

TELEDETECTION ET ARCHEOLOGIE A ECHELLE REGIONALE : UNE OPERATION SUR LES DONNEES LANDSAT

Yveline PONCET,
Géographe

ORSTOM, 24 rue Bayard, 75008 - PARIS
RCP 322 du CNRS, 27 quai de la Tournelle, 75005 - PARIS

L'exposé oral présenté au cours du Symposium est l'illustration commentée du présent document au moyen de photographies des données spatiales et du terrain.

Les travaux de télédétection spatiale cités dans ce texte et les illustrations ont été mis au point avec la collaboration du Bureau de Télédétection de l'ORSTOM, route d'Aulnay, 93140 - BONDY.

L'expérience qui est décrite ci-dessous se déroule en République du Niger, en zone saharo-sahélienne. Elle concerne une recherche pluridisciplinaire d'intérêt archéologique dont les deux principaux objectifs opérationnels étaient les suivants :

- prospecter une aire couvrant plusieurs degrés carrés et relever tous les sites archéologiques de surface identifiables ;
- les replacer les uns par rapport aux autres dans un contexte chronologique et géographique permettant de tracer, dans la mesure du possible, un tableau de l'évolution du peuplement et des genres de vie depuis les indices cohérents les plus anciens (Néolithique) jusqu'à la période actuelle.

Les travaux ont été menés par une équipe pluridisciplinaire : archéologues, géographes, anthropologues, sociologues, historiens, linguistes, depuis la préparation des travaux sur le terrain jusqu'à la restitution des résultats. L'utilisation des données spatiales a été, au sein de l'équipe, l'une des contributions des géographes.

Avant d'exposer plus avant le détail des objectifs, des méthodes et des résultats d'une telle opération, il convient que soient cités quelques éléments préalables à la saisie du sujet :

- la recherche entreprise n'est pas entièrement achevée : ce qui en est présenté ici est une phase avancée mais non absolument complète, notamment en ce qui concerne certains détails méthodologiques ;
- cette opération n'a pas connu un déroulement opérationnel logique pour des raisons multiples parmi lesquelles les problèmes budgétaires et l'éloignement du terrain par rapport aux bases pèsent lourdement ;
- on a posé comme postulat (non encore infirmé jusqu'ici dans la région étudiée non plus que dans les régions voisines ou comparables) que les sociétés qui ont laissé des vestiges indiquant un habitat sédentaire ont connu un environnement naturel *plus humide que de nos jours* et inversement que les sociétés qui ont laissé des vestiges indiquant un genre de vie nomade (1) ont connu un environnement naturel aussi sec ou plus sec que de nos jours, sécheresse et humidité s'évaluant évidemment de façon très relative.
- le territoire sur lequel s'est déroulée l'opération se prête particulièrement bien à l'utilisation des données Landsat et à la prospection archéologique de surface parce qu'il ne présente pas de couche pédologique actuelle (qui aurait recouvert tous les vestiges) et parce

qu'il porte peu de végétation : celle-ci ne dissimule pas la surface du sol ; en conséquence, les opérations citées ici ne paraissent guère répétées sous la même forme dans des milieux très différents.

Après avoir brièvement situé la région dans son contexte géographique, nous exposons successivement l'intérêt des données Landsat pour notre propos, la façon dont elles ont été utilisées et les résultats, les lacunes et les problèmes d'utilisation.

1. LA REGION D'AGADEZ

La région étudiée est désignée sous le nom de « région d'Agadez » (du nom de la capitale régionale qui exerce ces fonctions depuis le XVI^e siècle), « bassin de l'Eghazer wan Agadez » du nom du principal tronc hydrographique, « région d'In Gall - Tegiddan Tesemt » du nom des deux bourgades qui sont les deux héritières d'un long passé historique et les témoins actuels d'une remarquable continuité de l'occupation et des activités humaines dans la *région* (2).

Le bassin de l'Eghazer wan Agadez proprement dit est une plaine de 20 000 kilomètres carrés environ, occupée par l'Eghazer wan Agadez et par ses affluents, tous à écoulement temporaire. Il est limité à l'Est par le massif de l'Aïr, granitique et volcanique ; à l'Ouest et au Sud par le plateau de la Tadarast (*grès du Tegama*), vaste étendue monotone et ensablée qui tombe sur la plaine par une cuesta bien marquée, très escarpée par endroits, la falaise de Tigidit ; au Nord par des aires d'ensablement, sables fluviatiles issus de l'Aïr et sables éoliens, plus ou moins remaniés au cours d'épisodes successifs de dessèchement et de fonctionnalité fluviale.

Le bassin lui-même est une dépression périphérique classique, constituée pour la plus grande part de formations argileuses et argilo-sableuses du Continental intercalaire (les *argilites de l'Eghazer*), de formations sableuses et gréseuses de la même période (les *grès d'Agadez*). Il est traversé par un important jeu de fractures quasi-orthogonales et dominé par endroits par les buttes-témoins des *grès du Tegama* qui en constituent les rares accidents remarquables (Azusa, Anyokan, Teleginit). L'anticlinal faillé et le « horst » de Tegiddan Adrar, où surgissent les *grès d'Agadez au milieu des argilites de l'Eghazer* méritent d'être mentionnés en raison de leurs caractères minéralogiques particuliers : ils renferment des minerais de cuivre qui ont été exploités depuis la période post-néolithique et sont encadrés de sources permanentes plus ou moins salées.

Le bassin de l'Eghazer connaît actuellement une pluviométrie annuelle comprise entre 100 et 200 millimètres environ en moyenne, insuffisante pour entretenir un genre de vie sédentaire rural et une agriculture. Les habitants sont pour la plupart des nomades (Touaregs et Peuls) pratiquant l'élevage.

L'existence des trois villes est ancienne, fondée sur les salines (Tegiddan Tesemt), la palmeraie et les jardins (In Gall). Agadez est fondée sur le rôle ancien et toujours d'actualité de siège du sultanat, de relais commercial et aujourd'hui plus particulièrement de base arrière des activités minières (uranium et charbon). De minuscules établissements de jardiniers sont installés, de façon plus ou moins permanente, auprès des quelques forages artésiens...

