

MODELÉ KARSTIQUE ET ÉVOLUTION DES VERSANTS DES SOFS DU PRÉRIF CENTRAL, MAROC SEPTENTRIONAL

Abdelghani Gartet¹, Mohamed El Fengour², Jaouad Gartet³

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah (Fès, Maroc)

RESUMEN. El artículo aborda el estudio de las formas kársticas y de las formaciones de vertiente en el centro de la zona de los «sofs» del medio Ouerrha y del Lebène, situado en el contacto entre el Rif y el Pre-Rif central. El estudio de las características litológicas de las rocas carbonatadas y de la evolución geomorfológica consecuente, permite explicar la génesis de las formas menores y mayores de los karst de «sofs». La evolución resulta de procesos morfogenéticos que actuaron en el Cuaternario y de procesos actuales.

Palabras clave: karts, modelado, «sofs», geomorfología, vertientes, dinámica, movimiento del terreno, Rif, Pre-Rif, Marruecos.

RESUMÉ. L'article aborde l'étude des formes karstiques et des formations de versants dans la partie médiane de la zone des sofs du moyen Ouerrha et du haut Lebène, située au contact du Rif et du Prérif Central. L'étude des caractéristiques lithologiques des roches carbonatées et de l'évolution géomorphologique conséquente, permet d'expliquer la genèse des formes mineures et majeures des Karsts des sofs. L'évolution résulte des processus morphogénétiques agissant au cours du Quaternaire et des processus actuels.

Mots-clés: Karst, modelé, Sofs, géomorphologie, versants, dynamique, mouvements de terrains, Rif, Prérif, Maroc.

THE KARSTIC FORMS AND SLOPE FORMATIONS IN THE MOROCCAN RIF AND PRE-RIF

ABSTRACT. The article approaches the study of the karstic forms and slope formations in the median zone of the middle Ouerrha and high Lebene Sofs, located in the central Moroccan Rif and Prerif. The study of the lithological characteristics of the carbonated rocks and the consequent geomorphological evolution makes it possible to explain the genesis of the minor and the major ones, of the Sof's Karst. The evolution results from the morphogenetic processes acting during the Quaternary and the current processes.

Key words: Karst, landforms, sofs, geomorphology, slopes, dynamic, grounds movements, Rif, Pre-Rif, Morocco.

Fecha de recepción: 28 de marzo de 2011. Fecha de aceptación: 11 de octubre de 2011.

1 Laboratoire d'Analyses Géo-Environnementales et d'Aménagement (LAGEA), Faculté des Lettres & Sciences Humaines Saïs-Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. B.P. 59, 30000 FÈS (Maroc). Gartet. abdelghani@hotmail.fr

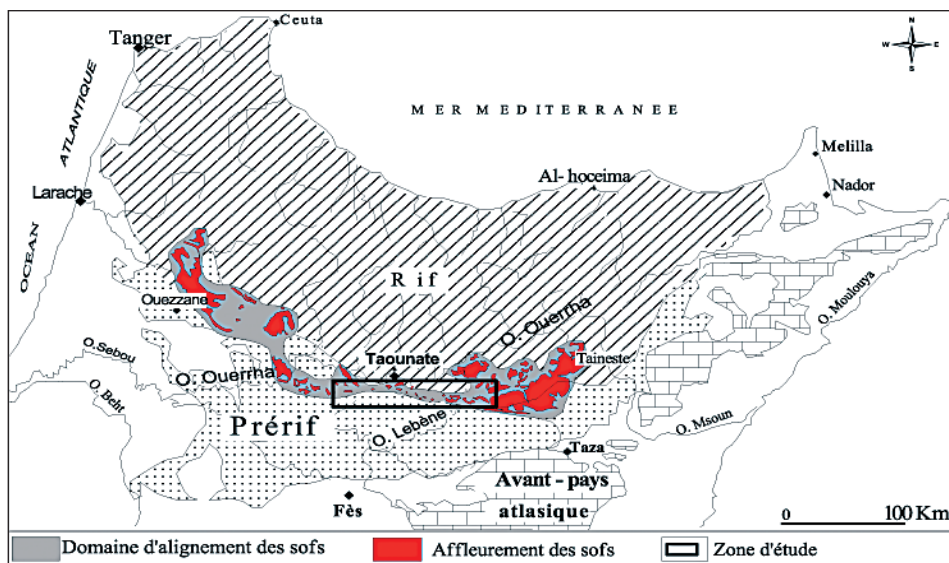
2 Docteur en Géographie-Aménagement, USMBA, FÈS, Maroc.

3 Faculté Polydisciplinaire- Taza USMBA, B.P. 1223 Taza-Gare, TAZA (Maroc) j.gartet@lycos.com

INTRODUCTION

Les “Sofs” désignent en arabe un volume montagneux qui se présente sous forme de suite d’alignements des reliefs rocheux. Ils représentent une unité topographique et structurale bien individualisée dans la zone de contact Rif - Prérif central marocain (Fig. 1). Il s’agit de massifs relativement élevés (700 à 1200 m d’altitude) qui poinçonnent une topographie collinaire molle de 300 à 600 m. L’orientation de ces sofs est généralement Est-Ouest. Cette zone s’étend, en bande étroite et légèrement entrecoupée du Prérif de Sidi Kacem à l’Ouest jusqu’à la région de M’soun à l’Est au Nord-Est de Taza. Dans la section centrale, les sofs se situent au contact des massifs montagneux du Rif méridional et du Prérif central. Néanmoins, si toute la littérature géomorphologique de la région de contact Rif-Prérif souligne l’abondance des roches meubles, ce n’est pas la règle ; car les roches carbonatées (calcaires et dolomies), massives ou à intercalations argileuses ou gréseuses constituent le relief de ces sofs.

FIGURE 1. Disposition des reliefs des Sofs dans la zone de contact Rif - Prérif.



Les études géomorphologiques, sur les karsts des sofs, font encore défaut. Seules les études lithostructurales (Suter, 1965 ; Andrieux, 1968 et 1971 ; Barathon, 1987 ; Le Blanc, 1971, 1979 et 1983 ; Vidal, 1971, 1984 ; Combe, 1971 ; Wildi, 1981 ; Bachnou et Atrops, 1996) et les travaux géomorphologiques de G. Maurer, (1968) renseignent partiellement sur le contexte géologique du modelé des sofs. Ces informations demeurent, pour notre propos, très fragmentaires.

