



HAL
open science

Rapport final du programme Synthèse et généralisation, par télédétection, des recherches géomorphologiques sur la marge nord-saharienne

Vivianne Balland, Yann Callot, Cécile Cornet, Pierre Oliva, Pierre Rognon,
André Simonin, Thea Vogt

► To cite this version:

Vivianne Balland, Yann Callot, Cécile Cornet, Pierre Oliva, Pierre Rognon, et al.. Rapport final du programme Synthèse et généralisation, par télédétection, des recherches géomorphologiques sur la marge nord-saharienne. [Rapport de recherche] ATP Télédétection spatiale - CNES-CNRS. 1985. hal-01622597

HAL Id: hal-01622597

<https://amu.hal.science/hal-01622597>

Submitted on 24 Oct 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

U.A 722 PALEOCLIMATS ET PALEOENVIRONNEMENTS EN REGION ARIDE

LABORATOIRE GEODYNAMIQUE DES MILIEUX CONTINENTAUX

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

PARIS

RAPPORT FINAL DU PROGRAMME
SYNTHESE ET GENERALISATION,
PAR TELEDETECTION, DES RECHERCHES
GEOMORPHOLOGIQUES SUR LA MARGE
NORD-SAHARIENNE

ATP TELEDETECTION SPATIALE

CNES - CNRS

RAPPORT REDIGE PAR BALLAND V., CALLOT Y., CORNET C.,

OLIVA P., ROGNON P., SIMONIN A., VOGT T.

PARTICIPANTS AU PROGRAMME

ROGNON P. : UA 722 - Université P. et M. Curie - Responsable scientifique du projet

BALLAND V. : Université Paris I

BALLAIS J.L. : Université de Caen

CALLOT Y. : UA 722 - Université ORAN ES SENIA

CORNET C. : UA 722 - Université P. et M. Curie

JOLY F. : Associé UA 722 - CERCG du CNRS - Université Paris VII

OLIVA P. : UA 722 - Université Aix Marseille II

SIMONIN A. : Associé UA 722 - CERCG du CNRS

VOGT T. : Université Louis Pasteur Strasbourg

PREMIERE PARTIE

RAPPORT GENERAL

INTRODUCTION

I - MOTIFS ET OBJECTIFS DU PROGRAMME

Dans le cadre de l'U.A. 722 (ancienne E.R.A. 684) "Paléoclimats et paléoenvironnements en régions arides" les membres de l'équipe de l'A.T.P. ont conduit des travaux sur la géomorphologie des régions arides et semi-arides de la bordure nord du Sahara. Cette zone de contact, particulièrement intéressante car sensible aux modifications climatiques et écologiques, a fait l'objet de nombreuses monographies, de publications diverses, d'essais de cartographie ponctuelle, etc... Pour dépasser le seuil d'efficacité atteint par ces recherches, il est devenu indispensable de synthétiser, quantifier et extrapoler ces résultats discontinus, à l'échelle de l'ensemble du piémont atlasique. La cartographie géomorphologique constitue la synthèse de la recherche géomorphologique, nécessitant la généralisation, l'harmonisation des graphies, symboles et légendes et, par là, celle des concepts.

Cette entreprise se heurtait à la difficulté matérielle d'assurer une couverture cartographique valable et exhaustive de l'ensemble de cette immense région allant de l'Atlantique au Golfe de Gabès. La télédétection constitue, pour des approches synthétiques à l'échelle du 1/1000.000 au 1/500.000, l'outil le plus efficace pour assurer la continuité de l'observation et l'extension et la généralisation des réalités du terrain. La téléanalyse s'érige elle-même comme une technique de recherche élaborée permettant d'appréhender de nouveaux aspects de la géomorphologie (dynamique et cinématique éolienne, par exemple) et de renouveler l'approche de certains thèmes de recherches (expression énergétique des faciès carbonatés, les altérations, etc...).

Il devenait donc urgent que la recherche géomorphologique coordonne ses efforts dans la télédétection, tant pour renouveler sa créativité que pour défendre sa crédibilité sur le plan scientifique. C'est ce que notre équipe a voulu réaliser, mettant au service d'une science nouvelle ses connaissances traditionnelles.

Au cours de ces dernières années nous avons effectué un inventaire régulier des données géomorphologiques, parmi lesquelles les thèmes suivants ont été plus particulièrement étudiés :

- croûtes et encroûtements carbonatés ou gypseux,
- formes et formations dunaires,
- dépôts de loess péri-sahariens,
- altérations et paléosols,
- dépôts de dépressions salées (sebkra, chotts).

Ces termes s'accordent avec l'utilisation des techniques de la télédétection : les spécifications Landsat correspondent bien à l'expression de ces phénomènes à une échelle suffisamment précise pour couvrir la zone étudiée.

La pratique systématique des analyses visuelles d'images de télédétection sur des régions déjà expérimentées par quelques chercheurs de l'U.A. nous a conduits depuis plusieurs années à rechercher dans les traitements des données satellitaires les moyens d'améliorer l'identification et la discrimination des objets géomorphologiques reconnus sur le terrain. Cette démarche exploratoire s'est révélée fructueuse sur plusieurs plans :

- nécessité d'expliciter et d'affiner le contenu des concepts traditionnels,
- intégration d'informations nouvelles enrichissant la connaissance des phénomènes étudiés,
- recherche de techniques d'amélioration des données par traitements statistiques,
- création d'une néo-taxonomie justifiant les seuillages des classifications dans les essais de généralisation axés sur la méthodologie et effectués sur des moyens du CTAMN, de l'ENSJF ou de l'ORSTOM. Ces essais ont permis la publication de premières cartographies thématiques (voir travaux effectués).

Ces résultats ont conduit l'équipe à développer un axe de recherche spécifique "Télé-détection et cartographie des formations superficielles sur la bordure nord du Sahara" qui a sollicité et bénéficié d'une aide de l'A.T.P. Télé-détection en 1982, renouvelée en 1983.

II - L A D E M A R C H E S U I V I E

Les travaux réalisés sur le plan de la télé-détection se sont articulés sur les axes suivants :

1° - Adaptation des méthodologies et des techniques de traitement d'images à l'étude des régions arides et semi-arides. En vue de :

- développer des techniques d'images visuelles (enhancement) en travaillant notamment sur les composants colorés des images (intensité, teinte, saturation) afin de fournir aux chercheurs des documents analogiques optimisés, permettant de caractériser le comportement spectral des principaux objets d'étude.
- de rechercher des indices ou ratios exprimant la réalité zonale de certains types d'affleurements communs à toute la bordure nord saharienne.

2° - Développement d'une réflexion méthodologique sur le contenu taxonomique des données de télé-détection, et élaboration d'une légende intégrant la dynamique spectrale et la cinématique des objets géomorphologiques recensés par les méthodes traditionnelles. Cette démarche devrait contribuer à renouveler certains concepts et conduire à une nouvelle approche des processus et phénomènes.

Elle est étayée notamment par une redéfinition des référentiels de terrain permettant d'élaborer des modèles spéciaux. Les résultats obtenus sont portés sur des cartes au 1/500.000. A cette échelle, il n'est pas possible de représenter les dépôts quaternaires avec leurs limites précises. Aussi a-t-il été nécessaire d'élaborer une nouvelle taxonomie et une légende appropriée.

Il a donc fallu procéder à l'élaboration d'une légende généralisable à l'ensemble de la marge Nord-Saharienne dont le contexte est très différencié. La préparation de cette légende, qui était un préalable indispensable, a demandé réflexion et essais d'application, sans perdre de vue les possibilités, mais aussi les limites, des méthodes utilisées, ceci compte-tenu de l'échelle retenue : le 1/500.000.

3° - Réalisation d'une première couverture cartographique commune à une échelle du 1/500.000.

Afin de mener à bien cette entreprise, nous avons retenu, pour le moment, quatre secteurs

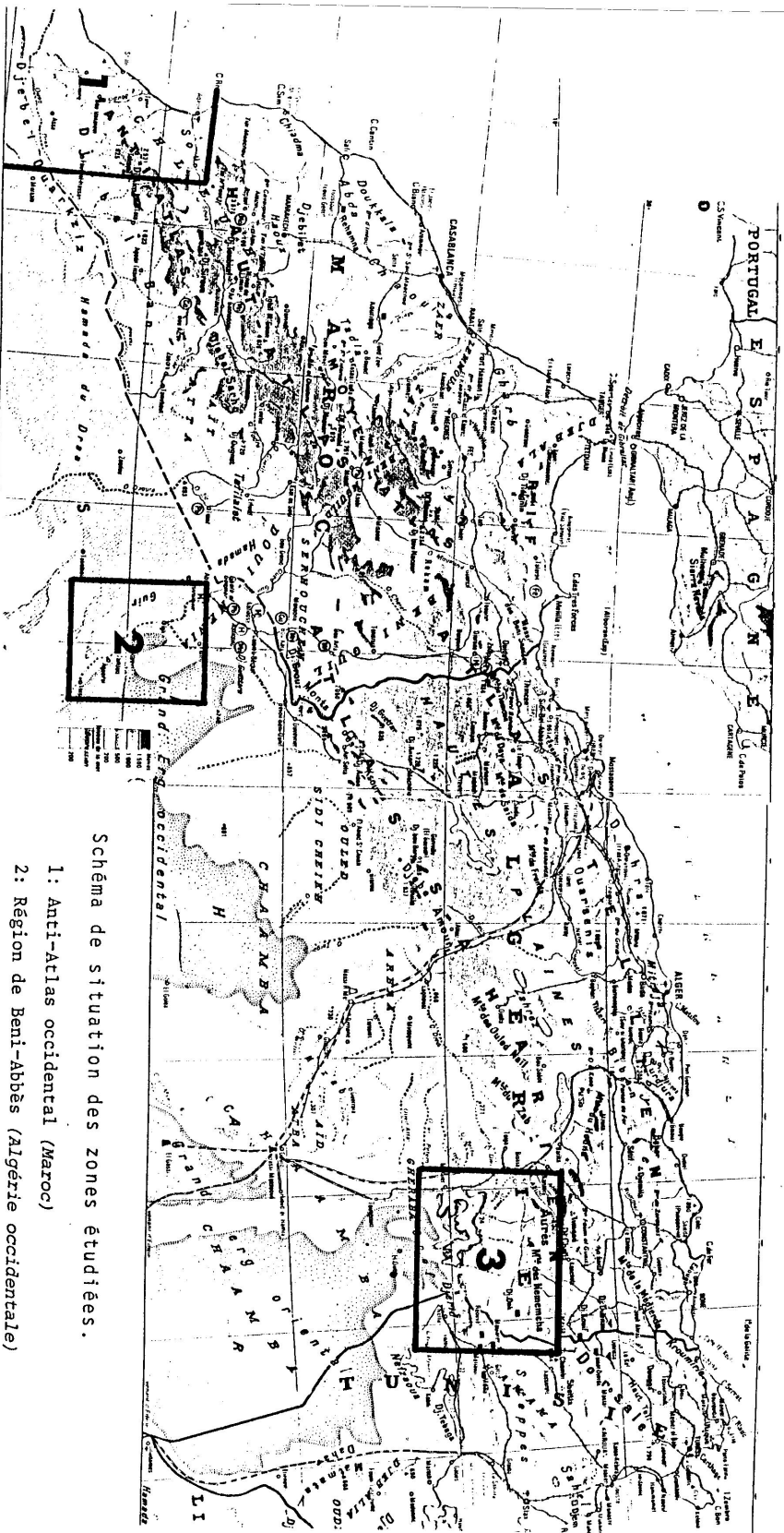


Schéma de situation des zones étudiées.

- 1: Anti-Atlas occidental (Maroc)
- 2: Région de Beni-Abbès (Algérie occidentale)
- 3: Région des chotts (confins algéro-tunisiens)

clefs, représentant chacun un domaine différent et complémentaire des autres quant à la connaissance de la marge Nord-Saharienne.

D'Ouest en Est, l'implantation des équipes de recherche se répartit de la façon suivante :

- au Maroc, (P. Oliva et Th. Vogt) : où il est possible d'étudier notamment les rapports entre dépôts continentaux et littoraux, les hamadas carbonatées, les croûtes calcaires épaisses.
- en Algérie occidentale, (C. Cornet et A. Simonin) : dans la région de Béni-Abbès, se distribuant entre le domaine hercynien, essentiellement gréseux de la chaîne d'Ougarta où se pose le problème des patines, la hamada carbonatée du Guir avec ses encroûtements superficiels et ses regs, et les épandages détritiques du piémont atlasique de la fin du Pliocène et du Quaternaire.
- en Algérie centrale, (Y. Callot) : dans un secteur jouxtant le précédent, sur le piémont de l'Atlas saharien et le Grand Erg Occidental où sont abordées les questions de structure des ergs et de migration des sables, fondamentales pour l'appréhension des phénomènes de désertification.
- en Algérie orientale et en Tunisie (J.L. Ballais et V. Balland) : aux pieds de l'Aurès et des Némentchas, dans les chotts où l'accentuation de la subsidence, les dépôts gypseux et la déflation éolienne sont les thèmes majeurs.

Travaillant en liaison permanente, ces équipes ont confronté leurs résultats, mis au point une taxonomie de synthèse et réalisé la maquette de trois cartes morpho-géodynamiques au 1/500.000, l'une au Maroc, une seconde en Algérie occidentale, une troisième en Algérie orientale-Tunisie.

Prévues en impression offset, les cartes comprendront, sur chaque épure, deux scènes Landsat se relayant du Nord au Sud ou d'Ouest en Est, selon la répartition géographique du thème géomorphologique majeur de la région considérée. Le fond topographique sera celui du canal 7 de chaque scène au 1/500.000, amélioré et optimisé.

A - DEMARCHE METHODOLOGIQUE ET MOYENS

I - TRAITEMENTS GENERALISES SUR LES QUATRE ZONES D'ETUDE

1 - CHOIX DES METHODES DE TRAITEMENT

L'objectif du programme proposé, cartographie des formations superficielles et des phénomènes géomorphologiques de la marge Nord-saharienne, a guidé le choix des données satellitaires et des méthodes utilisées.

Dans ses principes généraux, la géomorphologie se définit comme l'étude descriptive et explicative des formes du relief, de leur genèse, de leur évolution dans le temps et de leurs relations dans l'espace. Il importe donc d'utiliser des données dont le support et la nature permettent :

- la reconnaissance et l'analyse du modelé (formes) en tenant compte du changement d'échelle (niveau de perception), et de son contenu (formations superficielles).
- l'identification et l'interprétation des phénomènes perçus, selon les méthodes d'analyse de l'espace, pratiquées couramment par les géographes (photo-interprétation).

Les données analogiques LANDSAT (visualisations sur films) répondaient le mieux à ces deux exigences, en permettant :

- la perception d'ensembles physiographiques et de formes topographiques majeures (unités spatiales) et des états de surface qu'elles sous-tendent (unités spectrales),
- la mise en oeuvre des méthodes d'analyses visuelles et de traitements photo-chimiques pour lesquels l'équipe disposait de deux laboratoires spécialisés : le CERCG du CNRS, à Paris, et le CTIG à Aix-en-Provence.

Les données numériques, pour leur part, auraient permis une caractérisation plus fine et paramétrée des états superficiels, mais offraient une approche moins satisfaisante pour la cartographie des formes du terrain, même majeures. Elles ont cependant été exploitées comme approche méthodologique sur des domaines précis dans deux des zones d'application et ceci dans le but d'évaluer les possibilités de traitements d'extraction automatique d'informations et de cartographie assistée par ordinateur, traitements envisagés ultérieurement dans le cadre du programme télédétection du laboratoire de Géodynamique des Milieux Continentaux.

Deux dernières considérations ont également guidé le choix des données : le coût financier des traitements numériques et des sorties cartographiques assistées par ordinateur, ainsi que les possibilités d'accès à des ateliers de traitement numérique d'image.

Pour la cartographie des données sur les 4 sites d'application, et en vue de la rédaction d'une légende généralisable aux marges Nord-Sahariennes, la démarche d'interprétation visuelle des données analogiques LANDSAT à l'échelle du 1/500.000, a été diachronique c'est-à-dire fondée au moins sur deux dates d'enregistrement, choisies en fonction des données climatiques (une en année ou saison sèche, la seconde en saison ou période humide). Ceci permettant d'évaluer les variations spatio-temporelles des phénomènes recensés.

En conséquence, les documents de travail mis à la disposition des investigateurs sont des compositions colorées des deux enregistrements de chaque scène, traitées sur support papier, en mode infra-rouge couleur.

2 - TELEANALYSE VISUELLE

La démarche suivie systématiquement sur les quatre zones d'application a été conduite selon la méthodologie habituelle d'analyse de l'espace, en vigueur en photo-interprétation, à partir des images infra-rouge couleur, selon un mode supervisé : l'identification des phénomènes étudiés reposant sur des données de terrain acquises soit antérieurement, soit au cours de l'exploitation des données de télédétection.

1) TELEANALYSE DIACHRONIQUE

La première phase de cette analyse a consisté en une partition de l'image (zonage) en une série de niveaux successifs et hiérarchisés pour chaque enregistrement d'une date donnée.

- Au premier niveau, il s'agissait de reconnaître et délimiter les unités physiographiques, correspondant aux domaines morpho-structuraux régionaux, s'appuyant sur la perception des grands ensembles topographiques majeurs connus de façon implicite.

- A un second niveau, dans chacun des ensembles ainsi circonscrits, il était possible de discriminer des sous-ensembles dont les contours sont basés soit sur des formes topographiques majeures, ou groupes de formes, perceptibles en tant que tels dans l'image, soit sur des unités individualisables se différenciant par leur dominante colorée.

Ces entités de niveau 2 correspondent à des ensembles morphogéodynamiques qui constituent les unités thématiques, à l'intérieur desquelles la résolution spatiale n'autorise souvent aucune perception des formes élémentaires du terrain et des formations qu'elles sous-tendent. Ces unités sont l'expression, dans l'image multispectrale, des secteurs régis par un même système morphogénétique (ou de systèmes associés) du terrain.

- Exemple : Sur le piémont raccordant les monts des Aurès à la dépression du Melghir (équipe n° 4), il a été possible de faire la discrimination entre des ensembles sableux, des ensembles de sebkhas ou de maaders, non matérialisés au sol par des topographies identifiables.

- Au troisième niveau, des subdivisions sont introduites dans les sous-ensembles thématiques par l'analyse de leur contenu spectral. Elles s'appuient sur des ruptures chromatiques entre les différentes teintes ou sont définies à partir d'un critère de décision, imposant une partition, dans le

cas d'un gradient progressif entre les intensités de teinte proche.

Ces unités de niveau 3, ou unités spectrales, isophènes dans leur composante colorée, constituent l'unité élémentaire cartographique qui correspond à un même état de surface. Cet état superficiel se caractérise par une plage colorée dans une même teinte, soit lisse et homogène, soit hétérogène si elle comporte des éléments internes texturant (notion de rugosité de surface et indice de rugosité).

Une classification de ces unités spectrales est alors possible, en tenant compte de leur appartenance à telle ou telle unité thématique, qui les replace dans un contexte morphogénétique.

Dans une seconde phase de cette analyse diachronique, il s'agit de comparer les résultats obtenus avec ceux auxquels on arrive en procédant de la même manière sur une autre date.

Les variations éventuelles du contenu des unités spectrales relèvent de deux cas de figure :

a) des unités spectrales changent de réflectance à chaque date, alors que d'autres restent comparables, d'où la notion d'instabilité ou de stabilité du comportement spectral.

b) Certaines limites entre les unités spectrales restent identiques, d'autres varient selon la date, avec, éventuellement, apparition de nouveaux contours à l'intérieur d'unités spectrales définies sur l'image de l'autre date.

Le zonage diachronique issu de cette comparaison affine à nouveau l'approche des états de surface à l'intérieur des unités thématiques en intégrant la dynamique spectrale et la cinématique des objets géomorphologiques recensés.

2) IDENTIFICATION DES ETATS DE SURFACE

Si les unités physiographiques (domaines morpho-structuraux) sont identifiables immédiatement grâce à la connaissance qu'en possèdent les auteurs, spécialistes des contrées nord-sahariennes, il n'en est pas de même en ce qui concerne les unités thématiques et les unités spectrales. Or il importe d'identifier ces dernières en vue de les interpréter et les cartographier.

Les états de surface des unités thématiques non dissociables sur les images LANDSAT, vu leur résolution spatiale, résultent des facteurs lithologiques, pédologiques et biologiques. La caractérisation dans l'image et la cartographie au 1/500.000 de ces états superficiels supposent donc une connaissance a priori de ces facteurs physiques (ainsi que de l'anthropisme éventuel), complétée par une analyse systématique de la rugosité, de la dissection au sein des unités thématiques et une classification diachronique de la luminance mesurée au sein des unités spectrales.

3) TELEANALYSE ET CARTOGRAPHIE DES PHENOMENES EOLIENS

L'analyse et l'interprétation des phénomènes éoliens caractérisant le grand Erg Occidental ont été conduites selon une méthodologie quelque peu différente de celle exposée ci-dessus : outre la composition colorée infra-rouge couleur et des tirages négatifs en noir et blanc, il a été utilisé une visualisation, en noir et blanc, sur papier positif au 1/500.000 du canal MSS 7, améliorée au niveau des contrastes, assurant une mise en évidence optimisée des phénomènes dunaires.

La nature et les caractéristiques au sol propres aux ergs [formes dunaires transmises dans l'image en éléments linéaires périodiques identifiables le plus souvent par leur ombre portée , accumulations sableuses sans le moindre relief perceptible , réflectance importante dans toutes les bandes spectrales] ont imposé la nécessité de procéder, dans un premier temps, à une démarche analytique recensant, en une typologie fine, chacune des entités dunaires ou des zones d'accumulation éolienne (cf. carte et légende dans la 3e partie). La cartographie synthétique compatible avec l'objectif cartographique d'ensemble de la marge Nord-saharienne, n'a pu être menée que dans un second temps.

4) LES DONNEES DE TERRAIN

La téléanalyse multispectrale et multitemporelle, en vue de la cartographie exhaustive exigeait une démarche en mode supervisé, donc fondée d'une part sur une connaissance générale a priori des thèmes géomorphologiques propres à chacune des zones d'étude, connaissance que possédaient les chercheurs impliqués, mais étayée, d'autre part, sur des sites témoins ou des transects judicieusement choisis, établis lors de recherches antérieures ou en cours.

Ces "vérités-terrain" devaient servir :

- à amorcer dans un premier temps la caractérisation des états de surface recensés dans les images et leur identification,
- à contrôler par ailleurs la validité de l'interprétation au cours de missions réalisées dans le cadre de la présente recherche.

Ce type de travail n'a pu être mené de manière identique sur chacun des secteurs expérimentaux retenus, du fait de l'état des connaissances plus ou moins avancés et des possibilités diverses de nouvelles missions sur le terrain.

Cette disparité a permis :

- de tester le seuil minimum de "vérité-terrain" nécessaire à la réalisation objective de la cartographie envisagée,
- de mettre au point des méthodes d'observations au sol qui renouvellent les levés classiques et les nomenclatures de terrain (néotaxonomie).

