

Un outil de diagnostic rapide pour l'agriculture oasienne

~ Mise au point méthodologique pour l'utilisation de données satellitaires SPOT dans la région de l'ASABA Mauritanien ~

Vincent GODARD

Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, IEMVT/CIRAD (France)

Vincent DOLLÉ

Département Systèmes Agraires, DSA/CIRAD (France)

Jean-François VAYSSIÈRES

Ministère du Développement Rural, Nouakchott (Mauritanie)

Coopération Technique Française

Résumé

Cette publication fait le bilan des travaux entrepris pour la réalisation d'un diagnostic sur l'agriculture oasienne dans la région de Kiffa (Asaba) en Mauritanie à partir de documents de télédétection SPOT et de leurs traitements numériques (documents décembre 1987).

Une méthodologie spécifique d'enquête est testée pour la cartographie de l'occupation des sols, en corrélation avec des travaux de terrain. Plusieurs sites d'oasis ont été identifiés et localisés afin d'établir une correspondance entre l'occupation du sol et la représentation de cette occupation sur des documents en impression couleur issus de traitements numérisés.

Les premiers tests d'utilisation de l'imagerie satellitaire à haute résolution donnent des résultats intéressants. Les thèmes sélectionnés ont une représentativité satisfaisante. Des tests complémentaires réalisés à partir d'images prises en février-mars (cultures de contre saison en oasis et fin de pâturage des parcours avoisinants) permettront de valider les premiers travaux et de confirmer la possibilité d'évaluation de l'occupation de la palmeraie : zone à palmier dattier, à palmier doum. Il serait peut-être alors possible d'estimer rapidement des surfaces de palmeraies de différentes densités.

I. - Contexte de l'opération, spécificités, méthodes d'enquête et de classification

Une opération méthodologique d'utilisation de l'imagerie satellitaire a été lancée en 1986 afin de porter un diagnostic sur l'utilisation du milieu dans trois zones de la Mauritanie : la zone pastorale entre Roso et Kardi, la zone de périmètre irrigué en bord de fleuve Sénégal et enfin la zone des oasis de l'Assaba. Le troisième volet de ce projet (volet oasis) a été réalisé sur le terrain avec la participation du projet FAC-MDR (assistant technique principal : J.F. Vayssières) qui a pour objectif d'améliorer les systèmes de production oasiens de Mauritanie.

Dans une oasis, la palmeraie constitue l'élément le plus visible des activités humaines. D'autres activités, telles les cultures vivrières et maraichères, l'élevage lui sont associées. Elles forment un système complexe qui marque le paysage et en partie l'imagerie satellitaire.

L'évaluation des différentes composantes d'une oasis permet une première approche de la typologie du paysage. En premier lieu se pose le problème de la définition de l'oasis et de la délimitation de l'aire dans laquelle s'exercent ces différentes activités.

Ce diagnostic, sur l'état des palmeraies dattières et de leur environnement proche, a pour principal objectif de tester une méthodologie spécifique d'enquête et de cartographie, adaptée aux caractéristiques des oasis pour en établir une éventuelle typologie à l'aide des données SPOT.

La confrontation des réflexions préalables théoriques avec la connaissance du terrain de l'équipe du projet a permis de tester rapidement méthodes d'enquêtes et de cartographie dont les premiers résultats sont exposés ci-après.

1. - Localisation des sites d'étude (Figure 1)

Les observations de terrain se sont déroulées dans la zone du projet FAC-MDR sur les oasis suivantes :

▶▶ Kouroudjel ▶▶ Ajar ▶▶ El Fa'lya ▶▶ Mraïfig ▶▶ Soudou ▶▶ El Grâne

2. - Méthode d'enquêtes

Bien que toutes les oasis aient été prospectées seules celles de Kouroudjel et d'El Fa'lya ont été cartographiées, compte tenu de l'aspect expérimental de l'étude.

La scène SPOT utilisée a les références suivantes : **KJ : 31-317, du 24-12-1987** (mode multispectral à 20 m). Cette scène SPOT, la seule disponible au catalogue de SPOTIMAGE lors du début des travaux, ne correspond pas à la situation rencontrée pendant l'enquête sur le terrain. Il eut été grandement préférable de disposer d'une scène de mars ou d'avril, plus en concordance avec les activités agricoles en palmeraie.

