

UTILISATION DES DONNÉES DE TÉLÉDÉTECTION ET D'UN SIG POUR LA CARTOGRAPHIE ET LE SUIVI D'ÉCOSYSTÈMES ARIDES.

Par Marie-José LEFEVRE-FONOLLOSA (*), Taoufik BENNOUNA (**), Michel DUBUCQ (**),
Michel KAEMMERER (**), Jean-Paul LACOMBE (**)

(*) Centre National d'Etudes Spatiales, 18 avenue E. Belin - TOULOUSE FRANCE.

(**) Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Toulouse, TOULOUSE FRANCE

RÉSUMÉ

La cartographie et le suivi des écosystèmes arides est un domaine d'application porteur pour les images de télédétection. En effet, ces systèmes représentent le tiers des surfaces émergées. Ce sont des milieux fragiles, soumis à des contraintes d'environnement fortes qui nécessitent une gestion rigoureuse et un suivi annuel.

Ces milieux sont par ailleurs, d'une importance économique fondamentale pour tous les pays du pourtour méditerranéen, le proche orient, les steppes continentales Eurasiatiques, une partie de l'Australie; ce sont des terres de parcours, l'élevage représentant pour ces régions une des principales, voire la seule, ressource économique.

Le choix du MAROC comme site test s'est imposé de lui-même car situé dans une zone aride très diversifiée; la végétation naturelle y occupe près de 80% du territoire et représente la ressource fourragère principale pour les 200 000 têtes de bétail. En effet, la connaissance, la cartographie et le suivi des terres de parcours constituent un besoin économique vital pour ce pays.

Notre objectif principal est la mise en place d'un plan de sondage adapté dont les unités statistiques sont les images satellitaires. L'établissement d'un réseau d'images SPOT sur les sites choisis doit permettre un suivi régulier de ces milieux.

INTRODUCTION

Dans les domaines de l'Agriculture et de l'Environnement, il existe un besoin très spécifique auquel se trouve confrontée la technique de télédétection, qui consiste à mesurer qualitativement et quantitativement des informations (objets ou phénomènes) ayant une définition spatiale très fine, mais qui intéressent des surfaces importantes. Cela peut aller de la taille d'une région, d'un pays à celle d'un continent, voire du globe. Les thèmes les plus souvent concernés sont: - mesure des productions agricoles (qui font l'objet d'un projet de la CEE); - étude de la désertification en Afrique, - appréciation de la déforestation etc....

Il est logique de vouloir utiliser, dans ces projets, les données des satellites à large champ (comme l'AVHRR de NOAA) qui présentent l'avantage d'observer de vastes territoires selon une grande répétitivité. Cependant leur résolution spatiale relativement faible est insuffisante pour approcher certains phénomènes (tels que l'apparition de croûtes de sels en zones arides, etc...). On utilise donc des satellites à champ plus réduit mais nécessitant de nombreuses images pour la couverture d'un territoire.

Une réponse méthodologique satisfaisante est apportée par le sondage statistique. Son principe est relativement bien connu; il consiste à échantillonner de manière significative un pourcentage de territoire, puis d'extrapoler les mesures réalisées dans ce sous-ensemble à la totalité de la surface qui fait l'objet de l'analyse. Une amélioration de la précision des résultats est apportée par la technique de stratification qui intègre des facteurs qui dépendent du contexte et de l'objectif visé par l'étude statistique.

Cependant chaque thématique a ses propres contraintes. Cela induit, d'une part, une approche méthodologique par télédétection spécifique et, d'autre part, une technique de stratification et d'échantillonnage adaptée.

Dans le cadre du Programme SPOTAVAL, le CNES a décidé de soutenir, le projet méthodologique GEOSTAT, qui porte sur la recherche de plans d'échantillonnage statistiques significatifs permettant, compte tenu de diverses contraintes thématiques et techniques, d'apprécier des objets et/ou phénomènes perceptibles et mesurables à grande échelle et intéressant de vastes surfaces.

Le projet GEOSTAT porte sur le thème général «du suivi des écosystèmes naturels en milieu aride/sémi-

aride» et plus particulièrement sur «la dégradation des terres de Parcours».

Le Maroc a été choisi comme site d'étude; Cependant, l'étude que nous avons menée aura un souci de généralisation de la méthode et se proposera d'évaluer, à terme son degré d'adaptation à d'autres sites que celui qui est choisi, voire d'autres thématiques.

Le Maroc, se situe dans la sphère des pays méditerranéens. Certains sont soumis aux effets de la sèche-

resse et de la désertification, créant ainsi, de vastes territoires aux écosystèmes fragiles.

Le Maroc occupe 760 000 km². La surface agricole utile est de 100 000 km². La végétation naturelle occupe 80% du territoire non saharien, délimitant une zone agro-pastorale fragile (Tableau 1); les problèmes d'environnement y sont sévères, car elle se situe principalement sur la zone «aride» (pluviométrie < 450 mm d'eau par an), très sensible à la dégradation et à la désertification (Fig.1). C'est un milieu encore peu étudié

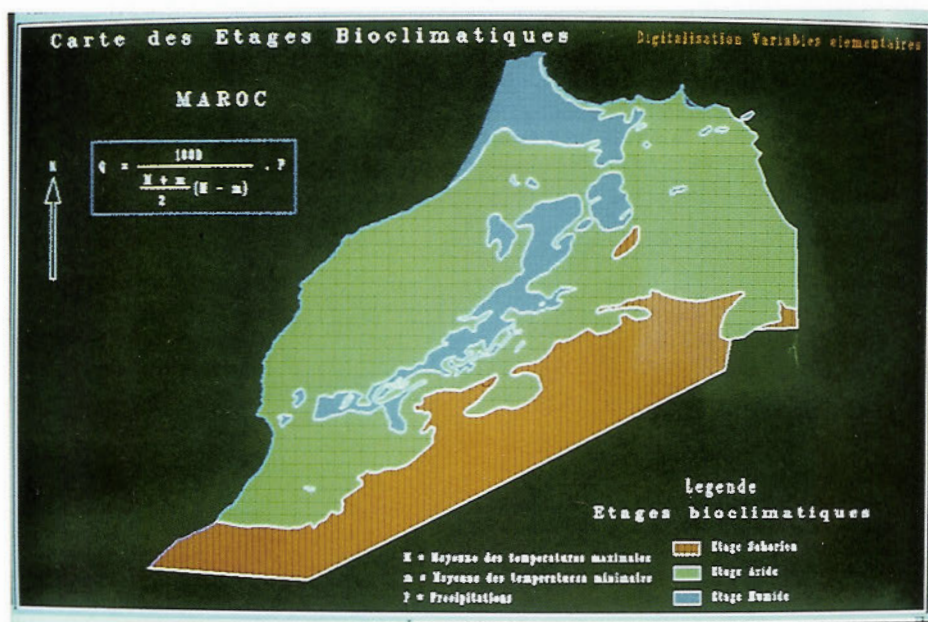


Figure 1: Localisation de la Zone d'étude vis à vis des étages bioclimatiques d'après les Indices d'Emberger.

