

**DEFINITION ET DETERMINATION DES UNITES DYNAMIQUES D'UN
PAYSAGE SAHELIEEN (OURS), POUR UN DIAGNOSTIC DES FACTEURS
DE DEGRADATION ET DE REGENERATION DES RESSOURCES
NATURELLES ET RENOUVELABLES**

ANDRIANASOLO H., MALEK C.

**Institut de Recherche pour le Développement en Coopération (ORSTOM)
FRANCE.**

Commission VII, WG VII/4

ABSTRACT

Based on the combination of intermediate results obtained from different and justified dates -in relation to the purposes of the study- in an annual cycle, the extraction of "objective" landscape units lean on a multitemporal approach. An "optimal" unsupervised clustering of the regional area is first done on the base of each date, in which the number of clusters is objectively determined by a criterion of stability. Then in a dynamic and temporal context, the "real" landscape units are obtained by the image-conjunction of the units resulting from the different dates, justified by the physical nature of remote sensing data, and by the clustering criteria. The detailed study (classification, interpretation, analysis) of each so generated unit, lead to its dynamic diagnosis. Which allow the elaboration of a "checkup" of these units, leading to the location of the area needing, with top priorities, some interventions, and to direct the types of actions the actors of development have to undertake.

RESUME

L'extraction des unités "objectives" du paysage s'articule, à l'intérieur d'une démarche diachronique, autour de la combinaison de résultats intermédiaires, obtenus à partir des différentes dates -cohérentes avec les objectifs- d'un cycle annuel. Une partition optimale non-dirigée de l'espace est d'abord réalisée sur chaque date, dans laquelle le nombre de classes est objectivement déterminé d'après un critère de stabilité. La conjonction image des unités obtenues aux différentes dates, permet l'obtention dans un contexte dynamique et temporel, des unités "réelles" du paysage, légitimées par la nature physique des données satellitaires, et par les critères de la méthode de classification. L'étude détaillée (classification, interprétation, analyses) de chaque unité ainsi générée, conduit à leur diagnostic dynamique. Celui-ci permet d'établir un bilan de santé de ces unités, qui conduit à localiser les zones d'intervention prioritaires, et à orienter les actions à entreprendre par les acteurs du développement.

En géographie, l'étude des milieux naturels s'effectue de plus en plus à travers le concept de paysage. Il s'agit d'un concept systémique, intégrateur et dynamique dont un représentant essentiel est la géographie allemande qui parle de "synergétique générale du paysage". C'est dans ce courant que se situe la présente étude de la dynamique du paysage sahélien.

**DONNEES SATELLITAIRES, APPROCHE SYSTEMIQUE ET ETUDE
DYNAMIQUE DU PAYSAGE.**

L'utilisation des données satellitaires de dernières générations (SPOT, THEMATIC MAPPER) présente un intérêt certain, pour des études selon une approche systémique, du fait qu'elles résultent de mesures physiques objectives et intégrantes: chaque pixel est le reflet des objets de cette surface, des interactions de ceux-ci, des pixels voisins (régions environnantes), des conditions atmosphériques,..., de tout paramètre concourant à l'organisation régionale.

De plus, d'une part la synoptique des images et leur résolution spatiale permettent l'étude simultanée des relations entre constituants du paysage en différents sites à une date précise, et d'autre part la répétitivité des prises de vue permet une étude dynamique entre des dates sélectionnées sur des critères précis d'ordre climatique.

ORGANISATION DE LA DEMARCHE.

Elle est constituée des étapes (a) et (b) suivantes, de la détermination des unités majeures "relatives" du paysage et de son étude dynamique. Elle se décompose ainsi:

- a.1) détermination de deux dates selon des critères climatiques et bioclimatiques,
- a.2) hiérarchisation du paysage, recherche de partitions sur chacune des deux images choisies,
- a.3) recherche des unités majeures relatives: zones des unités thématiquement identiques aux deux dates,
- b.1) étude de la dynamique du paysage entre les deux dates,
- b.2) diagnostic du paysage en "grandes tendances dynamiques".

APPLICATION A LA REGION SAHELIEENNE DE LA MARE D'OURSI.

Région d'étude et choix des dates.

Le bassin versant de la mare d'Oursi est caractéristique des écosystèmes de mares sahéliennes. Elles résultent de la mise en place durant la dernière période froide de cordons dunaires éoliens. Véritables barrages, ils ont coupé la plupart des marigots constituant la trame du réseau hydrographique de la région dont la direction naturelle le dirige vers le nord pour se jeter ensuite dans le Béli, lui-même affluent du fleuve Niger. Les mares constituent l'élément majeur de l'écosystème et créent un paysage original dont la présence est indispensable à la survie de l'homme.