Les enquêtes sur le terrain ont été réalisées à l'aide d'agrandissements de la composition colorée à des échelles comprises entre le 1/12 000^{ème} et le 1/25 000^{ème}. Ces agrandissements furent obtenus par visualisations infographiques sur le système de traitement d'images de l'IEMVT.

La méthode employée combine enquêtes par segments et observations ponctuelles. Ces observations sont en rapport avec la taille relativement faible des éléments du paysage. Le but de cette enquête est d'établir une série de relations entre les catégories d'éléments d'occupation du sol et les équivalents sur l'image de satellite.

3. - Méthode de classification

Dans une première étape de travail, il s'agit de comparer les résultats obtenus dans chaque oasis afin d'établir une typologie commune d'occupation du sol pour cette zone agro-écologique. Pour chaque oasis, les travaux ont été menés sur un «fenêtre cartographique» d'environ 2,5 km de côté, correspondant à une matrice de 126 pixels SPOT de 20 m de côté. Afin d'obtenir la visualisation la plus fidèle des éléments constitutifs des oasis, les paramètres de classification ont été utilisés indépendamment les uns des autres.

II. - Résultats cartographiques

Les deux oasis étudiées sont toutes deux situées sur l'oued Kouroudjel. Elles ont chacune six thèmes en commun et un septième qui leur est propre. Ces thèmes, issus de deux classifications indépendantes, correspondent à l'optimum d'unités cartographiables pour l'époque de prise de vue.

Celle-ci ne correspond pas, nous l'avons vu, à la période la plus favorable pour analyser l'occupation du sol dans le système agricole oasien.

Les thèmes cartographiés

- ▶ **Affleurements rocheux** : affleurements de roches détritiques (pelites, silexites), parfois légèrement ensablés à couvert végétal nul ou très clair.
- ▶ **Dépressions argileuses** : lit d'oued argilo-sableux avec quelques bouquets de palmier «doug» (*Hyphaene thebaïca*), Kouroudjel uniquement.
- ▶ **Sable et limon sans végétation** : sols dénudés des dunes et des interdunes, surpâturés par les animaux en avril.
- ▶ **Steppes herbeuses à ligneux bas clairsemés** : steppes sur sol à texture sableuse à sablo-limoneuse avec comme espèces dominantes : *Acacia sénégale*, *A. ehrenbergiana*, *Balanites aegyptiaca*, (pour la strate ligneuse) et *Aristida mutabilis*, *Cenchrus biflorus* (pour la strate herbacée).
- ▶ **Steppe arbustive à palmiers «doug»** : unité proche de la précédente avec davantage de ligneux dont des groupes de palmiers doug.
- ▶ **Palmiers doug dominants** : formations à *Hyphaene thebaïca* dominants sur sols vertiques à placage sablo-limoneux.
- ▶ **Palmiers dattiers et cultures associées** : *Phoenix dactylifera*, dans le lit de l'oued avec des cultures maraîchères et céréalières (patates douces, tomates, etc...) et localement de la jachère herbeuse.
- ▶ **Culture de sorgho** : champs de sorgho (El Fa'lya uniquement).

III. - Présentation des résultats

Les superficies des différents thèmes identifiés par la classification, sont directement calculées par le système de traitement d'image en nombre de pixels, puis converties en hectares (**Tableau 1**). Le résultat est comparable à celui d'un planimétrage effectué sur une cartographie classique issue d'une photo-interprétation.

1. - Superficie des différents postes d'occupation du sol par «fenêtre cartographique»

Dans cette recherche méthodologique, la palmeraie n'est pas seulement l'espace réduit où se concentrent les palmiers. Elle s'inscrit dans un concept plus vaste qui concerne, outre les cultures de palmiers proprement dites, l'organisation et l'utilisation de l'espace périphérique.

Dans cette optique et comme cela a été dit précédemment, la palmeraie est étudiée d'un point de vue cartographique. L'analyse portera, dans ce paragraphe, sur des «fenêtres» de 2,5 km de côté, qui se rapportent aux oasis de Kouroudjel et d'El Fa'lya.

