

14

Les modelés éoliens de la région de Zinder (Niger méridional), étude de photogéomorphologie, note préliminaire

SALIFOU KARIMOUNE*, ANDRÉ OZER** et MICHEL ERPICUM***

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

***Laboratoire de géomorphologie et géologie du Quaternaire, Université de Liège, place du 20-Août, 7, 4000 Liège, Belgique*

****Laboratoire de géographie physique, Université de Liège, place du 20-Août, 7, 4000 Liège, Belgique*

Résumé

L'analyse de photographies aériennes de la région de Zinder (Niger méridional) a permis de relever plusieurs problèmes géomorphologiques, géologiques et hydrographiques. Tout d'abord, les reliefs résiduels et la structure tectonique ont pu être cartographiés. Le repérage de nombreux linéaments interprétés soit comme failles soit comme diaclases est du plus haut intérêt pour la recherche d'aquifères. Ensuite, deux systèmes dunaires ont été distingués, l'un transversal, l'autre longitudinal par rapport aux alizés du NE. Reliefs résiduels et systèmes dunaires jouent un rôle important dans la localisation des lacs et mares temporaires et dans le tracé du réseau hydrographique. Les lacs et mares sont localisés en position sous le vent des reliefs résiduels ou au pied des dunes longitudinales.

L'étude de la genèse des systèmes dunaires et des dépressions lacustres associées devrait permettre une meilleure compréhension des phases de désertification depuis le Pléistocène supérieur et ainsi de mieux cerner l'évolution actuelle.

1 Introduction

L'étude de photogéomorphologie ci-après constitue la première étape d'une recherche de plus grande envergure dont le but est de mieux saisir la progression de la désertification dans le sud du Niger. Le secteur présenté ici (fig. 1) s'étend entre 13° 20' et 14° 30' de latitude N et 9° et 10° 20' de longitude E. Il est situé entre les localités de Zinder à l'ouest et de Gouré à l'est. Cette région, appelée le Damagaram-Mounio, présente du point de vue morphologique un intérêt certain pour comprendre le phénomène de désertification. En effet, située sur les marges sud du désert du Tenéré, elle a enregistré des fluctuations climatiques quaternaires dont certaines sont responsables d'épandages éoliens variés. La sécheresse, qui depuis les années 70 affecte cette région, engendre à nouveau une remobilisation des sables notamment au nord et à l'est dans les régions limitrophes du Damergou et du Manga. Mais le Damagaram connaît aussi, depuis une vingtaine d'années, de profondes transformations écologiques. On y constate une grave dégradation du couvert végétal qui entraîne localement une remise en mouvement des sables jusqu'ici fixés par la végétation.

Ces phénomènes récents peuvent être appréhendés par l'analyse de photographies aériennes et d'images satellitaires. La prochaine étape de cette recherche concernera le traitement d'images SPOT de ce secteur.

La télédétection permet aussi de saisir, grâce à l'étude morphologique, le rôle des apports éoliens, mis en place au cours des phases arides quaternaires, dans la modification du réseau hydrographique et dans la localisation des lacs et mares temporaires. Elle permet, par ailleurs, de repérer la structure dans les zones d'affleurement du socle, entre autres les failles et linéaments, en vue d'avoir des éléments significatifs pour une prospection hydrogéologique.

Cette note préliminaire vise donc à présenter les premiers résultats de l'analyse photogéomorphologique d'un petit secteur de la zone envisagée. Aussi, avons-nous émis un certain nombre d'hypothèses de travail qui ne demandent qu'à être confirmées par des analyses photogéologiques de l'ensemble de la région et confrontées à des examens d'autres photographies aériennes et d'images satellitaires prises à d'autres périodes ainsi qu'à la vérité terrain.

2 Cadre géologique

La région du Damagaram-Mounio constitue un seuil où le cristallin affleure en boutonnière (Greigert et Pougnet, 1967) entre les bassins des Iullemmeden à l'ouest et du Tchad à l'est.

Il faut distinguer trois grands ensembles géologiques : le socle cristallin, le continental hamadien (crétacé) et la couverture sableuse quaternaire (fig. 2).

2.1 Le socle

Il apparaît par plages plus ou moins étendues à travers la couverture sableuse. Il est constitué de séries métamorphiques : micaschistes, schistes, cipolins, gneiss et quartzite d'âge suggarien (Greigert et Pougnet, 1967). Ces séries fortement plissées suivant des directions variables ont été recoupées par des intrusions granitoïdes syn- à tardi-tectoniques (Joo' et Franconi, 1983) appelées granites anciens. Parmi les séries métamorphiques, les quartzites sont les roches les plus représentées. Ils forment l'armature du relief.

