

ANALYSE NUMÉRIQUE DE LA MORPHOLOGIE DU CANYON DE NAZARÉ

(MARGE CONTINENTALE DU PORTUGAL)

HERVÉ REGNAULD
YVES FRANÇOIS THOMAS

Sur la pente continentale du Portugal le canyon de Nazaré est un gouf qui marque une frontière morphométrique entre la partie septentrionale et la partie méridionale de la marge continentale. Au nord (fig. 1) la pente est semée de monts sous-marins et de plateaux marginaux, et elle est faiblement incisée par les canyons, tandis qu'au sud il n'y a pas de plateaux et les canyons sont plus largement creusés dans la plate-forme. Deux pistes peuvent être exploitées pour tenter de rendre compte de cette opposition:

c'est une frontière structurale correspondant à une ancienne direction tardi-hercynienne (CABRAL, 1989);

c'est une frontière hydrologique, donc morphodynamique, à la limite septentrionale des veines d'eau méditerranéennes (AMBAR *et al.*, 1983).

Une méthode numérique, fondée sur l'analyse morphométrique de la bathymétrie a pour but de faire la part respective des processus érosifs et des événements structuraux dans le creusement du canyon. La carte bathymétrique (TRANSMARGE, 1982) a d'abord été numérisée, de telle façon qu'un traitement numérique lui soit applicable. Celui-ci opère des calculs non pas sur les courbes bathymétriques mais sur des points cotés. Ainsi la surface à analyser est divisée en petites unités (éléments d'image ou eldims), chacune d'elles étant repérée selon

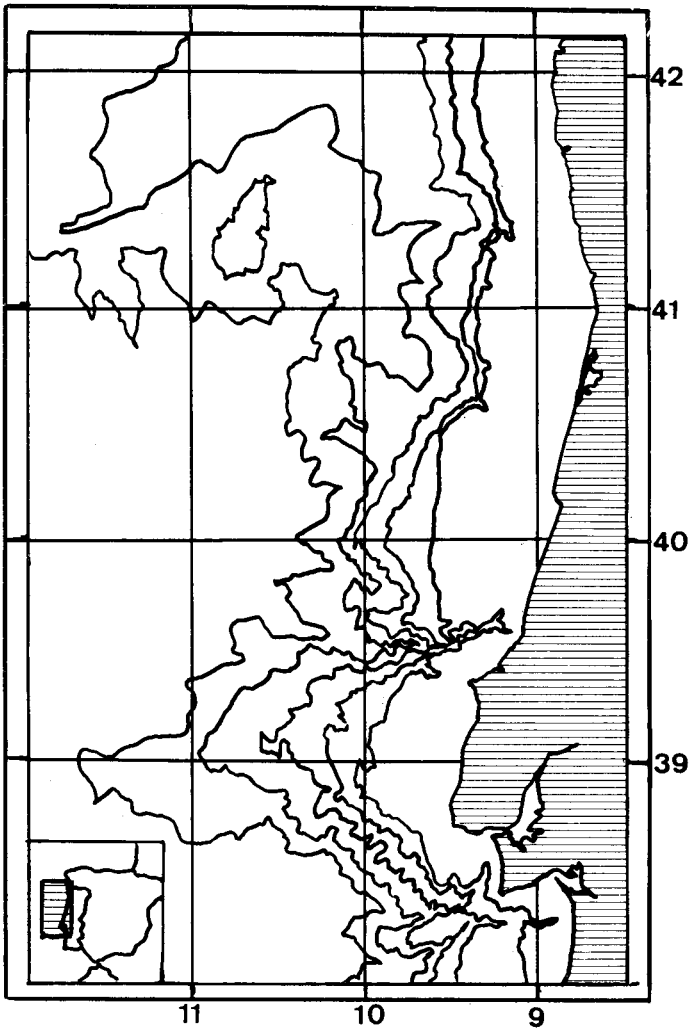


Fig. 1.—Carte bathymétrique de la marge portugaise.
Isobathes: 200 m, 1000 m, puis tous les 1000 m.

trois dimensions, à savoir les coordonnées géographiques et la profondeur. Celle-ci est la valeur de la courbe qui passe sur l'eldim. Le rapport entre la norme VGA de l'écran et l'échelle initiale de la carte fait que chaque eldim mesure $843 \text{ m} \times 843 \text{ m}$. L'espacement des courbes bathymétriques est

parfois plus grand que cette distance et l'eldim n'a pas de profondeur. Il faut lui en calculer une par interpolation entre ses plus proches voisins.

