

# 12

## **Suivi par télédétection de l'évolution de la désertification dans la région de Zinder (Niger)**

SALIFOU KARIMOUNE\*, JEAN ALEXANDRE\*\* et ANDRÉ OZER\*\*\*

*\*Faculté de pédagogie, Université de Niamey, B.P. 10963 Niamey, Niger*

*\*\*Laboratoire de géographie physique, Université de Liège, 7, place du 20-Août, B-4000, Liège, Belgique; téléphone : (32) 41-66-52-67; télécopie : (32) 41-66-57-00*

*\*\*\*Laboratoire de géomorphologie et de géologie du Quaternaire, Université de Liège, 7, place du 20-Août, B-4000, Liège, Belgique; téléphone : (32) 41-66-54-46; télécopie : (32) 41-66-57-00*

### **Résumé**

Dans le cadre d'une recherche partagée de l'AUPELF-UREF, une étude de l'évolution de la désertification dans la région de Zinder (Niger) a été entreprise par les Universités de Liège et de Niamey. Les méthodes utilisées sont l'interprétation visuelle d'une composition colorée d'une sous-image HRV de SPOT couvrant une partie du secteur d'étude et la confrontation de photographies aériennes numérisées avec l'image satellitaire. Les mêmes traitements (seuillage interactif et classification) ont été appliqués à la sous-image et aux photographies aériennes. La comparaison d'images diachroniques (les photographies aériennes sont de 1957-1958 et de 1975 et l'image satellitaire de 1987) permet d'apprécier et d'estimer la réduction de la couverture végétale et les remaniements éoliens entre 1957-1958 et 1987. La végétation ligneuse, de plus en plus contractée, est circonscrite aux lits des oueds et aux dépressions où la nappe n'est pas très profonde, quoique les eaux de surface aient pratiquement disparu. Quant aux remaniements éoliens, ils affectent la quasi-totalité des sommets des dunes anciennes dépourvues de végétation et fragilisés par les cultures. Une campagne de vérité-terrain a permis de valider la plupart des interprétations.

## 1. Introduction

Dans le cadre d'une recherche partagée de l'AUPELF-UREF sur le thème «Télédétection et désertification», une étude consacrée à la dégradation des milieux de la région de Zinder a été entreprise par les Universités de Niamey et de Liège. Cette étude tente de repérer par télédétection des indices de désertification afin d'en suivre l'évolution dans le temps. Les travaux comportent trois étapes.

La première étape a consisté en l'interprétation de photographies aériennes réalisées par l'Institut géographique national (IGN) de Paris (France) en 1975 (vol NIG 40/600 de mars-avril 1975 à l'échelle du 1:60 000). Elle a abouti à l'élaboration d'une carte morphologique. Cette recherche a fait l'objet d'une affiche aux deuxièmes journées scientifiques du réseau de télédétection de l'UREF à Thiès (Sénégal) ainsi que d'une publication (KARIMOUNE *et al.*, 1990).

La deuxième étape a été la confrontation des photographies de 1975 avec celles de 1957-1958 (ces dernières réalisées également par l'IGN au cours des missions AOF ND 32 X et ND 32 XVI à l'échelle du 1:50 000). Elle a permis de détecter un certain nombre d'indices de désertification : réduction de la couverture végétale, changement d'état de surface des sables dunaires de certains secteurs, érosion éolienne par déflation, etc. Au cours de cette deuxième phase, l'acquisition d'une image satellitaire HRV de SPOT prise le 22 novembre 1987 nous permet d'avoir une autre vue du secteur d'étude. La comparaison des situations de 1957-1958, 1975 et 1987 souligne l'amplification des indices détectés, en particulier la déflation et la remobilisation des sables dunaires. Les principaux résultats de cette recherche ont été communiqués lors des troisièmes journées scientifiques de l'UREF à Toulouse.

Au cours de la troisième étape, des photos aériennes ont été numérisées et soumises à des traitements permettant, par comparaison de situations diachroniques, une meilleure visualisation de l'évolution des processus de désertification. En outre, une campagne de vérité-terrain a été effectuée qui confirme la plupart des interprétations.

Le but de cette communication est de présenter les résultats de la dernière étape, à savoir les traitements numériques des photos aériennes et la campagne de vérité-terrain.

