

# **EROSION ET AMENAGEMENT DANS LES REGIONS DE MONTAGNE AU NORD ET AU SUD DU SAHARA : ETUDE COMPAREE**

**Alain Morel**

Institut de géographie, Université Joseph Fourier, -  
16 rue Maurice Gignoux, 38031 Grenoble cedex  
U.M.R. 6636 du CNRS - e-mail: morela@ujf-grenoble.fr

## **RESUME**

A partir d'études de cas menées dans les montagnes du Sud et du Nord du Sahara, dans des milieux secs, l'auteur tente une synthèse caractérisant les systèmes d'érosion qui prédominent dans l'une et l'autre de ces régions. Il compare tout d'abord les paramètres qui sont à l'origine des processus : climat, couvert végétal, substrat lithologique et sols, sans oublier les impacts anthropiques. Malgré un certain nombre de points communs liés essentiellement à la sécheresse, les différences l'emportent nettement; néanmoins les processus pris individuellement sont presque identiques; c'est leur combinaison qui est originale. Le dosage des forces en présence, les alternances érosion linéaire et aréolaire, érosion éolienne et hydrique différent, et lorsqu'on fait le bilan de l'érosion, on peut distinguer des systèmes spécifiques à chacune de ces régions.

Au total, c'est au Maghreb où les problèmes paraissent les plus graves, qu' existent sans doute le plus de solutions de lutte anti-érosive, dans la mesure où on peut tenter de lutter contre les dégradations anthropiques, alors qu'au Sahel, il est impossible de modifier les mécanismes climatiques qui sont la source des principaux problèmes.

**Mots clés** : systèmes d'érosion, milieux méditerranéens, milieux sahéliens, montagnes arides et semi-arides, bilans et rythmes de l'érosion.

## **ABSTRACT**

From cases studies about southern and northern Sahara mounts, in dry environment, the author undertake to synthetize the erosion systems and to compare them in both these two countries. First he compares the parameters ( climate, vegetation, bedrock, soils, and also human impacts...), which cause the different processes. In spite of some commun characters connected with dryness, the differences are winning. If each process is quite the same, their combination is distinct: the proportion of the present strengthes, the alternation between hydric or eolian erosion for example, are not the same. Each country is characterized by his own system!

Finally, if it's in the Maghreb that problems seem to be worst, there are here, no doubt, more solutions against erosion, because it's possible to protect against human impacts. Meanwhile, in the Sahel, it's impossible to correct climatic mechanisms which are the mean causes of major problems..

**Key-words** : Erosion systems, mediterranean an sahelian countries, dry mounts, erosion rhythm and results.

## INTRODUCTION

En utilisant un certain nombre de travaux de recherche menés d'une part dans les montagnes du Maghreb et d'autre part dans les régions au sud du Sahara (cf. bibliographie et figure 1), l'auteur propose une synthèse qui permette de caractériser les systèmes d'érosion prédominant dans l'une et l'autre de ces régions.

Ces montagnes sont situées dans des régions arides et semi-arides, où les totaux pluviométriques sont inférieurs à 600 mm. par an en moyenne. Elles sont marquées par l'indigence de la couverture végétale qui livre des fractions de sol nu à l'action des agents érosifs. On possède des chiffres globaux concernant ces régions : dans les années 80, la F.A.O. a reconnu que 16% de la surface des terres sèches d'Afrique étaient la proie d'une érosion hydrique, 25% souffraient de salinisation et 45% subissaient une dégradation par le vent. Ce que l'on connaît moins ce sont les nuances qui existent lorsqu'on passe d'une région à l'autre, de l'aride au semi-aride, ou bien de la bordure nord à la bordure méridionale du Sahara.

Deux questions nécessitent un examen approfondi, tout d'abord celle que posent les régions de transition, que l'on peut qualifier de semi-arides, où d'une part le rôle « dialectique » de la végétation, caractéristique des régions à pluviosité suffisante s'atténue, tandis que d'autre part le rôle de l'homme, agriculteur ou pasteur, devient une composante importante. La seconde question est celle des seuils : dans un système complexe, où de nombreux paramètres (climatique, biologique, topographique, géologique, humains...) interviennent, la modification d'un seul élément peut mettre en péril l'équilibre de l'ensemble. Quand passe-t-on, par exemple, d'un système dominé par l'érosion éolienne à un système où l'érosion hydrique prend le dessus, d'un système où l'érosion linéaire l'emporte sur l'érosion aréolaire ?