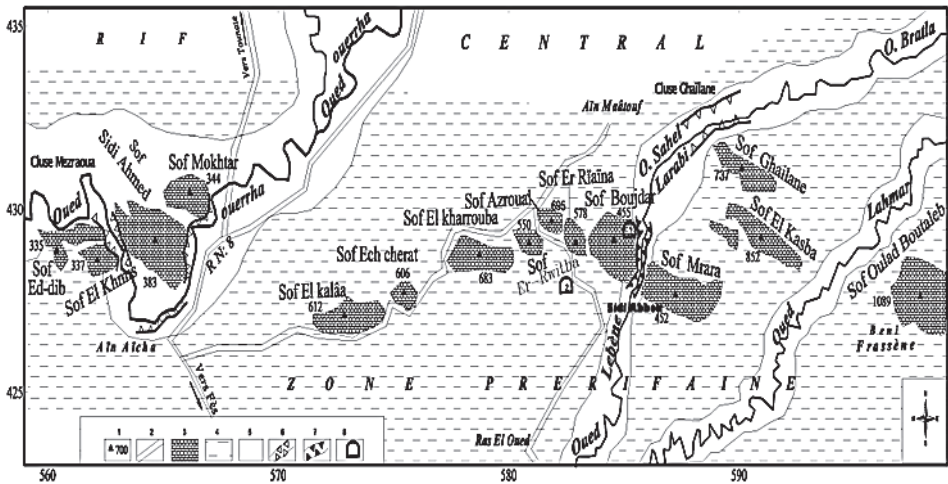
L’objectif de cette étude est d’analyser - dans certains sites et coupes - le modelé karstique et l’évolution des versants des sofs calcaires du Prérif Central et du Rif méridional,

plus particulièrement dans les bassins de l’Ouerrha et du Lebène. La méthodologie adoptée se base essentiellement sur la reconstitution paléogéographique et lithostratigraphique, et sur l’étude géomorphologique spécifique aux formes karstiques, avec toutefois l’étude de l’évolution actuelle des versants des sofs.

I. CONTEXTE LITHOSTRUCTURAL ET PALÉOGÉOGRAPHIQUE DES SOFS

Dans la région du Haut Lebène et du Moyen Ouerrha (Fig. 2), les sofs appartiennent à un même domaine paléogéographique (Suter, 1965 ; Leblanc, 1971 et 1979 ; Vidal, 1971, 1984, 1988 ; Bachnou et Atrops, 1996). Néanmoins, si les sofs présentent une lithologie semblable dans les différents affleurements (Bachnou et Atrops, 1996), il existe quelques variations d’épaisseur, liées probablement à la structuration des bassins intramontagnards. Selon les études géologiques réalisées dans le moyen Ouerrha (Suter, 1965, et Bachnou et Atrops, 1996) et le Prérif oriental (Le Blanc, 1971 et 1979 ; Wildi, 1981 ; Vidal, 1988 ; Barathon, 1994), les formations lithologiques observées sont constituées de calcaires massifs et de formations présentant une succession de bancs marneux grumeleux et délités attribuées au Prérif interne dont on distingue deux ensembles (Fig. 3).

FIGURE 2. Croquis morphostructural simplifié des sofs du moyen Ouerrha et du haut Lebène.

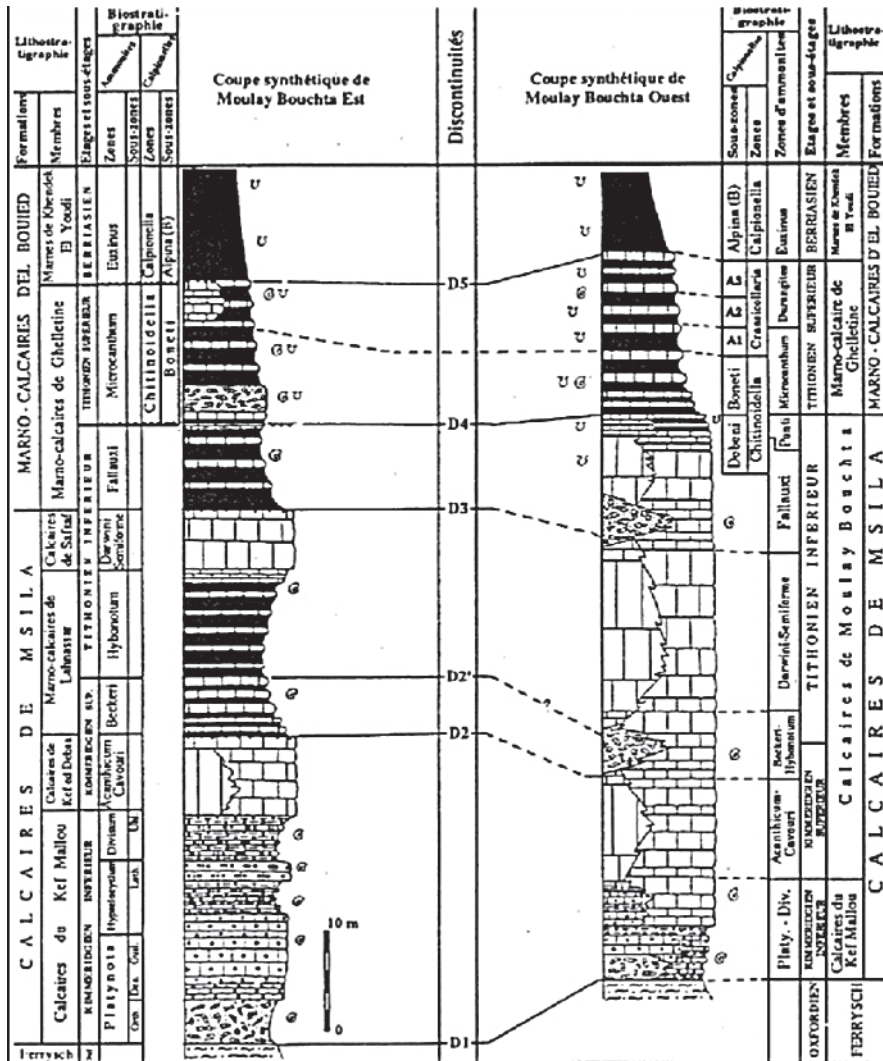


- 1: Sommet du Sof, 2: Route, 3: Calcaires et dolomies (Jurassique et Lias), 4: Marnes miocènes,
- 5: Quaternaires, 6: Cluse, 7: Gorge Sidi Abbou, 8: Grotte (8-1: Grotte El Gharghour, 8-2: Grotte Kettara).

- **Les sofs du Moyen Ouerrha:** les calcaires sont massifs dans la partie méridionale, mais passent à une série formée de bancs calcaires moins épais et bien stratifiés. L’ensemble de la formation présente des intercalations grumeleuses à la base. Néanmoins, les vires de marno-calcaires sont bien représentées et marquent le passage de gros bancs calcaires massifs à une série plus litée, composée de bancs calcaires peu épais et de quel-

ques interbanes marneux (Bachnou et Atrops, 1996). Il s'agit d'une ride calcaire du Jurassique formé par des calcaires gris cryptocristalins, en bancs de 50 cm d'épaisseur environ, disposés selon la direction N60° avec un pendage de 20° N-NW et intensément tectonisés selon une direction principalement N90° (Suter, 1965 ; Farès, 1994). Ces sofs sont affectés d'un système de karstification à l'affleurement. Au niveau du front de taille de la carrière de calcaire à Ain Aïcha, on trouve des plans de faille élargis et remplis d'argile, des poches de terra rosa, des zones broyées et des fissures calcifiées.

