

PRINCIPAL INVESTIGATEUR

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

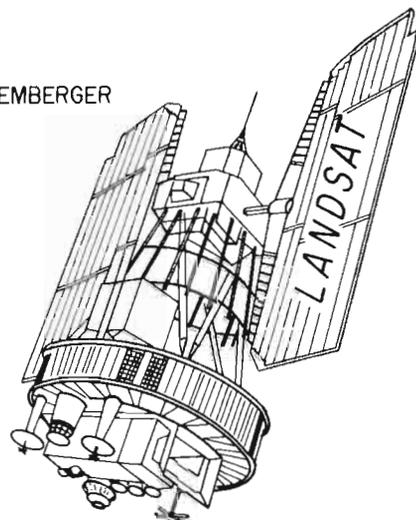
Co - investigateurs

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.)



**PROBLÈMES POSÉS PAR L'INTERPRÉTATION THÉMATIQUE
DES IMAGES ET DES DONNÉES NUMÉRIQUES LANDSAT
DU SUD DE LA TUNISIE**

par

Édouard LE FLOCH
Phyto-écologue au C.N.R.S.

Roger PONTANIER
Pédologue O.R.S.T.O.M.



EXPERIENCE ARZOTU

Édité par le C. E. P. E. - L. EMBERGER, Montpellier janvier 1976

Plan

<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>1. PHASE PRELIMINAIRE : PERIODE 1972-1973</u>	2
1.1. Méthodologie	2
1.2. Informations apportées	4
1.2.1. Imagerie de la portion nord de la zone d'étude	4
1.2.1.1. Documents photographiques à l'échelle de 1/1 000 000	4
. Commentaires sur le couvert végétal artificiel	11
. Commentaires sur l'état des réservoirs d'eau naturels	14
1.2.1.2. Documents photographiques à l'échelle de 1/500 000	15
1.2.2. Imagerie de la portion sud de la zone d'étude	18
Documents photographiques à l'échelle de 1/1 000 000	18
1:3. Limites d'utilisation de l'imagerie et des données numériques sans le secours des données de la vérité-terrain	21
<u>2. CONDITIONS D'EXPLOITATION THEMATIQUE DES DONNEES DE LA PERIODE 1975- 1976</u>	23
2.1. Conception générale de cette partie de l'expérience	23
2.2. Thèmes spécifiques et objectifs sectoriels et généraux	24
2:2.1. Répartition des cultures et phénologie ; suivi des cultures	26
2.2.2. Etude et cartographie des sols gypseux	27
2.2.3. Etude et cartographie de la désertisation et thèmes connexes	28
2.2.4. Elaboration du modèle écologique régional de Zougrata	28
2.3. Questions posées aux données enregistrées par Landsat	29
2.4. Méthodologie proposée pour la campagne 1975-76	32
2.4.1. Au niveau régional	32
2.4.2. Au niveau stationnel	33
2.4.3. Dates optimales d'enregistrement	34
<u>3. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	37
<u>Annexe 1.</u> Formulaire d'enquête vérité-terrain au niveau de l'unité géomorphologique ou du secteur écologique	39
<u>Annexe 2.</u> Formulaire d'enquête vérité-terrain au niveau stationnel, par écotope de référence	42

INTRODUCTION

Le présent rapport se situe dans le prolongement des exposés de M. STA-M'RAD et G. LONG, de Mme G. DEBUSSCHE et de M. B. LACAZE présentés lors du séminaire de sensibilisation sur la télédétection des ressources terrestres, tenu à Tunis les 29 et 30 octobre 1975 (cf. chap. 3).

Etant donné que sa date de parution est légèrement différée par rapport à celle de la distribution des documents discutés à Tunis, il nous paraît utile de faire ici un commentaire succinct sur la nature particulière des données que nous avons eu à connaître pour l'approche thématique de l'expérience ARZOTU.

Cette expérience a commencé par l'exploitation rapide des enregistrements effectués en 1972 et 1973 par le satellite LANDSAT 1 (anciennement ERTS A ou ERTS 1). Rappelons que ce satellite, à orbite héliosynchrone, permet l'enregistrement de données assurant, du fait de l'altitude (910 km), une bonne vue synoptique, à l'échelle régionale ; chaque image couvre en effet, un territoire de 185 km x 185 km ; le pouvoir de résolution est défini par une aire au sol de l'ordre de 80 m x 80 m. Par ailleurs, du fait de ses passages tous les 18 jours, en vue des mêmes zones-test, et à la même heure locale, on est assuré d'une certaine répétitivité des mesures, selon des conditions bien définies, aptes à faciliter ensuite des études diachroniques.

Le satellite est équipé de système MSS (cf. travaux cités, chap. 3) comportant 2 canaux dans le visible et 2 dans le proche infrarouge.

La phase préliminaire de l'expérience ARZOTU s'est achevée avec l'exécution de certains tests de reconnaissance à partir de l'imagerie de la période 1972-73 ; les principaux résultats ont été donnés d'une part, par G. DEBUSSCHE (1975) et, d'autre part, dans le chapitre 1 du présent rapport.

Notre intention est, par ailleurs, de profiter de l'expérience acquise à partir des données 1972-73, pour définir plus précisément les objectifs et les thèmes de la campagne 1975-76. Ce sera l'objet du chapitre 2 de ce document. Rappelons que la campagne 1975-76 diffère nettement de la campagne 1972-73 ; en effet :

- . les données enregistrées le sont à partir de la station de réception italienne de Fucino
- . elles peuvent provenir aussi bien de Landsat 1 que de Landsat 2
- . un calendrier d'enregistrements saisonniers a pu être programmé
- . des observations (vérité-terrain) sont faites simultanément aux dates des enregistrements, sur les zones-test et sur un certain nombre d'échantillons de référence convenablement localisés.

Le Sud de la Tunisie, où prédominent les zones arides, constitue un territoire très pertinent pour la poursuite d'une expérience de télédétection spatiale. De nombreuses études thématiques sur les ressources naturelles et sur les conditions d'utilisation de l'espace rural y ont déjà été réalisées. Elles permettent de tester l'efficacité des techniques nouvelles de la télédétection, grâce à l'exécution simultanée d'interprétations réalisées en atelier, et de contrôles effectués sur le terrain, ou à partir des documents thématiques existants.

L'expérience ARZOTU comporte, en effet, une démarche itérative de l'analyste athématique, et vice-versa, qui permet de tester la fiabilité du système mis en place.

Le présent rapport souligne les apports particuliers des thématiciens à l'interprétation des données existantes. Il indique, en outre, leurs exigences face aux programmes en cours d'exécution dans le Sud de la Tunisie.

1. PHASE PRELIMINAIRE : PERIODE 1972-1973.

1.1. Méthodologie

Nous nous bornerons ici à l'interprétation de l'imagerie et,

presqu'exclusivement, des images en noir et blanc correspondant à deux dates d'enregistrement : 9 novembre 1972 et 7 février 1973.

Pour ces documents en noir et blanc, l'identification des unités de la surface terrestre est basée sur l'étude des niveaux de gris (tonalité) dans les images de chaque canal, ou sur la comparaison de ces niveaux de gris, dans les différents canaux, avec des cibles réelles recensées sur des cartes thématiques ou contrôlées sur le terrain.

L'interprétation et l'analyse des images séparées des quatre canaux offrent l'avantage de faire ressortir un certain nombre de caractéristiques de la surface et de préciser quels sont les facteurs qui ont les impacts les plus importants sur le milieu. Ainsi, nous utiliserons surtout les images du canal 5 qui nous paraît offrir l'avantage de privilégier les caractéristiques du thème "végétation".

A partir des documents disponibles en négatifs et en positifs transparents à l'échelle 1/3 369 000, il est possible de réaliser des agrandissements sur papier jusqu'à une échelle d'environ 1/200 000 ; au-delà de cette échelle la lisibilité du document est très fortement réduite.

Les échelles d'agrandissement considérées : 1/1 000 000, 1/500 000 et 1/200 000, permettent de privilégier un niveau particulier de perception, tout en considérant que chaque document contient, en réalité, la totalité des informations, plus ou moins faciles à extraire et à étudier.

Pour cette première phase nous commenterons les divers agrandissements des mêmes images en noir et blanc en établissant toujours la comparaison, pour une même échelle, entre les données des deux dates d'enregistrement et, si possible, pour une même date, entre les images de différents canaux.

Pour faciliter la comparaison avec les interprétations conduites par G. DEBUSSCHE (1975), nous avons opéré sur les mêmes documents,

disponibles dans l'imagerie des 4 canaux, aux divers agrandissements photographiques considérés, et répertoriés comme suit :

Archivage C.E.P.E.	Référence NASA	Date d'enregistrement
image n° 7	E 1109 - 09311	9 novembre 1972
image n° 8	E 1109 - 09313	9 novembre 1972
image n° 13	E 1199 - 09311	7 février 1973
image n° 14	E 1199 - 09314	7 février 1973

Les zones étudiées sont par ailleurs localisées sur la *figure 1*.

1.2. Informations apportées

Sans rappeler toutes les identifications déjà proposées par G. DEBUSSCHE (1.c), nous nous contenterons d'apporter les compléments d'information, successivement pour les portions Nord et Sud de la zone étudiée (*cf. figure 1*).