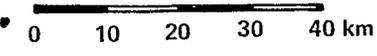
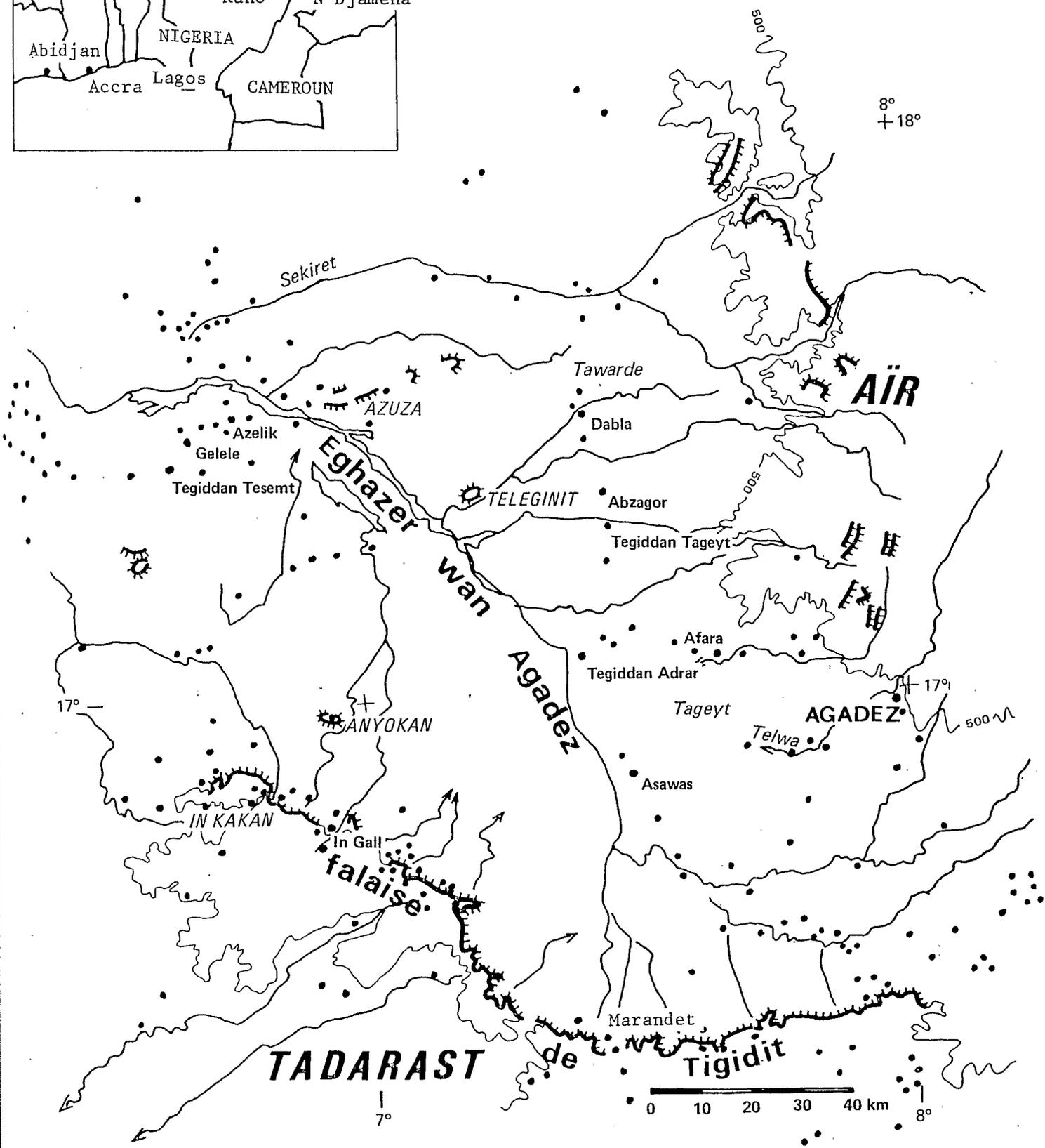
Les ressources en eaux de surface sont nulles pendant environ dix mois. La plupart des cours d'eau du bassin connaissent quelques heures, voire quelques jours de fonctionnalité pendant la saison des pluies : au cours de cette période, mares et gueltas se remplissent, et en septembre la région accueille plusieurs centaines de milliers de têtes de bétail et plusieurs milliers de familles de pasteurs pour la traditionnelle *cure salée*.

Pendant toute la saison sèche, les ressources en eau sont réduites aux puits, aux forages et à quelques sources permanentes (Azelik, Gelele, Dabla, Abzagar...) : sans être abondantes, elles ne sont pas limitées néanmoins.

Les pâturages sont constitués des tapis d'herbes annuelles et pérennes et des frondaisons des arbres et arbustes. Leur valeur est élevée en saison des pluies, elle diminue au fur et à mesure que s'avance la saison sèche.



• Sites archéologiques



Sur le plan archéologique, les travaux de prospection systématique ont livré environ 300 sites de surface dans le bassin et sur ses franges Nord, Ouest et Sud (3). Ces sites s'échelonnent, sur le plan chronologique, entre le Néolithique local (- 5000 environ) et la période sub-actuelle. Ils témoignent que des activités diversifiées se sont déroulées dans la région : pêche, élevage, fabrication du cuivre et du fer, agriculture irriguée... Ils ont livré de l'outillage lithique, de la céramique et des vestiges de métallurgie (4), des gravures rupestres indicatives de la faune (éléphants, autruches, antilopes, bovins...), des sépultures en très grand nombre, des restes d'édifices d'habitat et de culte qui peuvent être rattachées aux habitudes islamiques. Il faudrait évidemment faire une mention particulière pour plusieurs sites « intégrés » témoignant d'une occupation prolongée, illustrés par des récits de tradition orale tel celui d'Azelik, couramment rapproché de la ville médiévale de Takedda citée par Ibn Batuta.