## 2. Le cadre géographique

L'étude s'intéresse à la région située à l'est de Zinder (Niger méridional) qui est comprise entre 13°20' et 14°30' de latitude nord, 9° et 10°10' de longitude est (fig. 1). Cette région est caractérisée par une pluviométrie annuelle variant du sud au nord, entre 575 mm (Magaria, moyenne 1938-1987) et 260 mm (Tanout, moyenne 1936-1987). Elle s'étend à la fois sur la zone soudano-sahélienne et la zone sahélienne *stricto sensu*. La zone sahélienne est celle qui reçoit entre 150 et 400 mm de précipitations annuelles et la zone soudano-sahélienne, celle dont la pluviométrie annuelle est comprise entre 400 et 600 mm (AUBREVILLE, 1949; LE HOUEROU, 1979). Selon la classification d'AUBREVILLE (1949), ces zones sont caractérisées, en fonction de la pluviométrie, par une végétation de savane et de steppe arborées à arbustives. Nous avons pu observer, sur le terrain, que la composition floristique varie de façon très sensible lorsqu'on va du sud vers le nord. On passe de formations riches en *Accacia albida* (localement appelé gao) avec, dans les dépressions, *Adansonia digitata* (baobabs) et *Hyphaene thebaïca* (palmiers doum), à des formations où dominent les arbustes épineux (*Accacia seyal*, *Accacia radiana*, *Balanites aegyptiaca*, etc.), et des espèces xérophytes comme *Boscia senegalensis*.

Les traits morphologiques marquants de la région sont des reliefs de quartzite de quelques dizaines de mètres d'altitude relative qui forment des barres plus ou moins allongées

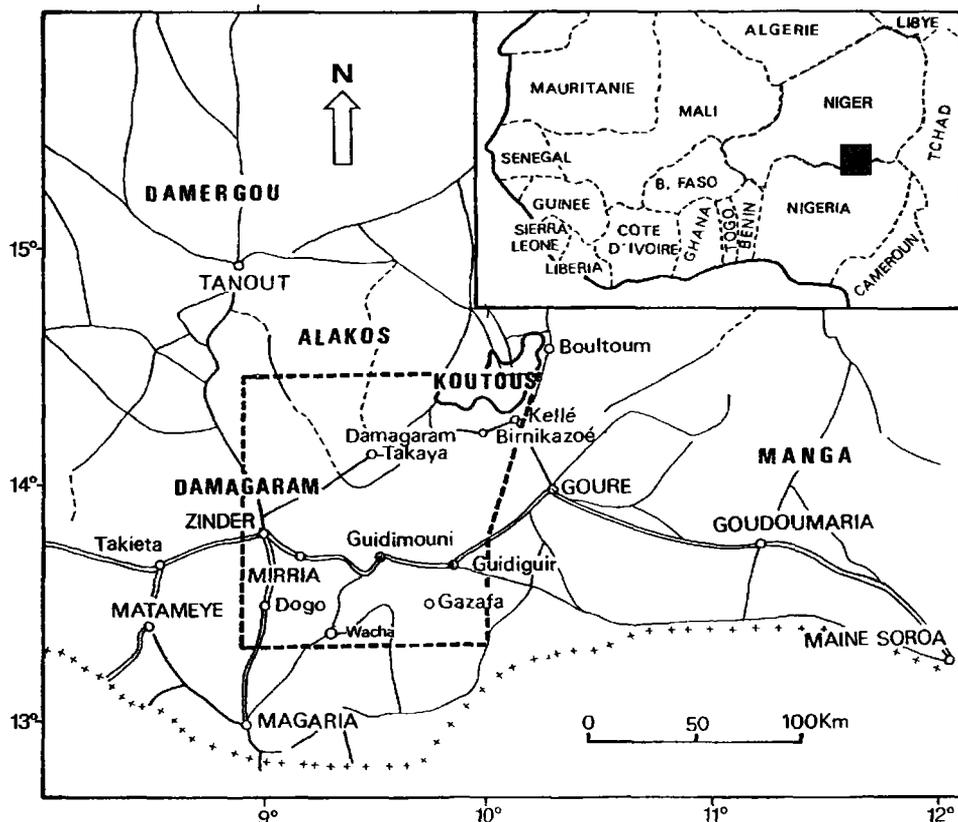


Figure 1. Localisation du secteur d'étude

présentant quelquefois des virgations (GREIGERT et POUGET, 1967) et, surtout, un modelé dunaire hérité des phases arides du Quaternaire (KARIMOUNE *et al.*, 1990 et 1993).

