

SUR LE PROBLÈME DE L'ÉROSION DIFFÉRENTIELLE
EN TERRAIN GRANITIQUE
PRÉSENTATION DE DEUX CAS GALICIENS

Une thèse n'est pas un travail définitif. Pour avoir étudié la géomorphologie des régions côtières de la Galice ⁽¹⁾ et avoir examiné en divers endroits les effets de la lithologie sur le modelé, il n'en demeure pas moins des points insuffisamment élucidés. Parmi ceux-ci figurent les contrastes de relief qui font l'originalité des affleurements du «granite du Pindo» entre la ria de Ezaro et la baie de Carnota, et du «granite de Caldas» notamment au sud de la ria de l'Ulla (ria de Arosa) entre Caldas de Reyes et la presqu'île del Grove.

Pourtant la situation de ces intrusions granitiques sur le littoral devrait permettre une recherche fructueuse. Nous avons tenté de tirer parti, lors d'une mission de travail postérieure à la publication de notre thèse de doctorat d'état, de l'existence des falaises pour échantillonner abondamment en deux secteurs. L'avantage est le suivant: alors qu'à l'intérieur des terres, il n'est pratiquement pas possible de recueillir des échantillons de terrain non altéré dans les zones basses, lessivées, ou recouvertes d'arènes, le liseré côtier, avec ses falaises, permet de prélever des fragments de roche à l'état sain, dans des coupes naturelles nettoyées. Ainsi peut-on procéder à des analyses comparatives valables entre des échantillons recueillis dans les secteurs élevés du relief continental (ou insulaire) et d'autres provenant de parties dépassant à peine le niveau de la mer.

Tel fut donc notre objectif lors d'une campagne de terrain en 1967 dans les régions précitées, qui offrent des dénivellations sensibles

⁽¹⁾ HENRI NONN. *Les régions côtières de la Galice (Espagne): Etude géomorphologique*. Thèse pour le Doctorat d'Etat. Public. de la Fac. des Lettres et Sc. Hum. de Strasbourg, Fondation Baulig, T. III, 591 p., Index, 81 fig. 27 tabl. 26 pl. fotogr., 16 pl. HT sous pochette.

à courte distance. Le prélèvement de 72 échantillons devait fournir, après examen en laboratoire de lames minces, analyses pétrographiques et géochimiques, mesures de porosité, une série de conclusions que nous souhaitions nettes et précises.

Malheureusement le programme était trop ambitieux. Tout n'a pu être tenté pour des raisons indépendantes de notre volonté. Aussi,

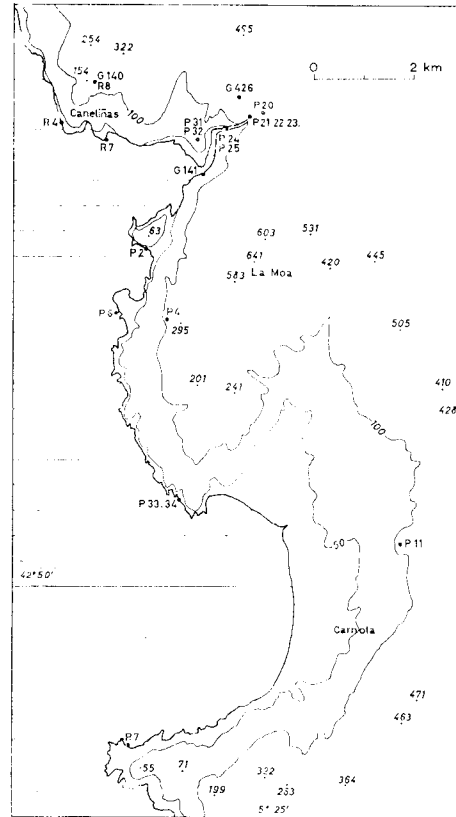


Fig. 1 — Granite du Pindo.
Localisation des échantillons.

renflement du massif le long de la côte, les versants ne tombent pourtant pas directement dans la mer; un replat rocheux vers + 30 + 45 m s'interpose près du rivage. Mais bientôt s'ouvre le rentrant de

