

EXPERIENCE ARZOTU : RESULTATS OBTENUS A PARTIR DES DONNEES LANDSAT  
ACQUISES EN 1975 ET 1976

par

G. LONG,<sup>(1)</sup> Mme G. DEBUSSCHE,<sup>(1)</sup> B. LACAZE,<sup>(1)</sup> A. LE COCQ,<sup>(2)</sup> E. LE FLOC'H,<sup>(1)</sup>  
A. PONTANIER<sup>(2)</sup>

(1) Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques L. Emberger -  
MONTPELLIER et GABES

(2) Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer -  
MONTPELLIER et GABES

RESUME

Une expérience portant sur la valorisation thématique de données LANDSAT acquises en 1975-76 a été entreprise en Tunisie du Sud ; elle s'appuie sur des données-terrain relevées par une équipe interdisciplinaire, et sur des travaux de cartographie phyto-écologique, édaphique et de l'environnement.

Les auteurs présentent les résultats issus de l'analyse des images traitées en couleurs additives. Ils discutent les modalités de réalisation d'un zonage à deux niveaux de perception du territoire étudié, à partir de données diachroniques. Ils étudient ensuite dans quelle mesure les zones délimitées par photo-interprétation correspondent à des secteurs écologiques et/ou à des paysages pédologiques.

A partir des données numériques diachroniques, l'étude des réponses spectrales d'ensembles d'éléments de résolution convenablement repérés et validés à partir de données-terrain permet de définir les possibilités de cartographie automatique relatives aux thèmes suivants : utilisation du sol, inventaire des zones de céréaliculture pluviale, évaluation de l'état de la végétation des zones pastorales.

L'accent est mis sur la capacité des systèmes d'analyse et de traitement des données à fournir des réponses pertinentes aux questions que se posent les responsables des pays en cours de développement dans cette partie du monde soumise à des contraintes écologiques particulières.

ABSTRACT

An experiment with the thematic development of LANDSAT data gathered in 1975-76 has been undertaken in Southern Tunisia. It is based on ground data collected by an interdisciplinary team and on phytoecological, edaphic (soil), and environmental mapping.

The authors present the results of the analysis of colour-composite imagery. They discuss the possibilities of creating a zoning system based on two perception levels with regard to the territory under study, using multi-temporal data. They then discuss to what extent the zones delineated by photo-interpretation correspond to ecological units and/or to pedologic areas.

From the multitemporal digital data, the study of spectral responses of aggregates of pixels suitably marked and validated on the bases of ground data allows the definition of automatic mapping possibilities, with regard to the following topics: land-use, inventory of rain-fed agriculture areas, evaluation of rangeland vegetation condition.

The accent is placed on systems analysis and data processing capacities to provide appropriate answers to questions asked by those responsible in developing countries in this part of the world which is subject to particular ecological constraints.

## 1. INTRODUCTION

L'expérience ARZOTU, lancée en 1974, à l'initiative du Département d'Ecologie générale du Centre Emberger du CNRS à Montpellier, est réalisée dans le cadre d'accords de coopération scientifique et technique conclus entre deux institutions de recherche françaises, le CNRS et l'ORSTOM, et plusieurs organismes tunisiens participant au Projet *Parcours du Sud* de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT). L'expérience bénéficie de l'aide financière et technique du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) de France. Elle utilise les données LANDSAT enregistrées par la Station de Fucino (Italie) et distribuées par la Société Télésazio.

C'est l'une des rares expériences de ce genre dans la partie aride de la zone écologique méditerranéenne et la seule au Nord du Sahara. A ce titre, elle constitue une sorte de *programme test* pour l'évaluation des possibilités de l'utilisation, et de l'intérêt réel des données des satellites d'observation des ressources terrestres. Elle constitue une étude de *pré-faisabilité de système opérationnels d'inventaire, d'évaluation, de prévision et de surveillance* concernant la nature et l'état des ressources dans une zone de l'écosphère où des dysfonctionnements graves sont recensés (steppisation, désertisation, salinisation, ...). Elle peut être conçue comme une étude critique, faite par des thématiciens, des techniques de télédétection spatiale disponibles, en vue de proposer les progrès méthodologiques à accomplir dans la conception et la réalisation des études intégrées fondées sur le *diagnostic écologique de l'impact de l'homme sur la biosphère*, en référence aux conceptions du Programme MAB.

*Les objectifs assignés à l'expérience ARZOTU sont les suivants :*

- 1) Inventaire et évaluation des phénomènes majeurs de la surface
- 2) Etude diachronique des cultures et de la végétation spontanée
- 3) Etude diachronique de l'état de la surface des sols et des réservoirs naturels (eaux libres)
- 4) Surveillance des conditions écologiques de l'environnement : désertisation, phénomènes exceptionnels
- 5) Etude de la capacité de généralisation pour la cartographie thématique : géomorphologie, pédologie (cas particulier des sols gypseux), phytologie/écologie, utilisation des terres, évaluation de la désertisation, etc

## 2. PRESENTATION DU TERRITOIRE ETUDIE

Le territoire concerné par l'expérience ARZOTU est un ensemble de l'ordre de 40 000 km<sup>2</sup> situé entre les isohyètes moyens annuels de 100 mm et 350 mm caractérisant la Tunisie centrale et la Tunisie présaharienne. C'est, plus exactement, la presque totalité des terres rattachées à l'*étage bioclimatique méditerranéen aride* de la classification d'Emberger. Par ailleurs, c'est la seule partie située à proximité du Sahara où les *potentialités biologiques sont encore d'un niveau jugé suffisant*, ce qui justifie la formulation de plans de développement et de gestion des ressources de l'espace rural, en prenant en considération l'existence d'une pression humaine qui résulte d'une population sédentarisée, dont la densité est de l'ordre de 2 à 90 *habitants au km<sup>2</sup>* selon la productivité des diverses zones de production agricole ou les activités économiques.

Ce territoire est bien connu sur *le plan général* : géologie, hydrologie, géomorphologie, pédologie, climatologie, végétation, agriculture... Il est couvert généralement par des cartes topographiques de base, par des "missions" photographiques aériennes. Il est le siège depuis plus de 25 ans de nombreuses études écologiques de base appliquées au développement ; il existe sur place des équipes de chercheurs très qualifiés en opération sur le terrain depuis plusieurs années. Ces divers éléments méritent d'être signalés afin de mieux évaluer la portée des résultats, positifs ou négatifs, produits par l'expérience ARZOTU.

Les caractéristiques écographiques essentielles du territoire étudié sont les suivantes :

- précipitations moyennes annuelles variant de 100 à 350 mm, à régimes saisonniers contrastés (*1er maximum : automne*) ;
- régimes photo-thermopériodiques contrastés (*saisonnement spécifique de la végétation spontanée et cultivée*) ;
- régimes pluvio-thermiques favorisant 2 pics de végétation : 1 pic printanier, le plus fréquent, d'avril à juin ; 1 pic d'automne, plus exceptionnel, d'octobre à novembre ;
- grande diversité des formes de terrain : ensemble de plaines et de plateaux qui se raccordent aux montagnes (*djebels*) par des glacis d'érosion et d'accumulation (*seguis*) ;
- réseau hydrographique souvent de type endoréique ou semi-endoréique (*sebkha, chott, garaa*) ;
- grande diversité des types de substrats : sols sableux, limoneux, limono-argileux ; avec croûte calcaire, gypseuse, calcaro-gypseuse ; sols présentant des phénomènes de salure, de salinisation, d'engorgement permanent ou temporaire ;
- perte quasi générale de la *fertilité fondamentale des terres*, par suite de la non-restitution des éléments nutritifs majeurs dans les cycles culturels anciens et actuels ;

- baisse de la *capacité de mise en réserve de l'eau*, par suite de la détérioration du couvert végétal, de la perte de la matière organique, de l'érosion
- grande *diversité des systèmes écologiques spontanés et cultivés* associés dans l'espace et dans le temps en un grand nombre de *combinaisons* :
  - plus de 500 phytocénoses d'espèces herbacées et ligneuses basses décrites, avec des recouvrements allant de 1 % à 50 % ;
  - cultures herbacées (céréaliculture pluviale épisodique à base de blé ou d'orge, seule ou en intercalaire avec arbres fruitiers) ; cultures pérennes (arboriculture pluviale à base d'oliviers, d'amandiers, d'abricotiers, de pistachiers ; plantations de Cactus inerme, *Atriplex spp.*, *Acacia spp.*, *Eucalyptus spp.* ; systèmes culturaux complexes des oasis et des périmètres irrigués ;
  - longue histoire (plus de 2 000 ans) agricole et pastorale de l'utilisation des terres entraînant des modifications fondamentales du paysage rural hérité (ex : système des *gessours*, *des seguis* ; sahel de Sfax ; oasis...) et conditionnant la compréhension des successions écologiques ;
  - capacités actuelles de production des systèmes spontanés de l'ordre de 0 à 1 500 kg de matière sèche végétale/ha/an ;
  - capacités actuelles de production des systèmes cultivés pluviaux de l'ordre de 0 à 1 500 kg de blé (grain) ha/an ;
  - grande importance des pratiques sociales dans l'utilisation diversifiée des ressources.

### 3. PRINCIPES METHODOLOGIQUES GENERAUX

Les principes généraux qui constituent la base d'interprétation thématique des données LANDSAT sont les suivants :

*1er principe : Nécessité et utilité de l'établissement de divers zonages à partir des images en compositions colorées, en vue de la préparation de l'analyse des données numériques, du repérage de zones écographiques homogènes et stables et de l'identification de thèmes simples susceptibles d'être exprimés sur des cartes thématiques à moyenne et petite échelles.*

A partir de l'analyse visuelle (photo-interprétation) réalisée sur des images en compositions colorées d'une certaine qualification technique (combinaisons de canaux et de filtres colorés, de niveaux d'illumination et de dates d'acquisition appropriées ; adaptation de la dynamique des densités...) et à l'échelle moyenne de travail de 1/208 000, production d'une *minute cartographique des zones isophènes* en vue de la traduction de ces zones, sur support à l'échelle de 1/500 000 en *zones écographiques et/ou secteurs écologiques et/ou zones d'apprentissage*.