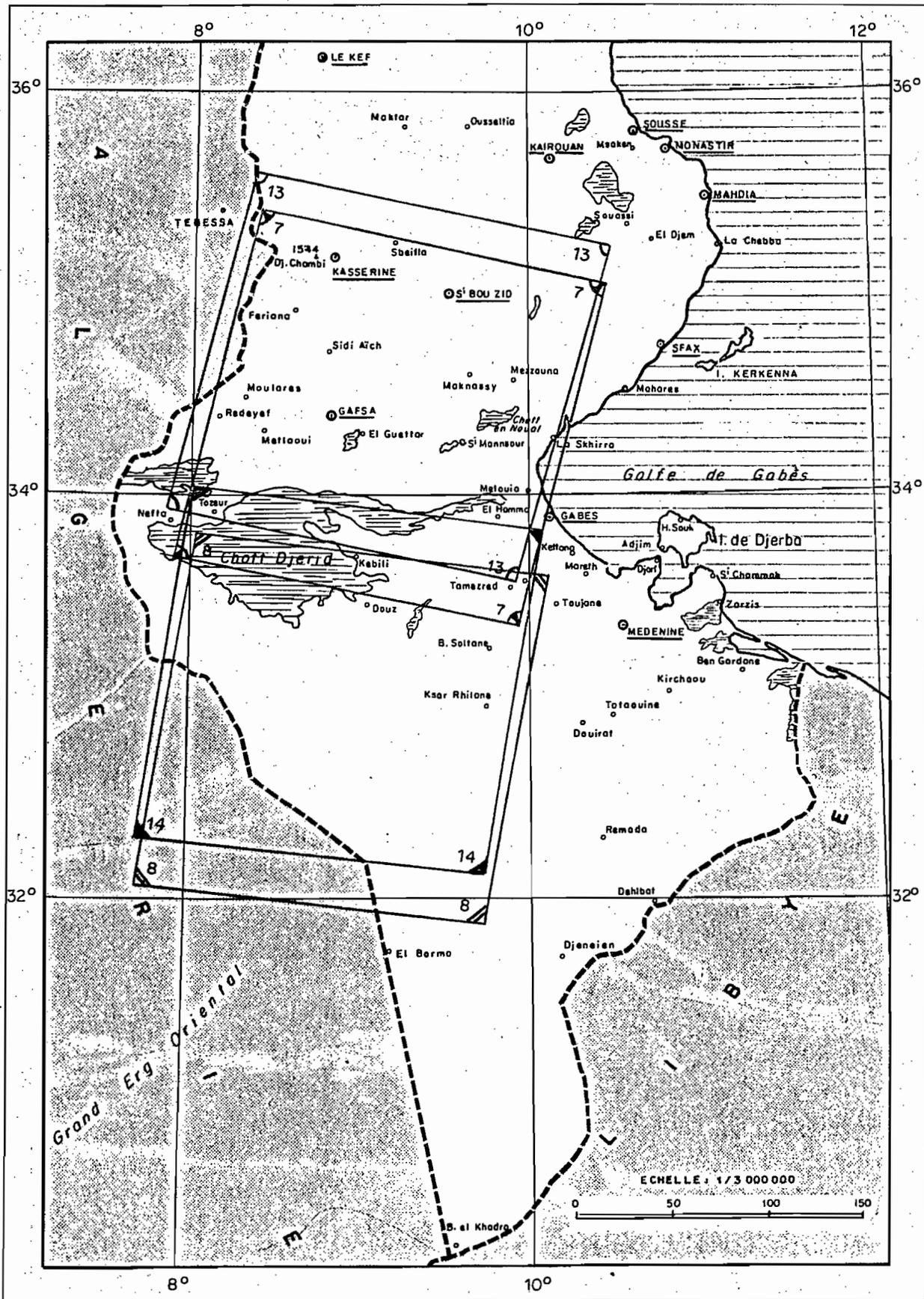
Ces informations concernent essentiellement la délimitation des régions naturelles et des secteurs écologiques ; cette délimitation est faite à partir du constat de l'existence de caractères géographiques ou biotiques propres aux espaces ainsi considérés. Au cours de cet exposé nous préciserons aussi l'identification de quelques points remarquables.

1.2.1. Imagerie de la portion nord de la zone d'étude

1.2.1.1. Documents photographiques à l'échelle 1/1 000 000

Les documents à l'échelle 1/1 000 000 permettent, sur l'ensemble de la zone considérée, d'une part, d'analyser les grands thèmes physiques de la surface du sol tels que, identification et localisation

Fig.1 Localisation des images-tests de l'expérience préliminaire au Projet ARZOTU



- images N° 7 et 8 : enregistrement le 9 novembre 1972
- images N° 13 et 14 : enregistrement le 7 février 1973

des systèmes montagneux, du réseau hydrographique, des grandes dépressions (chotts, sebkhas...), des systèmes dunaires et, d'autre part, d'aider ainsi à la définition des régions naturelles.

Si le document de la *figure 2* (image n°7, agrandissement 1/1 000 000, canal 5, date d'enregistrement 9 novembre 1972) permet déjà de dégager les régions naturelles, les manifestations de l'action humaine y sont, par contre, peu ou pas visibles (mises à part les structures particulières des oasis), aussi faut-il comparer ce document avec celui provenant du 7 février 1973 reproduit sur la *figure 3* (image n° 13, agrandissement 1/1 000 000, canal 5) pour déceler, entre autres, l'action de l'homme.

Cette action se manifeste essentiellement par l'utilisation agricole des terres pour la céréaliculture, dont la réussite, qui se traduit dès le mois de février par l'importance du couvert végétal, est étroitement liée, dans ces régions, à l'importance des précipitations reçues entre le 1^{er} septembre et le début du printemps.

L'impact de l'homme sur l'espace rural cultivé, ainsi que les données relatives à la géomorphologie, nous permettent de mieux préciser les limites et la nature des régions naturelles ; nous pouvons distinguer ainsi (cf. *figure 4*), en allant approximativement du Nord au Sud du territoire considéré, une dizaine de régions naturelles que nous décrivons ci-après sommairement :

- 1) la région de la Dorsale, au Nord-Ouest du document et au Nord d'une ligne reliant les djebels Chambi et Semmana ; cette région est aussi sensiblement celle de l'aire d'extension actuelle des forêts naturelles de Pins d'Alep (*Pinus halepensis*).
- 2) la région des hautes steppes, située au Sud de la Dorsale, elle est englobée dans une aire qui est délimitée par les Djebels M'rhila, El Karrouba, Ez Zitoun, Sidi Ali ben Aoun et Sidi Aïch. Plus au Sud, la limite suit, avec le glacis Nord des djebels Bou Rhamli et Ben Younes, la limite écologique de l'aire d'extension de *Stipa tenacissima* (alfa), pour se diriger à nouveau vers la frontière algérienne en suivant la ligne de crête des : Djebel ez Stah, Djebel ez Zerf, Djebel Alima.

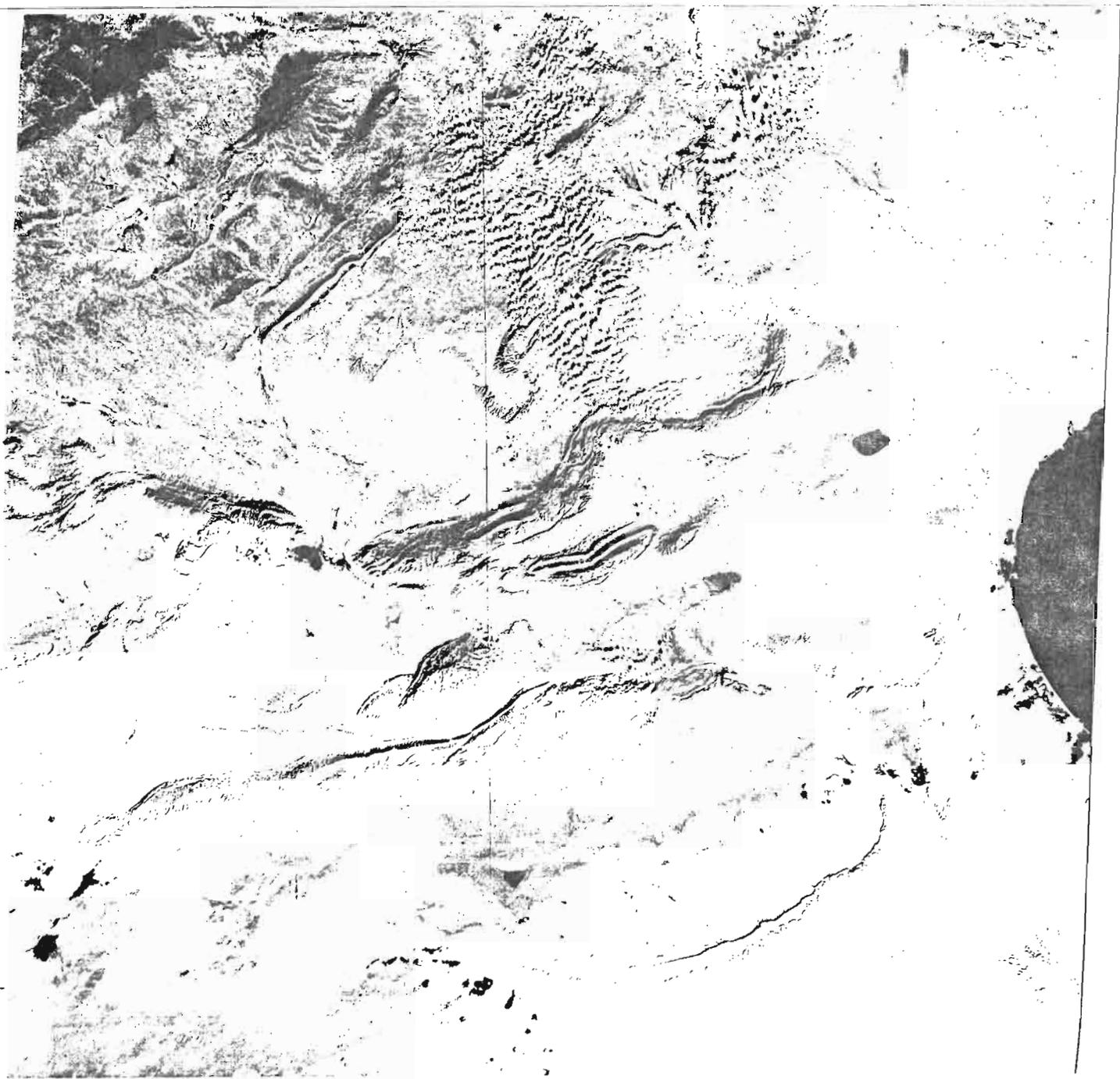


Figure 2

Agrandissement au 1/1 000 000 de l'image du 9 novembre 1972

(image n° 7, canal 5)



