

Un canyon sous-marin du type « gouf » : le Canhão da Nazaré (Portugal)

Atlantique
Portugal
Canyon sous-marin
Géomorphologie
Structure

Atlantic Ocean
Portugal
Submarine canyon
Geomorphology
Structure

Jean-René VANNEY¹, Denis MOUGENOT²

¹ Université Pierre-et-Marie-Curie, Département de Géologie dynamique, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France.

² Université Pierre-et-Marie-Curie, Laboratoire de Géodynamique sous-marine, BP 48, 06230 Villefranche-sur-Mer, France.

Reçu le 6/1/89, révisé le 26/6/89, accepté le 25/7/89.

RÉSUMÉ

Le Canhão da Nazaré (marge atlantique de l'Ibérie) est un des plus étudiés des canyons sous-marins du type « gouf ». Il est établi le long d'un des grands accidents tardi-hercyniens de la Meseta ibérique : la faille de Nazaré. La conformité structurale du canyon est évidente et en fait un exemple quasi parfait de vallée sous-marine réajustée à un réseau de déformations intraplaques, graduellement étendues avec le temps. L'évolution du canyon peut être reconstituée comme suit : 1) Miocène moyen : un lit court, large et rectiligne est ouvert dans la pente continentale supérieure ; 2) Miocène supérieur-Pliocène : recul partiel de la tête du canyon par incision dans la plate-forme externe et édification par débordement turbiditique de la levée Gil Vicente ; 3) Quaternaire : élongation du lit (amont et aval) et distorsion du cours produite par soulèvement tectonique (rive sud) ou exhaussement sédimentaire (rive nord).

Le gouf de Nazaré est l'exemple le plus démonstratif d'un type de canyon sous-marin, le « gouf », désormais bien individualisé par sa forme et par son évolution. D'un point de vue général, un gouf peut être considéré comme le canyon par excellence puisqu'il est : 1) le seul à établir une relation directe du rivage aux profondeurs abyssales ; 2) le mieux adapté à la fonction planétaire de grand évacuateur sédimentaire.

Oceanologica Acta, 1990. 13, 1, 1-14.

ABSTRACT

A gouf-type canyon, the Canhão da Nazaré (Portugal)

The gouf-type canyons are named after the famous "gouf" de Capbreton (France). Their specific feature arrangement is the following: oversized; a low-gradient longitudinal profile; an entrenched bed across the entire shelf; the unusual depth of the head next to a low and sandy coast; a sinuous course; a levée-bordered channel; some scarce tributaries; a low-apparent debouchure onto an abyssal plain. Amongst the best surveyed goufs in the world is the Canhão da Nazaré (Portugal; see colour fold-out map). It spreads along a conspicuous tectonic discontinuity of the Iberian Meseta known as "Nazaré fault", late-Hercynian in age.

The stream of the Canhão includes: 1) the upper course: V-shaped profile, highly contrasted rock-walls (north: a festooned edge of a Cenozoic monocline; south: basement blocks), entrenched meandering bed; 2) the middle course: the southern slope is a step faulted scarp dissected by some large scars and gullies, and capped by a rounded cornice. Elongated and dissected crests occupy the main part of the northern slope. Entrenchment, gradient and sinuosity of the bed decrease downstream in proportions to its enlargement; 3) the lower course: on the bottom of the trough-profiled valley, an indurated level outcrops; flattening, dissection and degradation of the berms increase downstream. Beyond 11°W, the canyon floor is a large sandy apron in smoothly connection to the adjacent Iberian abyssal plain. The southern oriented and elongated ridges are compressional anticlines (Pacheco Duarte) and fault blocks (Egas Moniz), uplifted forward the Nazaré fault. The northern slope is a typical oversized sedimentary levée, undercut by dextral (northward) displacement of the course.

The structural conformity of the Canhão is unquestionable. The canyon may be regarded as the perfect example of a submarine valley continually adjusted to an intraplate deformation network, gradually extended with time: 1) The course as a whole follows the northern flank of the compressional ridge warped since the middle Miocene time along the Nazaré fault. 2) Except the superimposed head branch, the upstream segment is adjusted to the lithologic or tectonic features (N60, southward upthrust faults). 3) The downstream half of the canyon course recently shifted because of the northward advance of late folds (N100-N110, northward overfolds). 4) Several meander bends, and the main scarps of the northern flank (Freire de Andrade) are the geomorphic expressions of a submeridian faulting (N20). 5) The canyon's débouchure is an ancient portion of the abyssal plain, folded to the left, built by turbidity sequences to the right.

The evolution of the Canhão may be outlined as follows: 1) middle Miocene: a large, short, rectilinear course is opened in the upper continental slope; 2) late Miocene-Pliocene: partial headward retrogradation by excavation in the outer shelf, turbiditic upbuilding of Gil Vicente levée; 3) Quaternary: elongation (down- and up-valley) and diversion of the course by tectonic and sedimentary rise of the banks. The specific features of the canyon require the complex interplay of some morpho-sedimentary processes (narrowing of the banks and elongation of the course), mainly imposed by structural constraints. The proposed evolution for the European structure-controlled gulf-type canyons (Capbreton, Nazaré, Setúbal) must probably be adjusted to the case of the African type, incised into a thick sedimentary prism (Cayar, Trou Sans Fond, Congo). The gulf of Nazaré is the most conclusive example of a submarine canyon type now well defined by its configuration and its evolution. From a general point of view, the goufs play unique and significant roles in the connection and direct mass transfer from the shores to abyssal depths.

Oceanologica Acta, 1990. 13, 1, 1-14.

INTRODUCTION

Les canyons sous-marins sont les voies d'évacuation préférentielles des matériaux détritiques fournis par l'érosion des continents. Les travaux portant sur la morphogénèse de ces artères maîtresses du modelé marin ont, de manière plus ou moins implicite, posé deux problèmes étroitement associés (Shepard et Dill, 1966) : *a*) leur classification : malgré leur diversité morphologique, les canyons peuvent-ils être classés dans des catégories distinctes?; *b*) leur évolution : un façonnement et une structuration semblables ou pro-

ches caractérisent-ils chacune des classes distinguées? En d'autres termes, peut-on déduire un modèle évolutif de la morphologie d'un type de canyon?

A ces questions, le présent travail se propose d'apporter des éléments de réponse suggérés par l'analyse d'un canyon mondialement connu, le Canhão da Nazaré, rangé dans la mieux définie des grandes catégories de canyons : celle des « goufs » (Shepard, 1965; Shepard et Dill, 1966; Pinot, 1970; Vanney, 1973). Ce terme a acquis son droit de cité dans la terminologie canyonnaire, grâce au célèbre « gulf » de Capbreton (France,

Tableau 1

Les canyons du type « gulf » : caractères morphométriques.

Gulf-like canyons: morphometric characteristics.

Noms	Longueur (km)	Pente moyenne (m/km)	Pente maximale (m/km)	Distance tête-rivage (km)	Profondeur tête (m)	Profondeur terminale (m)	Type de côte	Largeur de la plate-forme continentale (km)
Capbreton (France)	230	16	70	0,4	100	4 000	basse et dunaire	50
Nazaré (Portugal)	227	22	82	0,3	50	5 000	basse et dunaire	35
Setúbal (Portugal)	150	20	150	5	70	3 800	alluviale et estuarienne	15
Cayar (Sénégal)	200	16	100	0,2	< 50	4 500	basse et dunaire	10
Trou sans fond (Côte-d'Ivoire)	200	21	120	0,2	50	4 300	basse et lagunaire	20
Congo (Zaire-Angola)	420	10	150	tête dans l'estuaire	> 500 sortie estuaire	4 000	basse et estuarienne	55