Sur deux des zones d'application cartographique (Anti-Atlas occidental et l'Est algérien autour du chott Melghir) des géomorphologues, conduisant de longue date des recherches sur chacune de ces régions, ont mené les investigations des données Landsat et réalisé les maquettes cartographiques.

L'Anti-Atlas occidental s'est révélé le domaine le mieux échantillonné spatialement au niveau de la connaissance du terrain, du fait :

- des levés géomorphologiques et des recherches effectués par P. OLIVA, depuis 1970,
- des cartes d'application réalisées, par ce même auteur, pour le compte de **la direction des Ressources en eaux** sur une grande partie de la région.

Dans le cadre de ce programme, cet avantage, ajouté à l'intérêt de ce massif qui présente des milieux contrastés, dus à la double influence océanique et désertique conjuguée à des effets

d'altitude et d'exposition variés, a conduit à privilégier ce secteur dans l'attribution des moyens mis en oeuvre pour tester une démarche méthodologique expérimentale allant du terrain à la réalisation cartographique.

Le contrôle sur le terrain a été mené au cours de deux missions réalisées en 1983 et 1985. La première (P. OLIVA, A. SIMONIN, T. VOGT) avait pour but la caractérisation des réponses spectrales de taxons géomorphologiques et biogéographiques échantillonnés au long de transects de 300 kms de Sidi Ifni au Foms du Bani, à l'aide d'un radiomètre MATRA: 600 mesures radiométriques de terrain ont permis de mettre au point des modèles spectraux d'interprétation vis-à-vis des formations végétales naturelles ou dégradées, des croûtes et encroûtements carbonatés, des paléosols et des altérations.

Le second domaine, piémont oriental et chott Melghir, bénéficiait également de connaissances du terrain approfondies par les recherches géomorphologiques réalisées d'une part sur la Tunisie présaharienne limitrophe par R. COQUE, d'autre part sur le piémont sud des Nementchas par J.L. BALLAIS et V. BALLAND.

Deux missions ont eu lieu en Octobre 1983 et au printemps 1985. La première réservée à l'étude des chotts Melghir et Merouane, qui constituent l'originalité de cette région, a été accomplie avec l'aide de chercheurs de l'U.A. 722 et de l'Université de Constantine, spécialistes de ces milieux (J.L. BALLAIS, V. BALLAND, M. BENNAZOUZ, R. COQUE, A. LEVY). Elle a permis de préciser différents niveaux de terrasses lacustres et l'extension inégale de ces sebkhas au quaternaire, de faire les corrélations entre le façonnement éolien de longs cordons dunaires et l'évolution en sebkhas des couloirs interdunaires, de déterminer l'extension d'un erg fossile encroûté de gypse, de faire la différence entre certaines nappes sableuses plus riches en quartz et d'autres enrichies en gypse. La seconde vérification sur le terrain a été faite sur les bordures du Melghir par J.L. BALLAIS concernant le substratum encroûté de gypse sans voile éolien.

Le troisième secteur, correspondant à la région de Béchâr et de Beni-Abbes dans l'Ouest algérien, a connu une approche vérité au sol différente des précédentes, car il fut cartographié par des géomorphologues et géologues ayant eu peu ou pas de contact avec le terrain étudié : les données de télédétection sont devenues, en ce cas précis, un outil de prospection. Cependant les investigateurs (C. CORNET et A. SIMONIN) ont acquis une connaissance a priori grâce à de nombreux travaux de thèses ou publications sur cette partie du Sahara Nord-occidental : recherches fondamentales en géologie principalement (N. MENCHIKOFF, G. CONRAD, J. CHAVAILLON), mais également en géomorphologie avec les travaux de J. DRESCH, Y. DEWOLF et F. JOLY qui ont donné lieu à la réalisation d'une maquette géomorphologique de reconnaissance.

En ce qui concerne la morphologie dunaire des scènes Landsat inventoriées, la connaissance du terrain relève de l'expérience acquise par Y. CALLOT dans ses recherches actuelles au coeur du Grand Erg Occidental.

De 1979 à 1984, aucune mission de terrain n'a été possible pour des raisons administratives et de logistique (absence de véhicule tout-terrain). La collaboration de l'Institut de Géographie et d'Aménagement du territoire de l'Université d'Oran a permis en septembre 1985 une prospection des formations superficielles hamadiennes (C. CORNET, Y. DEWOLF, F. JOLY, A. KOUTI, A. SIMONIN, M. TAABNI). Antérieurement une seule mission de reconnaissance (transects) en vue de l'évaluation

des données satellitaires avait eu lieu en collaboration avec le Centre National d'Etudes et de Recherches en aménagement du territoire d'Alger (A. BELLATRECHE, Y. DEWOLF, F. JOLY, A. SIMONIN) à une période de précipitations exceptionnelles (décembre 1979). Ce manque de données de terrain a créé un handicap certain pour les investigateurs, handicap qui a montré les limites de la méthode pour la caractérisation supervisée des états de surface.

II - LES TRAITEMENTS EXPERIMENTAUX SUR SITES ET THEMES PRIVILEGIES

1) TRAITEMENTS ANALOGIQUES EXPERIMENTAUX

Une expérience systématique des données analogiques portant sur les deux enregistrements d'une même scène Landsat a été effectuée au Centre de télédétection d'Aix-en-Provence, au moyen de méthodes optiques pour élaborer une démarche paramétrée sur documents analogiques pouvant étayer la téléanalyse visuelle jugée trop qualitative.

Le choix de la zone d'application de cette recherche supposait une connaissance parfaite du terrain nécessaire à la mise au point de la méthode, ce qui a conduit à retenir l'Anti-Atlas occidental. Les traitements furent les suivants :

- des mesures densitométriques systématiques, raisonnées en fonction de la téléanalyse, furent menées sur composition colorée de chacun des enregistrements des bandes MSS Landsat 4-5-7. Ces mesures sont échantillonnées dans l'image au long de transects W-E, établis à partir de coupes topographiques et géologiques.

Les courbes obtenues à chacune des 2 dates pour l'ensemble des points sont recalées sur une échelle de valeurs de 12 classes permettant d'une part la réalisation d'histogrammes couplés (saison sèche, saison humide) pour chaque point mesuré des transects, d'autre part l'analyse de croisements des valeurs mesurées sur 2 canaux d'un enregistrement, ou sur le même canal à deux saisons différentes.

Cette caractérisation diachronique a permis l'évaluation du comportement spectral des unités ou complexes reconnus dans l'image, en fonction des problèmes propres à une zone d'étude : étude des formations carbonatées et dolomitiques, analyse du gradient climatique en fonction des états de surface, etc...

Un deuxième type de traitement photo-chimique dit de "réduction aux contours" a été mis en oeuvre sur la zone d'application n° 2 de l'Ouest algérien (Beni-Abbes) pour la détermination de différents taux de rugosité de surface du reg hamadien.

Enfin des mesures sous formes de pointes radiométriques ont été effectuées par une caméra de numérisation couplée à un PERICOLOR, sur des images Landsat au 1/500.000 (films positifs 4-5-7) pour différents sites tests de l'Anti-Atlas occidental, auprès de l'atelier numérique du laboratoire de télédétection de l'Université de St-Jérôme à Marseille pour la définition de "serpents radiométriques" à partir de cibles tests des plateaux bordiers, calcaires, des complexes biopédologiques et pédo-lithiques.

2) TRAITEMENTS DES DONNEES NUMERIQUES

Ils relèvent d'abord de tests des possibilités d'une cartographie assistée par ordinateur et de l'évaluation des données spectrales Landsat et multicenseurs.

Fonction des systèmes de traitements utilisés et des logiciels disponibles, ces approches furent principalement développées sur l'Anti-Atlas Occidental.

1) LES EVALUATIONS DANS UNE PERSPECTIVE CARTOGRAPHIQUE

Il fut procédé à des :

- Traitements interactifs sur PERICOLOR à l'Université de St-Jérôme (Marseille) en vue des tests systématiques de gradient de patine et d'encroûtement par rapport aux états de surface, dans l'Anti-Atlas occidental (P. OLIVA).

- Essais systématiques de classement et classification numérique des croûtes et encroûtements calcaires dans l'Anti-Atlas occidental auprès de l'atelier numérique du laboratoire de cartographie de Melle S. RIMBERT à l'Université L. Pasteur (P. OLIVA, T. VOGT).

- Caractérisation et classification des formations superficielles hamadiennes, des faciès primaires des chaînons d'Ougarta (sites témoins et généralisation) dans l'Ouest algérien, auprès du laboratoire de télédétection de l'E.N.S. Montrouge, du CIRCE (Orsay), et de Cartographie Thématique de Strasbourg (Université Louis Pasteur) (C. CORNET, A. SIMONIN).

2) EVALUATION SPECTRALE DES DONNEES NUMERIQUES

Celle-ci exigea :

- Des recherches systématiques d'indices et de ratios appliqués aux spectres de réflectance sur l'Anti-Atlas occidental : les résultats sont peu significatifs du fait de la tendance à la corrélation des valeurs spectrales dans différents canaux. Les tests similaires ont été effectués sur l'Ouest algérien où les méthodes des ratios ne permirent que la mise en évidence d'accidents cassants ou décrochants non inventoriés à ce jour.

- La définition du comportement spectral des phénomènes étudiés à partir de données multicenseurs :

- . Essais de croisement des données METEOSAT-LANDSAT
- . Esquisse d'évaluation des données thermiques NOAA sur les marges sahariennes nord-occidentales (P. OLIVA)
- . Analyse visuelle des données de radargraphie SIR A de novembre 1981 (axe de vol n° 29) sur l'Ouest algérien de Tindouf à Hassi Rmel (Y. CALLOT, C. CORNET, A. SIMONIN)
- . Traitement numérique combinant des données LANDSAT MSS - données SIR A numérisées et des données SEASAT sur le chott Melghir dans l'Est algérien (J.L. BALLAIS - REBILLARD).

B - REFLEXION NEOTAXONOMIQUE ET LEGENDE POUR UNE CARTOGRAPHIE GEOMORPHOLOGIQUE AU 1/500000 DES MARGES NORD-SAHARIENNES

I - PRINCIPES DE LA LEGENDE GEOMORPHOLOGIQUE AU 1/500000 DES MARGES NORD-SAHARIENNES

"La cartographie géomorphologique fondée sur une étude minutieuse du terrain, est à la fois une méthode de recherche visant à un relevé objectif, qualitatif et quantitatif des faits géomorphologiques, un moyen d'expression exposant les rapports existants entre les formes et l'espace (distribution), les formes et le temps (chronologie), les formes et les facteurs qui les engendrent ou les modifient (dynamique)" [F. JOLY 1970].

Les objectifs de cette cartographie sont de représenter et relier entre eux les ordres de faits suivants :

1° - La description des formes (morphologie) qu'elle s'efforce de distinguer par des symboles analytiques ou synthétiques selon leur dimension, répondant chacun à un taxon de la légende.

2° - L'origine des formes (morphogénèse) qu'elle qualifie en fonction des facteurs responsables de leur origine et de leur évolution, qui sont soit d'origine structurale compte tenu de la nature du matériel rocheux (lithologie) et ses déformations (tectonique), soit d'origine climatodynamique en fonction des processus de la géodynamique externe (altération, fragmentation, transport des débris). Les premières sont directement liées à la résistance différentielle des affleurements et les secondes essentiellement révélatrices de l'ambiance climatique dans laquelle elles sont nées.

3° - L'évolution des formes (morphochronologie) qui permet, en fonction de la succession dans le temps des processus morphogénétiques, de déterminer : les formes actuelles et les formes héritées, et de voir comment se sont succédé en un même lieu des phases morphogénétiques différentes responsables, à chaque fois, d'une topographie propre (formes polygéniques et formes emboîtées) ou de retouches de topographies préexistantes (formes polycycliques).

4° - La mesure des formes (morphométrie) : dénivellés, pentes, altitudes absolues ou relatives...

La carte géomorphologique détaillée n'est donc ni topographique, ni géologique, ni pédologique, c'est un document analytique original, qui rassemble les données nécessaires à la description, la compréhension des formes du relief et de leur dynamisme.

L'approche taxonomique pour une systématisation cartographique exigée par le passage d'une échelle habituellement utilisée pour la cartographie géomorphologique (1/50 000, 1/200 000) à une échelle plus petite (1/500 000 retenue pour la cartographie des marges sahariennes) a guidé la réflexion méthodologique pour la préparation de la légende proposée.

Cette réflexion relative à une taxonomie scalaire, pour une représentation cartographique au 1/500 000, se fonde sur une généralisation systématique à partir de données collectées sur le

terrain, de façon exhaustive, selon les méthodes classiques en géomorphologie. Dans le cadre de la présente démarche où les données de télédétection deviennent source de l'information à représenter, cette réflexion se trouve confrontée au niveau de perception autorisé par les documents analogiques Landsat au 1/500 000 et au degré de finesse auquel peut prétendre la téléanalyse visuelle, vis-à-vis de l'identification et de la perception des phénomènes étudiés. Les modèles d'interprétation élaborés devront prendre en compte une néo-taxonomie, s'appuyant sur une collecte d'informations localisées à des sites-tests de terrain, extrapolable à l'ensemble de l'image.

II - CARTOGRAPHIE AU 1 / 500.000 PAR TELEDETECTION

Les formes et formations superficielles des régions arides sont traditionnellement représentées à l'échelle des formes élémentaires (dunes, cônes alluviaux, daïas, etc...) sur les cartes topographiques ou à celle des ensembles régionaux (ergs, hamadas) sur les cartes à échelle zonale ou continentale. L'utilisation des images LANDSAT a favorisé une réflexion sur une échelle intermédiaire : la cartographie au 1/500.000.

A cette échelle, la plupart des formes élémentaires de relief (dunes, dolines) ou de dépôts (terrasses alluviales) s'estompent et disparaissent. Il s'agit donc de les regrouper sous un terme collectif ou "complexe" de barkhanes, de terrasses étagées, etc... dans la mesure où ils apparaissent comme des zones homogènes sur les images satellites. Dans la légende, ils seront représentés par un signe collectif. A cette échelle, il est nécessaire, en effet, de regrouper des agents de mise en place très différents : ainsi, lorsque l'ensablement des versants se généralise, signe d'un déclin de l'activité du ruissellement local, la dynamique éolienne sera seule représentée.

L'échelle du 1/500.000 permet d'aborder des problèmes de dynamique nouveaux car il est possible de suivre l'évolution des phénomènes sur des dizaines de kilomètres et de faire apparaître des limites entre des régions de l'ordre de 10^4 km², qui est une échelle assez inhabituelle.

1° - L'exemple le plus démonstratif est celui de la dynamique éolienne car le vent transporte sables ou limons sur des distances considérables, parfois unidirectionnelles, et sans référence aux réseaux hydrographiques. Il est donc possible de représenter ces trajectoires et les modifications granulométriques, minéralogiques, etc... qui en découlent. Celles-ci correspondent d'ailleurs sur les images à des réponses spectrales différentes qui se traduisent par des couleurs différentes : blanc éclatant (gypse), blanc (sable vif), orangé (sable fixé), gris (simple voile éolien), striation (petites rides parallèles). Il est possible aussi de tenir compte de l'épaisseur du sable selon que le substratum joue ou non un rôle dans la radiation émise (voile éolien discontinu ou continu).

2° - Les grands domaines de concentration chimique devront être représentés et délimités, faisant apparaître une logique de répartition des croûtes calcaires, gypseuses, salines, etc... à l'échelle d'une région (pourtour de l'Aurès par exemple) et à l'échelle de l'ensemble du piémont saharien (prépondérance des croûtes et des hamadas à l'Ouest du Maghreb, par exemple). Ces provinces seront indiquées soit par des changements de figurés (précipitations physico-chimiques dominantes), soit, lorsque la transition est rapide, par des limites précises.

3° - Même dans le cas de constructions fluviales, les images Landsat font apparaître des variations à longue distance dans le type de couverture ou le mode de mise en place (cône, glacis-cône, glacis, terrasses, etc...) qui pourront être représentées (exemple : l'Anti-Atlas occidental).

4° - Le rôle fondamental joué par la couverture végétale en domaine semi-aride conduit à donner une place importante aux formations végétales sur des cartes de formations superficielles. Ces formations végétales conservent parfois très efficacement des sols rouges hérités, sans rapport avec les conditions arides actuelles (exemple : le littoral de la région d'IFNI). Elles jouent un très grand rôle aussi dans la dynamique actuelle : ainsi dunes vives et dunes fixées se distinguent nettement par leur coloration. Il est possible encore de tracer des limites botaniques importantes (Arganier, Armoise) ou le contact forêt-steppe, ou encore la limite de la culture sèche de l'orge (si elle ne varie pas trop d'une année à l'autre)

Enfin, l'utilisation de la télédétection privilégie l'étude des états de surface, trop négligée jusqu'ici, et oblige à créer une nouvelle taxonomie pour toutes les transitions entre la roche nue, le reg d'écaillage, le voile éolien, les sols tronqués ou indurés sub-affleurants, les couverts végétaux concentrés sur les rigoles d'écoulement ou dispersés sur des versants très peu couverts, etc..., d'où l'idée de complexes litho-pédologiques ou pédo-biologiques. En particulier l'utilisation combinée des images infra-rouge permet de définir l'inertie thermique des surfaces rocheuses et de différencier des types de patine, de vernis, d'écaillage, etc... De même, des variations de coloration sur les hamadas permettent, dans la région de Deni-Abbès, de cartographier des variations de rugosité et de perméabilité du reg, de silification superficielle, etc...

Le passage de la photographie aérienne à l'image satellite a non seulement permis de prendre en compte les données spectrales, mais il a apporté aussi les énormes avantages du traitement de l'image, de même qu'un changement d'échelle. Celui-ci, considéré au départ comme un obstacle puisqu'il oblitérait les objets d'étude habituels, est devenu le point de départ d'une nouvelle réflexion méthodologique à une dimension jusqu'ici négligée par les spécialistes des Sciences de la surface. Ajoutons enfin les possibilités apportées par les traitements numériques qui permettent de compléter et paramétrer, dans chacun de ces domaines, les résultats acquis par les méthodes visuelles et qui devraient déboucher, à plus ou moins court terme, sur une cartographie infographique.

III - ORGANISATION DE LA LEGENDE

L'information s'organise en 3 niveaux combinés (I, II, III).

I) Morphostructure rendue en fond gris pâle par un photoplan du Canal MSS 7, amélioré :

- mettant en valeur, notamment pour les zones exclues ou non informées :

- les formes du relief
- la structure
- l'organisation hydrographique générale

- complété en surcharge noire par la linéation : incidence morphostructurale et la néotectonique

- portant en surcharge colorée les informations relatives aux unités thématiques géomorphologiques (II) et aux unités spectrales ou états de surface (III).

II) Typologie des grandes unités géomorphologiques (unités thématiques), perceptibles au 1/500.000. Cette information dite "composante horizontale" de la légende est regroupée en 7 grandes catégories.

1. Les formes et formations liées aux écoulements continentaux,
2. Les formes et formations dans des lacs et sebkhas,
3. Les paléoforations alluviales et lacustres,
4. Les formes d'érosion karstique,
5. Les formes et formations éoliennes,
6. Les formes et formations littorales marines
7. Les unités à dominante végétale et anthropique.

Chaque catégorie est affectée d'une ou plusieurs couleurs et subdivisée en unités thématiques, chaque unité est représentée par :

- une teinte dans la couleur de la catégorie,
- un signe ou symbole,
- un contour,
- un indice éventuel indiquant sa position relative ou son attribution chronologique, dans laquelle il faut distinguer :

3. Le Tertiaire

2. Le Pléistocène

a) récent

b) moyen

c) ancien

1. L'Holocène

- Les unités sont regroupées en unités - fonctionnelles (a)
- non fonctionnelles (b)
- ou héritées

III) Etats de surface regroupant ces ensembles, perceptibles dans le signal radiométrique et ses variations saisonnières, complétés par la connaissance du terrain (unités spectrales). Cette information, dite "composante" verticale de la légende, compte 5 catégories.

1. Complexes biopédologiques,
2. Complexes de météorisation,
3. Accumulations et précipitations physicochimiques,
4. Transferts éoliens, hydriques et littoraux,
5. Divers.

Chaque catégorie (ou complexe) est affectée d'une ou plusieurs couleurs et subdivisée en unités spectrales.

Chaque unité spectrale est représentée par :

- une couleur,
- un signe continu ou discontinu,
- une limite externe.

qui viennent en surcharge sur les unités thématiques.

UNILES THERMOMETRIQUES

I. FORMES ET FORMATIONS LIEES AUX ECOULEMENTS CONTINENTAUX ET A LA DYNAMIQUE DE VERSANT.

- 1. Systemes fonctionnels et subfonctionnels (à l'exclusion des lacs et sablières).
- 2. Systemes non fonctionnels.

1.1 Hydrographie
1.1.1 Ecoulement pérenne
1.1.2 Ecoulement saisonnier
1.1.3 Ecoulement occasionnel
1.1.4 Perte diffuse
1.1.5 Réurgence source
1.1.6 Puits forage
1.1.7 Retenue artificielle

1.2 Epanchages alluviaux
0 alluvions indifférenciées
1 alluvions grossières dominantes (conglomérats, graviers)
2 cônes de déjection
3 alluvions fines dominantes (sables, limons)
4 massifs, zone d'effacement et d'ondulation

1.3 Epanchages colluviaux
0 colluvions indifférenciées
1 colluvions grossières
2 colluvions fines

2.1 Epanchages grossiers ou fins indifférenciés.
0 indifférenciés
1.1 Epanchages grossiers (de l'alluvial au colluvial).
1 terrassés alluviaux
2 cônes
3 glacis cônes
4 glacis terrasses
5 glacis

2.2 Epanchages fins
1 masses argiles et limons
2 accumulation hydroclastique (loess et sables fins)
3 accumulation hydroclastique (grès)

2.4 Mouvements de masse.
0 indifférenciés
1 coulées boueuses, solifluxion, glissement
2 éboulement
3 éboulis
2.5 Traversins.
0 indifférenciés

3.1 Salinités
-à sel humide
-à limons salés
-à limons

2. Systemes assésés et permanents.
1. fond d'ancienne sabha
2. bourrelet de bergeluvette

II. FORMES ET FORMATIONS DES LACS ET SEBKHAS.

- 1. Systemes fonctionnels et subfonctionnels.

0 indifférencié
1 étendue d'eau permanente
2 étendue d'eau permanente salée
3 limite des hautes eaux
4 surface de ballement indifférencié
-à croûte saline

III. PALEOFORMATIONS ALLUVIALES, LACUSTRES ET PALUSTRES.

- 1. Paleoformations alluviales, palustres et lacustres.

0 lacis indifférencié
1. lacis calcaire
2. lacis gréseux
3. lacis siliceux
4. lacis margineux et argileux
5. lacis conglomératique

IV. FORMES KARSTIQUES.

1. limon de forme karstique majeure
2. drape, doline individualisée

V. FORMES ET FORMATIONS EOLIENNES.

- 1. Systemes sableux à dynamique éolienne.