Selon les critères retenus ici, il apparaît que les «datteraies», *stricto sensu*, tels les dattiers avec leurs cultures associées, ne représentent qu'une infime partie de l'occupation du sol par rapport au thème «Sable et limon» inclus dans cette fenêtre. A titre d'exemple pour environ 20 ha de «Palmiers dattiers» dans la fenêtre de Kouroudjel il y a 312 ha de «Sablé et limon», soit 3% de palmiers contre 49% de sols nus sablonneux. Ceci est encore plus net pour El Fa'lya avec 3% d'une part et 63% de l'autre.

Tableau 1 : Superficies des différentes catégories d'occupation du sol pour les «fenêtres cartographiques» des oasis de Kouroudjel et d'El Fa'lya

		Kouroudjel superficies		El Fa'lya superficies	
		ha	%	ha	%
Affleur. rocheux	A	4,7	0,8	4,3	0,7
Dépr. argileuse	B	21,2	3,3	0	0
Sable et limon	C	312,0	49,1	402,4	63,4
Steppe herbeuse	D	229,7	36,1	146,2	23,0
Steppe arbustive	E	28,9	4,6	43,9	6,9
Palmier doum	F	18,9	3,0	12,8	2,0
Palmier dattier	G	19,6	3,1	19,6	3,1
Sorgho	H	0	0	5,8	0,9
Total		635,0	100,0	635,0	100

Il est à noter que la présence des palmiers doum, de l'ordre de 3% en formation dense ou entre 4 et 7% en formation plus clairsemée, ne renforce pas de manière significative la densité ligneuse des périmètres d'étude.

En revanche, l'activité pastorale autour des oasis et de leurs points d'eau s'appréhende par la forte présence du thème «Steppe herbeuse», qui occupe entre le quart et le tiers des deux zones.

Il ressort de cette analyse sur les superficies des différents postes d'occupation du sol, que les palmiers toutes appellations confondues, sont quantitativement relativement absents du paysage oasien, tel qu'il est défini ici. Il n'en demeure pas moins que ces palmeraies jouent un rôle très important dans le système d'utilisation de l'espace sahélien.

A l'échelon national, les palmiers dattiers représentent 0,02% (*Atlas statistique*, FAO, 1985, p. 17). Les 3% obtenus dans les deux oasis confirment bien leur appartenance au système oasien de la Mauritanie.

La matérialisation de la clôture de l'oasis de Kouroudjel, localisée avec une certaine finesse sur l'image SPOT, permet de comparer nos résultats avec les données de l'*Atlas* FAO.

2. - Superficies des différents thèmes à l'intérieur de l'enclos de l'oasis de Kouroudjel

D'une manière générale, les comparaisons de résultats statistiques entre diverses oasis sont délicates car elles dépendent de la dimension de l'espace analysé. Elles n'ont de sens qu'en valeur relative, faute d'un référentiel bien défini.

L'oasis de Kouroudjel bénéficie d'un enclos grillagé qui la protège de la divagation des animaux. Cette clôture, peu visible sur l'imagerie, a été «levée» sur le terrain. Il n'a pas été possible de réaliser une étude équivalente à El Fa'lya en raison d'un temps d'enquête trop court pour effectuer des levés corrects de la clôture.

Lorsque l'on considère l'intérieur des limites de l'oasis de Kouroudjel, il est aisé de constater un net recul des surfaces sablo-limoneuses nues par rapport à la fenêtre cartographique. Ce recul est probablement provoqué par la mise en défens de ces zones vis-à-vis des troupeaux. Ainsi, peut-on remarquer la diminution de l'ensemble des thèmes hors végétation qui passent de 50% au niveau de la «fenêtre cartographique» (**Tableau 2**), à moins de 10% à l'intérieur de l'enclos (**Tableau 1**).

Cette augmentation des steppes herbives et arbustives résulte d'une mise en défens des espaces non cultivés par la clôture, laquelle protège cultures et plantations des troupeaux. Sur la carte de Kouroudjel (**carte couleur**), ces thèmes apparaissent dans les teintes jaune foncé et vert clair.

