; mais en quoi se différencie-t-il du voisinage : humidité ?, granulométrie ?, composition chimique ?, couvert végétal ? Réponse impossible à ce stade.

A la suite de l'exploitation préliminaire des données numériques décrite ci-dessus, une combinatoire des niveaux sélectionnés, par deux canaux, a été effectuée, en choisissant arbitrairement (faute de critères de choix) de combiner les canaux 5 et 6 et les canaux 4 et 6. Dans chacun des cas, douze lots ont été retenus, lots qui conservaient l'évidence des objets observés sur les dégradations précédentes, et qui mettaient en valeur, en outre, des **transitions**, des **bordures** qui paraissaient pertinentes.

Les niveaux de dégradation choisis dans chaque canal et les lots retenus ont fait l'objet du traçage automatique de documents à 1/100 000 qui ont servi de base à la recherche sur le terrain.

### 3 - SUR LE TERRAIN : L'UTILISATION DES DOCUMENTS ET L'IDENTIFICATION DES INCONNUES

Les opérations de terrain ont été consacrées à vérifier l'existence des objets repérés au cours des opérations de laboratoire :

- en examinant leurs limites et leur contenu ;
- en identifiant les thèmes pertinents et leur « traduction » sur la vue satellite ;
- en identifiant ce qui peut modifier - et dans quel sens - la « traduction » de ces thèmes.

Dans les paysages plats de l'Azawagh, paysages dépourvus de repères et de points culminants, soumis aux effets de mirage dès le lever du soleil, il est très difficile, non seulement de faire des observations d'ensemble à distance, mais simplement de s'orienter par rapport aux grandes articulations naturelles du paysage - zones de végétation, sables, aires caillouteuses, etc..

En l'absence de cartes topographiques détaillées et fiables, ce sont les données photographiques et automatiques de Landsat qui ont servi de carte : les agrandissements photographiques à 1/500 000 et 1/200 000, les traçages à 1/100 000 ont permis de fixer les parcours de reconnaissance et de situer dans le territoire les observations faites sur le cercle restreint du paysage visible.

Alors que les photographies aériennes avaient été fort peu utilisées lors de la phase préparatoire, elles l'ont été de façon intensive au cours du séjour sur le terrain, en particulier les photographies aériennes à 1/10 000 de la région des sources d'Azelik pour identifier de façon très précise les limites entre thèmes. Les photographies aériennes à 1/70 000 se sont révélées beaucoup moins utiles.

Des observations détaillées ont porté d'une part sur une aire de 10 km x 10 km environ, au voisinage même des sources d'Azelik, d'autre part sur une portion de la vallée majeure de l'Eghazer wan Agadez au sud de Tegidda n'Adrar, enfin sur la « forêt » de Kerbubu, à l'ouest d'Agadez. Chacune de ces aires a été choisie parce qu'elle présentait un ou plusieurs intérêts thématiques et parce que les lieux étaient aisément repérables avec précision à la fois sur la vue et sur le terrain.

Des observations moins fines ont été effectuées sur une douzaine de parcours linéaires choisis d'après la vue, parce qu'ils traversaient des aires à identifier, plus ou moins nettement délimitées.

Ces observations générales et les observations de détail ont permis d'identifier onze thèmes bien différenciés sur le terrain, plus ou moins bien différenciés sur la vue selon les aires examinées. Toutefois, les études prévues concernant la variété des types et des densités de végétation n'ont pu être menées à bien dans leur totalité car la vallée de Sekkiret, très représentative en temps « ordinaire », n'avait reçu que très peu d'eau durant la saison des pluies de 1979 : d'après les pasteurs nomades qui séjournaient dans la région en novembre 1979, Sekkiret était déjà desséchée et dépourvue de la végétation herbacée habituelle. Il n'était donc pas possible de comparer image et terrain.

Les thèmes identifiés sont, par ordre de réflectance décroissante :

- 1. Sables nus ou avec végétation arbustive trop clairsemée pour être marquante.
- 2. Prairies à *Aristida* : les formations à *Aristida* et *Schoenefeldia* (Tazmey en Tamacheq) sont caractéristiques de l'Azawagh et constituent, quand les conditions favorables de pluviométrie et de drainage sont réunies, un tapis d'autant plus dense et plus couvrant que les tiges, minces et fragiles, se couchent au sol sous le vent et le piétinement et constituent un feutrage d'un éclatant jaune clair, traduit par des réflectances élevées dans les quatre canaux. Les prairies à *Aristida* et *Schoenefeldia* peuvent être confondues avec le sable nu, mais en général elles ne se présentent pas sous la forme de grandes étendues homogènes sur les argilites ; il faut des conditions de relief particulières pour les observer sous leur forme dense, conditions qui se rencontrent sur les bas de pentes : ce sont, entre autres, les croissants clairs du sud-est de l'image ;
- 3. Sables à *Panicum turgidum* (afazo) : sables et *Panicum* sont liés, d'une part sur les sables profonds de la boutonnière d'Azelik, des grès d'Agadez et du plateau de la Tadarast (grès de Tegama) ; d'autre part dans le lit des cours d'eau temporaires issus de ces formations, qu'ils soulignent en clair sur le fond sombre des argilites. On les trouve de façon moins nette dans la vallée de Sekkiret (sables minces sur argiles) ;
- 4. Les argiles nues, claires et lisses : leur représentation est variable, car souvent modifiée par des facteurs occasionnels : craquelures superficielles, épandages de cailloutis épars, effets de luisance .. Bien que les résultats des travaux géomorphologiques en cours ne soient pas encore connus, il est probable que ces argiles constituent la terrasse la plus récente de l'Eghazer wan Agadez ;
- 5. Les argiles craquelées, de couleur plus sombre que les précédentes, présentent en saison sèche de profondes et nombreuses fentes de retrait. Leur réflectance est généralement plus basse que celle des argiles précédentes. Elle se confond avec celle du thème suivant ;
- 6. Les cailloutis clairs et moyens : ce sont des cailloutis d'origine fluviatile, roulés, quartzeux, répartis de façon plus ou moins dense sur les argiles, en plages homogènes de taille variable - de la dizaine de mètres carrés à la dizaine d'hectares - ou sous forme de « rubans » issus du « balayage » par les pluies violentes. Leur densité affecte la réflectance des argiles sous-jacentes, quand elles restent visibles, sans que nous ayons pu déterminer dans quelle mesure. Lorsqu'ils sont distribués de façon compacte et homogène en regs, ils se confondent absolument avec les argiles précédentes. Ils correspondent probablement à la terrasse intermédiaire de l'Eghazer.
- 7. Les « forêts » : nous désignerons sous ce nom des formations arborées et/ou arbustives, appelées agoras en tamacheq, suffisamment denses pour que la circulation y soit malaisée (les espèces sont presque toutes épineuses). Elles se rencontrent le long des cours d'eau temporaires qui conservent pendant suffisamment longtemps un écoulement phréatique et se présentent comme des fuseaux très allongés ou des lignes étroites. C'est le cas dans la Tadarast et dans la zone des grès d'Agadez.

Les quatre thèmes suivants, quoique de nature très différente, sont facilement confondus car dans chacun des canaux, ils ne se différencient qu'à quelques unités de niveau près :

- 8. Argiles à *Sorghum aethiopicum* (asharor) : ce sont des argiles des bas-fonds périodiquement inondés dans les vallées mal drainées, dans les sites d'anciens lacs et dans les bras du lit majeur de l'Eghazer et de

ses principaux affluents. Leur teinte, à l'observation sur le terrain, n'est pas particulièrement sombre, mais leur surface est amplement bosselée, pulvérulente, coupée de larges et profondes fentes de retrait, ce qui modifie leur réflectance propre ;

- 9. Rochers nus : bien que la plupart des formations rocheuses compactes affleurantes soient de teinte claire (mises à part les cuirasses et les patines désertiques), elles sont traduites ici par des réflectances basses et très basses. Nous n'avons pu l'expliquer ;
- 10. Cailloutis très sombres : il s'agit de formations de couverture de galets fluviaux, dont les éléments sont de plus grande taille que les cailloutis cités précédemment, recouverts en surface d'une patine noire bleutée. Ces formations correspondent probablement à la plus ancienne terrasse de l'Eghazer, qui est aussi la plus haute (10 mètres environ au-dessus des terrains environnants). Argiles sombres et cailloutis très sombres sont d'autant plus facilement confondus que leur disposition est semblable : l'origine fluviale est commune, ainsi que la disposition linéaire (région située entre In Jitan et Asawas). Seule l'indication de leur altitude relative, à l'aide de la carte topographique à 1/200 000 (peu détaillée) permet, dans certains cas, de les identifier ;
- 11. Enfin, à un niveau de réflectance quasi nul (de 6 à 8 dans le canal 7), les patines des grès nus de Tegama sur la bordure de la falaise de Tigidit et sur les buttes-témoin alignées le long des fractures.

Parmi ces thèmes, seules les argiles paraissent être affectées d'importantes variations de réflectance dues à des facteurs occasionnels non contrôlables à moins de simultanéité entre la prise de vue et les observations de terrain. Ces variations sont causées par des effets de luisance relatifs à la hauteur du soleil et par le piétinement du bétail. Les effets de luisance sont observés sur les argiles claires et lisses dépourvues de couverture caillouteuse et de fentes de retrait. Les réflectances naturelles en sont augmentées.