Q
1.3 Complexe des ergs.
0 indifférencié
1. en relief cheuté
-arête vive
-arête arroussée
2. en relief non orienté
-en triangle (casanome)
-circulaire
-en étoile (Ghouf)
3. en creux -ferme
-semicirculaire

1.1 Placages et accumulations sableuses non constituées.
0 indifférenciés
1. couloir d'aspersion
1.2 Constructions éoliennes vivées.
0 indifférenciés
1. lianes-riens, cordons
2. en champ (barbane, akki)
3. zone de neabha

VI. FORMES ET FORMATIONS LITTORALES.

1. Systemes actuels.
1. plage et grève
2. balise vive

2. Systemes sableux fossiles.

2.1 Eolanes continentales.
0 indifférenciés
2.2 Eolanes littorales.
0 indifférenciés

3. Aspersions limoneuses et loess.
0 indifférenciés
1. loess, placages et aspersion éolienne
2. limons éoliens et loess russelés

2. Systemes hérités.
1. terrasse marine
2. pied de falaise morte
3. gres durane

UNITES SPECTRALES ETATS DE SURFACE I. COMPLEXES BIOPEDEOLOGIQUES ET ANTHROPISES.

1.1 Non cultivés.
1.2 Cultivés.
1. oasis
2. culture permanente irriguée
3. culture pluviale
4. culture pluviale en terrasse
5. aménagement moderne
6. culture occasionnelle

1.3 Cultures dominantes
1.2.1 Agriculture dominante
1.2.2 Agriculture dominante
1.2.3 Agriculture dominante
1.2.4 Agriculture dominante
1.2.5 Agriculture dominante
1.2.6 Agriculture dominante
1.2.7 Agriculture dominante
1.2.8 Agriculture dominante
1.2.9 Agriculture dominante
1.2.10 Agriculture dominante
1.2.11 Agriculture dominante
1.2.12 Agriculture dominante
1.2.13 Agriculture dominante
1.2.14 Agriculture dominante
1.2.15 Agriculture dominante
1.2.16 Agriculture dominante
1.2.17 Agriculture dominante
1.2.18 Agriculture dominante
1.2.19 Agriculture dominante
1.2.20 Agriculture dominante
1.2.21 Agriculture dominante
1.2.22 Agriculture dominante
1.2.23 Agriculture dominante
1.2.24 Agriculture dominante
1.2.25 Agriculture dominante
1.2.26 Agriculture dominante
1.2.27 Agriculture dominante
1.2.28 Agriculture dominante
1.2.29 Agriculture dominante
1.2.30 Agriculture dominante
1.2.31 Agriculture dominante
1.2.32 Agriculture dominante
1.2.33 Agriculture dominante
1.2.34 Agriculture dominante
1.2.35 Agriculture dominante
1.2.36 Agriculture dominante
1.2.37 Agriculture dominante
1.2.38 Agriculture dominante
1.2.39 Agriculture dominante
1.2.40 Agriculture dominante
1.2.41 Agriculture dominante
1.2.42 Agriculture dominante
1.2.43 Agriculture dominante
1.2.44 Agriculture dominante
1.2.45 Agriculture dominante
1.2.46 Agriculture dominante
1.2.47 Agriculture dominante
1.2.48 Agriculture dominante
1.2.49 Agriculture dominante
1.2.50 Agriculture dominante
1.2.51 Agriculture dominante
1.2.52 Agriculture dominante
1.2.53 Agriculture dominante
1.2.54 Agriculture dominante
1.2.55 Agriculture dominante
1.2.56 Agriculture dominante
1.2.57 Agriculture dominante
1.2.58 Agriculture dominante
1.2.59 Agriculture dominante
1.2.60 Agriculture dominante
1.2.61 Agriculture dominante
1.2.62 Agriculture dominante
1.2.63 Agriculture dominante
1.2.64 Agriculture dominante
1.2.65 Agriculture dominante
1.2.66 Agriculture dominante
1.2.67 Agriculture dominante
1.2.68 Agriculture dominante
1.2.69 Agriculture dominante
1.2.70 Agriculture dominante
1.2.71 Agriculture dominante
1.2.72 Agriculture dominante
1.2.73 Agriculture dominante
1.2.74 Agriculture dominante
1.2.75 Agriculture dominante
1.2.76 Agriculture dominante
1.2.77 Agriculture dominante
1.2.78 Agriculture dominante
1.2.79 Agriculture dominante
1.2.80 Agriculture dominante
1.2.81 Agriculture dominante
1.2.82 Agriculture dominante
1.2.83 Agriculture dominante
1.2.84 Agriculture dominante
1.2.85 Agriculture dominante
1.2.86 Agriculture dominante
1.2.87 Agriculture dominante
1.2.88 Agriculture dominante
1.2.89 Agriculture dominante
1.2.90 Agriculture dominante
1.2.91 Agriculture dominante
1.2.92 Agriculture dominante
1.2.93 Agriculture dominante
1.2.94 Agriculture dominante
1.2.95 Agriculture dominante
1.2.96 Agriculture dominante
1.2.97 Agriculture dominante
1.2.98 Agriculture dominante
1.2.99 Agriculture dominante
1.2.100 Agriculture dominante

II. COMPLEXES DE METEORISATION.

2.1 Altérites et altérations.
0 indifférenciés
1. sur substrat cristallin
2. sur substrat volcanique

3. sur substrat schisteux
4. sur substrat carbonaté
5. sur croûte calcaire

III. ACCUMULATIONS ET PRECIPITATIONS PHYSICO-CHEMIQUES.

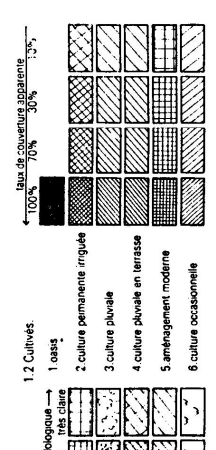
3.1 Précipitations physico-chimiques
1. carbonates.
2. chlorures.
3. sulfates.
4. silicates.

IV. TRANSIT ET TRANSFERTS.

4.1 Transit éolien
1. voile éolien
2. couloir d'aspersion
3. couloir de déflation

4.2 Humidité de surface
1. permanente
2. saisonnière

4.3 Transit littoral.
1. troubles et suspensions
2. dérive littorale



DEUXIEME PARTIE

RAPPORT D'ACTIVITE

PAR

EQUIPES

TRAVAUX EFFECTUES AU MAROC

I - IDENTIFICATION ET CARTOGRAPHIE DES ETATS DE SURFACE SUR LA BORDURE NORD OCCIDENTALE DU SAHARA : ANTI ATLAS OCCIDENTAL

(P. OLIVA)

Située entre le 29° et le 30° de latitude Nord, la terminaison occidentale de l'Anti-Atlas offre à la faveur de l'influence océanique combinée à des reliefs imposants, des contrastes marqués avec les autres secteurs objets de la présente investigation.

Comprise entre les plaines du Souss-Chtukas-Tiznit, au Nord, et celle de Goulimine, au Sud, ce massif paléozoïque et précambrien présente un ensemble compartimenté de plateaux bordiers calcaires, de reliefs quartzitiques, granitiques ou gréseux, et de dépressions évidées dans des formations schisto-marneuses.

La distribution des précipitations, conjuguée à l'effet orographique et aux facteurs d'exposition, introduit une zonation bioclimatique, perturbée par une dégradation anthropique importante, qui est une des clefs d'interprétation des formes et formations quaternaires.

I - TRAITEMENTS NUMERIQUES INTERACTIFS

Les traitements numériques expérimentés ont utilisé 3 types de matériel et de logiciel implantés dans des centres de calculs différents, en fonction de 3 types d'approche.

1) CLASSIFICATIONS DIACHRONIQUES DE FENETRES DE 512x512 au CTAMN (ENSP Sophia Antipolis). 4 secteurs tests complexes répartis sur un gradient morphoclimatique W-E ont été traités en classifications diachroniques supervisées à partir de zone d'apprentissage connues au sol, sur des données de saison humide et de saison sèche.

Ces classifications et les pointages radiométriques avaient pour but d'établir les caractéristiques spectrales (ou radiométriques) des différents thèmes retenus. Les données ont été rectifiées géométriquement et calées sur les données cartographiques de terrain (OLIVA P., 1974, 1975). La classification se fait par maximum de vraisemblance.

Un secteur montagneux de 512x512 points (Massif de Tafraoute et Ibel Lkst), déjà expérimenté en diachronie et cartographie au 1/250 000 (OLIVA P., 1981) a été retraité en nouvelle classification. Les combinaisons modèles mettant en valeur des thèmes cibles (encroûtements carbonatés, paléosols rubéfiés, alvéoles granitiques etc...) ont été testées.

Un secteur du massif côtier, de 512x512 points (Massif IFNI et plateau des Akhsass) a été classifié et cartographié diachroniquement au 1/100 000. Son analyse fait l'objet d'une publication en cours (OLIVA P., 1985) (planche hors-texte I).

Un secteur des bassins intérieurs (et boutonnière granitique) de 512x512 points (Bassin de Tazeroualt) a été expérimenté en pointe radiométrique.

Un secteur des plaines occidentales (Plaine du Souss et Chtoukas) a été expérimenté après dégradation à 1 point sur 2 et classifié. Une maquette au 1/200 000 des unités morphopédologiques des Chtoukas a été construite, intégrant de nombreux travaux de cartographie pédologique.

2) POINTES RADIOMETRIQUES ET EXPERIMENTATION D'INDICES ET DE NEONAUUX SUR FENETRES DE 256x256 SUR PERICOLOR 1000 (Collaboration, Adetel, Laboratoire de Géologie dynamique, St-Jérôme, Marseille).

14 fenêtres de 256x256 recouvrant un ensemble de formes et formations géomorphologiquement et chronologiquement identiques (glacis, glacis cônes et terrasses alluviales du Bas Draa et du Bani), distribuées sur une distance de 200 km d'W en E, ont fait l'objet de pointes radiométriques systématiques et d'expérimentation de néocanaux. Le but était d'une part de relever les variations des réponses spectrales liées à la nature des encroûtements, vernis et patines (composantes physico-chimiques) ou à l'importance des saupoudrages éoliens permanents ou aléatoires, d'autre part de rechercher les meilleurs indices ou néocanaux susceptibles de les discriminer (planche hors-texte n° II). Une typologie des formes et formations a été établie en fonction de ces indicateurs de gradient climatique, actuels ou hérités.

3) CLASSIFICATION SUPERVISEE THEMATIQUE GENERALISEE A L'ENSEMBLE D'UN SECTEUR (Laboratoire de Cartographie thématique, Institut de Géographie, Strasbourg). Le travail, conduit sur les matériels et logiciels du Centre de calcul de Cronembourg a associé M. T. VOGT, Ch. SCHNEIDER et R. HIRSCH.

Le traitement d'apprentissage a porté sur une zone de 350x350 en privilégiant 3 types de cible :

- complexes biopédologiques associant steppe relictuelle et sols rouges,
- complexes à encroûtements carbonatés,
- complexes limoneux et substrats éolisés.

Ces cibles relèvent de la même problématique : effets actuels et hérités de l'influence maritime sur la frange nord-occidentale du désert. L'analyse en composante principale (visualisation des scores factoriels) a fait ressortir la corrélation très forte entre les 4 canaux et la prédominance des phénomènes de brillance.

Le programme de classification utilisée (BMDP 7M) permet de classer tous les points de l'image par analyse discriminante.

La fenêtre d'essais comportait 30 échantillons au départ. La classification retenue comporte 20 classes privilégiant les états de surface.

La classification, après contrôle au cours d'une mission sur le terrain, a été étendue à l'ensemble d'une zone de 1500x2000 (planche hors texte III) avec un résultat extrêmement satisfaisant fournissant la base d'une cartographie interprétative.

2 - EXPERIMENTATION DE TERRAIN ET CARTOGRAPHIE

Les 3 approches suivantes (terrain et essais cartographiques) ont été conduites de façon concomitante avec les traitements numériques.

1) EXPERIMENTATION DE TERRAIN ET RADIOMETRIE DU SOL

La phase d'expérimentation de terrain et d'étude comparée des données satellitaires et des observations thématiques est basée sur l'utilisation sur le terrain de données analogiques, en compositions colorées photochimiques optimisées et agrandies au 1/200 000 ou 1/100 000, et sur des mesures radiométriques au sol.

La mission Anti-Atlas a été accomplie (septembre, octobre), en saison sèche par P. OLIVA, A. SIMONIN et T. VUGI, spécialiste des encroûtements carbonatés.

Elle a permis d'effectuer 600 mesures radiométriques de terrain à l'aide d'un radiomètre Matra sur un transect de 300 kms N-S, d'Agadir à Tan Tan, et de 200 kms W-E, de Sidi IFNI au Fous du Bani.

Ces informations nouvelles renseignant les entités de base se révèlent capitales pour l'interprétation des données satellitaires. Les modèles spectraux de la steppe à Euphorbe ou de l'arganeraie, pour les formations végétales, se sont révélés évidemment très différents des courbes feuillus-résineux dont on disposait jusque-là pour comprendre la réponse de ces milieux. Les encroûtements calcaires, les limons de diverses origines, les patines ont fourni des valeurs de réflectance au sol qui ont pu être comparées aux pointés numériques effectués sur les bandes.

Le premier bilan montre que l'apport est important tant au niveau de la généralisation des observations antérieures que dans la mise en évidence de caractères nouveaux présentés par les unités économiques traditionnelles. La distribution et la répartition des traceurs géomorphologiques et des variables du milieu sont précisées.

- Formations végétales naturelles, même dégradées.

Le zonage établi, précisé par la reconnaissance des comportements spectraux des complexes biopédologiques permet de délimiter très précisément les limites actuelles des influences atlantiques et sahariennes. Ce zonage permet de déduire l'état physiologique du contact végétal des unités isohyctes et isohyques dans un milieu caractérisé par l'indigence du maillage météorologique.

- Croûtes et encroûtements carbonatés.

Les phénomènes d'accumulation et d'individualisation du calcaire dans des régions dépourvues de roches susceptibles de fournir les carbonates est un des thèmes fondamentaux de la géomorphologie régionale (OLIVA P., 1974). Les modèles spectraux des secteurs en croûtes sont suffisamment

caractérisés pour permettre d'établir un zonage de cette distribution. Les confusions avec les ensembles à forte brillance (arène granitique, regs quartziques non paturés, limons glacés) paraissent pouvoir être résolues. Les limites tracées permettent d'établir des relations nouvelles entre les différents paramètres explicatifs. La participation à la mission de terrain d'un expert en encroûtements carbonatés (Mme T. VOGT) a contribué à définir la relation faciès/radiométrie de surface.

- Paléosols et altérations.

Ces paléosols rubéfiés et les altérations ont pu être identifiés radiométriquement et leur distribution contrôlée. De nouveaux gisements ont été reconnus dans des zones réputées arides et dépourvues de manteau pédologique.

D'autres traceurs - limons éoliens, voiles sableux, patines et vernis ont été reconnus comme des taxons radiométriques et reportés sur les imageries de terrain au 1/000 et 1/200 000.

2) CARTOGRAPHIE INTERPRETATIVE VISUELLE D'IMAGES D'ECRANS INTERACTIFS

Parallèlement aux traitements exclusivement numériques nous avons expérimenté une méthode mixte d'analyse visuelle et d'interprétation cartographique à partir d'images réalisées sur écran de visualisation colorée. Cette méthode comporte les phases suivantes :

- 1 - création à partir des traitements numériques déjà réalisés et de données rectifiées géométriquement, de néocanaux optimisant un ou plusieurs thèmes retenus.
- 2 - Affichage de ces données format 512x512 en croisement sur écran de visualisation colorée Trim, en utilisant les logiciels de traitements interactifs, affichage de la mire de croisement.
- 3 - listage des expressions numériques et graphiques des combinaisons.
- 4 - prise de vue des images écrans sur diapositive.
- 5 - projection sur écran transparent des images.
- 6 - analyse visuelle des images suivant les méthodes de zonage en unités isophènes (teinte, texture, structure) et codage Mitchell et Howard, en s'appuyant sur les informations des listings (histogrammes, histogrammes croisés, bornages, etc...).
- 7 - cartographie manuelle.

Cette demande offre des avantages certains, permettant à l'opérateur :

- de disposer d'un temps d'observation et d'analyse non limité
- de contrôler la composition de l'image sur les listings et la mire de croisement
- de contrôler la distribution zonale des unités et de s'affranchir des problèmes de confusion et de reconnaissance des formes qui limitent l'intérêt des classifications automatiques
- de mieux comprendre la structure et la texture des ensembles thématiques et la hiérarchie des entités de terrain.

Plusieurs essais de cartographie ont été réalisés sur la plaine des Chtoukas et sur le massif d'IFNI sous forme de maquette au 1/100.000. La démarche paraît bien adaptée à l'expérimentation rapide d'une image polythématique et à la sensibilisation d'un thématicien ne pratiquant pas le traitement numérique.



voir légende p. 23

legende carte noir et blanc

ZONE GEOGRAPHIQUE	Famille	Sous Famille	Nombre de zones écologiques	Nombre de familles	Nombre de taxons	Climat (°C/mois)	Sols	Bioturbation	Cultures	Légende	Carte	
												CA
I. PLAINE DE TIZMIT.	A - Complexes à dominante minérale	- Substrat dominant	I	A	1	0	CA	C		- Calcifère lacustre		
		- Zones d'épandage	I	A	2	0	CA	C		- à sols clairs		
			I	A	3	0	CA	C		- Fossés		
II. PLATEAU DES AKHSASS	B - Oued		I	B	4	0	CA	C		- à alluvions claires		
			I	B	5	0	CA	C		- Fossés		
			I	B	5	0	CA	C		- à alluvions claires		
II. PLATEAU DES AKHSASS	C - Complexes à dominante végétale	- Cultures permanentes (indifférenciées)	I	C	6	5		CU		- Cultures permanentes		
		A - Complexes à dominante minérale	- Substrat dominant	II	A	1	0		C			- Terres claires
			- Modèle d'érosion	II	A	2	0		C			- Roches volcaniques
II. PLATEAU DES AKHSASS	B - Oued		II	B	3	0	CA		CU	- Collines		
			II	B	4	0	CA			- Ombre rochers à arbrisseaux millimètres calcifères		
			II	B	5	0	CA	C		- à alluvions claires		
II. PLATEAU DES AKHSASS	C - Complexes à dominante végétale	- Argenterale	II	C	7	3				- densité très forte (forêt)		
			II	C	8	3				- forte sur versant calcifère		
			II	C	9	3				- à l'ombre		
II. PLATEAU DES AKHSASS	D - Complexes à dominante biopédologique	- Sols carbonatés partiellement couverts	II	D	11	4	CA			- en fond de vallée		
			II	D	12	4	CA			- Couverture très forte d'argenterale		
			II	D	13	4	CA			- forte		
II. PLATEAU DES AKHSASS	D - Complexes à dominante biopédologique	- Sols carbonatés nus	II	D	14	1	CA			- moyenne		
			II	D	15	1	CA			- sur haut plateau cultivé		
			II	D	16	0	CA		CU	- Champs nus		
II. PLATEAU DES AKHSASS	D - Complexes à dominante biopédologique		II	D	17	0	CA			- "oléif" cultivé		
			II	D	18	0	CA			- fiefs		
			II	D	18	0	CA			- fiefs		

3) CARTOGRAPHIE INTERPRETATIVE DIACHRONIQUE ET SYNTHETIQUE DES ETATS DE SURFACE AU 1/500 000, à partir des images sur support photochimique (planche hors-texte IV).

La maquette d'une cartographie au 1/500 000, délimitant les frontières physiographiques principales et proposant des modèles de taxonomie a été établie. Elle intègre tous les composants répétitifs majeurs du milieu et a servi de base à la réalisation de la légende proposée. La maquette définitive est en cours d'établissement après confrontation avec les expériences des différentes missions.

II - REPERAGE, CLASSIFICATION ET CARTOGRAPHIE DE FORMATIONS SUPERFICIELLES DANS LA PLAINE DE GOULIMINE (ANTI-ATLAS, MAROC).

(Th. VOGT)

Pour effectuer ce travail, nous disposons de la carte géomorphologique au 1/100.000 "Plaine de Goulimine, fejas occidentales et massifs de bordure" élaborée par P. OLIVA, et d'une scène LANDSAT 1 du 06/11/75. Les traitements ont été effectués au Laboratoire de Cartographie Thématique de Strasbourg par T. VOGT, avec la collaboration technique de C. SCHNEIDER, à l'aide du logiciel CARTEL.

1) POSITION DU PROBLEME ET METHODE EMPLOYEE.

Le secteur choisi couvre une surface de 350x350 pixels LANDSAT, soit 480 km². La carte géomorphologique y montre une grande variété de formations superficielles. Le but recherché était une comparaison entre ce que ce document proposait et l'image obtenue par le traitement de données de télédétection satellitaire. L'échelle retenue pour celle-ci est d'environ (1/80.000, ce qui présente deux avantages : elle est proche de la résolution de base de LANDSAT 1 et de l'échelle de la carte géomorphologique (1/100.000), ce qui permet des comparaisons valables.

Le but des cartes géomorphologiques est une représentation explicative des formes du relief. Les données de base sont recherchées sur la carte topographique et les photos aériennes, sur la carte géologique, par les levés de terrain ; elles sont ensuite codifiées et hiérarchisées en une légende qui reflète les conceptions des différentes écoles. En France l'accent est mis généralement sur la géomorphologie structurale (lithologie + formes liées à la structure), les grands types de formations superficielles et leur genèse, la chronologie. La dynamique actuelle est négligée. Le relief est représenté par le fond topographique.

Les données de télédétection satellitaire concernent les comportements radiométriques de surface. Les informations apportées par les deux types de documents sont donc de nature différente et ne recouvrent pas les mêmes réalités. Si aux petites échelles (à partir du 1/500 000) les grands linéaments et les grands agencements de types de surfaces correspondent, c'est parce qu'ils sont guidés par les structures géologiques et la zonalité climatique. Aux échelles moyennes (1/200 000, 1/100 000, 1/50 000) des divergences apparaissent ; la carte géomorphologique ne peut plus être un outil d'interprétation, et seule la vérification sur le terrain peut résoudre les questions qui peuvent se poser. Elle a été utilisée essentiellement comme un moyen de repérage.

La démarche la plus efficace, et que nous avons suivie, nous a semblé être une première élaboration exploratoire, "non supervisée", des données de télédétection, suivie d'un contrôle sur le terrain des types de surfaces obtenus, enfin une adaptation supervisée des images. Les vérifications de terrain ont été effectuées par P. OLIVA.

2) LE CADRE

Le secteur étudié se situe dans la couverture sédimentaire primaire plissée, tronquée par des surfaces tertiaires et entaillée par un réseau hydrographique plio-quaternaire qui fonctionne actuellement de façon sporadique (climat de type subaride). Il est bordé au Nord et au Sud par des calcaires dolomitiques et des dolomies lités à intercalations de marnes et schistes en retombée périclinale. A partir d'une surface d'érosion sommitale se dégagent des crêts, escarpements et corniches ; les vallées s'encaissent en gorges. Le plateau méridional est de nos jours enrichi par des aspersion éoliennes. La partie centrale est occupée par un synclinal perché où affleurent des quartzites dégagés en crêts externes et en lanières alternant avec des schistes. Ici aussi on observe une aspersion éolienne sur les parties sommitales.