Quels seuils de précipitations, de recouvrement végétal, de pente ?

## I- LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET HUMAINES DES RELIEFS DU NORD ET DU SUD DU SAHARA : POINTS COMMUNS ET DIFFERENCES.

### 1.1 les points communs

Sur le plan climatique, on peut noter de grandes similitudes: totaux pluviométriques faibles, grande variabilité temporelle et spatiale des précipitations, allant de pair avec des intensités parfois importantes, une forte insolation et des vents soutenus, entraînant une intense évaporation ; ce sont des régions où les sols s'assèchent rapidement.

La discontinuité du couvert végétal accorde un grand rôle à la lithologie et aux sols, et toutes ces régions ont en commun la fréquence des croûtes de surface, appelées aussi croûtes de battance (Casenave et Valentin, 1989), croûtes qui favorisent le ruissellement au détriment de l'infiltration. Cette imperméabilisation de l'horizon de surface est accentuée aussi par la présence de croûtes calcaires au nord, et de carapaces ferrugineuses au sud, qui sont d'ailleurs souvent des héritages témoignant d'un passé plus humide et plus chaud.

Ces montagnes sont aussi des régions où l'homme, agriculteur et/ou pasteur, est une composante importante du milieu : les densités que l'on observe dans les montagnes du pré-Rif (Tribak, 2000), même si elles tendent à décliner, ou encore celles des vallées de l'Air, en pleine expansion (Giazzi, 1995) en sont la preuve. Ces montagnes, souvent plus arrosées et plus fraîches que les régions voisines, sont de ce fait plus accueillantes, surtout à une époque marquée par plusieurs phases de sécheresse; mais de ce point de vue, les montagnes du Maghreb sont nettement plus marquées par l'homme, et depuis beaucoup plus longtemps, que les régions du sud du Sahara. Malgré la similitude des apparences, les différences semblent donc l'emporter lorsqu'on compare les facteurs de l'érosion dans ces deux domaines.

## 1.2 les différences

On les enregistre d'abord sur le plan climatique: au nord du Sahara, on se trouve dans la zone tempérée balayée par les dépressions océaniques d'ouest. Au Sahel, on se trouve dans le monde tropical et un tout autre type de circulation atmosphérique; d'où, entre autres, des régimes pluviométriques très différents, pluies de saison chaude au sud du Sahara, pluies d'hiver au nord avec possibilité de précipitations neigeuses. De même les intensités de pluie sont plus fortes au Sahel qu'en Algérie. De même lorsqu'on va du sud au nord, on passe de régions où l'amplitude annuelle l'emporte sur l'amplitude diurne. Les montagnes d'Afrique du Nord connaissent une saison froide et les phénomènes périglaciaires y sont actifs, tandis qu'ils sont absents dans les régions sahéliennes.

On a vu que le couvert végétal étant rare et discontinu, cela donne une grande importance à la lithologie et aux sols. Or là encore, les conditions sont très différentes: au Nord, on observe un fort pourcentage d'affleurements calcaires, et de sols carbonatés, la présence de croûtes calcaires, et les crises orogéniques tertiaires ont créé des reliefs plus vigoureux qui engendrent des pentes plus fortes. Sur les hauteurs, les sols sont peu différenciés car la morphogenèse l'emporte sur la pédogenèse : ces sols, liés aux substrats marneux très fréquents, sont souvent argileux, alors qu'au sud du Sahara, ils sont plutôt sableux et de structure pulvérulente, liés à la désagrégation des massifs cristallins (Air, Ifoghas) et de leurs bordures gréseuses, liés aussi au vieux passé d'aridité qui a légué un important stock sableux : ce sont des régions où depuis plus de 100 000 ans s'accumulent les produits de la déflation, où sont réactivées périodiquement les dunes fossiles. Les analyses granulométriques, les études morphoscopiques révèlent un mode unimodal des dépôts et la prédominance d'émoussés liés à l'usure du vent (Ousseini, 1987). Au Sud, les sols sont acides; les lessivages qui se sont produits à des périodes quaternaires plus humides ont été assez importants; les pentes sont plus faibles; de plus les sols, du fait de l'absence de crises orogéniques, ont pu se développer sur de plus longues périodes.