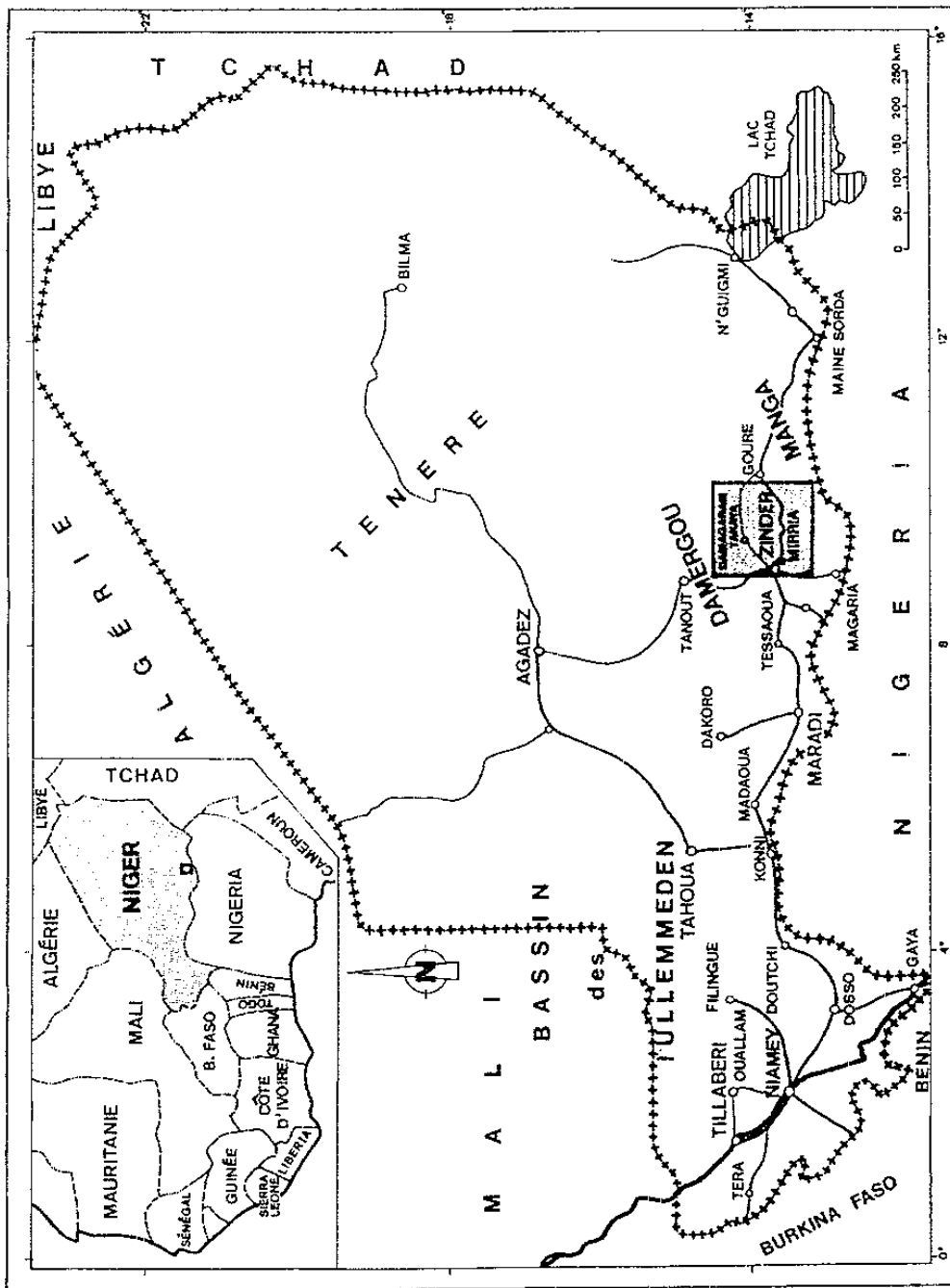


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

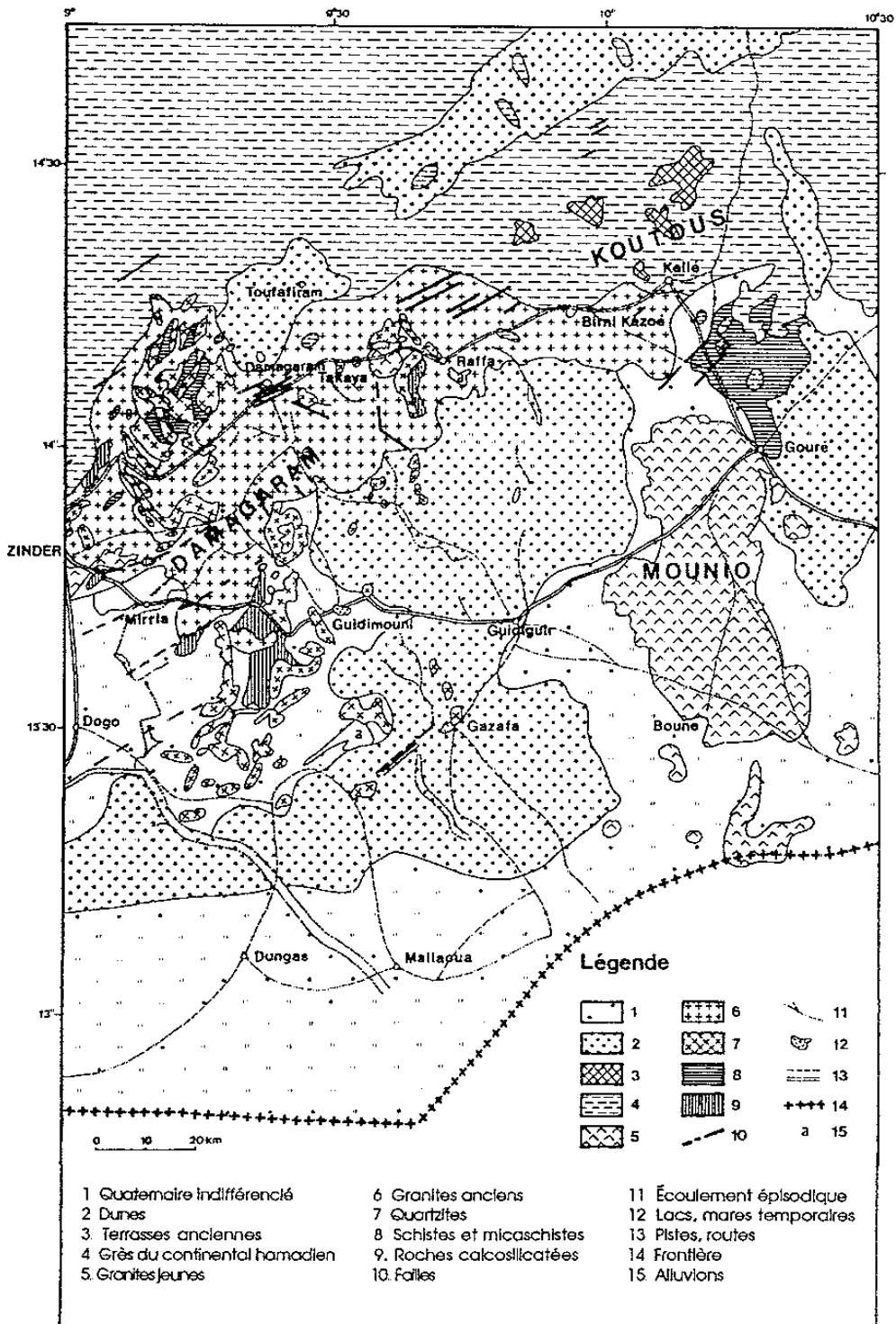


Figure 2. Carte géologique d'après H. Faure (1966)

Les granites anciens prennent en écharpe tout le secteur d'étude apparaissant entre les localités de Zinder et Birni Kazoé

Des intrusions alcalines plus tardives (310 à 295 millions d'années AA, Bowden *et al.*, 1976, cité par Joo' et Franconi, 1983) granitiques associées à un volcanisme rhyolitique forment deux massifs dans le Damagaram (est de Zinder et région de Zarnouski, non loin de Raffa) et la totalité du massif du Mounio. Ces granites jeunes donnent aussi des collines, surtout autour de la ville de Gouré.

2.2 Le continental hamadien

Il est formé par un ensemble de dépôts fluviatiles d'âge crétacé supérieur constitués de grès fins à grossiers. Ces grès à ciment argileux de couleur blanche, brune et violette présentent des stratifications entrecroisées et de fréquentes variations latérales de faciès (Mignon, 1970, cité par Ousmane, 1978). Le continental hamadien forme le massif du Koutous au nord du Damagaram-Mounio et les buttes qui en constituent le prolongement à l'ouest et au sud.

2.3 Les sables quaternaires

Les dépôts sableux recouvrent de façon irrégulière toute la région ne laissant affleurer qu'assez rarement le socle. Parfois, ils ne constituent qu'un nappage de quelques centimètres à quelques décimètres d'épaisseur ou bien ils sont agencés en dunes importantes. Celles-ci se localisent surtout au nord, à l'est et au sud du secteur d'étude. Elles sont les témoins de phases arides qui, au Quaternaire, ont affecté cette région. L'étude de leur genèse devrait permettre de mieux cerner les variations climatiques qui ont marqué la région et de mieux comprendre l'évolution actuelle de la désertification.

2.4 Tectonique

Sur le plan tectonique, au moins deux phases de déformation ont affecté le Damagaram. La première, la plus souple, a intéressé les séries métamorphiques donnant des plis orientés NO-SE et NE-SO. Cette tectonique contemporaine de la mise en place des granites syntectoniques a donné des anticlinaux et des synclinaux à axes obliques par rapport à l'horizontale (Greigert et Pougnet, 1967).

À cette tectonique souple a succédé une tectonique cassante produisant des cassures orthogonales (N 150° et N 60°) à remplissage quartzeux.