2. LES MOTIFS DU « CHOIX SPATIAL »

Les dimensions de la région à étudier (qui sont de l'ordre de six degrés carrés en incluant les marges indispensables) et la minceur de la documentation existante rendaient difficile, dès l'abord, toute étude concernant le détail (géographique et thématique) du milieu naturel.

En effet, nous ne disposions, sur cette partie du territoire nigérien, que de cartes topographiques très insuffisantes et de cartes thématiques à petite échelle, trop générales dans la plupart des cas. Il existe certes des documents précis et détaillés sur certains sujets particuliers ou sur certains lieux particuliers, trop limités pour une exploitation efficace. Parmi tous les documents existants, les classifications de l'information étaient souvent inutilisables pour notre propos...

Il était donc indispensable, pour acquérir une bonne connaissance (une connaissance *opérationnelle*) des milieux naturels de la région (dans leur *nature* et dans leur *distribution géographique*) de se reporter à l'information brute, non traitée. Cette dernière est contenue dans deux sources : le terrain lui-même et les données de la télédétection.

Il est bien évident que dans toute prospection archéologique le terrain est une source d'information sinon unique du moins absolument essentielle ; cette source d'information est tout aussi indispensable au géographe... mais elle ne lui est pas suffisante : pour ce dernier, l'information doit être *homogène* et *spatialisée* surtout quand elle doit être cartographiée.

Or les photographies aériennes existantes n'offraient pas une qualité suffisante pour que l'investissement de leur achat et de leur exploitation puisse être considéré comme rentable : elles sont anciennes (1955-56), présentées sous petit format (18 x 18) et à petite échelle (1/70 000), peu contrastées. Comme elles n'auraient pas permis aux archéologues d'y déceler aisément des sites archéologiques (5), l'acquisition de la couverture complète (environ 3 000 clichés) n'a jamais été envisagée. Plusieurs dizaines de couples stéréoscopiques ont néanmoins servi d'échantillons pour la « vérité-terrain » de l'interprétation des données Landsat.

Les données Landsat en revanche sont apparues comme une source d'informations précieuse, susceptible d'apporter une aide considérable à l'étude des rapports entre peuplements et milieux naturels à la période présente et dans le passé.

La région à étudier est presque toute entière circonscrite dans une seule *scène* Landsat, ce qui garantit une information homogène. Par chance (car la disponibilité réelle des images Landsat en Afrique tropicale relève davantage du hasard que de la décision logique), la scène principale est couverte par plusieurs *vues* (6) de très bonne qualité enregistrées à des saisons différentes, ce qui permet des comparaisons et multiplie les facteurs discriminants de chaque thème.

Les données Landsat présentent des avantages qui leur sont spécifiques : en premier lieu, la dimension de l'espace restitué en une seule image (185 kilomètres x 185) permet d'étudier des ensembles de grandes dimensions (réseaux hydrographiques, contacts géologiques par exemple) et permet d'aborder des *systèmes géographiques* dans leur continuité spatiale ; partant, l'ensemble des espaces occupés par chacune des composantes du

E007-001
12JAN76 C N18-40/E007-43 N N18-37/E007-44 MSS

E007-301
7 R SUN EL35 AZ136

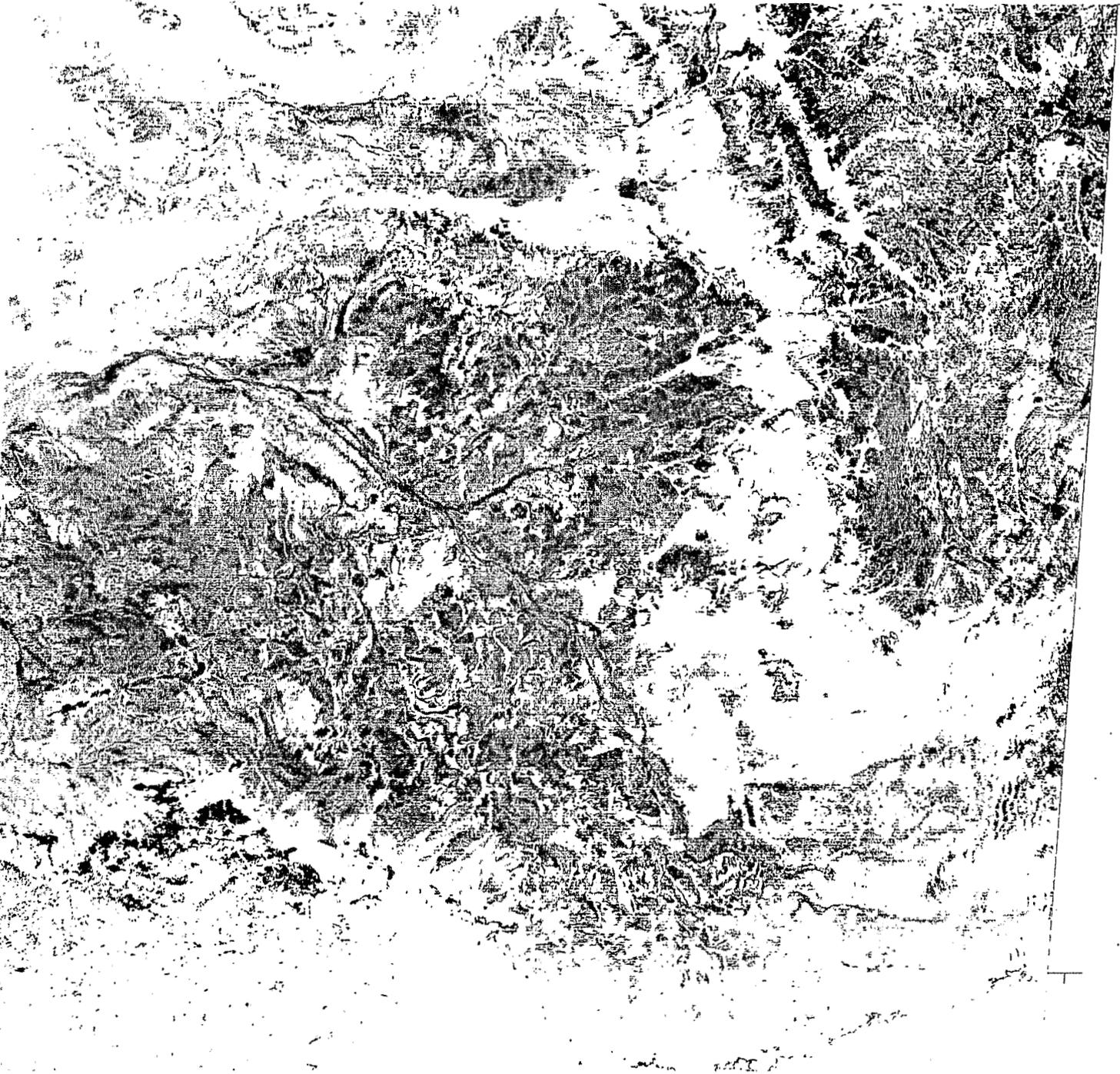
E008-001
189-4945-A-1-N-D-1L NASA ERTS E-2355-09100-7 02