MÉTHODE D'ANALYSE

La méthode d'analyse morphométrique a été conçue pour étudier le milieu sous-marin et, en ce sens, elle ne pouvait être la simple transposition d'une méthode sub-aérienne. Un de ses buts est de fournir une substitution à l'analyse visuelle des paysages qui est impossible à grande échelle sous la mer. Il faut décrire et quantifier le paysage, sans utiliser pour autant des termes qui renverraient à des processus sub-aériens. Ainsi les méthodes qui font appel à l'analyse des systèmes de drainage ont été écartées; de même n'est-il pas souhaitable d'utiliser des surfaces enveloppes. A terre elles sont très utiles pour reconstituer les paléo-topographies (FRETEY et MOREL, 1987) mais elles sont d'emploi délicat en mer: la sédimentation verticale élève les reliefs autant que l'incision les creuse. Compte tenu de ces particularités, il vaut mieux raisonner à partir d'une surface réelle, la bathymétrie, et changer plusieurs fois d'échelle d'analyse.

Le principe directeur de la méthode numérique est simple: on simule l'effet sur la topographie des processus naturels (érosion et accumulation successivement) et l'on compare les surfaces mathématiques ainsi obtenues avec la topographie réelle. On analyse ensuite les reliefs que la simulation mathématique n'a pas simulés puisqu'ils sont et réels et originaux.

Sur un espace de grandeur λ (élément structurant, définissant un voisinage, ensemble de tous les eldims dans un rayon λ) il existe une profondeur la plus fréquente et des profondeurs exceptionnelles. En faisant varier λ on peut définir ces grandeurs à l'échelle de toute la pente, d'un mont sous-marin ou d'une seule ravine. Le traitement numérique fonctionne donc sur une surface topographique réelle, non simplifiée, et discrimine des reliefs réels.

La procédure est informatiquement rapide et n'emploie que deux opérateurs:

Erosion: notée $E_f(x)$ sur la figure 2; la profondeur vraie d'un eldim est remplacée par la profondeur maximale rencon-

trée dans un voisinage λ . Le relief est lissé en aplanissant les bosses, ce qui simule une érosion par un courant horizontal, comme les veines d'eaux méditerranéennes.

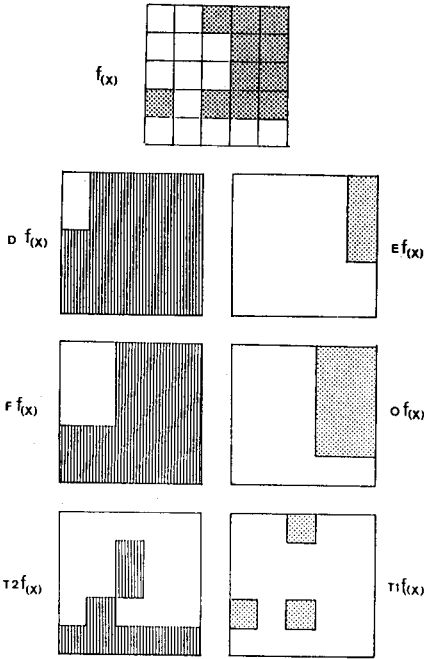


Fig. 2—Transformations numériques simplifiées. Les espaces grisés sont haut, les blancs sont bas; 2, $f(x)$ est le relief réel, binarisé pour les besoins de l'exemple, une seule classe haute et une seule classe basse. D dilate le relief en assignant à chaque eldim la profondeur maximale rencontrée dans un voisinage de 2; E fait l'inverse. La combinaison n'est pas commutative. T2 est $F-f(x)$ et sélectionne des creux réels; T1 est $f(x)-O$ et sélectionne des points hauts réels. Tous les reliefs sélectionnés n'ont pas forcément de signification morphologique. Il faut donc classifier les T1 et les T2.

Dilatation: notée $Df(x)$ sur la figure 2; la profondeur vraie d'un eldim est remplacée par la profondeur minimale rencontrée dans un voisinage λ . Le relief est lissé en comblant les creux, ce qui simule une accumulation due à des courants gravitaires et à une progradation sur les versants. Ainsi le terme «dilatation» a été préféré à celui d'accumulation qui ne fait pas référence à la progradation sur les versants.

Ces deux opérateurs dessinent évidemment des topographies fictives. Ils peuvent être combinés et ainsi D suivi de E donne F, noté $Ff(x)$ sur la figure 2 et E suivi de D donne O, noté $Of(x)$. Ce sont toujours des topographies fictives. Cependant, si l'on compare ces topographies à la topographie réelle par soustraction, on obtient une sélection de certains points du relief, réels et mathématiquement définissables. Ces reliefs sont représentés sur la figure par T1 et T2. T2 $f(x)$ qui est

$F-f(x)$ recense les reliefs en creux au pied des talus ou les creux isolés. $T1 f(x)$ qui est $f(x)-O$ recense les points hauts isolés ou les promontoires détachés à l'extérieur d'un talus.

