

Méthodes et résultats de la mesure de l'ablation sur les surfaces calcaires : exemples littoraux

par Maurice JULIAN
Université de Nice

A l'inverse des littoraux formés de sédiments meubles (plages, cordons, deltas...) qui ont enregistré pendant la période historique des modifications parfois considérables, les littoraux rocheux calcaires des rivages méditerranéens paraissent stables, formant depuis l'Antiquité des caps ou des promontoires qui sont autant d'amers sur lesquels la navigation ancienne s'appuyait. Toutefois, à l'observation, on est frappé par l'aspect déchiqueté de ces côtes à falaises de hauteurs diverses, banquettes, rampes, côtes modélées de lapiés, défoncées de multiples alvéoles, cuvettes, mares (jamais de véritables vasques sur nos rivages nord), sapées par des encoches au niveau de la mer, frangées de trottoirs d'érosion ou de consoles construites d'algues calcaires (principalement *Lithophyllum*), cette morphologie témoignant d'une dynamique efficace.

L'estimation ou la mesure de l'érosion sur ces littoraux nécessite la mise en œuvre de méthodes diverses, dont certaines sont courantes en milieu karstique continental, alors que d'autres sont spécifiques du milieu littoral. Une fois cette problématique envisagée, il sera utile de préciser les bilans de cette érosion et de les comparer à ceux des littoraux semblables des mers tropicales, plus chaudes mais aussi plus agitées, dans lesquelles l'activité biologique est plus intense.

I. L'ÉROSION BIOKARSTIQUE LITTORALE : FORMES ET PROCESSUS

La zonation tripartite est classique depuis les travaux de Guilcher (1953), Fairbridge (1968) et, en dernier lieu, de Dalongeville (1978, thèse inédite).

1/ LA ZONE SUPRALITTORALE

Du côté interne, on note des formes de transition avec celles du karst continental, celui-ci étant comme progressivement nettoyé, désencrassé ; puis les surfaces calcaires apparaissent comme taraudées par des alvéoles, des cuvettes et des mares car cette zone reçoit des paquets de mer lors des tempêtes et plus fréquemment des embruns ("spray zone"). Les processus de dissolution directe du calcaire sont peu certains là, bien qu'Emery ait envisagé la production nocturne de CO_2 du fait de la respiration des peuplements de littorines des mares, mais ces processus de "water layer weathering" n'ont pas été confirmés par les analyses précises de Debrat (1974) faites dans la

région niçoise (ni variations de pH, ni mise en solution de calcaire). Cette zone d'embruns est le lieu d'une intense désagrégation physico-chimique sous l'action de l'**haloclastie** (cristallisation du sel marin des embruns et de l'eau des mares par évaporation). D'autre part, la bioérosion prend de plus en plus d'importance à mesure que l'humectation du calcaire augmente : cyanophycées épilithiques dont l'attaque est, selon Le Campion-Alsumard (1979), très rapide ; plus bas, les formes endolithiques l'emportent et ce seraient elles, d'après Nesteroff (1960), qui auraient la plus grande efficacité (observations au Cap d'Antibes).

2/ LA ZONE MEDIOLITTORALE

On l'appelle ailleurs zone intertidale mais la faiblesse de la marée sur ce littoral en empêche l'usage. C'est la zone où, mieux, le plan d'action des vagues, non point comme précédemment leur déferlement mais ce qu'on dénomme le jet de rive ("uprush"). C'est donc une zone d'humectation quasi-continue où les biomasses animales augmentent notablement. Elle est marquée soit par une encoche ("notch") à la base de la falaise ou de la microfalaise (on n'observe pas de véritable visor comme en domaine tropical), soit par un trottoir d'érosion à encroûtements algaires fréquents, l'une et l'autre de ces formes étant limitées par la console à *Lithophyllum*, parfois un véritable trottoir construit (La Gabinière, Port Cros).

3/ LA ZONE INFRALITTORALE

C'est la zone d'immersion pérenne, soumise à des remous, où s'observent de nombreuses traces de façonnement karstique anciennes.