E007-001

E007-301

N018-001 E008-001

MTN+



N 0 1 7 - 3 0 1

N 0 1 7 - 0 0 1

N 0 1 6 - 3 0 1

IN016-30
12JAN76 C N17-13/E007-20 N N17-11/E007-23 MSS

E007-001

E007-301
7 R SUN EL36 AZ135 189-4945-A-1-N-D-1L NASA ERTS E-2355-09102-7 02

MTN+

Tirage photographique à 1/1 000 000 de la vue Landsat 204-048 du 12 janvier 1976, canal 7.

Ce traitement met en évidence le contraste de réflectance entre les aires sableuses à végétation principalement herbacée (en clair) et les aires rocheuses, argileuses et caillouteuses dénudées (en sombre).

On notera la netteté du réseau hydrographique ancien et subactuel, rendu distinct par les alluvions sableuses et les montmorillonites des bas-fonds : ces dernières, très sombres, soulignent particulièrement le cours de l'Eghazer wan Agadez (diagonale sud-est nord-ouest sur la photographie). Dans la partie centrale du document (zone des argilites), les aires sombres et très sombres sont les plateaux caillouteux qui portent la plupart des sépultures tumulaires reconnues.

système peut être étudié par rapport au système tout entier et, ce qui est tout aussi important, par rapport aux systèmes voisins. En second lieu, les enregistrements Landsat livrent une information *multispectrale* en décomposant en quatre groupes les longueurs d'onde de la lumière : entre autres avantages, les données peuvent ainsi être restituées sous forme de *compositions colorées* recomposant artificiellement le spectre sous forme d'une image en couleurs dans laquelle l'oeil peut sélectionner, avec davantage d'aisance que sur les documents noir et blanc, des nuances et des seuils discriminants. Par ailleurs, les enregistrements Landsat sont effectués dans une partie de l'infrarouge proche, ce qui, dans de nombreux cas, livre des informations supplémentaires.

Enfin, les données Landsat peuvent être consultées et exploitées sous des formes variées pour des usages multiples, formes qui vont de la parfaite simplicité (la photographie noir et blanc) à l'extrême sophistication (tous les traitements à partir des données numériques), avec une vaste gamme de solutions intermédiaires. Il est donc possible d'adapter dans une large mesure le mode d'exploitation des données aux objectifs et aux moyens : l'exploitation numérique en particulier permet d'éviter un certain nombre d'inconvénients que présentent les données Landsat photographiques.

En effet, l'information qui est contenue dans les données Landsat (sous forme photographique et sous forme numérique) est fondamentalement différente de celle qui est contenue dans les photographies aériennes : ce ne sont pas des objets reconnaissables du paysage que restituent les satellites, mais l'ensemble des objets groupés dans la même unité d'enregistrement. La *tache élémentaire* d'un enregistrement spatial couvre une vaste surface de territoire (dans le cas de Landsat : 79 mètres x 56) et sa *valeur radiométrique* (l'intensité de lumière qu'elle renvoie vers le satellite) est une moyenne des valeurs de tous les objets qui s'y trouvent. On comprend alors que les objets du paysage ne soient pas discernables en tant que tels sur une image Landsat, comme les participants à un ensemble dans lequel ils entrent en proportion variable ; cette proportion peut varier non seulement dans l'espace (la plus ou moins grande densité d'un couvert végétal par rapport au sol nu par exemple) mais dans le temps (la densité des frondaisons en hiver et la densité des frondaisons en été).

C'est donc dans l'*interprétation* des données que réside la principale difficulté d'exploitation des données de télédétection spatiale.

3. DE L'INTERPRETATION AUX RESULTATS :

Dès lors que nous disposons des données Landsat, il devenait possible d'envisager, pour l'exécution de notre programme, des travaux d'investigation et de restitution à l'échelle *régionale* et non plus purement locale.

Pour répondre aux besoins de l'équipe pluridisciplinaire, les géographes utilisateurs des données Landsat se sont efforcés d'atteindre deux objectifs :

- inventories les types de formations de surface (sables, argiles cohérentes, cailloux, roches...), leurs dynamiques de mise en place et leurs rapports avec les sites archéologiques aux fins de faciliter (c'est-à-dire d'orienter, de rationaliser) les opérations de prospection sur le terrain ;
- replacer chaque site archéologique identifié, d'une part dans l'environnement naturel concomitant à sa chronologie et dans la dynamique des environnements depuis cette période ; d'autre part, dans les environnements successifs de la région tout entière, faisant large place aux environnements des groupes de sites qui présentent entre eux des relations de voisinage, de similitude, de complémentarité.