Chaque transformation, $T1$ et $T2$, est réalisée pour quatre tailles d'élément structurant, de 2^2 à 2^5 . Il est ainsi possible d'obtenir 8 images qui, chacune, recensent certains points hauts ou certains points bas, sélection discrète de reliefs positifs ou négatifs. La figure 2 laisse percevoir que tous n'ont pas la même importance morphologique.

La suite de la démarche consiste donc à opérer une classification suivant que les reliefs sont recensés par une ou plusieurs transformations. Dans le canyon de Nazaré la classi-

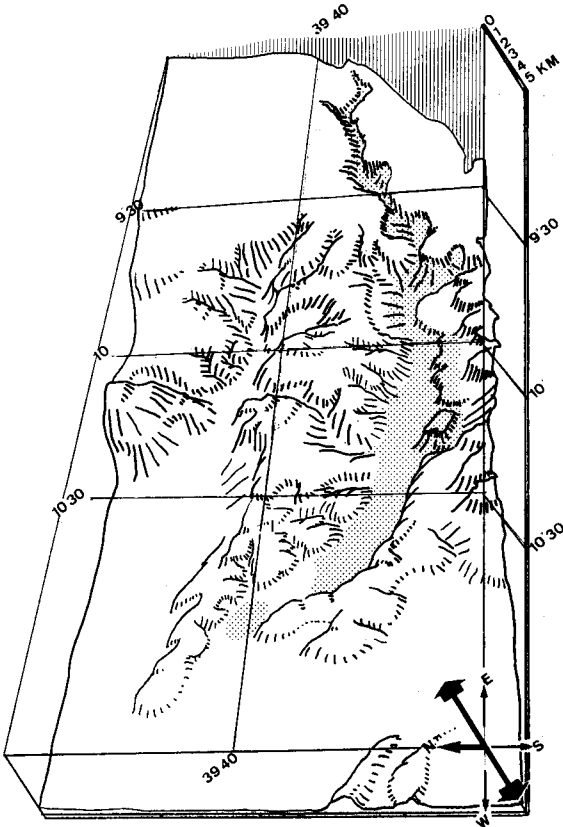


Fig. 3 — Bloc diagramme situant, en grisé, les espaces recensés par les transformations.

fication est présentée par le tableau 1. Puisqu'il s'agit d'étudier un canyon, relief négatif, les transformations T2 ont été majoritairement utilisées sur la carte (fig. 4) et le bloc diagramme indique l'emplacement des espaces analysés dans ce travail (fig. 3).

TABLEAU 1

Classification des reliefs: —: relief non soumis à cette transformation; 1: relief soumis à la transformation mais non recensé; 2: relief recensé.
% en surface, numéro de la classe

Définition morphologique	Définition numérique								%	Numéro de la classe
	T1 ₄	T1 ₈	T1 ₁₆	T1 ₃₂	T2 ₄	T2 ₈	T2 ₁₆	T2 ₃₂		
Vaste relief isolé	1,2	1,2	2	1					0,1	1
Petit relief isolé	1,2	2	1	1					0,0	2
Vallée à talweg étroit					2	2	2	2	0,7	3
Vallée à fond plat					1	2	2	2	0,4	4
Auge					1	1	2	2	1,4	5
Déversoir sédimentaire ou terrasse					1	1	1	2	3,1	6
Vaste dépression					1	1	2	1	0,8	7
Petite dépression					1	2	1	1	0,1	8
Chenal					2	1	1	1	0,5	9
Ravine					2	2	1	1	0,4	10
Ravin					1	2	2	1	0,2	11
Petit canyon					2	2	2	1	0,4	12

DÉFINITION MORPHOLOGIQUE DES FORMES RECENSÉES NUMÉRIQUEMENT

Le tableau 1 permet de comprendre la nature des reliefs cartographiés sur la figure 4. Les symboles 1 et 2 signalent des reliefs positifs isolés qui, dans un voisinage de 2^2 à 2^4 , sont les plus hauts. Les symboles 3 à 5 indiquent des vallées. Ce sont des niveaux topographiques relativement plats, solitaires à l'intérieur du voisinage. Elles sont situées soit en