En raison de la grande concentration du bétail dans toute la région pendant la saison des pluies et de la présence de troupeaux encore très nombreux en saison sèche, les effets du piétinement restent visibles toute l'année. Il se traduit par des trous profonds marqués dans les argiles lisses et craquelées quand il s'est produit sur sol mouillé, par de vastes aires pulvérulentes quand il s'est produit sur terrain sec. Dans les deux cas, la réflectance est réduite et les thèmes «argiles lisses» et «argiles craquelées» sont confondus entre eux, ou confondus avec le thème «cailloutis moyens».

L'absence de piétinement, au contraire, peut «éclaircir» un thème : c'est peut-être la raison pour laquelle la «forêt» de Fagoshia n'est pas perceptible sur l'image : le sol d'argiles claires et lisses, non piétinées sous les arbres, est beaucoup plus réfléchant que les frondaisons légères de saison sèche et il en résulte une «moyenne» de réflectance qui fait «disparaître» la forêt ; c'est une hypothèse. En voici une autre : la forêt de Fagoshia est la seule identifiée sur sol argileux (les autres sont sur sol sableux) : elle présente, avec son environnement, un contraste de réflectance très faible et il faudra des examens plus fins pour la cerner.

A l'issue du séjour sur le terrain, la comparaison entre les observations au sol, les tracés automatiques et les photographies aériennes à 1/10 000, montre que :

- plusieurs thèmes pertinents de la recherche sont bien cernés dans leur répartition et leur homogénéité (thèmes 1, 7, 8, 11, notamment) ;
- certains thèmes n'ont pas été clairement cernés ;
- l'élucidation du contenu de certaines aires reste confuse, car les niveaux regroupent des thèmes différents ;
- que certaines limites entre thèmes bien différenciés restent floues.

Au retour du terrain, nous avons donc effectué un nouvel examen en laboratoire numérique pour tenter de lever les confusions, préciser des limites, affiner les coupures entre niveaux de dégradation par canal, puis déterminer si, d'après la zone particulièrement étudiée (la région d'Azelik) il était possible d'extrapoler les indications obtenues de façon suffisamment précise et fiable, à l'ensemble de la zone des grès d'Agadez et des argilites de l'Eghazer.

#### 4 - L'AFFINEMENT EN ATELIER NUMERIQUE

On a donc procédé à une nouvelle opération de dégradation canal par canal sur la zone d'Azelik déjà citée. Il se trouve que les nouvelles dégradations ont donné, à peu de choses près, les mêmes coupures que lors de l'expérience préliminaire. Cette concordance est encourageante car elle montre que l'image satellite peut être utilement employée pour le dégrossissage de l'information, même en terrain mal connu.

Dans un second temps, les indications fournies par ces dégradations ont été affinées grâce à l'étude, au pixel près, d'une zone de 10 km de côté, située entre les sources d'Azelik et l'Eghazer, zone qui contient plusieurs sortes d'argiles et de cailloutis plus ou moins modifiés par luisance et piétinement. Les résultats confirment ceux déjà obtenus précédemment et permettent de placer avec précision les thèmes incertains dans les niveaux correspondants. Ces indications très précises ont servi de base à l'extrapolation de la recherche des thèmes sur une aire de plus vaste étendue (60 km sur 60 km). Cette fois, la plupart des confusions ont pu être levées.

Enfin, les nouvelles dégradations ont permis de réduire le nombre des coupures primitivement choisies.

Pour tenter une approche plus précise des thèmes relatifs à la végétation arborée et arbustive, l'étude détaillée de la «forêt» de Kerbubu a été commencée, sur données numériques et après que des relevés aussi précis que possible aient été effectués sur le terrain. La dégradation canal par canal au Pericolor n'a pas donné de résultats assez fins car la différenciation des niveaux de dégradation était de l'ordre de l'unité. On a alors transcrit les données par le procédé «mitrailleuse», c'est-à-dire restitution des valeurs numériques dans un carré de 49 pixels sur 49 (environ 4 km sur 3), aire suffisante, compte tenu de la surface occupée par la forêt. Les résultats devraient permettre de déterminer les réponses à plusieurs étapes de la végétation : forêt vive plus ou moins dense, plus ou moins jeune, forêt morte sur pied, forêt morte abattue au sol, ensablement. Ceci posé, l'étude, ici aussi, est gênée par l'intervalle de temps qui sépare la prise de vue (1976) de l'observation sur le terrain (1979), car la forêt de Kerbubu est une formation dynamique : certains secteurs jeunes et adultes meurent, alors que d'autres présentent une très forte densité de jeunes sujets vivants. La forêt morte évolue elle aussi car les portions situées en bordure de la route d'Agadez (ville consommatrice de bois domestique) sont rapidement abattues et, partant, ensablées.

Il serait vain de vouloir cacher que les travaux décrits ci-dessus se sont déroulés de façon quelque peu empirique, en fonction des disponibilités en matériel et en temps. On trouvera ci-dessous quelques remarques critiques sur les opérations et sur les possibilités d'amélioration des résultats.

## BILAN ET CONCLUSIONS

### 1 - REMARQUES CRITIQUES

Le déroulement des opérations décrites ci-dessus fait appel, inévitablement, à des matériels, des équipements, des services, dont le chercheur n'est pas maître : en effet, il s'écoule un assez long délai (un mois environ) entre la commande des négatifs image aux États-Unis ou en Italie et la réception ; un plus long délai encore (trois mois) entre la commande et la réception d'une bande numérique ; le chercheur doit aussi prendre ses dispositions pour avoir accès à un atelier numérique (en vue de l'apprentissage et de la maîtrise de la manipulation et en vue de son utilisation pratique) ; enfin, il s'écoule forcément un certain délai entre la commande de travaux photographiques (agrandissements, tirages diazo, etc.) et leur mise à disposition. Sans parler des périodes plus ou moins favorables pour travailler efficacement sur le terrain... C'est dire que les travaux ne s'effectuent pas - sauf exceptions - en « continu » : la succession des divers épisodes d'une opération de recherche assistée par l'image satellite échappe en partie à la décision du chercheur, ce qui explique que l'ordre des opérations et le temps imparti à chacune puisse ne pas être aussi judicieux que souhaité.

#### Le choix de la vue d'étude principale

Au fur et à mesure que les travaux préparatoires s'avançaient, avec comme sujet d'étude unique la vue 204-048 du 12 janvier 1976, puis que venaient sous nos yeux des vues prises à des dates différentes, il s'avérait que notre choix avait peut-être été hâtif et que nous aurions eu intérêt à travailler sur une vue dont les quatre canaux étaient plus différenciés (vue du 13 février 1973 notamment). Il aurait fallu, pour faire ce choix initial, disposer au préalable de la totalité des vues disponibles de la scène, sous forme de tirages diazo pour chacune par exemple. En juin 1979, le catalogue général ne contenait que six vues de bonne qualité sur cette scène : cela eût encore été possible ; mais depuis, le nombre de vues théoriquement disponibles a considérablement augmenté (1) : 28 vues inscrites au 15 juin 1980.

Il ne paraît pas que, sur les scènes où il existe un grand nombre de vues (régions où la répétitivité est effective), l'examen systématique de celles-ci soit réellement praticable. Même dans les zones moins bien pourvues, il faudrait disposer d'une téléthèque complète dont le contenu soit instantanément disponible : ce n'est pas encore le cas en ce qui concerne les territoires tropicaux.

Le choix de la vue principale doit être encore plus attentif lorsque la formule numérique est utilisée, en raison du prix d'achat de la bande magnétique et du prix de revient de l'utilisation numérique.

---

(1) Mais les vues Telespazio inscrites au catalogue ne sont pas disponibles rapidement.

## Les travaux préparatoires avant terrain

Dans l'expérience que nous décrivons ici, il semble que les travaux préparatoires sur photographies auraient pu être approfondis davantage :

- par des études à grande échelle sur agrandissements photographiques (1/200 000) de secteurs particulièrement bien connus (grâce aux photographies aériennes ou grâce aux études cartographiques disponibles) ; ici, c'eût pu être le cas de la région située immédiatement autour d'Azelik ;
- par l'examen attentif, à la table lumineuse, des positifs sur film qui donnent des informations plus fines que les tirages sur papier ;
- par l'examen attentif d'images des vues prises à des périodes différentes.

En ce qui concerne la préparation numérique, il ne faut pas chercher à obtenir trop de détails car les risques de confusion augmentent. Dans l'exemple présent, les coupures initialement retenues étaient d'ailleurs trop nombreuses.

A un niveau médiocre de connaissance de terrain, le procédé de loterie ne semble pas utile, justement parce qu'il présente trop de détails (réels ou fictifs). Ici, les détails présentés - des nuances de transition entre des thèmes bien réels - ne correspondaient pas à la réalité, les confusions entre thèmes n'étaient pas levées et l'articulation réelle des grands éléments du paysage était noyée sous les détails. Et si des phénomènes nouveaux, réels et intéressants ont été ainsi figurés (1), ils sont passés inaperçus.