Dans les deux secteurs, on trouve, - et c'est un trait commun -, des sols rubéfiés : mais les sols fersiallitiques méditerranéens sont liés à une saison froide. Durant l'hiver, les pluies entraînent un complexe de fer et de silice. Le fer s'accumule alors dans l'horizon intermédiaire sous forme de cristaux de turgite à noyaux siliceux; le lessivage n'est pas suffisant pour exporter le calcium. Celui-ci remonte pendant la sécheresse de la saison chaude, donnant localement naissance aux croûtes, dont beaucoup sont sans doute fossiles. Le pH reste alcalin, alors que du côté sahélien, les sols ferrugineux sont plus lessivés, à l'occasion des pluies de saison chaude le fer migre seul pour donner des cristaux d'hématite et de goethite. Les différences tiennent aussi aux types d'argiles présentes dans les uns ou les autres: les sols fersiallitiques comme les vertisols, contiennent des montmorillonites qui ont une bonne cohésion en saison sèche, laquelle serait mauvaise en saison des pluies d'après Riou (1990), phénomène contesté par E.Roose (1994) qui obtient 0,01 à 0,001 de facteur K d'érodibilité

pour des vertisols, après deux ans de culture, ce qui révèle donc des sols très peu fragiles; les sols ferrugineux renferment des kaolinites qui sont plutôt un facteur de stabilité. Ceux-ci, à titre de comparaison, donnent des valeurs de 0,20 à 0,30 (facteur K) et sont donc moyennement fragiles (Roose et Sarail, 1992).

Enfin une autre différence vient de la plus grande ancienneté de l'occupation humaine dans les régions subméditerranéennes. Les peuplements remontent souvent à l'Antiquité et ces montagnes ont connu un afflux de population au moment de la colonisation romaine. (Tribak, 2000).

## **II - AGENTS ET PROCESSUS EN ACTION : DES SYSTEMES D'EROSION DIFFERENTS**

Les paramètres à prendre en compte étant différents, l'érosion ne se présente donc pas de la même manière au nord et au sud du Sahara, même si, pris individuellement, les processus peuvent paraître identiques. L'étude de ces processus a été assez bien réalisée (Arabi 1991, Bouzou Moussa 1988, Brahamia 1993, Mietton 1980...) des stations de mesures ont été installées, des bassins - versants équipés (Morel, Maillo, 1998). La question la plus délicate, à ce propos, et qui mérite une discussion, est celle de l'échelle considérée. En effet, l'analyse devient plus complexe lorsqu'on passe d'une étude à grande échelle, par exemple sur parcelle expérimentale, à une étude à plus petite échelle, sur tout un versant, ou même un bassin-versant. En effet, le milieu naturel devient de plus en plus hétérogène lorsque la taille des unités considérées grandit. Cela doit amener à la prudence.

Si dans toutes ces montagnes sèches les processus en action sont à peu près semblables, en fait c'est leur combinaison qui est originale : le dosage des forces en présence n'est pas le même. Lorsqu'on en fait le bilan on peut distinguer des systèmes spécifiques à chacune de ces régions. Pour cela, une approche systémique s'impose : comme le disait déjà Cholley en 1950, "ce n'est pas en considérant les facteurs isolément que nous parvenons à saisir correctement la réalité, mais en recherchant comment ils s'enchaînent et en retrouvant les liens qui les unissent..." La démarche systémique permet de comprendre les différents types d'érosion, dans leur complexité, d'en reconstituer le fonctionnement et l'évolution et d'en donner une vision globale.

L'originalité des modelés de chacune de ces régions, méditerranéennes et sahéliennes est liée à cette combinaison des processus. C'est ainsi qu'on pourra différencier à côté du système aride où le vent est le principal acteur du façonnement du relief, le système semi-aride sahélien où prédominent les ruissellements en nappe, et les systèmes de type méditerranéen où l'érosion est plus agressive, plus ancienne aussi et où co-existent les ravinements et les mouvements de masse.

L'érosion marque sans doute plus les paysages du Maghreb; elle provoque une morphogenèse vigoureuse des versants avec des temps forts catastrophiques. De manière générale, la part la plus importante est érodée lors d'événements exceptionnels, caractérisés par l'intensité des phénomènes ou par leur continuité. L'essentiel des ablations hydriques agit sur moins du cinquième de l'espace mais elle est spectaculaire (Laouina, 1993). Au Sahel en revanche, sur des pentes plus douces, c'est le ruissellement diffus, beaucoup moins visible, qui l'emporte et les manifestations de l'érosion sont souvent plus insidieuses (Roose, 1972).