Le critère de relative stabilité temporelle (cf. analyse diachronique des images) des zones isophènes et les critères d'identification des variables discriminantes, après analyse sur le terrain, au niveau de perception écologique considéré (région écologique, secteur écologique) de chaque zone isophène, permettent de caractériser et de délimiter des *zones écographiques* qui peuvent conduire à l'identification de *secteurs écologiques* dans certains cas. Zones écographiques et secteurs écologiques constituent les *strates d'échantillonnage* privilégiées dont le repérage est nécessaire pour la conduite efficace de l'analyse des données numériques.

L'analyse des images, complétée par les observations de terrain, permet, en outre, dans certains cas favorables, d'identifier les ressources et leurs usages au niveau des zones écographiques et des secteurs écologiques, en vue de dresser des *cartes thématiques générales* du 1/100 000 au 1/500 000 (occupation des terres, utilisation des terres, formes de terrain, systèmes hydrographiques, grandes unités de substrats...).

*2ème principe : A partir des données numériques, décodage écographique du message spectral d'après une analyse statistique des niveaux de luminance par écotopes de référence et étude des variations spatio-temporelles des réponses spectrales et thématiques par zone d'apprentissage et/ou strate d'échantillonnage écographique. Généralisation par analyse semi-supervisée.*

En considérant des *agrégats d'éléments de résolution* correspondant à la localisation précise d'*écotopes de référence* analysés et suivis sur le terrain, on procède à l'analyse statistique des niveaux de luminance enregistrés dans les portions d'image se rapprochant le plus possible des strates, ou zones définies précédemment (cf. 1er principe).

Puis on étudie les interactions "canaux x dates" dans le but de rechercher, pour un thème donné, le *système séparateur le plus performant*, capable de satisfaire à la détection fiable d'indicateurs thématiques appropriés.

L'analyse est semi-supervisée parce qu'elle repose sur le principe de séparabilité des données spectrales aussi bien que sur le principe de séparabilité de classes pertinentes des unités thématiques de l'univers à échantillonner. Cette analyse n'est apte à fournir une généralisation acceptable qu'en considérant le postulat de la validité spatiale des intervalles de confiance des réponses spectrales instantanées ou diachroniques pour chaque strate, ou zone, définie selon le premier principe.

*3ème principe : Caractère d'obsolescence des strates d'échantillonnage écographiques et des zones d'apprentissage donc, nécessairement, des unités thématiques issues de l'analyse visuelle des images ou de l'analyse semi-supervisée des données numériques.*

En raison de la *nature changeante* de certains attributs des unités écographiques, liée aux *conditions climatiques saisonnières et locales*, autant qu'*aux décisions des sociétés humaines relatives à la gestion des ressources et de l'espace rural* dans les zones arides considérées, la nature des zones isophènes, des zones écographiques, des strates d'échantillonnage et des zones d'apprentissage doit être remise en cause périodiquement pour tenir compte de l'obsolescence des zones décrites au cours d'une première analyse (cf. 1er principe). Cette remise en cause affectera aussi le processus de généralisation applicable à l'analyse semi-supervisée à finalité thématique (cf. 2ème principe). Ce principe implique le recours à l'analyse diachronique à la fois des données acquises par MSS-LANDSAT et des données de la vérité-terrain. Il suppose, par conséquent, une vérité-terrain à caractère suffisamment permanent (réseau d'écotopes de référence).

L'application de ces 3 principes repose sur l'acquisition permanente d'un minimum de données-terrain pertinentes (indicateurs) sans cesse ajustées à la nature et à la qualité des données enregistrées par le satellite et à la problématique des programmes d'inventaire, d'évaluation et de surveillance qui *sont la raison même de l'utilisation des données de la télédétection spatiale.*

L'hypothèse d'une démarche aveugle, du type "*automatisation totale à partir des données numériques, en vue de proposer des classifications non supervisées*" est un mythe qu'il convient de rejeter vigoureusement dans les

domaines thématiques qui retiennent ici notre attention, en raison même de l'indétermination qui existe d'une part, entre la nature exacte des cibles réelles à détecter, leur hétérogénéité spatio-temporelle et, d'autre part, la signification physique du signal enregistré interprétable seulement comme un *niveau relatif de luminance*, et non comme un caractère susceptible de conduire *ipso facto* à la discrimination *taxinomique* de cibles, ou de combinaisons de cibles susceptibles de satisfaire les thématiciens.

Cette formulation ne préjuge en rien quant aux possibilités de développer *dans le futur*, des systèmes opérationnels, grâce aux résultats qui auront été d'abord produits par des systèmes de classification semi-supervisés, considérés comme la conditions *sine qua non* de la mise en route de systèmes d'utilisation permanente de données de la télédétection spatiale dans les domaines considérés ici (interfaces milieu biotique/milieu abiotique).

#### 4. ANALYSE DES DONNEES-IMAGES (résultats partiels)

##### 4.1. Nature des images analysées

Les images analysées sont des compositions colorées obtenues à l'aide d'une visionneuse (I2S, modèle 6040 PT), à partir des films (masters positifs) VISUMAT, à l'échelle du 1 : 1/1 400 000 à dynamique adaptée, issus de l'exploitation des bandes magnétiques MSS.LANDSAT provenant de la Station de FUCINO et traités par le CNES à Toulouse. Les compositions colorées les plus satisfaisantes qui ont fait l'objet des analyses sont obtenues en combinant les images des canaux 4 et 5 (100 % d'illumination) et 7 (70 % d'illumination) respectivement avec les filtres bleu, vert et rouge. L'utilisation des "masters" de première génération a été capitale. De très bonne qualité photographique et d'une dynamique des niveaux satisfaisante, ils ont permis une analyse détaillée. Une telle qualité d'image, pour ces quatre scènes, n'avait pas été rencontrée jusqu'alors. L'échelle de restitution des images à la visionneuse est le 1/208 000. Pour certaines analyses de détail, les images ont été agrandies sur film auto-positif de façon à obtenir des compositions colorées au 1/100 000. Le système mis en place permet des analyses thématiques et des traductions cartographiques du 1/500 000 au 1/100 000. La scène 205/36 a fait l'objet des analyses pour les quatre dates suivantes : 8 juillet 1975, 29 novembre 1975, 3 avril 1976, 9 mai 1976 (Planches 1, 2, 3 et 4).

##### 4.2. - Le zonage

Le zonage a été réalisé selon les principes de la photo-interprétation et à deux niveaux de perception :

- un premier niveau : en vue d'une traduction au 1/500 000 en zones écographiques et/ou secteurs écologiques et/ou zones d'apprentissage. La définition du contenu thématique des unités n'a donc qu'un caractère très général.
- un deuxième niveau beaucoup plus fin et moins synthétique, en vue d'une expression cartographique identique à l'échelle de travail : 1/100 000. Ce sont alors essentiellement des études analytiques en vue de dresser des cartes thématiques (occupation des terres, utilisation des terres, formes de terrain, substrats, cultures, etc..) Seuls sont présentés ici des exemples concernant le premier niveau.

#### 4.3. Exemple d'une analyse visuelle de l'imagerie en compositions colorées

La confrontation des résultats de l'analyse visuelle et des données-terrain conduit à une analyse critique des informations fournies par les images LANDSAT. Sur les 25 zones isophènes délimitées sur le territoire étudié, seuls quelques cas sont commentés ci-après.

##### 4.3.1. Cas des zones A : ensemble des steppes de Zougrata (figure 1)

###### Zone A1 : Zougrata s.str.

- image homogène, fond jaune et taches rouge-brun à noir chiné ;
- zone plate ; réseau hydrographique peu net,

Il s'agit d'une plaine, constituée de sols sableux, sur substrats limoneux et gypseux (en profondeur). Steppes de ligneux-bas (assoc. à *Rhantherium suaveolens* et *Artemisia campestris* de couverts variables, 5 à 35 %, utilisées pour le parcours (80 % de la superficie de A1), ou pour la céréaliculture pluviale épisodique (20 % de A1).

###### Zone A2 : Hamilet el Babouch

- sur l'image de novembre 1975, A2 est homogène : taches noires en damier très net qui s'atténue en allant du SE au NW.

Il s'agit d'un "plateau" à sols limoneux, un substrat gypseux, dont la différence avec les sols de la zone A1 résulte du fait que l'horizon sableux a été éliminé par l'érosion anthropique et éolienne. La végétation spontanée pérenne est assez rare (rec. inf. à 5 %) ; elle est représentée par le faciès à *Artemisia campestris* du stade à *Arthrophytum scoparium* de l'assoc. à *Artemisia herba-alba* et *Arthrophytum scoparium*.

La céréaliculture épisodique est le mode d'utilisation le plus répandu (60 % de A2 en système céréales-jachères pâturées ; 40 % en parcours très maigres) ; elle est surtout localisée dans la partie sud de A2. Il faut attirer l'attention sur le fait que deux groupes ethniques se partagent l'utilisation collective de A2. Dans la zone considérée la tribu du Oulad Sidi Medheb a une activité surtout pastorale alors que la tribu des Beni Zid se consacre à la céréaliculture. Ces différences très marquées de comportement des deux groupes sociaux sont discernables sur les images LANDSAT (distinction de la zone A5 en juillet), mais seulement interprétables si l'on dispose de l'information sur ce sujet.