Ces reliefs structuraux ont été mis en valeur par deux cours d'eau qui ont alternativement entaillé la couverture sédimentaire en déblayant les affleurements de roches tendres et déposé depuis le Pliocène supérieur des accumulations essentiellement limoneuses ("calcaires lacustres", limons de maader"). L'alluvionnement, toujours à dominante fine, se poursuit de nos jours, le vent remaniant en nebkhas les épandages limono-sableux et déposant des voiles limoneux sur les sommets.

Les versants qui raccordent les plateaux aux plaines alluviales sont constitués d'un ensemble d'éboulis, cônes et glaciaires quaternaires à couverture essentiellement grossière, reprise par le ruissellement diffus actuel.

Mis à part les zones d'ablation, où les roches du soubassement ou les alluvions anciennes sont à nu, et les secteurs d'épandages des plaines, toute la surface est moulée par des croûtes calcaires, à des stades divers de désagrégation ou de décarbonatation allant jusqu'au sol de type fersiallitique.

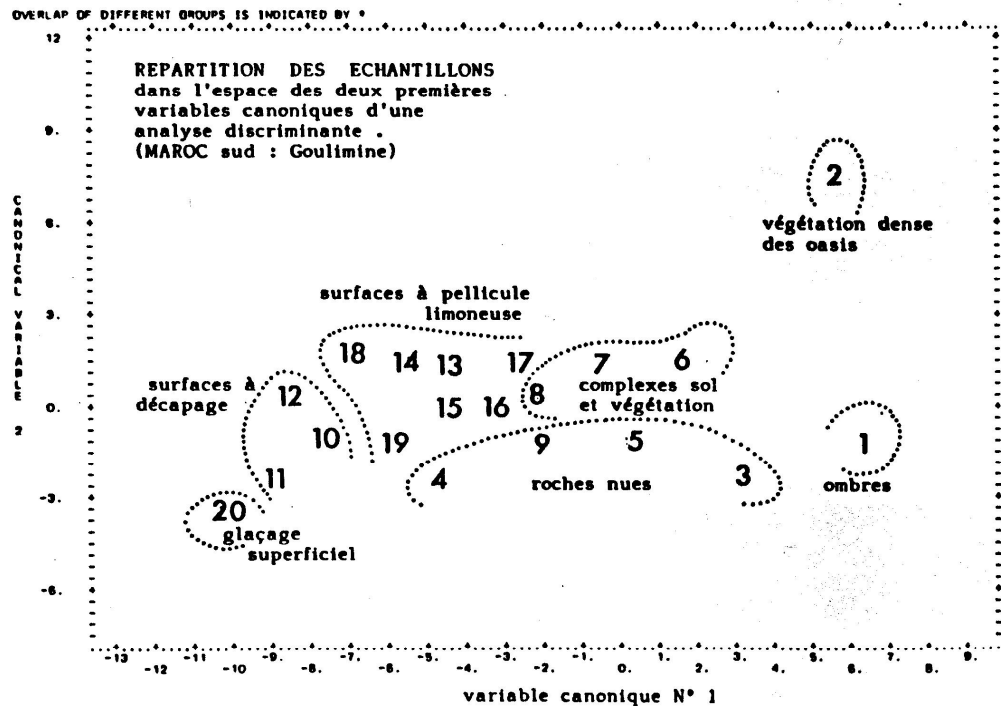
Dans ce milieu subaride, la surface du sol est le plus souvent couverte de débris rocheux mêlés à une poussière beige, qui donne une couleur uniforme au paysage. Sur le terrain, une observation fine des coupes est nécessaire pour distinguer un calcaire lacustre, un travertin, une croûte calcaire. L'eau, et donc les nuances de couleur liées à une plus ou moins grande rétention, est pratiquement absente. A l'exception des oasis et des champs irrigués par pompage, la végétation est très clairsemée et ne peut servir d'indicateur. Dans ces conditions, le doute était permis quant à la possibilité de différencier des formations superficielles, de nature similaire, par les données de télédétection.

3) LES TRAITEMENTS

Après une première série univariée (histogrammes, images monocanal) il est apparu que les différences de comportement radiométrique entre les quatre canaux étaient très faibles, avec des histogrammes presque superposables. Des essais fondés sur la création de néocanaux, indices, ratios, etc., nous ont paru dans ces conditions inutiles. L'analyse en composante principale a montré une corrélation très forte entre les canaux et la prédominance des phénomènes de "brillance" (facteur 1 : 96 % de la variance totale). Le facteur 2 "végétation" a une part d'explication très faible (2,6%).

La composition colorée faisait cependant ressortir des nuances. Nous avons donc décidé d'utiliser des traitements permettant de tenir compte à la fois des quatre valeurs de réflectance pour chaque pixel et de procéder à des classements ; nous avons ainsi eu recours à l'analyse discriminante. Elle consiste, à partir d'échantillons jugés représentatifs d'un type de paysage, et donc d'une "classe" de l'image à construire, à regrouper les pixels les plus similaires à l'échantillon choisi. Il est donc d'une extrême importance, en premier lieu, que tous les types de paysage soient représentés, et que les échantillons aient une cohérence interne aussi bonne que possible ; ensuite, qu'après analyse discriminante ils se répartissent sur le graphique de telle sorte que les nuages de points soient bien regroupés et qu'il n'y ait pas de superpositions. Ceci demande une série d'ajustements successifs.

Le nombre d'échantillons choisis au départ était de 30, et il n'en a été retenu que 20 (v. tabl. 1).



Après une première image classée, ces échantillons ont été regroupés en 15 classes, dont le contenu a été interprété en confrontant l'image obtenue avec la carte géomorphologique, ceci nous a permis essentiellement de nous repérer et de reconnaître certains affleurements géologiques (p.ex. la pastille de travertin d'Abeinou). Nous avons abouti à une légende en 15 classes :

1. ombre
2. végétation dense
3. roches nues (calcaires dolomitiques) et épandages de blocs
4. *travertin*
5. roches nues (dolomies litées, quartzites, schistes verts)
6.

}	évolué (du type terra rossa)
	moyennement décarbonaté
	faiblement décarbonaté
7. complexe végétation/sol
8.

}	évolué (du type terra rossa)
	moyennement décarbonaté
	faiblement décarbonaté
9. épandages grossiers (caillouteux) actuels
- 10.11.12. surfaces à décapages ou remaniements (hydriques, éoliens)
- 13 à 19. surfaces à aspersion éoliennes ou à désagrégation superficielle fine
20. surfaces à glaçage superficiel.

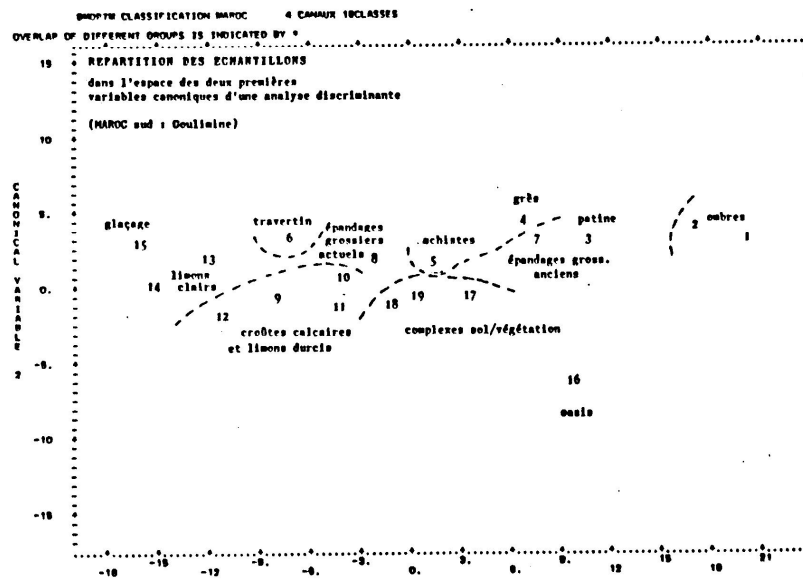
Plus que des données de la carte géomorphologique, cette légende a été établie en fonction de notre connaissance du terrain et de la dynamique des régions subarides, d'une part, de la façon dont les échantillons se plaçaient sur le graphique de l'analyse discriminante, de l'autre.

A ce stade, une vérification de terrain était nécessaire. Elle a été effectuée par P. OLIVA. Trois jours ont suffi pour cela, ce qui représente un gain de temps considérable par rapport aux cartes des formations superficielles classiques. Ces vérifications ont montré que le classement était satisfaisant dans l'ensemble, mais que des imprécisions demeuraient dans certaines classes :

- la classe "ombre" recouvrait trois réalités différentes : l'ombre portée, l'atténuation du signal due à la contre-pente, la patine noire (patine désertique) ;
- les différenciations dans la lithologie étaient trop grossières ;
- les classes correspondant aux "complexes sol/végétation" ne se différenciaient pas suffisamment entre elles.

Par contre, le travertin avait été suffisamment bien repéré pour qu'un affleurement de même roche, non signalé par la carte géomorphologique apparaisse sur l'image classée.

Nous avons donc affiné la classification (révision des échantillons, analyses discriminantes) et abouti à 19 types (voir tableau) qui s'organisent en fonction de deux axes : la brillance (de 1 à 15) et la végétation (de 16 à 19) :



4) L'IMAGE CLASSEE.

Cette classification, qui nous a paru très satisfaisante, a été appliquée à tout le fichier ; l'image ainsi obtenue a été interprétée en mettant en relation d'une part notre connaissance de la région, d'autre part la façon dont les types se répartissaient sur le graphique de l'analyse discriminante et sur l'image classée. (pl. hors-texte n° 5)

Les types 1 et 2 correspondent aux valeurs de réflectance les plus basses. Ils se situent sur les versants exposés au Nord-Ouest et en correspondance des ravins qui entaillent au Nord et au Sud les plateaux calcaires dolomitique. Il s'agit de zones d'ombre portée ou de pénombre.

Le type 3, bien décalé sur le graphique par rapport aux deux précédents, leur est toujours associé sur l'image, sur les versants à contre-jour : il peut correspondre dans ce cas à des formations dont la valeur radiométrique a été atténuée par la situation topographique. Dans le secteur SE l'ombre d'un nuage apparaît comme un mélange de ces trois types, probablement du fait que dans ce cas les intensités d'ombre sont hétérogènes. Ailleurs, ce type est toujours en association avec les roches nues et les épandages grossiers (blocs) anciens : il semble donc que nous ayons bien isolé la patine noire qui, dans cette région, caractérise les roches nues non soumises à remaniement (stables).

Le type 7, à valeurs de réflectance assez basses, se situe d'une part en association avec les types 1, 2 et 3 sur les versants à contre-jour ; dans ce cas, il peut s'agir d'une atténuation du signal dans des zones de pénombre. Dans les secteurs bien éclairés, il est généralement associé au type 3 (patine). Il s'agit de pavages de blocs des racines de glaciers et des hauts niveaux quaternaires. Leur réflectance, plus basse que celle des roches dont ils sont issus (quartzites, grès), est due justement au vernis désertique (patine) plus ou moins dense qui les recouvre.

Les calcaires dolomitiques, ainsi que les quartzites, n'ont pu être isolés. Il s'agit en effet de roches qui affleurent rarement à nu, et en ce cas ils sont patinés ou désagrégés en blocs. Les pixels correspondants se sont répartis dans les types 3 et 7. Par contre, les grès (type 4) et les schistes (type 5) sont bien différenciés et leur répartition sur l'image est conforme à celle de la carte géomorphologique, avec une précision supérieure. La ville de Goulimine apparaît essentiellement dans le type 5 (schistes).

L'identification du type 6 (travertin) n'était pas évidente au départ : il s'agit là d'une roche calcaire que l'on confond souvent avec les croûtes calcaires (à tort, car leur genèse est profondément différente) et que l'on distingue mal sur le terrain de celles-ci. Or, non seulement la pastille d'Abeinou a été parfaitement cernée, mais la classification a fait apparaître un affleurement jusqu'alors inconnu (Iguissel), ce qui a été confirmé par la vérification de terrain.

Dans des valeurs intermédiaires entre les schistes et les travertins se situe le type 8, dont l'interprétation comme épandages grossiers actuels est rendue évidente par la disposition des pixels en alignements le long des oueds ou prolongeant les ravins qui entaillent les massifs ; le diagnostic de granulométrie grossière est permis par comparaison avec les épandages fins, qui se disposent en placages à l'aval et dont la réflectance est très supérieure. Ce diagnostic a été confirmé sur le terrain.

Les types 9 à 12 correspondent à des surfaces à forte réflectance ; les différenciations se font en fonction de la texture, de la compacité, de l'état de désagrégation, etc. Ils s'agit de croûtes calcaires et de limons durcis de maaders : cette convergence n'étonne pas si l'on admet l'hypothèse que les croûtes calcaires ne sont autres que d'anciennes boues calcaires durcies. La distinction entre les types 9 et 10 correspond à une position différente sur le graphique, mais aussi à une disposition différente sur l'image, disposition qui n'est pas aléatoire, mais qui semble se calquer sur des linéaments paléohydrographiques (terrasses, génératrices de cônes, etc.) ; ceci est particulièrement évident dans la partie sud de l'image. Il est probable qu'il s'agisse là de deux générations de dépôts, mais la carte géomorphologique n'étant pas suffisamment précise, seule une vérification fine sur le terrain permettrait de résoudre ce problème.

Le type 11 correspond à des croûtes et limons durcis désagrégés par les défrichements et les labours ; il est généralement situé sur l'image en auréoles autour de plages cultivées (types 16 à 19). Par contre, le type 12 semble correspondre à des plages de limons durcis et croûtes sans pellicule d'altération ou de désagrégation : dépôts plus récents peut-être, mais plus probablement surfaces ravinées par l'érosion (déflation éolienne ?).

Ce dernier est associé dans les plaines d'épandage aux types 13 et 14, dont la réflectance est très forte : il s'agit de limons clairs, de dépôts probablement récents ; la réflectance légèrement plus faible du type 13 est due à des voiles sableux (éoliens). Le type 15, disposé en placages dans le fond des cuvettes d'épandage, représente les dépôts limoneux actuels d'origine hydrique (ruissellement, irrigation) à glaçage superficiel.

Le type 16 regroupe les oasis et la végétation dense irriguée ; il ne forme que des taches éparses. Les trois autres (17 à 19) se situent sur le graphique entre les roches nues et les croûtes calcaires ; cependant, la composition colorée montre la présence de végétation peu dense. Dans cette région le couvert végétal est très clairsemé (steppe claire), voire absent ; il laisse de toute façon apparaître largement le sol. Ces types ont donc été interprétés comme des "complexes sol/végétation" où se combinent le signal radiométrique "végétal" et celui lié à la couleur du sol. Ainsi, leur répartition est liée d'un côté aux zones de plus grande humidité, et alors ils apparaissent associés à la végétation dense (type 60) en auréoles autour des oasis ou le long des oueds, d'un autre côté à l'existence de sol de degré de décarbonatation décroissant depuis la "terra rossa". Le type 17 est très largement présent sur les plateaux et versants et sur l'apex et la partie médiane du cône alluvial d'Abeinou (au Nord) (sol fersialitique sur croûte calcaire) ; les types 18 et 19 sur les pieds de versant, plaines alluviales, bords d'oued (sols moyennement ou faiblement décarbonatés). Ils sont alors souvent en continuité spatiale avec le type 11 (croûtes et limons désagrégés) et indiquent probablement une mise en valeur agricole de formations non pédogénisées.

Cette classifications et l'interprétation qui en a été donnée permettent d'aboutir à la légende suivante :

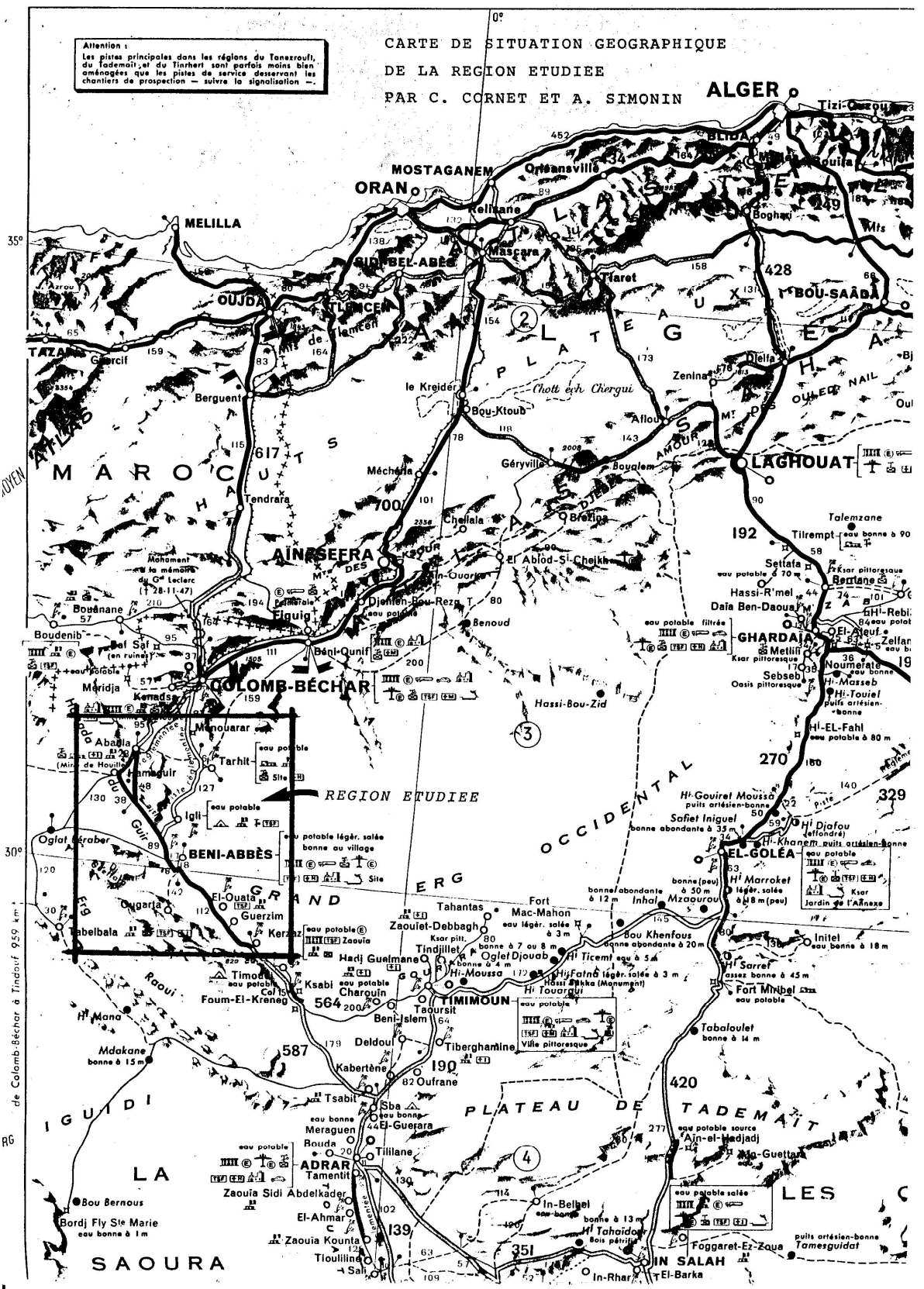
1. ombre portée
2. pénombre due au contre-jour
3. patine noire
4. grès, grès arkosiques
5. schistes verts et gris, grès à intercalations schisteuses
6. travertin
7. pavages de blocs des racines de glacis et des hauts niveaux de glacis
8. épandages grossiers actuels
9. croûtes calcaires et limons durcis (plus anciens ?)
10. croûtes calcaires et limons durcis (plus récents ?)
11. croûtes désagrégées (défrichements, labours)
12. croûtes et limons durcis non désagrégés (secteurs de déflation éolienne ?)
13. limons clairs, parfois à voile sableux
14. limons clairs de maader
15. épandages limoneux actuels à remaniement hydrique et glaçage superficiel

16. oasis, végétation dense irriguée
17. complexe sol décarbonaté/végétation de steppe claire, et cultures irriguées
18. complexe sol moins décarbonaté/végétation moins dense
19. complexe sol carbonaté/végétation très claire.

Attention :
 Les pistes principales dans les régions du Tenezroufi, du Tademaït et du Tizerht sont parfois moins bien aménagées que les pistes de service desservant les chantiers de prospection - suivre la signalisation -

CARTE DE SITUATION GEOGRAPHIQUE
 DE LA REGION ETUDIEE
 PAR C. CORNET ET A. SIMONIN

ALGER



II - TRAVAUX EFFECTUES EN ALGERIE OCCIDENTALE

(Cécile CORNET et André SIMONIN)

1 - OBJET DES RECHERCHES

Nos recherches avaient pour but de contribuer à la cartographie des phénomènes géomorphologiques de la marge Nord-saharienne, devant aboutir concrètement à l'élaboration d'une carte morphogéodynamique de la région de Beni-Abbès, recouvrant la scène Landsat 213-39.

L'intérêt du site de Beni-Abbès était de se trouver, bien qu'en position de piémont sud-atlasique, en milieu franchement saharien et non plus, comme les domaines marocain et d'Algérie orientale étudiés par nos collègues, dans une zone sub-aride. A des conditions morpho-climatiques différentes devaient nécessairement correspondre une dynamique différente des états de surface. Leur approche s'imposait donc pour obtenir, sur l'ensemble du programme, un échantillonnage exhaustif de la marge Nord-saharienne. Cette région avait aussi l'avantage de nous permettre d'aborder le problème des hamadas.

II - PRESENTATION DE LA REGION

La région étudiée se situe au Sud de Béchar. Elle est formée par une mosaïque d'unités structurales de signification très diverse dont la nature influe grandement sur l'évolution morphologique.

Pour s'en tenir à l'essentiel, on doit distinguer le domaine hercynien (Infra-Cambrien à Stéphanien), affleurant largement au Sud-Ouest, qui fait partie intégrante de la chaîne d'Ougarta, née, au Sud, de deux plis qui se compliquent progressivement vers le Nord pour donner naissance à une succession d'anticlinaux et synclinaux, sensiblement isoclinaux. Ce massif ancien, aplani puis rajeuni au Crétacé, a évolué en relief appalachien dont les crêtes se sont patinées.

Au Nord et à l'Est, ces termes furent fossilisés, après une longue lacune stratigraphique, par la sédimentation néogène carbonatée de la Hamada du Guir. Les restes de celle-ci, très étendus, constituent la partie centrale et occidentale de notre région.

Bordée à l'Est et au Sud par un kreb dû à l'érosion plio-quaternaire, la Hamada du Guir domine les puissants épandages détritiques infra-quaternaires, issus de l'Atlas, qui constituent ce qu'il est convenu d'appeler la "petite Hamada". Celle-ci est elle-même ravinée et morcelée par l'incision des oueds quaternaires (Guir, Zousfana, Saoura) et recouverte, à l'Est, par les puissantes formations éoliennes du Grand Erg Occidental qui se sont accumulées partie sur ces faciès, partie sur le bassin carbonifère d'el Krella (secteur septentrional de notre épure).