Les accidents N 150° sont les plus fréquents. Les fractures N 60° affectent aussi le massif du Mounio et ont donc dû jouer plus récemment (Greigert et Pougnet, 1967).

3 Climat

La région de Zinder est caractérisée par un climat sahélien avec une pluviométrie annuelle de 472 mm (moyenne 1905-1987, station de Zinder aéroport).

Cette pluviométrie se dégrade du sud au nord (Magaria : 575,5 mm, Zinder : 472 mm, Tanout : 260,6 mm) et d'ouest en est (Zinder : 472 mm, Gouré : 350 mm). Les précipitations sont centrées sur les mois de juin, juillet, août et septembre avec une période humide allant de la fin juin à la mi-septembre (fig. 3).

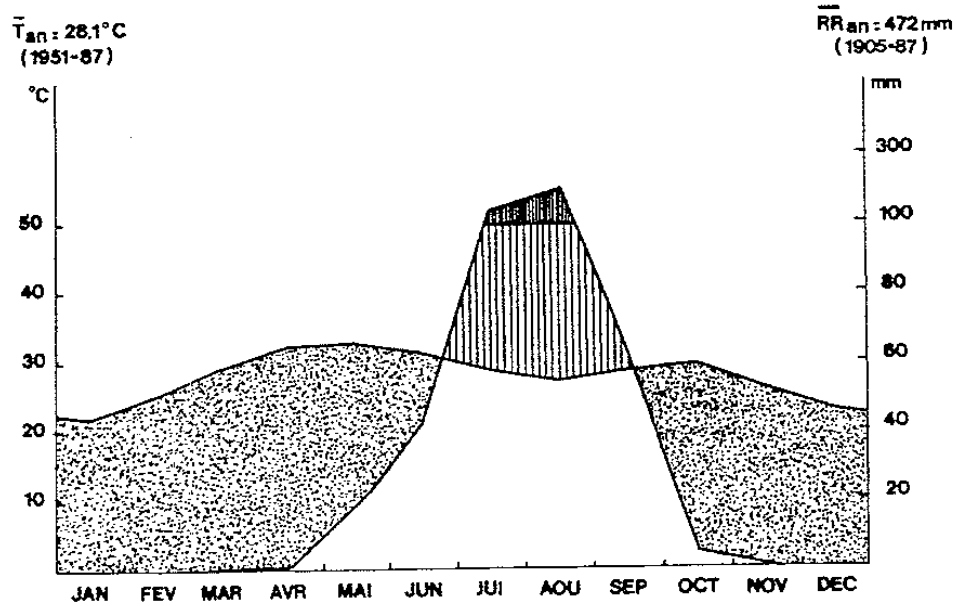


Figure 3. Diagramme ombrothermique de la station de Zinder

Le diagramme de l'évolution des précipitations annuelles (1905-1987)(fig. 4) fait ressortir une nette détérioration de la pluviosité depuis 1966. Hormis les années excédentaires de 1974, 1976, 1978 et 1980, les précipitations annuelles sont nettement en-dessous de la moyenne pluviométrique. De 1908 à 1916, un net déficit pluviométrique était observé. De 1925 à 1965, les précipitations étaient généralement excédentaires. La dégradation de la pluviosité entraîne une dégradation de la couverture végétale, celle-ci est accentuée par l'action anthropique (bois de chauffe, d'ouvrage, surpâturage, travail des champs).

L'affaiblissement de la protection du sol par la végétation facilite l'érosion éolienne et la remobilisation des sables.

La figure 5 a l'avantage de montrer la très grande variabilité des caractéristiques de la saison des pluies en région sahélienne. Cette variabilité est marquée non seulement par des dates de début et de fin de la saison des pluies très variables d'une année à l'autre mais également par des interruptions plus ou moins longues. Le critère retenu pour la caractérisation de la saison des pluies est très sévère et lié à l'exploitation agricole selon des critères de précipitation proposés par la FAO. Erpicum *et al.* (1988) ont proposé une méthode originale d'étude des variations spatio-temporelles de la saison des pluies en région sahélienne à partir d'un transect N-S appliqué au Sénégal. Daouda (1989) a analysé les aspects climatiques du début de la saison des pluies au Niger selon divers critères appliqués à la culture du mil. Ces considérations d'ordre agroclimatologique doivent être prises en compte pour l'analyse des processus géomorphologiques actuels et l'analyse des documents satellitaires.

Avant d'aborder l'étude des tendances actuelles de la désertification sont analysés le modelé imprimé par les phases arides passées et son rôle dans l'organisation du réseau hydrographique de la région.

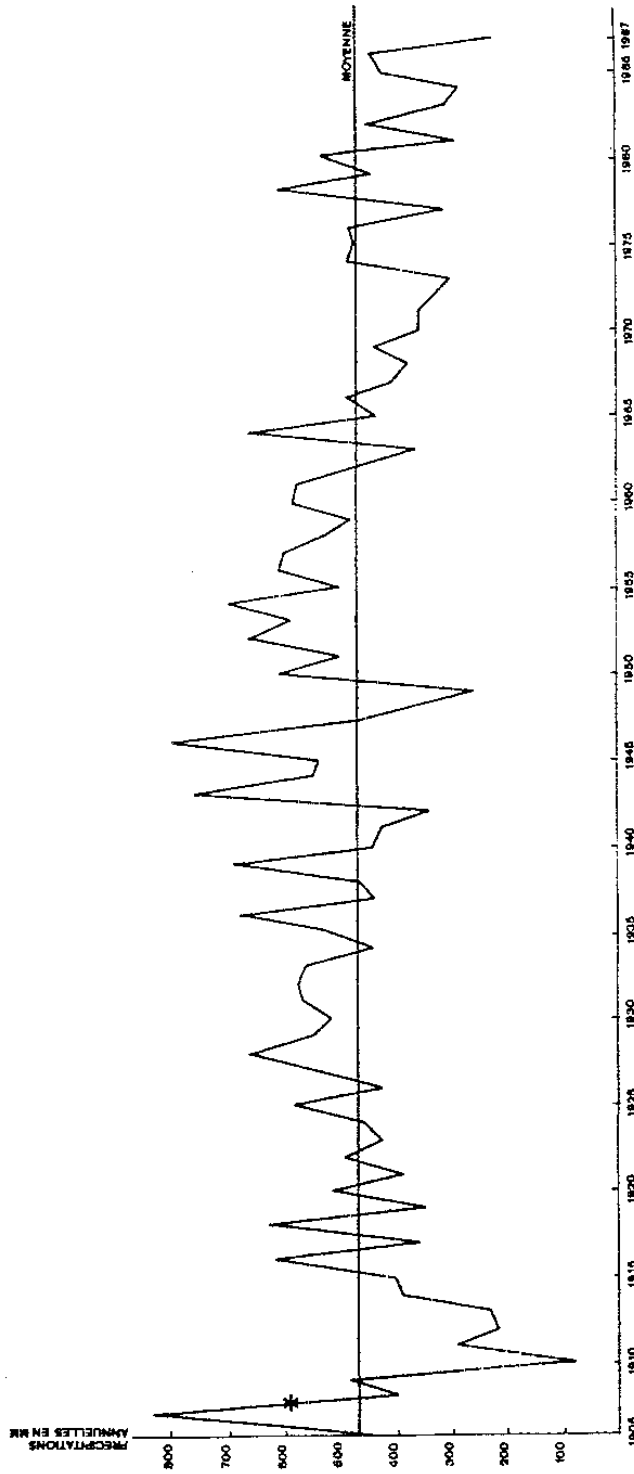


Figure 4. Évolution des précipitations annuelles à Zinder pour la période 1905-1987