3.1. L'interprétation des données Landsat : problèmes et méthode.

Pour atteindre ces objectifs, il fallait franchir les barrages que constituent les problèmes d'interprétation spécifiques aux données spatiales auxquels nous avons fait allusion précédemment. Il n'est pas utile de s'étendre longuement ici sur les détails mais il n'est pas sans intérêt de signaler comment on a cherché à résoudre ces problèmes.

La principale difficulté que nous avons rencontrée dans l'interprétation des données Landsat est que nous travaillions en « terrain inconnu », plus exactement *mal connu* en ce qui concerne les types de paysages (7) traduits par des valeurs radiométriques : ni les cartes géologiques, ni les cartes de végétation disponibles ne pouvaient nous informer ; les cartes topographiques étaient insuffisantes ou inexactes ; seules les photographies aériennes et le terrain proprement dit pouvaient nous informer utilement en restituant le relief, les nuances des unités de paysages et les éléments d'interprétation de ces nuances.

Or, 20 ans séparent la prise de vue aérienne systématique de l'enregistrement Landsat principalement utilisé (1976) : des éléments importants du paysage naturel (concernant la végétation notamment) avaient changé, pour des raisons locales ou occasionnelles et pour des raisons exceptionnelles (la sécheresse générale commencée en 1969 entre autres). Les points d'appui étaient donc relativement incertains...

Par ailleurs, au commencement des travaux, la connaissance que nous avions du territoire par les observations de terrain n'était pas encore adaptée aux perspectives d'exploitation des données spatiales.

C'est donc à partir d'échantillons, choisis après stratification, que nous avons effectué l'interprétation des données.

La stratification a été fournie par l'examen des données Landsat de plusieurs dates différentes sous forme de compositions colorées. Cet examen a fourni la répartition et la liste des grandes *unités* de l'image et de leurs variantes, en teinte, en texture et en intensité de lumière réfléchie. On a présupposé qu'à chacune de ces unités d'image correspondait une unité de paysage et on a sélectionné, dans chaque unité, une ou plusieurs aires à étudier tout particulièrement afin d'identifier *l'unité de paysage correspondante*.

Les bases de cette identification ont été fournies par des échantillons de photographies aériennes et des études de terrain, délimités le long de transects afin de saisir les nuances du passage d'une unité à l'autre (en image *et* en paysage), les relations de voisinage entre unités (en image *et* en paysage).

Sur certaines aires, les données des photographies aériennes et les données du terrain ont été confrontées à une restitution très détaillée, très fine des données Landsat ; finesse à la fois par l'échelle : 1/100 000 à 1/20 000 au lieu du 1/500 000 de la composition colorée utilisée, et par la sophistication du traitement. La restitution en question a été effectuée à partir des données numériques en intégrant les divers niveaux d'information qu'elles contiennent par combinaisons mathématiques.

L'exploitation numérique des données a l'avantage de restituer l'information aux échelles aussi grandes que nécessaires ; elle propose le classement des valeurs radiométriques en 255 niveaux calés sur un zéro alors que l'image photographique n'est perçue par l'oeil humain que sous une vingtaine de nuances au plus... Enfin, elle permet des traitements statistiques, des comparaisons, des combinaisons (automatiques ou non) qui facilitent souvent le travail de l'interprète. Il s'agit cependant, il faut le dire, d'un type d'exploitation spécialisé, coûteux, exigeant un équipement spécifique non transportable (9). Nous ne l'avons pratiquée qu'à titre d'échantillon, sur des aires choisies préalablement et mieux connues que les autres.

Du concours des échantillonnages et des traitements - auxquels se sont ajoutés les documents rédigés et les cartographies existantes - est résultée l'interprétation des unités d'image et de leurs nuances. Par extrapolation, il n'était pas trop hasardeux d'effectuer l'interprétation de la scène Landsat tout entière. Certains éléments de cette extrapolation ont eux-mêmes fait l'objet de vérifications sur le terrain et sur photographies aériennes afin d'affiner certaines nuances et aussi de tester la validité de la méthode.

Les résultats ont été considérés comme fiables, compte-tenu des besoins et de l'échelle de travail et de restitution (1/500 000) qui, à vrai dire, n'exigeait pas une très grande précision.

3.2. Les sujets traités

Au cours du déroulement de l'opération d'intérêt archéologique qui est citée ici, la recherche de méthodes efficaces et légères d'interprétation des données Landsat s'est effectuée simultanément à la recherche archéologique proprement dite ; laquelle consistait d'une part en la prospection proprement dite sur le terrain (parcours systématiques, recueil des traditions, enquêtes auprès des habitants, ...), d'autre part en une juxtaposition des données archéologiques de nature différente (chronologies, types de vestiges, situation géographique, voisinage humain et environnement naturel, ...).

De cette triple réflexion a surgi la liste des *thèmes géographiques* qu'il importait d'étudier plus particulièrement parce qu'ils présentaient un intérêt pour les archéologues, les géographes et les anthropologues et parce qu'ils étaient particulièrement adaptés à une étude par télédétection spatiale et à une restitution cartographique.

Ces thèmes ont été regroupés en trois « familles » :

- *les formations de surface* (sables, cailloux, argiles, roches, formations des pentes), qui donnent des indications sur la dynamique des milieux (érosion éolienne des périodes sèches, érosion linéaire fluviale des périodes humides et de transition), sur la nature du milieu dans lequel se trouvait l'installation humaine qui a laissé les vestiges...
- *la végétation actuelle*, qui donne des indications sur l'utilisation actuelle des ressources (le pâturage pour le bétail des éleveurs) et sur la répartition géographique des éléments de la dualité régionale : terrains à forte capacité de rétention de l'eau, terrains à faible capacité de rétention de l'eau.
- *l'hydrographie actuelle, les traces d'hydrographie ancienne* et de façon générale toutes les traces d'érosion par l'eau (creusement, accumulation, transport) qui donnent des indications sur les ressources en eau des périodes *pluviales* disparues et éventuellement des éléments de chronologie relative.