FIGURE 3. Coupe synthétique des formations des sofs dans le Prérif central.



Source : Bachnou & Atrops (1996)

- **Les sofs du Prérif central et oriental:** ils présentent des similitudes avec la formation calcaire, de type "Msila" au Nord-Ouest de Taza, qui est assez uniforme. Cette formation présente une succession lithologique différente de celle des secteurs oriental et occidental. Sa particularité est l'existence, en abondance, des marmo-calcaires grumeleux (Leblanc, 1979).

Ces caractéristiques montrent que l'ensemble des blocs calcaires que forment les sofs du moyen Ouerrha – haut Lebène fait partie d'un même domaine paléogéographique. Les différences lithologiques et les variations d'épaisseurs que l'on observe dans les affleurements résultent des rejeux de failles synsédimentaires, qui ont créé, pendant le Jurassique supérieur, de nombreuses irrégularités dans la topographie (Bachnou et Atrops, 1996). La différence lithologique entre les séries des sofs est due essentiellement à des variations latérales de faciès, qui seraient synchrones à des rejeux tectoniques au moment du dépôt. Les ensembles structuraux du Rif externe - étant charriés du Nord vers le Sud - et la série du Jurassique supérieur du Prérif interne devraient présenter des analogies de faciès avec les séries du Mésorif et/ou de l'Intrarif. D'autre part, les blocs calcaires situés au Sud de l'Ouerrha et ceux creusés par le Lebène, représentent bien la bordure septentrionale du bassin pré-rifain. D'autant plus que les comparaisons avec la série du Prérif interne oriental montrent des similitudes. Ainsi, les sofs du Prérif interne correspondraient au substratum parautochtone de la zone pré-rifaine (A. Gartet, 1994 ; J. Gartet, 2001).

En conséquence, nous nous basons sur les conclusions de Bachnou et al. (1996) relatives aux mécanismes de mise en place des blocs calcaires du Jurassique supérieur, argumentées par la tectonique compressive qui a entraîné d'importants raccourcissements, à dominante N-S, du socle et de sa couverture au cours du Miocène moyen-supérieur correspondant à la phase paroxysmale alpine. Ces mouvements de compression ont engendré la fracturation de la série rigide et peu puissante en de multiples dalles et écaillés se chevauchant les unes les autres tout en perçant la couverture marneuse qui s'est désolidarisée. Cette interprétation structurale – qui se rapproche de celle de Suter (1965) – permet de mettre en opposition l'interprétation de Vidal (1988) qui considère les blocs du Jurassique comme étant des "clastes" emballés dans ce qu'il appelle le "mélange rifain externe".

II. LE MODELÉ KARSTIQUE DES SOFS : UN KARST LOCALISÉ ET BIEN DEVELOPPÉ DANS LES FORMATIONS CARBONATÉES

Les sofs du Prérif central se caractérisent par un développement important des phénomènes karstiques. Il s'agit d'un ensemble discontinu (Fig. 2 et Photo 1), constitué de calcaires massifs du Jurassique et des calcaires lités et dolomitiques du Lias, accidenté par des failles entrecroisées dont les principales failles majeures sont orientées W-E. C'est dans ces roches carbonatées que la karstification s'est bien développée (Gartet, 1994).

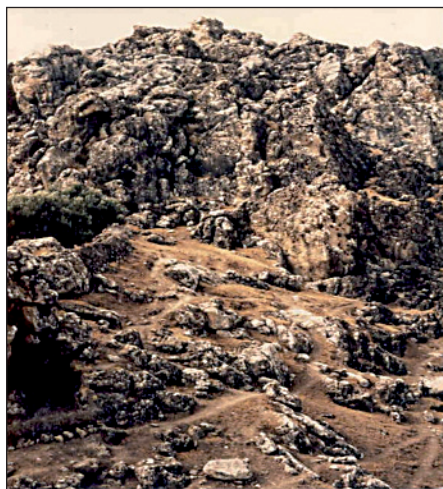
Les formes karstiques principales se sont développées dans un relief calcaire relativement dressé. Ces rides calcaires constituent, pour le réseau hydrographique, une barrière topographique difficilement franchissable. La cluse de Aïn Aïcha et les gorges d'El Ghargour s'expliquent par la surimposition simultanée de l'Ouerrha et du Lebène lors de l'affranchissement de cette barrière. Les Sofs Sidi Moussa, Azeroual, Aïn Aïcha et Mezraoua sont de véritables lignes de crêtes qui constituent une ligne de partage des

eaux. Cet ensemble de relief calcaire se présente sous forme de guirlandes de crêtes monoclinales discontinues (Suter, 1965 ; Maurer, 1968 ; El Bouzidi, 1987 ; Gartet, 1994). Les sommets de certains sofs sont plats, les bordures sont accidentées formant des escarpements où la roche affleure à nu. La partie inférieure est masquée par des éboulis. Ces derniers sont alimentés par la néotectonique et les processus de désagrégation, facilités par l'existence de nombreuses diaclases et fissures qui sont à l'origine de l'infiltration des eaux en profondeur de la masse calcaire et du développement de l'endokarst.

II-1. Les formes karstiques mineures et superficielles

- **Les lapiés de fissures**: ce sont des formes plus ou moins profondes de l'ordre du centimètre et du décimètre, qui résultent de l'activité de la dissolution. Les lapiés à profondeur métrique sont très rares et se localisent sur les sommets de certains sofs seulement, tels que les sofs Sidi Moussa, Boujedar et Mrhâra. Par endroit, ces formes constituent de véritables champs de lapiés. Les résidus argileux de la dissolution sont entraînés en profondeur où ils se déposent en terra rosa et participent au remplissage des diaclases et des fissures.

PHOTOS 1 et 2. Formes karstiques superficielles sur les Sofs du Prérif central.



1 (photo à gauche) : Lapiés de fissures dans les calcaires lités du Sof El Mrhâra ; 2 (photo à droite) : Cannelures et sillons longitudinaux, très rapprochés dans le Sof Aïn Bouâllal. Clichés J. Gartet (2009)

L'origine tectonique de ces lapiés (fracturation et microfracturation) est incontestable. La fracturation est exploitée par la dissolution et par l'action mécanique des racines de la végétation qui aboutie à l'élargissement des fissures. Ces lapiés témoignent d'une longue évolution ; actuellement, elles constituent des formes exhumées, reprises par la dissolution subaérienne active (Photos 1 et 2). La vitesse de leur évolution demeure faible, en comparaison avec les géosystèmes karstiques méditerranéens. Par ailleurs, si les caractéristiques climatiques semblaient avoir été favorables (Reille, 1979), les indications

du couvert végétal au Plio-quaternaire font défaut et semblent avoir peu intervenu ; la superficie trop réduite des terrains karstifiables devrait être à l'origine de cette faible vitesse.