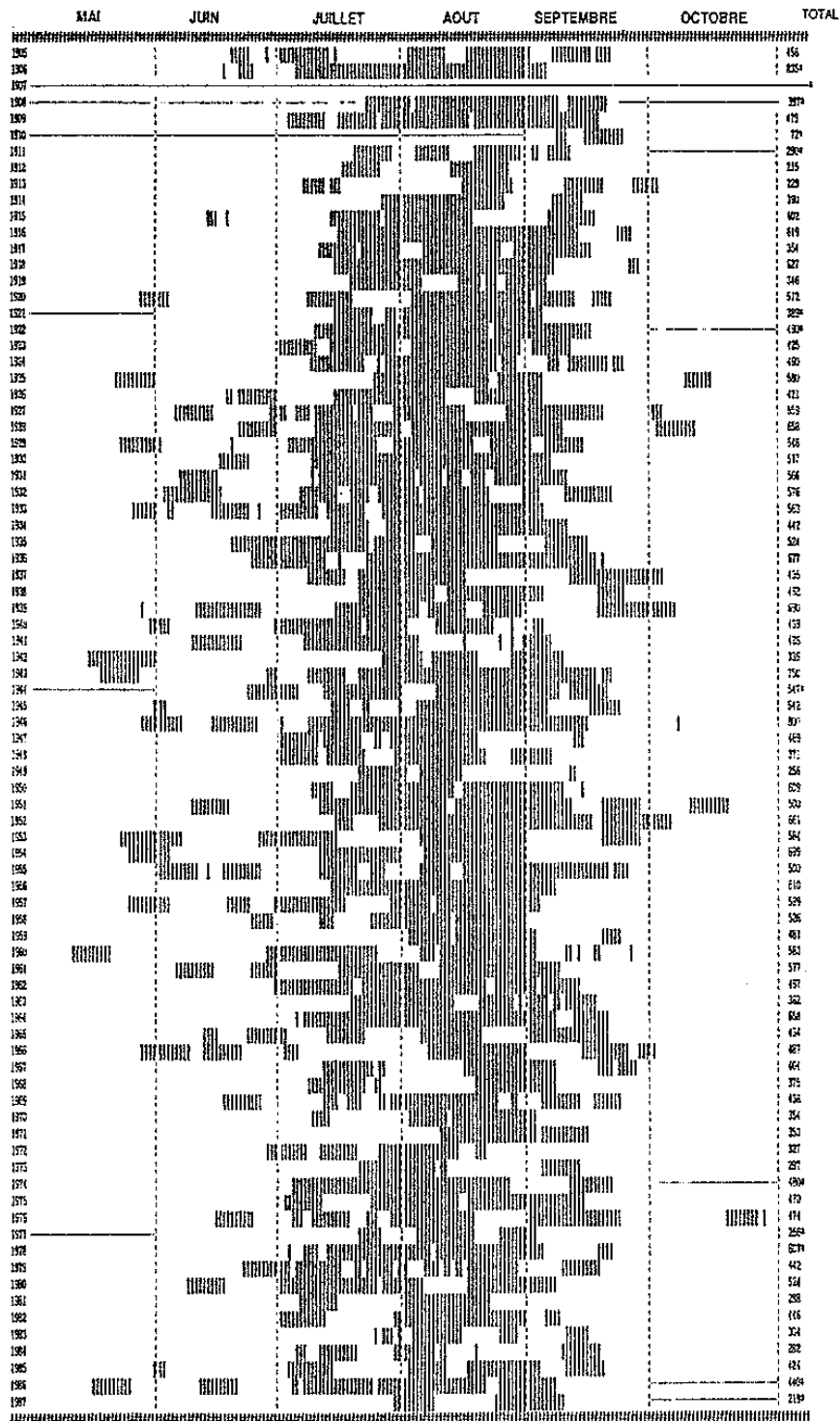


Figure 5. Évolution des précipitations à Zinder pendant la période 1905-1987 (- : pas de mesure de précipitation pour la journée, | : jour de la saison des pluies pour lequel le total des pluies des dix derniers jours est supérieur ou égal à 30 mm)

4 Étude photogéomorphologique

Cette étude a été réalisée à partir de photographies aériennes panchromatiques au 1:60 000 (vol NIG 1975 40/600) prises en mars et avril 1975. Elle a permis de distinguer des reliefs résiduels et des systèmes dunaires et leur influence dans l'organisation du réseau hydrographique

4.1 Les reliefs résiduels

Ils se présentent comme des collines allongées (fig. 6 et 7) ou comme des alignements de petits massifs d'orientation NE-SO ou NNO-SSE. Ces collines et massifs forment aussi des arcs ou se disposent localement en structure circulaire. Ils sont, dans le secteur étudié, quartzitiques. Les autres types de roches n'affleurent que très rarement et sur des étendues très limitées. Ils émergent à peine des sables et apparaissent toujours très déprimés par rapport aux reliefs quartzitiques. L'organisation du modelé en bandes allongées, faisant alterner collines quartzitiques culminant à même hauteur et zones déprimées, laisse supposer l'existence d'une ancienne surface de pénéplanation. À partir de celle-ci, une profonde altération développée, soit dans des roches plus sensibles, soit dans des roches plus fracturées, suivie du déblaiement par les agents météoriques des altérites auraient dégagé les collines de quartzite non altéré. Les zones déprimées ont été, par la suite, le siège de dépôts et de remaniements éoliens.

De fait, les reliefs quartzitiques sont eux-mêmes très fracturés. Les accidents repérés ont deux orientations principales NO-SE à NNO-SSE (les plus fréquents) et NE-SO. Ces accidents ont quelquefois engendré d'importants décrochements. Ils sont actuellement exploités par les écoulements lors des précipitations, ce qui contribue à la désagrégation des reliefs quartzitiques.

On note aussi, dans les dépressions allongées et sur les affleurements non quartzitiques, l'existence de nombreux linéaments ayant les mêmes orientations que les cassures précitées. Ces linéaments pourraient correspondre à des fractures du socle, ce qui renforcerait l'idée d'une altération profonde d'un socle très fracturé lors d'une phase humide. Mais la médiocrité des affleurements ne permet que d'émettre des hypothèses. Cependant, l'analyse d'images satellitaires pourrait amener des informations précieuses sur la structure du socle subaffleurant.

4.2 La morphologie dunaire

Deux grandes familles de dunes ont pu être distinguées dans le secteur étudié.