Figure 3

Agrandissement au 1/1 000 000 de l'image du 7 février 1973

(image n° 13, canal 5)

1 : *Sebkret en Noual* ; 2 : *Djebel Bou Hedra* ; 3 : *Djebel Kebar*.

Djebel Chouabine, Djebel en Negueb. Cette région englobe donc la steppe d'Alfa des hautes plaines et des plateaux ainsi que quelques systèmes montagneux encore boisés ; (ex : Djebel Selloum et Djebel M'rhila). La mise en culture des terres y est assez faible, sauf dans quelques larges dépressions (ex : au niveau de Kasserine).

- 3) la région des basses steppes est limitée à l'Ouest par les "hautes steppes", au Sud par une ligne excluant les zones sableuses d'épandage des oueds Kebir et Sidi Aïch ; cette région englobe le piedmont et le versant Sud du Djebel Orbata et sa limite se continue par une ligne joignant les djebels Biada et Bou Hedma, rejoignant la Sebkha Mechiguig. La zone de Regueb, très cultivée, est incluse dans cette région naturelle.

Il apparaît que pour le territoire étudié cette région naturelle est la plus favorable à la mise en culture ; de fait, l'action humaine paraît ici très intense et assez régulièrement répartie (ex : autour de Sidi Bou Zid, de Maknassy et de Regueb). En réalité, la zone dite "Bled Regueb" pourrait être géographiquement rattachée au Sahel de Sfax ; cependant, en l'état actuel, nous considérons que l'action de l'homme souligne sa ressemblance avec la zone voisine de Sidi Bou Zid.

Dans toute la région des basses steppes les plantations arboricoles sont encore relativement jeunes ; la quasi-totalité des steppes pastorales productives ont disparu par suite de la mise en culture ; seules restent consacrées à l'utilisation pastorale quelques zones à croûtes et des massifs montagneux à couvert végétal très faible.

- 4) la région du Sahel de Sfax est limitée à l'Ouest par les "basses steppes" et, au Sud, par l'Oued Leben. Il s'agit en fait de la limite d'extension vers l'intérieur du pays de la "forêt sfaxienne", gigantesque plantation d'oliviers. Les façons culturales régulières dans ces plantations d'oliviers excluent toute végétation herbacée spontanée ; la céréaliculture y est peu importante (économie de l'eau au profit des arbres).
- 5) la région des basses plaines méridionales est bordée au Nord par les régions suivantes : "Sahel de Sfax", "basses steppes", hautes steppes" et, au Sud, par la ligne des djebels Sidi Bou Helal, Taferma, el Asker, Maïmia, Hadifa, Haïdoudi et Tebaga-Fatnassa. Dans toute cette région, la céréaliculture est concentrée dans

les talwegs et les bas de glacis bénéficiant d'apports d'eau de ruissellement (système "séqui"). La céréaliculture s'effectue également dans les *garaas* (lacs temporaires d'eau douce) au titre de culture de décrue. Les glacis et les montagnes, ainsi que les zones plates, sont réservés au pâturage. Cependant ces terrains de parcours sont le plus souvent très dégradés ; la mécanisation agricole rend les steppes sur sables, autrefois peu accessibles, très attrayantes pour la céréaliculture extensive qui s'y développe très rapidement depuis quelques années. L'observation des tons de gris (ou, mieux encore, l'observation des images en couleur) (*figure 5*) permet immédiatement d'identifier l'extension de la céréaliculture dans de telles zones où elle ne paraît pas florissante la plupart du temps.

- 6) la région de la Djeffara, ou plaine littorale, englobe en particulier les oasis côtières du Golfe de Gabès, ainsi que les steppes limitées par les "basses plaines méridionales", le Chott Fedjedj et une ligne joignant le Djebel Tebaga au Djebel Matmata. Les cultures sont ici localisées dans les oasis et dans les talwegs.
- 7) en plus de celles ainsi définies, les documents examinés représentent également de faibles portions d'autres régions naturelles, à savoir : le *Djerid*, le *Fedjedj*, les *Dahars* et les *Matmatas*.

Commentaires sur le couvert végétal artificiel

Si l'évolution du couvert végétal des céréales dans les zones cultivées est rapide et atteint ici, dès le mois de février, des valeurs rendant son rayonnement électromagnétique décelable par télédétection spatiale, il n'en est pas de même pour les plantations arboricoles où l'économie de l'eau oblige le plus souvent à proscrire la céréaliculture intercalaire et, même, à effectuer de nombreuses façons culturales dans le but de détruire en permanence toute végétation spontanée susceptible de concurrencer l'arbre (l'olivier,...) pour l'utilisation de l'eau. Les arbres plantés doivent attendre le plus souvent un âge avancé avant de recouvrir suffisamment la surface du sol et, de ce fait, être susceptible d'un comportement décelable par les moyens de télédétection actuellement expérimentés. Bien évidemment, la détection des plantations d'arbres à feuilles caduques (figuiers, amandiers, abricotiers) nécessiterait, en plus des restrictions précédentes, un choix judicieux des dates d'enregistrement.

En réalité, la détection des zones cultivées est difficile sur les documents photographiques en noir et blanc, à moins d'avoir une bonne connaissance du terrain. En effet, sauf peut-être au piedmont nord du Djebel Bou Hedma et aux piedmonts du Djebel Kebar, où l'on décèle des structures agraires géométriques, les zones de cultures peuvent être confondues avec les zones humides non cultivées. A ce niveau, seule la combinaison des informations apportées par les différents canaux, présentée sous une forme dite des "compositions colorées" permet une discrimination des unités. Cette imagerie "couleur" (par exemple le négatif du 7 février 1973 combinant les canaux 5, en vert, et 7, en bleu, cf. *figure 5*) illustre très bien toutes les remarques faites à propos de la céréaliculture. Il est en particulier significatif, sur ce document, de constater qu'il y a peu de zones à céréales (ou du moins de céréales à fort recouvrement du sol), au-dessous d'une ligne reliant les djebels Bou Rhamli et Ben Younes au Djebel Berda, puis à la chaîne au Nord du Chott Fedjedj et rejoignant la mer après le Djebel Tebaga-Fatnassa ; à partir du Djebel Berda, cette limite coïncide d'ailleurs avec la limite Sud de la région naturelle dite des "basses plaines méridionales". Cette quasi-absence de la céréaliculture au Sud de cette limite, à la date du 7 février 1973, est tout à fait explicable par l'insuffisance des précipitations dans cette zone plus aride. Nous avons rassemblé sur le *tableau 1* les précipitations cumulées depuis le début de l'année hydrologique (1^{er} septembre 1972) et jusqu'aux dates de passage du satellite, pour les stations météorologiques de l'ensemble du territoire faisant l'objet de nos observations. Toutes les stations ayant à la date du 7 février 1973 une somme de précipitations inférieure à 100 mm* sont situées au Sud de cette limite identifiée par l'imagerie Landsat.



Figure 5

Composition colorée de l'image du 7 février 1973

Négatifs des canaux 5 (filtre vert) et 7 (filtre bleu)

(image n° 13)

-- limite de la céréaliculture détectable à la date du 7 février 1973

Ka : Kasserine ; *Sb* : Sbeitla ; *Si* : Sidi Bou Zid ; *Re* : Regueb ;

Fe : Feriana ; *Ma* : Maknassy ; *Gf* : Gafsa ; *Me* : Metlaoui ;

Gb : Gabès ; *El* : El Hamma ; *Ch* : Chenchou.

Tableau 1 : précipitations cumulées à partir du 1^{er} septembre 1972, pour les stations météorologiques situées dans l'aire de la phase expérimentale du Projet ARZOTU.