Si la dissolution est réduite — et ce encore plus au niveau de la mer (malgré la netteté de l'encoche) —, la biocorrosion et la bioérosion sont les processus dominants, dont la connaissance s'améliore grâce aux recherches des biologistes marins. Les effets en sont multiples : broutages, forages, perforations, et les acteurs eux-mêmes nombreux : algues, clones, vers, échinoïdes, bivalves (pelecypodes), gastéropodes, crabes, poissons, etc.

Les secteurs battus (caps, promontoires) localisent les formes de bioérosion les plus développées alors qu'à l'inverse les rentrants voient ces formes s'amoinrir et même disparaître. Il en est de même des constructions algaires (fig. 1).

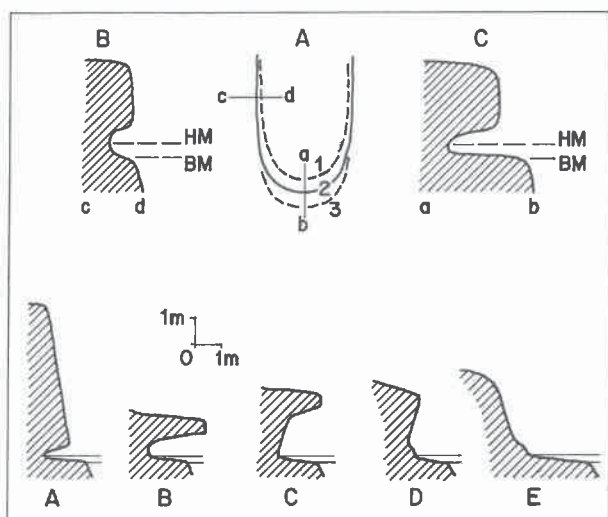


Fig. 1 - **Types de profils** (d'après Debrat, 1974).
 En haut - A : promontoire vu de dessus. B : coupe transversale en secteur abrité (c - d). C : coupe longitudinale en secteur battu. 1 : tracé du fond de l'encoche. 2 : tracé du surplomb. 3 : tracé du rebord de la banquette.
 En bas - Plusieurs types de profils longitudinaux. A : encoche en trait de scie (falaise élevée). B : microfalaise réduite (esquisse de visor). C : absence d'encoche, simple surplomb (encorbellement). D et E : absence d'encoche, formation d'un trottoir, tendance au rabattement de la microfalaise (rampe).

En domaine nord-méditerranéen, la profondeur et la largeur des encoches et des trottoirs se classent dans des fourchettes de 0,5 m/1,5 m, alors qu'aux Bermudes des encoches de 5 m ont été observées et que les dimensions record atteignent 10 et même 20 m (Indonésie, d'après Kuenen, cité par Fairbridge, 1968).

Selon Debrat (1974), Trudgill (1976), Focke (1978), la cinématique des littoraux affectés par l'érosion biokarstique obéit à plusieurs types de modèles :

- les promontoires bas sont à la fois rongés par les alvéoles et les cuvettes en coalescence, avec abaissement de la surface, alors que les microfalisées reculent en laissant devant elles des trottoirs (fig. 2) ;

- le modèle le plus courant correspond à la progression de l'encoche et au recul de la falaise (microfalaise) parallèlement à elle-même, par éboulements successifs (porte-à-faux) et formation d'un trottoir d'érosion en avant (ainsi qu'une console d'algues calcaires) ;

- un autre modèle d'évolution, indiqué par Focke (1978) sur les secteurs très battus du littoral de Curaçao, correspondant à un phénomène de pivotement, avec réduction de la falaise (la console bioconstruite, très stable, constitue alors comme une charnière), ce modèle est quasiment absent de nos littoraux.

II. METHODES ET RESULTATS DES MESURES DE L'ÉROSION DU BIOKARST LITTORAL, MEDITERRANÉEN

— En domaine karstique continental, l'éventail des méthodes de mesure des taux d'érosion sur les affleurements calcaires est large. Sans entrer dans trop de détails, on peut en mentionner quelques-unes :

- * des méthodes hydrochimiques (mesure des teneurs des substances dissoutes et calcul de l'ablation en fonction du drainage rapporté à une surface ou à un volume déterminé) ;

- * mesure du cumul de l'ablation d'une surface par rapport à des repères ou des plans stables (par exemple mise en creux par rapport à des modelés datés, comme un poli glaciaire ou la surface polie de pierres de construction dont on connaît la date d'édification) ;