4.2.1 Les dunes transversales

La première famille de dunes est constituée d'éléments orientés NNO-SSE dont la longueur n'excède pas 5 km et dont la largeur est généralement inférieure à 0,5 km (fig. 8 et 9). Ces dunes jointives dans le sens NNO-SSE déterminent des couloirs interdunaires plus ou moins longs, plus ou moins profonds. Elles sont émoussées, leur sommet est souvent aplani. Lorsqu'elles sont suffisamment vigoureuses, on note une dissymétrie entre le versant oriental plus doux et le versant occidental en pente forte. Mais il est des secteurs où elles sont si érodées qu'elles sont très peu marquées dans la topographie. On devine alors leur

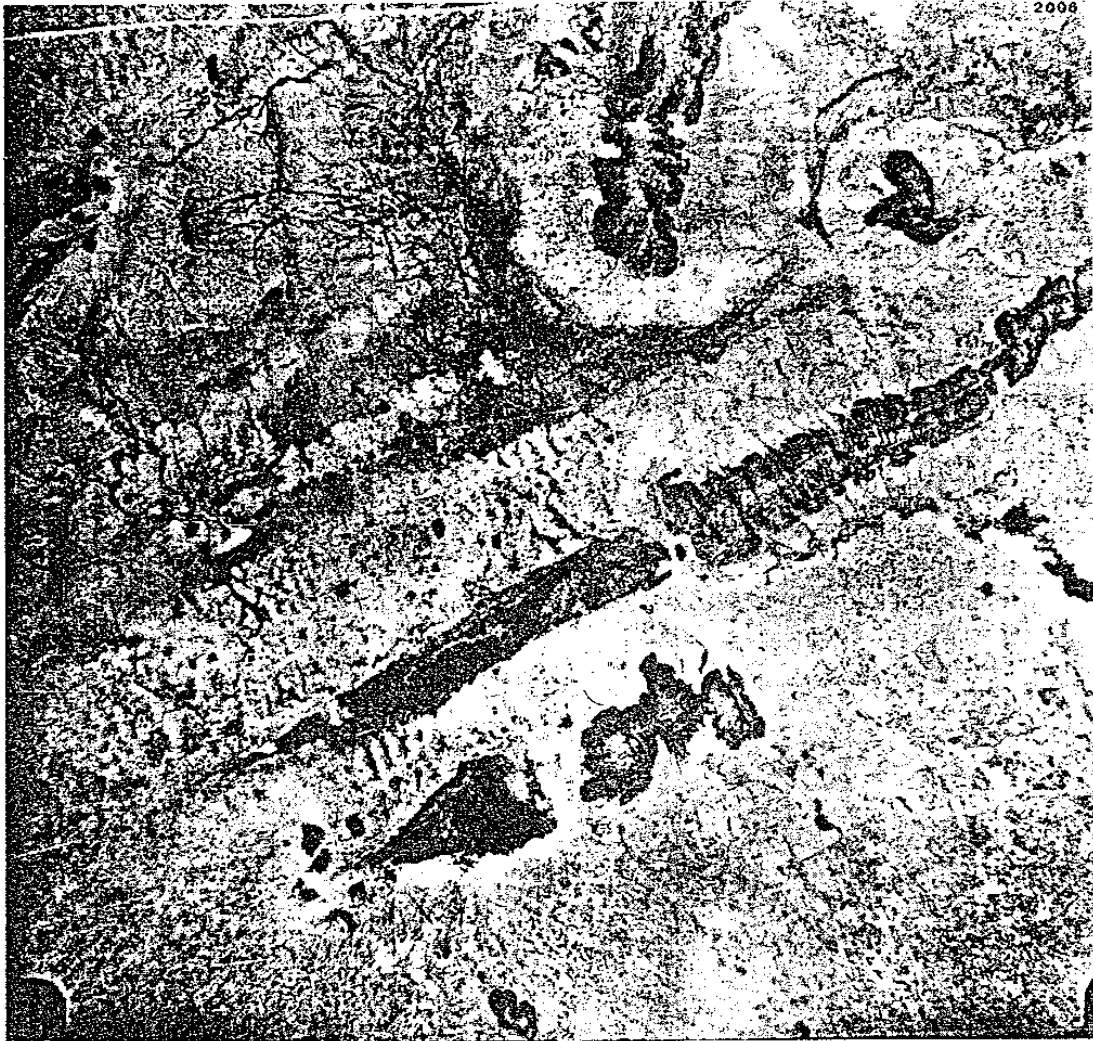


Figure 6. Illustration des reliefs résiduels (photo 2006)

morphologie en suivant les dépressions interdunaires qui se réduisent à une succession de petites taches noires sur les photographies aériennes

4.2.2 *Les dunes longitudinales*

La deuxième famille de dunes est constituée par de longues dunes beaucoup plus vigoureuses que les premières (fig. 10 et 11 et fig. 6 et 7). Elles peuvent avoir 8 à 12 km de long et 0,5 à 1 km de large. Elles sont souvent isolées et d'orientation NE-SO. Elles s'appuient fréquemment sur des éminences rocheuses et prennent naissance dans les couloirs entre les massifs. Elles ont, contrairement aux dunes transversales, des crêtes assez vives. Cependant, il arrive que leur sommet soit modelé par de petites dunes transversales mises en place ultérieurement.

Les dunes longitudinales perturbent le réseau hydrographique et entraînent la création de mares temporaires sur leurs flancs.

L'examen photogéomorphologique et la comparaison avec la littérature nous font envisager l'existence de deux générations de dunes, l'une contemporaine de la période