Stations météorologiques	Pluies cumulées du 1 ^{er} sept. 1972 au 9 nov. 1972 (en mm)	Pluies cumulées du 1 ^{er} sept. 1972 au 7 fév. 1973 (en mm)
TOZEUR**	19,9	52,1
EL HAMMA**	20,7	63,4
DOUZ**	12,2	64,1
METLAOUI**	75	84
GABES**	28,4	93,5
REDEYEF**	55,7	97,1
GAFSA	54,6	111,7
MATMATA	26,3	128,3
FERIANA	91,4	163,9
SIDI BOU ZID	99,9	174,7
THALA	124,2	177,8
SBEITLA	120,5	209,8
REGUEB	100	211,6
MAKNASSY	101,3	219,6
KASSERINE	110	229,3

Ce commentaire sur la répartition de la céréaliculture nous amène à regretter de n'avoir pas eu, aux dates du passage du satellite en 1972 et 1973 la possibilité d'effectuer des mesures et des observations sur le terrain. Ainsi, par exemple, il aurait été intéressant de savoir si dans telle zone (ex : Plaine de Chenchou), à la date du 7 février 1973, les céréales n'avaient pas encore un recouvrement suffisant pour être décelable, ou bien si l'insuffisance des précipitations n'avait pas permis le labour et les semailles.

Commentaires sur l'état des réservoirs d'eau naturels

La comparaison entre les documents photographiques considérés du 9 novembre 1972 et du 7 février 1973 permet de constater aisément les

différences importantes de remplissage des Sebkhass (ex : Sebkhass En Noual). Il s'agit là d'une observation relativement simple qui méritera dans le programme 1975-76 des considérations plus précises.

1.2.1.2. Documents photographiques à l'échelle du
1/500 000

La *figure 6* (image n° 7, agrandissement 1/500 000 ; canal 5) nous permet d'atteindre à l'intérieur des régions naturelles des observations qui concernent le niveau du secteur écologique. Cet agrandissement concerne surtout la partie orientale de la région dite des basses plaines méridionales". Sur cet agrandissement il est aisé de délimiter les bassins versants, les systèmes endoréiques importants et même de procéder à la délimitation des glacis et à l'identification physiographique de certaines portions très contrastées de l'image.

Nous avons aussi délimité la zone-test de Zougrata (80 000 ha) qui constitue une sous-région écologique bien définie et suffisamment connue grâce aux nombreux travaux dont elle a fait l'objet ces dernières années. A ce titre, cette zone-test est la zone d'action privilégiée de l'expérience ARZOTU.

En plus des informations déjà fournies dans le rapport de G. DEBUSSCHE (1975), la comparaison de cette *figure 6* avec la *figure 7* (image n° 13, agrandissement 1/500 000, canal 5) permet de préciser :

- la localisation des alluvions jeunes de l'Oued Leben et de l'Oued Cherchera ;
- la localisation des steppes sur sables, à fort recouvrement de la végétation de la zone de Zougrata (recouvrement moyen de la végétation supérieur à 25-30 %) ;
- la localisation des sables gypseux mobiles du bord du Chott Fedjedj et du lieu-dit Draa d'Oudref ;
- la localisation de la mise en défens d'un espace situé à l'intérieur de la forêt du Bled Thala (forêt claire à *Acacia raddiana*), autour de la maison forestière de Bou Hedma.



Figure 6

Agrandissement au 1/500 000 de l'image du 9 novembre 1972
(image n° 7, canal 5)



Figure 7

Agrandissement 1/500 000 de l'image du 7 février 1973

(image n° 13, canal 5)

-- limites de la zone test de Zougrata ; 1 : steppe à forte couverture végétale ;
 2 : alluvions jeunes de l'Oued Leben ; 3 : alluvions jeunes de l'Oued Cherchera ;
 4 : mise en défens autour de la maison forestière de Bou Hedma ; 5 : Sables
 gypseux mobiles.

1.2.2. Imagerie de la portion Sud de la zone d'étude

Documents photographiques à l'échelle de 1/1 000 000

Les *figures 8* (image n° 8, agrandissement 1/1 000 000, canal 5) et 9 (image n° 14, agrandissement 1/1 000 000, canal 5), en noir et blanc, apportent quelques enseignements relatifs à la géomorphologie de cette vaste région où l'action de l'homme ne concerne que très peu la mise en culture (en dehors des oasis). En plus des remarques faites par G. DEBUSSCHE (l.c.), il est possible de déceler ici, au niveau des régions naturelles, les unités suivantes :

- 1) la région du *Nefzaoua*, qui englobe l'ensemble des oasis bordant le Chott Djerid au Nord-Est, à l'Est et au Sud-Est.
- 2) la région des *Dahars*, il s'agit d'une région très vaste, occupant toute la partie orientale des documents analysés. Les glacis et revers de cuestas s'étendent depuis le Djebel Matmata (en partie discernable sur la *figure 9*,) jusqu'au petit relief où s'accumulent les dernières dunes du Grand Erg Oriental. Sur ces glacis encroûtés ruisselle une bonne part des eaux de pluies du Djebel Matmata, qui va ensuite s'infiltrer dans le Grand Erg et alimenter les nappes profondes (complexe terminal) après avoir formé une succession de systèmes endoréiques parfois cultivés (ex : Ksar Rhilane).
- 3) la région du *Grand Erg Oriental*, il s'agit de cette vaste dépression où les accumulations d'alluvions en provenance de toutes les zones voisines ont été reprises par le vent en un système dunaire complexe, dont le modèle est parfaitement identifiable sur les deux documents examinés au 1/1.000.000.
- 4) la région du *Rherib*, en continuation du Nefzaoua, borde le Chott Djerid au Sud ; également constituée de sols souvent salés et encroûtés, du fait de l'absence des possibilités d'artésianisme (nappe trop profonde) cette région ne comporte pas d'oasis. De plus, la frange de cette région la plus proche du Chott est occupée par une végétation halophile.
- 5) la région des *Matmatas*, il s'agit de la région montagneuse visible au Nord-Est de la *figure 19* ; la pluviométrie relativement élevée sur ces reliefs permet la présence de cultures et de plantations arboricoles dans les talwegs bénéficiant d'impluviums suffisants, aménagés selon la technique des petits barrages de retenue des eaux et des sols (jessours).

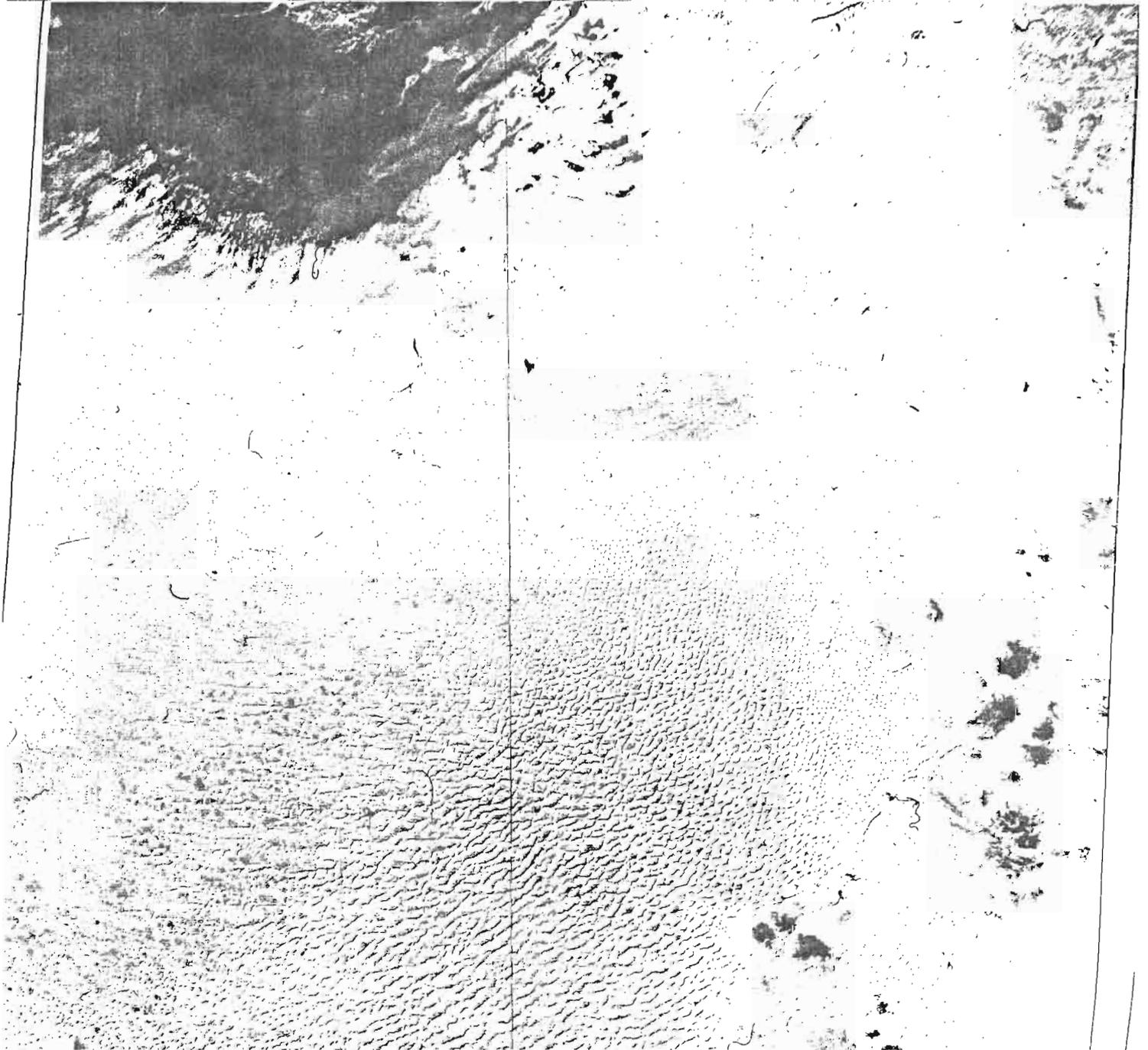


Figure 8

Agrandissement au 1/1 000 000 de l'image du 9 novembre 1972

(image n° 8, canal 5)



Figure 9

Agrandissement au 1/1 000 000 de l'image du 7 février 1973
 (image n° 14, canal 5)

- 1 : *Grand Erg Oriental* ; 2 : *Ksar Rhilane (Garaet Bou Flidja)* ;
 3 : *Chott Djerid* ; 4 : *Djebel Tebaga* ; 5 : *Oasis du Nefzaoua* ;
 6 : *Djebil*.