Au sud et à l'ouest le bassin d'Oursi est ceinturé par des massifs de gabbros, des buttes cuirassées, et des affleurements de roches métamorphiques. Convergeant vers la mare et les bas-fonds, on trouve un ensemble de glacis, surfaces planes et faiblement inclinées, très souvent colluvionnées. L'incision des marigots sur ces surfaces se fait suivant l'axe de la plus grande pente (images 1 et 2).

La gestion de l'espace par l'homme est assurée essentiellement par l'activité agricole et pastorale nomadisante ou non.

Les zones agricoles se situent principalement sur les sables d'arènes granitiques ou éoliens qui sont perméables à l'eau. On trouve aussi des champs de sorgho dans les zones de bas-fonds humides.

L'activité pastorale est dominante dans cette région. Les parcours du bétail sont exploités de façon rationnelle en obéissant à un ordre temporel précis tenant compte des disponibilités en fourrages et en eau dans les différentes unités du paysage.

La détermination des dates d'étude résulte du macro-climat, dont la variable écologique dominante est l'eau. Le macro-climat sahélien fait alterner une longue saison sèche que suit une courte saison des pluies durant laquelle on assiste, si les précipitations sont suffisantes et régulièrement espacées, à une véritable explosion végétale des annuelles.

- La date du 4 septembre 1986 se situe en fin de saison des pluies, date à laquelle la végétation chlorophyllienne est à son maximum. Il faut noter cependant, que la pluviométrie sur le bassin se révèle très hétérogène sur des distances très rapprochées.

- Celle du 17 décembre 1986 reflète des conditions générales de début de saison sèche. A cette période la végétation pérenne est sèche et les processus d'évaporation assèchent les mares et les bas-fonds humides. La confrontation des deux compositions colorées (images 1 et 2) rend compte du contraste existant entre les deux vues.

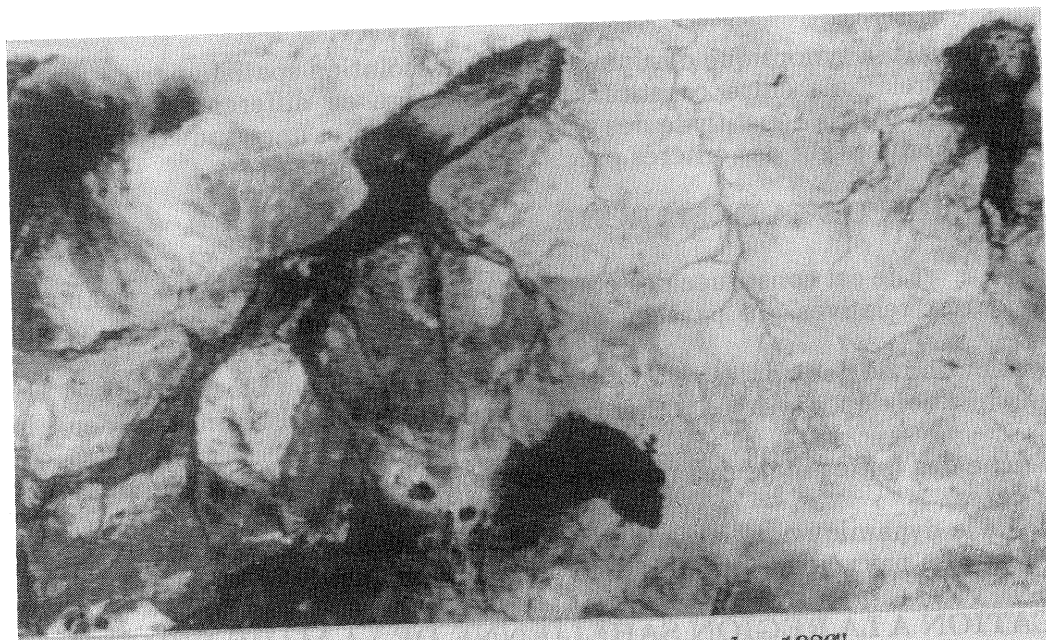


Image 1 : Composition colorée "4 septembre 1986"



Image 2 : Composition Colorée "17 décembre 1986"