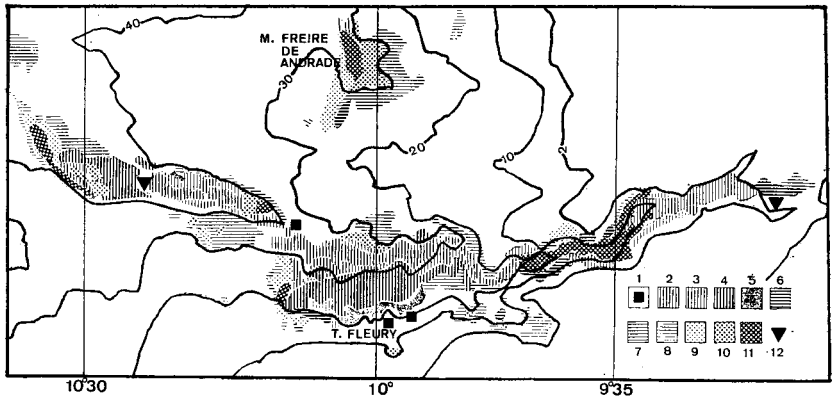
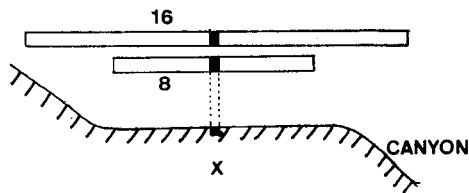


Fig. 4 — Carte morphométrique du canyon de Nazaré. Les symboles correspondent aux classes numériques du tableau 1; comme les classes 1 et 2 ont été regroupées dans le symbole 1, le symbole 2 correspond à la classe 3, le 3 à la 4, etc... 1: reliefs isolés; 2: vallée profondément incisée; 3: vallée moins profonde, correspondant à un talweg peu érodé ou à des terrasses topographiques proches du fond du talweg; 4: niveau en terrasse sur les versants ou en pied de versant; 5: niveau de terrasse; 6: dépression isolée, vallée perchée; 7: dépression ou ravin perché sur le haut versant; 8: dépression, chenaux isolés dans le talweg le plus souvent; 9: ravin étroit et peu profond; 10: ravin plus incisé avec tributaires; 11: réseau de ravins ou de chenaux; 12: artefact.

fond de talweg, dès lors qu'il n'est pas parcouru par de nombreux chenaux, soit en replats étagés sur les versants comme l'illustre la figure 5: le replat X, ici assimilé à un seul eldim, n'est pas repéré comme creux à $T2^{16}$ car il est moins vaste que 8 eldims et n'est pas l'élément le plus creux; par contre dans un voisinage de $32/2$, pour $T2^{32}$, il fait partie de l'ensemble le plus creux.

Les incisions, symboles 9 à 11, correspondent à des reliefs en creux à fond étroit (elles sont toutes les plus creuses dans un voisinage étroit, 4 à 8 eldims) et à caractère continu. Par rapport à une vallée, il est visible qu'il y a toujours, à surface égale, deux incisions pour une seule vallée puisqu'une vallée compte un relief négatif tout les 32 eldims tandis qu'une incision en comporte un tout les 16 eldims. La densité d'incision est donc au moins double.

Fig. 5 — Modalité spatiale de la classification: le relief est en coupe, l'eldim analysé est X; les transformations $T2^{16}$ et $T2^{32}$ prennent en compte tous les eldims dans un voisinage



de 16 ou de 32 eldims, avec X comme centre. Ainsi $T2^{16}$ examine 8 eldims de chaque côté de X, $T2^{32}$ en examine 16. Ceci est représenté par les traits horizontaux. L'eldim X n'est pas recensé à $T2^{16}$ car il est le plus haut ou dans l'ensemble le plus haut. A T^{32} l'élément le plus haut est sur l'autre flanc du canyon et X est recensé.

Les dépressions enfin (symboles 6 à 8) correspondent à des reliefs négatifs non continus qui n'appartiennent qu'à une seule transformation. Ce sont des dépressions fermées ou, plus souvent, des ravins suspendus au dessus du talweg.

Cette méthode permet donc de quantifier le réseau d'érosion sans faire appel aux notions d'amont et d'aval, ce qui est important dans des canyons parcourus par des upwellings ou des courants ascendants. Elle a aussi l'utilité de donner des informations structurales qui concernent les escarpements de faille ou de ligne de faille. Il est en effet difficile, lorsqu'on observe une dénivelée sous-marine, de faire la part de ce qui revient à l'érosion ou à la tectonique cassante. Il est pourtant possible d'assigner une limite maximale à ces deux grandeurs.

La dénivelée érosive est au maximum égale à la somme des incisions dans un voisinage. Cela revient à poser que si tous les canyons, ravins, ravines... étaient réunis en un seul organisme ils ne creuseraient pas plus que la somme de leur propre encaissement. Il s'agit bien d'une limite maximale.