III - METHODOLOGIE

Les travaux furent menés sur deux enregistrements s'opposant par leurs antécédents climatiques (mais d'une même époque de l'année pour qu'ils correspondent à un éclairage comparable), l'un choisi en période de grande humidité (4 décembre 1979), l'autre en période sèche (2 décembre

1981). Les résultats obtenus furent ensuite confrontés et complétés par les données RADAR (SIR A) enregistrées en Novembre 1981 (bande L, 23 cm) .

1) Analyse des données Landsat visualisées sur films

Après obtention au C.T.A.M.N. (Ecole Supérieure des Mines de Paris - Sophia Antipolis) de restitutions VIZIR améliorées en 32 niveaux pour chacune des deux dates d'enregistrement de la scène LANDSAT 213-39, des traitements photochimiques furent réalisés :

- au CERCG du CNRS : compositions colorées au 1/500.000 et au 1/200.000, sur les sites-tests retenus, de la scène du 4 décembre 1979,

- au Centre de Télédétection d'Aix-en-Provence : compositions colorées au 1/500.000 des scènes complètes du 4 décembre 1979 et du 2 décembre 1981. Ceux-ci furent effectués selon deux modes de coloration des bandes 4, 5 , 7 (mode infra-rouge couleur et mode différent avec canal 4 en bleu, 5 en rouge et 7 en vert).

Dans une première phase, l'analyse visuelle des canaux 4, 5, 6, 7 du 4 décembre 1979 a d'abord assuré la reconnaissance de l'information contenue dans les données, bande spectrale par bande spectrale. Puis leur comparaison avec les compositions colorées a permis de mettre en évidence les unités morpho-structurales et de tenter de définir leur état de surface respectif.

Les difficultés rencontrées furent nombreuses car l'insuffisance de la connaissance du terrain se fit ressentir. L'interprétation du zonage était donc délicate. Nous eûmes recours à la consultation des documents cartographiques existants (cartes géologiques, géomorphologiques), à celle des publications antérieures, en particulier les thèses de J. Chavaillon (1964) et de G. Conrad (1969).

Malgré ces difficultés, le résultat de cette analyse fut, dans un premier temps :

- d'affiner les contours de la carte géologique (cartes de Béchar et de Kerzaz au 1/500.000) et d'obtenir une maquette au 1/200.000 de la zone étudiée. Ces documents nous ont longtemps servi d'unique base de référence pour l'ensemble des traitements visuels et numériques, du fait de l'impossibilité, de 1980 à 1984 inclus, d'effectuer des missions sur le terrain,

- de réactualiser la carte géomorphologique provisoire de Béchar au 1/500.000,

- de préparer, pour les missions ultérieures sur le terrain, la reconnaissance des états de surface et définir les zones à échantillonner .

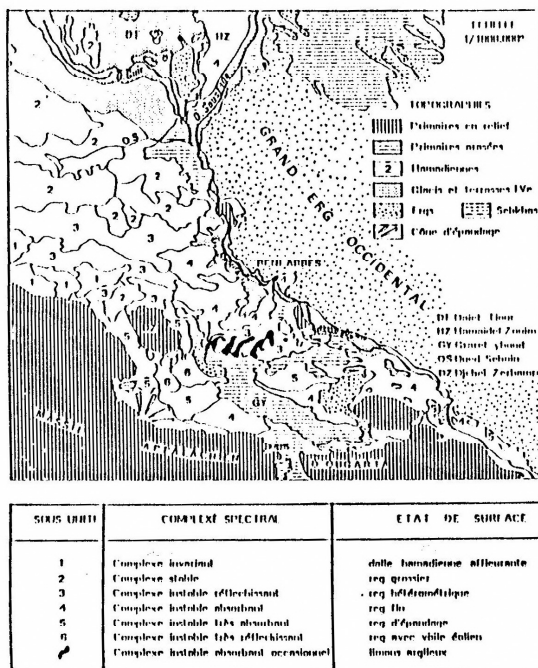


Fig. 1 : RECONSTITUTION DES ETATS DE SURFACE HAMADIENS D'APRES UN ZONAGE DIACHRONIQUE AU 1/500 000 DES COMPOSITIONS COULEES LANDSAT 213-39 du 04.12.79 et 02.12.81

Il fut ensuite possible de procéder à un zonage cartographique exhaustif des différentes unités, pour chacune des deux dates, selon la méthode de télanalyse diachronique précisée dans les pages précédentes (cf. pages 5 et 6) (fig. 1).

2) Les données RADAR













La Navette Spatiale Columbia ayant effectué, en Novembre 1981, des enregistrements RADAR SIR A, recouvrant une partie de notre territoire, il nous a paru indispensable de confronter nos résultats à ceux que nous permettaient ces données, uniquement analogiques, au 1/400.000, agrandies au 1/200.000. Il nous fut possible de vérifier nos conclusions et même d'en affiner certaines.

3) Les traitements numériques sur données LANDSAT

a) Croisement de canaux :

Au cours d'une deuxième phase, dévolue à une approche thématique des données numériques, les croisements bispectraux de canaux furent expérimentés sur deux sites tests, représentatifs de l'ensemble de la région à étudier. Définis dans des secteurs de nature différente, en même temps que complémentaires, ces zones se situent, l'une, dans la chaîne d'Ougarta pour l'étude du domaine hercynien et de la petite Hamada (secteur de Zerhamra et du Dj. bou Kbaïssat), l'autre, dans les

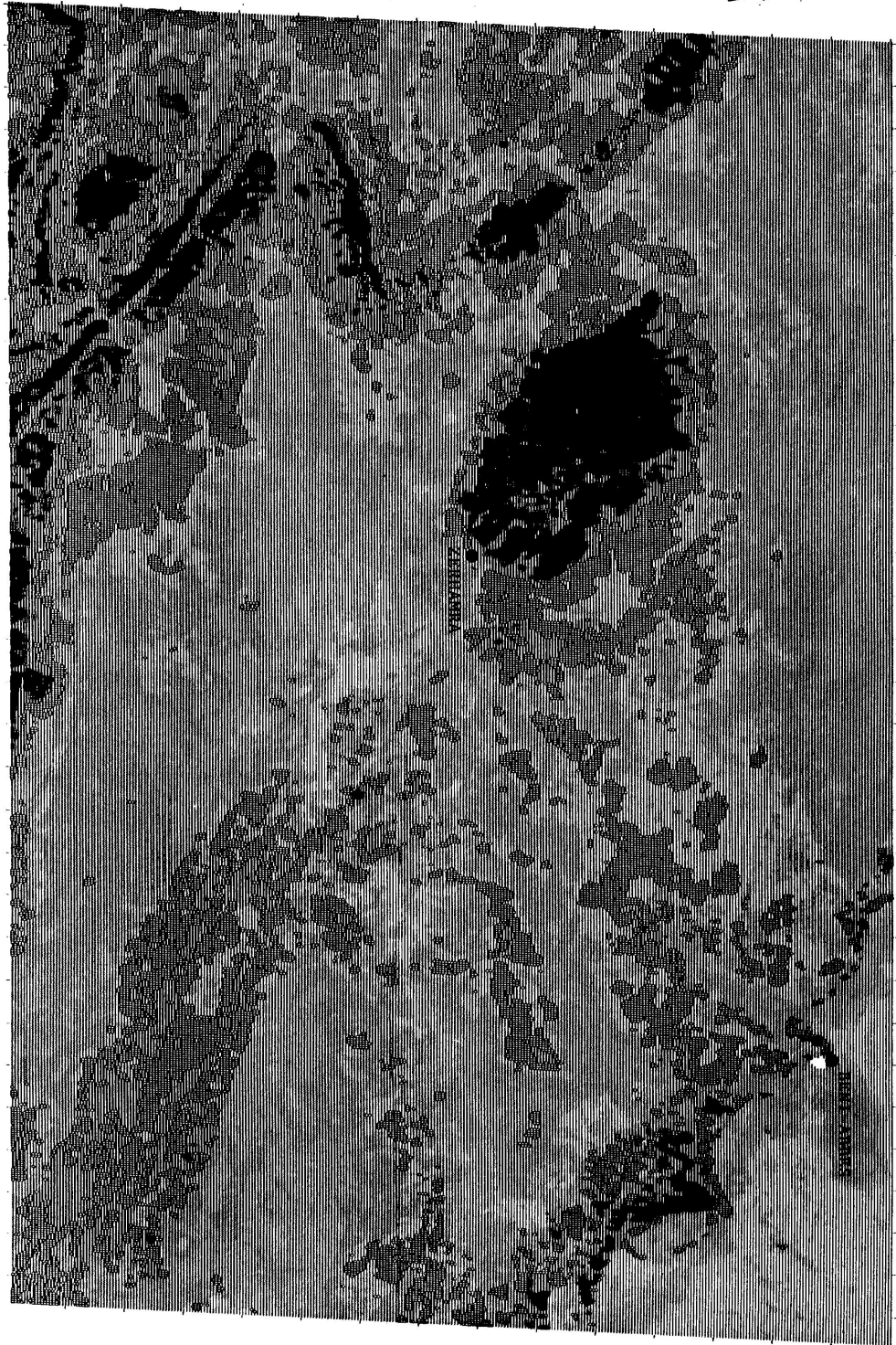
Bornes des classes de la fig. 2

TALONS	N59-4	N59-5	N59-6	N59-7	NOYBRE DE STROLES	SURFACE EN ARES
	1-128	1-67	1-128	1-40	6229	112.47
	1-128	39-81	1-128	43-47	5916	106.82
	1-128	39-79	1-128	50-50	695	12.55
	1-128	39-103	1-128	51-60	19204	346.75
	1-128	47-103	1-128	61-67	28423	513.21
	1-128	51-103	1-128	68-68	7060	127.48
	1-128	48-103	1-128	71-72	20867	376.78
	1-128	57-103	1-128	74-75	8758	158.13
	1-128	57-112	1-128	76-81	40334	728.27
	1-128	64-117	1-128	83-88	29984	541.39
	1-128	70-129	1-128	80-85	7604	137.30
	1-128	79-139	1-128	87-134	8490	153.30

Une treizième classe, laissée en blanc, se situe entre les valeurs 24 et 35 pour le canal 5 et les valeurs 39 et 49 pour le canal 7. Cette classe correspond aux palmeraies.

Province - Région N° 1
Légende
1. Zone de protection
2. Zone de réhabilitation
3. Zone de réhabilitation
4. Zone de réhabilitation
5. Zone de réhabilitation
6. Zone de réhabilitation
7. Zone de réhabilitation
8. Zone de réhabilitation
9. Zone de réhabilitation
10. Zone de réhabilitation
11. Zone de réhabilitation
12. Zone de réhabilitation
13. Zone de réhabilitation
14. Zone de réhabilitation
15. Zone de réhabilitation
16. Zone de réhabilitation
17. Zone de réhabilitation
18. Zone de réhabilitation
19. Zone de réhabilitation
20. Zone de réhabilitation
21. Zone de réhabilitation
22. Zone de réhabilitation
23. Zone de réhabilitation
24. Zone de réhabilitation
25. Zone de réhabilitation
26. Zone de réhabilitation
27. Zone de réhabilitation
28. Zone de réhabilitation
29. Zone de réhabilitation
30. Zone de réhabilitation
31. Zone de réhabilitation
32. Zone de réhabilitation
33. Zone de réhabilitation
34. Zone de réhabilitation
35. Zone de réhabilitation
36. Zone de réhabilitation
37. Zone de réhabilitation
38. Zone de réhabilitation
39. Zone de réhabilitation
40. Zone de réhabilitation
41. Zone de réhabilitation
42. Zone de réhabilitation
43. Zone de réhabilitation
44. Zone de réhabilitation
45. Zone de réhabilitation
46. Zone de réhabilitation
47. Zone de réhabilitation
48. Zone de réhabilitation
49. Zone de réhabilitation
50. Zone de réhabilitation
51. Zone de réhabilitation
52. Zone de réhabilitation
53. Zone de réhabilitation
54. Zone de réhabilitation
55. Zone de réhabilitation
56. Zone de réhabilitation
57. Zone de réhabilitation
58. Zone de réhabilitation
59. Zone de réhabilitation
60. Zone de réhabilitation
61. Zone de réhabilitation
62. Zone de réhabilitation
63. Zone de réhabilitation
64. Zone de réhabilitation
65. Zone de réhabilitation
66. Zone de réhabilitation
67. Zone de réhabilitation
68. Zone de réhabilitation
69. Zone de réhabilitation
70. Zone de réhabilitation
71. Zone de réhabilitation
72. Zone de réhabilitation
73. Zone de réhabilitation
74. Zone de réhabilitation
75. Zone de réhabilitation
76. Zone de réhabilitation
77. Zone de réhabilitation
78. Zone de réhabilitation
79. Zone de réhabilitation
80. Zone de réhabilitation
81. Zone de réhabilitation
82. Zone de réhabilitation
83. Zone de réhabilitation
84. Zone de réhabilitation
85. Zone de réhabilitation
86. Zone de réhabilitation
87. Zone de réhabilitation
88. Zone de réhabilitation
89. Zone de réhabilitation
90. Zone de réhabilitation
91. Zone de réhabilitation
92. Zone de réhabilitation
93. Zone de réhabilitation
94. Zone de réhabilitation
95. Zone de réhabilitation
96. Zone de réhabilitation
97. Zone de réhabilitation
98. Zone de réhabilitation
99. Zone de réhabilitation
100. Zone de réhabilitation

Fig. 2: Carte infographique de la région de Beni-Abbès
échelle: 1/285.000



PROVINCE - RÉGION N° 1

environs immédiats de Beni-Abbès, pour caractériser la Hamada du Guir, un autre secteur de la petite Hamada, le Grand Erg Occidental et la vallée de la Saoura.

Ne pouvant disposer d'un système interactif de traitement d'image pour des raisons financières, le choix des moyens s'est porté sur un programme informatique, mis au point par l'équipe FRALIT (VERGER et al., 1977) et mis en oeuvre par R. FOSSET (1) au laboratoire de Télédétection de l'ENSJF de Montrouge, connecté sur le Centre inter-régional de Calcul Electronique (CIRCE) du CNRS d'Orsay.

Ce programme, peu onéreux au niveau du coût de l'exploitation, permet d'obtenir des tableaux listés, croisant les valeurs spectrales de deux canaux LANDSAT. Dans le cas présent, nous avons opté pour les bandes MSS 5 et MSS 7 : la première de préférence à celle du canal 4 avec laquelle elle était nettement corrélée, vu la qualité de son enregistrement et parce qu'elle permettait de cerner les palmeraies, la seconde pour la mise en évidence des phénomènes liés à l'humidité, en particulier sur les Hamadas et le long de la Saoura.

Sur les tableaux listés de chaque site, nous avons procédé au seuillage de "familles radiométriques". Les classes retenues furent ensuite l'objet d'une restitution graphique, en couleurs, sur traceur BENSON du CIRCE, à l'échelle du 1/50.000 qui donnait la possibilité de prendre en compte l'ensemble des pixels. La comparaison du résultat cartographique avec, d'une part, le zonage réalisé à partir des données sur films et de la composition colorée, et, d'autre part, avec les documents thématiques et cartographiques, permettait d'affiner la classification et d'obtenir ainsi un nouveau tracé plus précis. Après quatre opérations de ce type, la classification devint satisfaisante, autorisant une généralisation cartographique sur une fenêtre élargie.

Les limites de cette carte infographique (cf. planche 6 hors-texte) furent déterminées de façon à englober toutes les unités morpho-structurales de la région. Elle correspondent à une fenêtre de 600 lignes et 1225 colonnes, soit sur un total de 735.000 pixels, couvrant une superficie de 3250 km². Tracée à l'échelle du 1/100.000, avec prise en compte d'un pixel sur deux, cette carte a fait l'objet d'un lissage 3 x 3 (cf. planche). Elle sera publiée dans le cadre d'une note déposée au C.N.E.R.A.T. (2) (fig. 2).

(1) R.C.P. 553 : Laboratoire de géographie. Ecole Normale Supérieure de jeunes filles, 1 rue Maurice Arnoux, Montrouge.

(2) C.N.E.R.A.T. : Centre National d'Etudes et de Recherches en Aménagement du Territoire (Alger)

Cette méthode d'approche peut paraître lente, du fait du temps nécessaire au tracé des restitutions BENSON, par rapport aux performances d'un logiciel interactif, mais elle nous était imposée par les impératifs budgétaires. Elle a eu cependant l'avantage de permettre une réflexion sur les résultats cartographiques acquis à chacune des étapes du traitement, et leur confrontation avec les données existantes.

b) Traitements réalisés au Centre de Calcul de Strasbourg

Afin d'améliorer les résultats obtenus, d'autres traitements furent effectués à Strasbourg où le Centre de Cartographie Thématique a bien voulu nous accueillir et mettre à notre disposition l'infrastructure du Centre de Calcul du CNRS de CRONENBOURG, ainsi que les programmes établis par J. HIRSCH et Ch. SCHNEIDER. Parmi les traitements réalisés, il faut citer les histogrammes de canaux et de néo-canaux, le découpage d'hyperboîtes par histogrammes croisés, la recherche de discontinuités et de zones d'homogénéité, avec la sortie des images correspondantes. Enfin, l'établissement de ratios et de sommes de ratios, avec leur restitution cartographique sur traceur BENSON, nous ont permis une meilleure analyse, tant dans le domaine structural que morphologique.

IV - LES RESULTATS

L'utilisation des différentes méthodes exposées ci-avant nous a permis de faire avancer largement les connaissances acquises sur la région.

En effet, outre l'obtention de la carte infographique dont nous avons déjà parlé, les traitements numériques supervisés débouchèrent sur une meilleure approche de certains phénomènes tectoniques et géomorphologiques qui viennent, d'ailleurs, de faire l'objet d'un contrôle sur le terrain (mission de septembre 1985).

D'autre part, le modèle d'interprétation, établi à partir des données analogiques a permis la réalisation d'une carte géomorfo-dynamique au 1/500.000 de la région de Beni-Abbès.

1) Problèmes d'ordre général

Il faut tout d'abord souligner le rôle des patines désertiques qui occultent la signature spectrale des affleurements géologiques de la chaîne d'Ougarta. Mais leur réflectance, toujours très faible puisqu'elle correspond aux classes les plus basses, est modulée en fonction de l'état de conservation de la surface, trahissant ainsi la présence de zones d'éboulis (fréquentes en climat désertique), de zones d'éclatement en regs de dissociation, de cônes d'épandages, etc...

Cependant, grâce au relief appalachien de la chaîne, il est possible de cerner les contours des différentes formations du Primaire (Infra-Cambrien à Stéphanien) mais leur identification ne peut être faite que sur le terrain.

De nature plus schisteuse, le Dévonien échappe en partie aux phénomènes de patine et répond donc par une réflectance légèrement supérieure, mais toujours assez basse.

Dans les formations post-primaires, la grande Hamada (Néogène) d'une part, les deux petites hamadas (villafranchiennes) d'autre part, se distinguent aisément : la grande hamada absorbe plus que les deux petites dans les canaux 4 et 5, inversement dans le canal 7 et à peu près à égalité dans le canal 6, la fourchette se situant dans les moyennes réflectances. Sur les restitutions info-

graphiques au 1/50.000, on distingue les grandes daïas dont la réflectance est plus forte en raison de leur remplissage argilo-sableux. Sur la scène du 4 décembre 1979 (période d'humidité), la grande hamada présente des taches plus sombres qui n'apparaissent plus sur l'enregistrement du 2 décembre 1981 (période sèche). Ces taches correspondent à des zones humides liées à un sol plus argileux, comme l'on confirmé nos observations sur le terrain.

Le chevelu hydrographique de la Saoura apparaît nettement sur tous les canaux, mais évidemment de façon particulièrement nette sur le canal 7 de la date du 4 décembre 1979, époque à laquelle la Saoura était en eau. En revanche pour les oueds ravinant quelque peu les hamadas, il faut très souvent faire appel à des traitements numériques par ratios (5/4 ou, mieux, 5/4 + 6/7) pour les faire apparaître.

Dans chacun des canaux, les ergs et les saupoudrages sableux correspondent aux réflectances maxima. Ils sont parfaitement identifiables sur chacun des traitements où leur modelé et leur structure sont analysables.

Nous signalerons enfin que le ratio 6/4 efface tous les affleurements de terrain et ne laisse visibles que les palmeraies, très faciles à détecter de la sorte.

2) Tectonique

En dehors de quelques rares accidents, on n'avait guère signalé jusqu'à présent de failles dans le système ougartien ou sur les hamadas. Or, nous avons pu en mettre un grand nombre en évidence, certaines étant d'importance majeure et présentant un jeu décrochant. Quelques unes sont discernables sur la composition colorée infra-rouge, mais c'est essentiellement la restitution cartographique des ratios 7/4 ou 5/4 + 6/7 qui, dans l'état de nos travaux, s'est avéré la plus fructueuse à cet égard. (fig. 3)

REGION DE ESCAR D OUGARTA. RAPPORT 7/4 (INDICOPAGE ARBITRAIRE)

VALORS DE BENT DE CLASSE :

1	128	132	136	137	139	141	143	144	148



Fig.3 Région d'Ougarta

A gauche: Restitution BENSON du ratio 7/4, mettant en évidence de nombreux linéaments.

A droite: réduction de cette restitution sur laquelle les linéaments ont été matérialisés par un trait.

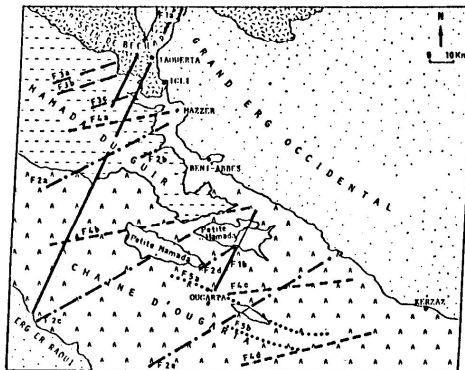


fig.4 : Les cinq familles de failles, mises en évidence à partir des données de la scène LANDSAT 213-39.

Nous avons pu, de cette façon, distinguer plusieurs familles d'accidents. Certains sont anciens, puisqu'ils n'affectent que le seul Primaire, d'autres traversent le Primaire et les hamadas, d'autres, enfin fracturent le Quaternaire, preuve de jeux de failles ou de rejeux très récents. Leur inventaire systématique n'est pas terminé, mais d'ores et déjà leur dépouillement nous donne des vues nouvelles fondamentales sur la structure profonde de la chaîne d'Ougarta. Même si en apparence, cette étude nous éloignait de nos préoccupations directes, elle était indispensable pour cerner les déformations néotectoniques dont les conséquences sur la morpho-dynamique actuelle sont appréciables.

Ces nombreux linéaments se distribuent en cinq familles principales (fig. 4) :

- famille F^1 , de direction N-30°E,
- famille F^2 , de direction N-55 à N-60°E,
- famille F^3 , de direction N-70° (la moins importante)
- famille F^4 , de direction N-80°E
- famille F^5 , de direction N-110° à N-115°E.