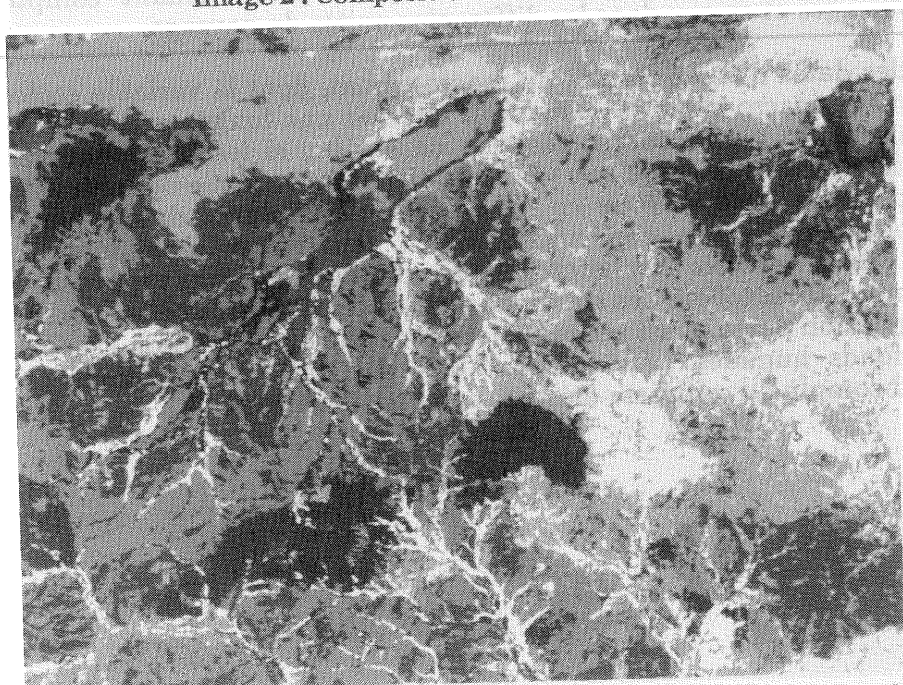













Image 3 : Classes stables radiométriquement "septembre 1986"

Légende

	C1
	C2
	C3
	C4
	C5
	C6
	C7
	C8
	C9
	C10
	C11

Génération des classes de paysage.

Etant donnée l'objectivité des mesures radiométriques, la construction des classes a été réalisée suivant la démarche des centres mobiles, tendant à extraire des données les structures les plus fortes en un nombre fixé.

Le nombre P de classes est obtenu selon une démarche combinant la construction et l'analyse de partitions en nombre croissant de classes (évolutions et relations entre classes de deux niveaux de partitions successives), dont le critère d'arrêt est tel que P est borné supérieurement par P_{sup}, obtenu sur la base de la décomposition classique d'un histogramme en k classes ($k = 5 \cdot \text{Log}(N)$ tel que N est le nombre d'individus).

L'analyse de l'organisation de l'ensemble des P_{sup} partitions obtenues par la méthode de classification ascendante hiérarchique, permet ensuite de déterminer une fourchette (P_{min}, P_{max}), à l'intérieur de laquelle se situe le nombre exact de classes, dont le calcul est ensuite réalisé sur la maximisation des critères de stabilité radiométrique qualitative (comparaison des signatures spectrales), et de stabilité quantitative (effectifs des classes de niveau de partitions successives).

Classes du paysage de l'image du 4 septembre 1986.

La démarche ci-dessus exposée a généré 11 classes organisées en six ensembles, dont suit une première interprétation (images n^o3 et figures n^o1).

- a) *glacis: avec végétation arborée (C1), colluvionnés (C3);*
- b) *roches sombres: gabbros, buttes cuirassées, roches métamorphiques (C5);*
- c) *sables: éolien et arènes granitiques grossières et claires (C2), arènes granitiques glacées et épandages gravillonnaires latéritiques (C8), erg vif (C9);*
- d) *champs et végétation: principalement sur piémonts sableux et le long des marigots (C6),
sur cordons dunaires et arènes granitiques (C7);*
- e) *végétation dense et eau dominante: avec moins d'eau (C4), avec plus d'eau (C9);*
- f) *végétation dense: principalement dans les mares et les bas-fonds (C10).*

Classes du paysage sur l'image du 17 Décembre 1986.

10 classes ont été générées organisées en cinq ensembles (image n^o4 et figure n^o2).