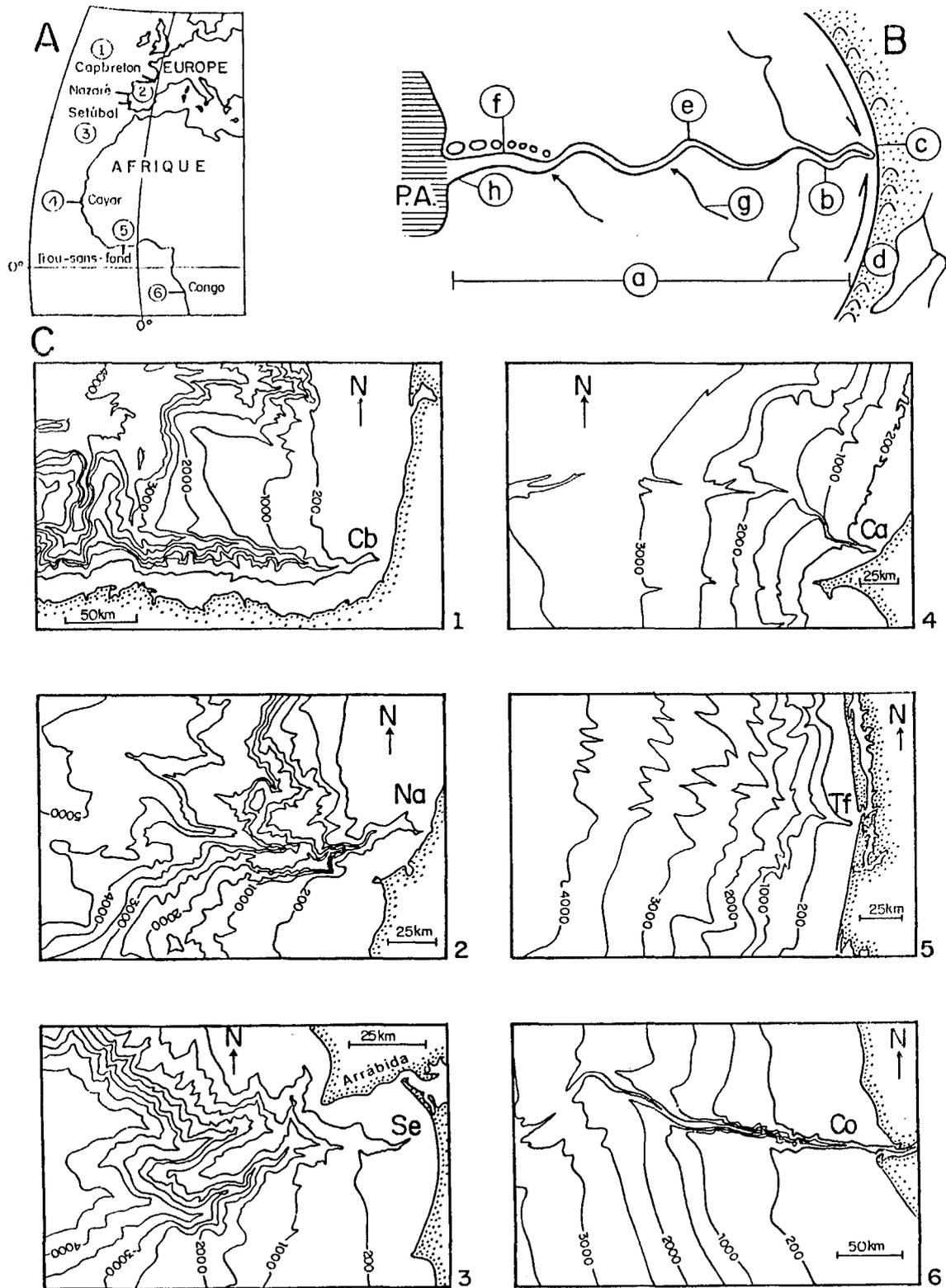


Figure 1

Les canyons atlantiques du type « gouf » : A) position des goufs ; B) particularités d'un gouf (voir le texte pour les numéros) ; C) cartes bathymétriques simplifiées des goufs ; du Nord au Sud : Capbreton (Cb) d'après Lallemand *et al.* (1985) ; Nazaré (Na) d'après Mougenot (1988) ; Setúbal (Se) d'après Mougenot (1988) ; Cayar (Ca) d'après Dietz *et al.* (1968) ; Trou Sans Fond (Tf) d'après Droz *et al.* (1985) ; Congo (Co) d'après Heezen *et al.* (1964). Voir tableau 1 (carte 5 : lire W et non N).

The Atlantic gouf-like canyons. A) location map ; B) particulars of a gouf (see text for the numbers) ; C) gouf schematic maps ; from north to south : Capbreton (Cb) after Lallemand *et al.* (1985) ; Nazaré (Na) after Mougenot (1988) ; Setúbal (Se) after Mougenot (1988) ; Cayar (Ca) after Dietz *et al.* (1968) ; Trou Sans Fond (Tf) after Droz *et al.* (1985) ; Congo (Co) after Heezen *et al.* (1964). See Table 1 (maps 5 : read W, no N).

fig. 1), sa forme éponyme. Les goufs constituent la famille la moins nombreuse et la plus étonnante. Très tôt, ils ont piqué la curiosité des marins, des géologues et des géographes par la forme et la position étranges de leur tête (fig. 1 ; tab. 1). Les membres de cette famille,

seulement reconnue sur les marges orientales de l'Atlantique du golfe de Gascogne au golfe de Guinée (fig. 1 A), se singularisent par l'association des caractères morphologiques suivants (fig. 1 B, C) : a) de grandes dimensions (plus de 200 km) et de faibles pentes

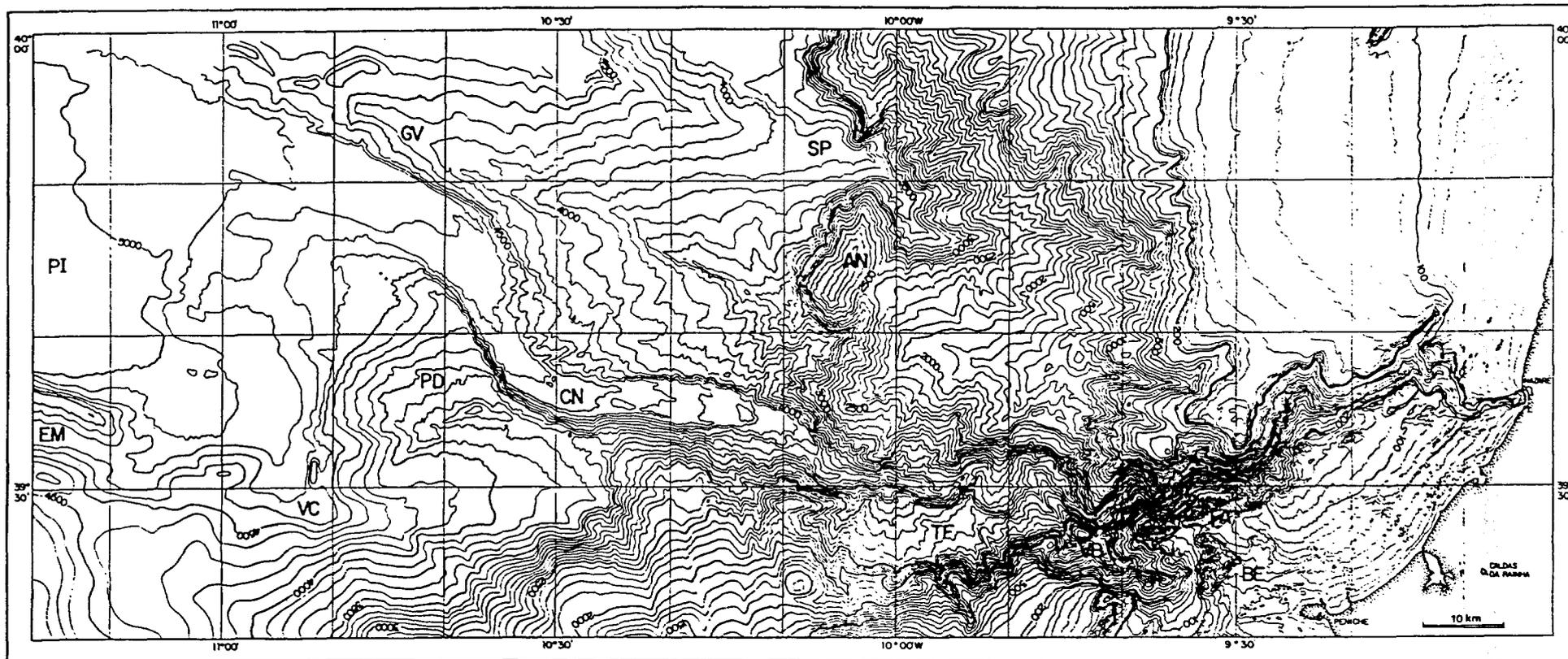


Figure 2

Carte bathymétrique réduite du Canhão da Nazaré (voir carte couleurs hors-texte). Espacement des isobathes : de 10 m jusqu'à 200 m de profondeur, 100 m plus bas. Abréviations : AN : mont Freire de Andrade ; BE : île de Berlenga ; CN : canyon de Nazaré ; EM : monts Egas Moniz ; FA : île de Farilhões ; GV : levée Gil Vicente ; PD : ride Pacheco Duarte ; PI : plaine abyssale ibérique ; SP : canyon de São Pedro ; TF : terrasse Fleury ; VB : Vale da Berlenga ; VC : vallée Choffat.

Reduced bathymetric map of the Canhão da Nazaré (see colour fold-out map). Contour interval: 10 m to 200 m depth, 100 m below. Abbreviations: AN: Freire de Andrade seamount; BE: Berlenga island; CN: Nazaré canyon; EM: Egas Moniz ridges; FA: Farilhões island; GV: Gil Vicente levee; PD: Pacheco Duarte ridge; PI: Iberian abyssal plain; SP: São Pedro canyon; TF: Fleury terrace; VB: Berlenga valley; VC: Choffat valley.

Tableau 2
Morphométrie du Canyon de Nazaré : profils transversaux.
Morphometry of Canhão da Nazaré : transverse profiles.