MAROC	Surfaces/Km2	Pourcentages
Superficie	450 000	100 %
S.A.U.	100 000	20 %
Ecosystèmes Naturels	350 000	80 %
Parcours steppes	300 000	66 %
Parcours zones arides	165 000	36 %

Tableau 1: Répartition des surfaces occupées par les terres de parcours dans le Maroc (Hors territoire saharien).

◆ SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

La dégradation de l'environnement et ses nombreuses implications sociales constituent un des axes prioritaires de nombreux projets en zone sub-saharienne (UNESCO, 1979). Pour de nombreux auteurs (Sherbrooke, 1973; Paylore 1976; Dregne, 1987; Glantz, 1980, Walker et al, 1981), les processus de dégradation de l'environnement résultent soit d'activités humaines,

soit de variations climatiques ou bien encore d'une combinaison des deux. Le postulat de base étant que ces causes tant naturelles qu'humaines sont à l'origine des processus conduisant, à terme, à la désertification.

Le concept de risque naturel recouvre deux notions distinctes qui sont d'une part, la vulnérabilité et d'autre part, l'aléa, l'occurrence. Les critères généralement pris en compte dans les études sur les risques naturels recouvrent les domaines physiques, agricoles et socio-économiques.

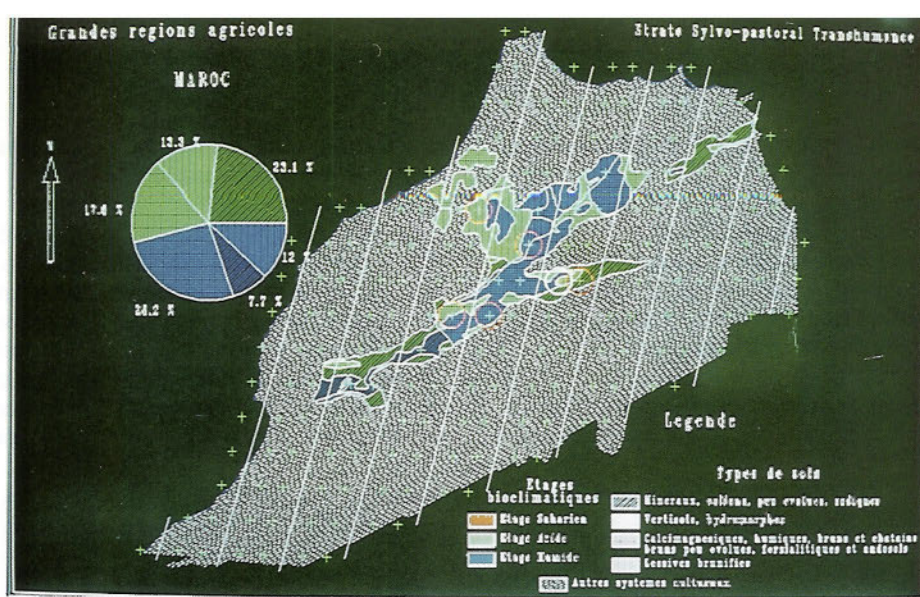


Figure 2: Carte de la strate de transhumance et position du site-test de Midelt.

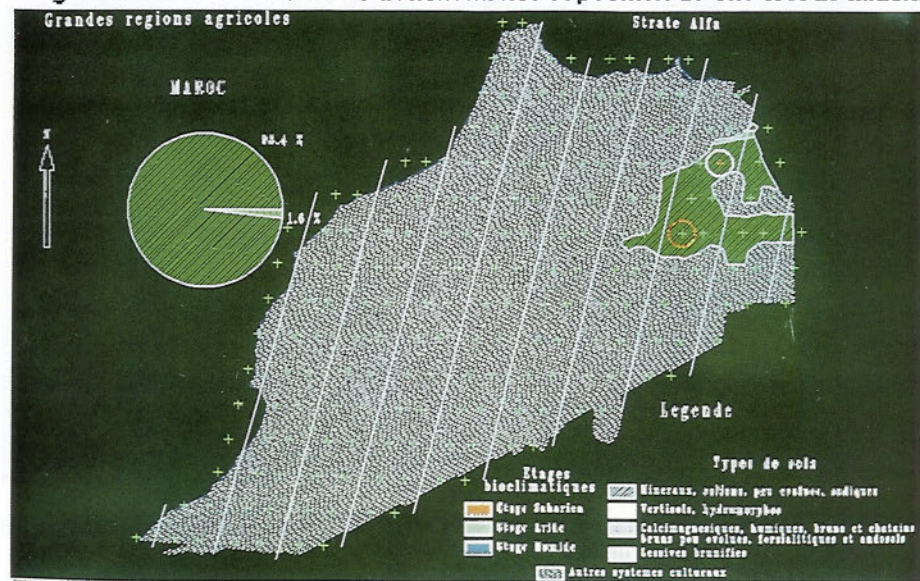


Figure 3: Carte de la strate à Alfa et position du site-test de Ain Beni Mathar.

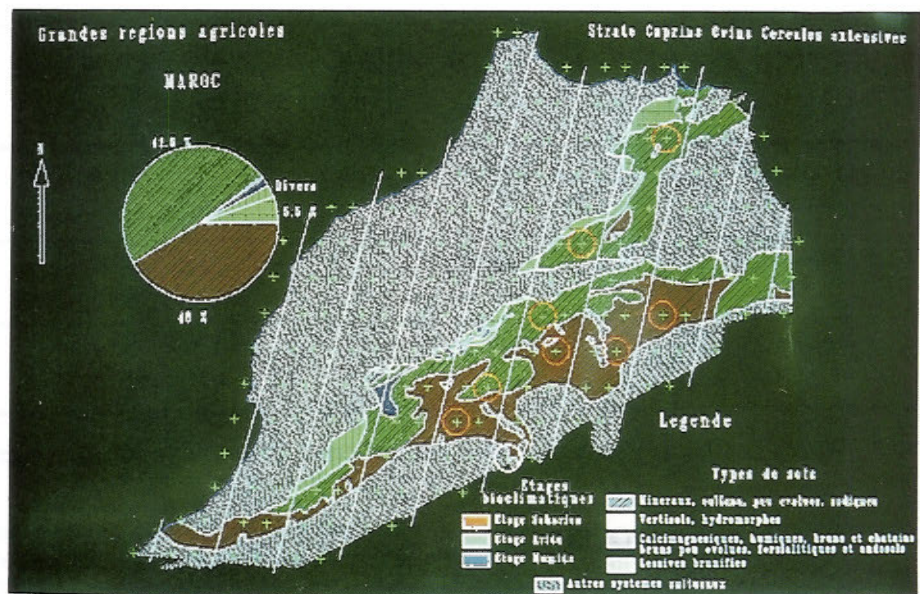


Figure 4: Carte de la strate d'élevage à caprins dominants et céréales extensives
Strate d'élevage à caprins dominants et céréales extensives

Le Maroc, si l'on s'en tient au découpage des biogéographes (en particulier Le Houérou, 1990), recoupe les grandes divisions climatiques septentrionale, centrale et méridionale. Il est, par conséquent, soumis à un régime de précipitations extrêmement variable ce qui entraîne une typologie de la végétation très diversifiée.