- a) *glacis colluvionnés et bas-fonds argileux: sans végétation chlorophyllienne active (C1),
bas fond argileux avec végétation active (C8);*
- b) *classe sombre: zone de retrait des eaux de la mare (C3), roches sombres et argiles de
bas-fonds saturées en eau (C6);*
- c) *sables: sable éolien avec légère couverture graminéenne sèche et arènes granitiques
perméables ou claires (C2), arènes granitiques glacées ou dégradées (C5), cordon
dunaire et champs dénudés (C7), erg vif (C9);*
- d) *végétation dense: végétation dense de mare avec eau dominante (C4), végétation dense
de mare (C10).*

Recherche des unités majeures relatives.

Définition:

On remarque qu'entre les deux dates des unités n'ont pas varié thématiquement mais seulement en superficie. Dans ces conditions une image multidate peut être créée et ces unités de recoupement extraites. Elles sont qualifiées de *majeures* parce que témoignant justement d'une permanence thématique entre les deux dates, et de *relatives* parce que cette permanence n'est valable que dans l'intervalle de temps étudié.

Il existe sept unités majeures relatives (image n^o5):

- a) *erg vif (C1);*
- b) *sable dunaire et arènes granitiques grossières (C2);*
- c) *roches sombres et argiles de bas-fonds saturés en eau (C3);*
- d) *végétation dense de mare et eau dominante (C4);*
- e) *végétation dense de mare (C5);*
- f) *glacis colluvionnés (C6);*
- g) *arènes granitiques glacées en surface et épandages gravillonnaires latéritiques (C7).*

La permanence de ces unités aux deux dates témoigne en premier lieu d'une stabilité dynamique des constituants de ces sept unités du paysage malgré le contraste climatique. On note cependant une variation des surfaces de ces unités, variation qui est fonction du degré de leur stabilité. Ce degré de stabilité lui-même est induit par la réponse des surfaces aux conditions climatiques. Par exemple, les classes "erg vif" et "roches sombres" varient très peu. A l'inverse les cinq autres classes sont très variantes (tableau n°1).

Les unités variantes.

Définition:

On appelle unités *variantes* les unités générées par les surfaces de recoupement d'une unité thématique à une date donnée de référence à une unité thématique différente à une autre date de comparaison. Ces unités sont donc complémentaires des unités majeures relatives de l'image multodate.

L'image n°6 confrontée à celle des unités majeures relatives montre à quel point celle-ci est révélatrice de la dynamique générale du paysage induite par le changement climatique saisonnier. Dynamique générale qui dépend étroitement du cycle de l'eau au sein de l'écosystème. Globalement, deux types de comportement des surfaces font suite aux précipitations: le ruissellement et/ou l'absorption. La figure n°3 montre le fonctionnement de l'eau dans l'écosystème. Ces deux comportements sont induit par les conditions édaphiques des surfaces, en particulier la perméabilité aux eaux de pluies, et par la position topographique.

Le tableau n°2 précise les interactions entre les surfaces radiométriques des classes stables de septembre et de décembre. Il doit être lu dans le sens logique du déroulement du cycle annuel et permet, à travers l'étude des transferts de surfaces d'une classe radiométrique à l'autre, l'analyse fine des dynamiques de surface.

Par exemple: analysons la signification de la classe variante C82, intersection de la classe C8 de l'image de septembre, et la classe C2 de décembre. Au mois de septembre cette unité variante est rangée dans la classe des arènes granitiques glacées et épandage gravionnaires latéritiques. Elle passe en décembre dans celle des sables éoliens et arènes granitiques grossières. La classe 82 est donc une classe de transition entre deux types de surfaces proches radiométriquement. Les pixels composants cette unité variante s'échangent facilement puisqu'ils se trouvent à la frontière des classes thématiques citées. La génération de cette unité indique clairement l'effet des processus de transfert de colluvions sur les surfaces et le colmatage progressif des dépressions.

Diagnostic du paysage.

Expliquer, dans les détails, toute la richesse que procure une étude du paysage à partir d'images satellitaires dépasse le cadre de cette publication.

Celle-ci se limitera à une étude globale et fera uniquement ressortir les grandes tendances dynamiques du paysage. Tendances dynamiques qui prennent en compte les équilibres et les déséquilibres enregistrés par les effets des variations climatiques et l'action anthropique, qu'elle soit d'origine agricole ou pastorale.

Elles résultent donc de l'effet conjugué des actions morphodynamiques par boucles rétroactives qui se traduit par la formation ou la destruction des sols.

L'étude conjointe de l'image n°7 de la figure n°3, décrivant le cycle de l'eau dans l'écosystème, illustre ces propos par deux exemples précis.