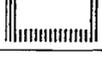
Cours	Définition morphologique	N° Profil (km depuis l'origine)	Versant			Lit					
			Pente (m/km)		Dénivellation totale (m)	Hauteur maximale des rives (m)		Profondeur (m)	Largeur (km)	Symétrie	Profil
			Gauche	Droite		Gauche	Droite				
Supérieur	rebord de la plate-forme continentale	1 (9)	179	164	230	200	230	300	3	OUI	
		2 (39)	354	319	1 190	1 190	1 160	1 300	5,6	OUI	
Moyen	pente continentale supérieure plateaux étagés et ravinés	3 (60)	440	404	2 800	2 200	1 700	2 300	6,4	OUI	
		4 (100)	357	154	1 700	700	500	3 700	7,6	NON	
Inférieur	pente continentale inférieure crêtes allongées et disséquées	5 (128)	224	86	1 500	1 500	400	4 300	7	NON	
		6 (152)	179	82	1 000	700	200	4 600	6,7	NON	
		7 (171)	134	167	600	200	400	4 800	9,8	NON	

Tableau 3
Morphométrie du Canyon de Nazaré : profil longitudinal.
Morphometry of Canhão da Nazaré: longitudinal profile.

Cours	Profondeur (m)		Longueur (km)	Gradient (m/km)	Lit
	amont	aval			
Supérieur	10	1 700	53	32	coudes raccordés par segments rectilignes
Moyen	1 700	2 600	11	82	méandres et sinuosités
	2 600	4 100	52	29	
Inférieur	4 100	4 800	53	13	chenaux parallèles
	4 800	5 000	58	3	
Total	10	5 000	227	22	aplatissement

tabulaire et calcaire de l'Estremadura se poursuit en mer sous la forme d'une avancée au relief accidenté : l'éperon de l'Estremadura. Au nord du canyon, la plaine et la côte basses et alluviales de la Beira Litoral se prolongent par une plate-forme continentale uniforme, plate et large (Vanney et Mougenot, 1981).

Le canyon est l'un des ensembles morphologiques qui jalonnent, sur une distance d'environ 600 km (moitié à terre, moitié en mer), un des grands accidents tectoniques de la Meseta ibérique : la faille de Nazaré (Boillot *et al.*, 1974; Ribeiro, 1980 a). Le long de cette cassure tardi-hercynienne de première grandeur, on rencontre, en progressant vers l'Ouest : l'escarpement septentrional de la cordillère centrale; le rebord du plateau de l'Estremadura; les segments, diversement orientés, qui composent le canyon; enfin, au sud de la plaine abyssale ibérique, une ligne de talus dominés par le Mont Tore (fig. 3 A). L'accident tire toute son importance de son rôle de frontière : paléogéographique, en contrôlant la distribution des faciès dès que le bassin lusitanien s'individualisa (Ribeiro, 1980 b); structurale, en séparant un compartiment septentrional affaissé à structure

monoclinale, d'un compartiment surélevé par la compression tertiaire.

Voir s'il y eut interaction entre la tectonique et le modelé sédimentaire, impose de distinguer trois parties dans le cours du canyon. Leurs caractères morphométriques sont mesurés dans les tableaux 2 et 3, et traduits graphiquement sur la figure 4.

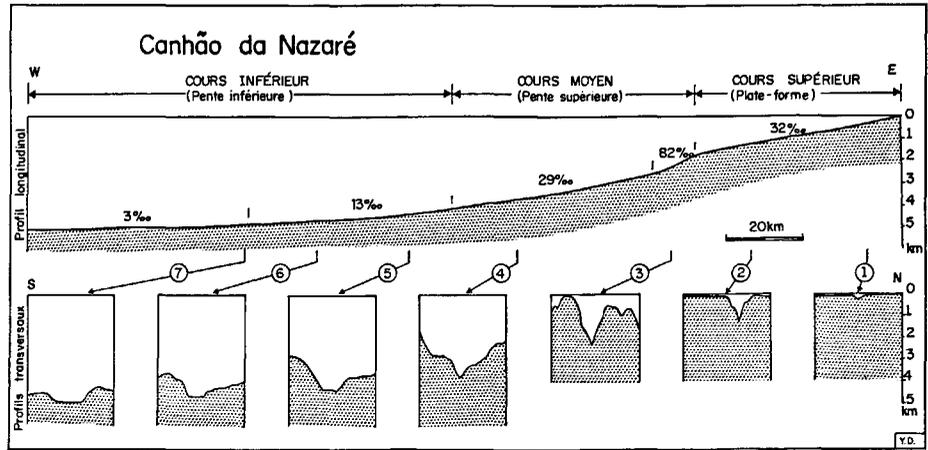
Le cours supérieur

L'aspect de gorge impressionnante offert par ce segment, qui traverse sur 50 km toute la largeur de la plate-forme continentale, permet de porter un jugement sur l'ampleur et la jeunesse de l'excavation récente. Il a déjà été décrit du point de vue structural (Boillot et Musellec, 1972; Boillot *et al.*, 1974; 1975) et morphologique (Vanney et Mougenot, 1981; chapitre II). La cartographie récente de cette vallée profonde, dont la section évolue en « V » aigu (fig. 4), apporte de légères retouches à l'image antérieurement donnée des versants et du lit du canyon.

Figure 4

Le gouf de Nazaré : profil longitudinal (dans l'axe du canyon) et profils transversaux. Voir tableaux 2 et 3.

The gouf of Nazaré : longitudinal (down axis of canyon) and transverse profiles. See Tables 2 and 3.



Des versants contrastés

Rares sont les canyons qui présentent une opposition aussi remarquable que celles des deux bordures du cours supérieur du Canhão da Nazaré (fig. 12 et 13 in Vanney et Mougenot, 1981). Seul le gouf de Capbreton pourrait lui être comparé. La berge septentrionale est un talus très sinueux, coupé de courts ravins, souvent parallèles au rivage. Vers l'Ouest, la berge décrit une avancée en promontoire provoquant l'étranglement du canyon à la hauteur des îles Farilhões. L'ensemble de la rive Nord est composé par le front et le revers d'un relief monoclinale taillé dans les dépôts tertiaires par la surface d'aplanissement sommitale (profil 1, fig. 5).

Si la berge méridionale est moins découpée, son revers, en revanche, présente une topographie et une structure rendues complexes par le passage de l'accident de Nazaré (Boillot et Musellec, 1972; fig. 15 in Vanney et Mougenot, 1981). L'échine rocheuse des Farilhões, taillée dans des fragments de socle hercynien, chevauche vers le Sud un monoclinale mésozoïque (fig. 5), déformé par le diapirisme et irrégulièrement nivelé.

Un lit en coudes

Depuis le petit cirque (largeur : 1,5 km), largement excavé jusqu'à une quarantaine de mètres à moins de 500 m de la plage de Nazaré, jusqu'au défilé en gorge (profondeur : 1,5 km, comparable à l'entaille du

canyon du Colorado), le cours supérieur du canyon présente tous les signes d'une érosion verticale puissante. Dans ce cadre grandiose, le lit décrit une dizaine de sinuosités au gabarit croissant vers l'aval. Creusé sur le revers de l'accident de Nazaré, il en suit l'excavation générale. Dans la plate-forme externe, il est dégagé comme une vallée orthoclinale au contact du Tertiaire (au Nord), et des terrains résistants du Jurassique et du socle (au Sud). Dans la plate-forme interne, la réorientation brutale du canyon, qui recoupe l'accident de Nazaré (fig. 6), indique le recul le plus récent de la tête du canyon. De toute évidence, le creusement de la partie la plus haute du cours n'a pu se faire qu'après le rejeu de la faille.

Le cours moyen

Le canyon est entaillé dans la pente supérieure dont les reliefs s'étagent entre la plate-forme et un talus remarquable souligné par l'isobathe 3500 m (fig. 2).

Le versant méridional

Sommairement orienté Est-Ouest, il est aussi le plus penté (fig. 4). Les gradins étagés qui le composent soulignent de manière spectaculaire la présence de blocs faillés alignés sur le flanc de l'accident de Nazaré (fig. 6). La terrasse Fleury, qui s'allonge en paliers entre 2 500 et 3 000 m, est le revers sédimenté et à peine entaillé d'un de ces blocs.