La dénivelée structurale (part de jeu de la faille qui donne un relief actuel) est au maximum égale à la dénivelée réelle mesurée sur la carte, ce qui est vrai dans le cas d'un escarpement dont les deux compartiments intéressent la même couche-toit et qui n'est ni atténué ni augmenté.

La somme des incisions (incision potentielle) est directement donnée par la définition numérique du relief. Ce qui le définit comme positif ou négatif est justement le rapport d'altitude avec le voisinage. La valeur de l'incision potentielle est ici obtenue à partir du nombre de T1 ou de T2 par lesquelles la classe est définie: un eldim T2⁴ est un creux qui a été défini comme tel parce qu'il existe, à moins de 4/2 eldims de distance, un point plus haut que lui; s'il est aussi élément de T2⁸ c'est qu'il existe aussi un point haut entre 4/2 et 8/2 eldims. Une série linéaire d'eldims qui appartiennent à quatre T2 est donc proche de quatre points hauts au moins, tous différents, elle incise donc au moins quatre éléments de surface haute. Par suite de la binarisation des fichiers T1 et T2, il n'est pas possible de calculer exactement la dimension de l'incision potentielle. Ici elle a été fixée à sa valeur maximale possible, l'équidistance des isobathes. Elle est probablement inférieure en réalité.

La dénivelée topographique est donnée par le document bathymétrique original. Les deux données, limite maximale d'érosion, limite supérieure de dénivelée tectonique, peuvent donc être comparées et leur relation peut être quantifiée.

QUANTIFICATION DE L'INCISION SUIVANT L'AXE LONGITUDINALE DU CANYON

La figure 6 est un profil topographique du talweg du canyon depuis le littoral jusqu'à 10° W. Sur cette figure le numéro des coupes est indiqué, ainsi que le profil topographique du versant nord et celui du versant sud. En pointillé l'incision potentielle dessine une courbe irrégulière.

L'incision potentielle est presque partout inférieure à la hauteur totale des versants, ce qui doit être interprété comme le signe de l'importance des mouvements de fracture à composante verticale. Ceux sont eux qui sont responsables de l'essentiel de la dénivelée puisque le maximum possible de l'érosion n'arriverait pas à encaisser à ce point le talweg.

En un seul endroit (hormis le cours sur la plate-forme, qui est un cas particulier) la valeur cumulée de l'incision est égale à la dénivellation du versant sud. Il s'agit, à 10° W, de la terrasse Fleury qui forme un trait unique dans tout le canyon (fig. 4). L'analyse morphométrique y avait discerné les classes 1 et 5, absentes ailleurs, qui symbolisent une morphologie de replats suspendus. Comment lier une forte valeur de l'incision avec la présence d'une terrasse en pente si douce ?

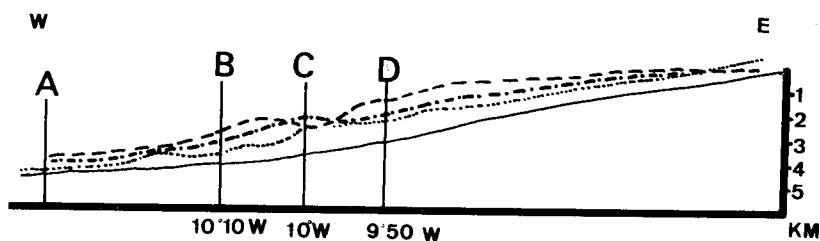


Fig. 6 — Coupe suivant l'axe du talweg. Le profil topographique est en trait plein, les tiretés longs représentent le profil du sommet du versant sud, les tiretés courts le profil du sommet du versant nord. Le pointillé est l'incision potentielle.

La terrasse est parcourue de chenaux qui participent à la définition de l'incision potentielle. De plus, elle est elle-même une vallée suspendue dont le fond est assez plat: c'est donc bien un relief négatif qui concentre l'incision. Pour expliquer son unicité, l'analyse morphométrique ne donne pas directement d'indications mais incite à formuler les remarques suivantes:

1) hormis près du littoral, la dénivelée tectonique est toujours supérieure à l'incision potentielle;

2) il est logique de conclure de cette constatation que la tectonique a d'abord créé un relief négatif et qu'il a ensuite augmenté par érosion de la base ou par sédimentation sommitale. Ceci n'exclue pas des rejeux, comme ceux signalés plus au Nord (REGNAULD, ROJOUAN, 1990);

3) dans le voisinage de la terrasse, le versant nord est plus haut (ce qui est peut-être lié au horst Freire de Andrade) et le versant sud est plus bas, à l'inverse du reste du cours du canyon;

4) il existe en ce lieu une spécificité structurale qui inverse le rapport nord/sud des dénivelées et qui fragilise assez le matériel pour que l'érosion l'excave plus profondément que partout ailleurs.