Le premier concerne les glacis reliant les massifs à la mare ou aux marigots. Les glacis sont des éléments majeurs dans la région sahélienne. La dynamique de l'eau ruissellée sur les glacis provoque un colluvionnement à la surface de ceux-ci. Ce colluvionnement est progressif et se produit du bas vers le haut. Les colluvions reposent sur des arènes granitiques résultant de la désagrégation du plancher rocheux sous-jacent.

Sur l'image n°7, les glacis colluvionnés sont colorés en gris, et l'on voit que certains glacis le sont entièrement. Lorsqu'un glacis se colluvionne on note une gradation du phénomène dû à l'abandon progressif de la charge solide transférée par les eaux de ruissellement. Cette gradation à la surface du glacis est parallèle à la plus grande pente. C'est le cas

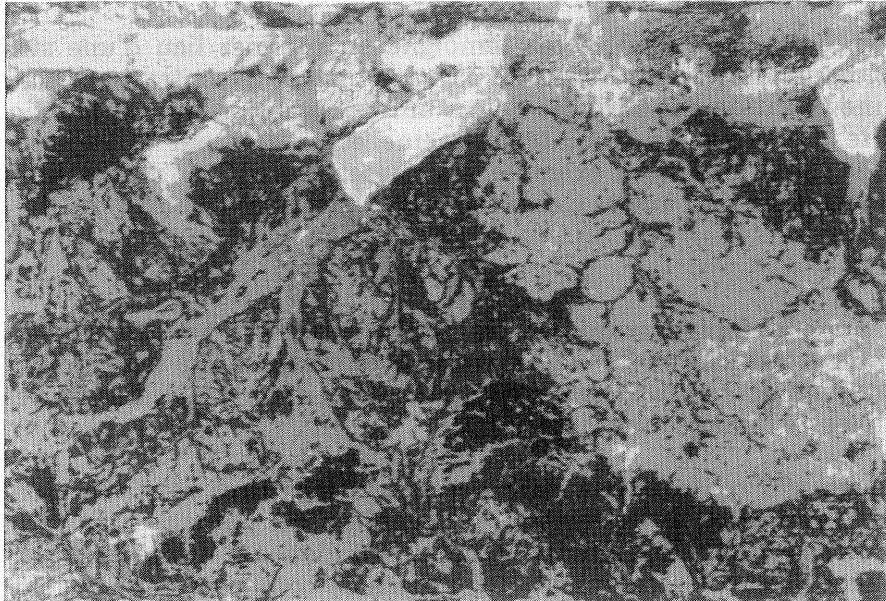


Image 4 - Classes stables radiométriquement "décembre 1986"

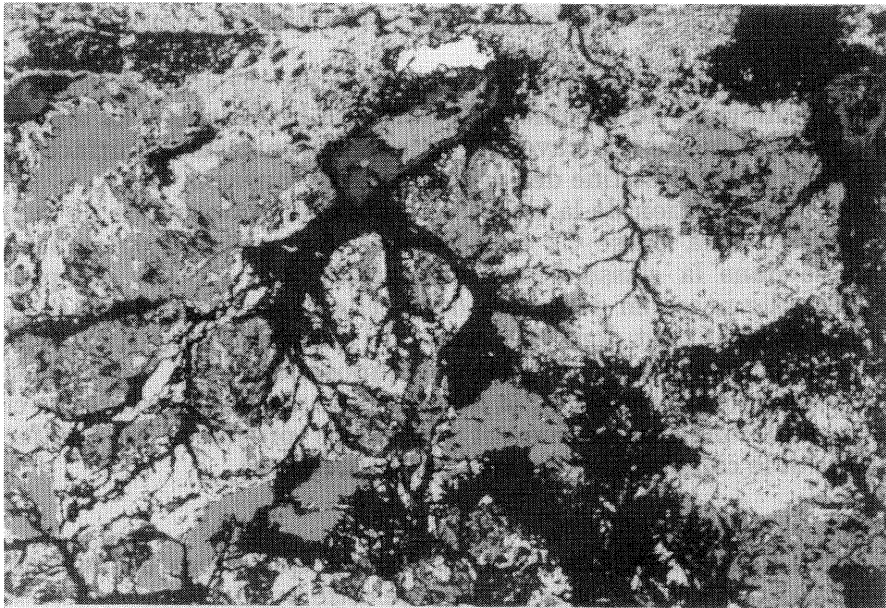
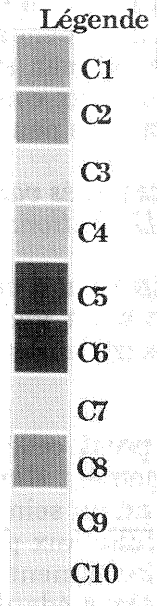