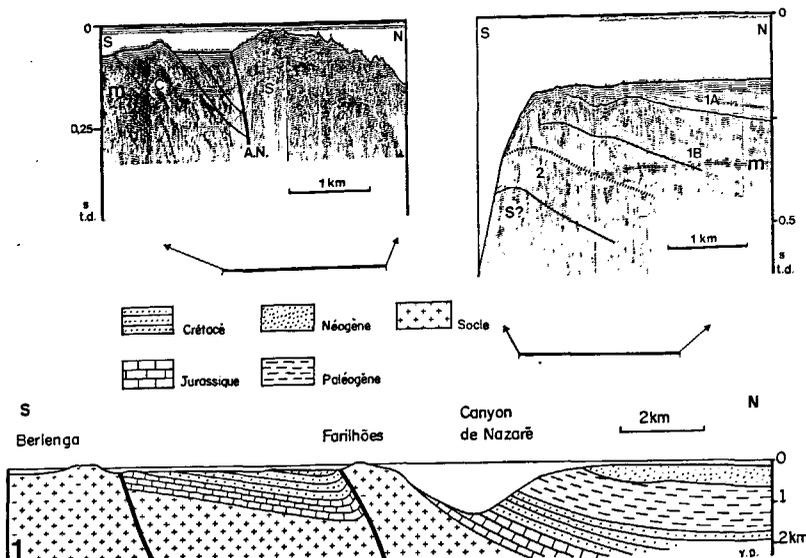


Figure 5

Coupe géologique schématique et profils sismiques à travers le plateau continental et le cours supérieur du Canhão da Nazaré. A.N. : accident de Nazaré; C : Crétacé; M : multiple du fond; unités sismiques 1A (Miocène moyen à Quaternaire), 1B (Éocène supérieur à Miocène inférieur), 2 (Crétacé supérieur à Éocène moyen), S (socle acoustique). Position sur figure 6.

Schematic geologic section and seismic profiles across the continental shelf and upper course of Canhão da Nazaré. A.N.: Nazaré fault; C: Cretaceous; M: bottom multiple; seismic units 1A (middle Miocene to Quaternary), 1B (late Eocene to early Miocene), 2 (late Cretaceous to middle Eocene), S (acoustic basement). For location, see Figure 6.

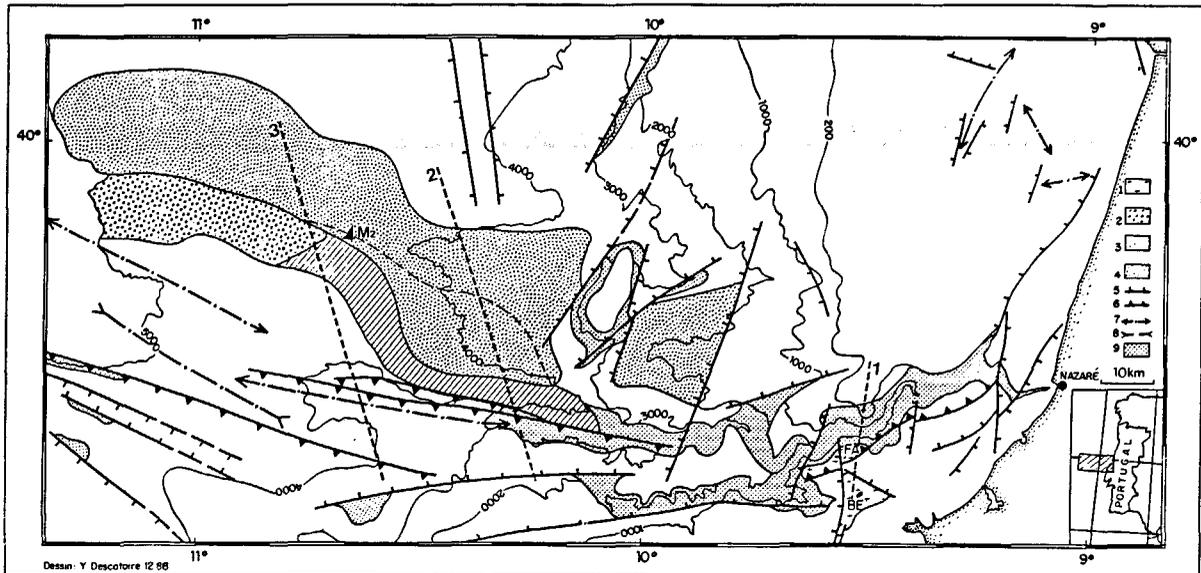


Figure 6

Situation structurale du Canhão da Nazaré : 1, affleurement du socle hercynien ; 2, recouvrement sableux au débouché du canyon ; 3, niveau induré apparent sur le lit du canyon et sous la levée sédimentaire (tiretés) ; 4, levée de débordement turbiditique ; 5, faille normale ; 6, faille inverse ; 7, axe anticlinal ; 8, axe synclinal ; 9, affleurement du socle acoustique. BE : île de Berlenga ; FA : île des Farilhões ; M2 : dragage d'argiles silteuses du Miocène moyen à supérieur. La situation des profils transversaux 1, 2 et 3 (fig. 5 et 7) est indiquée.

Structural setting of Canhão da Nazaré : 1, hercynian basement outcropping ; 2, sand layer on the outermost canyon floor ; 3, indurated level visible on the flat canyon floor and under the sedimentary levée (dashed line) ; 4, turbiditic levée ; 5, normal fault ; 6, upthrust fault ; 7, anticline axis ; 8, syncline axis ; 9, acoustic basement outcropping. BE : Berlenga island ; FA : Farilhões island ; M2 : dredge of middle to upper Miocene silty clay. Dashed lines locate transverse profiles 1, 2 and 3 shown in Figures 5 and 7.

Le Tertiaire forme l'entablement sommital d'un long talus convexe, que l'érosion attaque par quelques ravins de dimensions kilométriques. Elle triomphe en ouvrant un amphithéâtre spectaculaire en forme de conque (ou de « reculée » jurassienne) au sud de l'arête aiguë des Farilhões. C'est le Vale da Berlenga, dont les parois semi-circulaires, ravinées, hautes de plus de 500 m, dominant un fond bosselé qu'entaille un court chenal sinueux. La butte et le chaos topographique qui encombrant sa partie terminale évoquent un gigantesque mouvement gravitaire.

En contrebas de cette corniche émoussée et éventrée, s'allonge un grand et long versant dont la concavité douce est coupée par deux lignes d'escarpements. Le plus bas (3 000-3 500 m) borde directement le lit même du canyon. Cette berge, encochée de cirques d'arrachement, est en fait le front de l'accident de Nazaré. Le talus de mi-pente (entre 1 500 et 2 000 m), orienté N80 à N100, est découpé en éperons étroits par un réseau serré de courts ravins anaclinaux.

Le versant septentrional

Il diffère du tout au tout de son vis-à-vis par son étagement et par l'importance des directions Nord-Sud. On rencontre, de l'Est à l'Ouest :

a) Un haut de pente (jusqu'à 1 500 m), régulièrement convexe et mollement vallonnée. La douceur des formes et des pentes s'explique par : leur façonnement dans le prisme tertiaire formant la haute marge ; leur lissage opéré par les courants de contour, animés par la veine d'eau méditerranéenne, s'écoulant vers le Nord (c'est

ce que montre l'analyse des sédiments carottés ; Faugères *et al.*, 1984).

b) En dessous, la dégradation et l'entraînement exercé par les processus gravitaires accidentent la pente de grands cirques d'arrachement et de ravins. Ces reliefs de dissection se conforment à une double disposition. Vers le Sud, les ravins courts et parallèles entre eux rejoignent le canyon par de petites gorges suspendues. Vers l'Ouest, les ravins s'embranchent en réseau digité autour du cours en baïonnette du Canhão de São Pedro.

c) Les crêtes conservées entre les ravins et les canyons s'allongent en longues arêtes digitées, aiguës par des cirques d'arrachement qui expriment une forte reprise d'érosion gravitaire. Des corniches à ressauts multiples cernent les crêtes et découpent leurs versants en une succession de pentes douces.

d) Le Mont Freire de Andrade (2 070 m), sorte de bastion quadrangulaire, est une lourde voûte dont les flancs faillés ont été dégagés dans des séries plus consolidées. L'isthme étroit (2 550 m), qui le rattache encore à la pente, est un ensemblage tectonique ouvert par un réseau de fractures en ciseaux qui décalent fortement les sédiments tertiaires accumulés entre les canyons de Nazaré et de São Pedro (fig. 6).

Un lit sinueux

Par rapport à l'amont, son engaisement et sa pente s'amointrissent et surtout se modifient sensiblement à mesure que l'on gagne vers l'aval (fig. 4). Il prend d'abord l'aspect d'un défilé resserré (6 à 7 km), encore

très penté (82‰), avec des méandres fortement surcreusés quoiqu'à peine asymétriques. L'esquisse de fond plat pourrait révéler l'apparition d'un remblaiement. A l'ouest du méridien 9°45'W, le lit s'élargit et perd en encaissement entre des versants plus disséqués. La pente longitudinale faiblit (29‰); le profil transversal s'arrondit; le gabarit des méandres se réduit. A l'image d'un lit fluvial, apparaît une opposition entre une rive concave de sape et un lobe adouci de rive convexe. Parallèlement, le contrôle structural s'affirme vers l'aval: à l'ouest de 10°W, le lit du canyon s'aligne au pied de l'escarpement de faille inverse (N110) qui forme la base de la rive gauche.

Le cours inférieur

En contrebas des escarpements que l'isobathe de 3500 m souligne, toute la topographie s'aplatit et s'aère. Les pentes diminuent et les reliefs en saillie prononcés s'espacent. Au pied de la pente continentale sont accrochées plusieurs séries de crêtes (direction générale: N100 à N110), disposées comme des épis en bas d'une falaise. Toutes ces hauteurs forment les lignes directrices de la pente inférieure dont le remblaiement tertiaire porte témoignage des déformations et de la sédimentation active qui ont pris place de part et d'autre du lit du canyon.