(²) Cf. cartes publiées par le Laboratoire de Lage (Dr. I. PARGA PONDAL) *Mapa petrografico estructural de Galicia*, 1963, 1/400 000; mapa geológico de la Provincia de la Coruña, 1964, 1/200 000; Cartes n° 92 et 93 de l'Instituto Geológico y Minero. V. aussi les publications de I. PARGA PONDAL: «El Relieve geografico y la erosion diferencial de los granitos en Galicia.» *Trab. Lab. Geol.*, n° 6, 1958, p. 129-137 et (avec E. TORRE ENCISO) «Sobre una relacion entre los tipos de disyuncion de los granitos gallegos y su historia geologico-tectonica.» *Notas y Comunicaciones* n° 32, 1953, p. 3-31.

n'apportons-nous que des éléments partiels. Un tel travail serait sans doute à reprendre avec fruit.

I — PRÉSENTATION SOMMAIRE DES UNITÉS GÉOLOGIQUES ÉTUDIÉES

Le Massif du Pindo, qui élève ses sommets à plus de 600 m à la Moa près de la ria de Ezaro (rio Jallas) offre aussi le cadre à ses dépressions profondes (vallée du rio Valdebois et cuvette de Carnota). Un petit appendice de même nature forme un relief également bien dégagé près de Caneliñas au NW de la ria de Ezaro. L'affleurement en amygdale du granite intrusif du Pindo (²) comporte surtout des points hauts de part et d'autre du cours du Jallas, que ce petit fleuve dévale dans son tronçon inférieur pour tomber littéralement dans sa ria depuis une altitude de 100 m. Au sud de la ria, où se marque un

Carnota, large de 4,5 km, qui éloigne la courbe de 100 m d'altitude à plus de 3 km du trait de côte; l'encadrement oriental de cette dépression est lié au contact avec des roches cristallines d'autre nature; mais vers le nord, c'est bien dans le granite intrusif qu'elle se verrouille.

Dans le premier stade de nos recherches, il était apparu que devaient intervenir dans l'explication de ce relief une plus grande densité de diaclases dans le secteur de Carnota (moins de 2 m, et

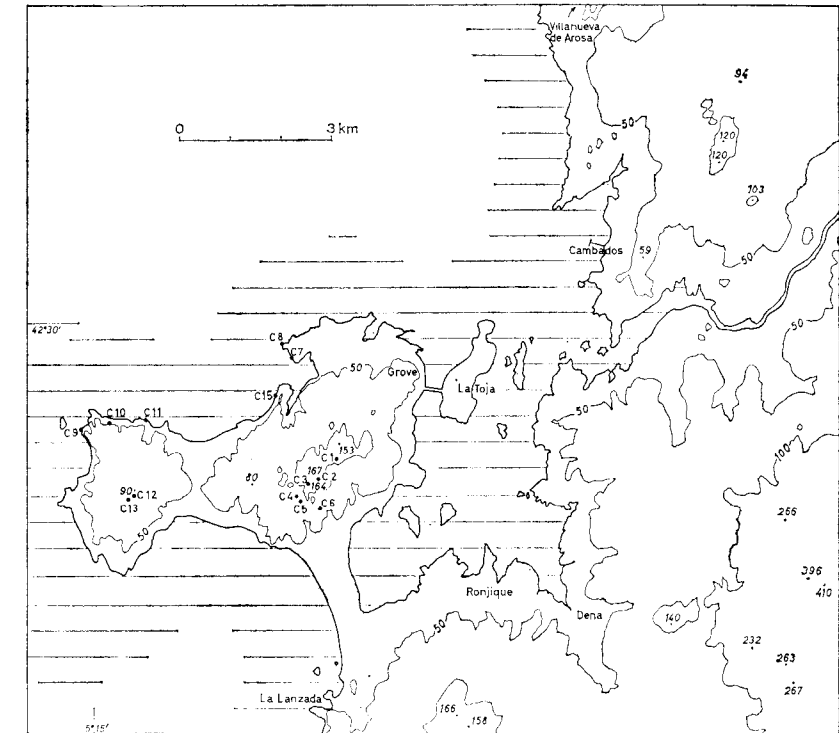


Fig. 2 — Granite de Caldas. Localisation
des échantillons.

même le plus souvent moins de 1 m d'écartement) et l'existence de fractures en éventail. Pourtant, les reliefs majeurs du Pindo, décharnés et âpres, sont eux aussi coupés de diaclases à peine plus espacées, mais on y relève la particularité du passage vers le bas des versants à des diaclases courbes.