Image 5 - Unités Majeures Relatives (U.M.R.-septembre-décembre 1986)

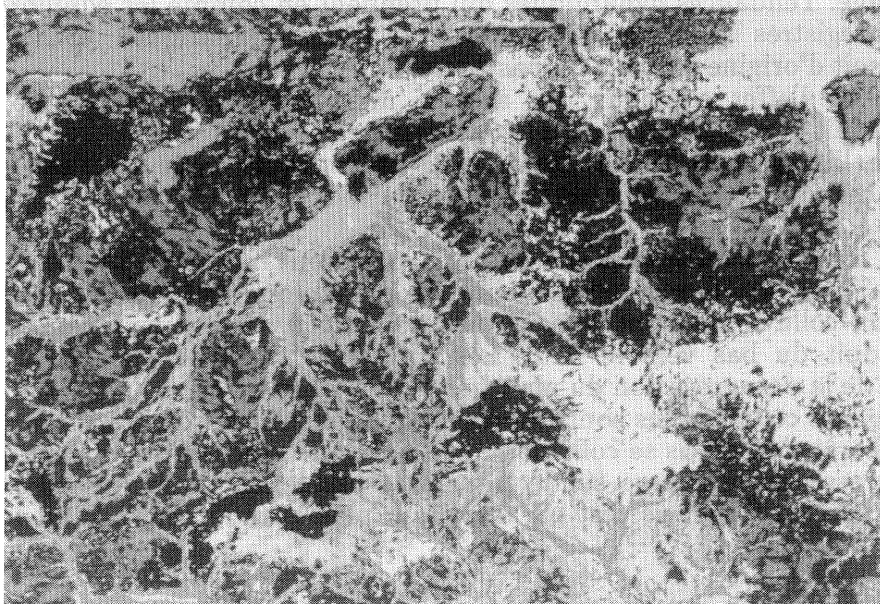
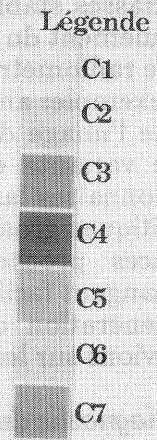


Image 6 - Unités Variantes (UV - septembre-décembre 1986)

dans la partie A de l'image où l'on voit nettement le colluvionnement progressif des arènes granitiques.

Si l'on étudie, par contre les glacis, partie B, la séquence des substrats est inverse. Ceci indique la destruction progressive de ces glacis par érosion régressive. Les sols disparaissent et les arènes granitiques grossières sont exhumées. La destruction de ces sols est consécutive à la disparition du couvert végétale provoqué par le surpâturage. Le ruissellement a alors décapé progressivement les glacis qui n'étaient plus protégés par la végétation.

Le second exemple s'intéresse à la dynamique des unités sableuses et perméables: arènes granitiques, cordons dunaires, dunes de plaquages sableux. Une première séquence est formée de trois unités typiques:

-unité C2: constitue la classe majeure relative des *sables dunaires et arènes granitiques*. Elle est peut couverte par la végétation mais présente cependant une résistance à la dégradation.

-unité C27: représente des *zones dénudées sur sables éoliens* et donc fragiles.

-unité C1: unité variante de *l'erg vif*, stade ultime de la dégradation de ce type de substrat.

A l'inverse l'unité n°72 est celle de la *végétation sur sable* et notamment des zones de champs de mils. Ces sols sont donc propices au développement végétal.

La séquence évolutive montre bien la dégradation progressive d'une partie des cordons dunaires. Dégradation liée là aussi au surpâturage en particulier au transit des troupeaux entre le point d'abreuvement constitué par la mare et les pâturages situées au nord du cordon dunaire. Ce mouvement pendulaire quotidien est responsable de la formation de l'erg vif et de son extension. Une autre cause invoquée résulte de la mise en culture de l'erg récent alors que traditionnellement seuls les sables des cordons dunaires anciens étaient cultivés. Ces vieux cordons avaient subi une pédogénéisation au Quaternaire au cours d'une période marquée par un climat tropical chaud et humide. De ce fait ils possèdent une teneur en argile et en limons supérieure aux sables de l'erg récent et donc une résistance mécanique plus grande à l'érosion éolienne. Cette érosion éolienne intervient en toutes saisons mais surtout durant la saison sèche et à cette période de l'année les champs sont dénudés...

Conclusion.