Un lit élargi et aplati

Il présente un cours totalement neuf dans ses formes et ses origines. Passé l'isobathe de 4100 m, le fond du canyon prend soudain l'aspect d'un couloir calibré, élargi (7 à 10 km), au profil en long très adouci (13‰). Les sections transversales sont celles d'une auge au plancher ordinairement plat.

Le sondage multifaisceaux et les profils Gloria montrent que, dans la partie la plus encaissée (à l'amont de 10°30'W), ce talweg est parcouru par un réseau de chenaux anastomosés. Dans la moitié amont, les profils

sismiques (fig. 7) indiquent que le lit se confond avec un horizon à forte réflectivité que l'on suit sous la berge septentrionale (fig. 6). Il s'agit très probablement d'un niveau d'induration semblable à ceux que l'on trouve sur les boues compactées par les courants rapides sur le fond des vallées abyssales. Une argile silteuse draguée sur la berge septentrionale (M2, fig. 6), juste au-dessus de ce niveau, a été datée du Miocène moyen à supérieur (détermination P. Weaver, Institute of Oceanographic Sciences, Wormley, UK), ce qui permet de donner un âge à une phase décisive dans le façonnement du lit.

Vers l'aval, les berges s'écartent, s'aplatissent et se dégradent (fig. 4). Elles alimentent des formes d'accumulation confuses, parfois soudées latéralement en banquettes qui encombrant les bords du lit. Au-delà de 10°40'W, le fond devient un champ d'épandage où les sables (Faugères *et al.*, 1984) régularisent une vaste topographie indécise (4800-5000 m), qui n'est pas sans évoquer, en modelé subaérien, celle d'un delta intérieur (fig. 6). Cette pente infime (3‰), qui confine à la plaine abyssale ibérique, semble dépourvue de figures de transport.

Les crêtes méridionales

Les hauteurs de rive gauche sont des formes structurales soulevées par l'effort compressif exercé en avant de l'accident de Nazaré (fig. 6). Leur position et leur mouvement les ont tenues à l'écart des volumineux apports turbiditiques. La crête Pacheco Duarte, véritable petite montagne riveraine (3600 m), est un lourd bombement anticlinal (profil 3, fig. 7). La conformation de la crête, remarquablement sapée en rives élevées à l'amont (700 m de commandement au-dessus du lit), donne à penser que ce mont a sans doute été soulevé jusqu'au Quaternaire.

La crête Pacheco Duarte sépare du Canhão da Nazaré la vallée Choffat, profilée en berceau large d'environ 10 km. C'est un « val » (vallée synclinal) remblayé, ce

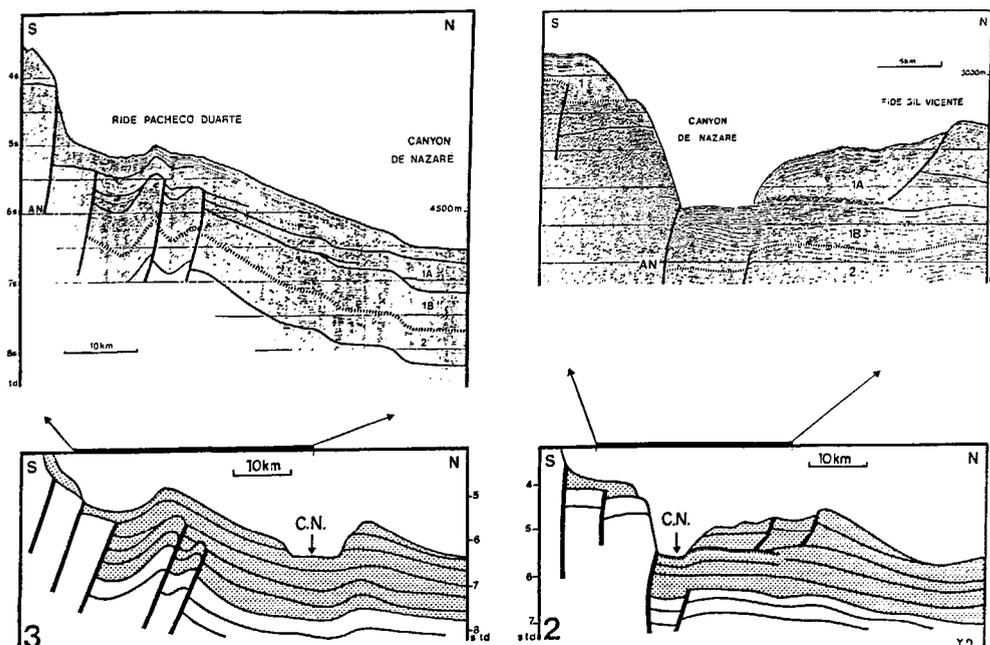


Figure 7
Profils sismiques et coupes-temps à travers la pente continentale (2) et le cours inférieur (3) du Canhão de Nazaré (C.N.). Légende sur figure 5 et position sur figure 6.

Seismic profiles and time cross-sections across the continental slope (2) and the outermost course (3) of Canhão da Nazaré (C.N.). Caption as for Figure 5; for location, see Figure 6.

qui lui confère un fond plat. Plus à l'Ouest s'aligne la double série des chaînons Egas Moniz, composés de « horsts » étroits et discontinus. Le plus septentrional des chaînons (point culminant : 4 398 m) s'élève de plus de 600 m au-dessus des confins de la plaine abyssale ibérique.

Dans le prolongement de la crête Pacheco Duarte, la rive méridionale du canyon est une rampe sédimentaire, à l'aspect de levée, très étalée vers l'aval. Sa surface est surmontée de crêtes recourbées dont le dessin pivotant pourrait évoquer l'accolement de plusieurs bourrelets de rive, graduellement décalés, allongés et abaissés, à mesure que le cours du canyon glissait vers le nord.

La rive septentrionale

Elle est constituée par une levée, baptisée crête Gil Vicente, qui, par sa forme, ses dimensions et sa mise en place, est d'un type totalement différent de son homologue de rive gauche. C'est une longue crête sédimentaire, allongée sur 75 km, et accrochée, telle une digue, au pied du Mont Freire de Andrade.

En direction de l'Ouest, sa ligne faîtière, le plus souvent aiguë, s'abaisse (de 1 200 m en 75 km), se dédouble, s'effile, s'ébrèche, un peu comme une « serre » de piémont (au nord des Pyrénées, par exemple). Comme il est naturel pour une levée de rive septentrionale dans l'hémisphère Nord, son édification a dû se poursuivre par débordement turbiditique, à un taux sensiblement plus grand au Nord qu'au Sud (20 cm/1 000 ans; Faugères *et al.*, 1984), jusqu'à former une cloison interfluve quasi rectiligne. La dénivellation relative entre le lit des canyons de Nazaré et de São Pedro illustre clairement le surclassement morphologique dont a bénéficié le collecteur principal. Plus que la douceur de la rive méridionale, la raideur et la hauteur (200 à 400 m) de la rive opposée, remarquablement découpée, sont des signes évidents du sapement latéral actif qui a accompagné le déplacement du lit vers sa droite.

A l'amont de 10°35'W, la rive change nettement de caractère. La levée est flanquée par un quadrilatère de collines, largement renflé vers le Sud. Sa topographie, un peu confuse, est détaillée en crêtes et sillons qui débouchent au-dessus du lit par de petites encoches de raccordement. La lecture des profils sismiques qui traversent ces reliefs, donne à penser qu'il s'agit moins de bourrelets placés côte à côte que de panneaux qui, décollés de la levée Gil Vicente, furent basculés et glissés sur le fond du lit (profil 2, fig. 7).

TRACÉ ET CADRE STRUCTURAL DU CANYON

Le Canhão da Nazaré apporte de nouveaux éléments d'appréciation au problème, toujours délicat et pas totalement résolu, de l'origine des canyons, en général, et de l'individualisation des goufs en particulier. Il est ordinairement admis, au moins pour les marges passives réputées stables, que les canyons sont des formes reliques, ouvertes une fois pour toutes sur l'emplacement des discontinuités structurales. Ce schéma, statique

et monophasé, ne paraît pas applicable au gouf de Nazaré, dont la forme finale fut atteinte au terme d'une phase récente de déstabilisation. A l'aval, ce fut la déformation sinueuse et latérale de son lit; à l'amont, la rétrogradation de sa tête, à travers l'accident de Nazaré, jusqu'au rivage. Il convient donc de rechercher les circonstances qui ont, non seulement favorisé la mise en place du canyon, mais aussi amené l'allongement final de son cours. En d'autres termes : quels sont les facteurs qui ont fait un gouf d'un canyon ordinaire ? Ils ne peuvent être que structuraux : le canyon donne l'image morphologique de la mobilité engendrée dans les parages d'un faisceau d'accidents qui prend en écharpe tout l'ouest de l'Ibérie (fig. 3 A). Le constat de conformité structurale repose sur les arguments suivants :

1) Le cours souligne la retombée septentrionale d'un « bourrelet » soulevé par compression au début du Miocène moyen, le long de l'accident de Nazaré. La date du serrage est fournie par la discordance (fig. 5 et 7) visible entre les formations 1A (Miocène moyen-Quaternaire) et 1B (Éocène supérieur-Miocène inférieur), telles qu'elles ont été définies à partir des forages profonds de la marge (Galice, 1979; Mauffret et Montadert, 1987).