Une hypothèse peut rendre compte de tous ces éléments. La terrasse est située au croisement exact de deux directions structurales qui arment le cours du canyon: à l'est de 10° W, le canyon est aligné sur une direction tardi-hercynienne NE-SW. A l'ouest de 10° W, il suit une direction WNW-ESE, dite éocène par AUXIÈTRE et DUNAND (1978). L'ensemble d'affluents, à $9^{\circ} 45' W$, prolonge d'ailleurs cette direction à l'est de 10° W. Les directions structurales décrites par RIBEIRO et CABRAL (1987) passeraient-elles aussi à ce niveau? Il est donc possible d'avancer que la terrasse est une confluence de directions structurales majeures et qu'ainsi s'expliquerait sa moindre résistance à l'érosion. Les processus à l'œuvre sur les versants sous-marins ont trouvé là un terrain facile à travailler.

Le calcul de la dénivelée maximale due à l'érosion serait faux si les trois conditions suivantes étaient réunies ensemble: 1) le talweg est ancien; 2) les ravins affluents sont actuels; 3) les ravins affluents anciens ont disparu de la topographie. Dans ce cas, en effet, l'incision potentielle décrirait des processus morphogéniques différents de ceux qui ont pu creuser tout ou partie du talweg. Cette situation est possible, comme sur le canyon de Lisboa dont un des tributaires est fossilisé (VANNEY et MOUGENOT, 1981). A Nazaré, les profils témoignent de l'existence sur la plate-forme d'un affluent fossilisé mais c'est précisément là que la valeur de l'incision potentielle est largement supérieure à l'incision réelle. Il faut donc expliquer ce qui diminue sur le terrain la dénivelée possible. Des mouvements positifs ne sont pas exclus mais rien ne les prouve ici. Cependant les études à terre témoignent d'une néotectonique très active (BRUM FERREIRA, 1989), discernable dans le réaménagement des cours des rivières (DAVEAU, 1989). Il n'est pas possible d'écarter a priori de tels mouvements sur la plate-forme. Il est, de plus, probable que le talweg lui même est en partie comblé par des sédiments capturés sur la plate-forme et pas encore évacués par les courants descendants.

QUANTIFICATION DE L'ÉROSION SUIVANT UN AXE PERPENDICULAIRE
AU CANYON

Les quatre coupes de la figure 7 sont réalisées selon le même principe que celles de la figure 6, à ceci près qu'elles décrivent les versants et le talweg tels que les traversent les méridiens. Elles comprennent donc uniquement le profil topo-

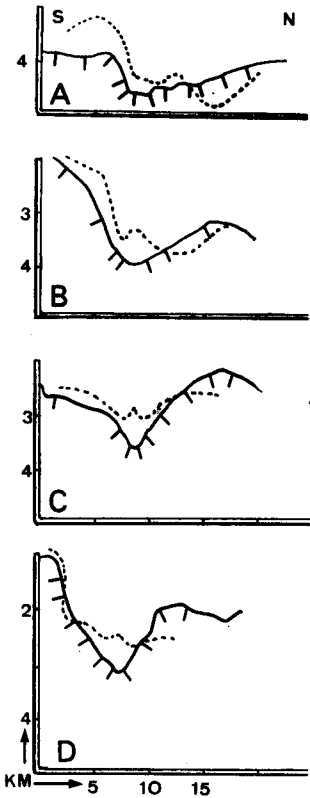


Fig. 7 — Coupes suivant un axe méridien. Le pointillé représente l'incision potentielle; sur le profil: limites d'affleurement des classes.

graphique sur le méridien et la valeur de l'incision potentielle, celle-ci concernant les reliefs positifs et les reliefs négatifs.

Le versant sud, bien que plus élevé que son vis-à-vis, est toujours plus incisé: c'est presque toujours un relief négatif qui a (en limite maximale) été érodé d'une valeur équivalente à l'écart entre la ligne pointillée et le profil réel. Le versant nord est presque toujours un relief positif qui pourrait (toujours en limite maximale) être érodé aussi profondément

que la ligne pointillée le dépasse vers le bas. Cette dissymétrie est trop régulière pour ne pas s'expliquer.

La morphométrie ne donne ici pas d'indice. Il est probable que le versant sud est structuralement haut par rapport au versant nord. Il y a bien eu chevauchement sur la plate-forme, mais on ne possède pas d'information plus à l'ouest.