Depuis une vingtaine d'années, les totaux pluviaux annuels ont fortement diminué, engendrant un net décalage des isohyètes vers le sud (fig. 2). Subséquemment, la couverture végétale déjà fort affectée par la pression humaine, s'est nettement dégradée et la protection des sols s'en est trouvée amoindrie. En outre, les vents efficaces sont devenus plus fréquents (KARIMOUNE *et al.*, 1993). Cette évolution a pour conséquence la remise en mouvement des sables des dunes anciennes et l'érosion éolienne des sols par exportation des sédiments fins. Ce sont là des indices de désertification repérables par télédétection. Leur localisation et le suivi de leur évolution permettent de cerner les secteurs les plus sensibles afin de mieux cibler les zones où des actions de protection et de conservation de l'environnement doivent être envisagées.

### 3. Méthodologie

Dans les premières étapes de notre travail de recherche, nous avons utilisé quelques techniques simples pour mettre en évidence les indices de désertification : l'interprétation de

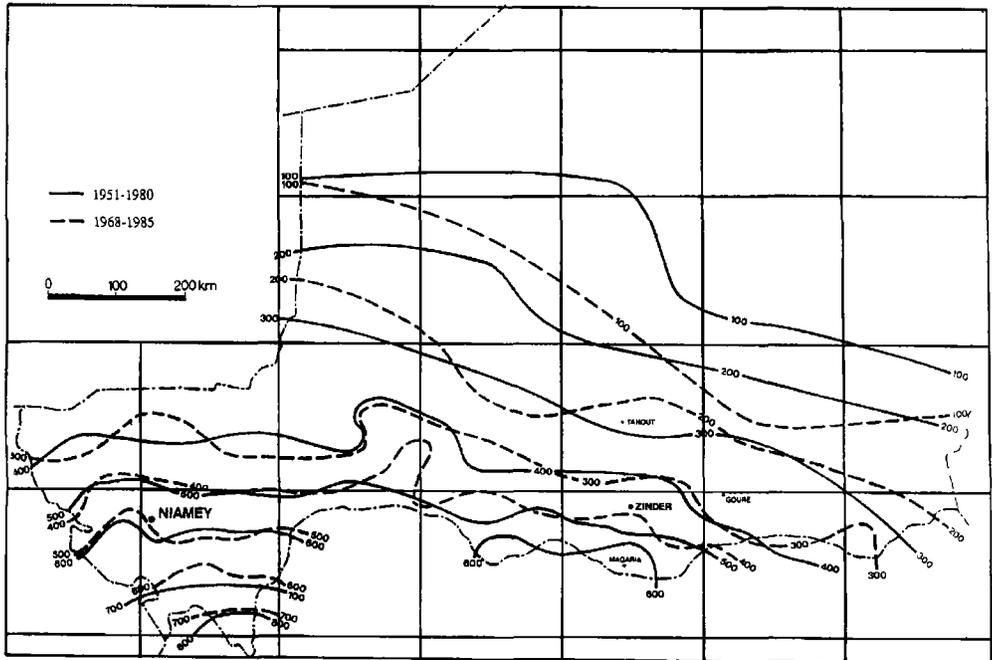
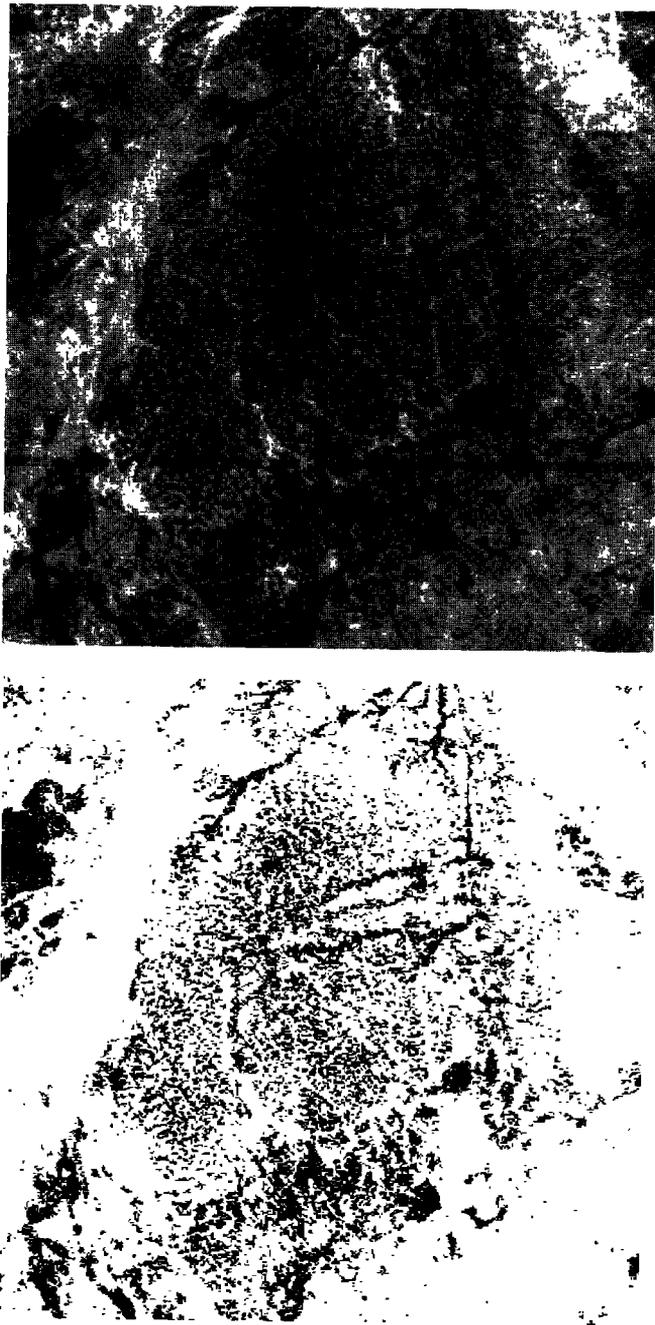