- 6) la région du *Fedjedj*, est représentée pour partie sur les deux séries d'images étudiées et englobe en particulier le Chott Fedjedj proprement dit, ainsi que (sur la *figure 9*) le glacis Nord du Djebel Tebaga.

Certaines de ces limites entre régions naturelles sont ici très contrastées ; il est, de plus, possible d'identifier au niveau du Chott Fedjedj des alignements N-E/S-W de teinte claire, qui sont des axes de dunes susceptibles d'indiquer l'axe des vents dominants de cette région.

Les documents "combinaisons colorées", par exemple ceux provenant de la superposition de négatifs transparents des canaux 5 (en rouge) et 7 (en vert) (*figure 10*), n'apportent que peu de précisions supplémentaires concernant cette zone. Cependant, pour les oasis de Nefzaoua, les documents "couleur" laissent apparaître, en teinte verte (plus ou moins dense selon l'intensité des cultures), les parcelles cultivées (également le périmètre de Ksar Rhilane) ; ce qui permet de les différencier de leurs réseaux de drainage apparaissant en teinte rose. Il n'est pas possible de faire cette distinction sur les documents en noir et blanc.

1.3. Limites de l'utilisation de l'imagerie et des données numériques sans le secours de la vérité-terrain

Comme cela a déjà été dit, les divers documents disponibles sous forme d'images (documents en noir et blanc, compositions colorées, équidensités, assemblages diachroniques) peuvent être interprétés au laboratoire selon des méthodes classiques de la photo-interprétation. Il est cependant évident que l'identification des unités reconnues et délimitées nécessite des contrôles sur le terrain et la confrontation des interprétations avec d'autres documents cartographiques dans le but de tester la fiabilité de l'analyse effectuée au laboratoire.

En ce qui concerne l'analyse des données numériques de l'expérience ARZOTU, dont la procédure générale a été décrite par LACAZE (1975), le but est d'aboutir à un inventaire quasi automatisé des ressources terrestres. En raison des difficultés inhérentes à l'expérience

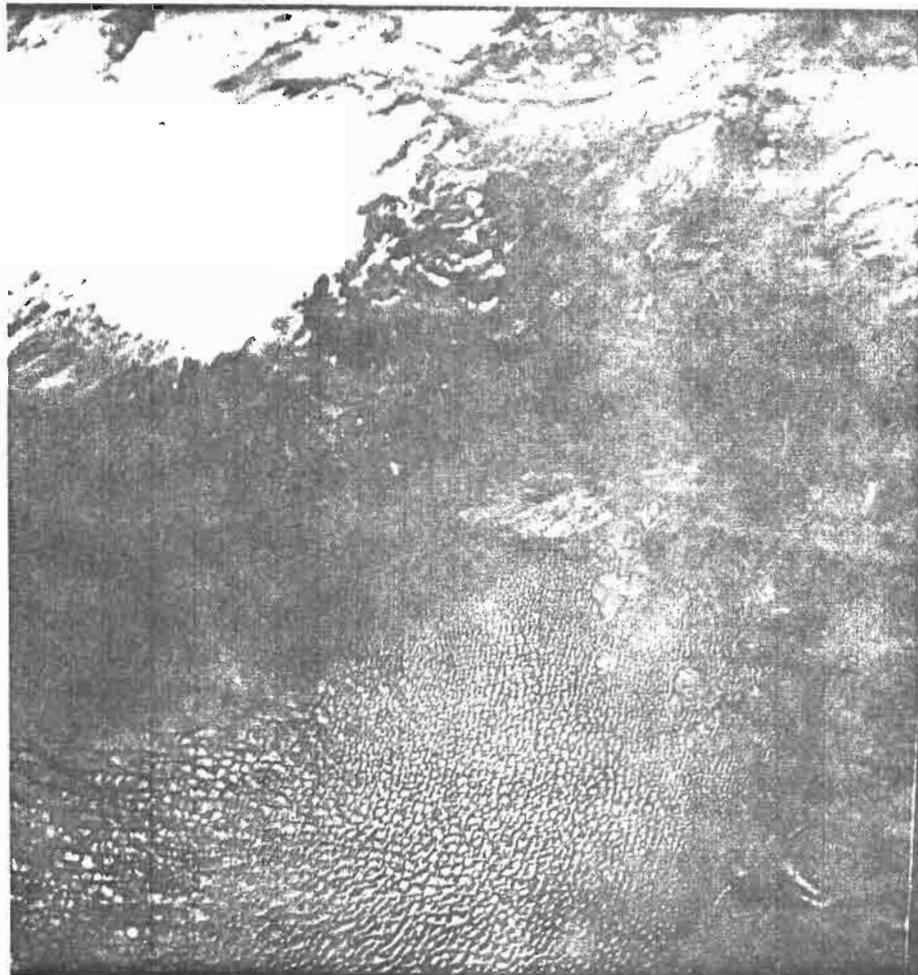


Figure 10

Composition colorée de l'image du 7 février 1973
Négatifs des canaux 5 (filtre rouge) et 7 (filtre vert)
(image n° 14)

ARZOTU et eu égard aux objectifs assignés (cf. chap.2), il s'avère que la seule procédure efficace soit celle qui s'inspire du principe de *l'apprentissage dirigé*. Celui-ci consiste à introduire des informations thématiques (recueillies sur le terrain, ou provenant de la documentation disponible) dans le processus de l'analyse. Les observations sur le terrain sont réalisées à partir d'un dispositif d'échantillonnage tenant compte de la diversité des situations rencontrées (échantillonnage stratifié). Les échantillons, convenablement localisés, sont des unités de milieu considérées comme assez typiques dans la zone-test considérée. Chaque écotope - ou unité de milieu localisée - a un comportement spectral relativement homogène ; ce qui peut déterminer l'aptitude du système d'enregistrement MSS à discriminer des niveaux de luminance variant en fonction de la nature même des écotopes qui sont donc les cibles principales de la reconnaissance par voie automatique.

Pour la campagne 1972-1973, ont été effectués des tests de localisation des écotopes sur les sorties à l'imprimante. Mais aucun des caractères recensés au sol n'a encore fait l'objet d'une analyse systématique.

Telle sera l'une des préoccupations principales de la campagne 1975-1976, dès réception des enregistrements.

2. CONDITIONS D'EXPLOITATION THEMATIQUE DES DONNEES DE LA PERIODE 1975-1976

2.1. Conception générale de cette partie de l'expérience

Les connaissances acquises lors de l'étude des données images et des données numériques de la campagne 1972-1973, nous conduisent à redéfinir et à préciser certains objectifs assignés à l'expérience ARZOTU. Il convient notamment d'ajuster l'approche méthodologique en tenant compte des contraintes et des limites imposées par les conditions d'utilisation de l'imagerie et des données numériques.

Il est évident qu'avec un passage du satellite en vue du territoire-test tous les 18 jours, il serait assez difficile d'analyser l'énorme quantité de données susceptibles d'être enregistrées. On

a donc dû se mettre d'accord sur une limitation des enregistrements aux seules dates les plus critiques pour les thèmes abordés et, par ailleurs, en ayant en vue un espace accessible pour exécuter simultanément les contrôles sur le terrain. Par ailleurs, dans la plupart des cas - et ainsi que nous l'avons montré dans le chapitre 1 - il est prévu d'approcher l'analyse des thèmes aussi bien au niveau de la région naturelle ou du secteur écologique ou de l'unité géomorphologique, qu'au niveau de la station, de l'unité de milieu ou de l'écotope.

2.2. Thèmes spécifiques et objectifs sectoriels et généraux

Nous avons regroupé dans le *tableau 2* la liste des *thèmes spécifiques* (colonnes) qui peuvent entraîner la définition d'*objectifs sectoriels* (par discipline scientifique ou par nature de variables).