L'inventaire des thèmes appartenant à ces familles a permis d'établir des bases méthodologiques en vue d'atteindre les deux objectifs cités plus haut : rationaliser la prospection archéologique, restituer les éléments de l'environnement naturel dans le présent et dans le passé. C'est-à-dire, plus modestement : orienter les hypothèses de travail et donner les éléments de validation ou d'infirmité.

3.3. La préparation à la prospection

Les premiers parcours sur le terrain qui se sont effectués à pied autour du site d'Azelik principalement ont montré que tels types de vestiges ne se rencontraient pas indifféremment sur tous les types de terrains. C'est ainsi qu'on peut rapprocher les sites dits « néolithiques » (à outillage lithique et céramique caractéristique) des hauteurs sableuses et des dunes fixées ; les sépultures tumulaires et les tombes des plateaux à regs et des pentes caillouteuses et que les vallées et anciennes aires lacustres à montmorillonites ne livrent que peu de vestiges à leur voisinage... Il devenait alors intéressant de rechercher si une telle répartition préférentielle était systématique. En effet, au cours d'une prospection, l'oeil et le cerveau, forcément limités dans leur expectative, « ne trouvent que ce qu'ils cherchent » : il y avait donc peut-être davantage de chances de trouver les sites là où on s'attendait en effet à les trouver. On pourra cependant objecter qu'un site de type inhabituel risquait ainsi de nous échapper...

Un second intérêt de la prospection raisonnée à partir des formations de surface réside dans le fait que certains vestiges sont inexistantes ou invisibles dans certaines conditions : les dunes récentes, les aires à ensablement contemporain ont pu recouvrir les indices de présence humaine. Selon la méthode employée ou l'intérêt thématique, on pourra négliger ces aires ou au contraire leur porter attention.

Les aires rocheuses, les éboulis, les pentes de certaines formations lithologiques contiennent, plus que d'autres, des sites rupestres. L'identification de ces lieux aux fins d'exploration systématique des surfaces favorables, n'est donc pas sans intérêt.

Enfin, une préparation raisonnée de la campagne de prospection sur le terrain peut permettre de réduire les parcours automobiles ou pédestres par le choix judicieux des secteurs et des itinéraires à explorer : ceci est d'un très grand intérêt dans des régions où les problèmes logistiques (distances, carburant, état et maintenance des véhicules et du matériel, état des voies de communication) représentent la contrainte la plus forte.

Pour des raisons qui tiennent aux impératifs de calendrier et de maîtrise des opérations successives exigées par le programme, la *préparation* à la prospection sur le terrain n'a pas été effectuée dans le bassin de l'Eghazer. Ce qui a été fait, par contre, c'est la vérification qu'il y a bien concordance entre certains types de sites (c'est-à-dire certains types d'installations humaines) et certains types de milieux naturels.

C'est ainsi qu'on a pu mettre en évidence la préférence des habitats néolithiques pour les secteurs sableux et leur éloignement généralisé des secteurs argileux ; la concordance entre regs à gros blocs et secteurs à tumulus...

Actuellement, la préparation aux travaux de terrain est en cours sur les régions de l'Azawagh, qui bordent, à l'Ouest et au Sud-Ouest, le bassin de l'Eghazer. Comme les opérations de terrain de ce programme ne se sont pas encore déroulées, il n'est guère possible de faire l'évaluation de la méthode pour l'instant.

3.4. *Archéologie et environnements naturels*

Point n'est besoin de rappeler l'intérêt de l'étude des environnements naturels pour la détermination des modes de vie, des types de ressources, des communications, dans les sociétés du passé. Pour la région d'Agadez, les milieux naturels du passé sont d'un intérêt tout particulier car ils étaient très différents de ce que nous y connaissons aujourd'hui : les ressources, les modes d'utilisation de ces ressources, les contraintes et les aises ont été vraisemblablement fort différents de ce que connaissent les populations actuelles.

Deux périodes au moins, depuis le début du peuplement attesté de la région (10) ont connu des conditions climatiques nettement plus humides qu'aujourd'hui, c'est-à-dire des ressources plus variées : une période dite *néolithique et post-néolithique* (entre 4000 et 2000 BP) ; une période dite *médiévale* (entre 1000 et 500 BP environ), la seconde moins humide que la précédente.

Les traces laissées par les écoulements fluviaux, les matériaux laissés sur place et l'extension des aires concernées peuvent informer sur certains caractères du milieu naturel de ces périodes : c'est ainsi que les montmorillonites qui tapissent les fonds des grandes vallées et certaines aires de type lacustre témoignent d'un écoulement permanent et lent, d'un faciès marécageux du milieu hydrographique avec une végétation abondante : ce milieu probablement riche en produits de cueillette, de chasse et de pêche, devait aussi être un milieu riche en inconvénients : inondations, prédateurs, insectes nuisibles et maladies car on ne trouve pas trace d'habitat à leur voisinage. Au contraire, les habitats se sont installés partout où l'environnement présentait des caractères variés et complémentaires : sur les sables (sains ?) à proximité des aires argileuses et des aires caillouteuses notamment.

Il n'est pas sans intérêt de rechercher si les sites à métallurgie ne sont pas placés auprès d'aires susceptibles de leur avoir fourni les matières premières nécessaires : minerai, eau, bois. On a vu précédemment que les gisements de cuivre de surface ou de sub-surface se rencontrent dans la région sur les contacts faillés ; les gisements de surface de fer sont constitués pour la plupart de formations ferritiques décapées par l'érosion : dans les deux cas, des indices de présence présumée sont repérables sur images Landsat.

Il n'est pas non plus sans intérêt de rechercher si tels types de sites (les sites « complexes » par exemple, qui témoignent de la continuité de l'occupation en un même lieu) se rencontrent toujours dans le même type d'environnement... Si telle lacune de la carte archéologique peut être mise en rapport avec une caractéristique particulière du milieu naturel ; si certains épisodes de creusement ou de remblaiement fluvial peuvent donner des indications chronologiques sur des sites non datables par ailleurs (le site d' Afara, par exemple, rupestres enfouis partiellement sous des alluvions sableuses « récentes »).