Les deux thèmes «Steppe...» totalisent environ 70% de la superficie totale de la zone enclose. Réserve de fourrage, ces catégories d'occupation du sol sont certainement pour partie de futures zones de «datteraie».

Tableau 2 : Les superficies d'occupation du sol à l'intérieur de l'enclos de l'oasis de Kouroudjel

		Superficies	
		ha	%
Affleur. rocheux	A	0,1	0,1
Dépr. argileuse	B	2,3	2,3
Sable et limon	C	7,5	7,8
Steppe herbive	D	42,8	44,6
Steppe arbustive	E	23,3	24,3
Palmier doum	F	4,0	4,2
Palmier dattier	G	16,0	16,7
Total		96,0	100

La très nette domination des catégories «Steppe herbive» et «Steppe arbustive» met au jour la faiblesse des groupes à ligneux denses. En effet, si l'on réunit les deux unités de palmiers en une seule, la barre des 20%, à l'intérieur de l'enclos, est tout juste atteinte. Pourcentage qu'il serait intéressant de contrôler sur d'autres palmeraies afin de vérifier si la prépondérance d'une végétation à strate ligneuse peu dense est la règle ou si c'est une particularité de Kouroudjel.

Il n'a pas été possible de comparer nos résultats avec ceux publiés par la FAO. En effet, les superficies calculées par nos soins pour l'oasis de Kouroudjel et les chiffres fournis par l'Atlas FAO (p. 64) ne correspondent pas. Cet atlas attribue 39 ha à la palmeraie de Kouroudjel, or cela ne correspond, ni aux 96 ha compris dans l'enclos, ni aux 16 ha du thème «Palmier dattier» avec cultures associées, issus de nos calculs. Même en admettant que le périmètre de l'enclos soit légèrement surestimé dans notre étude ou que la classification ait sous-estimé le thème dattier, l'écart est trop important dans les deux cas (supérieur à 100%). Ceci ne permet pas d'utiliser les données extraites de l'Atlas FAO pour l'évaluation des résultats.

La très faible emprise au sol des thèmes les plus représentatifs d'une oasis apparaît nettement dès lors que l'on cherche à étudier celle-ci dans son environnement. Il n'est pas nécessaire de comparer les 500 km² des palmeraies mauritaniennes (Atlas FAO, p. 17) à la superficie de l'ensemble du pays, soit environ 1 030 000 km², pour admettre que, malgré la forte régionalisation de ce mode d'occupation du sol, sa densité locale ne sera jamais prépondérante par rapport aux autres thèmes cartographiés.

A l'intérieur même d'un périmètre mis en défens, le groupement à «Palmier dattier» seul ou en association avec celui à «Palmier doum» ne parvient pas à dépasser les 20% d'occupation du sol.

Ces chiffres obtenus sur deux oasis sont loin d'être en nombre suffisant pour en tirer des conclusions générales sur les caractéristiques des oasis de l'Assaba. Le relevé des enclos des sites de Bou Mlana, El Fa'lya, Soudou, par une enquête de terrain, pourrait apporter une réponse à cette question. Mais là encore faut-il rappeler que la faible emprise des palmeraies ne diminue en rien leur importance socio-

économique qui mérite d'être grandement développée du fait de leur rôle de palliatif aux problèmes de dégradation des ressources du milieu naturel.

La télédétection peut donc permettre de comparer les densités globales des différentes oasis entre elles, mais sans pouvoir évaluer les résultats avec ceux de l'Atlas FAO, faute de compatibilité entre les méthodes d'enquêtes.

Cette évaluation a donc été effectuée à l'aide de matrices de confusion, compléments indispensables aux superficies présentées dans les **Tableaux 1 et 2**.

IV. - Evaluation des résultats

1. - Méthode d'évaluation

Dans ce volet, il sera également fait usage des matrices de confusion pour évaluer la «représentativité» et la précision des résultats obtenus à l'aide des données SPOT.

Une trentaine de points par thème a été utilisée pour atteindre un échantillon suffisant.

Les points de contrôle sont sélectionnés par «tirage systématique non-aligné» à l'aide d'une grille d'environ 500 points réalisée à cet effet. Ces points correspondent à l'intersection de lignes et de colonnes dont les coordonnées ont été fixées par un générateur de nombres pseudo-aléatoires.