Les principaux thèmes spécifiques considérés sont les suivants :

- . Thème 1 : nature et types de végétation
- . Thème 2 : nature et types de substrats et, en particulier, des substrats gypseux
- . Thème 3 : types d'utilisation du sol
- . Thème 4 : répartition et phénologie des cultures
- . Thème 5 : nature des réservoirs d'eau libre, conditions de remplissage et de vidange

A ces principaux thèmes spécifiques, correspondent des objectifs sectoriels qui seront atteints, pour partie, par la cartographie thématique. Il est ainsi prévu de dresser des documents à diverses échelles :

- . carte des couverts végétaux, 2 à 3 classes, grande échelle (en rapport avec le thème 1)
- . carte des substrats, 5 à 6 grandes classes, petite échelle et carte des substrats gypseux à moyenne échelle (en rapport avec le thème 2)

Tableau 2

Thèmes spécifiques, objectifs sectoriels et généraux de l'expérience ARZOTU

OBJECTIFS GÉNÉRAUX ↓	Thèmes spécifiques principaux				
	nature et types de végétation	nature et types de substrats	types d'utilisation du sol	répartition des cultures et phénologie	réservoirs d'eau libre
Etude et cartographie de la désertisation à petite échelle	+	+	+	+	
Modélisation écologique régionale (Zougrata) et cartographie à grande échelle	+	+	+	+	+
OBJECTIFS SECTORIELS →	Carte des types de végétation et des couverts végétaux à grande échelle (2 à 3 classes)	Carte des substrats à petite échelle (5 à 6 classes) et carte des substrats gypseux à 1/500 000	Carte de l'utilisation du sol à petite échelle (5 à 10 unités)	Carte du suivi des cultures à diverses échelles	Carte du suivi des réservoirs d'eau libre à diverses échelles

Remarques : 1) Tous les thèmes et tous les objectifs nécessitent l'utilisation simultanée des données-images et des données numériques ; ils impliquent, en outre, une démarche itérative du niveau régional au niveau stationnel, et vice-versa ;

2) Des études plus fines seront réalisées à partir des observations relevées sur les écotopes des enregistrements Landsat programmés en 1975 et 1976.

- . carte de l'utilisation du sol, 5 à 10 unités, à petite échelle (en rapport avec le thème 3)
- . carte du suivi des cultures, à diverses échelles (en rapport avec le thème 4)
- . carte du suivi des réservoirs d'eau libre, à diverses échelles (en rapport avec le thème 5).

D'autre part, certaines variables analysées lors de l'étude des thèmes spécifiques permettront d'appréhender des thèmes plus généraux, se rapportant à des systèmes plus complexes (interactions entre les diverses variables physiques et biotiques) et susceptibles de viser des objectifs plus généraux. Nous avons retenu (*cf. tableau 2*) deux objectifs généraux se rapportant l'un au thème général de la "désertisation" et l'autre à la modélisation du système écologique régional de Zougrata (modèle Zougrata). Dans le premier cas, l'objectif final sera la réalisation de cartes de la désertisation ; dans le deuxième cas, les résultats pourront exprimer les variations spatiales et temporelles du système écologique retenu.

Certains des thèmes, spécifiques et généraux, et des objectifs s'y rapportant, méritent ici quelques commentaires appropriés.

2.2.1. Répartition des cultures et phénologie ; suivi des cultures

La végétation steppique de la Tunisie est en nette régression au profit des cultures annuelles (céréales) ou pérennes (arboriculture, cactus...). Dans le Sud du pays, les cultures annuelles sont épisodiques et sont très aléatoires.

Il pourrait être très intéressant de disposer chaque année, et pour l'ensemble du territoire tunisien, d'évaluations assez précises sur les surfaces labourées, emblavées et arrivées à maturité. Pour atteindre cet objectif, il suffirait de contrôler l'état des cultures, ou de l'espace agricole correspondant, deux ou trois fois au cours de la période de végétation. On pourrait ainsi effectuer des prévisions de récolte (surfaces considérées, probabilités de succès...) et déter-

miner les conséquences économiques de ces prévisions (part réservée à l'auto-consommation, part réservée au marché).

Dans l'état actuel des moyens disponibles pour l'expérience ARZOTU, nous nous contenterons d'effectuer un contrôle sur quelques zones-test. Ainsi, pour le Centre de la Tunisie, nous avons retenu la zone de "Sidi Bou Zid-Gamouda", pour le Centre-Sud la zone dite des "Seguis" et la zone de "Regueb Bir Ali", et, pour le Sud, la zone des steppes sableuses (de "Zougrata" notamment). Des estimations des surfaces emblavées et des succès ou échecs de la céréaliculture seront faites sur ces zones-test au niveau régional.

Par ailleurs, sur quelques parcelles cultivées, convenablement repérées dans le Sud et le Centre-Sud, nous suivrons avec plus de détail le développement phénologique des céréales en rapport avec les différences de conditions de milieu.

On espère ainsi mettre au point une méthodologie applicable à l'ensemble du territoire situé au Sud de la Dorsale. Cette méthodologie devra être développée avec le souci d'utiliser efficacement les données numériques provenant des enregistrements Landsat.

2.2.2. Etude et cartographie des sols gypseux

Cette étude est justifiée par l'existence même d'un programme actuellement en cours d'exécution sur le Sud de la Tunisie.

Ce programme concerne l'inventaire et la typologie des sols gypseux, l'étude de leur mode de formation (*in situ et in vitro*) et l'utilisation agricole, ou autre, des sols gypseux.

Les sols gypseux sont remarquablement représentés dans le Sud et l'extrême Sud du pays. On souhaiterait profiter des données de l'expérience ARZOTU pour tenter d'élaborer une carte au 1/500 000 de l'ensemble des sols gypseux de la Tunisie. En outre, quelles que soient l'utilisation du sol et la nature du couvert végétal, on aimerait tester le système de traitement mis en place quant à sa capacité de sortir automatiquement des catégories de sols gypseux.

2.2.3. Etude et cartographie de la désertisation et thèmes connexes

Il s'agit d'élaborer, d'ici fin 1976, diverses cartes thématiques telles que "carte de la sensibilité du milieu aux facteurs de la désertisation", "carte des zones menacées et traitées contre la désertisation"... aux échelles du 1/500 000 ou de 1/1 000 000.

Pour l'établissement de ces cartes on prendra en considération la nature des substrats, la nature et les types de végétation, le degré de recouvrement de la végétation et l'état de la dégradation de la végétation, la nature des zones déjà désertisées, les formes et le degré de l'érosion etc.

De ce fait des thèmes spécifiques et des objectifs sectoriels seront atteints en même temps que l'étude sur la désertisation sera réalisée. C'est ainsi que nous avons l'intention de dresser :

- . 1 carte des classes de couvert végétal (2 à 3 grandes classes pour les terrains de parcours, les forêts claires...)
- . 1 carte de l'utilisation du sol (zones céréalières, zones arboricoles, terrains de parcours, forêts...)
- . 1 carte des substrats (5 à 6 grandes classes).

2.2.4. Elaboration du modèle écologique régional de Zougrata

La zone-test de Zougrata, dont 80 000 ha ont déjà fait l'objet d'une cartographie thématique à grande échelle (1/50 000), a été retenue depuis quelques années pour tenter de mettre en place un modèle écologique régional susceptible d'être utilisé dans la planification agricole et dans le processus de prise de décision en rapport avec l'utilisation pastorale des ressources. Cette zone est représentative des zones arides du Sud de la Tunisie comprises entre les isohyètes de 100 mm et 200 mm. Elle est encore occupée par des steppes à chaméphytes et herbacées qui, cependant, sont soumises à une pression de plus en plus élevée : surpâturage par les animaux domestiques, éradication des espèces

ligneuses, défrichage pour la céréaliculture... Cette pression s'exerce aujourd'hui en particulier sur des steppes à substrats sablonneux à propos desquelles on note une tendance nette à la désertisation (mise en mouvement du sable, régression totale de la couverture végétale...).

L'élaboration d'un modèle exprimant la production primaire et l'évolution des différents milieux recensés est en cours de développement. Il a déjà fait l'objet de diverses études et vérifications d'une part, grâce à la comparaison des données fournies par des couvertures photographiques aériennes de diverses époques et, d'autre part, grâce à des enquêtes, des observations et des mesures qui ont été faites sur le terrain en différents sites-test (par ex : km 52 de la route Gabès-Gafsa). Une première série de données a conduit à utiliser un modèle matriciel (matrices de transition) pour exprimer les tendances probables de l'évolution du couvert végétal et des conditions de la désertisation selon diverses hypothèses de pressions humaine (par l'agriculture) et animale (par le surpâturage). Les premiers résultats ont fait l'objet de publications (cf. chap. 3).

L'emploi du modèle des matrices de transition implique le recours à des coefficients de passage d'une unité à l'autre, selon la nature des pressions subies ; l'utilisation de tels coefficients n'est fiable que dans la mesure où il est possible d'effectuer globalement quelques contrôles sur le terrain (validation) au sujet de l'évolution réelle, au cours de périodes à forte ou à faible pluviosité annuelle, des unités de milieu considérées. C'est, entre autres, dans cet objectif précis, que le recours aux données de la télédétection spatiale paraît d'un grand intérêt.

Mais, par ailleurs, nous pourrions aussi avoir en vue les aptitudes du modèle à une certaine généralisation des résultats sur l'ensemble des milieux de même nature du Sud tunisien.

2.3. Questions posées aux données enregistrées par Landsat

Ces questions sont posées d'une part, en prenant en considération la nature même des thèmes spécifiques étudiés et des objectifs

sectoriels et généraux annoncés (cf. section 2.2.) et, d'autre part, les aptitudes potentielles des chaînes de traitement photographique ou automatique mises en oeuvre au CEPE/CNRS à Montpellier, en liaison avec les moyens du CNES, à Toulouse.

Question 1 : Pour l'ensemble du territoire faisant l'objet de l'expérience ARZOTU est-il possible de dresser une carte à 1/500 000 des grands types de végétation naturelle (forêts, garrigues, steppes graminéennes, steppes à chaméphytes et herbacées, steppes à halophytes...), ainsi qu'une carte des recouvrements de la végétation (2 à 3 classes) ?

Les réponses à cette question devraient permettre de mener à bien les études sur la désertification.