Nous n'avons pas pu être exhaustif dans l'interprétation de la classification obtenue. Mais on perçoit nettement ce que l'établissement d'un diagnostic dynamique du paysage à partir des données satellitaires peut apporter. La classification obtenue a évidemment fait l'objet de vérifications précises à la fois à partir de cartes établies et de vérités terrain effectuées durant les passages du satellite en 1986. La confrontation avec les cartes de géomorphologie dynamique et l'esquisse pédologique réalisées toutes deux à l'échelle du 1:50.000 montre une concordance très grande pour les faits permanents et évolutifs. La vérification, sur le terrain, des unités dynamiques du paysage sur l'image multidates résultante a mis en évidence que des phénomènes, à peine perceptibles ou de façon très masquées au sol, sont caractérisés très nettement sur l'image multidates. Il s'est avéré que la fiabilité de ce document est supérieure aux cartes précédemment évoquées qui ont été réalisées selon les méthodes habituelles de levées de terrain et d'extrapolation à partir de photographies aériennes.

Trois raisons, au moins, peuvent être invoquées au développement de cette démarche, quelles soient du domaine de la recherche appliquée ou fondamentale.

-La première concerne les recherches sur la dynamique des paysages, recherches qui se heurtent bien souvent au clivage des disciplines. Le milieu naturel est, par définition, unique. Il est donc nécessaire aux différents antagonistes de procéder de manière complémentaire dans un cadre intégrateur, le paysage, perçu à partir des données satellitaires suivant une démarche systémique soucieuse de mettre en évidence les inter-relations entre éléments du milieu. Ainsi, le concept de "seuils de ruptures