Fay (1978), à partir de données du Centre d'Investissement et de la Direction de la Statistique, dresse un tableau récapitulatif des différents types d'occupation et de statut des terres au Maroc. L'auteur précise que les chiffres figurant dans ce tableau sont de valeur inégale. Il conclut cependant: «en première approximation, on peut estimer que la dégradation de la végétation et celle des sols sont actives ou susceptibles de le devenir dans les 8/10 du pays».

Le risque de sécheresse est un des principaux critères de fragilisation des milieux naturels. En milieu sub-aride, le cycle végétatif est largement associé au régime hydrique. Les expériences menées par la F.A.O. (1987), en Afrique, ont montré que la période de croissance des végétaux mésophytes débute au moment où la variable climatique d'évapotranspiration dépasse 0.5 E.T.P., tandis qu'elle se termine quand les conditions redescendent de nouveau en-dessous de cette valeur. La sécheresse est, par ailleurs, à la source de deux phénomènes nouveaux (Grégoire, 1990), qui sont l'exode rural vers les villes et la migration massive de nombreux pasteurs et paysans vers les zones plus arrosées. Ces deux événements ont des conséquences graves sur l'écologie marocaine, celle des secteurs périurbains, d'une part, et celle des zones sub-humides, d'autre part, fragilisées par une exploitation de ses ressources (extension des surfaces cultivées, ébranchage des bois, surpâturage..).

Merzouk et al (1990) ont montré également l'importance de l'approche pédo-géomorphologique, ainsi que les possibilités offertes par la télédétection spatiale, dans le cadre d'un classement des terres en vue de la conservation des sols. Pour certains auteurs (Gombeer, 1980) il est possible de reconnaître et de délimiter les différents types de sols du Maroc (classification F.A.O.), à partir du canal «visible» (0.4-1.1 microns) du satellite à faible résolution spatiale Météosat. Dans le nord du Sahara marocain, Puach et Merdas (1990) ont montré que les indices établis à partir des données d'albédo et de température de surface réalisés à partir de données AVHRR de NOAA, présentent une bonne dynamique pour différencier les paysages arides. Cependant, une abondante littérature (Thomson et al., 1985; Pilon et al., 1987; Prince et al. 1990, Dymond et al., 1992; Zourhi, 1992), converge vers une utilisation des données à haute résolution spatiale (Landsat MSS, TM, SPOT), pour caractériser les pâturages dans diverses régions du monde.

◆ DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

Compte tenu de la nature pluridisciplinaire de ce projet, nous avons découpé la démarche en trois grands volets (Tableau 2):

- l'étude thématique
- la mise en oeuvre de la technologie du SIG;
- l'étude statistique.

■ L'étude thématique a été réalisée à deux niveaux:

- une étude régionale, à petite échelle, qui a pour premier objectif la réalisation d'un zonage. Ce zonage permet de réaliser la partition d'une partie du territoire marocain en strates homogènes pour le thème considéré: «la fragilité des terres de parcours». Cette stratification spatiale sera utilisée par les statisticiens pour améliorer la qualité du sondage et augmenter la précision du modèle d'extrapolation.
- une étude fine sur sites, à grande échelle, qui doit nous permettre, dans un premier temps, d'évaluer les possibilités offertes par les images SPOT pour reconnaître des terres de pâturage; puis, dans un deuxième temps, de poser les bases d'une méthode de cartographie et de suivi de ce thème. Du nord au sud nous avons traité respectivement: le site de Aïn Béni Mathar (Oujda), le site de Midelt (Khénitra) et le site de Ktaoua-Tagounit (Ouarzazate).

■ La mise en oeuvre de la technologie SIG a pour principal objectif la réalisation du zonage. A terme, l'intégration de cette technologie doit permettre la prise en compte:

- des contraintes liées à l'acquisition des images et à leur qualité géométrique;
- des besoins de mise à jour des données aussi bien cartographiques que de télédétection.

■ L'étude statistique doit définir un plan de sondage et un modèle d'extrapolation adaptés, d'une part, à la nature du thème et aux objectifs finaux, et d'autre part, aux contraintes techniques et économiques d'acquisition des données de télédétection.

Le projet Géostat-Maroc est en cours de réalisation. Nous ne présenterons ici que les premiers résultats, à savoir:

L'utilisation du «SIG» pour la caractérisation des milieux

- sélection et digitalisation des principales variables intervenant sur la typologie des zones naturelles arides du Maroc;
- réalisation d'un zonage spatial découpant le territoire marocain en strates homogènes;
- élaboration de cartes «d'indices de fragilité du milieu naturel».

Une première évaluation des données SPOT pour la qualification et la cartographie des écosystèmes arides. Etude du site de KTAOUA-TAGOUNIT.

Compte tenu de la haute variabilité spatiale et temporelle, dans un cycle annuel, de la phénologie des végétaux concernés (alfa et armoise notamment), le premier travail consiste à qualifier les écosystèmes à partir de variables étalonnées et fiables. La démarche proposée repose donc sur une description préliminaire des milieux à partir d'observations et de mesures «in situ»; puis sur la mise en place d'une nomenclature adaptée à l'observation satellitaire à haute résolution; enfin sur la modélisation des «observables» pour un suivi multitemporel à partir des données spatiales.