### III - BILANS ET RYTHMES DE L'ÉROSION : ESSAI DE TYPOLOGIE

Ainsi, d'un domaine à l'autre, les rythmes changent et les bilans diffèrent.

#### 3.1 Les divers rythmes de l'érosion

Pour comprendre ces rythmes, il est nécessaire d'envisager deux échelles.

- Tout d'abord l'échelle géologique qui permet de comprendre les héritages qui, -cela peut paraître paradoxal-, sont l'un des paramètres à prendre en compte pour bien analyser les phénomènes actuels.

- Les dépôts quaternaires des régions arides et hyper-arides ont été réalisés sous l'étroite dépendance des variations de pluviosité, alors que ceux des régions tempérées et froides ont été marqués par les influences thermiques: alternance de périodes de refroidissement et de réchauffement. Ceux de la zone sahélienne par exemple, se distinguent de ceux de la zone méditerranéenne par leur passé tropical humide et chaud qui a entraîné de puissantes altérations, d'où des sols ferrallitiques épais hérités des phases humides tertiaires et plio-quaternaires (avec kaolinite caractéristique d'anciens horizons B). Ces sols ont pu être ravinés par l'érosion, lors des épisodes climatiques fini-tertiaires très agressifs : on trouve de beaux exemples de ce phénomène sur les pentes du massif de l'Air (Morel, 1985).

Concernant les dépôts éoliens, on peut opposer aussi deux dynamiques éoliennes responsables de dépôts et de modelés différents liées au fameux "ballet" des arides et des pluviaux (Rognon, 1989).

- \* En phase d'humidité, de végétalisation, c'est-à-dire de recul du désert, les poussières se déposent et les loess péri-désertiques s'accumulent dans les secteurs favorables.
- En phase d'aridité, de crise rhéxistatique et d'avancée du désert, les sables se mobilisent et les modelés des massifs dunaires se remodelent. (cf. fig. 6 dans Rognon, Coudé-Gaussen, 1985, Géologie de la préhistoire, p.138-139).
- Les rythmes varient aujourd'hui à l'échelle saisonnière : c'est ce que nous allons constater en établissant les bilans de l'érosion.

#### 3.2 Bilans de l'érosion

##### a) Rythmes et bilans de l'érosion méditerranéenne

Cette érosion marque les paysages: on observe une morphogenèse vigoureuse des versants, mais aussi des accumulations boueuses et des colluvions épaisses: on peut enregistrer des accumulations d'un mètre par millénaire comme vitesse de dépôts des limons de bas de versant.

Les taux de dégradation spécifique sont élevés : par exemple pour le bassin-versant de l'Ouarsenis (Sari, 1977), les pertes se situent entre 1000 et 2000 t/km<sup>2</sup>/an, mais le rapport des variations va de 1 à 10 ; de plus, dans ces apports, le sapement des berges fournit souvent plus que le versant lui-même (Heusch, 1972).

Les rythmes sont originaux, saccadés; on voit se succéder :

- des temps forts catastrophiques souvent de courte durée, qui jouent un grand rôle sur le modelé
- des épisodes saisonniers, liés à l'alternance d'étés très secs et de printemps et d'automne pluvieux; à l'automne les pluies entraînent un fort ruissellement qui incise les sols qui sont alors très secs; au printemps l'effet est moindre car les sols sont généralement humides.

Une cartographie réalisée par Laouina au Maroc, montre sur un bassin versant du Moyen Atlas qu'on peut considérer comme caractéristique 4 types d'érosion :

- 1) des versants ne montrant pas d'érosion concentrée, soumis à l'influence humaine, à l'utilisation agricole pastorale ou sylvicole, avec des versants à ruissellement aréolaires, à solifluxion laminaire ou à reptation pelliculaire; ils représentent l'essentiel de la superficie ; entre 70 et 85 %
- 2) des espaces plans sans érosion notable : moins de 8 %
- 3) des formes concentrées: ravines, mouvements de masse sur des terrains en pente soumis à des processus gros exportateurs de matière: environ 20 %
- 4) les secteurs à sapements d'oueds: seulement 1% mais de gros volumes de matériaux exportés, car cela déstabilise parfois la base et tout un pan du versant au dessus.