###### Zone A3 : Pourtour de la Garaet el Fedjedj

- image hétérogène à taches brun-rouge clair à noir, irrégulièrement distribuées ; à l'ouest, ces taches sont organisées en un dessin digité convergeant vers une tache gris-rouge sombre qui laisse supposer un réseau de drainage organisé.

Il s'agit du bassin versant d'une grande dépression endoréique présentant une hétérogénéité des sols (sols profonds sableux, limoneux, sols squelettiques calcaires et gypseux). Les bas-fonds (40 %) sont soit plantés en oliviers soit régulièrement cultivés en céréales. La densité de la population sédentaire est élevée.

###### Zone A4 : Oued et Melah

- image hétérogène : taches noires en damier peu net alternant avec des taches brun-rouge ; présence d'une grande tache blanc-jaune ;

le réseau de drainage est peu net.

Il s'agit d'une zone hétérogène sur le terrain ; elle est caractérisée par l'alternance de sols sableux et de sols gypseux, ces derniers étant surtout localisés en bordure des réseaux de drainage. Les couverts végétaux pérennes sont très variables surtout sur les sols sableux (couverts de 5 à 30 %) : assoc. à *Rhantherium suaveolens* et *Artemisia campestris*. La végétation des zones gypseuses est toujours rare ; elle est représentée par l'assoc. à *Anarrhinum brevifolium* et *Zygophyllum album*. La céréaliculture et l'arboriculture pluviales occupent 50 % de A4.

Analyse critique de l'ensemble : les zones A1, A2, A3, A4, se maintiennent globalement dans leur définition à toutes les dates étudiées, bien que leurs limites soient peu stables dans le détail. Chacune des zones correspond à un secteur écologique. On notera que l'on observe une très forte variation saisonnière de A2. La distinction d'une zone A5 est nécessaire au mois de juillet. En effet, à cette date, l'extrémité NW de A2 apparaît alors d'un blanc uniforme. Cette particularité s'explique, à cette date, par la mise à nu totale des limons, après la fin du cycle des espèces annuelles et la récolte des céréales. Les modalités d'évolution de la zone A2 mettent en évidence les caractéristiques de comportement de deux groupes ethniques distincts qui exploitent les ressources du plateau de Harilet et Babouch d'une manière différente. Perçue à une seule date sur les images, cette zone écographique correspond à un secteur écologique. Il en est de même pour la zone A6 où en avril et mai l'abondance du couvert végétal vert (20 % à 60 % ; céréales ou annuelles) est prépondérante.

#### 4.3.2. Cas des zones B : ensemble des zones gypseuses de la Sebket en Noual (figure 1)

Zone B1 : l'image est toujours blanche aux diverses dates, avec des taches rouge sombre associées aux fonds d'oued. Le réseau hydrographique perçu est nettement marqué, divisé avec un dessin penné.

B1 correspond à des substrats gypseux où dominant les terrains de parcours (80 % de B1) et où la végétation peu couvrante (10 %) est représentée par l'assoc. à *Anarrhinum brevifolium* et *Zygophyllum album* et sa sous-assoc. à *Lygeum spartum*. C'est une zone densément entaillée par un réseau hydrographique hiérarchisé. La surface du sol est souvent rugueuse, sa couleur variant du blanc (croûte affleurante) au brun -7,5 YR 5/6- sol brun isohumique limoneux tronqué. Cette zone est homogène dans l'espace et dans le temps.

Zone B2 : à partir de l'image de novembre 1975, on délimite la zone B2 plus sombre avec de petites taches plus noires, qui se maintient en juillet et en mai. Par contre, B2 fusionne en B1 sur l'image d'avril. Le couvert végétal est représenté par les mêmes unités qu'en B1, mais il est plus dense (15 à 20 %). L'augmentation du couvert végétal et la moindre généralisation des affleurements de croûte gypseuse de couleur blanche suffisent pour expliquer la variation zonale détectée.

Zone B3 : sur l'image de novembre 1975, B3 est plus rouge et plus sombre que B1. Le réseau hydrographique est moins net ; B3 est située en bas du versant, en bordure d'une grande dépression salée (sebkha). Sur les images d'avril et mai 1976, B3 s'étend vers l'ouest pour occuper toute la frange sud de la Sebket en Noual.

Elle représente la haute terrasse de la Sebkha, qui s'est formée sur un horizon gypseux surmonté d'une couche sableuse profonde (40 à 50 cm) facilitant la mise en culture céréalière et le développement d'une végétation printanière à dominance d'espèces annuelles (*Stipa retorta*, *Cutandia divaricata*, *Schismus barbatus* ssp. *calycinus*, *Medicago laciniata*...). La délimitation de B3



confirme du même coup les limites des unités B1 et B2 aux mêmes dates.

#### Analyse critique de l'ensemble B

Les zones B1 et B2 ont une très grande parenté, elles correspondent à un secteur écologique identifié sur le terrain. La zone B3, très différente, correspond à un autre secteur. Ce sont les images d'avril et de mai qui coïncident le mieux avec les zones vérifiées sur le terrain, car à cette date, la confusion entre des sols gypseux et des sols isohumiques profonds est levée, les sols isohumiques étant alors couverts d'une steppe claire à thérophytes (Stipa retorta, rec. 15 à 20 %).

#### 4.4. Validité du zonage proposé

Dans le cas des zones A et B, on constate une assez bonne compatibilité entre les zones isophènes délimitées sur les images en couleurs composites et les grandes unités écographiques du territoire considéré.

Il apparaît, après analyse sur le terrain, que certaines zones isophènes sont des zones écographiques et que des regroupements de ces dernières permettent de déterminer dans certains cas des secteurs écologiques. Ceux-ci sont définis sur la base des liaisons établies entre "formes de terrain/formations superficielles" "types de substrats-tendances générales de la phytodynamique-modes d'exploitation des ressources végétales et en terres". On constate que certaines limites des zones fluctuent dans le temps ; ceci permet de suggérer des subdivisions qui contribuent, après analyse des causes sur le terrain, à ajouter une information diachronique à la définition des zones écographiques et des secteurs écologiques.

Si toutefois quelques zones ne sont pas cohérentes avec le processus d'identification, cela tient aussi bien aux performances du système d'analyse et aux réalités analysées sur le terrain (hétérogénéité élevée). Alors, le constat d'échec montre les limites du système proposé dans le cas des zones arides au nord du Sahara.

Toutes les zones qui ont été délimitées à partir des images peuvent servir de zones d'apprentissage, pour la conduite de l'analyse semi-supervisée des données numériques. Il faut cependant avoir présent à l'esprit qu'il sera toujours nécessaire à cause des phénomènes évolutifs (saisonniers) qui affectent la surface du sol et la couverture végétale de veiller à la qualité de durabilité ou de permanence des zones proposées, aussi bien qu'à leurs niveaux de cohérence et de signification écologique.

On constate grâce à l'analyse diachronique, l'importance de la perception à une seule date d'une zone (A5 par exemple en juillet) et la conséquence suivante que si une date seulement est analysée on perd une très grande partie de l'information potentielle ; des zones à grande signification peuvent donc être ignorées. Toutefois, sur les quatre dates étudiées, on a pu observer une certaine redondance de l'information. A ce niveau d'étude et pour les zones A et B, les images de juillet et d'avril, complémentaires, auraient pu suffire, toutes les zones étant perçues à ces deux dates dans leurs meilleures limites.

#### 4.5. Capacités des données images à répondre aux besoins des thématiciens

Le système mis en place (visionneuse en couleurs additives), l'utilisation des masters VISUMAT de première génération où l'équilibre des canaux est satisfaisant ainsi que la dynamique des niveaux, permettent des analyses thématiques et des traductions cartographiques du 1/500 000 au 1/100 000. Par exemple, à une date déterminée d'acquisition des données LANDSAT, si l'on considère la zone A2 (figure 1) il est possible de dresser une carte au 1/100 000

des zones labourées et semées (céréaliculture pluviale), dont on peut assurer le suivi par l'analyse des données acquises au printemps (travaux en cours). Il s'agit là de l'une des réponses essentielles attendues par les organismes de planification d'un pays tel que la Tunisie. Cette réponse n'est cependant pas obligatoirement généralisable, en l'état actuel de nos connaissances, à tout le territoire étudié. D'autre part, la recherche de telles réponses, en vue de traductions cartographiques thématiques à grande échelle (1/100 000 à 1/25 000) nécessite une approche combinée, complémentaire, de l'analyse des données images et des données numériques ; cette approche serait considérablement facilitée du point de vue repérage si l'on pouvait disposer d'une couverture photographique aérienne à moyenne échelle (IRC au 1/100 000 acquise avec Mystère 20), à défaut d'une meilleure résolution spatiale du système MSS-LANDSAT.

## 5. ANALYSE DES DONNEES NUMERIQUES (Résultats partiels)

### 5.1. Introduction

Nous avons étudié les données numériques fournies par la société TELESPAZIO (valeurs codées sur 256 niveaux dans les 4 canaux MSS) et enregistrées aux dates suivantes :

- . 8-9 juillet 1975 (scènes 205/36 et 206/36)
- . 29-30 novembre 1975 (scènes 205/36 et 206/36)
- . 17 mars 1976 (scène 206/36)
- . 22 avril 1976 (scène 206/36).

L'analyse est d'abord conduite selon le mode supervisé et peut se décomposer en plusieurs phases :

- . échantillonnage des surfaces de référence (*écotopes*) faisant l'objet d'observations au sol ;
- . analyse des réponses spectrales des éléments de résolution composant un écotope ;
- . analyse synchronique et diachronique des réponses spectrales d'un ensemble d'écotopes, à l'intérieur d'une zone d'apprentissage

### 5.2. Echantillonnage, repérage et contrôle au sol des écotopes

Les échantillons utilisés sont des portions de l'espace caractérisées par une combinaison relativement uniforme du sol et de la végétation ; ces écotopes se situent au niveau de perception de la station écologique ou de la parcelle cultivée.