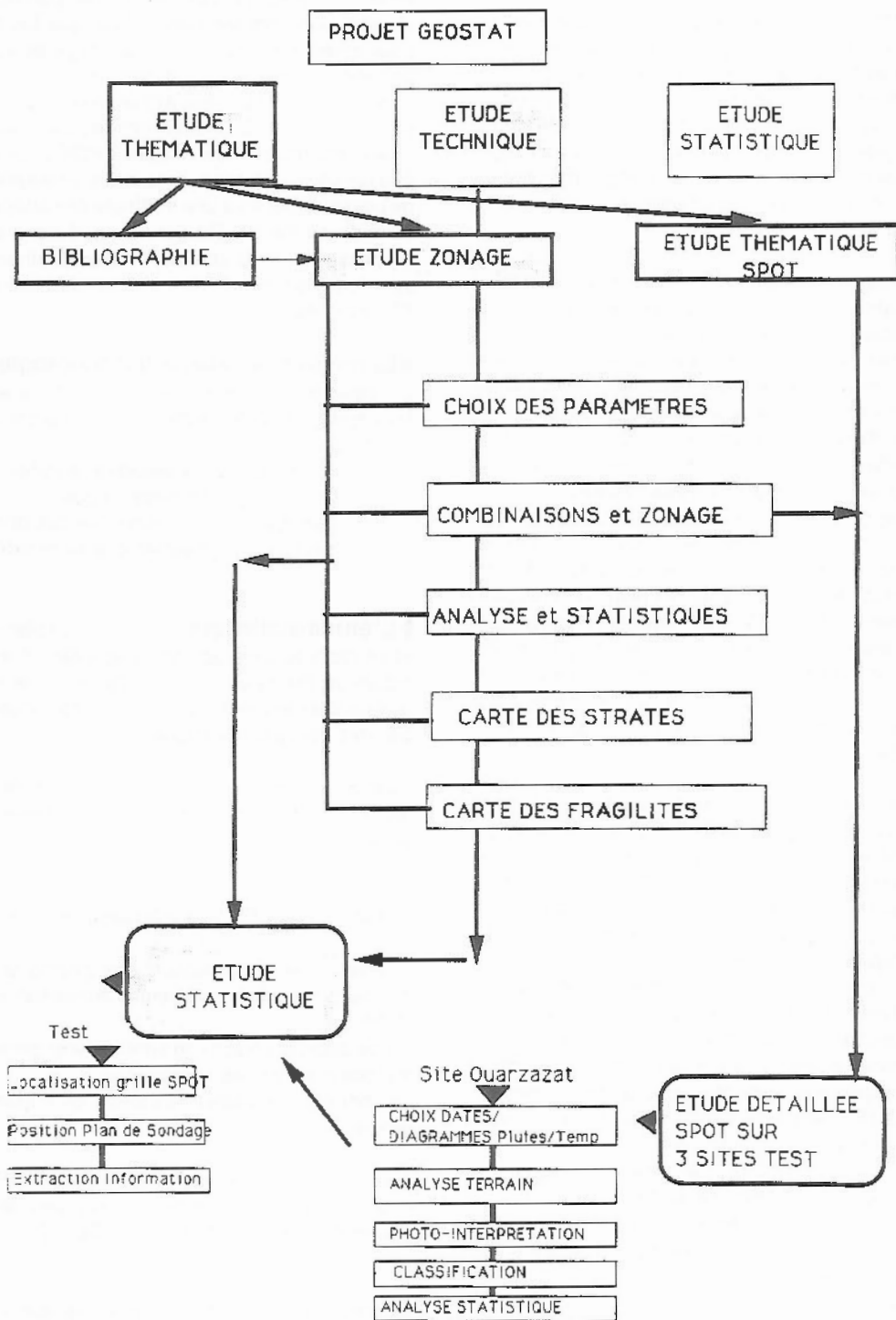


Tableau 2: Schéma méthodologique du projet GEOSTAT

◆ UTILISATION DU SIG POUR LA STRATIFICATION DU TERRITOIRE

En statistique, une strate est définie comme un espace déterminé par son homogénéité (et/ou son intérêt), à l'intérieur de laquelle on réalisera un tirage aléatoire, en général systématique. Traditionnellement, les strates sont définies par un niveau géographique (ex: région, département...), puis par une catégorie (ex: orientation économique, type d'élevage...) et enfin par une classe de taille (ex: superficie, revenus...).

Pour répondre aux contraintes d'une approche régionale, le zonage doit être suffisamment global pour être extrapolable à d'autres pays. Une première possibilité consiste à utiliser des méthodes statistiques d'analyse multidimensionnelle. Elles permettent d'élaborer un zonage en régions de typologie homogènes. Cette approche s'est révélée trop lourde à mettre en oeuvre dans le cadre d'un projet d'application, et conduit à un morcellement non reproductible de l'espace. L'approche choisie sera donc déterministe; elle s'appuie sur l'étude bibliographique et les connaissances acquises par les experts sur le milieu étudié. Nous présenterons successivement le choix des paramètres, la stratégie de croisement adoptée et, enfin, l'analyse des résultats.

■ Choix des paramètres

Notre choix s'est porté sur deux familles de critères (Hellden, 1982).

Ce sont d'une part les *critères* que l'on peut qualifier d'*universels*; ils doivent pouvoir être accessibles en toute région du monde où s'appliquera ce type d'étude. Les plus appropriés, pour décrire les parcours et la notion de risque qui s'y rattache, peuvent être regroupés de la manière suivante:

- paramètres climatiques (précipitations et températures)
- paramètres géomorphologiques (altitude et géologie/pédologie)
- paramètres biologiques (végétation naturelle et type d'élevage)
- paramètres anthropiques (population)

Les *critères spécifiques* liés au type d'organisation du pays, ou de la région, doivent nécessairement être intégrés à l'analyse; ils dépendent, bien sur, des objectifs fixés (gestion administrative, étude de l'environnement...). Ici, à l'échelle du Maroc, ce sont des paramètres administratifs comme le découpage provincial ou le statut des terres.

Tous ces paramètres existent, de manière associée ou combinée, sous forme cartographique. Après une première analyse de la documentation disponible, notre choix s'est porté sur les documents listés ci-dessous, accessibles sous un format cartographique au 1/3 500 000 ème; ils ont été digitalisés et stockés dans la base de données I.N.F.O. du système ARC-INFO.

Informations à objectifs thématiques:

Carte Bioclimatique d'EMBERGER (Températures et Précipitations)

Carte des sols de la F.A.O. (Morpho-pédologie)
Carte des régions agricoles (types de végétation et d'élevage)

Carte des Densités de Population
Carte des principaux Bassins Versants

Informations de repérage:

Ligne de côte
Frontières
Réseau hydrographique
Villes principales
Limites des Provinces
Altitudes

■ Stratégies de croisement

Toutes les classes ont été numérisées dans leur totalité. Afin de répondre au besoin d'un zonage synthétique, il a été nécessaire de procéder à une *réduction des informations*. Un modèle de regroupement de classes a été appliqué pour chaque couverture. Ce travail a été réalisé selon le double principe de préservation des principaux facteurs liés aux parcours et d'association des paramètres concernant le milieu agricole et naturel.

Nous avons ensuite réalisé une *phase d'analyse combinatoire*. Elle est utile à la préparation du croisement des informations pour l'élaboration du zonage. Elle permet de clarifier les questions concernant la pertinence thématique du croisement, la redondance des informations obtenues, l'émission géographique des nouvelles catégories...

La *stratégie de croisement* retenue est une procédure en deux étapes:

1ère étape. Les données climatiques sont croisées avec les données pédologiques; on obtient ainsi un gradient de contraintes édapho-climatiques.

Les trois principaux étages climatiques sont renseignés par type de sols. On voit se dégager un classement selon un critère de «fragilité potentielle des sols».

2ème étape. On applique à cette information des masques par grandes régions agricoles qui nous renseignent également sur le type de parcours et les modes d'élevage.

Les régions d'agriculture intensive sont traitées séparément. On ne garde que les zones concernées par les parcours et le risque de surpâturage. Six principaux modes d'élevage sont ainsi discriminés. Parmi eux, les régions désertiques, siège du nomadisme à Caprins camélidés, constituent un cas particulier et doivent faire l'objet d'une analyse spécifique.

■ Analyse des résultats

Nous avons donc retenu cinq strates principales:

Strate des forêts et matorrals (mode agro-sylvo-pastoral)

Sa surface est de 44 788 km². Elle se décompose en deux grandes zones: l'une au nord, dans le RIF, l'autre au sud-ouest, dans la plaine occidentale du Haut ATLAS (HAHA) et dans celle de l'Anti-ATLAS (TAFRAOUTE)

Etage saharien Seuls les **sols minéraux, éoliens**,... sont présents. Ils ne représentent que 5% de la superficie de la strate, en une seule zone géographique située à l'embouchure du DRAA.