2) L'infléchissement que décrit le cours du canyon obéit aussi à un changement de style et de direction dans la structuration dominante (fig. 6). A l'est de 9°40'W, celle-ci est en failles inverses vers le Sud, et suit une orientation moyenne au N60. Pour tout le reste du canyon, les accidents sont inverses vers le Nord et alignés au N100-N110.

3) Par rapport à ce double alignement, l'emplacement du canyon varie. En amont, seule sa tête recoupe (par surimposition, dirait-on pour un fleuve) l'accident de Nazaré. Le reste de son cours supérieur est conforme aux structures N60, l'entaille se produisant dans une bande de roches tendres du Mésozoïque situées au dos du compartiment chevauchant (profil 1, fig. 5). Dans le domaine des structures N100-N110, le cours du canyon se trouve déporté en position frontale des plis soulevés au nord de l'accident (fig. 7).

4) De l'un à l'autre de ces alignements structuraux, le passage est matérialisé par la présence d'un système d'accidents subméridiens (N20), sommairement transversaux au cours du canyon. Les branches de plusieurs sinuosités (cours moyen) sont établies sur de telles lignes de fracturation. Le versant septentrional possède leurs plus belles expressions morphologiques grâce au jeu récent de ces accidents (Néogène déformé sur les flancs du mont Freire de Andrade).

5) De 10°10' à 10°50'W (soit le tiers médian du tronçon orienté au N110), sur une distance supérieure à 60 km, le fond large et plat du canyon est une surface d'induration ancienne, contemporaine de la discordance (signalée plus haut) entre les niveaux 1A et 1B. Si ce fond durci se prolonge vers le Nord (de quelque 10 km), sous la partie la plus épaisse de la levée Gil Vicente (fig. 6), on perd sa trace vers l'aval, passé le méridien 10°50'W.

6) Au-delà du même méridien, la disparité des rives confère au bas du canyon un caractère mixte encore jamais décrit. L'exhaussement est d'origine tectonique pour la rive méridionale, formée par la plus avancée des ondulations N110. Il s'agit du relief le plus récent formé par ce mécanisme d'empiètement tectonique qui annexa à la pente (et donc au cours du canyon) un pan entier de plaine abyssale adjacent à l'accident de Nazaré. L'exhaussement est d'origine sédimentaire pour la rive septentrionale, construite par le débordement dextre du flux de turbidité. La rive est une levée abaissée et effilée dans le prolongement de celle de Gil Vicente.

7) Enfin, la jeunesse tectonique et sédimentaire du cours inférieur du canyon est attestée par la persistance de séismes superficiels sous le versant méridional (Moreira, 1985; Buforn *et al.*, 1988) et par le sapement actif qui raidit alternativement les deux berges.

Au total, le canyon présente ainsi un échantillonnage représentatif de reliefs sous-marins accordés aux diverses catégories et échelles structurales (Regnauld, 1987). Son adaptation est double puisqu'on l'observe à l'égard des structures mises en place au Miocène moyen, puis au Quaternaire. Le jeu inapaisé de l'accident de Nazaré n'a pas permis au canyon de se désaccorder avec des structures qui lui ont imposé, avec constance, une réadaptation quasi automatique. Il offre un exemple presque parfait de canyon sous-marin fidèlement et constamment ajusté à un réseau de déformations intraplaques majeures qui maintinrent et étendirent leur surface d'exercice au cours du temps.

avec une substantielle déstabilisation gravitaire de la pente continentale qui dut acquérir alors une élévation structurale, un raidissement tectonique et une fragmentation topographique assez proches de la situation présente. Au matériel affluant de versants en pleine jeunesse, vint s'ajouter la charge livrée par le déblaiement actif (aplanissement) de la plate-forme continentale dont le rebord était peut-être déjà entamé. A son issue, le canyon s'achevait dans une plaine abyssale, sans chenaux ni levées.

2) Au Miocène supérieur et au Pliocène, le relatif calme tectonique permit un façonnement actif qui se manifesta : en amont, par l'enfoncement et le recul probables de la tête du canyon jusqu'à mi-plate-forme, grâce à la dégradation du bourrelet compressif des Farilhões; vers l'aval, par la mise en place de la puissante accumulation de Gil Vicente avec, éventuellement, le concours du canyon de São Pedro. A cette suralimentation sédimentaire de la rive droite peut être imputée la dégradation gravitaire (glissements) qui l'affecte (profil 2, fig. 7), le déplacement corrélatif du lit vers le Sud et, par voie de conséquence, l'attaque de l'autre rive récemment soulevée. La migration du lit du canyon explique la différence frappante entre les rives : dissection sur les fronts de glissement pour la rive droite, régularisation par sapement pour celle de gauche.

3) Les stades quaternaires, qui aboutirent à l'allongement et à la distorsion présente du lit, furent instaurées par une ultime phase de structuration de la pente continentale. Les mouvements furent compressifs sur la rive méridionale. D'anciennes structures se surélevèrent

LIT ET ÉVOLUTION STRUCTURALE DU CANYON

La situation particulière du Canhão da Nazaré lui a imposé un dessin et un destin morphologiques rares dans la catégorie des grands canyons sous-marins. Les règles et les problèmes de son évolution tiennent dans sa réponse fidèle aux sollicitations structurales et dans l'allongement solitaire de son lit. C'est la persistance du premier caractère, constamment réaffirmé qui semble avoir imposé le second. Vaine serait la tentative de vouloir spéculer sur l'état morphologique du canyon antérieurement au Miocène moyen. Ce n'est qu'à partir de cette date que l'on peut reconstituer avec une suffisante netteté, le scénario enchaînant au mieux les événements précédemment replacés dans l'espace et le temps (fig. 8).

1) Le témoignage le plus ancien de l'existence d'un canyon sur l'emplacement de l'accident de Nazaré est constitué par le niveau induré, daté du Miocène moyen, façonné sur le fond d'un lit plus court, plus large et sans doute plus rectiligne que l'actuel. Les déformations ultérieures interdisent de se prononcer sur son encaissement originel. La nature et les dimensions du lit prouvent qu'il était parcouru par un volumineux et vigoureux transit particulière. L'activité morphologique intense qu'il exerça doit être mise en relation directe

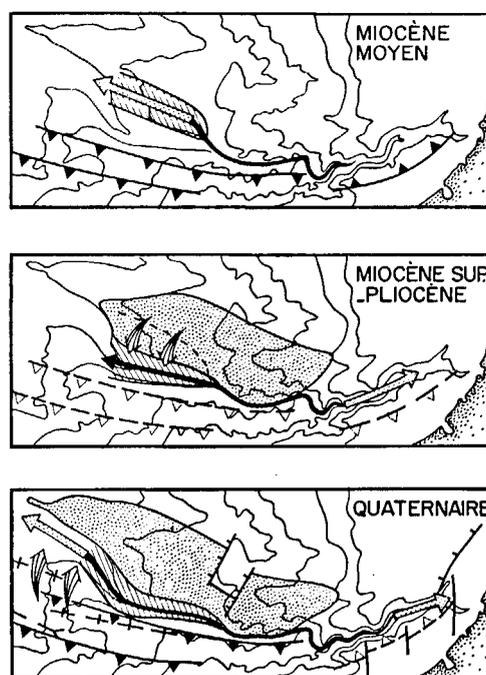


Figure 8

Évolution structurale du Canhão da Nazaré au Néogène et tendances géomorphiques. La torsion latérale du lit et son élongation (tracé longitudinal) sont indiquées respectivement par des flèches obliques et droites. Légendes sur figure 6.

Neogene structural evolution of the Canhão da Nazaré, and geomorphic trends. The lateral twist (distorsion trend) of the bed, and the elongation (longitudinal trend) are respectively shown by oblique and straight arrows. Caption as for Figure 6.