Le tirage systématique permet d'estimer la moyenne d'une population à partir d'un échantillon. Bien que le sondage systématique non-aligné perde l'indépendance d'un sondage aléatoire, il rompt l'alignement du sondage systématique simple (De Keersmaecker, 1987, p. 197). De ce fait, il risque donc d'être moins en phase avec une structure du paysage (dunes orientées par exemple) dans l'image sondée.

En raison d'une répartition hétérogène des thèmes dans les secteurs étudiés, une stratification grossière par grands types d'occupation du sol, a été effectuée pour réaliser les classifications. Dans chaque strate, on calcule un coefficient de variation pour apprécier l'hétérogénéité du milieu. Celui-ci est ensuite comparé strate par strate, avec un taux de sondage par strate, proportionnel à son hétérogénéité et non à sa superficie.

A titre d'exemple, pour Kouroudjel, la strate où domine le thème «Sable et limon» a été sondée avec seulement 34 points sur les 270 du total (soit une proportion de 12%), pour une superficie de 502 ha, alors que celle centrée sur la palmeraie l'était avec 153 points (soit 57%) pour seulement 82 ha (**Tableau 3**).

La diversité des thèmes, et donc l'hétérogénéité, est ici inversement proportionnelle à l'étendue de la strate.

2. - Précision des résultats

La matrice de confusion fournit la précision de la cartographie de l'occupation du sol, à un niveau global, ainsi qu'au niveau de chacun des thèmes.

● Précision globale des résultats

La précision globale des classifications a été calculée en effectuant le rapport de la somme des éléments bien classés sur la diagonale par le total des points enquêtés.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^k X_{ii}}{N}$$

où X_{ii} est la valeur du thème i sur la diagonale, N la population enquêtée et le nombre de thèmes.

● Précision thème à thème

Différents indices sont utilisés pour mesurer cette précision, leur rôle permet d'appréhender :

► **la précision statistique** du résultat, qui est obtenue ici par l'indice de Hellden (de Keersmaecker 1987). Cet indice rend compte de la précision de l'estimation des surfaces,

$$H = \frac{2X_{ii}}{X_{i.} + X_{.i}}$$

où $X_{i.}$ est la somme par colonne, des points du thème considéré de la matrice de confusion,
 $X_{.i}$ la somme par ligne,
 X_{ii} sur la diagonale, leur intersection.

► **la précision thématique** rend compte de chaque unité terrain bien reconnue, elle est fournie par le rapport $X_{ii} / X_{.i}$,

► **la précision cartographique**, s'obtient par le rapport $X_{ii} / X_{i.}$. Elle indique la représentativité de la cartographie vis-à-vis de la réalité terrain.

V. - Analyse des résultats

1. - L'Oasis de Kouroudjel

La matrice de confusion se présente comme un tableau à double entrée, où les thèmes reconnus sur le terrain sont lus horizontalement et les thèmes cartographiés verticalement.

Une sommation en ligne est effectuée thème par thème, elle exprime le nombre de points enquêtés sur le terrain appartenant à ce thème. Celle-ci peut être comparée à la sommation en colonne (expression cartographique) du même thème, permettant ainsi d'évaluer les différences entre la réalité sur le terrain et le résultat cartographique.

La diagonale du tableau indique le nombre de thèmes correctement classifiés. A l'extérieur de la diagonale, sont identifiés les thèmes mal classés.

Tableau 3 : Matrice de confusion de Kouroudjel

	A	B	C	D	E	F	G	T*
Affleur. rocheux	A	31	2					33
Dépr. argileuse	B		31	2	2		2	37
Sable et limon	C			20				20
Steppe herbeuse	D	1	3	3	47		4	58
Steppe arbustive	E		3			34	5	42
Palmier doum	F		5	2			36	52
Palmier dattier	G						28	28
Total cartographié		32	44	27	49	34	42	270

* T : total des points enquêtés sur le terrain.

A titre d'exemple : lecture des résultats du «Palmier doum» :

En commençant la lecture horizontalement, il faut lire que sur les 52 points enquêtés sur le terrain et se rattachant au thème «Palmier doum» :

- 36 sont bien classés ;
 - 9 sont classés en palmiers dattiers ;
 - 2 sont affectés aux sables et limons ;
 - 5 sont cartographiés en dépressions argileuses.