Etage aride Les **sols lessivés brunifiés** sont les plus importants puisqu'ils représentent plus de 30% de la strate. Deux zones la composent dont une surtout, la plus grande, est homogène. Les **sols calcimagnésiques, humiques**,... représentent 21% de la région. Deux zones l'occupent, dont une, celle de HAHÀ au sud peut être échantillonnée en raison de sa taille et de sa forme. Les **sols minéraux, éoliens**,... viennent ensuite avec 14% de l'espace. Ils sont morcelés et leur forme étroite et allongée rend leur exploitation statistique future difficile.

Etage Humide. Les **sols lessivés brunifiés** situés dans le RIF, occupent la sous-strate en une zone homogène compacte avec 20% de la strate. Par contre, les **sols calcimagnésiques, humiques** sont morcelés en 4 zones de forme allongée.

Strate de transhumance (mode sylvo-pastoral)

Elle se répartit au centre du pays et occupe 55 126 Km². C'est la strate la plus hétérogène avec de nombreuses parcelles de forme variée. Les formes allongées sont fréquentes sur la chaîne du Haut ATLAS en particulier. Le mode sylvo-pastoral représente 15% des surfaces concernant les parcours (Figure 2).

Etage Aride Les **sols lessivés brunifiés**, avec 13% de la superficie sont morcelés en 4 zones dont une seule, dans la région de BOU REGREG est homogène. Les **sols calcimagnésiques, humiques**,... occupent près de 18% de l'espace, morcelés en 11 zones de petite taille. Les **sols minéraux, éoliens**,... sont présents avec plus de 23% de la strate, mais sous forme de zones nombreuses et étirées.

Etage Humide Les **sols lessivés brunifiés**, avec 12% de la superficie sont morcelés en 4 petites zones regroupées dans le Moyen Atlas

Les **sols calcimagnésiques, humiques**,... occupent plus de 26% des superficies. Deux zones dans le Haut et le Moyen Atlas sont compactes et vastes.

Les **sols minéraux, éoliens**,... couvrent 8% de la strate avec 3 petites zones allongées situées dans le Haut Atlas.

Strate à Alfa

Avec sa superficie de 26 147 km², elle ne représente que 7% des surfaces concernées par les parcours et se situe exclusivement dans l'étage aride. Plus de 98% sont constitués par les **sols minéraux, éoliens, etc.**... (sols A: 25 729 km²). Une faible zone de sols lessivés brunifiés, non significative (sols D: 420 km²), se situe dans la partie nord (plateau du REKKAM). Cette strate, la plus petite et la plus homogène est également d'un intérêt majeur en raison de sa production élevée en fourrage (Figure 3).

Strate d'élevage à ovins dominants et céréales extensives

C'est également une petite zone avec 11% des terres totales, soit 39.721 km², assez compacte, située dans la grande plaine allant de MARRAKECH à ESSAOUIRA, à SAFI et KHOURIBGA. Comme pour la strate précédente, seul l'étage aride est représenté.

Etage Aride Les **sols calcimagnésiques, humiques** occupent près de 35% de la strate. Ils sont morcelés en 4 zones dont 2 de grande taille situées, l'une, sur la façade atlantique, plaine de CHIADMA, et l'autre, plus au nord, dans la région de KHOURIBGA.

Les **sols minéraux, éoliens**,... sont plus importants avec 60% de la superficie. Une vaste zone, très étendue, dans la plaine de MARRAKECH présente toute les garanties d'un bon échantillonnage. Celle d'AGADIR, plus petite peut également être utilisée.

Strate d'élevage à caprins dominants et céréales extensives

C'est la strate la plus étendue (128 056 km²) soit 36% de la superficie totale. Elle est dominée par deux étages bioclimatiques: aride et saharien. L'étage humide n'intervient que pour 2.4% des surfaces (Figure 4).

Etage saharien Nous sommes là en présence de **sols minéraux, éoliens** qui couvrent la strate sur 42% de sa superficie. Deux immenses zones, au sud de l'axe de l'Anti Atlas, du Haut Atlas et du EKKAM permettent de positionner aisément des échantillons, en évitant toutefois les oasis de vallée qui sont nombreuses et constituent un groupe particulier.

Etage Aride. Les **sols lessivés brunifiés** avec seulement 2,5% du territoire présentent une seule zone homogène située dans l'Anti Atlas..
Les sols calcimagnésiques humiques... avec 5.5% des terres bordent la façade occidentale du Haut et Moyen Atlas. Seule une zone est assez compacte pour être échantillonnée.
Les **sols minéraux, éoliens,...** occupent 48% de la strate seulement redécoupée en 2 zones de vaste taille..

Etage humide .Les **sols minéraux, éoliens,...** représentent 2% de la strate. Une zone, au sud de MARRAKECH peut être sondée

Cette analyse montre qu'il n'y a pas, dans l'ensemble, une grande fragmentation des strates, ce qui implique une assez bonne relation entre les types de sols et la couverture végétale, notamment pour les zones de parcours.

Si, l'on croise ce zonage à la carte de densité de population, on remarque que la population se concentre dans les zones à sols évolués et fertiles (GHARB, SAIS, bande côtière); mais la ressource en eau reste le facteur prépondérant, d'une part, dans les régions où les sols ne sont que peu ou pas évolués (régions de BENI MELLAL, MARRAKECH AGADIR et TIZNIT notamment), et d'autre part dans les secteurs des oasis d'ERFOUD, RISSANI ET ZAGORA.

Au total, il est donc possible d'obtenir, 27 sous-strates dont 20 présentent une superficie de plus de 2000 km² compatible avec un échantillonnage par SPOT. Les plus significatives de par leur homogénéité et leur superficie sont au nombre de 14; c'est sur elles que se concentrera l'étude statistique (Tableau 3). En contrepartie, nous l'avons souligné à plusieurs reprises, 6 sous-strates qui représentent une surface non négligeable sont de taille plutôt allongée, orientées comme l'ATLAS dans le sens NE-SW. Elles ne doivent pas être ignorées.

Nous avons procédé à une pondération des trois principaux paramètres utilisés, selon un barème noté de zéro à 4, exprimant la sensibilité de la végétation en fonction du mode d'exploitation, et des contraintes édapho-climatiques (Tableau 4). La carte qui en résulte peut être interprétée comme une **carte de fragilité potentielle au surpâturage** (Figure 5).

On constate que la fragilité des régions agro-pastorales est extrêmement importante. Les zones exposées couvrent plus de 80% des terres de parcours. Notamment dans la strate d'élevage à caprins dominants et céréales extensives, qui est la plus menacée. Il s'agit d'une région peuplée de sédentaires possédant un cheptel important et où les bois et les pâturages sont rares. Les sols sont pauvres (sols A et C) et les bioclimats considérés sont ceux de l'étage aride à saharien. Cette région «tampon» située au nord du Sahara est particulièrement menacée par la désertification. Il faudra en tenir compte, au niveau de l'échantillonnage en multipliant les sites.