#### *b) Rythmes et bilans de l'érosion au Sahel (Mietton, 1988)*

Ici, la période charnière est le début de «l'hivernage» (saison des pluies), vers mai-juin, pendant laquelle les lignes de grains (tornades) sont agressives sur le plan éolien (coup de vent précédant les précipitations) et sur le plan pluvial. Le couvert végétal est maigre; s'y ajoutent les activités agricoles (nettoyage des champs et labours).

Dans les régions méridionales, l'érosion est préparée par les déplacements de matière liés aux termites ainsi qu'à l'effet «splash» des précipitations ; par ailleurs on constate des valeurs élevées du ruissellement sur sol cultivé (pour des pentes inférieures à 3%, coefficient de ruissellement moyen supérieur à 20%), et très élevées sur sols nus (supérieur à 40%).

Sur les secteurs amont, le ruissellement est efficace; à l'aval, la pente diminue, il y a dépôt. Les observations montrent qu'en général c'est le ruissellement diffus qui l'emporte (Bouzou, 1988, 2000). L'érosion mécanique sur sol nu est supérieure à 10 tonnes/ha/an, sur sols cultivés à 1 t./ha/an (ruissellement diffus).

Une étude d'Éric Roose au Niger donne pour un B.V. de 2,6 km<sup>2</sup>, avec 400 mm de précipitations par an, un coefficient ruisselé de 40%, des pertes en sol de 600 tonnes par km<sup>2</sup>.

La dégradation chimique est globalement réduite; si l'on regarde la charge dissoute, le taux de dissolution spécifique est de 6 t./km<sup>2</sup>/an ; cela représente seulement 7% de l'érosion globale.

Par ailleurs le drainage en profondeur est limité du fait de l'évapotranspiration.

D'après Mietton (1980), le taux de dégradation spécifique varie généralement de 50 à 100 t/km<sup>2</sup>/ha, mais traduire la dégradation spécifique en tranche de terrain enlevée par an ou par siècle n'a pas grande signification, car il s'agit d'un phénomène discontinu, en particulier dans l'espace!