Les documents de traçage canal par canal, par contre, se sont révélés très efficaces : ils ont servi de support fondamental aux travaux de terrain. Ceci dit, précisons que seuls trois canaux ont été réellement utilisés : les canaux 5 et 6 principalement, le canal 7 dans une moindre mesure (2).

## L'utilisation des documents sur le terrain

Sur le terrain, documents de traçage et agrandissements photographiques se sont révélés de toute première utilité. Mais dans ce paysage aux faciès peu contrastés et sans points de repères rapprochés, le plus important problème a été celui du repérage. Les difficultés de repérage - partant, l'incertitude relative à notre position d'observation - ont été une source d'incertitudes dont une partie seulement a été levée. Chaque fois que cela était possible, de nombreuses vérifications à partir d'amers identifiés - mais souvent très éloignés les uns des autres - ont dû être effectuées.

Un autre problème important a été rencontré avec l'interprétation de la végétation arborée. Alors que la végétation herbacée est bien caractérisée - en particulier parce qu'elle pousse sur des milieux eux-mêmes bien caractérisés - la végétation arborée clairsemée n'a pu être identifiée ; plus précisément, on n'a pas pu discerner dans quelle mesure et dans quelle proportion la densité du peuplement et du couvert, la taille des couronnes et leur état, affectaient les réflectances du sol, herbu ou non. Cette lacune est due d'une part à l'impossibilité de repérage précis dans les zones à couvert arboré éparpillé (en raison du flou des contours) et d'autre part aux rapides modifications qui peuvent intervenir dans le couvert en deux ou trois ans : naissance de jeunes arbres en bordure des peuplements anciens, dessèchement des sujets à divers stades de leur croissance, modification du sol sous les forêts mortes (ensablement quasi immédiat des souches et des branches tombées).

---

(1) Nous n'en avons pas relevé dans la comparaison entre les documents préparatoires et le terrain, ce qui ne veut pas dire que certains d'entre eux ne nous aient pas échappé.

(2) A propos de l'utilisation du traçage du canal 7, il est apparu que le soin particulier apporté au choix des coupures dans un canal à histogramme étroit (le canal 7 est ici dans ce cas) peut être un élément favorable de la recherche.

## L'utilisation du matériel

Ce matériel consiste en : un ordinateur CII Honeywell Bull de type mini 6-43 muni des terminaux (imprimante, écran de visualisation Pericolor, table traçante Benson) ; un atelier photochimique en partie automatisé.

Au cours de chacun des épisodes de travail, les sources photographiques et numériques ont été utilisées. L'expérience a montré que :

- l'exploitation photographique, sous la forme de tirages noir et blanc sur papier à la même échelle que les cartes topographiques (1/200 000) est extrêmement utile sur le terrain car, mieux que les traçages, elle conserve des nuances et des détails quelquefois pertinents qui ont disparu au cours des dégradations préliminaires effectuées en traitement numérique.
- l'exploitation numérique est très utile en phase préparatoire parce qu'elle permet un calage absolu des réponses : ceci fournira des repères utiles par la suite ; et parce que l'apparition successive, sur l'écran, des points correspondant aux différentes unités de niveau met parfaitement en évidence la répartition géographique et les différences de valeurs absolues entre les éléments de l'image.
- le délai qui s'écoule forcément entre la manipulation numérique visualisée sur écran Pericolor et l'obtention du traçage correspondant empêche de matérialiser sous forme de traçages, et ainsi de conserver pour examen « à tête reposée » ultérieur, des visualisations trop nombreuses quoique pertinentes. Le problème de la conservation des visualisations a été résolu ici en photographiant, avec un appareil relativement courant (visée reflex, distancé à l'objet 50 cm) et un film diapositive l'écran Pericolor. La distorsion de l'image ne présentait pas d'inconvénient dans ce cas puisqu'une cartographie n'était pas envisagée à ce stade. Cette solution a permis de conserver une trace des différentes visualisations, mais pas de comparer dans le détail plusieurs images. Le problème de la comparaison entre documents conservés, sans passer par le traçage, n'était pas résolu et ceci a été une gêne dans la progression du travail ; cet inconvénient est maintenant résolu par la mise en place d'une imprimante rapide par points.
- L'imprimante a été utilisée pour obtenir les histogrammes des canaux sur la première zone étudiée, pour obtenir la « mitrailleuse » de la zone de la forêt de Kerbubu et un traçage de la zone Amumun, canal 6 (voir figure 6).

## 2 - BILAN SCIENTIFIQUE ET BILAN MATÉRIEL

Avant même que soient achevés les travaux d'interprétation destinés à répondre aux besoins de l'étude, on peut affirmer que le bilan scientifique est positif : dans le cadre de la contribution aux travaux des autres membres de l'équipe, trois documents ont déjà été fournis :

- un croquis morphologique à 1/100 000 de la région d'Azelik destiné à servir de document de base pour le parcours du terrain à un géologue quaternariste y venant pour la première fois ;
- le croquis de répartition des paysages végétaux (figure 10), qui est un des éléments d'une cartographie des ressources pastorales (eau et aires pâturables) ;
- un fond de carte à 1/500 000, redressé sur le canevas IGN à la même échelle, des éléments caractéristiques du paysage (buttes et escarpements, tracés hydrographiques exacts) destiné à la synthèse cartographique des travaux de l'équipe pluridisciplinaire.

En vue de cette synthèse, la cartographie des éléments pertinents de la répartition du peuplement actuel et des ressources de surface (aires de végétation herbacée dense, aires nues, sables, rochers, zones d'inondation, obstacles aux parcours des hommes et des troupeaux, affinement de la carte géologique, etc..) est en cours de préparation.

On pourra objecter que les mêmes résultats eussent pu être obtenus par l'utilisation systématique de la couverture aérienne existante. Serions-nous vraiment arrivés au même résultat avec la seule utilisation

des photographies aériennes ? L'affirmative est probable, mais l'utilisation seule (sans parler de l'interprétation) est assortie de telles réserves que celle-ci n'a jamais été envisagée systématiquement. Ces réserves sont énumérées ci-dessous :

- le délai entre la prise de vue (1957) et les observations sur le terrain ;
- les échelles de la photographie aérienne : 1/70 000 et 1/68 500, pas tout à fait suffisantes, compte tenu du faible pouvoir de résolution des documents ;
- la qualité inégale des documents ;
- le coût très élevé de la couverture totale (environ 260 couples stéréoscopiques, soit 7 800 F français), raison principale pour laquelle l'étude systématique par photographies aériennes n'a jamais été envisagée, compte tenu de la répartition des crédits de l'étude ;
- le repérage, guère plus facile sur photographies aériennes que sur image satellite agrandie à 1/200 000.

Mais les photographies aériennes ont été utilisées de façon intensive sur des secteurs limités de l'image où l'échelle de la couverture partielle (1/10 000) et l'utilisation stéréoscopique ont fait merveille pour repérer des limites et des détails peu perceptibles sur le terrain.

Sur le plan matériel, l'opération est entièrement positive : sans les images satellite, l'étude régionale n'aurait pu être ni menée à bien ni même envisagée. Voici le bilan de l'opération, en temps et en moyens :

- en temps
  - travaux d'examen des données et traitements préliminaires : 30 jours, auxquels il faut ajouter 20 jours de formation des chercheurs,
  - travaux de terrain : 15 jours en temps compensé (6 semaines en temps réel),
  - travaux sur ordinateur : 16 heures.
- en matériel
  - huit contacts photographiques noir et blanc à 1/1 000 000, deux montages diazo à 1/500 000, un agrandissement noir et blanc à 1/200 000,
  - six traçages automatiques Benson,
  - trois rouleaux 20 poses Kodachrome II,
  - achat à l'U.S.G.S. d'une vue complète sous forme de négatifs et de la bande numérique.

Le matériel nécessaire aux travaux et séjours sur le terrain n'est pas cité ici.

Une évaluation financière a été faite. L'utilisation de l'équipement de l'atelier de télédétection (atelier numérique plus atelier photochimique) a été estimée, stages non compris, à 8 000 F français. On fera immédiatement la comparaison avec les autres moyens éventuels, sachant qu'un mois de chercheur sur le terrain revient, sur ce terrain, à environ 16 000 francs.

### 3 - CONCLUSIONS PROVISOIRES

Il est prématuré de tirer les conclusions d'une opération qui n'est pas achevée et qui n'a pas encore publié ses résultats : ceux-ci n'ayant pas été soumis à la critique, ce sont les seuls auteurs qui sont ici juges des bénéfices de l'opération. Il semble cependant que cette opération soit en train de mettre en évidence nombre d'éléments positifs de l'utilisation des données satellite sur terrain peu connu :

a - avec des moyens limités en temps et en argent, et la disponibilité d'un équipement technique d'accès relativement aisé, une bonne connaissance préliminaire d'un milieu peut être obtenue, connaissance qui servira de base à des recherches plus poussées - par les moyens classiques ou par un approfondissement du contenu des données satellite - dans chaque discipline intéressée.

b - à l'échelle régionale, la connaissance précise et détaillée du terrain n'est pas absolument nécessaire pour tirer de l'image satellite des informations pertinentes et extrapolables.

c - de toutes façons, la connaissance précise de ce terrain - ou de secteurs pertinement choisis de ce terrain - est indispensable après une phase préparatoire.

d - l'image satellite ne dit pas tout : certaines confusions ne peuvent être levées ; et à l'échelle régionale, toujours, les résultats extrapolés sont des éléments de reconnaissance qui ne présentent jamais une exactitude absolue.

e - dans le cas précis de l'opération décrite ici, les résultats paraissent être d'une précision et d'une fiabilité suffisantes aux besoins, précision et fiabilité supérieures, en tous cas, à celles des documents préexistants.