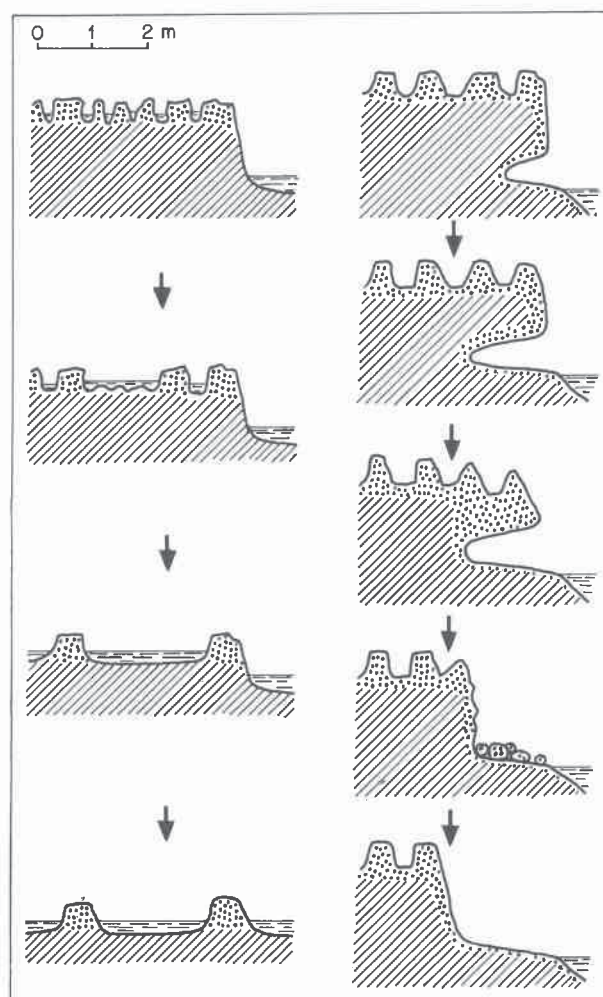


Fig. 2 - **Evolution de deux types de littoraux** (d'après Debrat, 1974).

- A gauche : Evolution d'un promontoire bas. Abaissement sans recul de la microfalaise ni formation d'encoche.

- A droite : Evolution d'un promontoire d'une hauteur de 2-3 m, rôle de l'encoche, recul de la microfalaise et formation d'un trottoir.

* mesures instrumentales dont la variété est grande : pertes pondérales de plaquettes calcaires standard dans une solution (fluide ou sol), mesures directes par des instruments comme le micro-érosion-mètre mis au point par les spéléologues de Bristol (High et Hanna, 1979, cf. Goudie : *Geomorphological Techniques*, mesures au microscope électronique, comme celles de Viles sur l'altération du calcaire par les lichens ou de Mac Lean (cité par Focke) qui a montré qu'un échinoïde pouvait mobiliser 14 cm³ de calcaire par individu, ce qui, à raison de 100 individus au m², donne une ablation de 1 400 cm³/an, ou 1/4 mm/an.

— En domaine littoral, ces méthodes sont parfois impossibles à adopter ou d'un usage délicat ; pourtant Trudgill (1986) a développé au maximum leur utilisation dans l'Atoll d'Aldabra.

Sur le littoral azuréen, on s'est à ce jour limité à des mesures directes simples et à la définition de taux d'érosion qu'il est préférable de considérer comme approximatifs.

Ainsi, en observant l'alvéolisation d'un calcaire tendre du Viaduc d'Anthéor (Estérel) par les embruns, Guilcher (1953) a-t-il pu estimer à 2 mm/an le recul (profondeur de l'alvéole : 18 cm ; date de l'ouvrage : 1860).

— Une donnée essentielle est fournie par les dimensions de l'encoche ou du trottoir ; à partir desquelles on peut définir les taux d'érosion. Encore faut-il connaître la durée du façonnement, autrement dit la date de stabilisation du niveau de la mer.

A ce sujet, les recherches récentes conduites sur le littoral méditerranéen français (Pirazzoli et les archéologues - cf. le dossier d'Histoire et Archéologie'' - *Ports et villes engloutis*, 1981) ont montré que la date de fixation à l'actuel niveau était plus récente qu'on le pensait ; depuis l'Antiquité un relèvement de l'ordre de 0,4 m est à envisager à Marseille et dans les environs (Cap Couronne). Sur le littoral des Alpes-Maritimes, ce relèvement est peut-être compensé par la surrection rémanente du continent (travaux de Fourniguet), mais les données littorales **stricto sensu** font défaut.