Question 2 : Sur la base d'un choix adéquat de zones-test et de sites-test, est-il possible de cartographier *automatiquement*, à grande échelle, 1/50 000, les types de végétation et les taux de recouvrement de l'ensemble des steppes de même physionomie générale des zones arides du Sud tunisien, dans le territoire compris entre les isohyètes des moyennes des précipitations annuelles de 100 mm et 200 mm ?

Question 3 : Sur la base des données numériques, est-il possible de définir et de cartographier à petite échelle, 1/1 000 000 ou 1/500 000, les grandes classes de substrats suivantes :

- * zones des lithosols calcaires plus ou moins rendziniiformes des djebels et des glacis à croûte, ainsi que les hamadas calcaires
- * zones sableuses, ou à important recouvrement sableux
- * zones limoneuses et argileuses des glacis et des zones d'épandage
- * zones salées pouvant être inondées temporairement
- * zones hydromorphes non salées pouvant être inondées temporairement
- * zones à substrat gypseux (avec éventuellement croûte + encroûtement de surface, encroûtement recouvert, sable gypseux).

Les résultats escomptés permettront, en outre,

- * de servir à l'élaboration de cartes de la désertisation
- * de servir à l'élaboration de la carte des sols gypseux
- * de servir à la mise au point d'une méthodologie pour l'établissement de cartes de substrats, à plus grande échelle (1/50 000) sur les zones de Zougrata, El Hamma et Oglat Merteba.

Question 4 : Sur un substrat bien repéré (gypseux, par exemple), et pour un objectif méthodologique, est-il possible de définir le rôle du recouvrement de la végétation, dans ses variations spatiales et temporelles, sur le niveau de luminosité enregistré par les différents canaux du MSS et, en conséquence, de déterminer l'époque au cours de laquelle la végétation a la plus faible influence ?

Question 5 : Sur l'ensemble du territoire concerné par l'expérience ARZOTU, est-il possible de localiser les zones cultivées et, de différencier les zones emblavées en céréales des zones plantées en arbres (oliviers), au moins sur certaines zones-test (Sidi Bou Zid, Regueb Bir Ali, Seguis, Djefara...).

Question 6 : Sur les zones-test de Zougrata et des Seguis principalement, et de Sidi Bou Zid accessoirement, peut-on assurer le suivi des cultures par une analyse diachronique débouchant sur une carte au 1/50 000 ?

Question 7 : Est-il possible de dresser une carte à petite échelle des grandes unités de l'utilisation du sol, telles qu'elles se présentent sur le territoire considéré ?

Question 8 : A partir des données images et des données numériques des deux périodes considérées (1972-1973 et 1975-1976) est-il possible d'identifier, sur certaines zones-test, des mouvements de sable ?

On pourrait porter l'attention sur les contacts ERG/REG dans la région de Bir Soltane ; sur les ensablements recensés à proximité des palmeraies et des villages du Nefzaoua et de la presqu'île de Kebili.

Question 9 : En prenant en considération les réservoirs d'eau libre des zones-test retenues, est-il possible de porter un jugement sur les conditions de remplissage et de vidange de ces réservoirs (sebkhas, chotts, garaas...) ?

2.4. Méthodologie proposée par la campagne 1975-76

2.4.1. Au niveau régional

Pour l'interprétation des documents photographiques, il est important que les contrôles sur le terrain, surtout en ce qui concerne les aspects diachroniques des études, se fassent au moment de l'enregistrement par le satellite, car sinon il devient impossible, à postériori, de comprendre les phénomènes enregistrés. Ainsi, il sera impossible, quelques mois après l'enregistrement des données, de dire avec certitude si telle zone, habituellement labourée et emblavée, et qui sur document photographique n'apparaît pas avec les caractéristiques des images permettant d'identifier les cultures était en réalité non labourée ou non semée.

Cette "vérité-terrain" implique donc, outre une bonne connaissance de la totalité du territoire étudié, afin d'identifier aisément les "structures" les plus contrastées et permanentes des images, la possibilité d'effectuer des observations au niveau des régions naturelles et aux dates des enregistrements par le satellite. Ces observations sont indispensables pour déceler et décrire les grandes variations temporaires des facteurs physiques (répartition des précipitations, par exemple) ou biotiques (influence de l'homme : labours, emblavures, évolution du couvert des cultures...).

Nous proposons en *annexe 1* un formulaire d'enquête au niveau "régional" qui prend en compte les caractéristiques et les variations du secteur écologique ou de l'unité géomorphologique.

Par ailleurs, l'analyse des données numériques selon la technique de l'apprentissage dirigé doit pouvoir s'appliquer au travers d'une approche systémique visant à définir d'abord les régions naturelles, puis

les secteurs écologiques et enfin, à distribuer les échantillons selon des "structures" que le thématicien utilise pour discriminer, par l'analyse des données numériques, les objets soumis à l'inventaire. Cette procédure nécessite donc de passer, au cours d'une première étape, par un zonage (définition des régions et secteurs écologiques à l'aide, par exemple, des documents photographiques), définissant ainsi les grandes entités à l'intérieur desquelles seront implantés les échantillons, sur la base d'un plan d'échantillonnage stratifié, tenant compte, en particulier, des documents cartographiques disponibles.

2.4.2. Au niveau stationnel

Les échantillons de référence au sol ont été localisés avec précision. Ils concernent les unités de milieu qui sont exprimées dans *le tableau 3*. Ces unités ont fait l'objet de description adéquate soit dans la documentation appropriée, soit dans les travaux en cours d'exécution (cf. chap. 3).

En ce qui concerne l'analyse des données numériques, la connaissance des "structures" passe obligatoirement par l'inventaire de caractères et la mesure sur le terrain de paramètres permettant de caractériser chaque écotope ou unité de milieu localisée. Ces paramètres ou caractères peuvent être, soit *permanents* (pentes, exposition, caractères du substrat), soit *temporaires* et donc susceptibles de variations dans le temps (humidité du sol, caractères de la végétation...).

Nous donnons en *annexe 2* un exemple du formulaire "vérité-terrain" utilisé pour la description des écotopes dans l'expérience ARZOTU (caractères permanents et caractères temporaires).

Il faut retenir que les caractères et les paramètres observés ou mesurés ne servent pour l'instant qu'à décrire les écotopes ; ils ne sont pas encore introduits dans la chaîne de traitement automatique des données. Ces observations sont cependant essentielles pour pouvoir étudier les causes des ressemblances ou des dissemblances dans les réponses spectrales enregistrées.

Toutes les observations effectuées sur le terrain permettront de trier les paramètres réellement utiles au niveau de la classification et de la taxinomie des données numériques et de vérifier ainsi la cohérence des "variations terrain" par rapport aux "variations données numériques".

Il est possible de se poser des questions sur l'opportunité par exemple de relever, au niveau stationnel, des phénomènes tels que la profondeur de la nappe phréatique, surtout en sachant que les valeurs des niveaux de luminance enregistrées dans le proche infrarouge par le système MSS ne concerneront, de toute façon, que les phénomènes de la surface ; il est bien évident ainsi que seule l'humidité des quelques millimètres de la surface du sol sera susceptible d'intervenir effectivement ; mais cette tranche d'épaisseur du sol est à considérer elle-même comme un système capable d'intégrer d'autres phénomènes ; à ce titre, une observation de l'humidité de l'horizon très superficiel du sol est digne de retenir notre attention.

2.4.3. Dates optimales d'enregistrement

Elles conditionnent la possibilité de discriminer les unités dans les thèmes spécifiques ou généraux retenus.

En 1975, les seules dates qui ont pu être retenues, compte tenu du fait que la station italienne de Fucino n'a pas pu être opérationnelle au printemps 1975, ont été :

- 7, 8, 9 et 10 juillet 1975
- 29 et 30 novembre 1975.

Ce choix a été fait en recherchant :

- . une solution *optimale* pour l'étude à un instant t (ici : début juillet) des conditions générales de l'état des sols et de la désertisation dans tout le Sud de la Tunisie ;
- . une solution *convenable* pour appréhender au milieu de l'automne le démarrage de la végétation (et de la céréaliculture) sur les zones-test de la Tunisie du Centre et du Sud.

Tableau 3

Les unités de milieu et les principaux caractères mésologiques
des zones-test de l'expérience ARZOTU

Types de substrats (classes)	Types de sols	Types de terrains de parcours			Cultures : céréales et arboricul.	Unité géomorphologique
		Steppes à chaméphytes	Steppes graminéennes	Steppes à halophytes		
Squelettiques (calcaire dur, cailloux)	lithosols des djebels	GD	SD			djebels
	lithosols des glacis à croûte calcaire	GD				glacis
sableux	sols xériques d'apport inor- ganisé	milieu quasi abiotique				erg
	sols bruts d'ap- port éolien		AR ₂ , AR ₁			nebkhas
	sols peu évolués d'apport éolien		AR ₂ , LK ₃			nebkhas
	sols isohumiques + ou - tronqués type sierozem	RK ₃ , RK ₂ RK ₁		LK ₃	rk ₂ , rk ₁	plaines, plateaux
	sols peu évolués d'apport alluvial	ZR			zr	vallées, zones d'épandage
limoneux sableux à argileux	régosols sur mar- nes	AA ₂				djebels
	régosols sur limons à nodules calcaires	AA ₂ , AA ₁ RK ₁			aa, rk ₁	glacis et plaines érodées
	sols peu évolués d'apport, AC, li- moneux	AA ₂ , AA ₁			aa	glacis d'accumu- lation
gypseux	sols calcomagn. gypseux	AZ ₁ , OZ	milieu quasi abiotique			glacis

Types de substrats (classes)	Types de sols	Types de terrains de parcours			Cultures : céréales et arboricul.	Unité géomorphologique
		Steppes à chaméphytes	Steppes graminéennes	Steppes à halophytes		
salés	sols salins et à alcalis, non lessivés			FL, HS, AI		chotts sebkhas
inondables temporairement	sols hydromorphes, minéraux				pv	garaas non salée

Remarques : Les sigles des unités phyto-écologiques des terrains de parcours et des zones cultivées sont ceux utilisés pour caractériser les unités décrites dans des travaux antérieurs (cf. par exemple, FLORET et al., 1973).