Figure 2. Décalage des isohyètes suite à la réduction de la pluviométrie depuis la fin des années soixante (synthèse d'après MAMADOU, 1989)

couples stéréoscopiques pour les photographies aériennes, l'interprétation analogique de certains traitements numériques (composition colorée, filtrages directionnels, seuillages interactifs) pour l'imagerie satellitaire HRV.

Dans la présente étape, une interprétation visuelle d'une composition colorée de la zone d'intérêt a d'abord été effectuée. Puis une confrontation de l'image satellitaire avec les photographies aériennes de 1957-1958 et de 1975 a été réalisée. Pour ce faire des photographies aériennes ont été numérisées séparément. Ce procédé consiste à les transformer, par balayage, en images numériques à 256 niveaux de gris. Ainsi, on peut les soumettre à un certain nombre de traitements qui ont déjà été appliqués à l'image satellitaire, en particulier au seuillage interactif. La mise en évidence de la couverture végétale peut être obtenue par binarisation des photographies numérisées (DEFOURNY, 1990) ou par un seuillage visant à extraire de l'image une classe végétation (fig. 3). Ensuite les photographies aériennes de 1957-1958 et de 1975 couvrant les mêmes territoires ont été comparées deux à deux. Afin de les rendre superposables, les images acquises aux trois dates (photographies aériennes et imagerie satellitaire) ont été géoréférencées et rectifiées. Des points communs choisis sur une carte au 1:50 000 et sur les trois images ont été utilisés pour l'application d'une rectification linéaire. La taille des pixels des photographies aériennes a été dégradée et ramenée à 20 m de façon à correspondre à celle des pixels de l'image satellitaire. Une classification supervisée ayant pour objectif la mise en évidence de la couverture végétale et des sables remaniés est ensuite appliquée à la partie commune aux trois images. On peut alors suivre l'évolution des deux principaux indices de désertification par comparaison des situations de 1957-1958, 1975 et 1987.

Le deuxième aspect du travail de cette étape est la campagne de vérité-terrain effectuée pour vérifier la validité des interprétations des images.