Dans l'évolution de ce type de karst, l'exhumation des formes a pour conséquence l'apparition des processus de dissolution subaérienne, de ciselures ou de rillenkaren et de kamenitza (Nicod, 1975 et 1986).

- **Les cannelures** : il s'agit de lapiés de ruissellement qui sont des sillons longitudinaux en forme de "V" dont les profondeurs oscillent entre 15 et 30 cm, creusés par la circulation régulière de l'eau de pluie. Très rapprochées, elles suivent le sens de la pente et de l'écoulement des eaux. Dans la série liasique des calcaires des sofs M'Ghâra et Al Qasba à Aïn Bouâlal (Photo 2), situés sur la rive gauche de l'oued Lebène, la porosité est plus forte que celle de la série jurassique ; elle est plus finement diaclasée (Leblanc, 1975), ce qui facilite, en l'occurrence, la formation des cannelures.

- **Les vasques de dissolution ou "kamenitza"** : ce sont des formes mineures qui se présentent sous forme de cuvettes semi-circulaires, d'une profondeur de 30 cm et d'un diamètre de 50 cm environ. Ces vasques de dissolution sont comblées de colluvions. D'autres, à fond plat et vide dans le Sof M'Ghâra, où les flaques d'eau séjournent longtemps. En périodes hivernales, l'humidité y subsiste et entretient l'activité des micro-organismes responsables de la corrosion biochimique et de l'élargissement de la cuvette selon le processus connu dans les pays méditerranéens calcaires, décrits par Nicod en 1972 et 1975.

- **Les dépressions** : elles prolifèrent sur les sommets constitués de calcaires massifs du Jurassique supérieur. Ces petites dépressions karstiques s'esquissent à des altitudes sommitales, généralement supérieures à 800 m. Ces formes sont peu répandues et ne se développent que très localement dans les secteurs plus à l'Est au Prérif central. La neige serait à l'origine de ces formes de corrosion, en altitude des versants N et NNE, où elle persisterait lors des années neigeuses, témoignage des riverains. Il s'agit de "dépression nivo-karstique" qui témoigne d'une karstification évoluant vers le stade de "doline" après la phase de démantèlement total des lapiés. Ces petites dépressions sont actuellement garnies de dépôts résiduels et de gélifraacts.

Le rôle de la neige semble être atténué, par rapport aux phases pluviales du Quaternaire. La dissolution de l'eau stagnant dans ces proto-dépressions semble prendre le relais dans l'approfondissement des formes. De ce fait, même sous ce climat semi-aride, les faibles précipitations entretiennent l'humidité du fond des dépressions et garantissent la poursuite de l'activité par la dissolution.

II-2. Les formes majeures du karst des sofs

Des formes karstiques majeures se sont développées sur les sofs du Prérif central. Il s'agit surtout des grottes, des gorges, des cluses et des réseaux souterrains ou vallées aveugles.

- **Les grottes** : ce sont des cavités de tailles variables que l'on retrouve soit sur les mi-versants des sofs, soit en contrebas, au niveau des lits actuels des oueds. Elles se situent sur les bords des oueds de cette région, notamment les oueds Lebène et Ouerrha mais aussi sur certains de leurs affluents. Certaines grottes sont baignées par les eaux ; d'autres, se trouvent perchées au-dessus du lit actuel. Leurs porches avoisinent les 3 à 8 m

de diamètre. La grotte d'El Gharghour à Sidi Abou ($x = 424,5$, $y = 585$), plus vaste, située sur la rive droite de l'oued Sahel Lâarabi, est la plus développée. Il s'agit d'une cavité qui s'étend horizontalement et verticalement dans la masse rocheuse calcaire. D'une taille et d'une géométrie impressionnante, elle est accessible en basses-eaux et a toujours servi d'abri pour homme. À l'entrée, la surface est de plus de 15 m^2 , elle diminue au fur et à mesure qu'on continue. Il n'est guère possible d'y accéder en périodes de hautes eaux. Les concrétions internes abondent localement sur le toit de ces cavités. Les mieux développés sont les stalactites et les stalagmites. Le réseau des tunnels et des galeries et la circulation interne des eaux dans la masse calcaire suppose l'existence des points d'absorption vers le sommet et les versants calcaires de ces sofs en plus du rôle d'une capture (fuite de l'écoulement au fur et à mesure que oued Sahel Lâarabi s'est encaissé (phénomène de surimposition).

D'autres cavités, de formes géométriques variées mais de dimensions nettement réduites, se rencontrent dans les sofs. Elles sont en formes d'abîme, de gouffre ou d'entonnoir. Les plus caractéristiques sont les gouffres de dimensions métriques, qui se sont développées à partir des fissures élargies par dissolution, et agrandies par décollement et effondrement du matériel des voûtes des vides créés en profondeur.

D'autres cavités de formes géométriques variées, ont évolué dans les sofs. Ce sont des "alvéoles" de dimensions métriques, qui se sont développées soit à un enlèvement plus poussé des altérites, soit à des affaissements causés par des réseaux de fractures ; c'est le cas d'El Kettara ($x = 582$, $y = 428$) sur la route Ras El Oued - Houara.

- **Les gorges du Lebène à El Gharghour** : il s'agit d'un canyon façonné profondément dans les calcaires du Jurassique et du Lias. Le creusement linéaire, étant intensif dans le fond du lit rocheux, a vite balayé ces témoins et les versants ont conservé leur raideur. Le creusement correspondent vraisemblablement au Plio-quadernaire, par adaptation et surimposition du réseau hydrographique à la structure ; les lambeaux de surfaces d'aplanissement (*gaâdats*), à l'amont des gorges, actuellement perchés à quelques centaines de mètres en dessous des sommets des sofs confortent cette hypothèse.

- Sur la rive droite (sortie des gorges), les versants sont couverts d'éboulis, détachées des escarpements des sofs. Les éboulements actuels sur les versants expliquent la rictérisation, ou du moins, une forme de régularisation sur une grande partie de sa hauteur.

- Sur les versants de la rive opposée, le tassement des panneaux glissés (mouvements horizontal ou glissement banc sur banc) est caractéristique.

Il s'agit donc d'un système karstique bien développé, puisque sur les versants des gorges, de part et d'autre des oueds Lebène et Ouerrha, l'étagement des grottes témoigne des niveaux de capture (point d'absorption) en fonction du creusement des canyons. Des poches perchées à une altitude de 15 m environ au-dessus du lit actuel, remplies de terrarossa, attestent d'une forte karstification. La gorge d'El Gharghour serait le résultat de l'adaptation du Lebène (sahel Lâarabi) à la structure de la ride (Sof Sidi Abbou) par une surimposition. Les failles transverses (N-S), origine des décalages des sofs d'orientation E-W, seraient responsables de l'adaptation et de la surimposition du réseau à la structure des sofs.