(exhaussement des rides Pacheco Duarte et Egas Moniz). Des ondulations neuves gagnèrent vers le Nord, annexant à la pente des territoires de l'ancienne plaine abyssale et accentuant le déplacement du bas cours vers la droite. Épargné par le soulèvement (côté Sud) ou l'accumulation (côté Nord), le lit terminal est une enclave résiduelle de l'ancienne plaine abyssale ibérique qu'une pente longitudinale infime raccorde à l'actuelle. En revanche, sur la rive septentrionale, la pente continentale adopta la présente conformation de blocs dénivelés par des failles normales subméridiennes. Au niveau de la plate-forme, la segmentation du bourrelet des Farilhões permit à une puissante érosion remontante de triompher des derniers obstacles dressés entre la tête du canyon et le rivage. La tâche de l'érosion verticale fut allégée lors des oscillations répétées du niveau marin et du climat et par le nivellement final de la plate-forme continentale, autant de phénomènes qui, périodiquement, accrurent le volume sédimentaire affluant à la source du canyon. C'est la concentration linéaire de tous les entraînements gravitaires, à l'avantage exclusif d'une artère unique, qui a rendu possible l'éventration du « gouf » par surcreusement vertical et recul de sa tête, profilée en cataracte. Le phénomène pourrait être dit « cumulatif », en ce sens que chaque portion de plate-forme reconquise par les courants de marée et de houles renforçait le débit solide transitant dans le cours amont et le rendait plus capable de progresser. Depuis le début de la transgression flandrienne (- 15 000 ans), son recul est encore sensible (environ 5 km) si l'on compare la position de sa tête à celle des niveaux d'abrasion repérés sur la plate-forme, entre - 80 et - 100 m, et attribués au stationnement du rivage pendant la glaciation würmienne (Musellec, 1974).

Dès lors qu'existe, devant Nazaré, un bas de plage en entonnoir et de pente excessive (plus de 100‰), la question suivante se pose : la position de la tête du canyon par rapport au trait de côte est-elle définitive ? La déstabilisation est-elle susceptible de poursuivre son œuvre régressive et de faire peser une menace sur l'équilibre morphologique de la zone côtière ? Répondre à ces questions demanderait d'entreprendre des recherches dans le but de savoir comment les courants ont fait affluer et s'évacuer les sédiments à la tête du canyon. Jusqu'à plus ample informé, dans les conditions de stabilité du rivage actuel, on ne voit aucune raison de penser que ce type d'érosion continue de développer ses effets régressifs.

De tout ce qui précède, il ressort que le canyon a été engendré par un travail tectonique et érosif puissant, périodiquement repris et perfectionné jusqu'à nos jours. Le gouf est le stade terminal de l'aménagement d'un canyon largement ouvert par les dislocations. Il résulte donc d'une mutation morphologique qui affecta conjointement les divers éléments de la vallée :

- les rives, par exhaussement (tectonique ou sédimentaire) ;
- le lit, par encaissement.

C'est dans le cours inférieur, le premier ouvert sur la pente, que les relations entre l'évolution transversale et

longitudinale sont les plus évidentes. La morphogenèse de ce tronçon initial a conditionné l'allongement du cours à mesure que progressait la structuration de l'accident de Nazaré. Vers l'aval, la progression se fit par l'annexion (tectonique au Sud, sédimentaire au Nord) d'un fragment de la plaine abyssale ibérique. Vers l'amont, c'est la rétrogradation qui intervint au détriment de la plate-forme continentale.

Comparé aux canyons voisins, celui de Nazaré apparaît ainsi dans toute sa singularité. Tout se passa comme si le rétrécissement et l'étirement exceptionnels avaient été unis par des liens de causes à effets, le cours du canyon ayant d'autant plus gagné en longueur qu'il perdait en largeur.

ÉLARGISSEMENT DU PROBLÈME : LE CANYON ET LES GOUFS

Le Canhão da Nazaré fournit de nouveaux enseignements sur les canyons sous-marins en général, et sur les goufs en particulier. Les principes majeurs de positionnement et d'évolution, tels qu'ils viennent d'être proposés, sont-ils susceptibles d'extension à l'ensemble de la classe des goufs ? De manière plus particulière, ceux-ci ont-ils montré les mêmes caractères d'obéissance à la subordination structurale ? En raison de la disparité, voire de l'indigence de l'information, il n'est pas encore possible de donner une réponse pleinement satisfaisante à ces questions.

Le gouf qui présente l'analogie structurale la plus frappante avec le Canhão da Nazaré, est celui de Capbreton (fig. 1), établi sur le contact brutal entre l'accident chevauchant nord-pyrénéen et le rebord du plateau landais (fig. 3B) accumulé dans le prolongement du piémont aquitain (Schoeffler, 1965 ; Valéry *et al.*, 1971 ; Boillot *et al.*, 1974). Il est plus difficile de comparer l'évolution des deux goufs. Toutefois, la présence de méandres et de constructions sédimentaires sur la rive septentrionale (Nesteroff *et al.*, 1968), de même que le recul de sa tête attesté par les démaigrissements périodiques des plages voisines (La Roche Poncié, 1860 ; Froidefond, 1985) suggèrent de probables similitudes.

La subordination structurale du gouf de Setúbal est moins précisément établie. Son cours longe le revers sud d'un bourrelet compressif miocène (N60), qui suit le chaînon de l'Arrábida et le plateau sous-marin A. de Albuquerque (fig. 1C et 3B). Sa tête est placée dans le prolongement de la faille de Grândola (N115), accident tardi-hercynien remobilisé au Pliocène-Quaternaire. Au cœur de la plate-forme, la vallée est entièrement creusée au sein du Pliocène, dont les couches progradent vers le Sud sur les deux rives du canyon (Coppier et Mougenot, 1982). On doit en déduire que la « barrière en creux » constituée par l'entaille actuelle n'existait pas au Pliocène, et que le recul du canyon de Setúbal est, là aussi, un événement quaternaire.

A notre connaissance, l'inventaire des goufs pleinement structuraux s'arrête là. Ce qui était d'ailleurs prévisible,

les conditions tectoniques exigées (rejeux périodiques d'une discontinuité intraplaque) étant rarement réalisées. La faille de Saint-Vincent et l'accident du Guadalquivir, pour ne parler que des zones mobiles les plus proches (fig. 3 A), n'ont pas de gouf à leur actif. Pour les goufs que l'on pourrait qualifier d'africains, semblable conditionnement tectonique n'a pas encore été signalé (Heezen *et al.*, 1964; Dietz *et al.*, 1968; Dietz et Knebel, 1970; Martin, 1973; Aka et Tastet, 1986). Leur histoire morphologique se confondrait plutôt avec celle d'un remblaiement puissant à l'origine d'un éventail profond (Shepard et Emery, 1973; Droz *et al.*, 1985). Ce remblaiement semble avoir supprimé ou profondément enfoui un éventuel héritage tectonique. Doit-on, pour autant, écarter toute intervention de la structure? Il serait intrépide de l'assurer, tant il est vrai qu'elle a pu adopter, sur les marges atlantiques de l'Afrique, des modalités ignorées sur la plaque ibérique soumise aux efforts compressifs que l'on a décrits. Même pour ces goufs africains sur lesquels pèse l'équivoque fondamentale de l'origine première, ce que l'on sait de la géographie respective du canyon du Congo et des diapirs (Shepard et Emery, 1973) inclinerait à ne pas déprécier le rôle de la mobilité du substratum dans sa genèse.

En définitive, l'examen comparatif des goufs, auquel l'étude du Canhão da Nazaré invite à procéder, appelle quelques remarques générales sur leur place dans la morphogenèse sous-marine :

- 1) Les goufs sont les réponses morphologiques à deux ordres de subordination dominants, l'un à la structure (cas des goufs d'Europe), l'autre à l'accumulation sédimentaire (cas des goufs d'Afrique).
- 2) Les goufs sont les expressions d'une action poussée jusqu'à son terme final. Ils donnent l'image d'une évolution qui est parvenue à établir et à maintenir une relation continue et continuelle entre les étages littoraux et abyssaux.
- 3) Le travail de connexion côtière a pu être aidé par la migration des apports et de l'érosion fluviales lors des oscillations majeures du niveau de la mer. Ce fut le cas du canyon du Congo (fig. 1, C6), dont la tête est située dans l'embouchure du fleuve. A l'opposé, la participation des agents fluviales dans le façonnement du Canhão da Nazaré fut inexistante. La distinction entre les goufs pro- et afluviale ne semble donc pas pouvoir être retenue.
- 4) Les goufs tendent à ajuster leur forme à l'exercice optimal de la fonction évacuatrice. Leur morphologie « idéale » (pour ne point dire canonique) serait celle d'une gouttière la moins sinueuse possible, comme les goufs africains, celui du Congo en premier lieu (fig. 1), en donnant l'image. En comparaison, le Canhão da Nazaré, aux méandres encore emprisonnés dans les cours supérieur et moyen, n'atteindra sans doute jamais un tel degré d'achèvement.

CONCLUSION

La position, la forme, la structure et l'évolution du Canhão da Nazaré lui confèrent une haute valeur d'exemplarité. On doit désormais le ranger parmi les canyons les mieux connus et les plus démonstratifs du monde. Les concepts théoriques développés à propos de sa genèse méritent d'être incorporés à une théorie plus générale de la formation des canyons sous-marins. Son analyse ne dément pas l'intérêt qu'il y a à distinguer entre plusieurs classes de canyons. Mais on est encore loin de pouvoir expliquer de façon satisfaisante les particularités propres à chacune d'entre elles, et les modalités qui président au passage d'une classe à la suivante.

Les goufs apparaissent comme des canyons par excellence. Aucune forme sous-marine n'est plus adéquate à la fonction planétaire de drain sédimentaire qu'ils exercent, et n'est plus révélatrice : 1) de l'intensité des transferts de masse que subit une marge continentale tout au long de son histoire morphostructurale ; 2) des relations qui unissent les terres émergées aux domaines abyssaux.