La dissymétrie des versants n'est pas le seul élément important sur les coupes. A $10^{\circ} 30' W$ le profil pointillé de la coupe A indique une possibilité de migration du talweg vers le nord puisque le versant nord est potentiellement érodable jusqu'à un niveau inférieur à celui du talweg. Cette remarque est intéressante si on la transpose sur la carte bathymétrique (fig. 1). À cet endroit la levée sédimentaire (COPPIER, 1982) de rive nord est très disséquée et il est probable qu'elle recule de l'ouest vers l'est, en donnant au talweg la possibilité de migrer vers le nord. Le fond du canyon a tendance à s'élargir.

A $10^{\circ} 10' W$, un phénomène similaire existe, mais il s'explique par la présence d'un canyon affluent, long de plus de 20 km. Il semble que le talweg ne puisse migrer autant mais que l'affluent puisse prendre de plus en plus l'aspect d'un tributaire perché (coupe B).

Sur les coupes C et D ($10^{\circ} W$ et $9^{\circ} 50' W$) les versants connaissent chaque fois ce type de phénomène: ils s'érodent par le haut sous l'action de tributaires suspendus, tandis que les bas de versant évoluent peu. Cependant, sur les trois coupes les plus orientales, il est évident que l'axe du talweg est nettement surcreusé potentiellement par rapport aux bas versants, ce qui se traduit par l'inflexion de la ligne pointillée à la verticale du talweg. Cela peut aussi bien être le signe d'une activité érosive intense par des courants de type turbide que le témoignage d'actions anciennes que la faible incision actuelle des bas versants ne rattrape pas. La deuxième proposition est plus plausible, car il n'y a par ailleurs pas de traces de l'action de courants turbides.

Ces observations peuvent être mises en relation avec celles qu'a faites F. ROJOUAN (1985) sur les pentes de la marge galicienne:

1) le cours des canyons est souvent obstrué par des blocs effondrés de leurs versants;

2) il n'existe pas de traces d'action des courants turbides dans les parties distales des canyons;

3) les canyons ont souvent des fonds plats et indurés.

Il semble que la partie fragile des canyons soit leurs versants, tandis que les talwegs fonctionnent plutôt comme des bassins d'accumulation. Autrefois, le talweg était actif, ce qui explique son surcreusement. Aujourd'hui, il ne conserve de dynamisme qu'en tant qu'il piège les sédiments que d'autres incisions érosives lui amènent.

CONCLUSIONS

La méthode numérique employée ici présente des lacunes, dues surtout à l'échelle de la numérisation. Mais ses avantages peuvent être exploités selon plusieurs axes.

Elle permet de quantifier les reliefs, d'un point de vue morphogénique, sans préjuger d'une direction de pente. En milieu sous-marin, on dispose ainsi d'un outil de travail pour mettre en place les observations hydrologiques qui concernent des courants descendants, les courants ascendants, les upwellings ou les courants de contour.

La valeur de l'incision est également quantifiée sous différents aspects. Il est possible de mesurer la quantité de matière érodée, sans toutefois pouvoir dater l'érosion. Il est aussi possible de quantifier, en surface, les itinéraires disponibles pour les courants turbides.

La tectonique peut aussi être, partiellement, quantifiée par la mesure maximale des dénivelées dues aux fractures.

Certains des résultats quantitatifs sont présentés par la figure 8 et le tableau 2. La tectonique joue un rôle essentiel dans le tracé du canyon. Le rôle des incisions est réduit et local. L'érosion sub-superficielle (c'est-à-dire l'ablation limitée à la surface du sédiment et à son substrat immédiat, gorgé d'eau), qui correspond au symbole 1 de la figure 8, est localisée dans le talweg principal (chenal) et sur les versants raides et peu élevés. Les aires d'accumulation sont présentes partout dans le canyon. Les deux caractères sont discontinus, à tel point que le canyon peut être considéré comme un ensemble de cellules disjointes, d'un point de vue dynamique. L'incision profonde qui, elle, trace la continuité du talweg est principalement d'origine structurale.

TABLEAU 2

Phénomène	Surface sur laquelle il a lieu (en % de l'aire étudiée)	Indice numérique
matière érodée	2,7	T2 ⁴ à T2 ⁸
accumulation	5,3	T2 ¹⁶ à T2 ³²
érosion chenalisée	2	T2 ⁴