**Figure 3.** a) amélioration de contraste sur une photographie aérienne de 1958 numérisée (secteur de Makaoratchi); b) mise en évidence de la végétation; à noter que les reliefs quartzitiques localisés à l'ouest de la photographie apparaissent dans la même classe de gris que la végétation

#### 4. Résultats

Sur une composition colorée de l'image satellitaire HRV on peut facilement discerner les grands traits de la morphologie (reliefs de quartzite, dépressions et dunes anciennes) ainsi que les remaniements éoliens actuels (sables remobilisés et secteurs de déflation) (fig. 12-4, voir cahier couleur). Mais c'est la confrontation de la situation de 1987 avec celles de 1975 et 1957-1958 qui permet d'apprécier les changements intervenus en une trentaine d'années. Cependant, sur les seuillages, les reliefs de quartzite et divers affleurements rocheux se situent dans la même gamme de gris que la végétation (fig. 3b). Les reliefs les plus importants se situent à la périphérie du secteur considéré. Aussi peut-on les éliminer en utilisant un masque. De cette manière, on peut avoir une meilleure estimation de la densité de la couverture végétale. La comparaison des photographies de 1957-1958 et celles de 1975 souligne la grave dégradation de la couverture végétale entre les deux prises de vue (fig. 12-5 a et b, voir cahier couleur). La confrontation des photographies aériennes avec l'image satellitaire n'est pas assez aisée pour donner une idée de l'évolution du couvert végétal entre 1975 et 1987. Des confusions existent également entre dépressions et végétation d'une part et affleurements de grenaille et de cuirasse latéritiques, d'autre part. Ces affleurements négligeables en 1957-1958 et même en 1975 prennent des proportions importantes en 1987 suite à la déflation de plus en plus efficace qui sévit sous le vent des reliefs résiduels et déblaie les sédiments de couverture. C'est la présence de ces affleurements qui explique l'expansion de la classe «dépressions et végétation» dans la partie centre-nord de l'image satellitaire (fig. 12-5 c, voir cahier couleur). Des tentatives de classification plus fine n'ont pas donné de meilleurs résultats. Si donc la comparaison entre les trois images reste fiable pour les sables remaniés, elle devient plus aléatoire en ce qui concerne la végétation. Pour cet élément du paysage, ne peut être prise en compte que la confrontation entre les photographies aériennes de 1957-1958 et celles de 1975. Bien que les classes ne se recouvrent pas tout à fait, nous en avons tiré les statistiques données au tableau I, le but poursuivi étant la mise en évidence de l'amplification de la remobilisation des sables, indicatrice à la fois de la réduction de la couverture végétale et de l'accentuation de l'efficacité des vents, les deux allant de pair.

Sur la photographie de 1957-1958, la végétation est relativement dense. Le remaniement des sables dunaires n'est que très ponctuel.

En 1975, la végétation se limite à quelques lits d'oued et une grande partie du secteur a été déglacée de ses sédiments fins superficiels, balayés par la déflation. Une partie des sédiments fins exportés s'est déposée contre l'obstacle que constitue le relief de quartzite situé à l'ouest de la zone de déflation. En outre, deux anciennes dunes longitudinales, auparavant peu affectées par les remaniements éoliens ont une réflectance plus forte qui témoigne de la remise en mouvement des sables. Par contre, la grande dune longitudinale qui borde le NO du secteur n'est que faiblement affectée par les remaniements éoliens.

En 1987, le secteur balayé par la déflation s'est élargi, les zones à forte réflectance se sont étendues, en particulier au sommet des dunes longitudinales et autour des villages où on note

**Tableau I.** Évolution de quelques éléments du paysage dans le secteur de Makaoratchi entre 1957-1958 et 1987

	1957-1958	1975	1987
Dépressions et végétation	36%	14%	8%
Sables remaniés	6%	16%	23%
Delta	0,2%	0,24%	0,56%

des auréoles de plus forte luminance suite au piétinement excessif et aux pâturages (fig. 12-4 et 12-5 c, voir cahier couleur).

Le remaniement des sables affecte souvent les champs où les paysans ont enlevé la végétation arbustive et les souches de mil de la saison précédente et ont nettoyé l'herbe sèche, lesquelles constituent les principaux obstacles au transit éolien. La pratique de la jachère a permis à la végétation arbustive et herbacée de se reconstituer assez rapidement sous les conditions climatiques favorables des années antérieures à 1968 et donc de freiner, voire d'annihiler au fil des ans, la remobilisation des sables dans les champs. Ainsi peut s'expliquer la disparition des sables remaniés de la partie supérieure de la photographie aérienne de 1958. Cependant, comme mentionné plus haut (analyse de la situation de 1975), nous pensons plutôt que les vents, de plus en plus efficaces, suite à la réduction de la couverture végétale, ont exporté les sables vers les secteurs situés au sud-ouest. En effet, la comparaison des situations de 1957-1958, de 1975 et de 1987 (fig. 12-5 a, b et c, voir cahier couleur) permet de suivre le déplacement des sables remaniés qui sont nettement plus répandus dans la partie sud-ouest de l'image de 1987 par rapport aux vues antérieures.