La morphologie du lit dans ces gorges est particulière. La pente longitudinale est forte (3 à 5%), on passe de 285 m d'altitude au fond du lit à 262 m sur une distance 300 m .

Les cascades se succèdent en marches d'escalier dont la principale est de 15 m environ. Elle correspond à une faille majeure transversale recoupant Sof Sidi Abou et Sof Mrhâra.

La morphologie du canyon, la succession des cascades du fond du lit et les éboulements sur les versants renseignent sur la poursuite de l'activité néotectonique. Le canyon Sidi Abbou (Photo 3), développé au cours du Quaternaire, représente un véritable trait de scie : quelques mètres de large au fond pour des centaines de mètres de profondeur.

PHOTO 3. Canyon karstique taillé dans les calcaires du Jurassique et du Lias en bordure du Sof Sidi Abbou.



Cliché J. Gartet (2009)

- **Les cluses du Moyen Ouergha à Aïn Aïcha et Mezraoua** : dans ce secteur, l'Ouergha draine le bassin de Taouinate, dont l'allure arquée est due à l'accident majeur du Rif et aux poinçonnements des sofs, avec l'alignement plus ou moins continu (SE – NW) qui annonce, vers le sud, le domaine pré-rifain. Ces sofs limitent vers le Sud et le SE le bassin de Taouinate ; ils débutent à l'Ouest de Aïn Aïcha et se continuent vers l'Est. L'Ouergha coule du Nord vers le Sud, au niveau de la cluse, traverse d'abord la zone d'alignement des sofs (Sof Mokhtar – Sof Sidi Ahmed) au niveau d'un décalage des massifs par accident transverse ; ensuite, il décrit un large méandre avant de sortir au niveau de Mezraoua vers le NW. L'inadaptation du réseau hydrographique à la structure du bassin de Taouinate au niveau des sofs, a provoqué le creusement dans ces rides calcaires de vallées étroites et encaissées, en forme de cluses ou de gorges (J. Gartet, 2001).

- **Les dolines et les puits aveugles** : à Houara, au niveau du décalage des massifs des Sofs Azeroual et Kharrouba, précisément à Douar Blalâe ($x = 426,4$; $y = 582$), sur

un ancien tracé de la route communale reliant les villages Houara (Aïn Maâtouf) et Aïn Aïcha, s'est formée un champ de points aveugles où se juxtaposent des puits naturels sur une superficie d'environ 200 à 250 m². Ce sont des dolines d'absorption, ouvertes inhabituellement en surface de terrains marneux, que d'abîmes, de gouffres ou d'entonnoirs. Ces dolines d'absorption ou points aveugles (gouffres) sont toujours actifs ; même en été, leur fond marneux reste vaseux, entretenu par l'eau d'origine profonde, attestant d'une circulation souterraine. L'origine de ces points semble être liée probablement à l'existence de vide en profondeur, d'un réseau souterrain et de l'effondrement des toits des cavités créés par dissolution. Profonds de 5 à 20 m, ces entonnoirs se resserrent vers le haut. Les vides souterrains et l'activité de ces dolines d'absorption seraient d'ampleur importante d'autant plus que les archives des travaux publics notent que ces puits absorbants pouvaient entraîner en profondeur les blocs et cailloux déversés lors des travaux de la route. De plus, les riverains et même les usagers de ce chemin sont habitués, en hiver, à l'écho d'un écoulement souterrain torrentiel.

- **La distribution des sources** : il existe de nombreuses sources karstiques dans la zone des sofs de la région Ouerrha-Lebène. Ces émergences apparaissent sur les mi-versants au contact du calcaire lité du Lias et du calcaire massif du Jurassique, en contrebas des versants et dans les lits des oueds. Les débits des sources, bien que soutenus durant l'année, connaissent des fluctuations liées aux variations dans l'alimentation et aux fluctuations des niveaux piézométriques des nappes et des réservoirs karstiques. À Sidi Abbou, sur la rive droite de l'oued Lebène au pied du Sof Boujdar, une source de débit important, très froide en été, jaillit dans la grotte de Bab El Gharghour. Ces caractéristiques rappellent les caractères des sources vauclusiennes des géosystèmes karstiques méditerranéens.

III. LES MOUVEMENTS DE TERRAIN SUR LES VERSANTS DES SOFS

Le relief des sofs est formé, pour l'essentiel, par des massifs carbonatés (calcaires et dolomies à intercalations de lits marneux) qui pincent la couverture marneuse pré-rifaine et les formations du bassin post nappe. La tectonique tardive relative à la mise en place des rides, la fermeture des bassins intramontagneux de la chaîne rifaine au Tortono-messinien et la karstification au Plio-Quaternaire a façonné ce modelé. La dynamique actuelle (karstification des masses carbonatées) et les mouvements de terrain (chutes de pierres et de blocs, éboulement, etc.) continuent de façonner le modelé. Sur certains massifs, les plans de stratification ou de clivage sont des plans inclinés sur lesquels se produisent des glissements banc sur banc. Selon Flageollet (1989), la possibilité de glissement dépend de la rugosité des plans structuraux, du pendage, de la présence d'un film d'eau qui peut aider à vaincre la résistance au frottement dans ce qui est appelé "frottement banc sur banc" ou "ripage" d'une masse rocheuse. De nombreux exemples dans les sofs pré-rifains montrent divers types de mouvements de terrain sur des versants taillés dans les roches carbonatées.

III-1. Aspects de l'évolution des versants des sofs du Prérif central

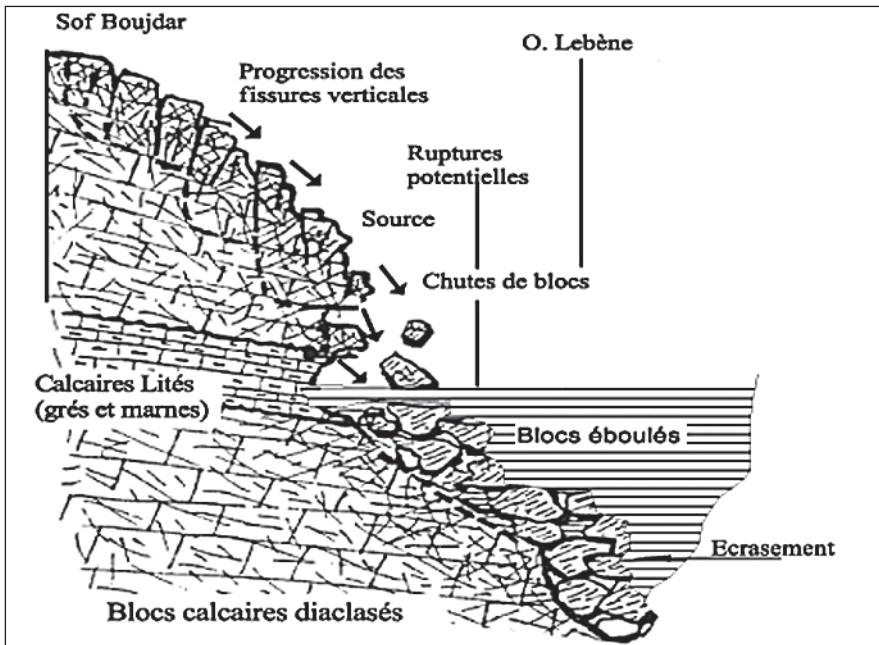
- **Chutes de blocs et éroulement rocheux à Sof Boujdar** : sur le versant NE du Sof Boujdar, dominant directement les gorges d'El Gharghour à Sidi Abbou (x = 428, y =