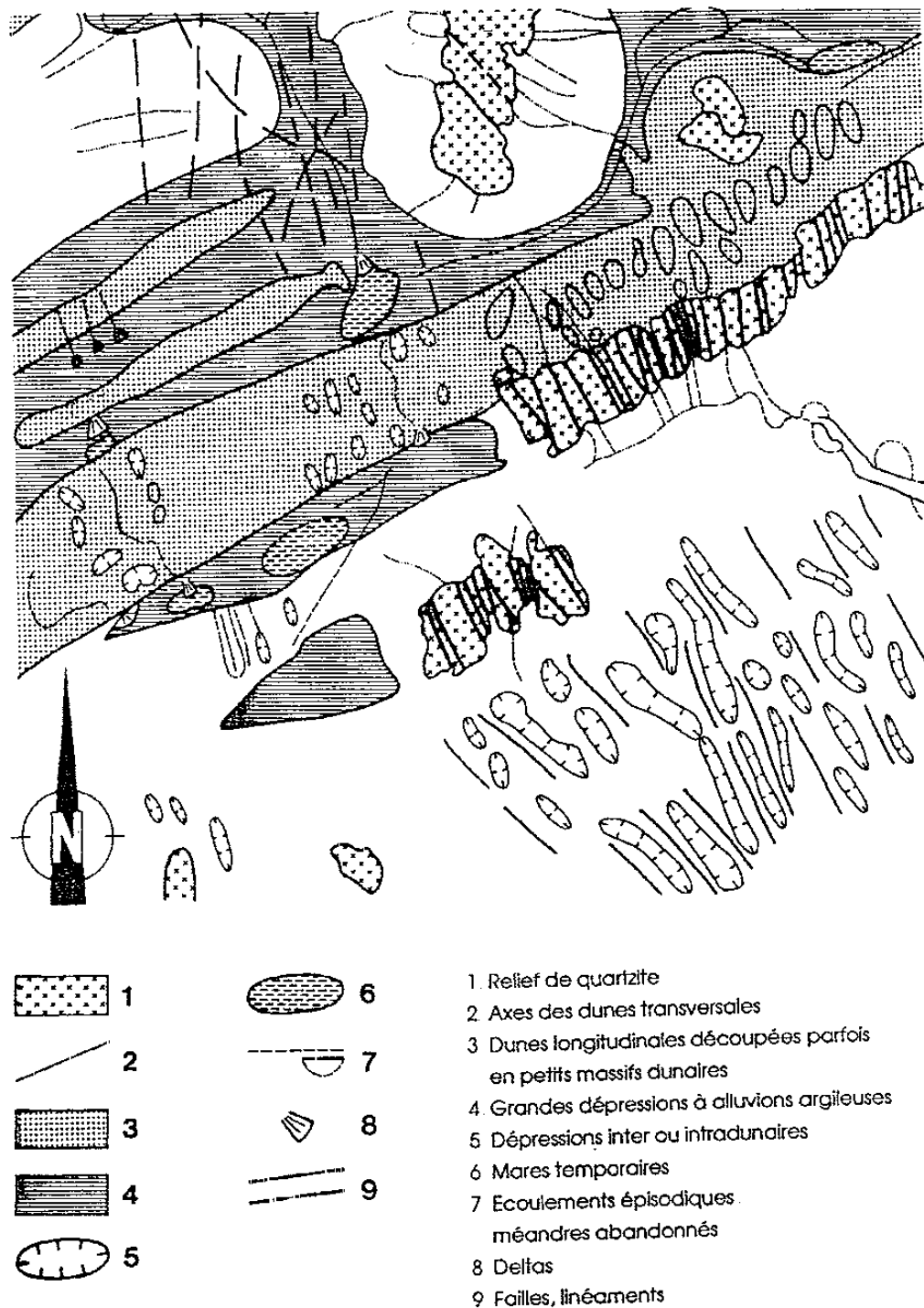


Figure 7. Illustration des reliefs résiduels (interprétation de la photo 2006)

antéghazalienne (65 000 à 40 000 ans AA) et l'autre de la période kaménienne (20 000 à 12 000 ans AA) (Durant et Mathieu, 1980 et 1981). Cependant, le façonnement des crêtes des dunes longitudinales nous laisse penser à une troisième génération de dunes vraisemblablement d'âge Holocène.



Figure 8. Illustration des dunes transversales (photo 1867)

Des compléments de recherches, entre autres sédimentologiques, seraient nécessaires pour l'étude de la genèse de ces systèmes dunaires, genèse qui pourrait aider à comprendre les conditions anciennes de désertification

4.3 Modelé éolien et réseau hydrographique

Les reliefs résiduels et la morphologie dunaire présentent donc deux orientations préférentielles NE-SO et NNO-SSE. Ces orientations sont aussi celles du réseau hydrographique.

4.3.1 *Les dépressions allongées à alluvions argileuses*

La première direction (NE-SO) est aussi celle des dépressions allongées à alluvions argileuses. Celles-ci sont des zones de stagnation d'eau localisées en des sites privilégiés :

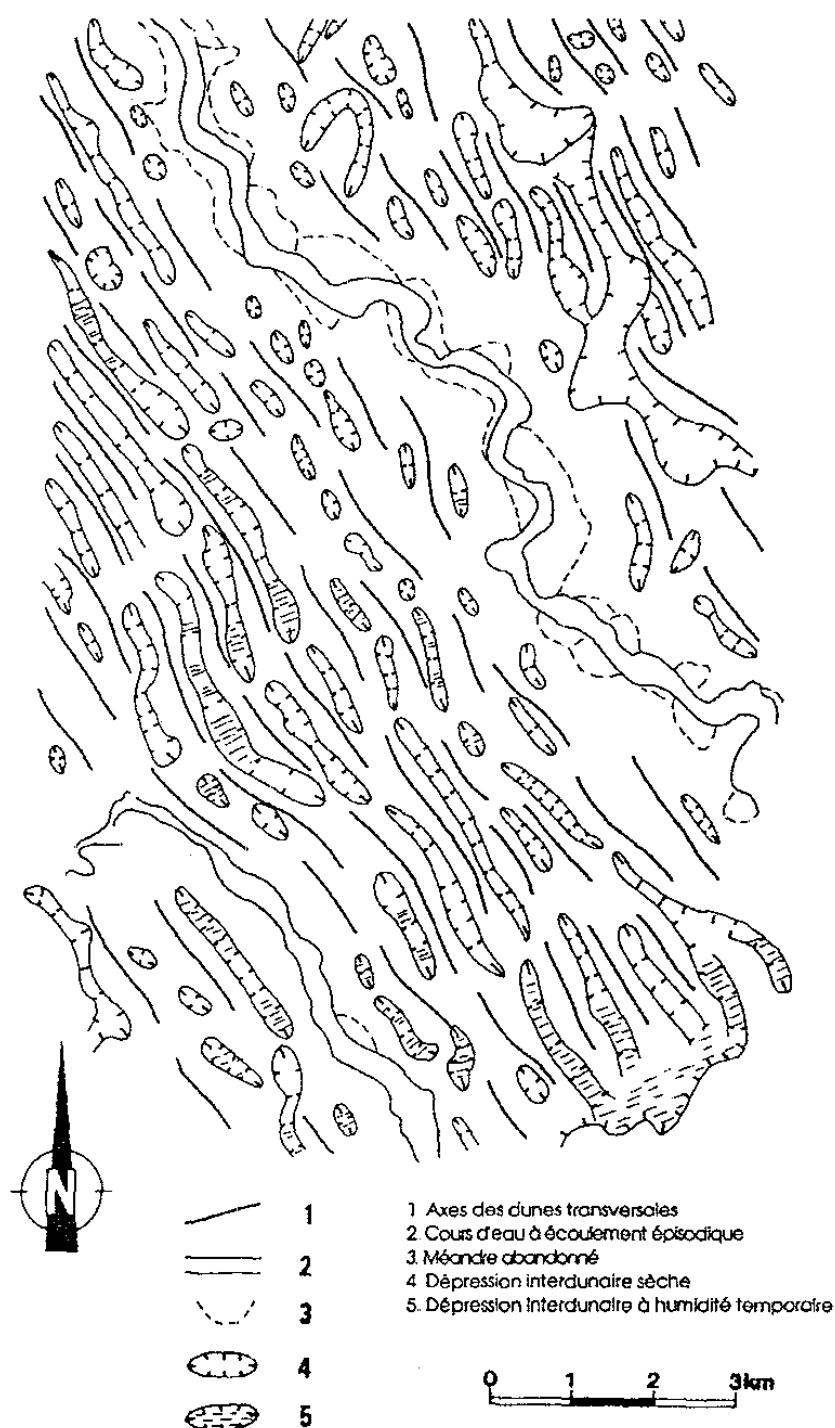


Figure 9 Illustration des dunes transversales (interprétation de la photo 1867)

en position sous le vent des reliefs résiduels. Malgré leur altitude modeste (entre 100 et 200 m d'altitude relative), ces reliefs constituent des obstacles qui provoquent la difflue et l'élévation des courants éoliens transporteurs de sable. Dans les deux cas, la zone située en aval du relief est protégée des dépôts éoliens. Au contraire, le versant au vent, du fait de l'effet