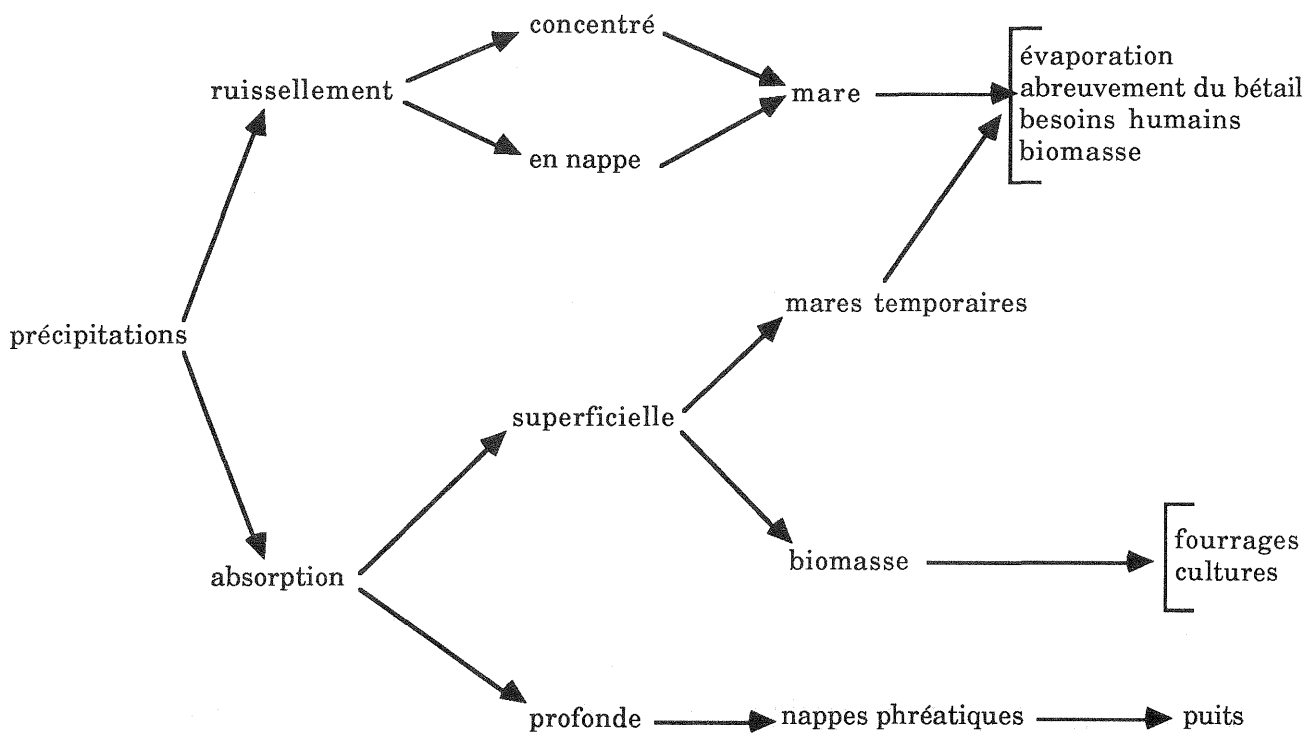


Figure 3 - Cycle de l'eau dans les écosystèmes de mares sahéliennes

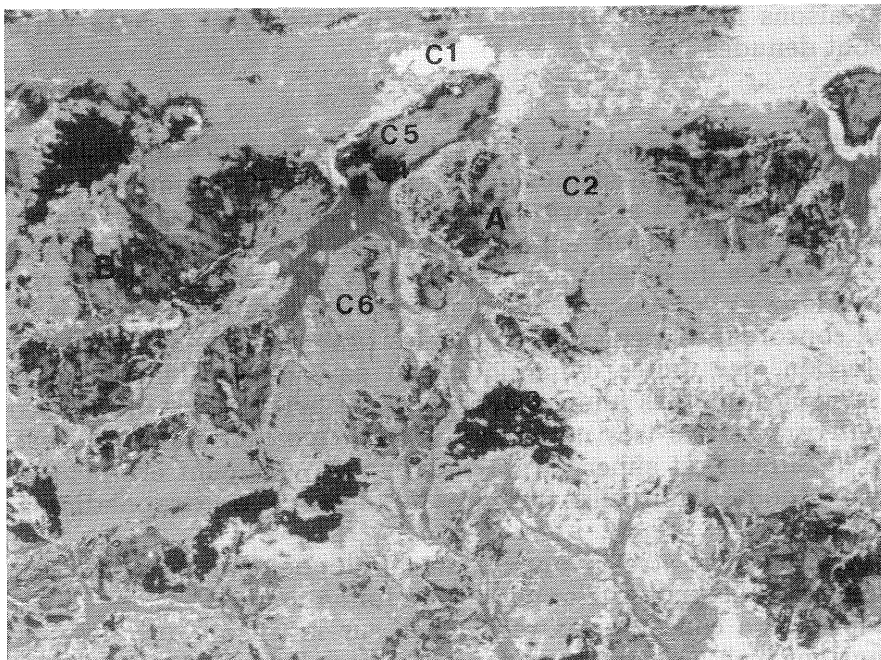


Image 7: Unités Relatives du Paysage
(URP - septembre - décembre)



La signification des UMR notées sur l'image correspond à la légende de la figure 5.

écologiques", préoccupation de nombreux naturalistes, peut être approché avantagement avec cette démarche comme point de départ.

-La seconde est d'ordre cartographique: nombre de pays en développement ne possèdent pas de cartes thématiques précises que se soient dans les domaines de géomorphologie dynamique, de pédologie, de phyto-écologie. La cartographie intégrée des paysages à l'échelle du 1:50.000 et du 1:25.000, est réalisable sur les bases décrites. Ces cartes seraient réalisées avec une équipe pluridisciplinaire au sol réduite, avec un minimum de frais de déplacement. Le coût de revient de la couverture cartographique serait aussi réduite.

-Aux mains d'aménageurs, soucieux de procéder avec prudence et efficacité sur le milieu naturel, l'image multitempore obtenue par cette procédure devient un allié de premier plan.

Bien que le cadre de cette application ait été une zone semi-aride, son utilisation dans des régions ayant des conditions climatiques différentes ne devrait pas poser de difficultés majeures.

(Les résultats détaillés de cette étude sont présentés dans une thèse en préparation par MALEK C.. Soutenance fin 1988).

BIBLIOGRAPHIE

ANDERBERG, 1973: cluster analysis for applications. Academic Press.

ANDRIANASOLO, HH 1987: analyse statistique des données de télédétection - statistiques agricoles - Application sur Madagascar (Doctorat de troisième cycle, EHESS Paris).

BARRAL, H 1977: les populations nomades de l'Oudalan et leur espace pastoral (Travaux et documents, ORSTOM).

JOLY, F-DEWOLF, Y-RIOU, G 1980: le bassin de la mare d'Oursi - étude géomorphologique et géodynamique, contraintes naturelles (cartes) (Laboratoire de géographie physique, P.VII).

LEPRUN, JC 1977: esquisse pédologique au 1:50.000 des alentours de la mare d'Oursi avec notice et analyse des sols (Rapport multi ORSTOM).

MALEK, C 1988: géomorphologie dynamique par télédétection satellitaire de résolution SPOT - Approche conceptuelle et recherche appliquée (Rapport multi PEPS).

TOUTAIN, B 1978: carte des ressources fourragères au 1:50.000. Région d'Oursi (IEMVT 94 Maison-Alfort)