REGIONS	ETAGES	SOLS	FREQUENCE	SURFACES (km ²)	
ASP	SAHARIEN	A	1	2 301	
		ARIDE	D	2	13 454
			C	3	9 438
	A		6	6 361	
	HUMIDE	D	1	8 743	
		C	4	4 284	
		A	1	159	
	S/P	ARIDE	A	7	12 737
			D	4	7 320
C			11	9 690	
HUMIDE		C	5	14 472	
		A	3	4 270	
		D	4	6 637	
Alfa	ARIDE	A	2	25 729	
		D	1	420	
OvCa	ARIDE	C	4	13 795	
		D	2	1 862	
		B	1	307	
		A	2	23 906	
Camé	SAHARIEN	A	3	56 549	
	ARIDE	A	2	5 683	
CaOv	SAHARIEN	A	4	53 291	
	ARIDE	A	2	61 516	
		C	6	7 028	
		D	1	3 207	
	HUMIDE	A	6	2 395	
		C	3	619	

la fréquence représente le nombre de parcelles dénombrées

Tableau 3: Analyse spatiale et statistique des strates

REGIONS/MODES PASTORAUX	Fragilité	ETAGES BIOCLIMATIQUES	SOLS	Occ	FRAGILITE des SOLS	FRAGILITE TOTALE
Forêts et Hautovale	*	ARIDE	D	3	***	***
			A	3	*	-
			C	5	**	**
	0	HUMIDE	A	1	0	0
			C	2	*	*
			D	4	**	**
***	SAHARIEN	A	6	**	***	
Transhumance forêts de chênes/pêchers	**	ARIDE	A	3	**	**
	C		5	**	**	
	D		7	***	***	
	*	HUMIDE	C	2	*	*
			A	4	**	**
		A	1	*	*	
zone à alfa moutons	**	ARIDE	A	3	*	**
	D		7	***	***	
Ovins-caprins Céréal. extens.	***	ARIDE	A	3	*	***
			B	8	*	***
			C	7	***	***
			D	5	**	***
Caprins-Ovins Céréal. extens.	****	SAHARIEN	A	6	**	****
	****	ARIDE	A	3	*	****
			C	5	**	****
			D	7	***	****
	**	HUMIDE	A	1	0	**
			C	2	*	**
Nomadisme Caprins-camél.	**	SAHARIEN	A	6	**	**
	*	ARIDE	A	3	*	*

Tableau 4: Pondération des contraintes climatiques, pédologiques en fonction des modes pastoraux.

◆ PRÉALABLE A UNE ETUDE DES TERRES DE PARCOURS PAR SPOT

Le territoire de KTAOUA-TAGOUNIT que nous présentons ici est situé dans la zone des parcours des régions sahariennes et pré sahariennes qui représentent à elles seules plus de 55% des superficies occupées par ce thème au MAROC.

■ Description du site de KTAOUA-TAGOUNIT

La zone test de KTAOUA-TAGOUNIT se situe en amont de la vallée du DRAA, dans la région de KTAOUA et M'HAMID, au sud de ZAGORA.

Le climat est de type subsaharien avec 60 mm d'eau tombée pour la période Septembre 1990 à Septembre 1991. Le régime pluviométrique est caractérisé par une dominance de précipitations en automne et au printemps. Le maximum de déficit se trouve en été, les hivers sont tempérés.

Le site comprends trois grandes familles de paysages:
Les plateaux (formés de grès indurés et quartzites du primaire;)

Les plaines (formées de dépôts quaternaires structurés en regs, cônes de déjection, ou terrasses caillouteuses et limoneuses);

Les dunes (matériel autochtone récent, d'origine fluviale et éolienne).

En dehors des palmeraies qui bordent le fleuve, la végétation naturelle est localisée le long de petites ravines et dans diverses stations où les conditions hydriques sont favorables.

L'accroissement de la population dans les conditions climatiques très arides, a été accompagnée par une surexploitation des maigres ressources végétales, défrichement pour la céréaliculture et le bois de feu, et par du surpâturage.

■ Le choix des images SPOT

Afin de nous placer dans une situation d'évaluation de SPOT la plus significative possible, nous avons choisi une image de période estivale dans les conditions les plus défavorables de repérage de la végétation. Notre choix s'est porté sur: SPOT 2/2B/ XS ; K-J: 36-290 du 19 juillet 91 (Schéma 1).

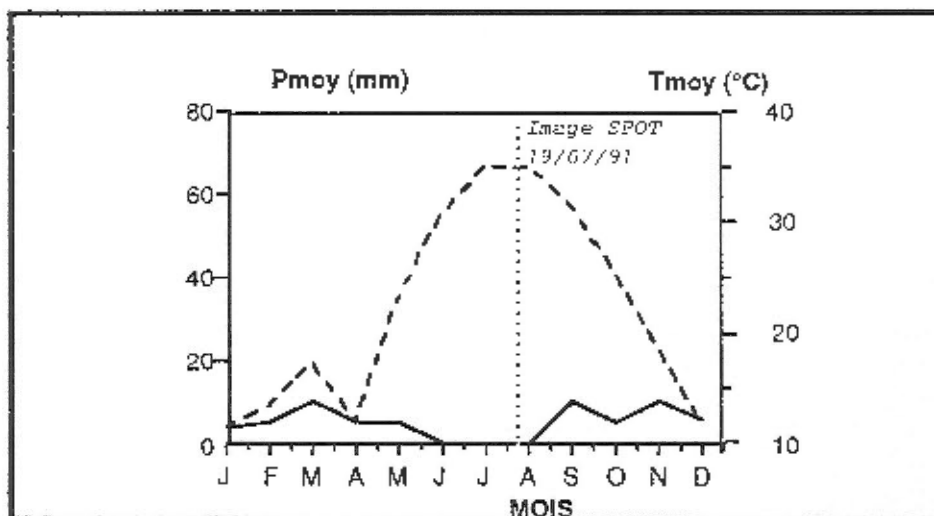


Schéma 1: Position de la date d'acquisition de l'image SPOT vis à vis du Diagramme Ombrothermique de l'année 1991 (Station de Tagounit)

1 De la réalité terrain au traitement des images SPOT (figure 6)

Cette démarche s'appuie sur une analyse factorielle des correspondances (A.F.C.). Elle nous a permis d'analyser, de manière rationnelle et objective, les liens existant entre, d'une part, les états de surface observés sur le terrain et les espèces végétales dominantes, et d'autre part, les faciès qui sont délimités par «photo-interprétation» des images SPOT.

Les principaux résultats font apparaître les relations suivantes:

Mesures de terrain: L'A.F.C. montre qu'il existe une association forte entre les espèces pâturées et certains types d'états de surface.

Ces états de surface se répartissent en trois grands groupes qui sont décrits comme: caillouteux, sableux et limono-sableux, très fortement dépendants à la fois de la rugosité du sol et de son humidité.