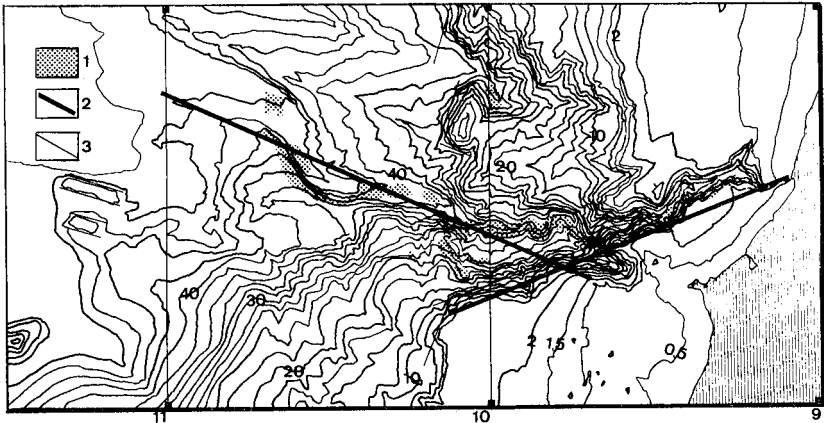


Fig. 8 — Discontinuité des processus dans le canyon. 1: érosion sub-superficielle chenalisée; 2: direction tectonique inférée de la morphométrie; 3: escarpement identifié en sismique.

Du tableau deux conclusions peuvent ressortir:

1) les aires d'accumulation peuvent piéger assez de sédiments pour que rien de la matière érodée n'arrive sur les parties distales. Il est impossible qu'un cône se construise dans ces conditions.

2) l'érosion chenalisée n'est probablement pas la seule responsable de l'usure du relief. Il faut prendre aussi en compte des phénomènes gravitaires sur les versants.

BIBLIOGRAPHIE

- AMBAR, I., 1983, «A shallow core of mediterranean water off western Portugal», *Deep Sea Res.*, 30, GA: 677-680.
- AUXIETRE, J. L., DUNAND, J. P., 1978, *Géologie de la marge ouest ibérique (Nord de 40°)*, Thèse de 3ème cycle, Paris: 216 p.
- BRUM FERREIRA, A., 1989, «Neotectonics in northern Portugal. A geomorphological approach», *2nd I. C. G.*, Frankfurt.

- CABRAL, J., 1989, «An exemple of intra-plate neotectonic activity, Vilarica Basin, NE Portugal», *Tectonics*, 8, 2: 285-303.
- COPPIER, G., 1982, *Tectonique et sédimentation tertiaire sur la marge sud portugaise*, Thèse de 3ème cycle, Paris: 140 p.
- DAVEAU, S., 1989, «Landform development in the Portuguese Central Ridge», *2nd I. C. G.*, Frankfurt.
- FRETEY, P., MOREL, J. L., 1987, «Réhabilitation de la méthode hypsométrique (morphométrique) dans l'étude des paléo-topographies», *Rev. Geod. Dyn.*, XXXVI, 3: 77-78.
- RIBEIRO, A., CABRAL, J., 1987, «The neotectonic regime of the west iberian continental margin: a transition from passive to active?», *Terra Cognita*, 7, 2/3: p. 120.
- REGNAULD, H., ROJOUAN, F., 1990, «Les escarpements submergés de la Meseta Ibérique (Evolution morphologique actuelle de formes structurales sous-marines)», *Bull. Assoc. Géogr. Franç.*, 1: 47-59.
- ROJOUAN, F., 1985, *Contribution à l'étude géomorphologique de la marge continentale du nord-ouest de l'Espagne (Galice)*, Thèse de 3ème cycle, Paris: 213 p.
- TRANSMARGE, groupe, 1982, «Levé bathymétrique de précision, à l'aide du sondeur multifaisceaux Sea Beam, du canyon de Nazaré (marge continentale du Portugal)», *C. R. Acad. Sc. Paris*, 294, 2: 1099-1102.
- VANNEY, J. R., MOUGENOT, D., 1981, *La plate-forme continentale du Portugal et les provinces adjacentes: analyse géomorphologique*, Mem. Serv. Geol. Portugal, 28, Lisboa: 156 p.

RESUMO

Análise numérica da morfologia do canhão da Nazaré (margem continental de Portugal). — Apresenta-se um método numérico para a análise das vertentes submarinas. Neste método faz-se um recenseamento dos relevos em diferentes escalas, comparando um mapa de valores ajustados com a batimetria real e quantificando as diferenças. Este procedimento permite determinar o papel relativo da erosão e da estrutura na formação dos relevos deprimidos, quantificar as áreas submetidas a nova erosão canalizada ou a uma erosão por desabamentos e, ainda, quantificar as áreas de acumulação.

SUMMARY

Numerical analysis of the morphology of the canyon of Nazaré (continental slope of Portugal). — A numerical method is presented to analyse submarine slopes in morphological terms. By comparing a smoothed mathematical surface with the original bathymetry, and by quantifying the deviation at various scales, it discriminates the different reliefs. This allows to separate erosional forms from structural ones, in hollows; to quantify channel efficiency versus slope failure; to map accumulation areas.