L'examen attentif de la nature des thèmes retenus et de leur répartition géographique a permis de révéler, dans la région d'Agadez, plusieurs détails importants, brièvement cités ici : dans la région de Tageyt, les traces d'un important écoulement hydrographique maintenant complètement abandonné, jalonné par plusieurs sites archéologiques très importants et peut-être par des sites non encore identifiés ; au pied de la falaise de Tigidit, on ne trouve que très peu de sites : ils sont vraisemblablement enfouis sous une couche d'accumulation très récente, très visible sur image Landsat ; on peut supposer (cela reste à vérifier) qu'il en est de même dans certaines parties de la vallée de Sekiret ; les dunes récentes qui barrent la partie sud-orientale de la plaine argileuse peuvent aussi dissimuler des sites...

3.5. *Archéologie et cartographie*

L'un des moyens de présenter la synthèse régionale des éléments archéologiques et des éléments géographiques sous une forme simple et de lecture instantanée est d'en effectuer la cartographie systématique. Les données Landsat au 1/500 000 ont permis la transcription directe des résultats à la même échelle, laquelle ayant été considérée comme suffisamment grande pour traiter la région avec les détails nécessaires en conservant un format maniable.

Les données archéologiques (localisation des sites et typologie rudimentaire) ont donc été cartographiées, de même que les données sur les environnements naturels qui ont pu être tirés, en première analyse, des données Landsat : végétation, géomorphologie (formations de surface) et hydrographies.

A partir de ces documents cartographiques qui constituent en quelque sorte un corpus de base, pourront être rédigés et tracés d'autres documents qui reconstituent en tout ou en partie les milieux anciens et les hydrographies des dernières périodes pluviales et leurs relations avec les habitats, les activités, les ressources concomitantes.

Une telle information reste à mettre en rapport avec les traditions mythiques et historiques (au moins en ce qui concerne la période sédentaire et « humide » la plus récente), avec des résultats d'analyses, de datations et de fouilles, avec les travaux historiques et linguistiques...

3.6. *Les travaux sur les régions voisines : l'Azawagh*

A la lumière des résultats obtenus sur le bassin de l'Eghazer, on a exploité les données photographiques Landsat disponibles sur les régions voisines, en particulier sur les aires fluviales et leurs bordures qui se trouvent en aval de l'Eghazer wan Agadez.

Cette exploitation avait les mêmes objectifs que précédemment : la préparation à d'éventuels travaux de prospection archéologique reliant ceux du bassin de l'Eghazer à ceux du Dallol Boso, beaucoup plus au Sud ; l'étude des milieux naturels actuels et ce qu'on peut en inférer sur les milieux naturels anciens afin de comparer les régions de l'Azawagh au bassin de l'Eghazer représente une exception en ce qui concerne les milieux naturels présents et passés, il peut aussi constituer une exception en ce qui concerne les peuplements passés.

Le résultat de cette exploitation, concernant cette fois huit scènes Landsat est une « carte physiographique » en cours de rédaction, carte des paysages actuels en quelque sorte, qui met l'accent sur les formations de surface et sur l'hydrographie, à l'échelle 1/500 000.

Cette carte est destinée à mettre en évidence les différents « pays » de cette vaste région et ainsi à préparer une éventuelle extension des travaux d'intérêt archéologique, testant et affinant les méthodes de travail déjà expérimentées.

4. CONCLUSION

D'après les pages qui précèdent, on voit quel est l'intérêt qu'il y a à exploiter les images Landsat pour certaines perspectives de travaux archéologiques : Landsat permet de traiter de façon « intégrée » de grands espaces ; en cela il complète et souvent dépasse les photo-

graphies aériennes ; il permet de traiter un thème ou un sujet de façon homogène, systématique et spatiale et de travailler rapidement ; il permet d'ajuster les méthodes aux besoins.

Ces qualités contribuent dans une très large mesure aux travaux de préparation des prospections archéologiques sur le terrain ; on sait que les pays d'Afrique entreprennent désormais de telles recherches sur leur territoire ; c'est le cas notamment du Niger et du Mali.

Les données Landsat permettent la mise en contexte des résultats archéologiques dans l'environnement naturel présent et passé : cette qualité n'est pas indifférente au moment où l'archéologie s'ouvre largement sur la continuité passé-présent et où ce n'est plus *le site* au sens ponctuel qui compte exclusivement mais tout autant *l'ensemble* auquel il appartient.

Mais l'exploitation des données Landsat (et des données spatiales en général) est plus délicate que celle des photographies aériennes ; les objets du paysages n'y sont plus reconnaissables et il faut une bonne expérience de l'outil (donc une formation préalable) d'une part, une bonne connaissance du territoire d'autre part, pour en tirer des informations systématiquement fiables. Par ailleurs, il faut savoir que sur les régions tropicales et notamment sur l'Afrique sud-saharienne, les données Landsat ne sont pas véritablement nombreuses et que leur utilisation sur une région précise peut ne pas se révéler aisément praticable.

Enfin, mais est-il vraiment besoin de le dire, l'outil Landsat ne peut en aucune façon (dans l'état actuel des techniques mises en oeuvre du moins) traiter de *l'objet archéologique* en tant que tel : aucun site n'y est discernable a priori, ni discernable.

Malgré ces contraintes, il ne semble pas douteux que l'information satellite aux définitions moyenne et grande (satellites Landsat et satellite Spot) devienne un outil d'usage courant donnant des résultats parfaitement positifs.

Les efforts que doit faire l'analyste pour interpréter les données spatiales, les efforts qu'il doit faire pour regarder le terrain en termes d'utilisation des données spatiales lui présentent les paysages sous une toute autre forme que celle qu'il pouvait connaître auparavant : nul doute que ce *nouveau regard* soit bénéfique aux disciplines liées aux sciences de la terre.

NOTES

(1) Nos travaux ont montré que les éleveurs nomades qui occupent actuellement la région ne laissent aucune trace non dégradable de leur existence.