ETATS DE SURFACE	Caillouteux	Sableux	Limono-sableux
HUMIDITE	*	**	***
ESP. PALATABLES	11	9	6
STATIONS	CH1, CH2, CH3	EPA, RAV	FEIJ, MEZ MAI

(*faible, **moyenne, ***forte)

La Photo-interprétation de l'image SPOT. Une carte détaillée des 12 différents faciès observables par photo-interprétation a été réalisée sur une sous-zone couvrant les principaux secteurs de parcours. Ces faciès sont étalonnés, après visite sur le terrain, en fonction des critères suivants: types de substrat et de végétation (liste floristique) et états de surface.

Six faciès présentent un intérêt pour les parcours:

- 3 faciès à substrat limono-sableux qui retiennent l'humidité
(La plaine de la FEJA (FEI) les lits des oueds MAIDRINE (MAI) et MEZOUARIA (MEZ))
- 2 faciès à dominante sableuse
(dépressions de l'oued BEN HAKI (EPA) et Ravines du REG(RAV))

- 1 faciès représenté par les chenaux caillouteux ou se développent les espèces palatables (CH1,CH2,CH3)

Leur reconnaissance sur l'image se fait, d'une part, à partir de caractères d'ordre géomorphologique (talwegs, dépressions ..), d'autre part, à partir du «marquage» par la végétation (texture hétérogène et taches de couleur rose).

Bien que reconnaissables en tant que telles sur l'image, les dunes semi-fixées répondent également à ces critères. Il faut cependant les exclure des parcours car les espèces qui y sont représentées ne sont pas pâturées; seule la connaissance du thème, voire du terrain permet cette discrimination.

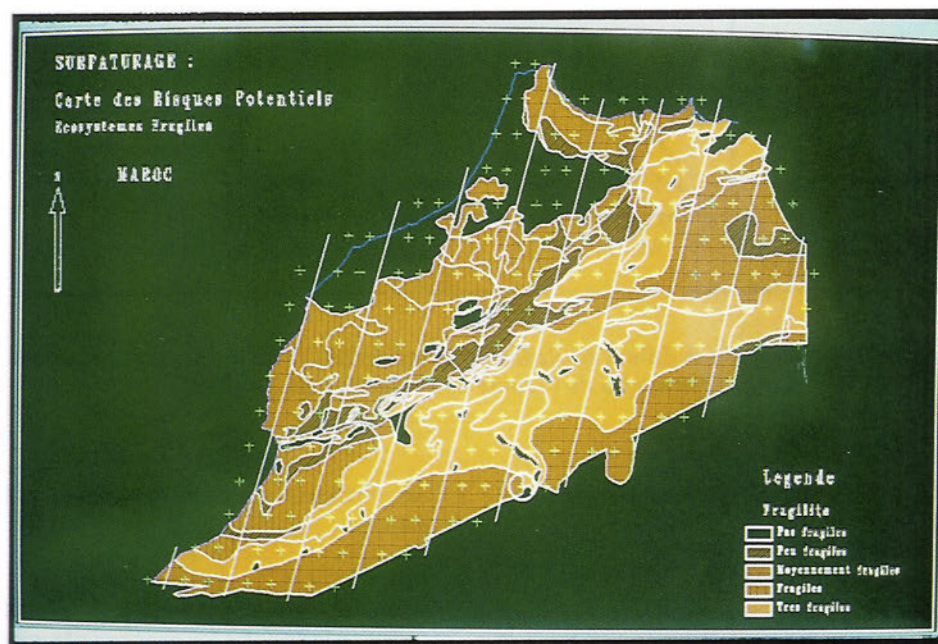


Figure 5 : Carte des fragilités potentielles au surpâturage et position du site test de Ktaoua-Tagonit

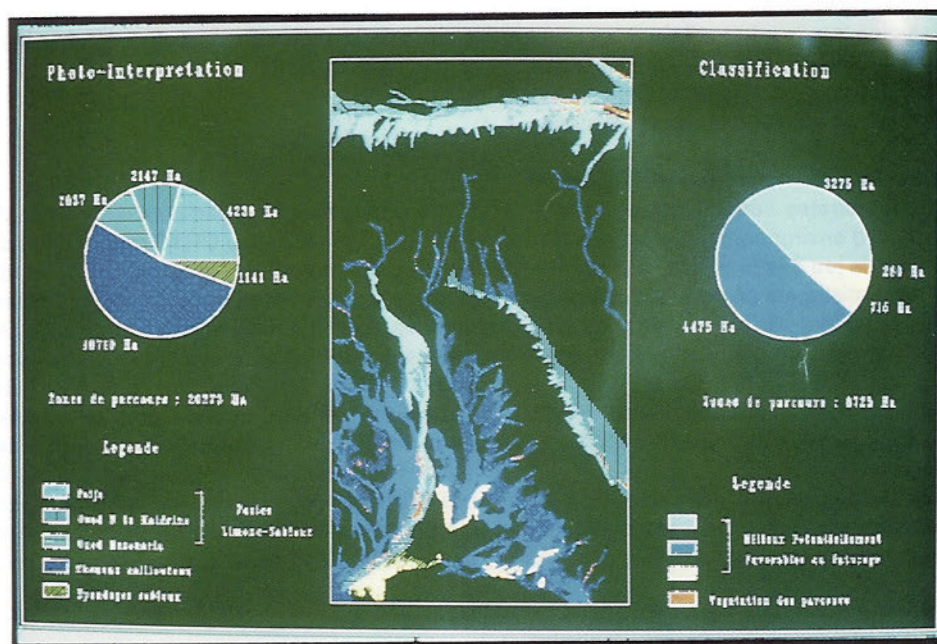


Figure 5: Cartographie des parcours du site-est de Ktaoua-Tagonit à partir de l'image SPOT XS du 19 Juillet 1991

Radiométrie et Classification: Une classification supervisée, précédée d'une phase «d'apprentissage» sur le terrain, avait pour objectif l'identification de l'information «végétation naturelle».

Cette étude mono-temporelle a permis de discriminer en milieu naturel (hors palmeraies) 10 classes et de mettre en évidence les terres de parcours notamment par les faciès radiométriques «FEJA» et «chenaux». Ces faciès se caractérisent par une texture et une radiométrie mélangeant les réponses de la végétation avec celles des états de surface du sol (couleur, rugosité, humidité...). L'existence, conjointement à ces faciès «mixtes», d'une classe radiométrique typique de végétation naturelle (bois d'Acacias), témoigne de la possibilité de reconnaître, voire de caractériser, en affinant la méthode, des associations d'espèces végétales dominantes et, par là, d'approcher la notion de typologie des parcours.

◆ DISCUSSION

Nous rappelons que, ce site est tout à fait représentatif des conditions d'environnement difficiles qui régissent dans la zone présaharienne. Le choix d'une image de plein été, nous a placé devant une situation que l'on peut qualifier d'extrême sur le plan bioclimatique. Par conséquent, ce travail est déterminant pour l'objectif initial de faisabilité: il démontre sans ambiguïté que dans des conditions extrêmes, le thème Parcours

peut être identifié sur les images SPOT.