584), les phénomènes d’écroulement rocheux de surplombs de la paroi rocheuse fissurée et diaclasée, représentent le processus dominant de la morphodynamique actuelle (Fig. 4). Les éléments issus des écroulements forment un dépôt superficiel. Ce matériel chaotique se distingue des éboulis ordonnés que l’on retrouve ailleurs sur les pentes régulières des phases froides. Dans ce sof, la karstification dans les roches carbonatées et la dynamique de l’oued en contrebas de l’escarpement rocheux expliquent l’instabilité du versant et la genèse des mouvements de terrain.

- Sur *le versant Sud du Sof El Mraâra* (Fig. 5), les modalités de l’évolution résultent des glissements sur une discontinuité préexistante sur le versant dominant l’oued Sahel Laârabî. La discontinuité correspond à un lit argileux ou marneux qui constitue la “couche savon”. Ces surfaces de discontinuité potentielles favorisent le glissement par frottement banc sur banc, lié au processus de ripage. Le décollement et le glissement dépendent de la résistance à la friction des bancs rocheux au-dessus du joint humide et de la résistance au cisaillement.

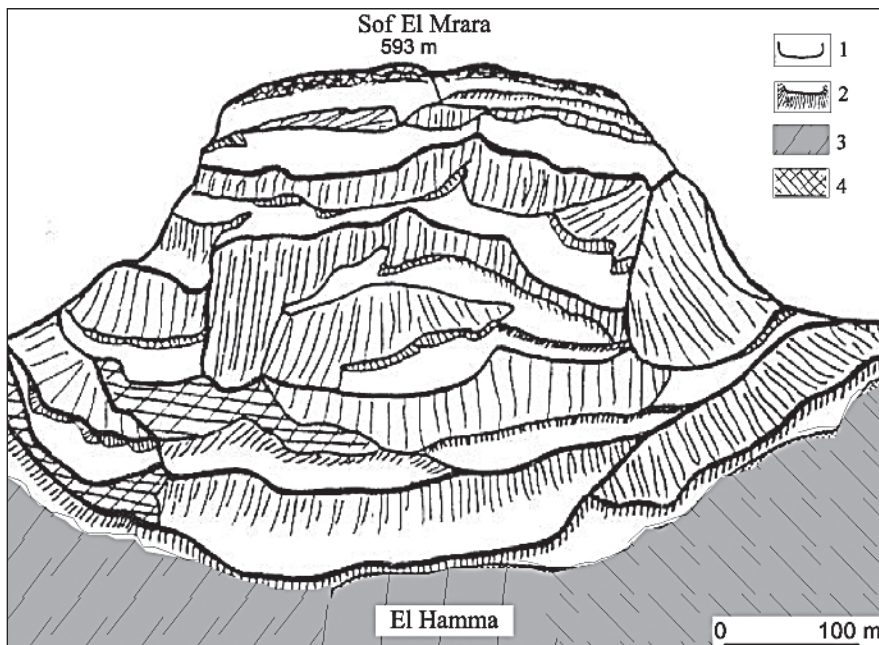
Du sommet à la base du versant SW du Sof Mrhâra (dit aussi localement Sof El Kasba), on compte six dalles ou panneaux et sept facettes (traces d’arrachement de la surface de glissement). L’armature des versants est constituée par un éboulis rocheux chaotique issu de la dislocation des panneaux ou dalles glissées. La partie inférieure est masquée par les dépôts de bas de versant. Ces derniers sont issus de la désagrégation et de l’altération des matériaux détachés du versant, par ripage.

FIGURE 4: Ecroulement et chutes de blocs à Sof Boujdar.



Source: A. Gartet (1994)

FIGURE 5: Ripage et glissement des panneaux et entassement sur le versant SW du Sof El Mrhâra.



1: panneau glissé ; 2: facette du glissement ; 3: blocs épars sur pente relativement faible; 4: éboulis de pente forte.

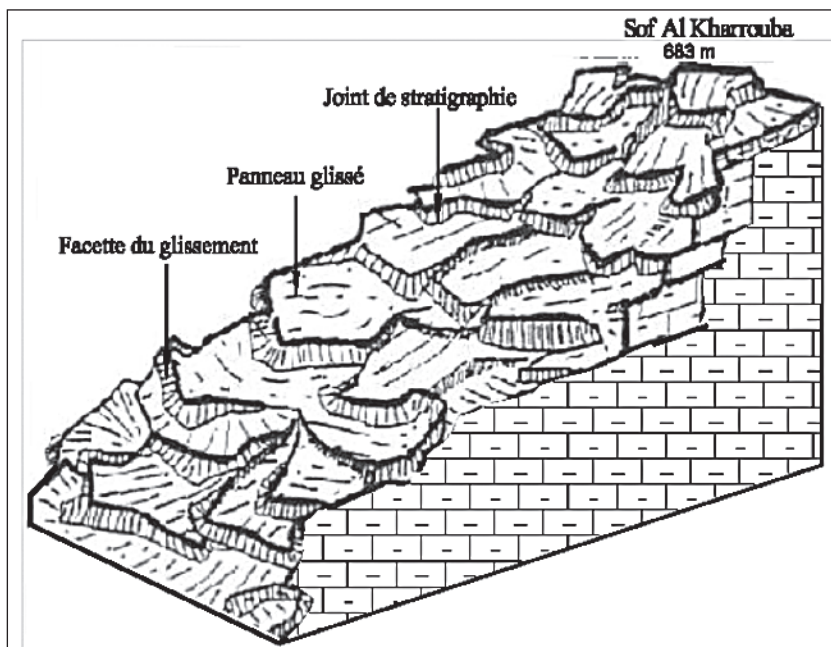
- Sur le versant Sud-Ouest du Sof Al Kharrouba, les glissements bancs sur bancs affectent une bonne partie du versant. Les décrochements et les glissements se manifestent au niveau des joints de stratification des calcaires massifs, à gros bancs, intercalés par des bancs décimétriques de calcaires lités (Fig. 6). Entre les deux masses, l'eau favorise le glissement. Ce phénomène s'apparente au glissement du sof El Mrâra, à peu de chose près ; la seule différence qui apparaît est la pente du versant et l'épaisseur des bancs. L'avancement des panneaux glissés paraît être commandé par la structure des bancs et par la tectonique cassante.