3) Réalisation de la carte morpho-dynamique au 1/500.000

Les résultats que nous avons obtenus par les méthodes visuelles, complétées par les traitements numériques, nous ont permis la réalisation de la maquette d'une carte morpho-dynamique au 1/500.000, correspondant au territoire couvert par la scène Landsat 213-39, avec la participation de Y. Callot pour le Grand Erg Occidental, ce qui était le but fondamental de nos travaux (pl. h-t, n° 7)

Nous y avons mis en évidence un certain nombre de phénomènes inédits, notamment dans les vallées intra-djebeliennes de la chaîne d'Ougarta : cônes (certains étaient connus, mais pas tous), glacis-cônes, loupes d'arrachement, etc...

De même, nous avons pu cerner et caractériser les nombreux voiles sableux, épais dans ces régions, aussi bien sur les flancs des massifs primaires, que sur les plateaux hamadiens. A cet égard, la comparaison entre l'imagerie LANDSAT et celle des données RADAR fut précieuse.

Par ailleurs, il nous fut possible d'évaluer l'importance des phénomènes liés à l'humidité lors de la crue de 1979, tant avec l'écoulement des eaux dans l'oued Saoura qu'avec ses manifestations annexes dans les sables bordant l'oued et dans les formations limono-argileuses de la hamada du Guir.

Mais surtout, nous avons pu, sur une aire importante, mesurer et comparer les valeurs radiométriques respectives des états de surface hamadiens. On distingue communément deux types de reg : un reg éluvial (ou de fragmentation sur place) et un reg alluvial (provenant de l'épandage de cailloutis exogènes) jalonnant d'anciens axes de drainage ou situé à l'aval des cônes localisés au pied des reliefs.

La grande variation spatiale des caractéristiques propres à ces formations (texture, couleur, granulométrie, taille et densité du pavage superficiel) fait qu'en réalité, à l'intérieur de ces deux catégories, l'on se trouve en présence de différents types de formations du reg dont la caractéristique et la distribution n'avaient jamais été abordées de façon systématique. Or, les unités spatiales, définies à partir des zonages diachroniques nous ont servi de base de sondage pour l'identification sur le terrain des paramètres de surface pouvant intervenir dans la réponse spectrale de leur contenu et, à partir de là, de déterminer si les différenciations reconnues dans l'image permettaient une caractérisation de ces formations superficielles.

Une première tentative, en vue de tester cette méthode d'investigation des regs hamadiens, a été réalisée lors de la mission de septembre 1985, le choix des points d'observation n'étant pas aléatoire, mais raisonné, en fonction de l'intérêt présenté par les unités reconnues dans l'imagerie LANDSAT.

Cette méthode nous a d'ores et déjà permis d'établir une typologie à partir d'une classification multispectrale manifestant une grande variation des états de surface, en regard de la carte géomorphologique provisoire, levée selon les méthodes classiques (carte inédite de Béchar au 1/500.000 dressée Y. DEWOLF et F. JOLY, 1973) sur laquelle la surface de la Hamada du Guir apparaît comme une entité géomorphologique relativement homogène. Notamment, nous avons relevé d'importantes variations dans l'état du reg de la grande Hamada qui présente un gradient de rugosité décroissant du Nord au Sud.

Nous signalerons enfin que, le long de la Saoura, entre Chefar et Ahmar et Tafdalt, ainsi qu'au pied du Dj. el Kahla, il nous a été possible, en nous appuyant sur leurs caractères spectraux, de restituer aux épandages de la petite hamada infra-quaternaire des formations attribuées jusque-là à la grande hamada néogène du Guir.

III - T R A V A U X E N A L G E R I E C E N T R A L E

(Yann CALLOT)

REMARQUES SUR LA CARTOGRAPHIE DES PHENOMENES EOLIENS SUR L'IMAGE LANDSAT 213-39 (REGION DE BENI-ABBES)

1) DOCUMENTS UTILISES

L'étude des formes éoliennes de l'image Landsat de la région de Beni-Abbès (Scène 213-39) a été réalisée à partir des tirages noir et blanc en positif des canaux 5-6-7 et en négatif des canaux 5-7, à l'échelle du 1/500.000, ainsi qu'à partir d'une composition colorée à la même échelle. Les images noir et blanc provenaient d'un enregistrement du 4/12/1979, celle en couleurs d'un enregistrement du 2/12/1981. Les premières avaient été tirées spécialement pour l'étude des phénomènes éoliens, avec une exposition plus longue assombrissant le cliché mais soulignant tous les détails des aires sableuses.

Le document de base servant de fond au relevé a été l'image en fausses couleurs (canal 4 en bleu, 5 en vert, 7 en rouge) du 2/12/1981. Les parties de l'image du 1/12/1979 ne figurant pas dans l'image en composition colorée ont aussi été levées.

La carte réalisée ne peut prétendre à une représentation géométrique précise de la région pour deux raisons : les agrandissements utilisés n'étaient pas exactement à la même échelle et, surtout, le travail a été effectué sur papier calque, support naturel sujet à de rapides variations de dimensions. Entre le haut et le bas du croquis d'interprétation, sous climat de bord de mer (à Oran), la variation atteignait 4mm entre le matin, à forte hygrométrie, et le soir, plus sec.

2) CARTOGRAPHIE ET LEGENDE (cf. fig. 5)

La cartographie de l'image a été effectuée en deux fois, avec deux modes différents de représentation.

A. LA CARTOGRAPHIE PAR EDIFICES

Elle a représenté :

1) Les surfaces sableuses sans relief, c'est-à-dire celles où n'apparaissent pas de formes discernables sur l'image.

2) Les formes avec relief, où, à l'échelle de l'image, des édifices ou des dépressions peuvent être distingués.

Le premier type a été représenté par des figurés couvrant les surfaces, hormis les placages de versant, linéaires à l'échelle du 1/500.000, qui sont en tirets épais.

Le second type - sauf les nappages très épais avec seulement des ébauches de relief, qui sont un cas intermédiaire entre les surfaces et les formes, et les semis d'édifices de petites dimensions - a été l'objet d'une représentation individuelle de chaque édifice, avec un figuré par forme, autant que possible proportionnel à la taille réelle de l'édifice à l'échelle.

Fig. 5: Cartographie par édifices des phénomènes éoliens dans le Grand Erg Occidental et la région de Beni-Abbès (SCENE LANDSAT 213-39).

- I - phénomènes sans sable

N'ont pas été recherchés sur l'image (voir texte explicatif), mais leur place a été prévue pour un élargissement de la légende à d'autres images.

- Aire sans sable au milieu d'erg continu (signe ajouté pour éviter des confusions dans de petites aires qui pourraient être prises pour des dunes).



- II - phénomènes avec sable

A) Phénomènes sans relief.

- Placages de versants
- Nappage très fin de hamada
- Nappages minces
- Nappages épais (peut comporter des aires de dunes trop petites pour être visibles sur l'image)
- Sables d'oued (indice rajouté sur les figurés de nappages)



Note : les systèmes discontinus apparaissent d'eux-mêmes par la juxtaposition de figurés sableux avec des figurés non sableux (ou pas de figurés du tout). Mais la légende reste "ouverte" pour la mise au point de figurés indiquant qu'il y a alternance de secteurs avec ou sans sable (ou pour la suite, avec et sans dunes).

B) Phénomènes avec relief.

1) Formes en creux

- Dépressions fermées (dans les dunes émoussées essentiellement; peut être utilisé aussi pour les dunes à arêtes vives)
- Dunes en demi-cercle (voir texte)



2) Formes en relief

A) Orientées avec arêtes vives

- Allongées : - de grande taille
- de petite taille
- Allongées avec irrégularités dues à des dunes de plus petite taille.
- édifice de grande taille
- édifice de petite taille



B) Orientées sans arêtes vives (formes émoussées)

- Dunes émoussées (le pointillé indique la base de la dune)
- Dunes émoussées avec un versant abrupt (le trait continu indique le côté abrupt)



C) Non orientées

- Edifices en triangles : - vifs
- émoussés
- Edifices circulaires : - en étoile (ghourds). Le figuré est proportionnel à la taille de la dune.
- Circulaire trop petit pour que son type puisse être précisé.
- Petites dunes non représentables à l'échelle (ce figuré sous-entend un nappage sableux épais).



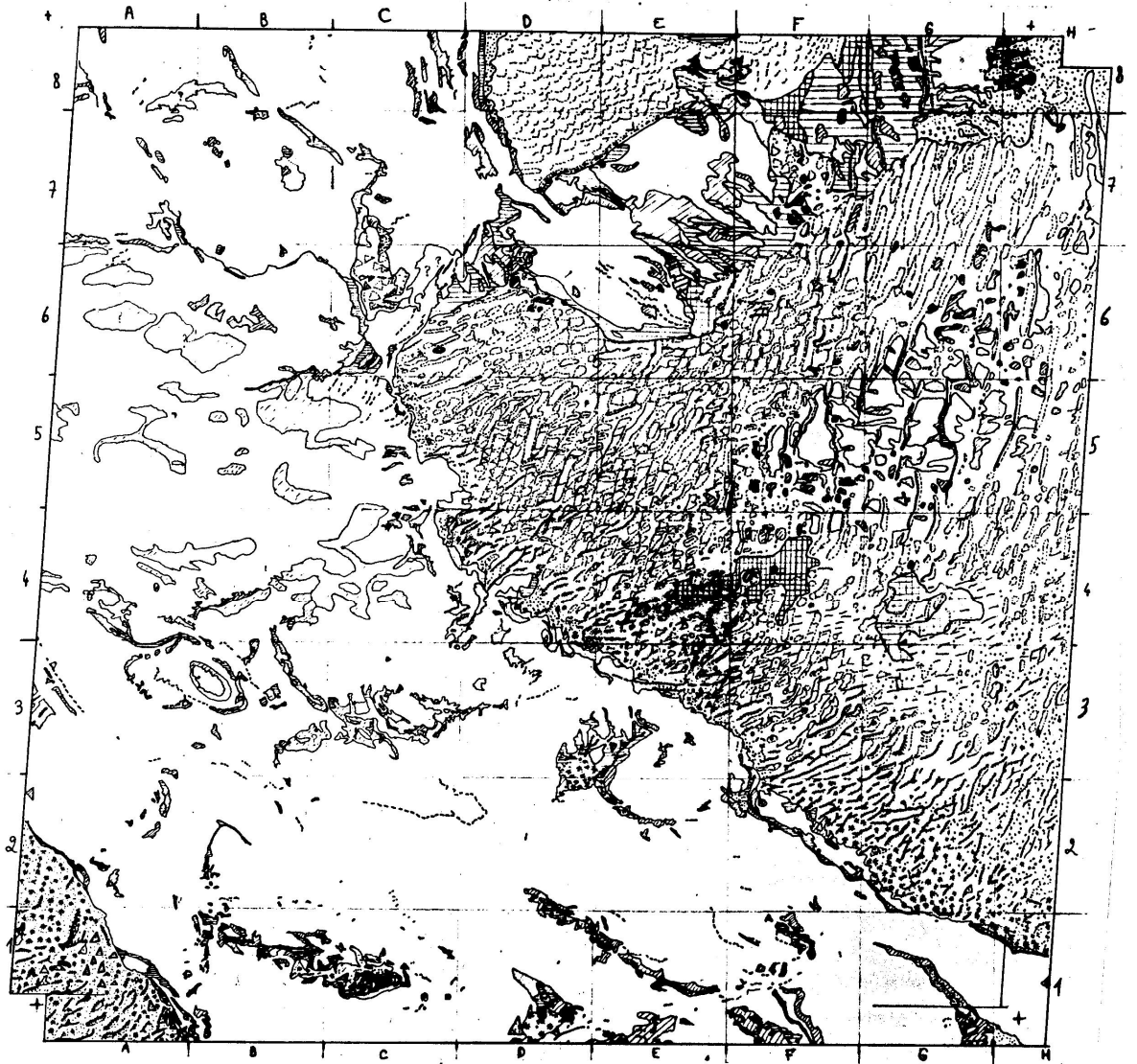
- Nappage très épais comportant des ébauches de relief non représentables



- Les formes émoussées non orientées sont représentées de la même manière que les orientées, la différence apparaissant d'elle-même puisque c'est le contour de la dune qui a été dessiné.

Fig. 5: Cartographie par édifices

Echelle 1/1.000.000



Les levés du second type, s'ils ont le défaut d'être fort longs à lever et à dessiner, présentent l'intérêt de rendre compte de la complexité des formes dunaires, dans leur variété et leur dimension. Dans la partie "Erg" de l'image, les figurés sous-entendent un nappage de sable continu entre les édifices qui n'a pas été représenté. Cette représentation a permis de distinguer les édifices **avec leur orientation.**

La carte obtenue est essentiellement analytique. Plus que par la multiplication des figurés, elle cherche à rendre compte des formes éoliennes grâce à quelques figurés simples et descriptifs. Cela permet de faire apparaître la structure des ensembles dunaires, les transitions entre les formes (au moins partiellement) et les modifications régionales de l'erg.

La légende a été élaborée selon les principes énoncés ci-dessus. Elle comporte trois classes principales :

- les phénomènes sans sable, secteurs de déflation et de transit donc, qui n'ont pas été recherchés sur l'image parce que les données fournies par le document étaient insuffisantes pour les repérer. Ils ont cependant été prévus pour une extension de la légende à d'autres images ou l'utilisation d'autres procédés (traitement numérique) sur la même image.

- Les phénomènes avec sable où deux classes, avec et sans relief, correspondent aux distinctions effectuées.

Les aires sans relief sont la partie de l'étude où l'incertitude sur l'interprétation est la plus grande (voir le commentaire d'ensemble de la cartographie). Les nappages très fins des hamadas sont distingués des nappages minces, et ces derniers des nappages épais (s'il s'agit vraiment de nappages), considérés comme tels lorsqu'il n'apparaît pas trace du substrat. Mais il n'a pas été possible de préciser l'extension des voiles éoliens sur la hamada du Guir, voiles supposés mais non visibles avec certitude sur les images.

Les dāṡas ensablées de cette hamada (et des autres) ne sont pas représentées dans la cartographie des phénomènes éoliens, car elles sont destinées à être combinées avec la cartographie des autres phénomènes géomorphologiques de l'image. Ces dāṡas apparaissent dans les levés des formes non éoliennes et il sera plus simple de préciser en légende qu'elles sont légèrement ensablées.

Les formes dunaires avec relief ont posé quelques difficultés techniques de dessin. Leurs contours ont souvent été plus faciles à représenter que ceux des surfaces sans relief, dans la limite de ce que l'on observe à cette échelle. Par contre, leur détermination ou leur classement dans les différents types choisis pour la légende ont parfois été difficiles : certaines formes présentaient des aspects intermédiaires entre deux types, contraignant à des choix peu satisfaisants.

Dans ces édifices, une place à part a été réservée, sous la rubrique "formes en creux", dans le secteur situé à l'Est de Taghit, au centre du bord septentrional de l'image. Il contient des dunes importantes ne présentant aucune rupture de pente notable hormis des dépressions semi-circulaires plus ou moins alignées, à pente plus marquée dans leur partie courbe que dans leur diamètre, ouvertes face au NNW. Ces dépressions, qui peuvent atteindre le substratum, ne s'observent que dans cette partie de l'erg. Au Nord de la carte, elles se prolongent sur l'image 213-38, où elles passent assez rapidement à des formes en triangles émoussés. La masse sableuse paraît importante, mais l'échelle de l'image ne permet pas d'aller plus loin dans l'interprétation.

La légende des édifices en relief a été conçue par combinaison de deux paramètres :

- L'orientation, caractère important des édifices, même s'il n'apporte pas autant d'informations qu'on le suppose parfois sur la direction des vents (sauf dans le cas d'édifices particuliers comme les barkhanes vraies).

- L'éroussé des formes. Les édifices à forme arrondie ne correspondent pas à la même dynamique, ou à la même granulométrie, toujours avec les réserves liées à l'échelle de l'image. Il a donc été distingué les édifices orientés à arêtes vives, termes peut-être hardis : l'échelle des images ne permet plus de distinguer les fortes variations de pente donnant de part et d'autre d'une dune de notables différences d'éclaircissement, parfois marquées très brusquement, que les arêtes elles-mêmes ; on peut cependant admettre qu'il y a une corrélation entre les deux phénomènes, les édifices en pente faible ne possédant pas en général d'arêtes vives de grandes dimensions.

Dans les dunes non orientées, des édifices triangulaires "éroussés" ont été distingués. Mais dans la région cartographiée (cela n'est pas le cas dans d'autres parties de l'erg) les formes orientées sont vives dans la plupart des cas, avec des dispositions en "étoiles" typiques des ghourds, qui ne peuvent apparaître que lorsque les édifices sont formés par la combinaison de dunes vives allongées de plus petite taille (les sifs), encore visibles sur l'image. La conception de la légende laisse ici aussi la place pour une extension de la légende dans d'autres régions où des formes éroussées non orientées apparaîtraient.

C'est dans la rubrique "non orientée" qu'ont été reportés les semis de dunes discernables mais non déterminables sur l'image, petits édifices (à l'échelle) qui sont vifs : les édifices éroussés de cette dimension n'apparaissent pas.

Une attention particulière a été portée aux édifices "assymétriques" orientés où l'un des versants paraît en pente plus forte que l'autre. Les effets d'ombre peuvent accentuer la tendance, mais dans bien des parties de l'erg les édifices allongés ont un versant occidental ou septentrional plus raide que son opposé.

B. LA CARTOGRAPHIE PAR SURFACES (cf. fig. 6)

Sa réalisation a été nécessaire pour obtenir une représentation par surfaces dans tous les secteurs. La première cartographie est trop complexe pour être incorporée à un document synthétique regroupant sur une seule carte toutes les données géologiques et géomorphologiques de l'image. Aussi a-t-elle été simplifiée dans un second document où :

- les surfaces sableuses sans relief visible sont presque semblables à celle de la première cartographie.

- la représentation des formes dunaires se fait sous formes de surfaces où tous les édifices sont identiques.

A chaque type de dune correspond un figuré. Pour les formes allongées, le figuré reste représentatif, c'est-à-dire qu'il suit les directions principales des édifices ; il est donc possible de faire une représentation orientée dans la surface délimitée par un trait, ou, si les possibilités de dessin ne le permettent pas, de se contenter d'une trame. Il serait cependant préférable d'utiliser la première solution afin de conserver le caractère essentiel de la morphologie dunaire qu'est l'orientation des édifices.

Fig. 6: Cartographie par surfaces des phénomènes éoliens dans le Grand Erg Occidental et la région de Beni-Abbès (SCENE LANDSAT 213-39).

- I - PHENOMENES SANS RELIEF VISIBLE

- Placages de versant (1)
- Nappages (de hamada, et minces) (ou petites dunes) (2)
- Nappages épais (ou petites dunes non visibles) (3)
- Aire sableuse continue à ébauche de relief (4)



- II - PHENOMENES AVEC RELIEF VISIBLE

- Formes en creux (= Dunes en $\frac{1}{2}$ cercle) (5)
- Dunes allongées avec arêtes vives : - de grande taille (6)
- de petite taille (7)
- Dunes allongées sans arêtes vives : - de grande taille (8)
- de petite taille (13)
- Dunes allongées sans arêtes vives à un côté raide (14)
- Edifices non allongés, en triangles : formes vives (9)
formes émoussées (10)
- Edifices non allongés en étoiles (11)
- Edifices dunaires trop petits pour que leur nature soit précisée sur la carte (12)

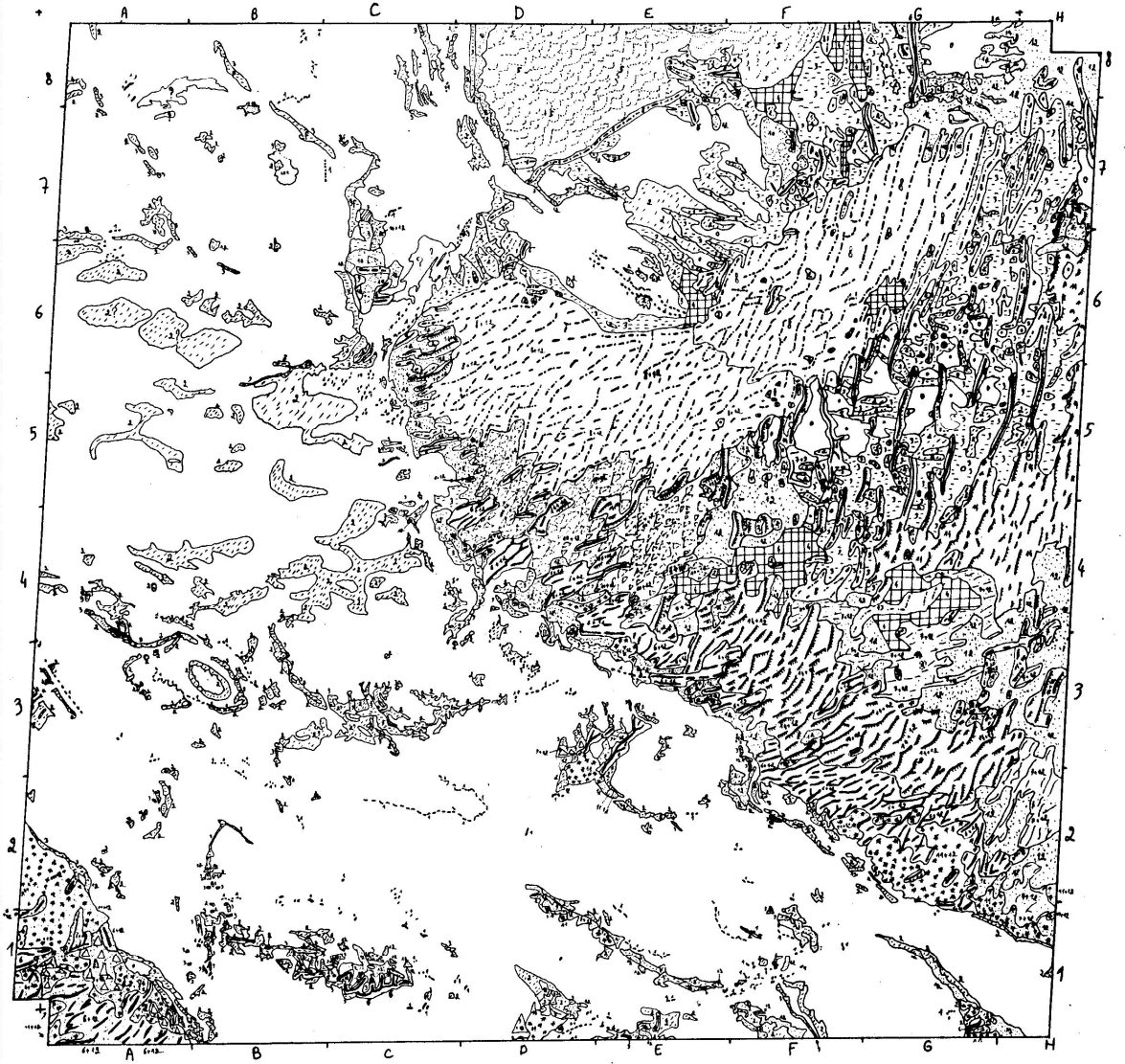


Remarque : Dans les formes 5,6,7,8,9,10,11,13,14, la représentation par surfaces est associée à un figuré qui indique les emplacements et les orientations générales des formes.