L'extension plus importante des dépressions dans la partie sud-est de l'image de 1987 est sans doute liée au développement assez spectaculaire, autour des zones marécageuses, des cultures de contre-saison depuis le début des années 80. L'accroissement des superficies des zones humides peut également s'expliquer par l'intensification du ruissellement qui, même pour des précipitations relativement faibles, apporte dans les dépressions des quantités appréciables d'eau. Cette intensification de l'écoulement au détriment de l'infiltration est liée d'une part à la réduction de la couverture végétale et d'autre part à des affleurements de plus en plus étendus, suite à la déflation, d'horizons imperméables. Elle engendre d'ailleurs une érosion de plus en plus sévère des sols attestée par l'augmentation considérable du volume des deltas, notamment entre 1975 et 1987 (fig. 12-5 a, b et c, voir cahier couleur, et tab. I).

Les résultats de ces interprétations ont été par la suite vérifiés lors d'une première campagne de vérité-terrain menée en janvier 1991.

## **5. L'apport de la campagne de vérité-terrain**

Les travaux de terrain sont indispensables pour confirmer, nuancer ou corriger les interprétations de télédétection. Ils doivent, dans certains cas, se doubler d'enquêtes auprès des populations.

Ainsi, pour avoir des informations sur l'évolution de la couverture végétale et des plans d'eau, avons-nous interrogé des paysans rencontrés dans notre secteur d'étude. Tous les témoignages concordent pour dire que la végétation était très dense avant la sécheresse de 1968-1973. «Une véritable forêt» couvrait, notamment, le secteur de Makaoratchi. Les dépressions étaient de grandes mares permanentes, voire des lacs. Depuis une vingtaine d'années, la «forêt» a pratiquement disparu, les lacs se sont asséchés, les oueds à écoulement saisonnier ont cessé de fonctionner. Aujourd'hui, des puits sont creusés dans les lits des oueds pour l'alimentation en eau, et, au fond de certains lacs, l'argile est exploitée pour la fabrication des briques servant à la construction des habitations. Les secteurs où la végétation a fortement diminué sont soumis à d'intenses processus de déflation. Cette vigueur de l'activité éolienne est attestée par l'anémomorphisme des arbustes (fig. 12-6, voir cahier couleur).

La déflation amène l'affleurement d'étendues de cuirasse et d'épandages de grenailles latéritiques qui constituent de véritables regs (fig. 12-7, voir cahier couleur). Ces éléments du paysage correspondent aux teintes sombres, gris foncé sur la composition colorée de l'image satellitaire (fig. 12-4, voir cahier couleur). L'un des linéaments détectés sur les images est un

ancien cours d'eau dont le lit, constitué par de la grenaille latéritique indurée, est aujourd'hui en inversion de relief. Il mesure au moins 60 m de large sur quelques kilomètres de longueur.

La déflation exhume en outre un glaçage ancien qui bloque l'infiltration des eaux de pluie et favorise l'écoulement superficiel, en nappe. La puissance des processus éoliens est telle qu'il ne subsiste de sédiments fins, dans les secteurs de déflation, qu'autour des arbustes qui constituent ainsi des îlots surélevés par rapport aux surfaces environnantes couvertes de grenailles. Un micromodèle éolien existe aussi dans les champs où les limites, en relief, sont soulignées par des accumulations ou des reliques de sédiments fins, alors que les parties cultivables sont en creux.

Nous avons pu constater également que les sommets des dunes sont effectivement soumis aux remaniements éoliens, surtout lorsque les paysans ont préparé leurs champs de façon précoce. Ces remaniements n'intéressent en général que les couches superficielles des sables dunaires. Mais cela donne lieu néanmoins à une suralimentation des zones frontales des dunes et à l'ensablement des cuvettes ou des routes lorsque celles-ci passent au pied des édifices dunaires (fig. 12-8, voir cahier couleur). Les remaniements peuvent aussi avoir des caractères beaucoup plus importants et provoquer le creusement de caoudeyres de plusieurs dizaines de mètres de diamètre ou la formation de dunes d'obstacles (fig. 12-9, voir cahier couleur) lorsqu'un écran de végétation s'oppose au transit éolien. Les alluvions sableuses des oueds sont aussi remobilisées par le vent qui peut les modeler en petites dunes. Il faut noter qu'elles sont issues de sables dunaires repris par les oueds pendant la saison des pluies. C'est pour cette raison que les sables dunaires remaniés et les alluvions des oueds ont la même réflectance sur les images traitées.