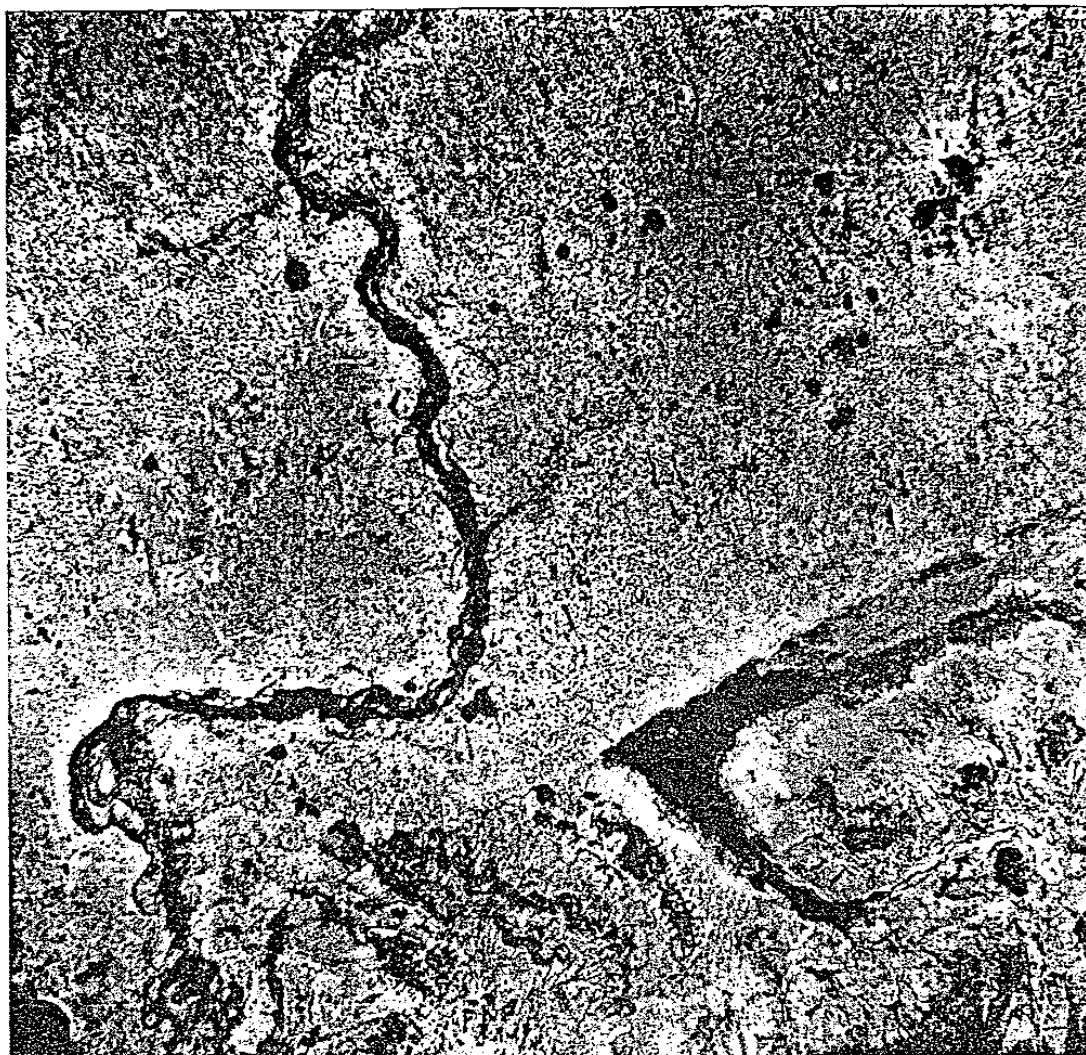


Figure 10 Illustration des dunes longitudinales (photo 2002)

d'obstacle, est une zone de dépôts, d'où l'accumulation de sable observée sur les versants NE des reliefs résiduels. La difflueance entraîne la déviation latérale des courants éoliens; aussi, les dépôts s'effectuent-ils parallèlement à la zone protégée par les reliefs résiduels. Ainsi, sous le vent de ces reliefs existe une zone de déflation plus ou moins importante (fonction de l'envergure du relief lui-même) et de part et d'autre des dépôts longitudinaux de sable, ce qui explique la localisation, d'une part, de certaines dunes longitudinales (dans les couloirs entre les massifs et prenant appui sur des éminences rocheuses) et, d'autre part, des dépressions argileuses. Ces dernières se trouvent aussi au pied des dunes longitudinales en l'absence de tout relief résiduel. Ces dépressions collectent les eaux de ruissellement et forment ainsi des mares temporaires et même des lacs. L'étude de la variation de l'extension ainsi que des niveaux de ces lacs devrait permettre une approche des fluctuations climatiques qu'a connues la région en plus de permettre d'établir, par l'examen des sédiments lacustres, une stratigraphie du Quaternaire récent. La connaissance du comportement subactuel de ces points d'eau pourrait aider à mieux les exploiter dans le cadre d'aménagements visant à donner aux paysans des productions d'appoint.

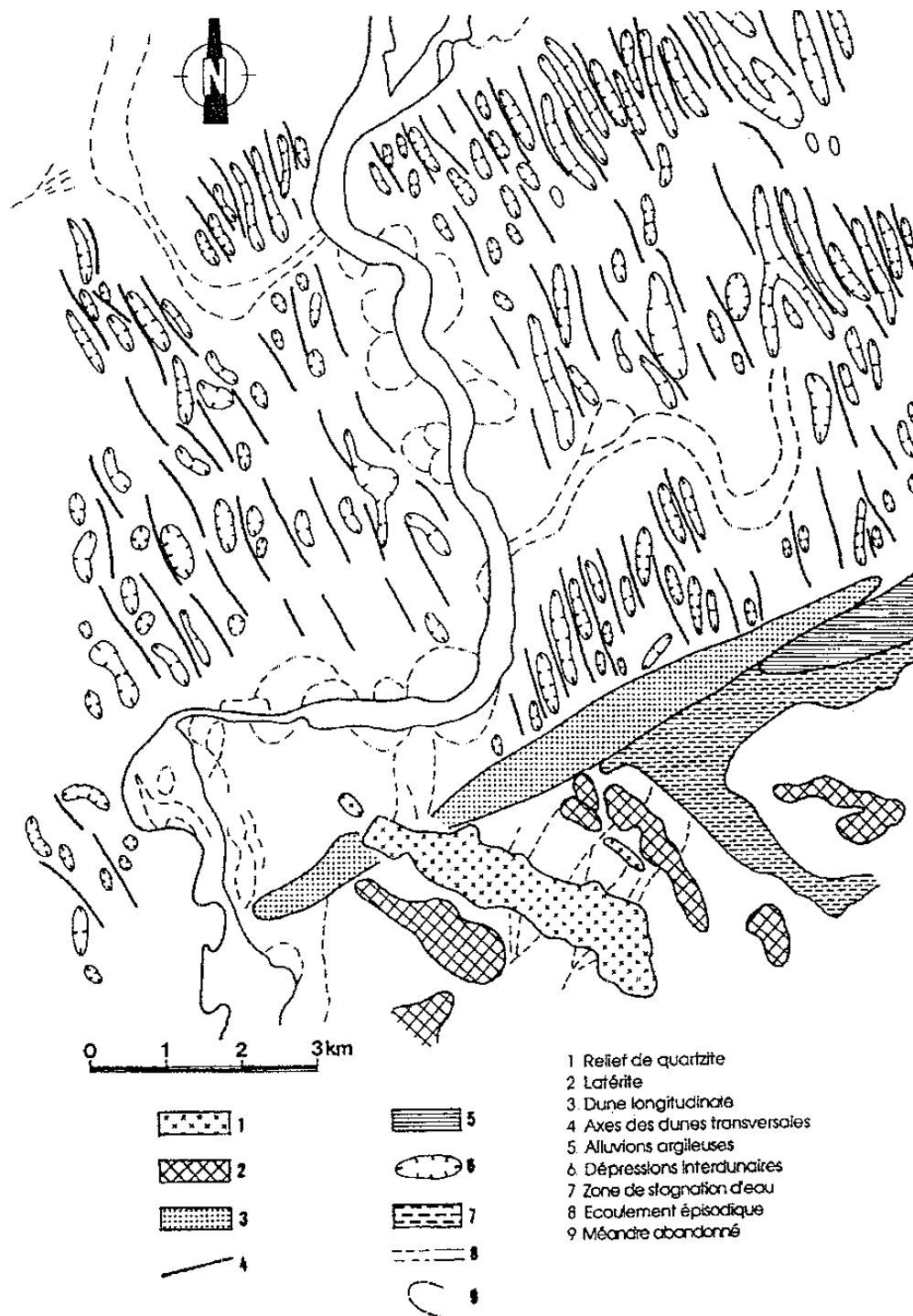


Figure 11 Illustration des dunes longitudinales (interprétation de la photo 2002)