Dans la figure 14, le trait continu est du côté raide.
Dans la figure 1, les traits suivent les placages.

Fig. 6: Cartographie par surfaces

Echelle 1/1.000.000



Dans certains secteurs, deux figurés ont été superposés pour rendre compte de la présence de deux types d'édifices d'échelle différente, en général des dunes non représentables à l'échelle sur ou entre (ou les deux) des dunes de grandes dimensions.

La légende a été un peu simplifiée par rapport au premier levé ; sa finalité reste cependant la même, l'apport principal du nouveau travail étant surtout une plus grande facilité de représentation graphique pour un document synthétique.

3) REMARQUES SUR L'INTERPRETATION

L'interprétation d'une image satellite à l'échelle du 1/500 000 doit, surtout pour les phénomènes éoliens, être effectuée avec prudence. Plusieurs caractéristiques de l'image peuvent conduire à des interprétations erronées.

- A l'exception des grands édifices dunaires de type ghourd ou draa, les formes les plus courantes de dunes sont presque impossibles à distinguer, surtout en travaillant à partir d'un négatif où les valeurs étant regroupées, il se produit une perte d'information notable.

Il doit être possible de surmonter partiellement cette perte d'information en travaillant directement sur la bande magnétique de l'image. On pourrait alors rechercher des différences fines de "grisés" entre les voiles et nappages éoliens non construits, d'une part, les dunes de petites taille, d'autre part.

A partir d'une certaine dimension en plan des dunes (approximativement la surface de deux pixels), peuvent apparaître des variations de valeur d'un pixel à l'autre ne permettant pas de déterminer des édifices visibles, mais de comprendre qu'il s'agit de deux versants différemment éclairés d'une dune non visible sur l'image.

- Cette "dispersion" des édifices de taille réduite les rendant invisibles sur l'image, seuls l'usage des photographies aériennes et l'observation sur le terrain permettent de "caler" vraiment les interprétations. Aussi la légende est-elle restée assez descriptive, seule approche permettant d'éviter les affirmations sans fondement.

Les réserves énoncées ont été corroborées par l'examen d'images de régions connues sur le terrain et sur photographies aériennes. Ce sont les scènes 210-38, 211-37, 211-38, de la bordure septentrionale du Grand Erg Occidental. Ces images, sur agrandissements noir et blanc au 1/500 000, montrent que sur les marges de l'erg, les massifs dunaires peu élevés n'apparaissent pas, surtout ceux de petites dunes vives de type "aklé".

Dans les grands édifices, certaines dunes apparaissent sur image Landsat comme des formes émoussées sans arêtes vives. Sur photographies aériennes, ce sont des groupements de formes vives, alors que les secteurs environnants apparemment vifs sont des dunes très émoussées. Il semble en être de même, d'après la carte de Beni-Abbès au 1/200 000, dans la partie de l'erg cartographié (en D6) au SW du "golfe" d'El Krella. (fig. 6)

Dans la partie Nord de l'erg, l'examen des enregistrements Radar de SIR A (bande L, 23 cm) n'a pas fourni d'éléments supplémentaires d'interprétation très remarquables dans les formes dunaires, qui apparaissent en surfaces sombres non différenciées (sans contraste donc). L'exemple de l'Erg El Annagueur, au SSE de Brézina, est très révélateur à cet égard. Sur l'image Landsat 210-38, on distingue de vastes édifices séparés par des dunes de plus petite taille alors que l'enregistrement radar montre une tache sombre sans relief.

Par contre, combinés avec une image Landsat, les enregistrements SIR-A peuvent fournir des indications intéressantes sur les nappages sableux à la périphérie des ergs (ou dans les secteurs sans grandes dunes de ces derniers). Ayant un pouvoir de pénétration dans le sable d'environ 2 m, ils n'enregistrent pas bien la structure des édifices, gommée par cette pénétration. Mais ils enregistrent fort bien en gris sombre les aires de nappages épais et de petites dunes, peu visibles sur les images Landsat, si la nappe sableuse atteint l'épaisseur absorbant l'émission. La comparaison avec l'image Landsat permet ensuite de différencier les aires de nappages de celles de grandes dunes visibles sur l'image. Il est donc possible, grâce à une technique peu favorable, de concevoir un procédé d'étude prometteur pour l'avenir, lorsque de tels enregistrements seront plus nombreux. La bande étudiée est malheureusement un peu trop au Nord de l'erg pour que l'on puisse en tirer des conclusions plus précises. Son utilité dans l'étude des phénomènes fluviatiles, même inactifs, semble par contre remarquable, grâce à la grande sensibilité de l'enregistrement à l'humidité du sol, non seulement en surface, mais aussi à faible profondeur.

4) COMMENTAIRE DE LA CARTE

Malgré les réserves énoncées, l'image Landsat et sa cartographie permettent une étude des phénomènes éoliens, à petite échelle, impossible avec les méthodes antérieures. Si l'objet de ce rapport n'est pas l'étude exhaustive des phénomènes cartographiés, il a, malgré tout, paru utile de résumer quelques grands traits de la morphologie éolienne de la région.

Une opposition marquée s'observe entre la moitié NE de l'image, presque intégralement couverte par les dunes du Grand Erg Occidental, et la moitié SW où les dunes sont rares, mais où les placages couvrent des superficies notables.

A. LES SURFACES SANS DUNES

Les phénomènes éoliens y sont différents selon les affleurements sur lesquels ils se développent.

- Sur les hamadas (essentiellement celle du Guir), la grande planitude du relief permet le développement d'aires où les nappages et voiles sableux sont assez homogènes.

- Sur les affleurements pré-hamadiens, l'irrégularité du relief favorise les accumulations sableuses de faible étendue, étroitement liées à l'orographie, qu'elles soulignent (placages de versants).

Sur la portion NW de l'image, il est souvent difficile de séparer les sables fluviatiles des grands oueds venus du Nord, des sables plus typiquement éoliens. La distinction est d'autant plus délicate que les premiers sont presque immédiatement remaniés par le vent après les crues.

B. LES ERGS ET LEUR PERIPHERIE

Ils sont de deux sortes :

1) Les petits ergs, à structure assez simple. Leur intérêt principal est souvent leur position topographique : le petit erg Erg el Atchane (en E2-E3), à l'WSW d'el Ouata, entoure l'extrémité nord-occidentale du Djebel el Kahla dont l'altitude relative est de 350 m ; l'Erg Chebbi (en B1-C1) est logé dans une courbure du Djebel Berga Saida ; tous deux ont une position probable d'ergs d'écho au vent des djebels.

Le petit Erg Djemel (en D1-E1) est dans une position plus complexe, entre les hauteurs du Djoub en Naama, au NE, et les hauteurs surmontant le puits d'el Kseib, à l'Ouest. La position déprimée peut s'y combiner avec des apports des sebkas proches.

Le massif de dunes du Ras-el-Areg, près de la confluence de l'Ouest Guir, de l'Oued Béchar et de l'Oued Zousfana, résulte de la reprise par le vent des alluvions des deux premiers oueds ; il semble appuyé contre la terminaison méridionale de la Hamadet Zouima et les affleurements monoclinaux primaires dominant l'Oued Zousfana.

L'Erg-Er-Raoui, dans l'angle SW de l'image, n'apparaît pas suffisamment pour que l'on puisse en tirer des conclusions intéressantes.

2) Le grand Erg Occidental, dont l'image ne montre qu'une faible partie de la bordure occidentale, est un ensemble bien plus complexe. La zone cartographiée peut être schématiquement divisée en plusieurs parties.

- La partie septentrionale, aux formes en "creux" précédemment décrites, au Nord du "golfe" d'El Krella (le grand affleurement dépourvu de dunes au SE de Taghit).

- Les affleurements de formes "émoussées" entourant le golfe d'El Krella au Sud et à l'Est. Les dunes y sont rectilignes au NE, plus contournées au Sud et au SW, triangulaires au Nord de Beni-Abbès.

- La partie nord-orientale de l'image, où les dunes sont assez rares, allongées mais sinueuses dans le détail, souvent dissymétriques, entourées de vastes aires de déflation.

- La partie méridionale, au Sud du parallèle de Beni-Abbès, secteur complexe où les édifices sont souvent de petite taille en plan, sauf une bande de dunes dissymétriques parallèles à la Saoura. Près de cette dernière, de grands ghourds (dunes en étoiles) forment les "premières lignes" de dunes au-dessus des rares niveaux sans sable de la rive gauche de la Saoura. Les édifices ont souvent une disposition assez anarchique, surtout sur la moitié sud du bord oriental de l'image.

L'état d'avancement de l'étude ne permet pas de proposer des explications à la répartition des formes décrites. L'un des éléments les plus frappants de cette disposition est la frontière occidentale marquée du Grand Erg Occidental, strictement limité par la vallée de la Zousfana et de la Saoura ; ce fait, remarqué depuis longtemps, n'a pu être expliqué jusqu'à ce jour.

5) CONCLUSION

La réalisation d'une interprétation par image satellite des phénomènes éoliens d'une région peut aboutir à des résultats remarquables par les possibilités d'extension cartographique qu'elle comporte. Mais elle suppose deux conditions :

- une connaissance antérieure des phénomènes étudiés, pour éviter de graves erreurs d'interprétation, surtout dans l'étude des formes dunaires, souvent délaissées et méconnues, erreurs qui peuvent amener à des conclusions totalement erronées (voir par exemple les interprétations sur la dynamique des dunes de la partie occidentale de l'erg in A. MARIE, 1983).

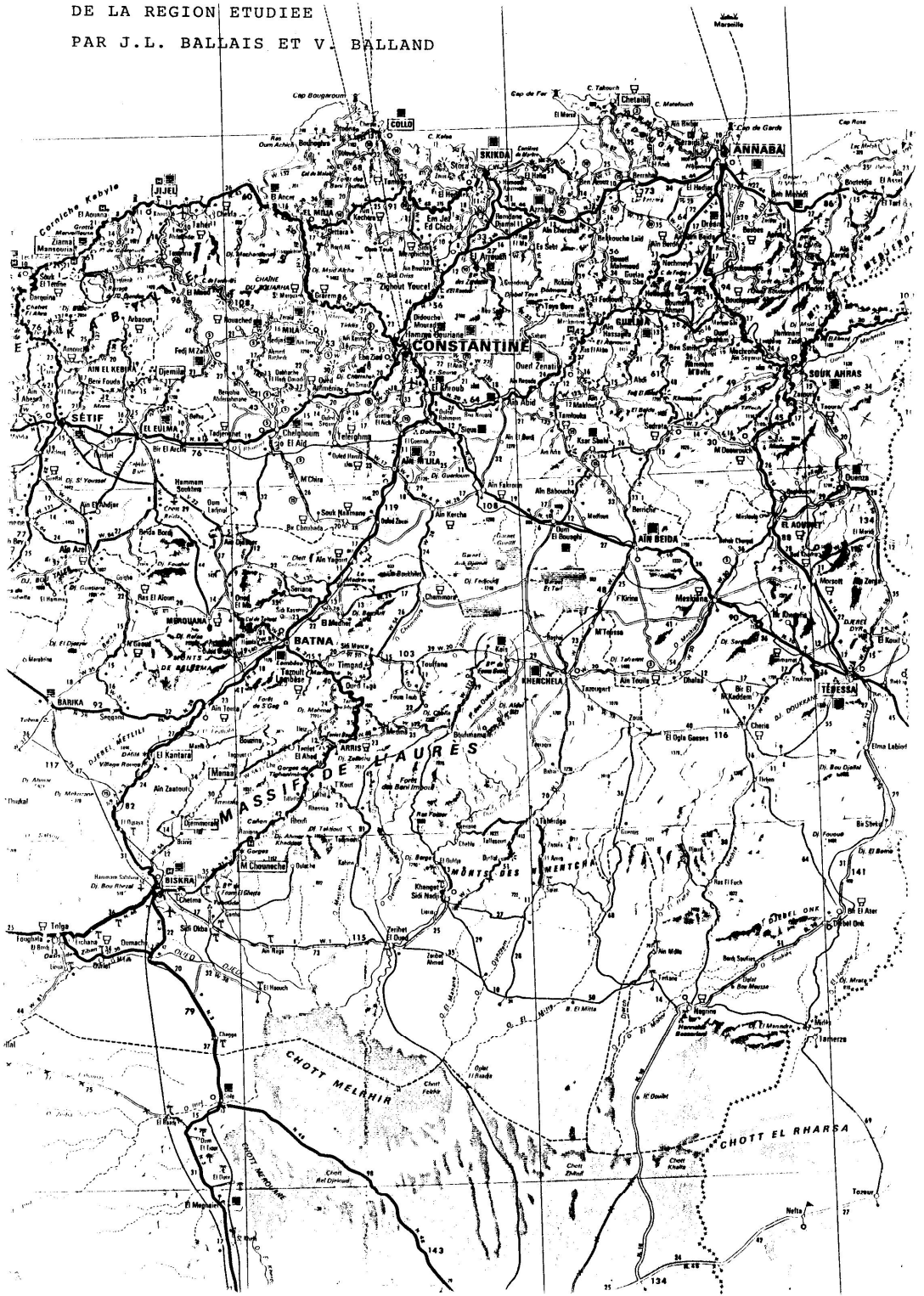
- Une connaissance de la zone étudiée par d'autres méthodes plus précises que l'examen des images Landsat, soit vérification au sol, soit utilisation des photographies aériennes pour définir quelques "formes types". Ces méthodes permettent de connaître la nature réelle des différentes aires choisies pour la cartographie à partir d'images Landsat, et suppriment tout risque d'erreur grossière dans la partie descriptive du levé.

Une telle étude est en cours pour les marges nord du Grand Erg Occidental, dans le but de cartographier la moitié septentrionale de cet erg, et le piémont de l'Atlas. La connaissance du terrain, parcouru en tous sens, et la possession d'un grand nombre de photographies aériennes de la région permettront une cartographie précise (à l'échelle considérée) que l'utilisation du traitement direct à partir des bandes magnétiques aurait pu rendre encore plus fine.

BIBLIOGRAPHIE

- MARIE A. (1983) : Etude comparative des images SIR-A et LANDSAT sur la terminaison ouest du Grand Erg Occidental. Bull. S.F.P.T. (Société Française de Photogrammétrie et Télédétection), n° 92, 1983-4, p. 13-21.

CARTE DE SITUATION GEOGRAPHIQUE
DE LA REGION ETUDIEE
PAR J.L. BALLAIS ET V. BALLAND



ESSAI DE CARTOGRAPHIE
DU BAS SAHARA ALGERO-TUNISIEN

(J-L BALLAIS et V. BALLAND)

OBJET DES RECHERCHES

C'est pour contribuer à la cartographie des marges Nord-Sahariennes à partir de données satellitaires que nous avons retenu la région du Bas Sahara Algéro-Tunisien s'étendant du piémont des Aurès et des Némentchas jusqu'à l'oued Rhiz et aux marges du grand Erg Oriental. Cette région a été choisie en raison de la connaissance du terrain que nous en avons et surtout à cause de son triple intérêt géomorphologique :

- des épandages de piémont et de leur passage aux systèmes des sebkhas
- des vastes sebkhas : Melghir, Mérouane, Rharsa, Djérid
- des transits et dépôts éoliens en ergs superposés.

Le substratum mio-pliocène argilo-gréseux, localement déformé en rides anticlinales plus ou moins érodées, est surtout subsident. Certains linéaments découverts grâce aux images satellitaires l'affectent (Melghir principalement).

Sur l'ensemble de la région considérée, les dépôts essentiels sont donc quaternaires avec un étagement des glaci-cônes de piémont, une hiérarchie des épandages, une succession d'auréoles de bordure de sebkha et une superposition associée à une succession, de dépôts sableux.

METHODOLOGIE

Nous avons travaillé sur deux scènes (207-36 et 208-36) qui contiennent la région considérée, d'Ouest en Est. D'abord nous avons obtenu des tirages noir et blanc au 1/500 000 avec des tirages diazo de chacun des canaux 4-5-7 des images du 10.11.72 pour la scène 207-36 et du 01.10.73 pour la scène 208-36.

Puis nous avons reçu les images du 13.06.80 pour la scène 207-36 et du 20.03.81 pour la scène 208-36 pour lesquelles nous disposons des tirages de chacun des canaux en noir et blanc agrandis au 1/500 000 et de compositions colorées réalisées :

- sur une surface partielle et sur film au 1/500.000 par le laboratoire photographique du CERC (documents d'une qualité remarquable reçus au printemps 1984),
- sur la totalité de l'image et sur papier, mais avec des distorsions d'échelles et une qualité de tirage moins bonne, par le Centre de Télédétection d'Aix-en-Provence. (Documents reçus au printemps 1985).

Enfin, après quelques mois de démarches, nous venons à peine d'obtenir les images d'un film négatif au 1/1000 000

- du 10.10.80 pour la scène 207-37
- 09.10.80 pour la scène 208-36

Nous n'en possédons pour l'instant que des tirages sur papier contact au 1/1.000.000, ce qui est très insuffisant pour travailler. Les agrandissements du papier et les compositions colorées devaient être réalisés à Aix-en-Provence, mais nous attendons depuis deux mois leur envoi. En fait ce serait une nouvelle composition colorée sur film avec agrandissement au 1/500 000 qui serait le plus utile.

L'étude diachronique a été rendue extrêmement difficile par le manque de superposition des images et par conséquent des calques de zonage. Elle se révèle pourtant d'un très grand intérêt sur les maaders et en bordure de sebkhas.

L'ANALYSE DES DONNEES LANDSAT VISUALISEES SUR FILMS

L'analyse visuelle des canaux 4-5-7 en noir et blanc et des compositions colorées nous a permis de réaliser un zonage cartographique des différentes unités à chacune des dates considérées :

10.11 - 72/73 et 3,3 - 80/81

et nous avons pu mettre en évidence, dès ce moment de l'étude, des zones à signature spectrale différenciée dans des ensembles homogènes en géomorphologie. Ceci aussi bien sur les piémonts (maaders qui s'individualisent parmi des épandages très étendus), qu'au sein des complexes de sebkha (secteurs d'encroûtement salin dont certaines croûtes persistent quelle que soit la saison considérée, degré d'humidité varié de la croûte saline et des limons salés). Une zone à battement de nappe s'est rapidement individualisée face aux secteurs à croûte de sel permanente et à l'aurole végétalisée du chott.

Dans les secteurs ensablés certains problèmes de superposition d'une couverture sableuse sur encroûtement gypseux et sur substratum mio-pliocène n'ont pu être résolus que grâce à des relevés de terrain rendus possibles par le passage de l'un de nous (J-L. Ballais) dans la région, au printemps 1985.

LA CARTOGRAPHIE : MAQUETTE AU 1/500.000

La réalisation de la maquette a posé de redoutables problèmes de superposition de signes et de couleurs et c'est pourquoi on peut noter des différences entre la carte dessinée ici et les signes retenus pour la légende proposée in fine. (cf. pl. hors-texte n° 8)

L'apport de la cartographie est notable malgré l'échelle du 1/500.000 parce que sont juxtaposés sur une même feuille des ensembles jusqu'alors isolés (du chott Mérouane au chott Djérid par exemple), ce qui permet de mieux saisir certains aspects communs, aussi bien que certaines différences (pour les édifices dunaires, par exemple, apparaît une modification des directions des vents efficaces d'Est en Ouest, du Nord au Sud, ceci pour des modelés de relatif détail, superposés à une organisation antérieure en cordons et couloirs).

Les limites des unités cartographiées apparaissent de façon nouvelle pour les sebkhas et leurs auroles de battement de nappe. De même, le dessin du chevelu des écoulements saisonniers sur les épandages révèle l'importance de l'alimentation hydrologique de piémont (Rharsa et Melghir) par rapport aux remontées de nappes prépondérantes dans le Djérid (aïoun). L'étude des épandages actuels montre aussi une différenciation entre les secteurs saisonnièrement fonctionnels et d'autres

qui restent secs, ce qui a un intérêt certain en géographie appliquée. Enfin, sur le piémont des Nementchas et des Aurès, se distinguent sur des glacis de forme et d'allure identiques des encroûtements calcaires à l'Ouest, gypseux à l'Est, lesquels témoignent d'une régionalisation en fonction des transits éoliens.

Nous souhaitons maintenant mener une étude dans deux directions :

- multitemporelle sur l'extension des sebkhas et les variations de leurs auréoles, grâce à l'exploitation des images récemment reçues.
- multitemporelle et spatiale sur les flux de sables, pour essayer d'en déterminer les composantes saisonnières et recenser leur extension.

Mais nous aimerions surtout pouvoir acquérir certaines bandes magnétiques pour effectuer des traitements numériques et des sorties de cartographie automatique.

PUBLICATIONS (1)

- BALLAIS J.L. (1983) - Modifications de l'environnement dans les Aurès (Algérie) au cours de l'Holocène. Colloque INQUA, Toulouse.
- BALLAIS J.L. (1983) - Moraines et glaciers quaternaires des Aurès (Algérie). 108ème Congrès National des Sociétés Savantes.
- BALLAIS J.L. (1983) - Recherches de géomorphologie périglaciaire en Algérie. In "Recherches françaises de géomorphologie périglaciaire", Congrès U.G.J. 1984.
- BALLAIS J.L. (1984) - Les rapports entre les terrasses et l'évolution des versants dans les Aurès (Algérie). Bull. A.F.E.Q., sous presse.
- BALLAIS J.L., LEVY A. et RISER J. (1984) - Les terrasses quaternaires du cours inférieur de quelques oueds du Golfe de Gabès. Géol. médit. (à paraître).
- BALLAIS J.L. (1984) -Grandes phases de modification de l'environnement dans les Aurès (Algérie) au cours de la période historique. Bull. Ass. Géogr. franç., (sous presse).
- BALLAIS J.L. et BALLAND V. (1983) - Discussion sur l'origine du "loess" pléistocène de Téchine (Sud Tunisien). Bull. Soc. géol. Fr. (7), t. XXV, n° 4, p. 635-636.
- BALLAIS J.L. et BALLAND V. (1983) - Sur l'origine des sables limoneux des Monts de Natmata (Sud Tunisien). Travaux du CREGEPE, n° 3, p. 7-17.
- BALLAIS J.L. et REBILLARD P. (1983) - Interprétation d'enregistrements digitaux de données SIR-A Seasat et Landsat sur les chotts algériens. C.R. Acad. Sc. Paris, série II, t. 296, p. 103-106.
- BALLAIS J.L., BALLAND V., BENZAOUZ M. et COQUE R. (1985) : Les recherches préliminaires sur l'évolution quaternaire du bas Sahara algérien. Mémoire "Pour Fernand JOLY" p. 29-39.
- CALLOT Y. (1984) - Dépôts lacustres et palustres quaternaires de la bordure Nord du grand Erg Occidental (Algérie). C.R.Ac.Sc., T. 299, p. 1347-1350.
- CORNET C. (1983) - Traitements des données Landsat appliqués à la cartographie des phénomènes géomorphologiques récents dans la région de Beni-Abbès (Sahara). Colloque Intern. sur la Paléoécologie saharienne Beni-Abbès, 20-30 octobre 1983, CRAPE, 11 p., 3 fig., Alger.
- CORNET C. et SIMONIN A. (1984) - Mise au point, par les moyens de la télédétection d'une cartographie automatique des phénomènes géologiques et géomorphologiques en milieu saharien (région de Beni-Abbès). Premier résultats. Colloque Intern. sur l'Informatique et les Sciences de la Terre, 9-13 mai 1984 Nancy, p. 263-275, 4 fig.