Vus sous cet angle, ils sont pleinement en mesure d'apporter de nouveaux éléments de réponse aux questions encore mal élucidées de l'origine des canyons. Aussi y a-t-il lieu de rappeler qu'ils méritent une considération que les programmes de recherche leur ont refusée au cours de la décennie qui s'achève. Désaffectation certaine, que l'on espère temporaire. Le besoin de reprendre l'étude des canyons, à commencer par celle des goufs, est vivement ressenti par un nombre croissant de chercheurs. Le moment est venu de rouvrir le dossier.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Instituto Hidrográfico du Portugal et, au premier chef, son directeur technique, le commandant J. A. Sobral, pour le soin extrême apporté à la localisation des sondages, pour la fourniture des sondes complémentaires aux levés multifaisceaux et pour la réalisation de la carte hors-texte. Ils sont reconnaissants à Jacqueline Leuridan, ingénieur au CNRS, pour l'habileté dont elle a fait preuve dans l'établissement de la maquette.

Publication n° 509 du Groupe d'Étude de la Marge Continentale et de l'Océan (UA n° 718 du CNRS et Université Pierre-et-Marie-Curie).

RÉFÉRENCES

- Aka K. et J. P. Tastet (1986). La sédimentation au Quaternaire supérieur sur la marge ivoirienne : résultats préliminaires des missions Transivoire. *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, 40, 97-153.
- Boillot G. et P. Musellec (1972). Géologie du plateau continental portugais au Nord du Cap Carvoeiro. Structure au Nord et au Sud du canyon de Nazaré. *C.r. Acad. Sci., Paris*, 274, 2852-2854.
- Boillot G., P. A. Dupeuble, I. Hennequin-Marchand, M. Lamboy, J. P. Lepretre et P. Musellec (1974). Le rôle des décrochements « tardi-hercyniens » dans l'évolution structurale de la marge continentale et dans la localisation des grands canyons sous-marins à l'Ouest et au Nord de la Péninsule ibérique. *Revue Géogr. phys. Géol. dynam.*, 16, 1, 75-86.
- Boillot G., P. A. Dupeuble et P. Musellec (1975). Carte géologique du plateau continental nord-portugais. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 17, 4, 462-480.
- Buforn E., A. Udias et M. A. Colombas (1988). Seismicity, source mechanisms and tectonics of the Azores-Gibraltar plate boundary. *Tectonophysics*, 152, 89-118.
- Cabral J. (1989). An example of intraplate neotectonic activity Vila-riça basin, northeast Portugal. *Tectonics*, 8, 2, 285-303.
- Coppier G. (1982). Tectonique et sédimentation tertiaire sur la marge sud-portugaise, in: Mémoire des Sciences de la Terre, 82-44. *Thèse de 3^e cycle, Université Pierre-et-Marie-Curie, Paris*, 140 pp.
- Coppier G. et D. Mougenot (1982). Stratigraphie sismique et évolution géologique des formations néogènes et quaternaires de la plate-forme continentale portugaise au Sud de Lisbonne. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 24, 3, 421-431.
- Derégnaucourt D. et G. Boillot (1982). Structure géologique du golfe de Gascogne, in: Carte structurale du golfe de Gascogne au 1/2 400 000. *Bull. Bur. Rech. géol. min.*, 1, 3, 149-178.
- Dietz R. S. et H. J. Knebel (1970). Trou Sans Fond submarine canyon, Ivory Coast. *Deep-Sea Res.*, 18, 4, 441-447.
- Dietz R. S., H. J. Knebel et L. H. Somers (1968). Cayar submarine canyon. *Bull. geol. Soc. Am.*, 79, 12, 1821-1828.
- Droz L., E. Blarez, J. Mascle et B. Sombo (1985). The « Trou Sans Fond » deep-sea fan (off Ivory Coast, Equatorial Atlantic). *Mar. Geol.*, 67, 1-11.
- Faugères J.-C., E. Gonthier, C. Pujol, M. Devaux et I. Philipps (1984). La mission Faegas IV : premiers résultats sur les sédiments profonds de la marge ouest-ibérique, du golfe de Cadix et de la mer d'Alboran. *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, 36, 67-83.
- Freire de Andrade C. (1937). Os vales submarinos portuguesas e o diastrofismo das Berlengas e da Estremadura. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, 1, 249 pp.
- Froidefond J. M. (1985). Méthode de géomorphologie côtière. Application à l'étude de l'évolution du littoral aquitain. *Mém. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, 18, 200 pp.
- Galice (groupe) (1979). The continental margin off Galicia and Portugal : acoustical stratigraphy, dredge stratigraphy, and structural evolution, in: *Initial Repts. Deep Sea Drilling Proj.*, 47, 2, edited by J.-C. Sibuet, W.B.F. Ryan et al., Washington D.C., 633-662.
- Gardner J. V. et R. B. Kidd (1987). Sedimentary processes on the northwestern Iberian continental margin viewed by long-range side-scan sonar and seismic data. *J. sedim. Petrology*, 57, 3, 397-407.
- Heezen B.C., R. Menzies, E. D. Schneider, W. Ewing et N. C. L. Granelli (1964). Congo submarine canyon. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 48, 7, 1126-1149.
- Lallemand S., J.-P. Maze, S. Monti, J.-C. Sibuet et al. (1985). Carte bathymétrique de l'Atlantique Nord-Est, 1/2 400 000 à 41° Nord. Publ. IFREMER.
- La Roche Poncie J. de (1860). Rapport sur la Fosse et le Havre de Cap-Breton, in: *Recherches hydrographiques sur le régime des côtes*, 2. Service hydrographique de la Marine, Imprimerie Nationale, Paris, 62-74.
- Martin L. (1973). Morphologie, sédimentologie et paléogéographie au Quaternaire récent du plateau continental ivoirien. *Thèse 3^e cycle, Université Paris-VI*, 340 pp.
- Mauffret A. et L. Montadert (1987). Rift tectonics on the passive continental margin off Galicia (Spain). *Mar. Petrol. Geol.*, 4, 49-70.
- Moreira V. S. (1985). Seismotectonics of Portugal and its adjacent area in the Atlantic. *Tectonophysics*, 117, 85-96.
- Mougenot D. (1989). Géologie de la marge portugaise. *Documentos téc.*, 32, Instituto Hidrográfico, Lisboa, 259 pp.
- Musellec P. (1974). Géologie du plateau continental portugais au Nord du Cap Carvoeiro. *Thèse 3^e cycle, Université de Rennes*, 170 pp.
- Nesteroff W., S. Duplaix, S. Sauvage, Y. Lancelot, F. Mélières et E. Vincent (1968). Les dépôts récents du canyon de Cap-Breton. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 10, 2, 218-252.
- Pinot J. P. (1970). Canyons sous-marins, in: *Encyclopedia Universalis*, 3, Paris, 391-394.
- Regnaud H. (1987). Géomorphologie de la pente continentale du Portugal. Publ. département de géographie, Université Paris-Sorbonne, 15, 141 pp.
- Ribeiro A. (1980 a). Cadre structural et géotectonique. Massif Hésérique, in: *Portugal, introduction à la géologie générale*, G14, 26^e Congrès Géologique International, Paris, 9-20.
- Ribeiro A. (1980 b). Cadre structural et géotectonique. La couverture épi-hercynienne, in: *Portugal, introduction à la géologie régionale*, G14, 26^e Congrès Géologique International, Paris, 20-28.
- Schoeffler J. (1965). Le « Gouf » de Cap-Breton, de l'Éocène inférieur à nos jours, in: *Submarine geology and geophysics*, W. F. Whittard and R. Bradshaw, editors, Bristol, 265-270.
- Shepard F. P. (1965). Types of submarine valleys. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 49, 3, 304-310.
- Shepard F. P. et R. F. Dill (1966). *Submarine canyons and other sea valleys*, 14, Rand McNally and Co., Chicago, 381 pp.
- Shepard F. P. et K. O. Emery (1973). Congo submarine canyon and fan valley. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 57, 9, 1679-1691.
- 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. Sci., Paris*, 294, 1099-1102.
- Valery P., J. R. Delteil, A. Cottencçon, L. Montadert, B. Damotte et J. P. Fail (1971). La marge continentale d'Aquitaine, in: *Histoire structurale du Golfe de Gascogne*, 2, 4-8, Technip, Paris, 1-24.
- Vanney J. R. (1973). La géomorphologie sous-marine, in: *Structure et géomorphologie dynamiques des fonds marins*, P. Muraour, éditeur, Masson, Paris, 1-77.
- Vanney J. R. et D. Mougenot (1981). La plate-forme continentale du Portugal et les provinces adjacentes: analyse géomorphologique. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, 28, 145 pp.
- Vanney J. R., J. Leuridan et al. (1987). Carte bathymétrique du Canhão da Nazaré. Publ. Instituto Hidrográfico, carte en couleurs au 1/150 000, Lisboa, Portugal.