La localisation des écotopes est déterminée à partir des strates d'échantillonnage constituées par les zones isophènes de l'imagerie que l'on considère donc ici comme des zones d'apprentissage.

En fait, plusieurs problèmes techniques interviennent dans le processus d'échantillonnage :

- . nature des images LANDSAT disponibles et qualité de leur photo-interprétation ;
- . contrainte de repérage sur le terrain qui implique la disponibilité d'agrandissements d'images LANDSAT *et* de photographies aériennes à moyenne et grande échelle à cause de la faible résolution spatiale du système LANDSAT ;
- . contrainte de repérage des écotopes sur les documents de visualisation issus des données numériques ; dans le cas présent nous disposons de :
  - . listages à l'imprimante d'ordinateur (appr. 1/50 000) ;
  - . sorties à l'imprimante électrostatique (appr. 1/80 000) ;
  - . tracés automatiques en couleur, en nombre limité (car coût

- prohibitif) ; échelles : 1/200 000 et 1/50 000 ;
- possibilité d'utilisation d'une console de visualisation TEKTRONIX (logiciel PRESIM du CNES) ;
- nécessité de disposer d'écotopes d'une superficie minimum de 10 à 15 hectares, soit l'équivalent de 20 à 30 éléments de résolution, pour pouvoir faire une analyse statistique des réponses spectrales de ces éléments ;
- contrainte de l'accessibilité au sol des écotopes pour les observations répétitives.

Le contrôle au sol des écotopes concerne d'une part la description des *caractères permanents* du substrat et de la végétation et, d'autre part, les observations des *caractères temporaires* qui sont faits simultanément aux dates de passage du satellite LANDSAT. Les fiches de description établies par les thématiciens doivent être adaptées au fur et à mesure de la mise en évidence de l'influence sur les réponses spectrales des paramètres relevés sur le terrain. La disponibilité des photographies aériennes à moyenne échelle (1/100 000) est souhaitable, à certaines périodes critiques pour permettre une extrapolation efficace des contrôles ponctuels effectués.

### 5.3. Analyse des réponses spectrales des éléments de résolution de chaque écotope

Il s'agit de vérifier le postulat d'homogénéité, qui se traduit par une faible dispersion des réponses spectrales de l'ensemble des éléments de résolution composant un écotope.

Il faut signaler ici que la codification des données sur 256 niveaux, introduit des discontinuités artificielles dans les histogrammes des niveaux de luminance, surtout pour les valeurs élevées. On considère donc l'allure générale des histogrammes obtenus pour les différents canaux. Dans le cas d'histogrammes bi ou multimodaux, un recours aux observations de terrain est nécessaire pour expliquer l'hétérogénéité, dont on apprécie alors la signification thématique.

Afin d'éviter de tenir compte des micro-hétérogénéités non significatives qui entraînent des réponses spectrales aberrantes pour certains éléments de résolution, nous utilisons la valeur médiane et l'intervalle interquartile pour caractériser les échantillons étudiés, de préférence à la moyenne et l'écart-type.

### 5.4. Analyse de l'influence de certains facteurs sur la réponse spectrale

#### 5.4.1. *Influence de la nature et de l'état de la surface du sol*

Dans la plupart des milieux étudiés, le recouvrement de la végétation, par rapport au sol nu, reste faible ; aussi les réponses spectrales mesurées sont-elles conditionnées par la nature et, surtout, par l'état de surface du sol.

Ainsi, pour les données de juillet 1975, l'on observe de fortes différences de luminance entre certains glaciers d'accumulation très peu couverts de végétation ; ces différences sont liées à la nature des matériaux constitutifs, à la couleur et à la répartition des éléments de la surface (cailloux, pellicule de battance) ; mais il n'a pas été possible jusqu'à présent d'établir avec certitude l'influence prépondérante de l'un des facteurs considérés.

En revanche, il faut signaler la similitude des réponses spectrales obtenues à la même date, pour des substrats différents (gypseux, limoneux, limo-sableux), mais tous très réfléchissants en juillet.

Un exemple de l'influence de l'état de la surface du sol est fourni par l'analyse comparée des réponses spectrales de parcelles labourées et de zones contiguës non labourées, sur un même substrat limoneux. La différence de luminance observée en novembre (le labour ayant entraîné des modifications de la couleur, de l'humidité et de la rugosité de la surface du sol) confirme les observations faites sur les données-images.

#### 5.4.2. Influence du recouvrement de la végétation pérenne

Lorsque le recouvrement de la végétation pérenne augmente, on constate une diminution de la luminance due à l'occultation du sol par la végétation ; ainsi les steppes à *Rhantherium suaveolens* en bonne condition pastorale s'individualisent au mois de juillet.

La différence de luminance est encore plus nette si l'on compare une zone pâturée à une zone en défens (figure 2a) de la même unité de végétation et de milieu ; la présence de débris végétaux peu réfléchissants peut expliquer en partie la faible valeur observée dans tous les canaux pour la zone en défens.

#### 6.4.3. Influence du recouvrement de la végétation photosynthétiquement active

Elle peut être étudiée à partir des réponses spectrales des parcelles de céréales, à la date du 22 avril ; compte tenu de la pluviosité favorable pour l'année de végétation 1975-76, le développement des céréales a conduit à des recouvrements de végétation verte, à la date considérée de 10-15 % (Basses Plaines méridionales) à 25-30 % ou plus (Hautes Steppes).

Les réponses obtenues montrent que la diminution de luminance dans le canal 5 n'est sensible que dans certains cas de zones homogènes de céréaliculture sur sol profond à texture limoneuse, avec un recouvrement de végétation verte supérieur à 20 %.

#### 5.5. Exemples d'analyses synchroniques

Ces analyses ont porté sur une centaine d'écotopes appartenant aux trois régions naturelles suivantes : Basses Plaines méridionales, Basses Steppes, Hautes Steppes.

##### 5.5.1. Cas des steppes de *Stipa tenacissima* de la région des Hautes Steppes (novembre 1975)

L'étude d'écotopes représentatifs a permis de mettre en évidence des différences de luminance (figure 2c) que l'on peut interpréter comme dues à l'influence conjuguée des recouvrements de la végétation herbacée pérenne et de la nature du sol.

##### 5.5.2. Cas des steppes à *Rhantherium suaveolens* de Zougrata (novembre 1975)

Les études écologiques déjà réalisées ont mis en évidence 3 états (RK3, RK2, RK1) du couvert végétal et du sol. Les réponses spectrales observées montrent une différence d'intensité de luminance significative (figure 2b). Il s'agit donc ici d'un cas favorable où grâce aux études de terrain, une relation directe peut être établie entre luminance et unité de milieu.

##### 5.5.3. Cas de la céréaliculture pluviale en zones marginales (avril 1976)

Il existe des différences de comportement de parcelles cultivées à l'intérieur de chaque région naturelle (cf. figure 2d) ; de même, les différences phénologiques existant à la date considérée entre les céréales des régions naturelles considérées, sont traduites par des variations de la luminance dans le canal 5.

##### 5.5.4. Conclusion des analyses synchroniques

Ces analyses montrent la possibilité de détecter, à une date favorable, certains éléments à réponses spectrales contrastées :

- zones labourées et zones non labourées sur un plateau limoneux (novembre) ;
- zones à végétation très claire ou nulle sur substrats fortement réfléchissants et zones à végétation pérenne dense (juillet) ;
- zones à végétation verte dense (avril).

Les distinctions s'opèrent davantage par l'intensité de la réponse spectrale que par sa forme, et confirment ou précisent des différences sur les compositions colorées.

Cependant, la comparaison de l'ensemble des résultats relatifs à une région naturelle, ou même à une zone d'apprentissage, montre souvent l'impossibilité d'envisager encore une cartographie automatique de l'occupation des terres ou des unités de milieu basée sur les seules réponses spectrales synchroniques. En effet, trop de confusions demeurent possibles ; c'est pourquoi nous devons envisager l'étude diachronique des données MSS-LANDSAT.

#### 5.6. Exemples d'analyses diachroniques

Nous nous intéressons ici aux évolutions des réponses spectrales entre trois dates ; juillet 1975, novembre 1975, avril 1976. Nous utilisons les réponses spectrales "normalisées" : valeur du rapport de la luminance dans un canal à la somme des luminances dans les 4 canaux, ou bien rapports des valeurs de différents canaux : canal 5 sur canal 7, (canal 5 - canal 7) sur (canal 5 + canal 7).

Différents types d'évolution peuvent être alors mis en évidence (figures 2e et 2f), par exemple d'après les variations du rapport canal 5 sur canal 7.

##### 5.6.1. Cas des milieux à très faibles variations

Il s'agit par exemple d'une part, des steppes à *Stipa tenacissima* qui ne présentent que très peu de variations saisonnières et, d'autre part, d'un milieu artificialisé, les vergers d'oliviers régulièrement entretenus.

##### 5.6.2. Cas des milieux à faibles variations

Ce cas se produit pour des milieux à faible recouvrement de végétation pérenne et où l'importance de la végétation herbacée annuelle est également peu perceptible en avril. On peut distinguer cependant deux degrés d'intensité dans la variation novembre/avril, ce qui permet de différencier les steppes claires à *Anarrhinum brevifolium* et *Lygeum spartum* sur substrat gypseux d'une part, et les steppes dégradées à *Rhantherium suaveolens* sur limon à nodules calcaires, d'autre part (figure 3b).

##### 5.6.3. Cas des milieux à variations moyennes

Il s'agit du cas le plus fréquemment observé ; nous constatons ici une convergence de comportement de certaines classes d'occupation des terres, qui montre une fois de plus la difficulté d'établir une typologie basée sur un seul critère, fût-il diachronique.

##### 5.6.4. Cas des milieux à fortes variations

Il s'agit des zones à céréaliculture en bonnes conditions, avec, en avril, un recouvrement de végétation verte de 25 à 35 %.