- Sur le versant Nord-Ouest du Sof Aïn Maâtouf, à Douar Ghrouna près du Sof El Kelâa ($x = 425,5$; $y = 570,6$), la morphologie du versant est caractérisée par des torrents et des bosses, en forme de cône ou d'éventail. La masse glissée montre une disparition des structures des roches : matériel mélangé au cours du transport, hétérogène et diamétrique (éléments plus ou moins grossiers emballés dans une matrice argileuse ou marneuse). Le type de mouvement est semblable à un écoulement probablement précédé par un glissement dans les marnes au niveau du contact avec la masse carbonatée du sof. L'écoulement s'effectuerait en lame sur la paléo-surface du versant du sof ou guidé par l'encaissement du torrent.

- Sur les versants Est et Sud-est du Sof Aïn Aïcha, l'aspect chaotique des éboulis ca-

ractérise les bas et mi-versants. Les versants, constitués de calcaires dolomitiques, dominent directement la cluse de l'Ouerra à Aïn Aïcha ($x = 429,6$; $y = 565$), où l'oued dessine un coude de méandre en forme de croissant très arqué. Les phénomènes d'écroulement de surplombs et les effondrements occasionnels de blocs calcaires, fissurés et diaclasés, représentent les processus d'une évolution géomorphologique héritée du Quaternaire moyen mais aussi d'une morphodynamique actuelle aggravée par la pression anthropique liée aux effets des mines et explosifs utilisés dans la carrière pour l'extraction des granulats.

FIGURE 6. Glissement banc sur banc des roches calcaires à intercalation argileuse suivant les plans de stratification sur le versant SW du Sof El Kharrouba.



Source: A. Gartet (1994)

III-2. Les éboulis

Les versants des sofs situés dans la zone orientale ont été soumis à une intense gélifraction qui a affecté les roches carbonatées où les matériaux ont été ultérieurement sujets des éboulements rocheux importants (*supra* photos 1 et 2). Ces matériaux ont été redistribués par l'action de la pesanteur, des agents et des processus morphoclimatiques (J. Gartet, 2001). Ils ont édifié des formations d'éboulis qui se répartissent sur différentes altitudes (Photo 4 et Fig. 7). Les principaux types d'éboulis qui nappent les versants sont :

- **Les éboulis de gravité** se présentent sur des pentes fortes, à des altitudes comprises entre 600 et 950 m dans la zone des sofs. La répartition de ces éboulis de gravité aux blocs métriques est sélectivement concentrée, préparée par des manifestations vraisemblablement néotectoniques (Leblanc, 1982 ; Vidal, 1984 et Barathon, 1994), mais résulte

aussi des processus de désagrégation, facilités par l'existence de nombreuses diaclases et fissures. La matrice fine, dans cette formation, est pratiquement rare.

PHOTO 4. Epandage d'éboulis à Aïn Bouâllal en contrebas du versant SW du Sof El Kasba (secteur Beni Frassène).

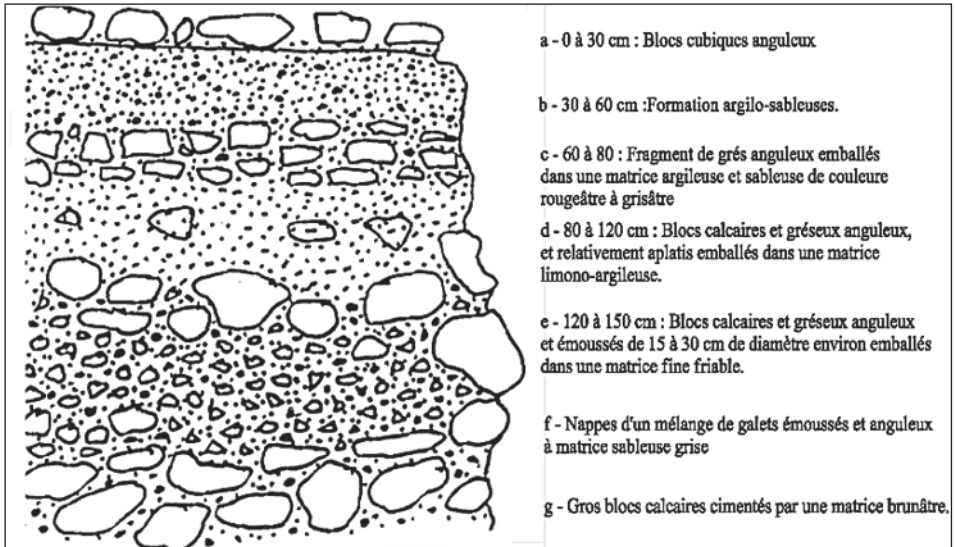


Cliché J. Gartet (2009)

- **Les éboulis ordonnés** : ils se répartissent dans les zones de contact des ensembles lithologiques et s'étalent en contrebas des accidents tectoniques affectant les versants des sofs à Beni Frassène (Fig. 7), El Koulla et au SE du massif de Drinkel. Ces éboulis présentent une alternance de lits poreux dépourvus de matrices et de passées sableuses, peu argileuses, de couleur rougeâtre. La taille des fragments est variable sur le même versant.

La répartition de ces éboulis renseigne sur deux modes de mise en place. Sur les versants Sud des sofs situés à l'Est, on observe une structuration par tranches d'épandages d'éboulis, du sommet vers le bas (Sofs Boujedar et El Mrâra, *infra* Fig. 5) de part et d'autre des crêtes rocheuses. On constate que cette même évolution s'est produite dans des sofs tels que Sof Et-Touil et Sof Sidi Moussa et, encore plus, à Sof Ghaïlane et Sof Jbel Bou Taleb dans le secteur de Beni Frassène. Les caractéristiques de ces éboulis se différencient nettement de celles des versants de montagne par la nature des roches fragmentées. Sur ces versants, en contrebas des dalles ou panneaux glissés, au pied des facettes, les matériaux éboulés commencent à être triés. Cette action résulte des effets de déplacements des matériaux, sur la pente des versants, liée aux poids des éléments et facilitée par l'action du ruissellement qui transporte les particules fines. Les pentes fortes favorisent la sélectivité des blocs épars : c'est pourquoi leurs dimensions varient avec la pente, où les matériaux se sont déposés selon un tri gravitaire.

FIGURE 7. Coupe dans les éboulis du Sof Jbel Bou Taleb (secteur Beni Frassène).