- Aux 36 points bien classés se rajoutent (lecture verticale) :
 - 2 pixels de dépressions argileuses ;
 - 4 pixels de steppe herbeuse.

Au total, 42 pixels de contrôle, sur 270, sont donc cartographiés en «palmier doum». L'examen du **Tableau 3** permet de constater que tous les taxons, sauf le groupe «Sable et limon», atteignent ou dépassent les trente points de contrôle. La précision globale de l'oasis de Kouroudjel est de 227 pixels bien classés sur 270, soit 84%. La précision statistique et les précisions thématique et cartographique ont été calculées à partir de la matrice de confusion (**Tableau 3**).

Tableau 4 : Précision des différents estimateurs pour l'oasis de Kouroudjel

		Indice de Hellden	Précision thématique	Précision cartograph.
Affleur. rocheux	A	95,38	93,90	96,88
Dépr. argileuse	B	76,54	83,78	70,45
Sable et limon	C	85,11	100,00	74,07
Steppe herbeuse	D	87,85	81,03	95,92
Steppe arbustive	E	89,47	80,95	100,00
Palmier doum	F	76,60	69,23	85,71
Palmier dattier	G	80,00	100,00	66,67

Avec respectivement 88 et 89% de précision statistique, les catégories d'occupation du sol «Steppe herbeuse» et «Steppe arbustive» ont un comportement proche, elles ont toutes deux moins de 15% d'incertitude quant à la qualité de l'estimation de leur surface. Ce sont deux thèmes bien appréhendés et bien restitués, leur cartographie est fidèle avec moins de 4% d'imprécision.

Il existe toutefois quelques confusions thématiques entre le groupe «Steppe herbeuse» et les sols dégradés, ainsi qu'entre le groupe «Steppe arbustive» et des thèmes plus densément ligneux. Ces confusions ne permettent pas d'obtenir une précision thématique de plus de 80%.

Le «Palmier doum» est plus sujet à caution, sa précision statistique dépasse à peine les 75%. Une certaine confusion existe entre ce thème et le «Palmier dattier». Sur 52 points contrôlés comme «Palmier doum» sur le terrain, 9 (soit 17%) se sont révélés être thématiquement plus proches du «Palmier dattier». Ceci est en partie dû à l'homogénéité radiométrique des différentes sous-strates, qui limitent les possibilités de discrimination.

De même, 7 points contrôlés comme «Palmier doum» se sont trouvés regroupés avec les thèmes «Dépression argileuse» et «Sable et limon». Il n'a donc pas été possible d'obtenir plus de 69% de précision thématique. Seule la précision cartographique de ce groupe peut être considérée comme satisfaisante avec moins de 15% de points ambigus.

La précision statistique du «Palmier dattier» est légèrement supérieure à celle du «Palmier doum», avec 80% des surfaces bien estimées. Une très bonne identification thématique, portant toutefois sur 28 points, apporte une précision de 100%. En revanche, la précision cartographique est moins bonne. En effet, 14 points identifiés «Steppe arbustive» et «Palmier doum» ont été cartographiés «Palmier dattier», conférant à ce thème 33% d'imprécision cartographique. Ce résultat est, lui aussi, lié à la date de prise de vue.

De ces premiers résultats, on peut donc déjà conclure que, malgré la date de prise de vue non adaptée à l'étude des oasis, on arrive à séparer, avec une imprécision statistique de 30% il est vrai, les thèmes «Palmier dattier» et «Palmier doum».

Les superficies en steppe herbeuse et arbustive sont, en revanche, estimées et cartographiées avec une bonne précision.

2. - L'oasis d'El Fa'lya

Tableau 5 : Matrice de confusion d'El Fa'lya

	A	C	D	E	F	G	H	T*
Affleur. rocheux	A	6	1					7
Sable et limon	C		29	1				30
Steppe herbeuse	D		5	79	16			100
Steppe arbustive	E			1	13	2		16
Palmier doum	F				1	13		14
Palmier dattier	G					1	27	28
Sorgho	H			1				15
Total cartographié		6	35	82	30	16	27	210

* T : total des points enquêtés sur le terrain.