##### 5.6.5. Cas des milieux à variations très fortes

Les variations les plus fortes sont enregistrées en avril dans le cas de zones d'épandage des oueds, qui sont les plus aptes à une céréaliculture pluviale à couvert végétal très dense.

##### 5.6.6. Conclusion des études diachroniques

Ces études laissent entrevoir certaines possibilités de discriminations intéressantes entre :

- steppes claires sur substrat gypseux et steppes claires sur substrats limoneux ;

- . steppes de *Stipa tenacissima* et zones de céréaliculture ;
- . arboriculture et céréaliculture.

C'est la comparaison des réponses obtenues en novembre et en avril qui s'avère la plus significative : ceci pose le problème du choix des dates d'enregistrement, qui doit être ajusté dans les milieux étudiés en fonction de la phénologie des espèces végétales annuelles (spontanées et cultivées), elle-même conditionnée par le régime saisonnier des précipitations et des températures. L'utilisation de plusieurs dates d'enregistrement au printemps semble nécessaire dans certains cas (zone de Zougrata, par exemple).

## 6. DISCUSSION : APPLICATIONS POSSIBLES DU SYSTEME LANDSAT A LA CARTOGRAPHIE SEMI-AUTOMATIQUE DE CERTAINS THEMES DANS LES ZONES ARIDES SITUÉES AU NORD DU SAHARA

### 6.1. Premier thème : inventaire annuel des zones de céréaliculture pluviale

Nous signalerons d'emblée que les conclusions qui suivent sont provisoires : elles sont en effet liées aux résultats obtenus à partir des données de l'année 1975-76, exceptionnelle sur le plan climatique dans le Sud tunisien. Des observations portant sur plusieurs années consécutives seront nécessaires pour évaluer précisément les possibilités de cartographie semi-automatique de ce thème.

D'une manière générale, il semble cependant que l'inventaire des zones cultivées nécessite l'obtention de données au moins à deux périodes : fin de l'automne, début du printemps.

Nous avons vu en effet que les données (images et numériques) d'automne permettent, mais pour certaines zones écographiques seulement (plateaux limonaux avec mise en culture de grandes parcelles), la détection des zones labourées (l'obtention de 2 séries d'images : milieu d'automne et fin d'automne est certainement souhaitable, en cas de pluies d'automne précoces, pour détecter l'ensemble des zones labourées). Dans les autres cas, la différenciation labour-non labour ne semble pas facile, même avec les données numériques, en raison du manque de contraste entre zones labourées et steppes avoisinantes, qui se conjugue souvent à une dimension restreinte des parcelles (céréaliculture diffuse, limitée à des bandes étroites...).

Avec les données de printemps, dans le cas de l'année 1976, nous obtenons souvent une convergence de réponse entre zones à végétation spontanée annuelle dense et zones de céréaliculture : il faut noter ici que le problème se complique du fait qu'une grande partie des parcelles cultivées peut présenter un pourcentage notable d'espèces adventices. Ceci limite d'avance les résultats obtenus avec les seules données de printemps à des estimations des probabilités de mise en culture, d'après l'observation d'une réponse spectrale caractéristique d'une végétation chlorophyllienne active. Le problème de la prévision des rendements en grain à partir de ces données est d'une toute autre portée et semble a priori peu réalisable, même si l'évaluation de la phytomasse chlorophyllienne est correcte. L'inventaire des surfaces consacrées à l'agriculture pluviale dans les zones marginales nous semble donc nécessiter une comparaison diachronique des réponses de fin d'automne et de printemps. Cependant, la mise en oeuvre des tests basés sur cette comparaison doit être adaptée à chaque zone écographique considérée. Ainsi, le diagramme de la figure 3a qui présente l'analyse diachronique pour la région des Hautes Steppes, indique qu'une bonne discrimination peut être établie entre les principales classes d'occupation des terres : "arboriculture", "céréaliculture", "steppes à *Stipa tenacissima*", "complexes céréaliculture + arboriculture" (cultures associées sur la même parcelle), "mosaïque steppes + céréaliculture" (l'un des éléments étant alors de l'ordre de grandeur de la résolution de LANDSAT).

Cependant, une distinction plus fine entre les classes ainsi définies pour la région naturelle des Hautes Steppes, visant par exemple à une estimation du recouvrement des céréales au printemps, doit être faite *pour des zones écologiques plus restreintes, en tenant compte surtout des différences du substrat.*

Si nous considérons maintenant le diagramme diachronique de la figure 3b (relatif au secteur de Zougrata), nous constatons que les discriminations sont beaucoup plus difficiles à établir, même pour le seul thème : "détection des cultures par rapport aux zones non cultivées". Ce secteur, qui possède une homogénéité d'ensemble, présente une variété de sous-secteurs (cf. Chapitre 4). On aura donc intérêt à effectuer des classifications par sous-secteurs présentant un moins grand nombre de combinaisons "occupations des terres/substrat". Il faut reconnaître malgré tout que la céréaliculture, dans des conditions limites comme celles de la région écologique des Basses Plaines méridionales, restera difficile à détecter avec les caractéristiques actuelles des données LANDSAT.

## 6.2. Deuxième thème : surveillance de l'état de la végétation des zones pastorales

Il s'agit de mettre en évidence *la nature des zones pastorales et d'en caractériser les états* liés à leur condition pastorale. Le problème de la discrimination entre "terrain de parcours" et "culture" a déjà été évoqué.

La caractérisation des *zones en bonnes conditions pastorales*, c'est-à-dire présentant un couvert végétal dense, peut être réalisée à partir des données obtenues en été, ou bien à partir de celles de fin d'automne, et *a fortiori* par un constat de faible variation entre ces deux dates, associé à de faibles valeurs relatives de luminance.

Pour les zones de *steppes dégradées*, le problème de leur détection est lié davantage aux caractères du substrat, qu'à celui du couvert végétal qui reste trop faible pour influencer la signature spectrale.

Ainsi, les relations entre niveaux de luminance et états de la végétation pérenne ne peuvent en général être établies que *si l'on considère des classes de recouvrement assez larges* (par exemple 1-10 %, 10-20 %, 20-30 %) *et si l'on y associe les caractéristiques externes du substrat*. Nous avons vu que, pour les données de fin d'automne, une assez bonne corrélation a pu être établie entre l'intensité de la luminance dans les 4 canaux et différentes catégories de terrains de parcours, tant pour la végétation herbacée pérenne (*Stipa tenacissima*) des Hautes Steppes, que pour la végétation ligneuse basse (*Rhantherium suaveolens*) des zones sableuses de Zougrata.

La généralisation spatiale par zone écographique des relations établies doit être contrôlée en fonction des paramètres qui conditionnent la réponse spectrale du complexe végétation-sol-pente-exposition etc... Cependant, les variations à l'échelle de l'élément de résolution peuvent s'avérer sans intérêt immédiat à cause de la difficulté de leur interprétation ; on aura alors avantage à considérer des critères texturaux pour caractériser différentes zones pastorales,

## 6.3. Troisième thème : Eléments pour un plan de surveillance de la désertisation dans les zones arides situées au Nord du Sahara

Si les phénomènes de désertisation qui affectent de vastes territoires déjà typiquement désertiques sont faciles à détecter lorsqu'ils concernent, par exemple, le développement, en quelques années, d'énormes masses sableuses mobiles (erg) en des lieux qui en étaient dépourvus (cas de la zone NW de l'Erg oriental), il n'en reste pas moins que ce n'est pas ce genre de phénomène typiquement abiotique qui préoccupe les gouvernements des pays de la zone écologique considérée. En effet, pour eux, il s'agit de détecter précocement les causes diffuses et les phénomènes précurseurs de la désertisation dans des zones

actuellement occupées par l'homme et soumises à une utilisation diversifiée des ressources en eaux, en terres et végétales. La preuve sensible semble avoir été faite dans l'expérience ARZOTU, que l'analyse spatio-temporelle de tels phénomènes ne peut pas être mise en oeuvre avec les seules données LANDSAT, *telles qu'elles sont disponibles actuellement*, et encore moins avec les seules techniques non-supervisées. En effet, d'une part, les qualifications techniques des données (résolution spectrale, résolution spatiale, capacité diachronique, fiabilité des signaux enregistrés...) et, d'autre part, les connaissances scientifiques (thématiques) réellement disponibles, sont des freins à tout processus d'automatisation d'un système d'évaluation de l'état de l'environnement et de surveillance.

Dans l'état actuel des moyens technologiques disponibles et de l'information écographique mobilisable, la seule procédure à caractère opérationnel pourrait être la suivante :

1ère phase : après délimitation *d'images isophènes* sur des compositions colorées de différentes dates d'acquisition (contrastes saisonniers) exprimées à des échelles moyennes (1/200 000 - 1/250 000), analyse du contenu thématique et des limites de telles images en vue de définir des *unités écographiques* dont les critères *permanents* de définition sont issus d'une *analyse polycritérique sur le terrain* (variables abiotiques, et variables biotiques).

*Une approche méthodologique appropriée est nécessaire pour atteindre cet objectif ; elle procède du souci de repérer les différents niveaux de perception écologique et de leur attribuer un contenu thématique précis.*

2ème phase : sur la base des *unités écographiques* stables, ainsi délimitées, description des critères et évaluation des paramètres qui déterminent une *information thématique* sur le sujet de la désertisation.