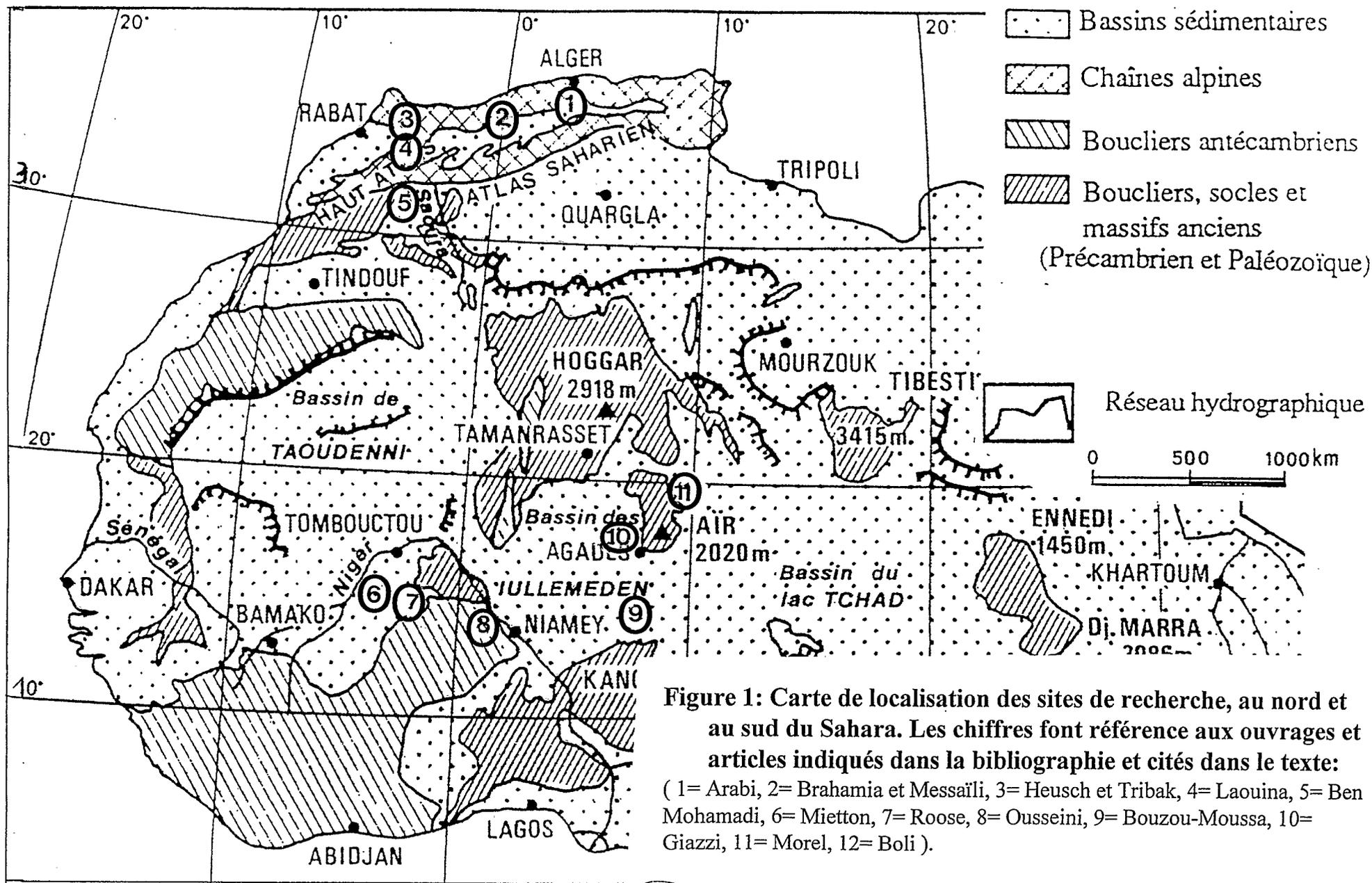
## CONCLUSION

L'érosion dans ces milieux secs du nord et du sud du Sahara ne présente donc pas les mêmes caractères. La complexité de l'analyse tient à l'hétérogénéité des milieux ainsi qu'à la taille des unités considérées, lorsqu'on passe d'observations à très grande échelle à des observations à plus petite échelle; il faut donc ne pas généraliser trop hâtivement les mesures obtenues sur parcelles, qui doivent être complétées par celles réalisées sur bassin versant où la variabilité du couvert végétal, des sols, de la pente... doivent être prise en considération (Morel, Cayla, 1993); ces dernières mesures serviront pour les aménagements hydrauliques, alors que les premières seront utiles à des actions à mener sur le plan agronomique.

Ainsi, on peut retenir de manière générale que la part la plus importante est érodée lors d'événements exceptionnels, caractérisés par l'intensité des phénomènes ou par leur continuité; que l'essentiel des ablations hydriques (en milieu méditerranéen) est opéré sur moins du cinquième de l'espace (cours d'eau, ravines, mouvements de masse, Heusch, 1970, Roose, 1972), enfin que l'impact de l'homme est difficile à appréhender. Il existe au Maghreb des sécheresses, mais sans véritable « décrochement » des moyennes pluviométriques comme au Sahel; aucune tendance à la détérioration des pluies à long terme n'a pu être décelée, établie; de plus l'extension de ces sécheresses est régionale et non zonale comme au Sahel (Mainguet, 1995 )

Au Maghreb, le climat n'est pas le moteur principal, mais un accélérateur potentiel de la dégradation qui, en fait, est provoquée par des erreurs dans l'aménagement ; elle ne progresse pas comme un front, mais par auréoles, par tâches, ou par griffes à partir de secteurs ruraux surpeuplés, à partir des centres urbains ou bien des milieux les plus fragiles, d'où une cartographie des secteurs sensibles plus difficile à réaliser qu'au Sahel où les études zonales restent en général pertinentes.

Lutter contre ces dégradations peut paraître cependant plus facile au Maghreb, dès lors qu'il s'agit surtout de rectifier des erreurs faites dans l'aménagement, alors qu'il est impensable de modifier les mécanismes climatiques, du moins à l'échelle régionale. Il n'en reste pas moins vrai que, même au Sahel, une lutte bien menée contre l'érosion et pour la conservation des sols peut se révéler très efficace; une mise en défens peut limiter voire arrêter les dégradations (Boli et al, 1993; Bouzou, 2000).