4.3.2 Modelé éolien et tracé des cours d'eau

La deuxième orientation (NNO-SSE) est celle des dunes transversales et des dépressions interdunaires. Elle correspond aussi aux principaux axes de drainage.

Les dépressions sont plus ou moins allongées et plus ou moins profondes en fonction de la vigueur du système dunaire transversal. Elles peuvent être sèches ou à humidité temporaire. En général, l'humidité devient de plus en plus importante du NNO vers le SSE (sens de drainage), mais aussi des zones où les dépôts sableux sont importants vers celles où ces dépôts sont peu épais (fig. 8), ce qui fait supposer l'existence d'un sous-écoulement actif qui n'apparaît que dans les points suffisamment bas de la topographie. Lorsque le niveau de la nappe monte, les dépressions peuvent avoir une humidité importante. La coalescence de ces fonds humides peut donner alors naissance à un véritable chenal où l'écoulement peut être plus ou moins important et durable en fonction de l'alimentation. Ainsi (fig. 8), ce sont les dépressions interdunaires qui se transforment en chenaux. Certains chenaux apparaissent et disparaissent sans aboutir à un collecteur plus important. Mais, si le modelé éolien se prête à la formation de chenaux, il constitue aussi parfois un barrage pour l'écoulement. En effet, les cours d'eau ont souvent des coudes à angles vifs. Ces coudes sont le résultat de l'oblitération (fig. 10) du réseau hydrographique par les systèmes dunaires, notamment longitudinaux. Ces barrages à l'écoulement peuvent s'être édifiés antérieurement ou postérieurement à l'établissement du chenal. Dans tous les cas l'écoulement souterrain permet la communication des eaux de part et d'autre de l'obstacle.

5 Conclusion

Cette note a tenté de montrer l'intérêt d'une étude approfondie de la région de Zinder. De nombreux problèmes ont été soulevés pour lesquels une ébauche de réponse a été proposée tant du point de vue morphologique qu'hydrographique. Sur ce dernier point, l'intérêt est double : scientifique et pratique. L'étude des points d'eau pourrait servir à l'aménagement de cette région. On peut déjà dire que si les linéaments repérés dans les dépressions argileuses sont des fractures du socle, ils présentent un intérêt certain pour des sondages pour la recherche d'aquifères profonds. Des puits creusés dans ces sites seraient non seulement protégés de l'ensablement mais aussi localisés dans des zones où l'alimentation en eau, même lors de précipitations médiocres, serait mieux assurée. En outre, la présence des lacs est un autre atout pour les objectifs d'aménagement, mais aussi pour l'établissement d'une stratigraphie du Quaternaire.

Nous pensons donc qu'il est important d'entreprendre d'autres approches afin de mieux préciser les éléments de réponse aux différents problèmes posés.

En particulier, l'analyse d'une image SPOT pourrait apporter un éclairage nouveau pour la compréhension des problèmes morphologiques, hydrographiques et des phénomènes de désertification :

- réalisée à une période différente des photographies aériennes, elle permettra par comparaison avec celles-ci, le suivi des modifications morphologiques consécutives à l'évolution récente de la désertification;
- on peut s'attendre en outre qu'une image SPOT qui date de la fin de la saison humide (alors que les photos ont été réalisées en fin de saison sèche : mars-avril) mettra en évidence les linéaments et autres structures géologiques favorables à la concentration d'humidité;
- enfin, par la vue synoptique qu'elle offre, l'image satellitaire positionnera les éléments du modelé dans un ensemble plus vaste et aidera ainsi à mieux comprendre leur agencement.

6 Remerciements

Nous remercions le Service de la météorologie du Niger et tout particulièrement Monsieur Mamadou Daouda, chef de la section de climatologie, d'avoir accepté de nous livrer les données météorologiques.

7 Références

- BOWDEN, P., O. VAN BREEMEN, J. HUTCHINSON et D. C. TURNER, 1976. Paleozoic and mesozoic age trends for some ring complexes in Niger and Nigeria. — *Nature*, 259, n° 5541, p. 297-299.
- DAOUDA, M., 1989. Les dates favorables des semis au Niger : exemple de la culture du mil. — Mémoire inédit de maîtrise en Sciences de l'environnement. option agroclimatologie, Fondation universitaire luxembourgeoise, Arlon. Belgique, 90 p.
- DURAND, A. et P. MATHIEU, 1980. Le Quaternaire supérieur sur la rive droite du lac Tchad — Cahiers de l'ORSTOM, série Géologie. vol. XI, n° 2, p. 189-203.
- DURAND, A. et P. MATHIEU, 1981. Évolution paléogéographique du bassin tchadien au Pléistocène supérieur — *Revue de géographie physique et de géologie dynamique*, vol. XXII, fasc. 4-5, p. 329-341.
- ERPICUM, M., M. BINARD, J. P. PEIERS et J. ALEXANDRE, 1988. Une méthode d'analyse des caractéristiques de la saison des pluies en région sahélienne (exemples pris au Sénégal). — *in* M. Erpicum (Réd.). Actes des Journées de climatologie. 5-7 novembre 87, Presses universitaires de Liège. p. 43-56.
- FAURE, H., 1966. Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post-paléozoïques du Niger oriental — Mémoire du Bureau de recherches géologiques et minières, n° 47, et Publication de la Direction des mines et de la géologie du Niger, n° 1, 630 p.
- GREIGERI, J. et R. POUGNET, 1967. Notice explicative sur la carte géologique de la République du Niger à l'échelle 1:2 000 000 — Éditions du Bureau de recherches géologiques et minières, 62 p.
- JOO', J. et A. FRANCONI, 1983. Plan minéral de la République du Niger. État actuel des connaissances sur la géologie du Niger 2^e partie. — Ministère des mines et des industries, 314 p.
- MIGNON, R., 1970. Carte géologique au 1:200 000 du Damagaram-Mounio et du Sud Maradi. — Bureau de recherches géologiques et minières, République du Niger, Ministère des travaux publics, des transports, des mines et de l'urbanisme, Direction des mines et de la géologie, rapport 70 AB1 001 NIA.
- OUSMANE, B., 1978. Contribution à l'étude hydrogéologique des régions de socle du Sahel : l'hydrogéologie du Damagaram occidental (environs de Zinder - Niger). — Thèse de doctorat de 3^e cycle, Université de Montpellier, 66 p.