Pour les zones arides au Nord du Sahara, cette information thématique concerne :

- *les conditions de la céréaliculture pluviale* sur les divers substrats (cf. unités écographiques) et notamment à la limite de l'aire climatique normale de l'aridoculture (isohyètes 100 à 350 mm) ; ces conditions comprennent le critère "décision des groupes sociaux quant à l'opportunité de faire ou de ne pas faire des céréales dans telle ou telle partie de l'espace dont ils assurent la gestion".
- *les conditions de recouvrement de la végétation* dans les différentes zones pastorales et, si possible, le rythme de production de la phytomasse saisonnière (cela revient par exemple, à considérer 3 états de couvert végétal dans chaque grand type de steppe).
- *les conditions de la surface du sol* des principaux types de substrats
- *les effets des systèmes urbanisés* sur les systèmes écologiques de l'espace rural avoisinant.
- *les effets des événements catastrophiques* (pluies diluviennes provoquant des inondations localisées ; vents de sable provoquant des dépôts différentiels de sable ; périodes prolongées de sirocco...).

Il faut souligner que cette information thématique implique la mise en oeuvre de *projets spécifiques de récolte de données sur le terrain* selon une méthodologie compatible à la fois avec la nature de l'enregistrement du MSS-LANDSAT et avec la nature des données-terrain propres aux zones arides considérées.



3ème phase : dans la mesure où, après vérification sur le terrain, il est possible d'assimiler les unités écographiques, d'une part à des *secteurs écologiques* opérationnels quant à la qualification des données thématiques (végétation, sol, eaux, influence de l'homme) et, d'autre part, à des *zones d'apprentissage* capables de recevoir un même traitement des données numériques LANDSAT, mise en oeuvre des *analyses synchroniques/diachroniques*, avec traduction finale en langages thématiques appropriés sous forme de *sorties cartographiques automatisées*. Ces cartographies pourraient être basées, par exemple, sur les caractères suivants : permanence en toutes saisons, d'une valeur de luminance élevée et faible variation entre les rapports spectraux MSS-5 sur MSS-7 entre l'automne et le printemps. Les principaux résultats que l'on peut attendre sont ceux de la *surveillance des zones sensibles* à la désertisation, étant entendu qu'une interprétation écologique des changements détectés à plusieurs années d'intervalle serait à mettre en oeuvre pour maîtriser les causes du phénomène.

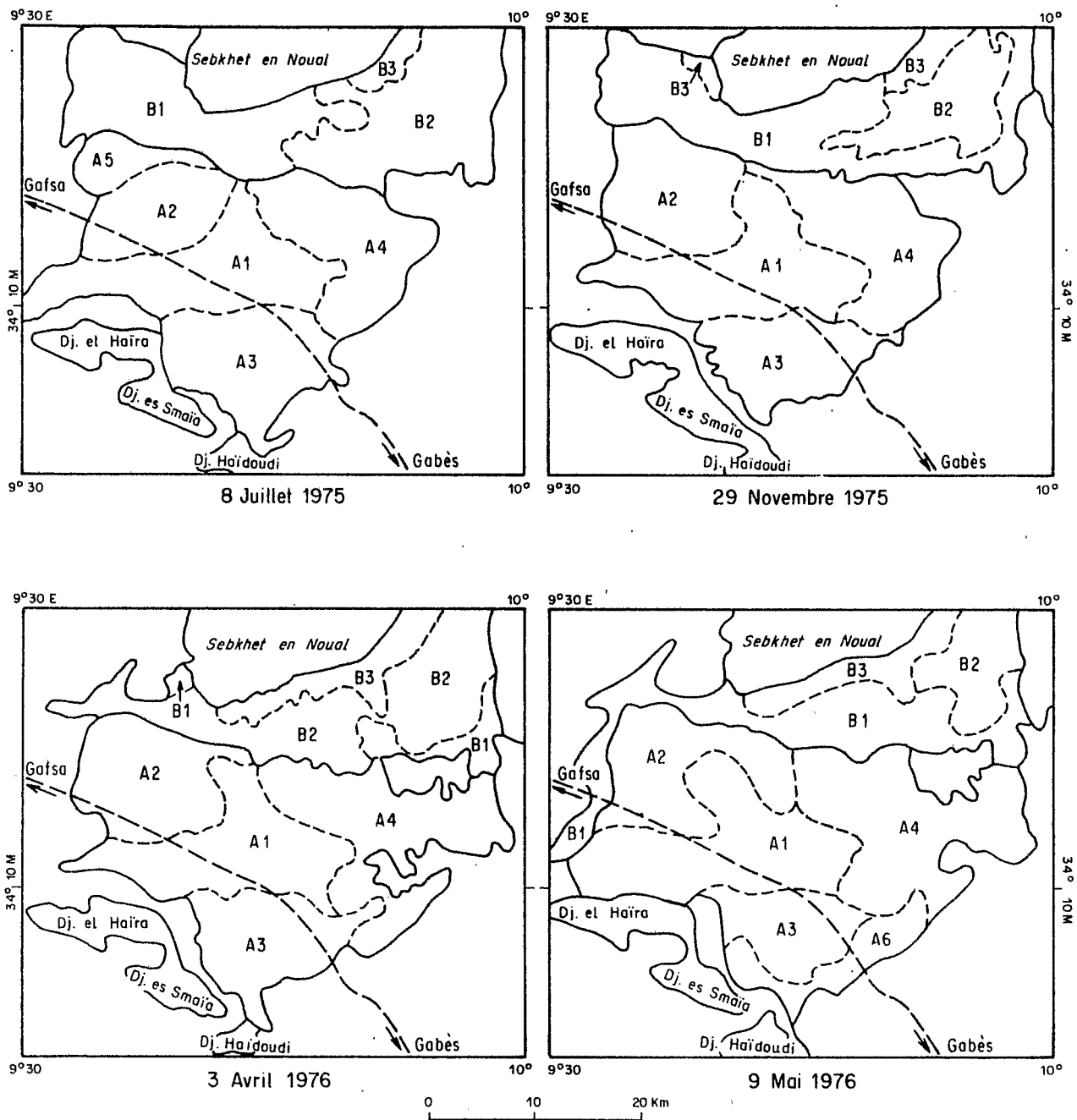


Figure 1

Carte des zones isophènes aux différentes dates d'enregistrement des données MSS\_LANDSAT (Scène 205/36).  
 Compositions colorées des canaux 4 et 5 (100% d'ill.) et 7 (70% d'ill.),  
 respectivement avec les filtres bleu, vert, rouge  
 La signification des sigles est dans le texte

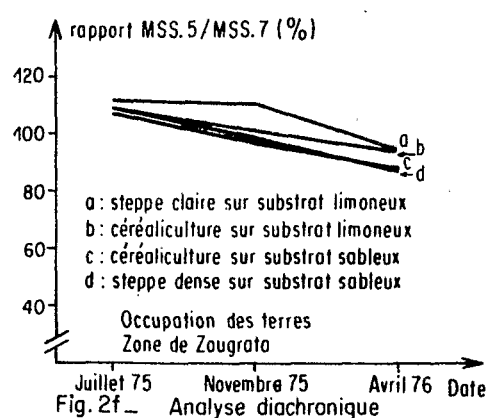
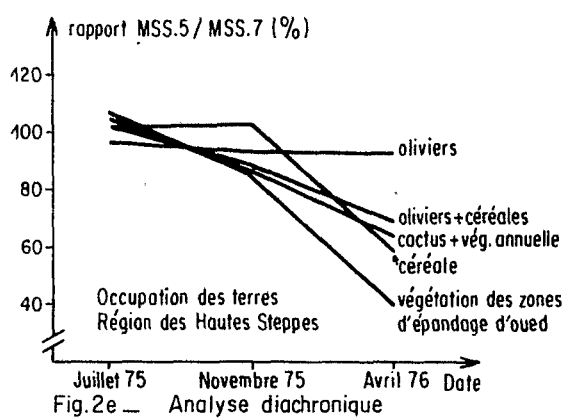
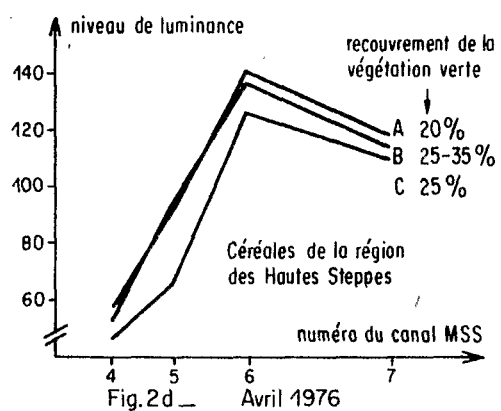
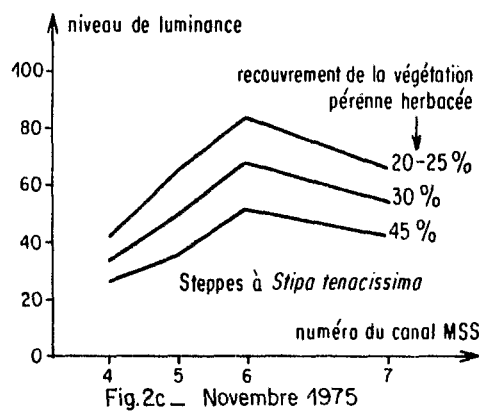
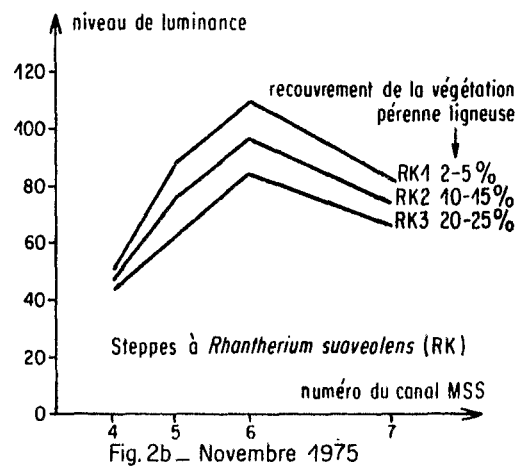
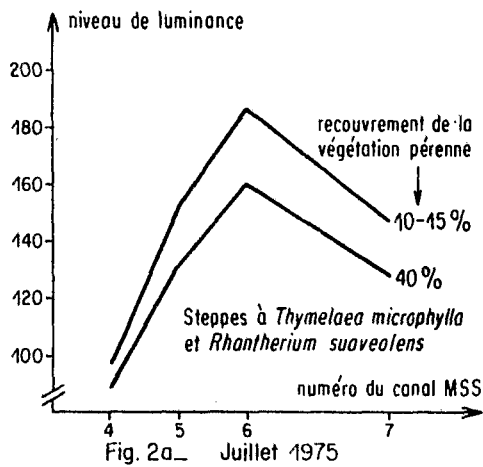


Figure 2

Exemples de réponses spectrales instantanées et de variations saisonnières des rapports spectraux pour diverses unités écographiques.