Ce que l'on sait, c'est qu'à la suite du considérable abaissement glacio-eustatique (plus de 100 m), le relèvement holocène du niveau marin jusqu'au zéro NGF n'a pu se produire antérieurement à 2 400/2 000 ans.

En retenant la durée de 2 000 ans, pour des dimensions de l'encoche ou du trottoir comprises entre 0,5 et 1,5 m, **la fourchette du taux d'érosion est de 0,25 à 0,75 mm/an.**

En ce qui concerne les calcaires compacts des littoraux méditerranéens, des taux voisins ou différents ont été proposés, allant de moins de 0,1 mm/an (Fairbridge, 1968) à 0,5/2 mm/an (Sanlaville, 1977, qui considère que la fixation du niveau marin sur la côte libanaise remonte à 1 700 ans). Ce dernier chercheur propose des taux supérieurs pour les grès calcaires (de 1 à 5 mm/an), ce qui est en accord avec les mesures de Guilcher à Anthéor.

Sur les littoraux calcaires tropicaux, d'autant que les matériaux (calcaires coralliens, grès-éolianites pléistocènes) sont moins résistants que les calcai-

res mésozoïques des rivages méditerranéens, les taux d'érosion sont en général supérieurs et fréquemment considérablement plus élevés, comme en atteste le tableau ci-dessous :

Auteur	Lieu	Taux (mm/an)
HODGKIN	Australie	1,0
BROMLEY	Bermudes	1,0/2,0
FOCKE	Curaçao	1/4
TRUDGILL	Aldabra	0,6/1,0 2,0/4,0 (grès calc.)
SALOMON	Madagascar SW	1,0
KUENEN	Indonésie	2,5/10,0

CONCLUSION

Pour expliquer ces notables différences, outre les matériaux lithiques, il faut prendre en compte à la fois l'activité de la mer (déferlement des vagues, élévation de la zone des embruns) ainsi que les biomasses animales et végétales (diversité spécifique et densités des êtres vivants), puisque la bio-érosion dépend directement de ces paramètres abiotiques et biotiques.

En termes d'aménagement, la modicité des taux de recul est à noter (au moins sur nos rivages), mais on ne saurait trop insister sur la fragilité de ces milieux et des écosystèmes qui, à l'instar des herbiers à Posidonies, nécessitent des mesures de protection et de conservation, d'autant plus nécessaires que la fréquentation de la frange littorale s'accroît avec le tourisme.

BIBLIOGRAPHIE

Dalongeville R. (1979) - *La corrosion littorale des roches carbonatées en Méditerranée*. Actes Sympos. U.I.S. Aix - Marseille - Nîmes, p. 141-150.

Debrat J.M. (1974) - *Etude d'un karst calcaire littoral méditerranéen. Exemple du littoral de Nice à Menton. Méditerranée*, p. 63-85.

Fairbridge R.W. (1968) - *Limestone coastal weathering*. "The Encyclopedia of Geomorphology", p. 653-657.

Focke J.W. (1978) - *Limestone cliff morphology on Curaçao (Netherlands Antilles)*, *Zeits f. Geom.*, 22, p. 329-349.

Guilcher A. (1953) - *Essai sur la zonation et la distribution des formes littorales de dissolution du calcaire*. *Ann. Géogr.*, p. 161-179.

Le Campion-Alsumard Th (1979) - *Le biokarst marin : rôle des organismes perforants*. Actes Sympos. U.I.S., Aix - Marseille - Nîmes, p. 133-140.

Nesteroff W.D. (1960) - *Les sédiments marins entre l'Estérel et l'embouchure du Var*. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, p. 17-28.

Sanlaville P. (1977) - *Etude géomorphologique de la région littorale du Liban*. Publ. Université Libanaise, Beyrouth, 2 t., 860 p.

Trudgill S.T. (1976) - *The marine erosion of limestone on Aldabra Atoll, Indian Ocena*. *Zeits. f. Geom.*, 26, p. 164-200.