La deuxième phase de l'opération - qui n'est pas décrite ici - est en cours de réalisation et fera l'objet de communications ultérieures. Dans le souci de recherche d'une méthode qui soit la plus légère possible, sur les plans du matériel et du budget mis en œuvre, cette deuxième phase fera beaucoup plus appel que la précédente aux traitements photographiques et à l'exploitation des agrandissements et des vues diachroniques. Elle est rendue possible par la préparation numérique précise qui a été faite. L'avenir dira si une méthode praticable sans spécialisation excessive peut être valablement mise au point.

octobre 1980

## BIBLIOGRAPHIE

(documents directement utilisés pour la préparation de l'étude)

1. ALATNINE AG ARIAS et BERNUS, E. - 1977 - Le jardin de la Sécheresse, l'histoire d'Amumen ag Amastan. *Journal des Africanistes*, t. 47, 1, pp. 83-94.
2. BERNUS, E. - 1974 - *Les Illabakan (Niger), une tribu touarègue sahélienne et son aire de nomadisation*. Atlas des structures agraires au sud du Sahara. 10, Paris, ORSTOM-Mouton.
3. BERNUS, E. - 1978 - Azawagh (Azawaq, Azawak). *Encyclopédie Berbère*, édition provisoire, cahier 21, Aix en Provence, LAPEMO-Université de Provence.
4. BERNUS, E., BERNUS, S. - 1972 - *Du sel et des dattes, introduction à l'étude de la communauté d'In Gall et de Tegidda n'Tesemt*, Études Nigériennes, 31, Niamey, CNRS.
5. BERNUS, E., GOULETQUER, P.L. - 1976 - Du cuivre au sel, recherches ethno-archéologiques sur la région d'Azelik. *Journal des Africanistes*, t. 46, 1-2, pp. 7-68.
6. BERNUS, E. - 1981 - *Touaregs nigériens, unité culturelle et diversité régionale d'un peuple pasteur*. Thèse Doctorat d'état, Univ. Paris X Nanterre. Mémoires O.R.S.T.O.M., n°94, 507 p., 5 cartes h.t.
7. B.R.G.M. - 1959 - *Carte géologique de l'Afrique à 1/2 000 000*. Paris.
8. C.E.G.E.T. - 1976 - *Téledétection et environnement tropical*. Travaux et Documents de Géographie tropicale, 25, Paris-Bordeaux.
9. C.I.E.H.-O.R.S.T.O.M. - 1976 - *République du Niger, précipitations journalières de l'origine des stations à 1965*. Paris.
10. B.R.G.M. - 1970 - *Modernisation de la zone pastorale nigérienne, Hydrogéologie*. Paris.
11. GREIGERT, J. - 1966 - *Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Iullemeden (Afrique Occidentale)*. Paris, B.R.G.M./Niamey, Direction des Mines et de la Géologie.
12. GREIGERT, J., POUUNET, R. - 1967 - *Essai de description des formations géologiques de la République du Niger*, Paris, B.R.G.M./Niamey, Direction des Mines et de la Géologie.
13. JOULIA, F. - 1937 - Sur l'existence d'un important système de fractures intéressant le continental intercalaire de l'ouest de l'Aïr (Niger, AOF). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 6e série, t. VII, fasc. 1-3, Paris, X, pp. 137-143.
14. JOULIA, F. - 1963 - *Carte géologique de reconnaissance de la bordure sédimentaire occidentale de l'Aïr au 1/500 000*, B.R.G.M.
15. JOULIA, F. - 1965 - *Hydrogéologie des régions à l'Ouest et au Sud de l'Aïr (Niger)*. Rapport B.R.G.M.
16. LOINTIER, M., PIEYNS, S. - 1981 - Méthodologie de constitution d'une base de données d'occupation du sol par téledétection. *Initiation, Document. techn. ORSTOM*, 47, *Téledétection* 4, 92 p.
17. O.R.S.T.O.M. - 1977 - Les satellites d'observation de la terre. *Initiation, Document. techn. ORSTOM*, 34, *Téledétection* 1, Paris.

18. PEYRE DE FABREGUE, B., RIPSTEIN, - 1972 - *Inventaire des pâturages de la zone pastorale du Niger*, Ministère de la Coopération - I.E.M.V.T., Paris.
  19. PEYRE DE FABREGUE, B., LEBRUN, J.P. - *Catalogue des plantes vasculaires du Niger*. Étude botanique n°3, Maisons-Alfort, I.E.M.V.T./Niamey, Laboratoire d'Élevage.
  20. - 1979 - Programme archéologique d'urgence. *Documents, présentation provisoire*, RCP 322 du CNRS, Paris.
  21. WISPELAERE (de), G., WAKSMAN, G. - 1977 - Contribution au traitement des images satellite à la cartographie des pâturages sahéliens. *Revue d'Élevage et de Médecine vétérinaire des Pays tropicaux*, t. XX, 4, pp. 407-423.
  22. WISPELAERE (de), G., BOUDET, G. - 1977 - *Classification des pâturages tropicaux et niveaux de télédétection*. I.E.M.V.T.-F.A.O.
-

**FIGURES**



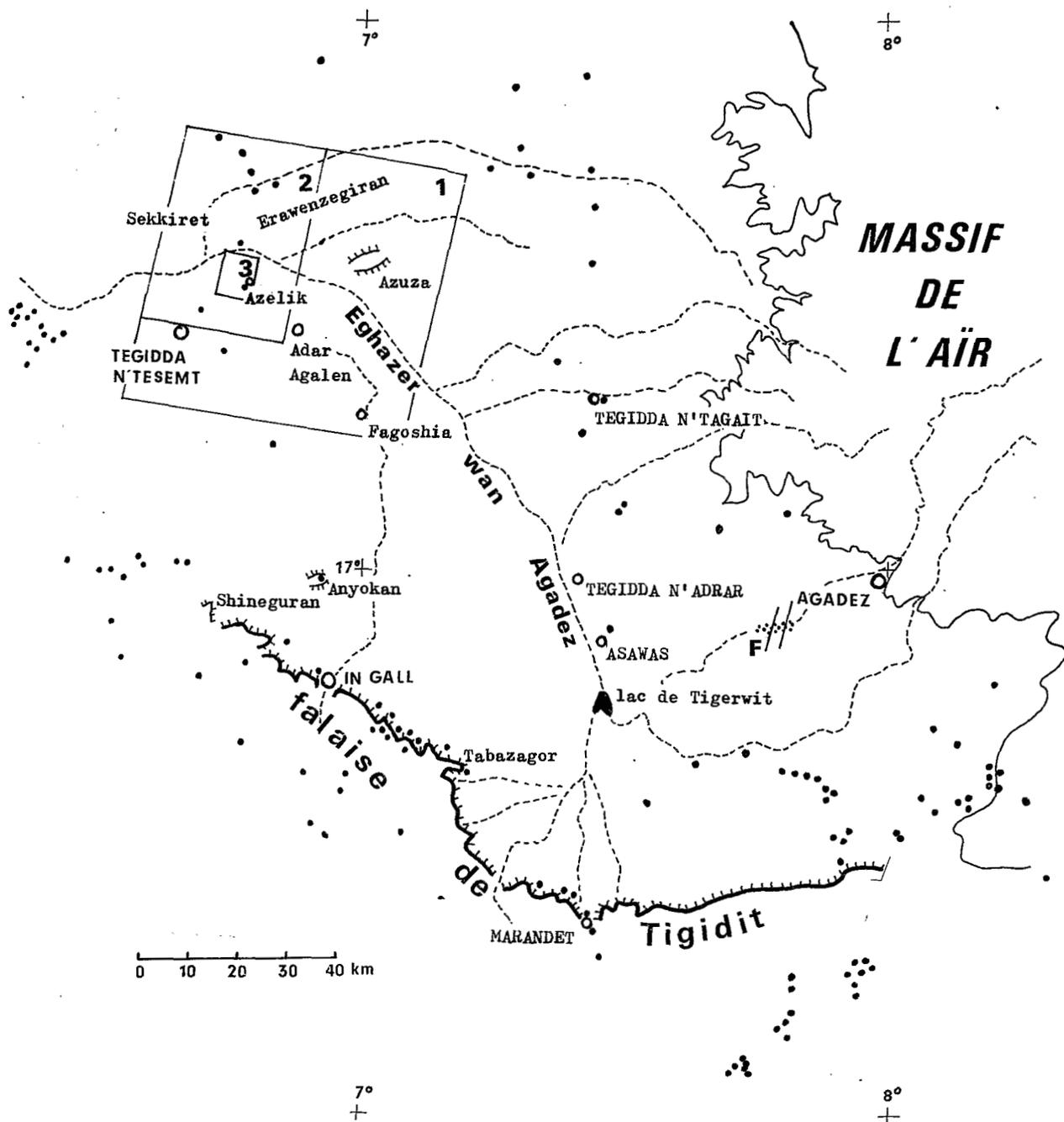


Figure 3 - Articulation régionale succincte, d'après la carte à 1/1 000 000 I.G.N.