Le **Tableau 5** montre immédiatement la différence de concentration des points bien classés le long de la diagonale. Certains thèmes, comme celui des «Affleurements rocheux» n'atteignent pas les 10 points de contrôle alors que la «Steppe herbeuse» est inutilement sur-représentée, avec 79 points. Ceci tient, en partie, à la stratification qui n'a pas correctement pris en compte certains thèmes trop dispersés ou insuffisamment représentés, tels que les «Affleurements rocheux». En revanche, la steppe herbeuse, dominante dans le paysage, voit son échantillon renforcé à chaque sondage de strate, atteignant une centaine de points reconnus sur le terrain. On comprendra facilement qu'il ne faut pas attendre la même

fiabilité, d'un point de vue statistique, des résultats concernant ces deux thèmes «Affleurement rocheux» et «Steppe herbeuse».

Malgré un bon pourcentage de points bien classés, cette disproportion entre les thèmes va entraîner des disparités dans la qualité de la cartographie. La précision globale à El Fa'lya est de 181 points bien classés sur 210 au total, soit 86%. Ce résultat est comparable à celui de Kouroudjel, avec pour les deux oasis, une imprécision moyenne de 15%.

Tableau 6 : Précision des différents estimateurs pour l'oasis d'El Fa'lya

		Indice de Hellden	Précision thématique	Précision cartograph.
Affleur. rocheux	A	92,31	85,71	100,00
Sable et limon	C	89,23	96,67	82,86
Steppe herbeuse	D	86,81	79,00	96,34
Steppe arbustive	E	56,52	81,25	43,43
Palmier doum	F	86,67	92,86	81,25
Palmier dattier	G	98,18	96,43	100,00
Sorgho	H	96,55	93,33	100,00

Comme l'indique la matrice de confusion, les thèmes «Affleurement rocheux», «Palmier doum» et Sorgho» sont sous-représentés.

Le thème «Steppe herbeuse» est doté d'une très bonne précision statistique, 86%, mais il a été surenquêté en raison d'une stratification mal adaptée (voir matrice de confusion, **Tableau 5**). Sur les 100 points de contrôle, seuls 79 lui seront finalement affectés, les autres étant plus proches de la «Steppe arbustive». En revanche, la cartographie de cette catégorie d'occupation du sol est très satisfaisante (fiabilité de 96%).

Ce n'est pas le cas de la «Steppe arbustive» dont la représentativité cartographique est assurée par de nombreux points ayant migré de la «Steppe herbeuse». De plus, contrairement à cette dernière, les points de contrôle étaient insuffisants, seulement 16 points. Il serait donc nécessaire de revoir ce thème, ainsi que celui du «Palmier doum» lors d'une prochaine mission en adaptant le protocole d'enquête à la spécificité de la zone.

Finalement, et cela malgré des conditions assez défavorables (date des données SPOT inadaptée), les résultats d'El Fa'lya concernant le palmier dattier ont une précision supérieure à ceux de Kouroudjel. Tous les points représentés dans cette catégorie ont été contrôlés comme tels, assurant une fiabilité cartographique de 100%.

Avec une précision statistique de 96%, les surfaces estimées de ce thème sont très proches de la réalité, seul un élément de l'échantillon «Palmier dattier» a été classé en «Palmier doum». Les résultats obtenus pour ce thème sont donc très satisfaisants et très encourageants pour la suite des recherches.

En résumé, pour la palmeraie d'El Fa'lya, seules trois catégories d'occupation du sol ont une représentativité suffisante. Ce sont les :

▶▶ «Sable et limon» ▶▶ «Steppe herbeuse» ▶▶ «Palmier dattier avec cultures associées»

Leur extension spatiale est bien maîtrisée, surtout pour le dattier, leur attractivité vis-à-vis d'autres thèmes est faible. L'estimation de leur superficie est fiable, avec moins de 14% d'erreur. Enfin, ces taxons ne connaissent qu'une faible érosion de leur échantillon terrain en faveur d'autres thèmes, moins de 4% sauf pour la «Steppe herbeuse», d'où une bonne fiabilité thématique.