## 6. Conclusion

Comme nous l'avons souligné dans les communications précédentes (KARIMOUNE *et al.*, 1990, KARIMOUNE *et al.*, 1993), la dégradation des milieux est très sensible dans la région de Zinder. Les secteurs les plus affectés sont ceux situés dans la partie septentrionale ou zone sahélienne. Dans la partie méridionale ou zone soudano-sahélienne, de grandes surfaces situées sous le vent des reliefs de quartzite et autres massifs rocheux sont dénudées parce que leur végétation a fortement diminué, remplacée par des arbustes xérophiles. Cette réduction de la couverture végétale est elle-même liée à la diminution de la pluviosité et à l'action anthropique. En effet, la préparation précoce des champs, la coupe du bois pour divers besoins ménagers et l'augmentation du cheptel jouent un rôle important dans la fragilisation des sols et des paysages. Les actions visant à restaurer les milieux devront en tenir compte.

Pour mieux caractériser les sables mobiles, nous avons commencé à faire en laboratoire, des mesures radiométriques sur des échantillons prélevés lors de la campagne de terrain. Puis, dans une étape prochaine, nous comptons faire des mesures *in situ* avec un spectro-radiomètre à haute résolution dont les bandes seront étalonnées sur celles de TM. L'analyse d'une image TM en voie d'acquisition et ces mesures devraient nous permettre de mieux cerner l'évolution de la désertification dans la région de Zinder.

## 7. Remerciements

Nous nous devons de remercier l'AUPELF-UREF qui nous a accordé les subsides nécessaires pour mener à bien nos recherches, ainsi que le laboratoire de télédétection de la Faculté des

sciences agronomiques de Gembloux (service de S. Dautrebande) et celui de l'Université de Liège-SURFACES (J.-P. Donnay) pour leur aide précieuse dans la numérisation des photographies aériennes et le traitement des images, M. B. Mahamane Sany, doyen de la Faculté de pédagogie de l'Université de Niamey, pour le soutien logistique lors de la campagne de vérité-terrain.

## **8. Références**

- AUBREVILLE, A. 1949. Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Société d'éditions géographiques et coloniales, Paris, 351 p.
- DEFOURNY, P. 1990. Méthode d'évaluation quantitative de la végétation ligneuse en région soudano-sahélienne à partir de données Landsat TM (Burkina Faso). *in* LAFRANCE, P. et DUBOIS, J.M (réd.). Apports de la télédétection à la lutte contre la sécheresse, Journées scientifiques de Thiès, 21-24 novembre 1989, Éditions AUPELF-UREF et John Libbey Eurotext, Paris, p. 63-74.
- GREIGERT, J. et POUQUET, R. 1967. Notice explicative sur la carte géologique de la République du Niger au 1:2 000 000, Édition du Bureau de recherches géologiques et minières, Paris, 62 p.
- KARIMOUNE, S., OZER, A. et ERPICUM, M. 1990. Les modelés éoliens de la région de Zinder (Niger méridional), étude de photogéomorphologie, note préliminaire. *in* Lafrance, P. et Dubois, J.-M. M. (réd.). Apports de la télédétection à la lutte contre la sécheresse. Journées scientifiques de Thiès, 21-24 novembre 1989, Éditions AUPELF-UREF et John Libbey Eurotext, Paris, p. 145-161.
- KARIMOUNE, S., DONNAY, J.-P. et OZER, A. 1993. Désertification dans le sud nigérien. Interprétation d'une image SPOT. *in* Dubois, J.-M. M. et Blasco, F. Outils micro-informatiques et télédétection de l'évolution des milieux. Éditions AUPELF-UREF et les Presses de l'Université du Québec, p. 77-106.
- LE HOUEROU, H. N. 1979. Écologie et désertification en Afrique. Travaux de l'Institut de géographie de Reims, n° 39-40, p. 5-26.
- MAMADOU, D. 1989. Les dates favorables des semis au Niger : exemple de la culture du mil. Mémoire de maîtrise en sciences de l'environnement : agrométéorologie. Fondation universitaire luxembourgeoise, Arlon, 34 p et annexes.