- 1 - Zone «Azak»
- 2 - Zone «Azelik»
- 3 - Zone «Amumum»
- F. Forêt de Kerbubu et axes des coupes des figures 7 et 8.

Les points noirs représentent les sites archéologiques principaux.

Figures 4 et 5 - Niveaux et serpents des thèmes.

Sont figurés ici les niveaux correspondant aux principaux thèmes, dans les quatre canaux, pour chacune des zones étudiées de la région nord-ouest de la scène : figure 3, zones Amumun et Azelik ; figure 4, zone Azak.

La liste des thèmes telle que décrite au paragraphe 5.3 a été simplifiée ici pour commodité de lecture, selon le tableau suivant :

Thèmes dans le texte	Thèmes figurés ci-contre
1. sables nus	
2. sables et <i>Aristida</i> et <i>Schoenefeldia</i>	1.
3. sables et <i>Panicum turgidum</i>	
4. argiles lisses claires	4.
5. argiles piétinées ou craquelées	5.
6. cailloutis moyens	
7. forêts agoras	thème absent dans les zones étudiées
8. argiles bosselées	8.
9. roches nues	9.
10. cailloutis sombres	10.
11. roches vernissées	11.

Les thèmes 8 et 11 sont absents dans la zone «Amumun» ; le canal 4 est inutilisable dans la même zone (qualité insuffisante à cette échelle).

Dans le canal 7, zone «Azak», les thèmes 9, 10 et 11 ont des valeurs inférieures au niveau 15.

On a mis en évidence :

- a - les serpents du thème 4 (argiles claires) sur les trois zones ;
- b - les serpents des thèmes 8 et 10 (argiles bosselées et cailloutis sombres) sur la zone «Azak» : ces deux thèmes, confondus sur l'image photographique en noir et blanc, sont distincts à la lecture d'un montage diazo des canaux 5 et 6 dont les contrastes sont étudiés pour mettre en valeur les basses réflectances.

Figure 4 -

Zones AMUMUN :   
at AZELIK : 

Canal 4

Canal 5

Canal 6

Canal 7

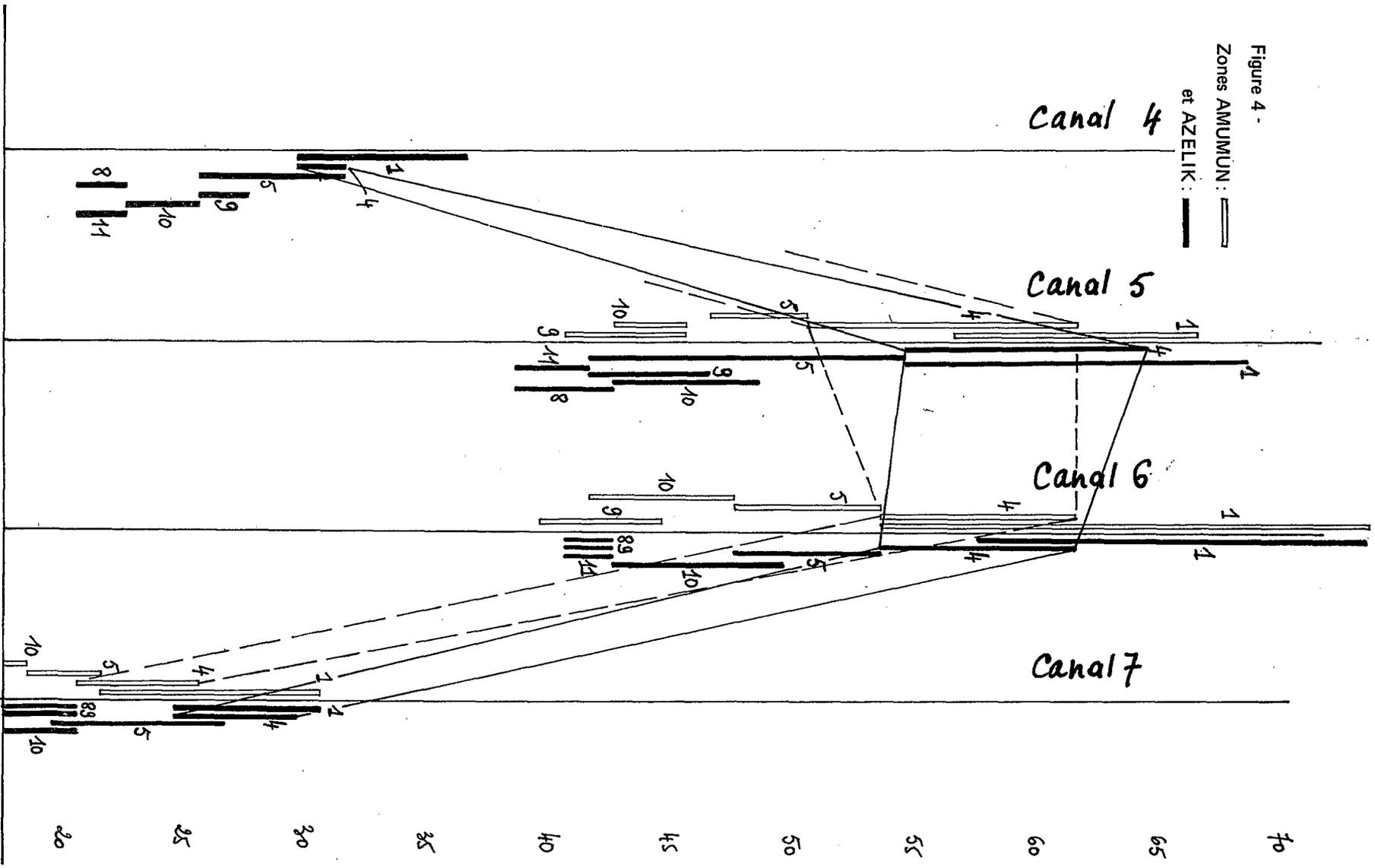
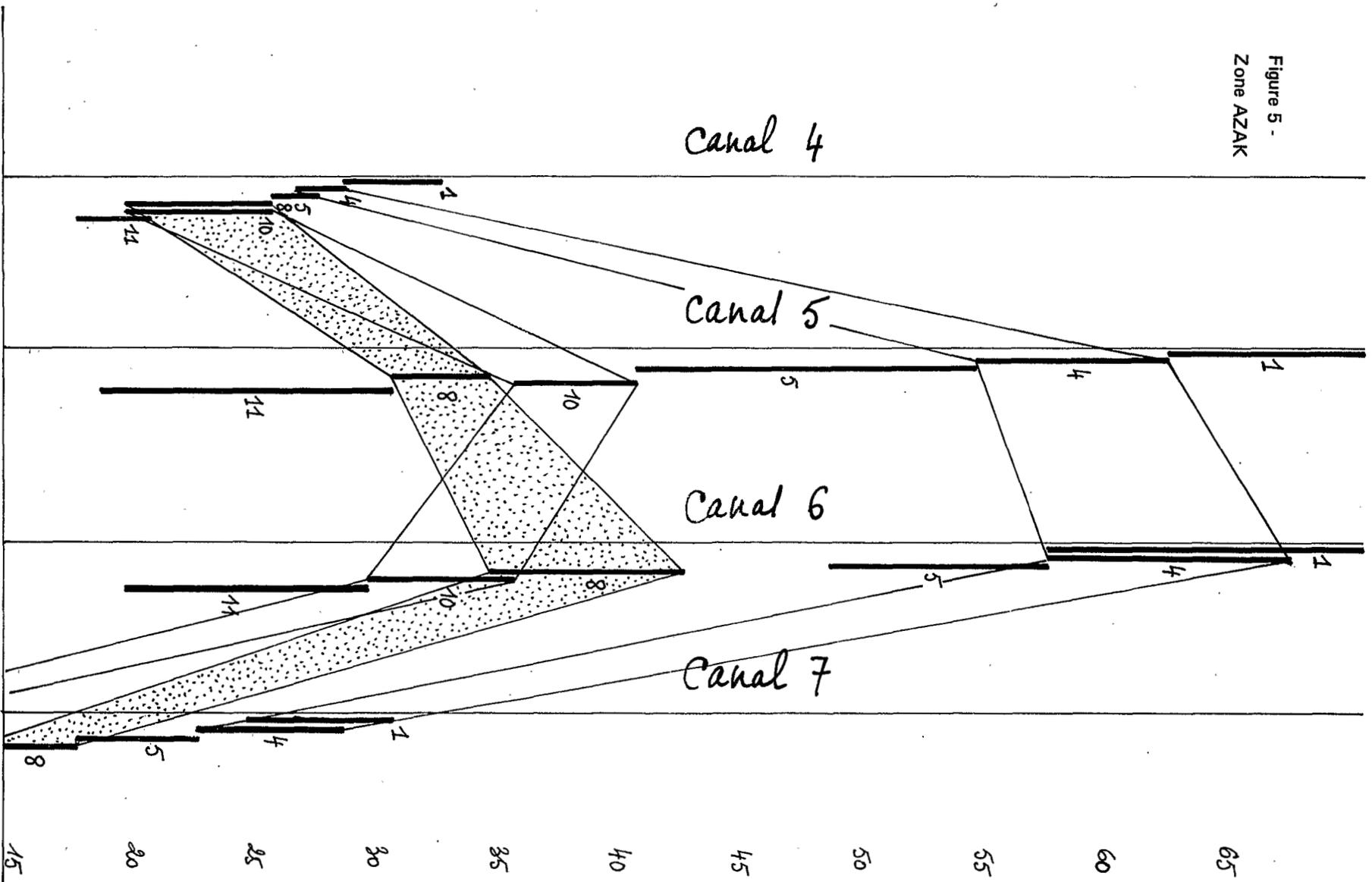
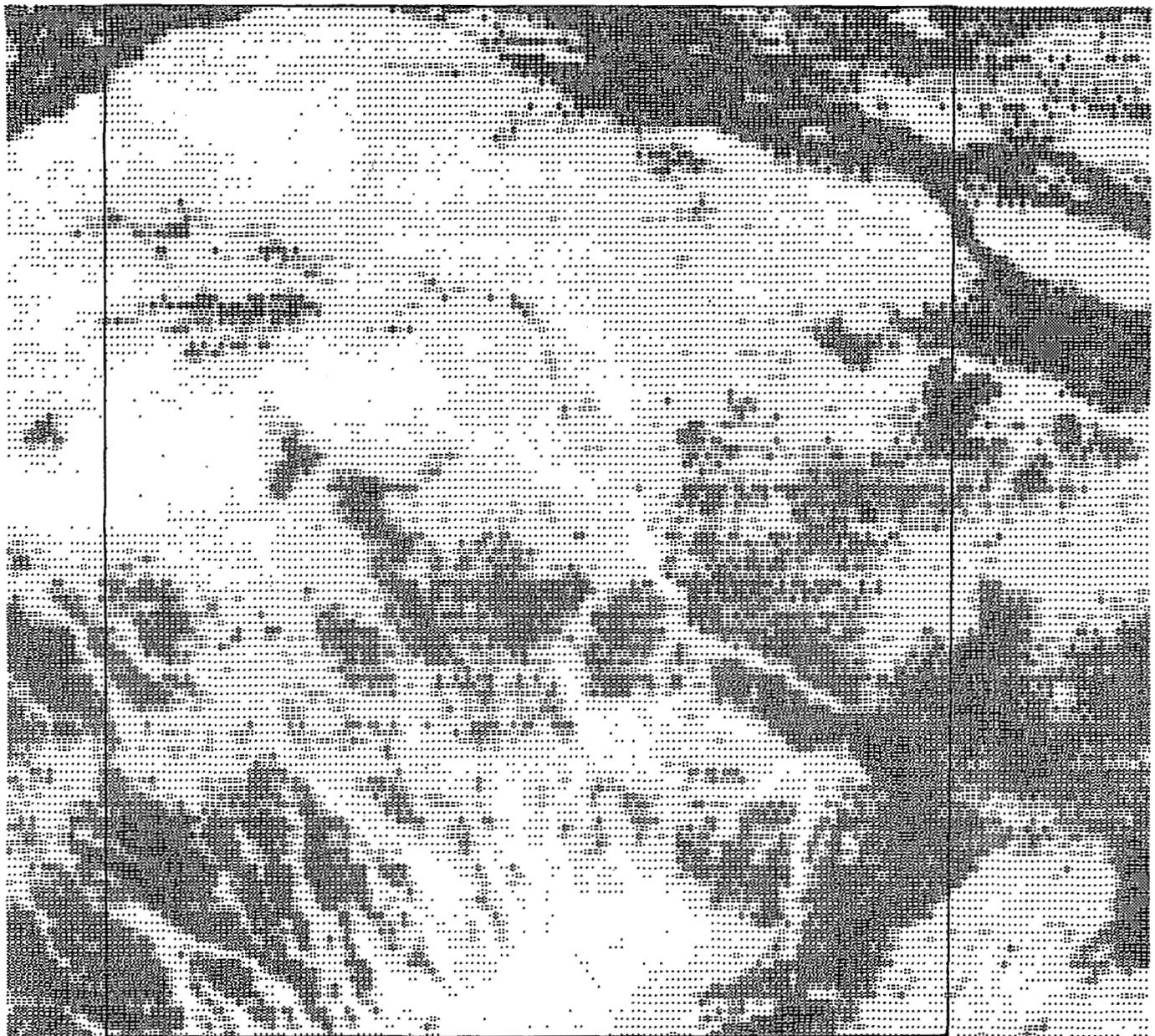