Pour les autres catégories d'occupation du sol, leur représentativité est trop faible pour que l'on puisse porter un jugement sérieux. L'enquête terrain devra être complétée en s'appuyant sur un plan de sondage prenant davantage en compte les spécificités d'El Fa'lya, les distorsions y étant plus fortes qu'à Kouroudjel.

VI. - Discussion critique et perspective

Les nombreuses analogies de résultats, existant entre les deux oasis, permettent de tirer une première série de conclusions, d'ordre général, sur la qualité de l'enquête terrain ainsi que sur celle des traitements.

L'enquête terrain semble avoir parfaitement rempli son rôle. Elle a permis d'obtenir des résultats très satisfaisants sur l'organisation spatiale des deux oasis pour lesquelles les traitements ont été menés à terme et ce malgré un temps d'enquête très réduit (une dizaine de jours).

Quelques ambiguïtés thématiques subsistent, elles sont en partie liées à la rapidité de l'enquête sur le terrain (plan d'enquête allégé s'appuyant sur un échantillonnage raisonné) et à la date de prise de vue de l'image SPOT.

Les traitements effectués sur l'image satellitaire ont permis de porter un diagnostic sur plusieurs aspects structuraux de ces oasis. Que l'on s'intéresse à la palmeraie de doum ou de dattier, il est important de rappeler que leur extension spatiale est très faible, tout au plus quelques «pour-cent», et cela même à l'intérieur de l'enclos de Kouroudjel.

Sur le plan méthodologie «télédétection», il faut signaler à nouveau que les données de début de saison sèche ne conviennent pas pour analyser en détails les cultures sous palmiers. Pour ce type d'objectif, une image plus tardive serait nécessaire.

Il faut donc faire un choix en fonction des objectifs. Soit l'on améliore la qualité de la discrimination dans les palmeraies en analysant plus précisément les cultures associées, soit on s'intéresse à une approche plus globale centrée plus particulièrement sur les ressources pastorales et dans ce cas, il faudra accepter certaines faiblesses dans la discrimination des thèmes. La solution technique étant d'avoir une approche multi-date avec deux enregistrements, l'un de fin de saison des pluies, l'autre de milieu de saison sèche. La décision étant d'ordre économique.

Dans une perspective d'application de la méthode à d'autres oasis, il conviendrait donc d'approfondir certains axes de recherche prometteurs. Pour cela, seuls quelques aménagements sont nécessaires :

- l'acquisition d'une image satellite de mars ou avril, pour discriminer au mieux les cultures. De même, par comparaison avec l'image de décembre, déjà acquise, il y aurait la possibilité d'affiner les limites entre la végétation naturelle active et les zones de culture sous palmiers.
- l'acquisition d'une image en mode panchromatique SPOT (pixels de 10 mètres de côté) pourrait aussi apporter une plus grande finesse dans le diagnostic de l'organisation spatiale.

Cette amélioration de la résolution spatiale permettrait d'aborder les problèmes de densité de palmiers, en utilisant un plan de sondage plus adapté prenant davantage en compte les spécificités de l'agriculture oasienne.

Enfin, sur un plan plus général, et en raison de l'omniprésence de l'élevage dans le fonctionnement de ces deux oasis, il semble nécessaire d'élargir le champ des investigations et de considérer les oasis, non seulement en tant que telles, mais également comme le centre organique d'«Unités Pastorales Oasiennes».

L'analyse du fonctionnement de tels systèmes d'élevage oasien pourrait servir de base à une réflexion puis à des propositions de développement visant à une gestion rationnelle de l'espace où s'équilibreraient les ressources et leur exploitation.

Bibliographie

- CURRAN (P.J.), ADAWY (N.), 1982. Landsat mss data, its availability and suitability for monitoring the density of date palm in Saudi Arabia. In : First Symposium on date palm. Saudi Arabia, March 23-25, 1982. Al Hasa : King Faisal University.
- DOLLÉ (V.) *et al.*, 1984. *Etat de l'agriculture mauritanienne et objectifs d'une recherche pour son développement*. Montpellier : IFARC-CIRAD.
- FAO, 1985. *Atlas statistique des oasis de Mauritanie*. Rome : FAO.