**Figure 1: Carte de localisation des sites de recherche, au nord et au sud du Sahara. Les chiffres font référence aux ouvrages et articles indiqués dans la bibliographie et cités dans le texte:**  
 ( 1= Arabi, 2= Brahamia et Messaïli, 3= Heusch et Tribak, 4= Laouina, 5= Ben Mohamadi, 6= Mietton, 7= Roose, 8= Ousseini, 9= Bouzou-Moussa, 10= Giazzi, 11= Morel, 12= Boli ).

## BIBLIOGRAPHIE

- ARABI M., 1991. Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen; *Thèse de l'Université J.Fourier, Grenoble*, 272 p.
- BENCHETRIT M., 1972. L'érosion actuelle et ses conséquences en Algérie *P.U.F.*, 218 p.
- BEN MOHAMMADI L., 1995. Désertification et ensablement dans la vallée moyenne du Drâa (sud marocain) ; *Thèse de l'Université J.Fourier, Grenoble*, 307 p.
- BOLI et al., 1996. Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux sableux tropical. *Cahier ORSTOM, Pédol.* 28, p. 309-326.
- BOUZOU MOUSSA I., 1988. L'érosion dans la vallée de Keita (Adar-Niger) : contribution géomorphologique; *Thèse de l'Université J.Fourier, Grenoble*, 248 p.
- BOUZOU MOUSSA I., 2000. Réponses géomorphologiques à la problématique de la conservation des eaux et des sols au Niger, *rapport D.H.D.R., Université J.Fourier, Grenoble*, 195 p.
- BRAHAMIA K., 1993. Essai sur la dynamique actuelle dans la moyenne montagne méditerranéenne (B.V. de l'oued Mina, Algérie) ; *Thèse de l'Université J. Fourier, Grenoble*, 237 p.
- CASENAVE A., VALENTIN C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. *Coll. Didactiques Ed. ORSTOM Paris*, 230 p.
- CHOLLEY A., 1957. Recherches géomorphologiques, *éd. A.Colin*, p5-19.
- Collectif, 1984. La mobilité des paysages méditerranéens : hommage à Pierre Birot. *Toulouse, R.G.P.S.O., travaux II*, 388p.
- Collectif, 1996. L'aménagement des zones marneuses dans les B.V. des montagnes de l'Atlas tellien semi-aride, *G.T.Z., Allemagne*, 142p.
- COUDE-GAUSSSEN G., ROGNON P., 1995. Désertification, aménagement au Maghreb, *Ed. L'Harmattan*, 316 p.
- DRESCH J., 1982. Géographie des régions arides, *PUF, Paris* 277 p.
- FERGATI S., 1991. Étude de l'influence des actions anthropiques sur l'érosion du bassin de Hammam-Grouz (Algérie occidentale). *Mémoire de DEA, Université J.Fourier, Grenoble*, 63 p.
- GIAZZI F., 1995. L'évolution des terroirs agricoles dans les vallées du massif de l'Aïr : dégradation ou réhabilitation de l'environnement ? Les enjeux de l'aménagement, *in Revue de Géographie Alpine*, coll. Ascendances : *Au contact Sahara-Sahel*, sous la direction de L. BRIDEL, A. MOREL, I. OUSSEINI, p. 29-41.
- GOMER D., 1996. Ecoulement et érosion dans des petits b.v. à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen ; *GTZ, Karlsruhe*, 208 p. + annexes.