Figure 5 -  
Zone AZAK





NASA LANDSAT E-20355-09102- 12JAN76 C N17-13/E007-20 D204-048 N N17-17/E007-27

0 39\*\*\* \*\* 40 44\*\*\* \*\* 45 47 48 51 52 53\*\*\* \*\* 54 61 62 250

Canal 6 CADRE: L= 781 910 C= 401 600

0 5 10 km (environ) Bureau de Teledetection D R S T O M

Figure 6 - Traçage à l'imprimante de la zone Amumun  
 Résultat d'une dégradation des niveaux du Canal 6, incrément 1 (tous les pixels sont figurés).

La dégradation des niveaux a été effectuée à l'écran Pericolor en prenant appui sur les objets connus (voir figure 7) :

- A. anticlinal (plus exactement bombement faillé) d'Azelik, formation des grès d'Agadez, terrain sableux.
- B. lit majeur de l'Eghazer wan Agadez.
- C. prairie à *Aristida* et *Schoenefeldia*.

en cherchant les limites entre faciès différents des argiles et de leur couverture de cailloutis.

On a retenu 6 coupures :

40-44      45-47      48-51      52-53      54-61      62 et au dessus

La dégradation a été faite après l'examen du terrain et des photographies aériennes à 1/10 000, mais il est à noter que le chercheur n'avait pas ces photographies aériennes en main au moment de la manipulation, mais seulement des notes de terrain précises.

Le même travail a été effectué pour les canaux 4, 5 et 7. Le plus utilisable est le canal 5, suivi du canal 7. Le canal 4 n'a ici aucun intérêt.

Figure 7 - Croquis manuel issu de traçage précédent.

Pour mettre ici en évidence les grandes lignes du paysage plus visiblement que sur le document de travail précédent, on a généralisé les données du traçage en simplifiant les contours et en regroupant :

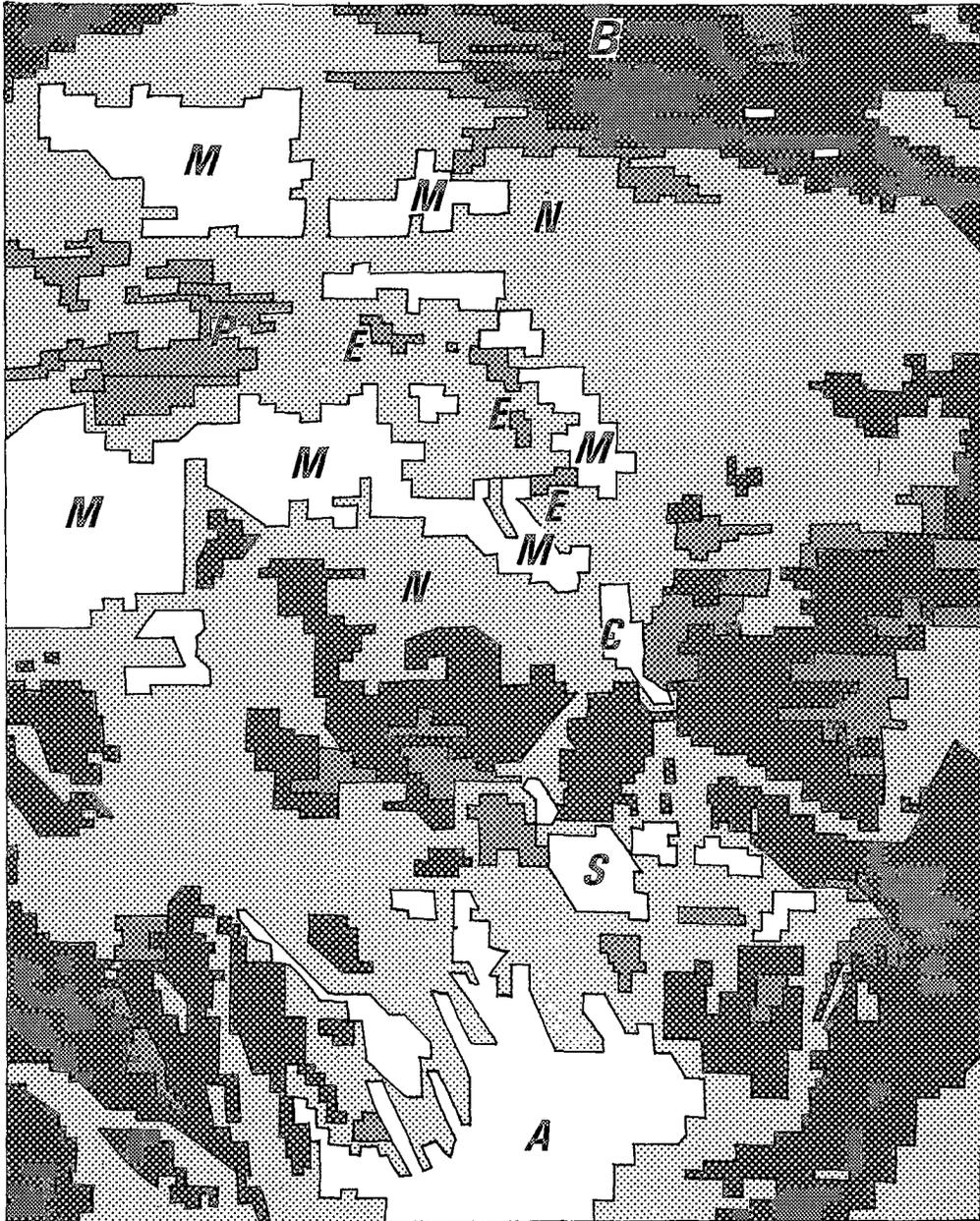
- les coupures 40-44 et 45-47 car l'ensemble 45-47 n'est représenté que par un très petit nombre de pixels.
- les pixels isolés de l'ensemble 52-53 avec l'ensemble 54-61.