(1) Cette bibliographie ne concerne que les publications de 1983 à 1985.

- CORNET C., FOSSET R., SIMONIN A. (1985) - Cartographie de reconnaissance des phénomènes géologiques et géomorphologiques dans la région de Beni-Abbès (Sahara Algérien), à partir de données numériques Landsat. Cahier du CNERAT, Alger, 20 p., 5 fig. (sous presse).
- MOREL A., MOREAU C. et SIMONIN A. (1983) - Apport d'un enregistrement Landsat à la connaissance géomorphologique et géologique du massif de l'Ofoud (Aïr-Niger). Rev. Géom. dyn., 32, p. 81-88, 1 carte h.t.
- OLIVA P., SALOMON J.N. (1984) - Le delta du Mangoky et sa région (Madagascar). Cartographie par télédétection spatiale. Trav. et Doc. géogr., Tropic, n° 51, CEGET, Bordeaux. 1 carte h.t.
- OLIVA P. (1984) - Le traitement analogique et l'interprétation des données Landsat. Rev. Photo Interprétation, (à paraître)
- OLIVA P. et SIMONIN A. (1983) - Synthétisation et généralisation par télédétection des observations géomorphologiques sur la bordure nord du Sahara. Coll. ATP. Télédétection spatiale, Chantilly
- REBILLARD P. et BALLAIS J.L. (1983) - Surficial deposits of twol Algerian layas as seen on SIR-A, Seasat and Landsat coregistered data. Zeitsch. für Geom. (sous presse).
- SIMONIN A. (1983) - Télédétection appliquée à la connaissance des régions arides. Coll. Intern. Sur la paléocéologie saharienne, Beni-Abbès, 20-30 octobre 1983. CRAPE, 9 p., 1 fig, Alger.
- SIMONIN A. (1985) - Essai de caractérisation des formations superficielles hamadiennes dans la région de Beni-Abbès (Sahara algérien) au moyen de données de télédétection. Mémoire "Pour Fernand JOLY", p. 199-210, 3 fig.
- VOGT T. (1982) - Sur la présence d'algues d'eau douce dans une croûte, calcaire Quaternaire d'Afrique du Nord. C. R. Ac. Sci. Paris, 295, II, p. 703-708.
- VOGT T. (1983) - Types et genèse de croûtes calcaires (France Méditerranéenne, Afrique du Nord). Thèse Sci., Univ. Paris VI, 253 p.
- VOGT I. (1983) - Signification paléocéologique des croûtes calcaires. Comm. Colloque Intern. "Paléocéologie des régions sahariennes", Beni-Abbès, 20-30 oct. 1983. C.R.A.P.E., Alger.

En préparation:

CORNET C. et SIMONIN A. : Etude géomorphologique de la hamada du Draa et du Djebel Bet Tadjin (Sahara occidental), d'après les données RADAR (SIR A) obtenues par la navette spatiale Columbia (pour la revue de Photogrammétrie).

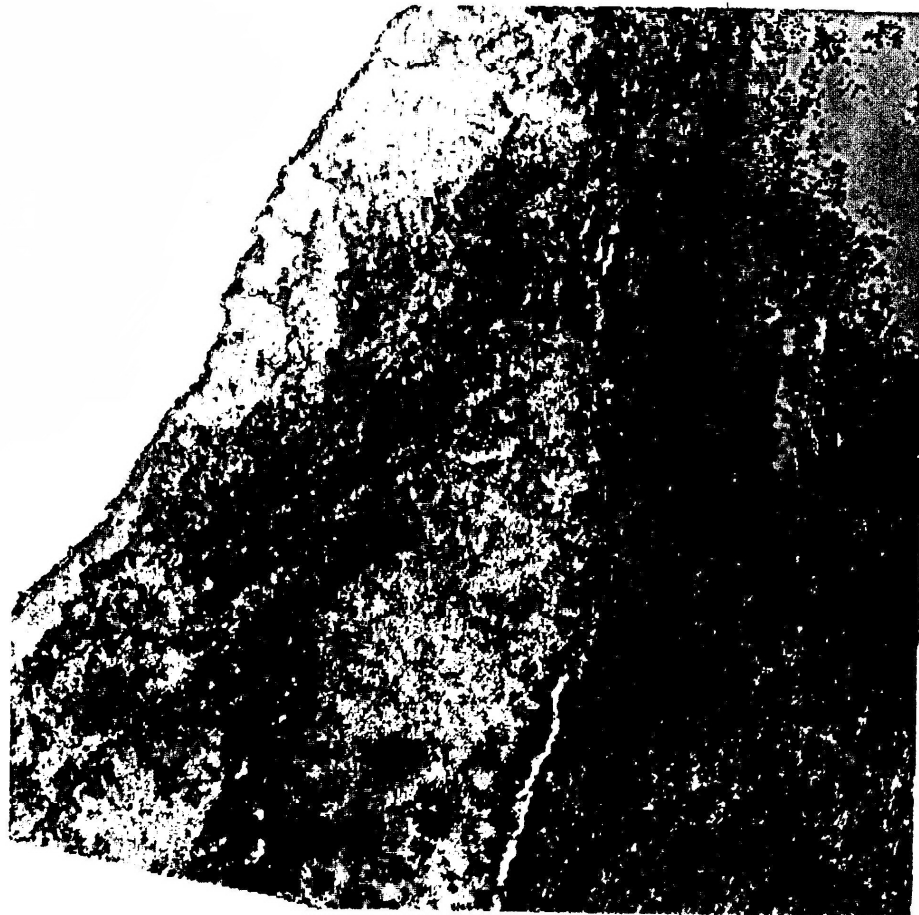
Classification de fenêtres 512 x 512
 Exemple de Sidi Ifni
 A - Image d'écran
 B - Cartographie infographique

planche n° 1

- 1 -) Croûtes et encroûtement
- 2 -)
- 3 - Calcaires de Tizit
- 4 - Complexe steppe /sols rouges/croûte
- 5 - Complexe steppe dégradé
- 6 -) Complexe Arganeraie/steppe sur
- 7 -) Sols rubéfiés
- 8 -)
- 9 -) Végétation dense (irriguée)
- 10 -) Eaux marines indifférenciées
- 11 -) Ombres portées
- 12 -)



CLASSEMENT MULTI-SPECTRALE
 TELEIMAGERIE DE L'ANTI-ATLAS OCCIDENTAL MASSIF D'IFNI (SAISON HUMIDE)
 C. TAVIGNAN, Ecole des Mines de Paris



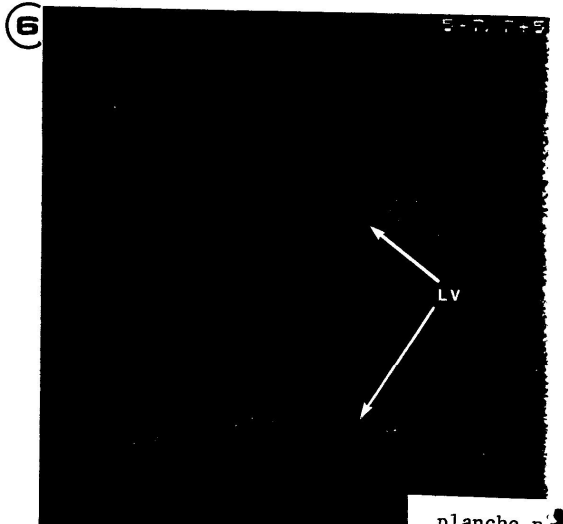
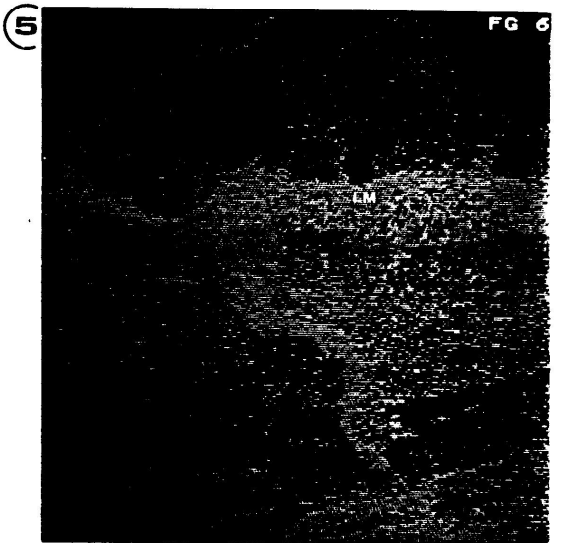
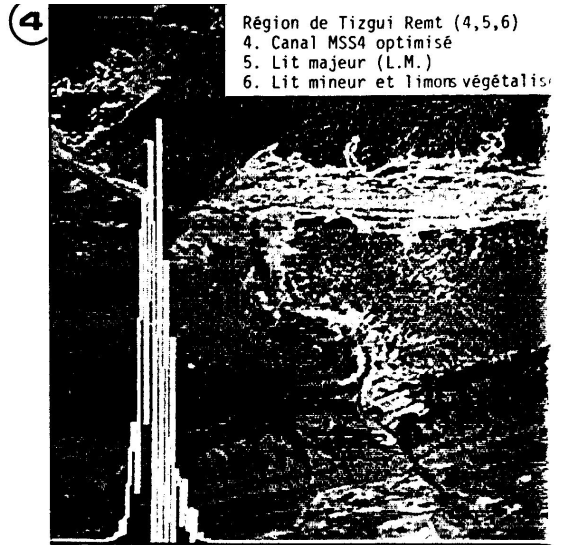
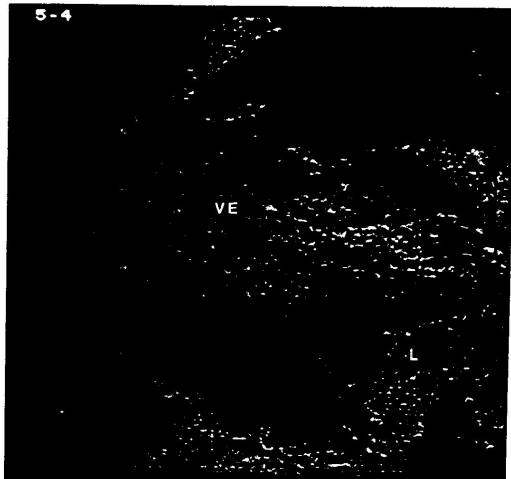
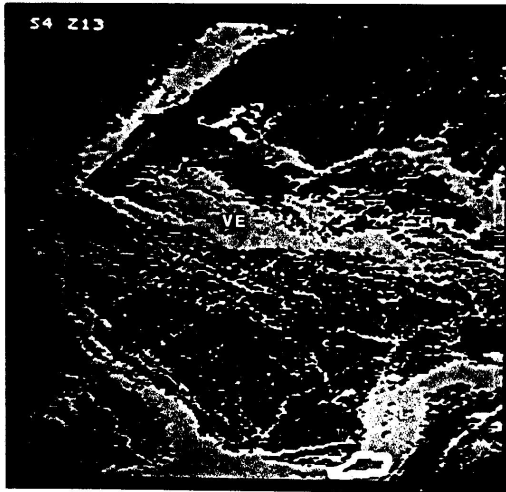
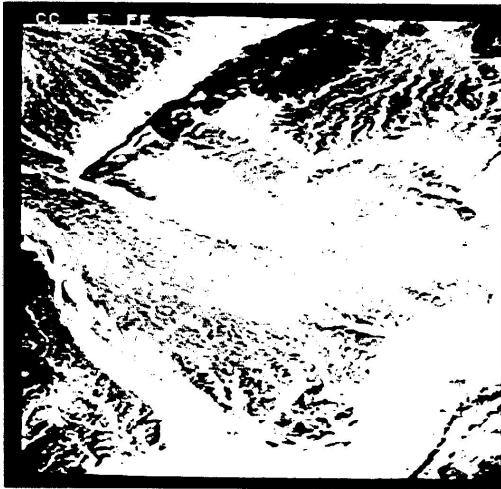
- 1 -
- 2 -
- 3 -
- 4 -
- 5 -
- 6 -
- 7 -
- 8 -
- 9 -
- 10 -
- 11 -
- 12 -

+ REPRODUCTION

C.TAVIGNAN, ECOLE DES MINES DE PARIS

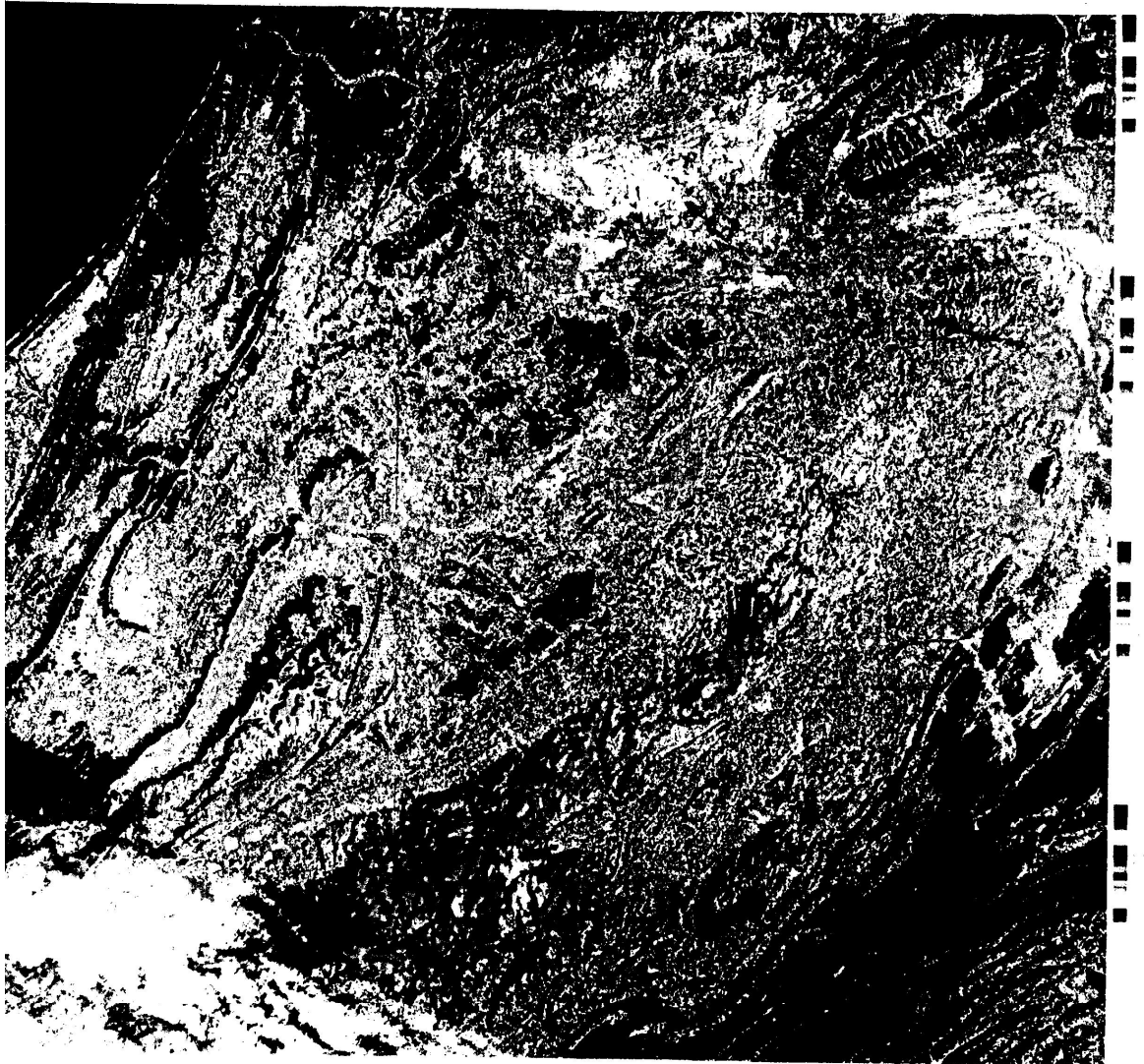
neocanaux sur tenetres Z56x256 (Pericolor 1000)
 Région d'Assa (Bani Plisse) (1,2,3)

1. Composition colorée
2. Limons (L) et voile éolien (E)
3. Discrimination limon - voile éolien



Classification supervisée thématique généralisée à l'ensemble d'un secteur
1500 x 2000- Bani plissé.

Collaboration (L.G.T., Strasbourg, T. VOGT, Ch. SCHNEIDER)
Echelle de sortie 1/80 000 rectifiée



Legende simplifiée - Echelle approximative 1/500.000"

A / Formes et formation à faible albedo

- 1 Ombre, eaux marines
- 2 Ombre portée
- 3 Glacis sur substrat schisteux
- 4
- 5) Formation à faible reflectance
- 6) Glacis et épandage sur sols
- 7) Rouge, sans encroûtement apparent.

C/ Formes et formation à très fort albedo

- 12) Surface à très forte reflectance
- 13) Limon, aspersion éolienne, glaçage (11)
- 14) Travertin (13), sable (14,15)
- 15)

B/ Formes et formation carbonatées

- 8) Surfaces à encroûtement apparent (carbonata-
- 9) tion croissante)
- 10
- 11

D/ Formes et formations végétalisées

- 16) Complexe végétalisé
- 17) Oasis (16) . Complexes
- 18) Evolué type terra rossa (17)
- 19) Moyennement et faiblement décarbonaté (18,19)

PLANCHE N° 4

CARTE GEO-MORPHODYNAMIQUE DE L'ANTI-ATLAS

Réalisée par Pierre OLIVA

Réduction photographique de la maquette originale
dressée au 1/500.000.

Pour la légende, se reporter aux pages 18 à 23 du présent rapport



PLANCHE N° 6

Carte infographique de la région de Beni-Abbès
obtenue par croisement des canaux 5 et 7, avec lis-
sage 3X3.

Pour les explications, se reporter au texte du pré-
sent rapport, p. 34 - 37 .

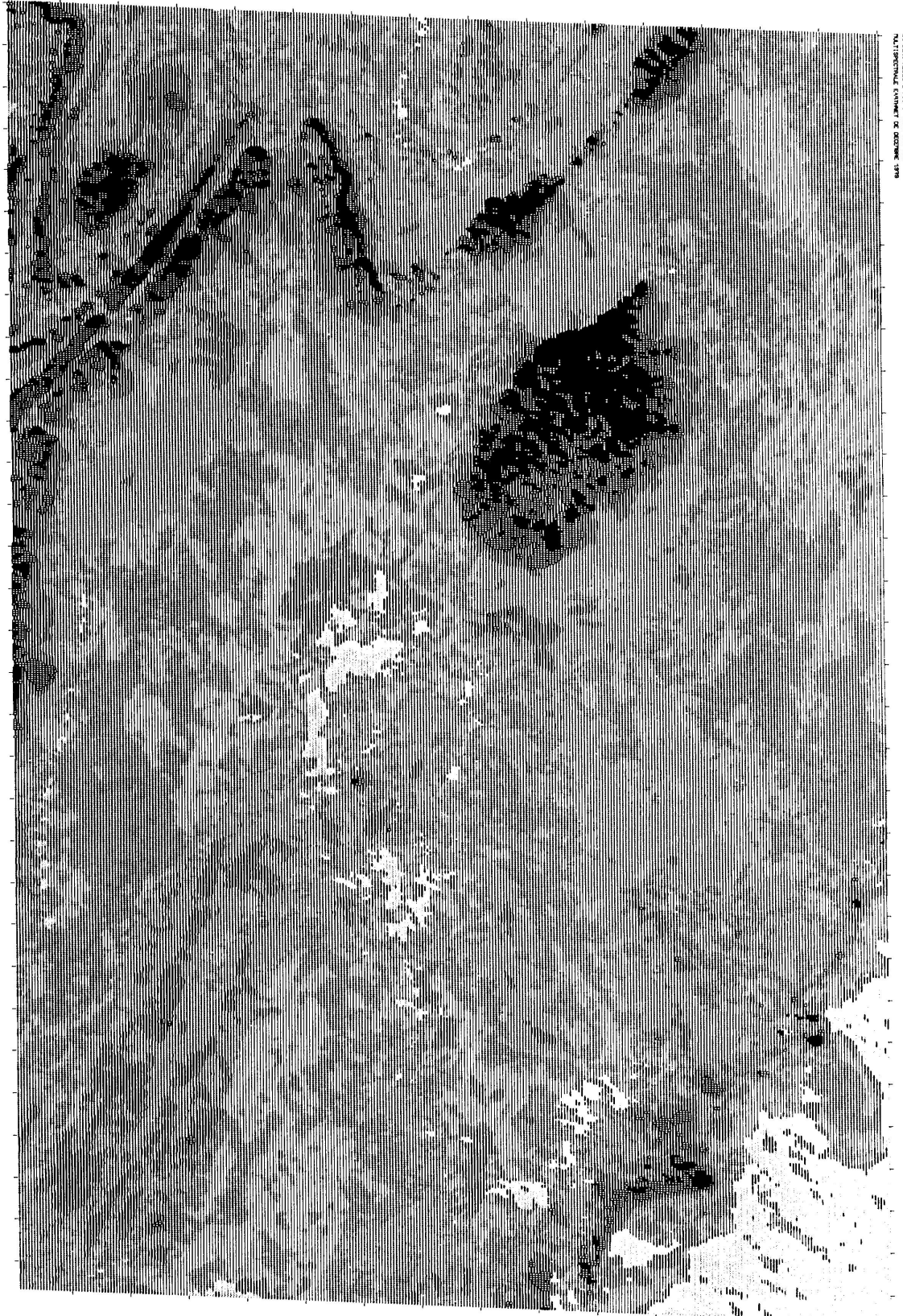


PLANCHE N° 7

CARTE GEO-MORPHODYNAMIQUE DE LA REGION DE BENI-ABBES

SCENE LANDSAT 213-39

Réalisée par Cécile CORNET et André SIMONIN

Réduction photographique de la maquette originale
dressée au 1/500.000.

Pour la légende, se reporter aux pages 32-41 du présent rapport



P L A N C H E N ° 8

CARTE GEO-MORPHODYNAMIQUE DES CONFINS ALGERO-TU-
NISIENS.

SCENES LANDSAT 207-36 et 208-36

Réalisée par J.L. BALLAIS et V. BALLAND

Réduction photographique de la maquette originale
dressée au 1/500.000.

Pour la légende, se reporter aux pages 53-55 du présent rapport

planche n° 8