Le programme des enregistrements de 1976 se fera en essayant de maîtriser l'évolution dans le temps du couvert végétal des steppes pastorales et des zones cultivées ; c'est-à-dire que le maximum d'efforts sera fait sur la période comprise entre le 15 février 1976 et le 15 mai 1976. Cette période est également favorable à l'étude assez fine de plusieurs thèmes inscrits au programme (par ex : suivi des conditions de remplissage et de vidange des réservoirs d'eau libre ; suivi des conditions d'humidité de surface des sols en fonction des précipitations et de l'état du couvert végétal...).

3. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Documents concernant l'expérience ARZOTU

- LONG, G.A., 1972. - Proposal for investigations using data from Earth Resources Technology Satellites - ERTS B, ARZOTU PROJECT. Décembre 1972, 19 p.
- LACAZE B. et DEBUSSCHE G., 1975. - Phase préparatoire du Programme de travail relatif à l'exploitation des données Landsat concernant la Tunisie du Sud et du Centre. Expérience "ARZOTU". 22 p.
- STA-M'RAD M. et LONG G., 1975. - Présentation générale du Projet ARZOTU. Séminaire de sensibilisation "Télédétection des Ressources Terrestres", Tunis 29-30 octobre 1975, 17 p.
- DEBUSSCHE G., 1975. - Analyse des images Landsat du Sud de la Tunisie. Premiers résultats et programmes engagés. Séminaire de sensibilisation "Télédétection des Ressources Terrestres", Tunis 29-30 octobre 1975, 45 p.
- LACAZE B., 1975. - Analyse des données numériques Landsat du Sud de la Tunisie. Premiers résultats et programmes engagés. Séminaire de sensibilisation "Télédétection des Ressources Terrestres", Tunis 29-30 octobre 1975, 14 p.
- LONG G., 1975. - Essai de synthèse sur les possibilités de la télédétection notamment en rapport avec les besoins des pays méditerranéens en cours de développement. Séminaire de sensibilisation "Télédétection des Ressources Terrestres", Tunis 29-30 octobre 1975, 38 p.

Documents ne se rapportant pas directement à l'expérience ARZOTU

FLORET Ch. et LE FLOC'H E., 1973. - Production, sensibilité et évolution de la végétation et du milieu en Tunisie pré-saharienne. Conséquences pour la planification de l'aménagement régional de la zone-test d'Oglat-Mertebea. CEPE Doc. n° 71, 45 p.

FLORET Ch. LE FLOC'H E. PONTANIER R. et ROMANE F., 1975. - Elaboration d'un modèle écologique régional en vue de la planification et de l'aménagement des parcours des régions arides. Réunion de Sfax (avril 1975) sur les zones arides et semi-arides du Nord de l'Afrique, 55 p.

ANNEXE 1

EXPERIENCE ARZOTU

FORMULAIRE D'ENQUETE VERITE-TERRAIN PAR UNITE GEOMORPHOLOGIQUE
OU SECTEUR ECOLOGIQUE

A. CARACTERES PERMANENTS

LOCALISATION

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| - Région naturelle : | Numéro de l'enquête : |
| - Secteur écologique : | Observateur : |
| - Unité géomorphologique : | Date de l'enquête : |
| - Superficie de l'unité : | Numéro de l'unité (code) : |

SITUATION TOPOGRAPHIQUE

- . type morphologique : (ex : glaciais, versant, plaine..)
- . pente moyenne en % :
- . exposition :

BIOCLIMAT

- | | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| . Station météo de référence : | type de bioclimat : |
| . Q2 Emberger : | pluviosité moyenne annuelle (mm) : |

CARACTERES DU SUBSTRAT

- . Géologie (type de roches...) :
- . Type de sols :
- . Aspect de la surface du sol
(en général) :

VEGETATION

- . Types physiologiques dominants :
- . Espèces pérennes dominantes :
- . Recouvrements de la végétation
pérenne (%) :

UTILISATION DU SOL : terrains de parcours, céréaliculture...

DEGRE D'HOMOGENEITE DE L'UNITE GEOMORPHOLOGIQUE OU DU SECTEUR ECOLOGIQUE :

REMARQUES SUR LES CARACTERES PERMANENTS

B. CARACTERES TEMPORAIRES

Numéro de l'enquête :

Observateur :

Date de l'enquête et heure :

Numéro de l'unité (code) :

CARACTERES CLIMATIQUES

- Station météo de référence :
- Date et hauteur de la dernière pluie :
- Antécédents pluviométriques depuis le 1er septembre précédent :
- Caractéristiques à l'heure de l'observation :

- . Nébulosité :

- . Vent (direction et force) :

- . Sirocco :

- . Vent de sable :

- Caractéristiques présumées au moment de l'enregistrement Landsat pour les mêmes variables :

- . Température :

- . Pluie :

- . Humidité de l'air :

CARACTERES DU SUBSTRAT

- Etat moyen des réserves en eau du sol de la zone :
- Etat des formations éoliennes mobiles (recouvrement %) :

UTILISATION DU SOL

- Culture (%) :
- Arboriculture (%) :
- Jachère (%) :
- Parcours (%) :

VEGETATION

MILIEUX CULTIVES

- Céréaliculture
 - . nature :
 - . degré d'intensification :
 - . état phénologique :
 - . recouvrement total :
 - . recouvrement de la céréale (%) :
 - . recouvrement des mauvaises herbes (%) :
 - . recouvrement de la végétation dans les jachères mortes et pâturées (%) :

- Arboriculture (olivettes...)

- . nature :
- . état phénologique :
- . recouvrement de la végétation % :
- . sol labouré ou non :
- . sol emblavé ou non :

TERRAINS DE PARCOURS

- . recouvrement des espèces pérennes % :
- . phénologie des espèces pérennes % :
- . recouvrement des espèces annuelles % :
- . phénologie des espèces annuelles :

ANNEXE 2

EXPERIENCE ARZOTU

FORMULAIRE D'ENQUETE VERITE-TERRAIN PAR ECOTOPE

A. CARACTERES PERMANENTS

Sigle de l'unité :

Numéro de l'écotope :

Date de l'observation :

Observateur :

* Situation géographique

TUNISIE

Carte topographique (n° IGN) :

Lieu-dit :

- Coordonnées lat. :

long. :

- Altitude (en m) :

* Situation topographique

- type morphologique :

(ex : versant, glacis, garaas,
plaine, etc...)

- pente (en %) :

- exposition :

* Bioclimat type :

Pluviosité moyenne annuelle :

Station météo de référence :

Q2 Emberger :

* Caractères du substrat

Roche affleurante (nature) :

Croûte affleurante (nature) :

Aspects de la surface du sol

Voile éolien (en %) :

pellicule de battance (%) :

Micronebkha (en %) :

éléments grossiers (%) :

Nebkha (en %) :

pellicule saline (%) :

Dunes mobiles (en %) :

etc...

Type de sol

- Profondeur de l'enracinement :

- Texture des 40 premiers cm :

- Présence de croûte avant 40 cm :

Drainage

- interne :
- externe :

Erosion hydrique ou éolienne ; nulle ou faible, moyenne, forte

Végétation

- Type phytionomique : Association :
- Recouvrement des espèces pérennes (%) :
- Liste des principales espèces pérennes et leur phénologie :

Utilisation du sol parcours, céréaliculture, etc.

- Homogénéité interne de l'unité :
- Surfaces occupées par les divers éléments :
- Limites entre les éléments :
 - . diffuses
 - . nettes
 - . très nettes

Remarques

Photographies

- n° :
- Film :

B. CARACTERES TEMPORAIRES

Sigle unité :

Numéro écotope :

Date et heure locale d'observation :

Observateur :

CARACTERES CLIMATIQUES

Précipitations

Date et hauteur de la dernière pluie :

Antécédents pluviométriques depuis
le 1er septembre précédent :

Caractéristiques à l'heure de l'observation

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| - Nébulosité : | - pluie : |
| - Vent (direction et force) : | - autres variables (préciser) : |
| - Sirocco : | - température : |
| - Vent de sable : | - humidité % de l'air : |

CARACTERES DU SUBSTRAT

- Humidité de la surface : sec, mouillé, frais, inondé, etc.
- Etat des réserves en eau du sol :
- Profondeur de la nappe phréatique (si elle est proche de la surface) :
- Etat des formations éoliennes mobiles et recouvrement (%) :

CARACTERES DE LA VEGETATION

- Recouvrement total et spécifique de la végétation et de la litière
- Phénologie des espèces pérennes (liste)
- Phénologie des espèces annuelles (liste)

Etat des cultures

Jachère, labour récent (date), labour ancien (date), état phénologique des cultures. Observation sanitaire et mesures de recouvrement.

Homogénéité et caractères des limites

Ex : Unité aux 3/4 labourés dans la partie N.E.

Remarques (phénomènes exceptionnels)