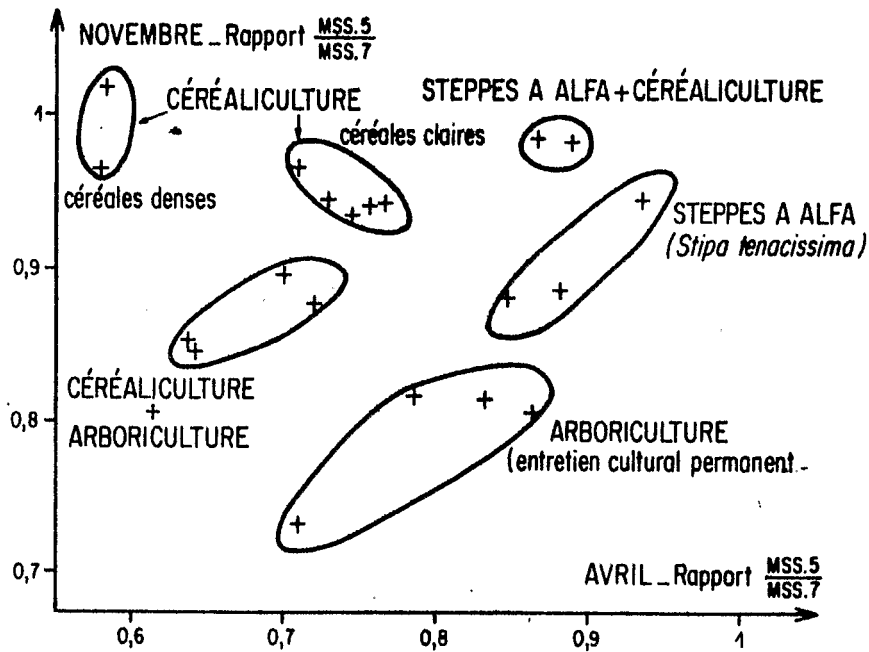


Fig. 3a - Région naturelle des Hautes Steppes

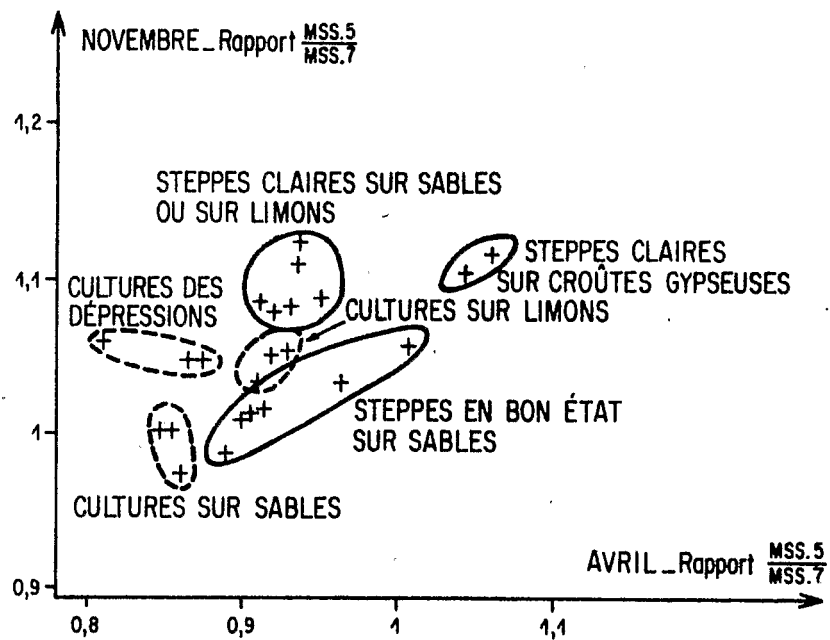


Fig. 3b - Zone de Zougata

Figure 3

Analyse en mode diachronique de deux stades saisonniers des principales unités écographiques

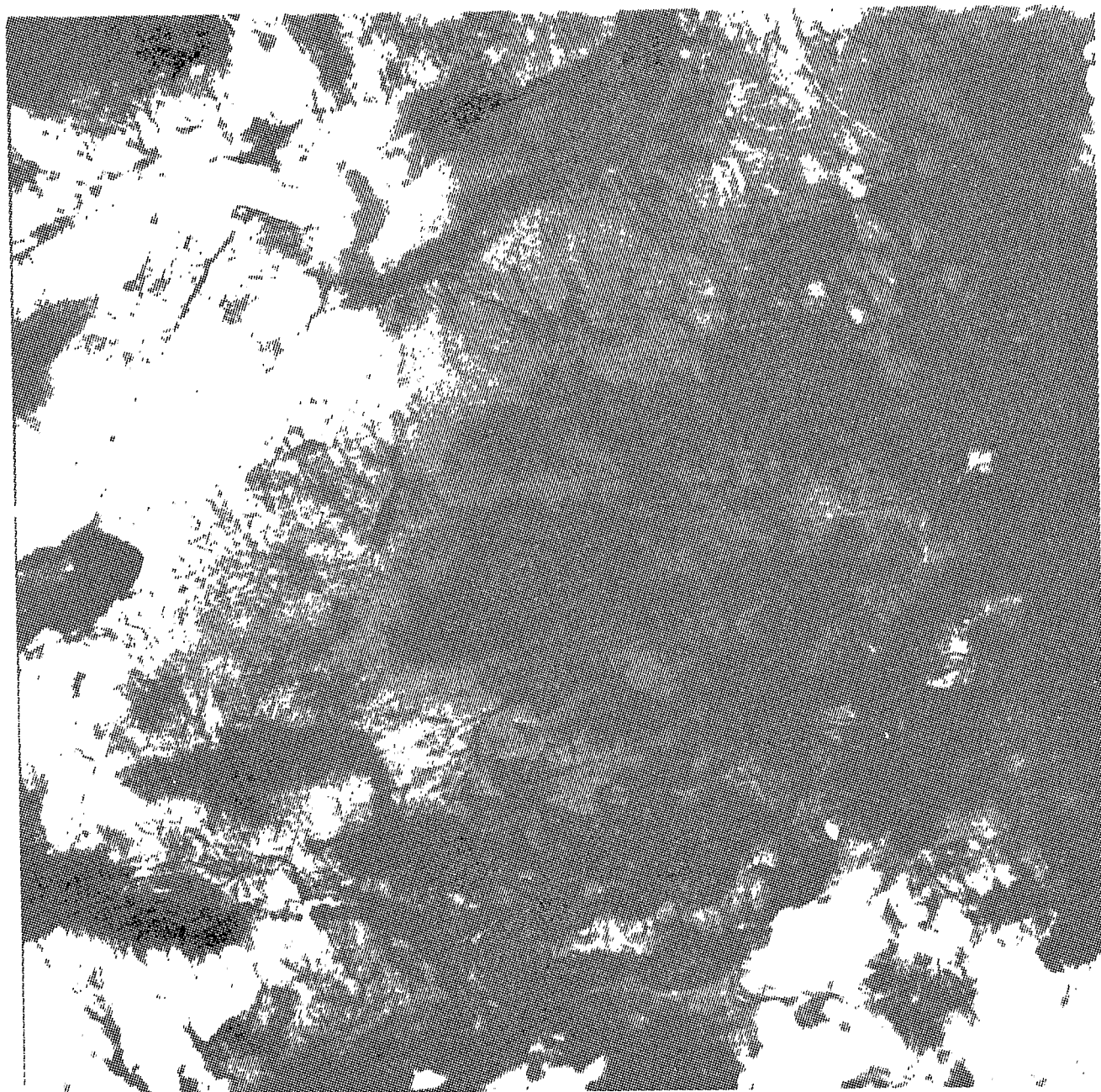


PLANCHE 1

Extrait de la scène 205/36 du 8 juillet 1975

Composition colorée des canaux 4 (filtre bleu), 5 (filtre vert) et 7 (filtre rouge), obtenue à la visionneuse en couleurs additives 125, à partir des images VISUMAT.