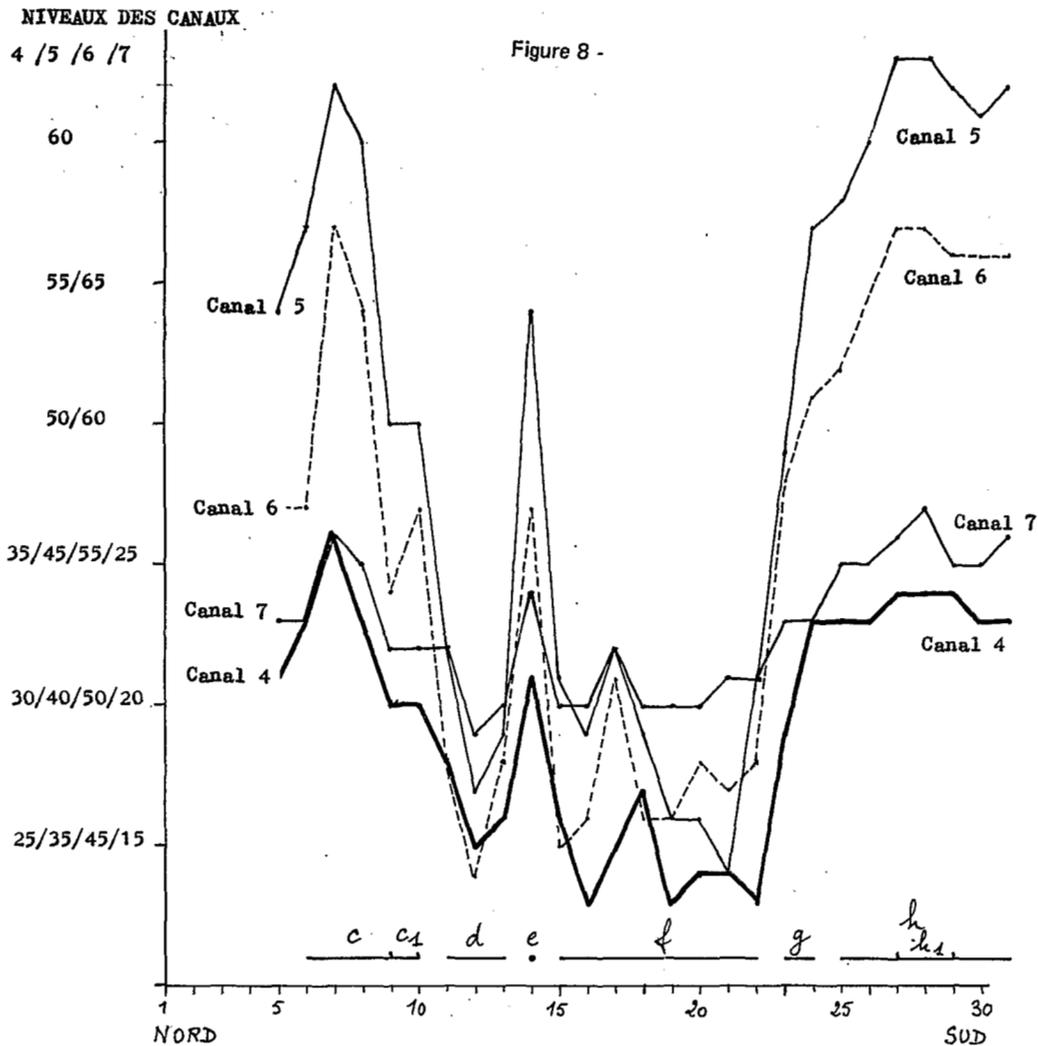
Légende descriptive :

- I. Niveaux 40 à 47, thèmes à basses réflectances non différenciables : roches nues non vernissées, cailloutis sombres, argiles bosselées à *Sorghum aethiopicum*.
- II. Niveaux 48 à 53, deux thèmes confondus : argiles piétinées et craquelées ; cailloutis moyens. On a isolé un « faciès sombre » en IIa d'un « faciès clair » en IIb pour conserver la convergence des écoulements en P et l'axe E.
- III. Niveaux 54 à 61, thème des argiles claires. Il constitue en quelque sorte le « remplissage » de la région. C'est bien le cas sur le terrain où il n'est d'ailleurs pas homogène mais plus ou moins recouvert de cailloutis moyens ou clairs par plaques plus ou moins vastes et plus ou moins denses. La frange basse des réflectances de ce thème se confond avec la frange des hautes réflectances du thème précédent quand les cailloutis deviennent suffisamment denses.  
Au thème des argiles claires s'ajoute ici un thème identifiable seulement, dans cette région, à la grande échelle qui est réalisée ici : celui des axes d'écoulement temporaire (kori), qui se présentent sous la forme de minces bandes sableuses, de largeur souvent inférieure au pixel, soulignée par endroits d'une ligne d'arbustes et d'herbes (*Acacia ehrenbergiana* dans la plupart des cas et *Panicum turgidum*).
- IV. Niveaux 62 et au-dessus : deux thèmes différents, indissociables ici :
  - 1 - sables à *Aristida* et *Schoenefeldia* (en C) où le thème *Aristida*, très couvrant à cet endroit (ancien jardin irrigué et fumé), masque les argiles sableuses du sol ; sables à *Panicum turgidum*, caractéristique de la formation géologique des grès d'Agadez, en A.
  - 2 - argiles très claires et très lisses (effet de luisance ?) des secteurs M.

Les analyses minéralogiques des échantillons d'argiles prélevés dans la moitié supérieure de la zone ont mis en évidence des différences de faciès correspondant aux différences de réflectance :

- dépôts lacustres en M et N
- dépôts lacustres remaniés fluviaux en P
- dépôts fluviaux en B.





Figures 8 et 9 - Exploitation d'une «mitraille» : étude détaillée de la forêt de Kerbubu.

Les deux coupes sont espacées de 800 m environ ; elles représentent 2,3 km sur le terrain.

Les hautes réflectances dans les quatre canaux correspondent aux thèmes 2 et 3, prairies à *Aristida* et *Schoenefeldia*, et surtout *Panicum turgidum* sur sables, caractéristique de la formation des grès d'Agadez sur laquelle se trouve la zone forestière.

Les basses réflectances correspondent à la forêt, linéairement disposée le long d'une nappe d'inferoflux alimentée par les pluies tombées de juillet à septembre sur un vaste bassin montagnard (vallée du Telwa), artificiellement retenue par des travaux modestes de génie rural effectués en 1975 et 1976.

Ces travaux d'aménagement et le bûcheronnage ont considérablement modifié le faciès de la forêt entre 1976 (date de la prise de vue satellite) et 1980 (date des observations sur le terrain), si bien qu'il n'a pas été possible de faire coïncider les coupes ci-contre avec un repérage précis sur le terrain. Néanmoins, la zonation longitudinale observée sur les coupes est évidente sur le terrain.