Source: A. Gartet (1994)

En définitive, les éboulis ordonnés sur les versants des sofs du Prérif central rappellent ceux décrits par Maurer (1964 et 1968) dans le Haut Rif central et ceux du Rif oriental (Barathon, 1980 et 1994). Néanmoins, certaines nuances dans l'évolution de ces coulées de blocs et de blocailles sont à distinguer, liées probablement à l'existence de périodes de gélifraction active. Les éboulis ordonnés et les éboulis géliflués sont favorisés par la succession des phases de réchauffement et d'assèchement relatifs : "Cycle catapluvial" de Raynal (1970). Il s'agit d'alternance de la fraction pierreuse et de la fraction fine, conditionnées par le cycle gel-dégel.

IV. CONCLUSION

Le caractère lithostructural des sofs de la région du moyen Ouerrha et du haut Lebène montre une similitude des faciès et font partie d'un même domaine paléogéographique. Les seules variations des faciès et d'épaisseurs semblent être localisées et liées à la structuration des bassins intramontagnards. L'évolution géomorphologique du modelé karstique de cette zone est donc originale. Elle est, à la fois, progressive depuis le Plio-quadernaire et complexe. Le modelé karstique des Sofs permet de distinguer deux types de formes karstiques qui semblent toutes héritées :

- les formes mineures et superficielles, de types lapiés de fissures, cannelures, vasques de dissolution ou kamenitzas et dépressions karstiques, et ;
- les formes majeures de karsts de types grottes, gorges, cluses, dolines ou puits d'absorption, et sources émergentes.

Les mouvements de terrain sur les versants du modelé des sofs alternent des mouve-

ments d'éboulement, d'écroulements et des chutes de blocs préparés par la karstification dans les masses carbonatées et des glissements, des écoulements et des glissements – écoulements dans les marnes.

En attendant plus de précisions sur les phases d'évolution karstique au quaternaire dans la zone des sofs, l'étude des phénomènes karstiques dans les sofs mériterait, à elle seule, une étude tant approfondie : piste de recherche que nous souhaitons développer à l'avenir.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDRIEUX, J. (1968): Sur les caractères post-tectoniques de la mise en place des nappes rifaines (Rif, Maroc). *Comptes rendus Académie des Sciences*, tome 267, série D, pp : 1665-1692.
- ANDRIEUX, J. (1971): La structure du Rif central : étude des relations entre la tectonique de compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne alpine. *Notes et mémoires du Service Géologique du Maroc n° 235*, Rabat.
- BACHNOU, A. & ATROPS, F. (1996): Stratigraphie du Jurassique supérieur dans la région du Moyen Ouerrha (Pré-rif interne) : Comparaison avec l'avant-pays rifain oriental. *Mines, Géologie et Energie*, n° 55, Rabat, pp : 21-30.
- BARATHON, J.-J. (1994): À propos du Pléistocène supérieur et de l'Holocène dans le Nord-Est du Maroc semi-aride. *Revue de Géographie du Maroc, Vol. XVI, n° 1-2*, pp : 43-51, Rabat.
- COMBE, M. (1971): La zone pré-rifaine et les rides pré-rifaines. *Notes et mémoires du Service Géologique du Maroc n° 231*, Rabat, pp : 81-112.
- EL BOUZIDI, A. (1987): *Vallée moyenne de l'Oued Lebène (Pré-rif, Maroc) : Étude de cartographie géomorphologique. Thèse Doct. 3^e cycle*, 140 p., Université de Poitiers.
- FARÈS, A. (1994): *Essai méthodologique de la cartographie des risques naturels liés aux mouvements de terrain : application à l'aménagement de la ville de Taounate (Rif, Maroc)*. Thèse Doct. Université Franche-Comté, 177 pp., Besançon.
- FLAGEOLLET, J.-C. (1989): *Les mouvements de terrain et leur prévention*. Collection Géographie, Masson, Paris, 224 pp.
- GARTET, A. (1994): *Morphogenèse et hydrologie dans le bassin versant de l'oued Lebène (Rif méridional et Pré-rif central et oriental, Maroc)*. Thèse Doctorat Université d'Aix-Marseille I, 342 pp., Aix-en-Provence.
- GARTET, J. (2001): *Contribution à la connaissance de la dynamique fluviatile au Pléistocène supérieur et à l'Holocène dans la vallée de l'Ouerrha : Étude des dépôts des basses et très basses terrasses (Rif, Maroc)*. Thèse Doctorat Université d'Aix-Marseille I, 543 pp., Aix-en-Provence.
- LE BLANC, D. (1971): Structure du Pré-rif oriental au Nord de Taza (Maroc). *Notes Service Géologique du Maroc n° 237, T. 31*, pp. 41-48, Rabat.
- LE BLANC, D. (1979): Étude géologique du Rif externe oriental au nord de Taza (Maroc). *Notes et mémoires du Service Géologique du Maroc n° 281*, 160 pp., Rabat.

- LE BLANC, D. (1979): Allochtonie des unités du Mésorif (Maroc). *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences, t. 288, n° 1, Série D*, pp. 27-30, Paris.
- MAURER, G. (1968): *Les montagnes du Rif central : étude géomorphologique*. Thèse Doctorat d'Etat, Édition Marocaine et internationales, 499 pp., Tanger.
- NICOD, J. (1972): *Pays et paysages du calcaire*. Collection SUP, Presses Universitaires de France éditeur, 244 pp.
- NICOD, J. (1975): Corrosion de type cryptokarstique dans les karsts méditerranéens. In *Proceedings of the international symposium on standardisation of field research methods of karst denudation (corrosion)*, Ljubljana, pp. 171-179.
- NICOD, J. (1978): Processus karstiques anciens et actuels. *Annales de Géographie n° 483*, pp. 560-562, Paris.
- NICOD, J. (1984): Instabilité des dépressions karstiques. In "Mouvements de terrain". *Colloque de Caen, Mémoires B.R.G.M. n° 83*, pp. 273-278, Paris.
- NICOD, J. (1986): Effets de la néotectonique dans les karsts méditerranéens. New direction in karst, proceedings of the Anglo-French symposium, Edited by K. Paterson and M. M. Sweeting. Géo. Books Norwich, 1986, pp. 151-163.
- SUTER, G. (1965): La région du moyen Ouerrha (Rif, Maroc) : étude préliminaire sur la stratigraphie et la tectonique. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc n° 183*, pp. 7-18, Rabat.
- VIDAL, J.-C. (1971): Une interprétation nouvelle des nappes du Prérif central (Maroc) et ses conséquences sur la structure de leur substratum autochtone. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences, T. 272, série D*, pp. 24-27, Paris.
- VIDAL, J.-C. (1984): Carte géologique du Rif au 1/ 50 000 et notice explicative. Feuille Beni-Frassène. *Notes et mémoires du Service Géologique du Maroc n° 283 bis*, 39 pp., Rabat.