*Expérience ARZOTU : résultats obtenus à partir des données LANDSAT acquises en 1975 et 1976.*

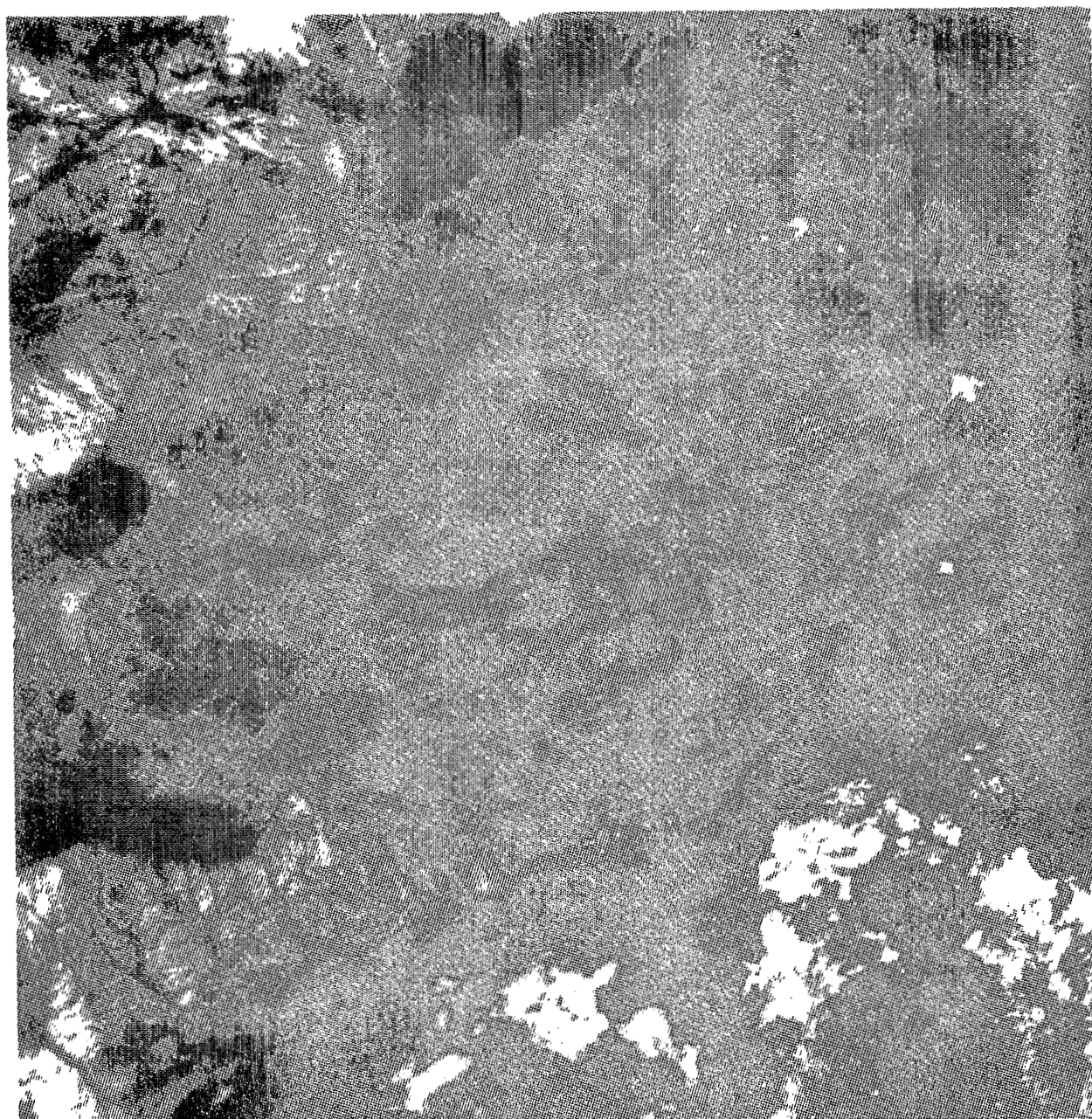


PLANCHE 2

Extrait de la scène 205-36 du 29 novembre 1975

Composition colorée des canaux 4 (filtre bleu), 5 (filtre vert), et 7 (filtre rouge), obtenue à la visionneuse en couleurs additives 125, à partir des images VISUMAT.

*Expérience ARZOTU : résultats obtenus à partir des données LANDSAT acquises en 1975 et 1976.*

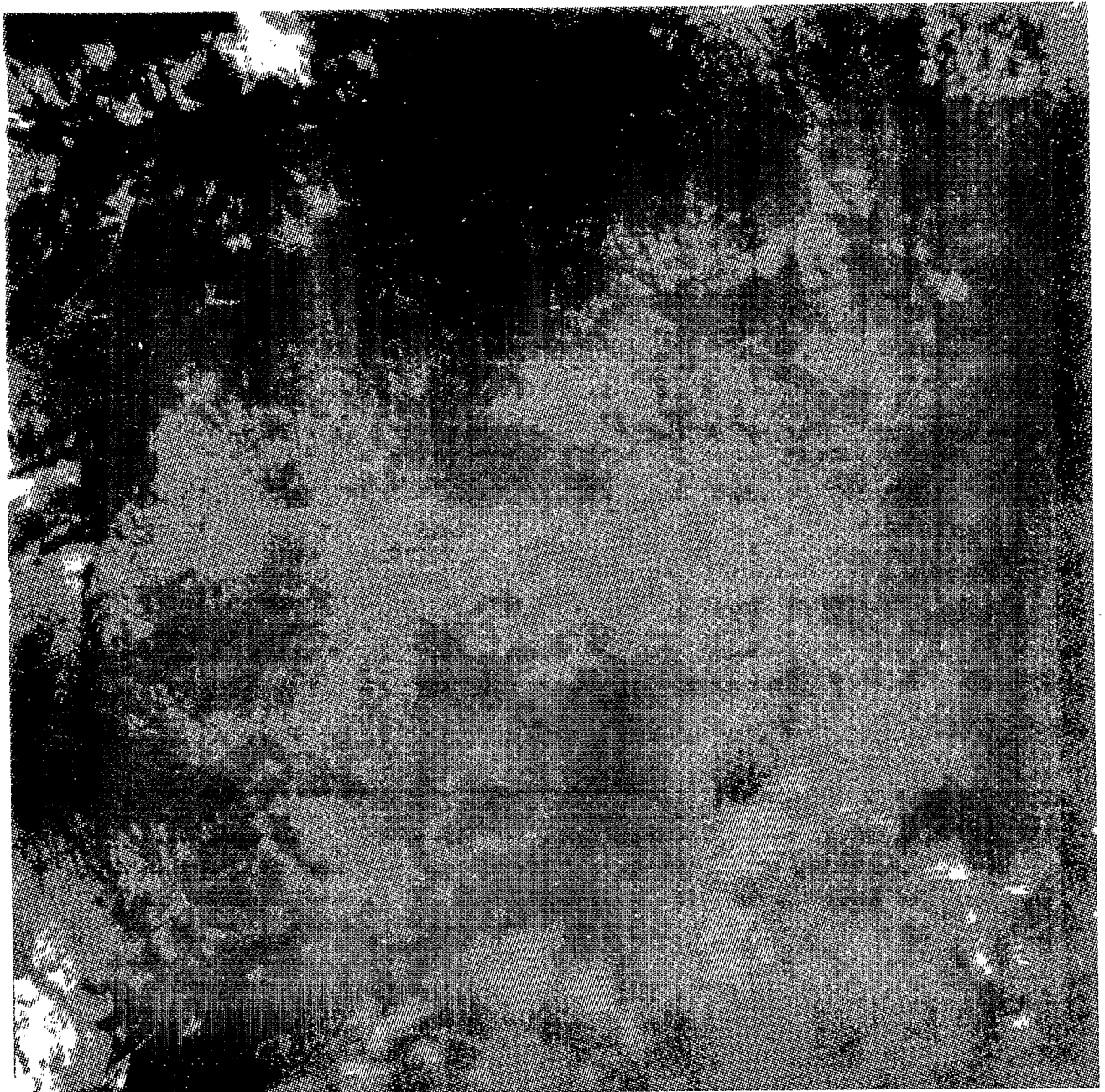


PLANCHE 3

Extrait de la scène 205-36 du 3 avril 1976

Composition colorée des canaux 4 (filtre bleu), 5 (filtre vert) et 7 (filtre rouge), obtenue à la visionneuse en couleurs additives 125, à partir des images VISUMAT.

*Expérience ARZOTU : résultats obtenus à partir des données LANDSAT acquises en 1975 et 1976.*



PLANCHE 4

Extrait de la scène 205-36 du 9 mai 1976

Composition colorée des canaux 4 (filtre bleu), 5 (filtre vert) et 7 (filtre rouge), obtenue à la visionneuse en couleurs additives 125, à partir des images VISUMAT.

*Expérience ARZOTU : résultats obtenus à partir des données LANDSAT acquises en 1975 et 1976.*



**PRINCIPAL INVESTIGATEUR**

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
CENTRE D'ÉTUDES PHYTOSOCIOLOGIQUES ET ÉCOLOGIQUES L.EMBERGER  
B.P. - 5051 - 34 033 - Montpellier Cedex

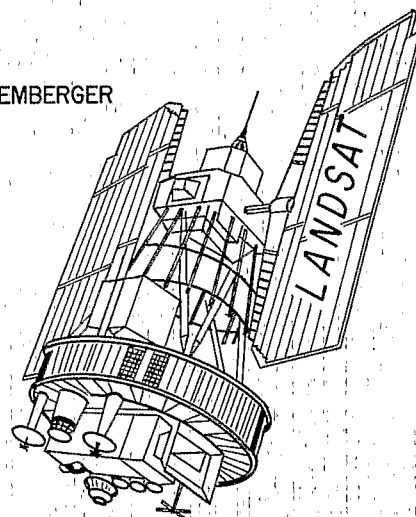
**Co-investigateurs**

Institut National de la Recherche Agronomique  
de Tunisie ( I.N.R.A.T. )

Mission C.E.P.E. / C.N.R.S. de Gabès

Office de la Recherche Scientifique et Technique  
d'Outre-Mer ( O.R.S.T.O.M. )

Programme aidé par le Centre National  
d'Études Spatiales ( C.N.E.S. )



# RÉSULTATS OBTENUS A PARTIR DES DONNÉES LANSAT ACQUISES EN 1975 ET 1976

G. LONG, Mme G. DEBUSSCHE, B. LACAZE  
A. LE COCQ, E. LE FLOC H, A. PONTANIER



## EXPERIENCE ARZOTU

(1) Texte de la communication présentée aux journées de télédétection du  
G.D.T.A. Saint Mandé, 21-23 Septembre 1977.

23 MAI 1978  
O. R. S. T. O. M.

Commission de Référence

B9193 ep1