Sur un plan thématique, il ne permet pas d'acquérir une connaissance suffisamment exhaustive sur les composantes qui caractérisent les terres de parcours en zone aride et semi-aride. Les zones-test choisies par l'équipe marocaine sont plus favorables (zones à Alfa et à Armoise). Les dates encadrent bien le minimum et le maximum de biomasse végétale. Les périodes humides nous fournissent une information plus complète sur la dynamique des parcours. Cette phase, réalisée avec la collaboration de spécialistes pastoralistes du Maroc doit nous permettre de mieux connaître les contraintes qui affectent ces milieux, les types de parcours existants, leur adaptation au sol et au climat, leur cycle phénologique etc.....

CONCLUSIONS

Une étape importante du projet GEOSTAT-MAROC vient d'être franchie:

- Réalisation du zonage thématique;
- Création du SIG «GEOSTAT-MAROC»
- Étude de faisabilité thématique avec SPOT sur la zone test de TAGONIT;

Les premiers résultats obtenus sont les suivants:

- 1- A partir de cartes existantes nous avons élaboré une

méthodologie de zonage répondant au besoin de l'étude des parcours en milieu aride.

La combinaison pertinente des données nous a permis d'analyser le territoire marocain en fonction des 6 principaux modes pastoraux retenus. Une hiérarchisation des contraintes a été établie; elle nous offre la possibilité de visualiser les secteurs les plus fragiles du territoire.

2- Le SIG <GEOSTAT-MAROC> a été mis en place pour répondre aux besoins de la stratification et du positionnement du plan de sondage de la phase statistique.

La manipulation du SIG nous a permis de mettre en évidence des strates homogènes en regard des paramètres d'environnement sélectionnés. D'autre part, par le jeu des requêtes, des combinaisons et des statistiques on possède une connaissance approfondie du milieu, ainsi qu'une certaine maîtrise des contraintes d'environnement.

Enfin, il apparaît que le SIG peut être utilisé comme une base documentaire d'aide à la photo-interprétation des images SPOT.

3- Le thème des terres de parcours est perceptible et mesurable sur les images SPOT, et ceci dans les conditions saisonnières les plus défavorables;

Par ailleurs, nous avons mis en évidence qu'un lien très fort existe entre les états de surface et la végétation à partir de mesures de terrain exploitées par analyse statistique. Nous avons démontré que les états de surface, ainsi que les critères géomorphologiques, se distinguaient par photo-interprétation SPOT. Enfin l'analyse de la radiométrie montre qu'il est possible de s'aider de la classification pour délimiter les zones en végétation.

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout particulièrement V. Mariette du CNES et, M. Kabbaj du CRTS pour leur confiance tout au long du projet. M. Yessef et O. Berkat de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan ont été nos guides éclairés pour la définition des objectifs de l'étude. Les analyses pédologiques ont été réalisées sous le contrôle de M. le Pr Revel de l'ENSAT. A. Husson et C. Crépeau de Scot Conseil ont facilité nos contacts avec les équipes marocaines. La mission de terrain à Tagonit a bénéficié du soutien de M. le Pr Guédari de l'ORMVAO et de l'expertise de M. Zouhri. Nous remercions bien sûr S. Potier de Silogic pour sa disponibilité et ses compétences dans la mise en oeuvre du SIG.

BIBLIOGRAPHIE

- DREGNE H.E., 1987.-Désertification : Man's abuse of the land. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.33, p. 11-14.
- FAO, 1978.-Report on the agro-ecological zones project. 1 : Methodology and results for Africa. *FAO World Soil Resources Report 48*, 155p.
- FAY G., 1987.-L'aménagement des espaces ruraux du Maroc : un impératif et une urgence. In *Hom@mage à Gérard Maurer ; Etudes méditerranéennes*, Centre Interuniversitaire d'études Méditerranéennes (Poitiers), p.391-413.
- GLANTZ M., 1980.-Man, State and the Environment : an inquiry into whether solutions to desertification in the West African Sahel are know but no applied. *Canadian Journal of Development studies*, 19, p. 75-97.
- GOMBEER R., 1980.-Soil and land-use distribution as discernible on Meteosat-1 imagery over West-Africa. *Pedologie*, XXX, 1, p. 127-136.
- GREGOIRE R., 1990.-L'expérience communautaire en matière d'utilisation de la télédétection dans la lutte contre la sécheresse et la désertification en Afrique de l'Ouest. *Télédétection et sécheresse*. Ed AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris. p.95-109.
- HELLDEN U., 1982.-Approaches to desertification monitoring in the Sudan using Landsat data - A test of a geographical data base approach - preliminary results. *First Thematic Conference : «Remote Sensing of Arid and Semi-arid Lands»*, Cairo, p. 427-435
- LE HOUEROU H.N., 1990. - Définition et limites bioclimatiques du Sahara. *Sécheresse n°4*, vol 1, p.246-259.
- MERZOUK A., BADRAOUI M., FASSI D., AKESKOUSS H., BONN F., HINSE M., GWYN H., 1990.- Essai méthodologique de classement et cartographie des terres en vue de la conservation des sols et des eaux en zones semi-arides : apport de la télédétection. *Télédétection et sécheresse*. Ed AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris. p.163-171.
- PAYLORE P. ed., -Desertification : a world bibliography : Tucson, Univ. of Arizona, Office of Arid Land Studies, 644 p.
- PILON P.G., HOWARTH P.J., BULLOCK R.A., ADENIYI P.O., 1987.-Problems of change detection in a semi-arid region of west Africa using Landsat MSS data. Presented at the 11th Canadian Symposium on Remote Sensing, University of Waterloo, Ontario, June, 22-25, p. 117-124.
- PRINCE S.D., JUSTICE C.O. et LOS S.O., 1990 : *Télédétection de l'environnement sahélien*, revue de l'état actuel et des projets futurs. Commission des Communautés Européennes., 136 p.
- PUECH C., MERDAS M., 1990.- La détermination de la limite nord du désert par télédétection. *Sécheresse n°3*, vol. 1, p. 170-178.
- SHERBROOKE W.C., PAYLORE P., 1973.-World desertification : cause and effect. A literature review and annotated bibliography : Tucson, Univ. of Arizona, Office of Arid Land Studies, 168 p.
- THOMSON K.P.B., GONSELIN C., ADAM B.W., et SUTHERLAND I. 1985 : Thematic mapper data used for rangeland management in rough fescue grassland in western Canada. *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 11, N° 2, pp. 162-176.
- UNESCO - PNUE - FAO, 1979. - Les écosystèmes pâturés tropicaux : un rapport sur l'état des connaissances préparé par l'UNESCO, le PNUE et la FAO, Paris, 1979, 656 p. (Résumé in *Nature et Ressources*, vol. XV, n°3, juillet-septembre 1979, p. 2-9.).
- WALKER A.S., ROBINOVE C.J., 1981.-Annotated bibliography of remote sensing methods for monitoring desertification. *Geological Survey Circular*, 851, 25 p.
- ZOUHRI A., 1992 : Utilisation des images SPOT pour la cartographie de la végétation steppique des zones arides, exemple des parcours Ait Zekri à Ouarzazate (Maroc). *Mémoire de DESS, GDTA, France*, 27 p.