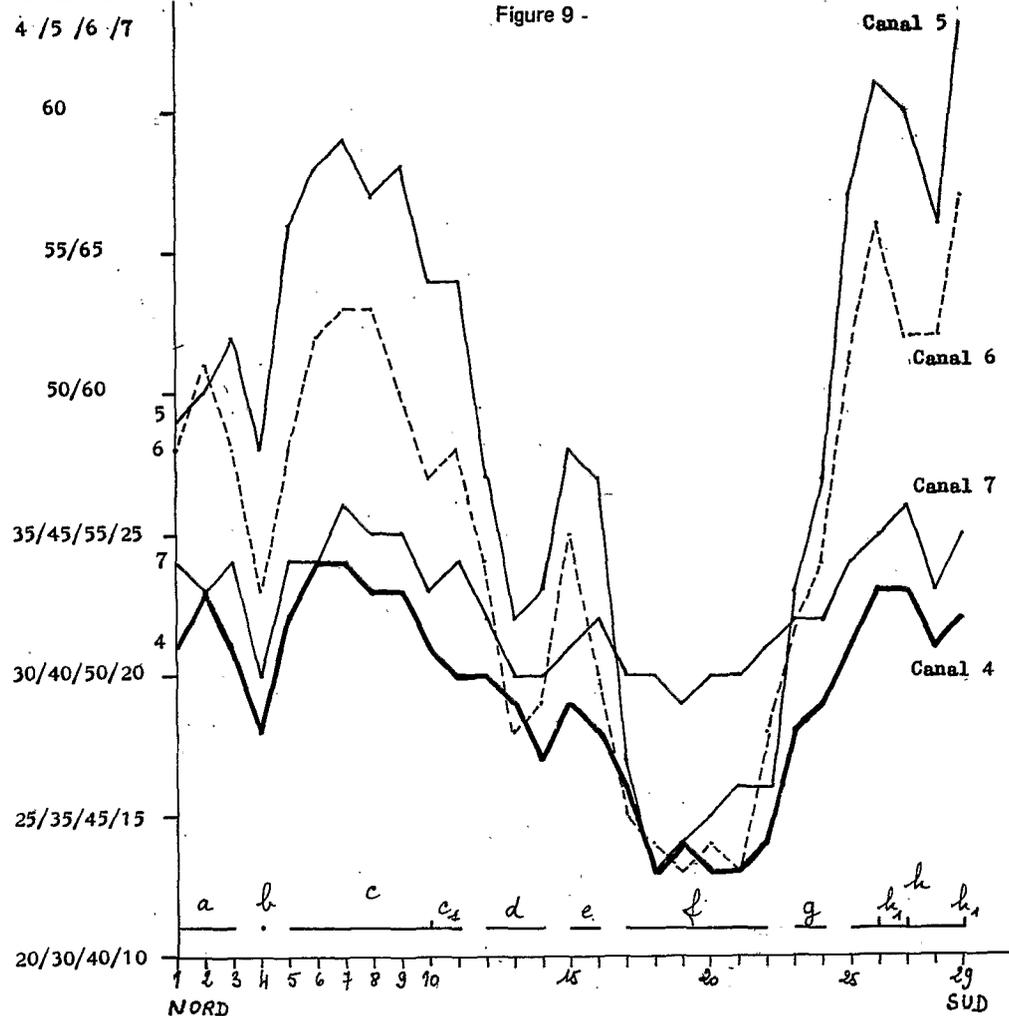
L'examen des valeurs dans chaque canal et des valeurs relatives de quatre canaux permet de dresser le tableau descriptif suivant :

- a. non identifié,
- b. zone rocheuse (confirmé par le terrain),
- c. formation des grès d'Agadez, milieu sec,
- c1. aire à couvert arboré perceptible quoique faible en milieu sec,
- d. zone forestière,
- e. zone semblable à c1 quoique plus réfléchante dans le canal 5,
- f. zone forestière principale, faciès différent de d,
- g. zone forestière faciès de type d,
- h. aire non forestière semblable à c,

NIVEAUX DES CANAUX

4 / 5 / 6 / 7

Figure 9 -



.....  
Après relevés sur le terrain, on peut proposer (avec les réserves ci-dessus) les interprétations suivantes :

- d. deux interprétations possibles : 1- ligne étroite d'afagag (*Acacia raddiana*) aux larges couronnes plus ou moins jointives, disposée le long d'un axe d'écoulement ; 2- jeunes tamat (*Acacia ehrenbergiana* en peuplement très dense),
- cl, e, g. *Acacia ehrenbergiana* plus ou moins denses, ou bien *Acacia ehrenbergiana* jeunes, bien identifiés en g, liés aux travaux hydrauliques,
- f. aire de peuplement dense d'arbres adultes aux couronnes jointives : *Acacia ehrenbergiana* très dominant, secondairement *Acacia raddiana* et *Acacia nilotica*,
- c et h. formation caractéristique des grès d'Agadez en milieu sec : sables avec couverture herbacée discontinue, *Acacia ehrenbergiana* épars et rares,
- h1. forêt morte très ensablée, sables vifs.

L'examen des courbes permettra de sélectionner et fixer les lots d'une combinatoire.

Figure 10 - Croquis des paysages végétaux.

Carte manuelle, rapidement établie d'après les images diazo à 1/200 000 et 1/500 000, vue du 12 janvier 1976, après identification des thèmes décrits précédemment.

Légende :

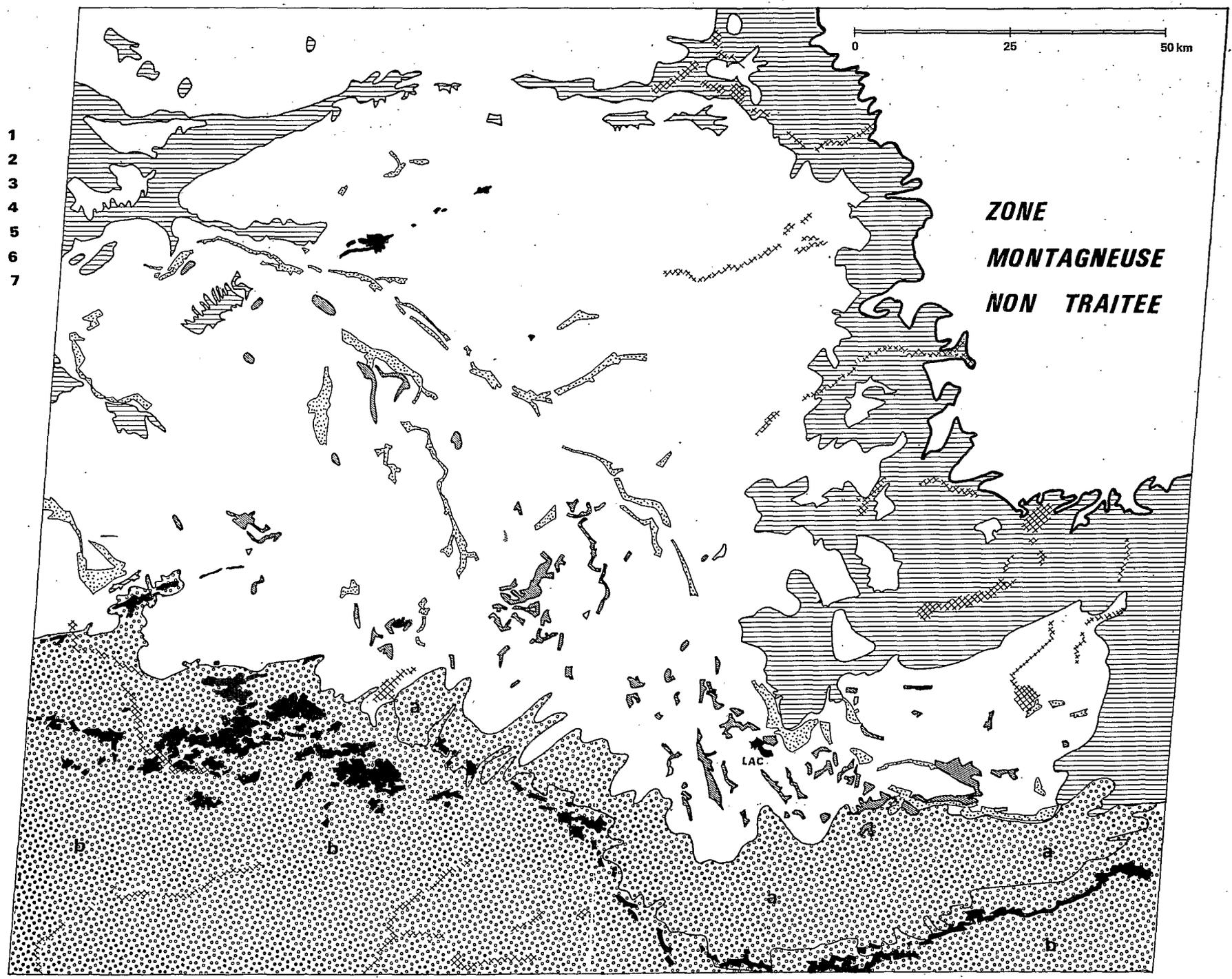
1. Prairies à graminées annuelles, sur argiles,
2. Zones sableuses à couvert discontinu d'herbes vivaces et d'*Acacia ehrenbergiana*,
- 3a. Formation du piémont de la falaise de Tigidit,
- 3b. Formation du plateau de la Tadarast,
4. Aires susceptibles de porter du Sorgho sauvage (*Sorghum aethiopicum*) en cas de pluies abondantes,
5. Aires forestières agoras (couverture arborée continue),
6. Aires à couverture végétale faible ou très faible en saison sèche,
7. Rochers nus et cailloutis absolument stériles.

Cette figuration est destinée à servir de fond à une carte de la répartition des points d'eau (établie d'après des sources classiques) et constitue l'un des éléments d'une synthèse des comportements pastoraux actuels.

- 1 
- 2 
- 3 
- 4 
- 5 
- 6 
- 7 

0 25 50 km

**ZONE  
MONTAGNEUSE  
NON TRAITEE**



O.R.S.T.O.M.  
Composition - Impression  
S.S.C. BONDY

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

*Direction générale :*

24, rue Bayard - 75008 PARIS

*Service des Publications :*

70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY

---

O.R.S.T.O.M. Éditeur  
Dépôt légal : 4e trim. 1981  
I.S.B.N. : 2-7099-0617-1