- HEUSCH B., 1970. L'érosion du PRE-RIF. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré-Rif oriental (Maroc). *Annales Recherches Forestières au Maroc*, n°12, p.9-176.
- LAOUINA A., CHAKER M., NACIRI R., NAFAA R., 1993. L'érosion anthropique en pays méditerranéen ; le cas du Maroc septentrional. *Bull. du réseau Érosion n°13* :248-265.
- LEONE F., 1996. Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain; *Thèse de l'Université J.Fourier, Grenoble*, 274 p.
- LOPEZ-BERMUDEZ, F. ET ROGNON P., 1996. Érosion hydrique, désertification et aménagement dans l'environnement méditerranéen semi-aride, *Méd-Campus, Murcia*, 258 p.
- MAINGUET M., 1995. L'homme et la sécheresse, *éd. Masson, coll. géographie*, 336 p.
- MESSAILI B., 1990. Interactions érosion des sols-reconstitution du couvert végétal dans un bassin-versant des Beni-Chougrane (Algérie occidentale), *Mémoire de DEA, Université J.Fourier, Grenoble*, 71 p.
- MIETTON M., 1980. Recherches géomorphologiques au sud de la Haute-Volta : la dynamique actuelle dans la région de Po-Tiébébé. *Thèse de 3° cycle*, 235 p. + annexes.
- MIETTON M., 1988. Dynamique de l'interface Lithosphère-Atmosphère au Burkina-Faso. Contribution géomorphologique à l'étude de l'érosion en zone tropicale de savane, *thèse de Doctorat d'État, Université J.Fourier, Grenoble*, 3 t., 497 p. + annexes.
- MOREL A., 1985. Les hauts massifs de l'Air et leurs piémonts (Niger) : étude géomorphologique, *Thèse de Doctorat d'État, Université J.Fourier, Grenoble*, 403 p.
- MOREL A., SAFIRI I., 1987. Mesures d'érosion dans le Sahel nigérien; recherches préliminaires en vue d'une lutte anti-érosive, in *Processus et mesures de l'érosion*, sous la direct d'A.Godard et A. Rapp, *éd. du CNRS*, p.509-520.
- MOREL A., CAYLA O., 1993. Proposition d'un indice paysage pour l'évaluation des débits solides : application à 30 bassins versants d'Algérie tellienne, *Revue de Géographie Alpine*, n°1, p.15-32.
- MOREL A., MAILLO L., 1997. Les phénomènes érosifs en montagne de part et d'autre de la Méditerranée : perceptions, recherches, applications, *Montagnes méditerranéennes*, n°5, p.9-14, R.G.A.-Grenoble.
- NEUVY G., 1991. L'homme et l'eau dans le domaine tropical, *Masson*, 227 p.
- OUSSEINI I., 1987. Étude de la répartition des formations sableuses et interprétation des dépôts éoliens dans le Liptako oriental (Niger), *Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Paris VI*, 233p.
- RIOU, 1990. L'eau et les sols dans les géosystèmes tropicaux, *Masson*, 224 p.
- ROGNON P., 1989. Biographie d'un désert, *Plon*, 348 p.

- ROGNON P., COUDE-GAUSSSEN G., 1985. Dépôts quaternaires des déserts chauds et de la zone intertropicale, in *Géologie de la préhistoire*, sous la direction de J.C. MISKOVSKY, éd. *Géopré*, p.125-148.
- ROOSE E., 1972. Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne, *Atti delle giornate di studio Génie rural, Firenze*, p.417-441.
- ROOSE E., 1992. Diversité des stratégies traditionnelles et modernes de conservation de l'eau et des sols; influence du milieu physique et humain en région soudano-sahélienne d'Afrique occidentale, in *L'aridité, une contrainte au développement*, Éd. ORSTOM, p.481-506.
- ROOSE E., 1994. Introduction à la GCES : études de cas en Algérie, au Sahel; in *Bull.pédologique de la F.A.O. n° 70*, Rome, 420 p.
- ROOSE E., PIOT J., 1984. Runoff, eroion and soil fertility restoration in the Mossi Plateau, *Proc. Harare Symposium, IAHS, Pub. n°144*, p.485-498.
- SARI D., 1977. L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). éd. *S.N.E.D., Alger*, 624 p.
- TRIBAK A., 1988. L'érosion du pré-Rif oriental : contribution à l'étude de la dynamique actuelle dans quelques bassins du nord de Taza (Maroc) ; *Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble*, 258 p.
- TRIBAK A., 2000. L'érosion hydrique en moyenne montagne du pré-Rif oriental (Maroc) : étude des agents et des processus d'érosion dans une zone de marnes tertiaires. *Thèse de Doctorat d'État, Université d'El Jadida, Maroc*, 352 p.
- YOUNOUSSI A., 1992. Problèmes d'érosion et aménagement dans les montagnes du Rif central (Maroc) : exemple de Tafrant-moyen Ouergha, Maroc, *Thèse de l'Université J.Fourier, Grenoble*, 2 t., 426 p.

**RESEAU  
EROSION**



**Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION**

**Pour citer cet article / How to cite this article**

Morel, A. - Erosion et aménagement dans les régions de montagne au nord et au sud du Sahara : étude comparée, pp. 26-36, Bulletin du RESEAU EROSION n° 19, 1999.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : [beep@ird.fr](mailto:beep@ird.fr)