(2) In Gall et Tegiddan Teselt sont deux bases de prospection de l'uranium et donc les foyers d'un territoire précisément menacé sur le plan archéologique. C'est ce territoire qui a été tout particulièrement étudié dans le cadre du *Programme Archéologique d'Urgence* qui porte leur nom.

(3) Le massif de l'Air, à l'Est, ne faisait pas partie du programme et n'a donc pas été étudié.

(4) La date la plus ancienne relevée sur un site de la région est $4\ 140 \pm 90$ (site à métallurgie d'Afunfun TAG 175).

(5) La tentative a été faite de repérer à l'avance, sur une dizaine de couples stéréoscopiques, les indices de présence humaine ancienne : sur les photographies au 1/70 000, elle n'a pas donné de résultats intéressants ; par contre, les couvertures partielles au 1/20 000 et au 1/10 000 en ont donné d'excellents et ont même permis de relever des vestiges non discernables au sol (les jardins à Azelik).

(6) Voir la signification du vocabulaire spécialisé page suivante.

(7) A l'heure actuelle, les données Landsat sont plus couramment utilisées pour étudier des territoires très bien connus dans leurs détails ou très accessibles.

(8) Vues des 7 novembre 1972, 28 mars 1975, 12 janvier 1976, 6 juin 1976.

(9) Les progrès rapides et constants de l'informatique légère laissent espérer que les données numériques fournies par les satellites d'observation de la terre pourront être utilisées de plus en plus aisément sur le plan technologique.

(10) Peuplement qui commence avec le Néolithique ; des traces paléolithiques existent certes, mais si peu nombreuses et si dispersées qu'on ne peut rien en conclure. Nous pensons que si la région était peuplée au Paléolithique et si ces populations ont laissé des vestiges matériels, ces derniers sont actuellement situés sous la couche argileuse ou sableuse superficielle, donc non discernés.

VOCABULAIRE SPECIALISE

Bande magnétique :

Restitution des valeurs radiométriques sous forme numérique, à lire par un ordinateur.

Canal :

Dans Landsat, les canaux restituent les mesures radiométriques dans les longueurs d'ondes suivantes :

canal 4 0,5 à 0,6 micromètres, correspondant au vert

canal 5 0,6 à 0,7 micromètres, correspondant au rouge

canal 6 0,7 à 0,8 micromètres, correspondant à l'infrarouge 1

canal 7 0,8 à 0,9 micromètres, correspondant à l'infrarouge 2.

Il s'agit dans les deux cas précédents de l'*infrarouge proche* (IRP) et non pas de l'*infrarouge thermique* (IRT).

Composition colorée :

Combinaison photographique superposant des films positifs monochromes de couleur différente. *Composition colorée standard* : superposition des films positifs selon le code suivant :

canal 4, jaune

canal 5, magenta (rouge)

canal 7, cyan (bleu).

Multispectral :

Qui utilise plusieurs domaines de longueurs d'ondes du spectre magnétique ; chaque domaine est appelé *canal*.

Photographie :

Restitution des valeurs radiométriques sur film négatif en divers tons allant du blanc au noir, à traiter par procédés photochimiques.

Réflectance :

Apptitude d'un objet à réfléchir l'énergie qu'il reçoit. Elle se mesure en niveaux d'énergie.

Scène, vue, image :

La *scène* est le périmètre de la surface de la terre restitué par une unité de données spatiales (photographique ou numérique). Dans le système Landsat, la *scène* est définie en longitude et latitude par la trace et le rang. La scène Landsat mesure environ 185 x 185 km sur le terrain.

La *vue* est définie, dans le système Landsat, par la trace, le rang et la date d'enregistrement.

L'*image* est définie par la trace, le rang, la date d'enregistrement et un type de traitement aux fins d'exploitation.

Tache élémentaire, tache, pixel :

Plus petite unité de territoire terrestre restituée sur les données de télédétection spatiale. La tache élémentaire de Landsat mesure sur le terrain 57 mètres x 79 mètres.

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

1. Sur le programme d'intérêt archéologique cité :

BERNUS, E. et PONCET, Y. (1981).-*Etude exploratoire du milieu naturel par télédétection, plaine de l'Eghazer*, Orstom, Paris.

Collectif RCP 322, à paraître : *La région d'In Gall et de Tegeddan Tesemt, Niger : Programme Archéologique d'Urgence*, trois volumes et un atlas, Etudes Nigériennes, IRSH, Niamey.

2. Sur la télédétection spatiale :

REEVES R.G. (1975).- *Manual of Remote Sensing*, American Society of Photogrammetry, Falls Church, U.S.A.

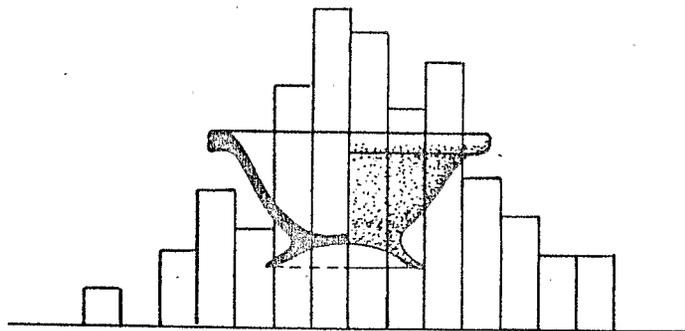
ORSTOM-Télédétection (1977).- *Les satellites d'observation de la terre : Landsat*, Orstom, Paris.

COUZY, A. (1981).- *La télédétection*, collection Que sais-je ? n°1919, PUF, Paris.

VERGER, F. (1982).- *L'observation de la terre par les satellites*, collection Que sais-je ? n°1989, PUF, Paris.

982009

REVUE D'ARCHÉOMETRIE



BULLETIN DE LIAISON DU GROUPE DES MÉTHODES
PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE L'ARCHÉOLOGIE

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 24206

Cpte : B ex 1 18 11

PB 1614