Un examen plus approfondi de la pétrographie de détail du batholite a permis aux chercheurs néerlandais de l'équipe du Professeur Den Tex (Leyden) (³) de constater que le Pindo offre une structure «en

(³) Travaux de W. P. F. H. DE GRAAF; Thèse de diplôme de Géologie, 1962, non publiée, indications in litteris du Prof. A. J. PANNEKOEK.

TABLEAU I
ANALYSES CHIMIQUES

Localisation et numéro de l'échantillon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Perte au feu P. F.	Total
<i>Caneliñas</i> parties hautes	G 140	14,60	2,35		0,50	1,50	3,45	4,5		0,98	100,7
	R 7	72	14,15	2,48	0,05	1,09	3,67	4,66	0,29	0,72	99,45
<i>Pindo NNE</i> lit du Jallas, 140 m	P 20	73,8	2,43	0,05	0	0,94	3,67	4,82	0,20	0,65	98,96
	relief N du Saut	74,20	13,65	1,79	0,50	0,50	4,07	4,76		0,81	100,31
	du Jallas	72	12,40	3,72	0,07	0,10	0,99	3,77	0,25	0,64	98,81
	Leyden 5	74,86	13,95	1,29	0,03	0,35	0,99	3,88	0,18	0,68	99,96
<i>Pindo centre</i> Leyden 6	71,8	15,69	1,7	0,03	0,34	0,51	3,70	4,63	0,13	1,02	99,76
	P 34	73,10	13,30	2,22	0,06	0,24	3,55	4,59	0,24	1,31	98,90
<i>Pindo sud</i> Quilmas	P 6	74,40	1,73	0,05	0,15	0,44	3,62	4,66	0,20	0,81	98,84
	Pte Sud de Carnota P 7	73,40	13,90	1,49	0,03	0,49	3,62	4,71	0,20	0,85	98,84

Localisation et numéro de l'échantillon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Perte au feu P. F.	Total
<i>El Grove-</i> relief des environs	68,8	14,15	4,01	0,06	1,14	1,89	3,48	4,97			
	69	17,30	3,36	0,03	0,99	1,78	2,82	4,60			
<i>Cambados</i> de Villagarcía Mte Curras	69,9	14,75	3,22	0,03	0,94	1,49	3,81	4,85			
	69,6	16,15	1,99	0,02	0,85	2,24	2,99	4,28			
Mte Rabuñade	71,4	15,35	2,49	0,03	0,55	1,64	3,43	4,43			
	74,10	11,70	3,23	0,06	0	0,69	3,88	4,97	0,29	0,50	98,92
reliefs	75,60	11,70	2,48	0,04	0,05	0,79	3,48	3,98	0,24	0,55	98,91
d'El Grove	74,20	11,45	2,49	0,04	0	0,99	3,28	5,17	0,34	0,47	98,83
Mte Loureire	73,20	12,99	2,98	0,07	0	0,84	3,48	5,62	0,39	0,42	99,95
zone basse	70,80	13,90	2,82	0,06	0,74	0,79	3,37	5,30	0,44	0,94	99,16
littoral N	70,90	13,40	2,82	0,05	0,64	1,34	3,42	4,86	0,39	0,81	98,58
El Grove	71,10	14,10	3,77	0,06	0,34	1,29	3,53	5,21	0,39	0,62	100,41
amorce zone basse	71,10	13,90	3,98	0,07	0	1,19	3,53	5,42	0,49	0,51	100,19
S presqu'île El Grove	75	11,90	2,73	0,06	0	0,74	3,28	5,71	0,24	0,64	100,30
W de la presqu'île	71,60	13,40	3,23	0,05	0,10	0,99	3,38	5,57	0,39	0,52	99,23
(96 m)	72,10	13,70	3,48	0,15	0,06	0,99	3,48	5,22	0,39	0,55	100,12
zone basse	71	14,40	3,67	0,07	0,25	0,99	3,52	5,21	0,44	0,75	100,30
NW El Grove	70,70	14,40	3,98	0,07	0,34	1,24	3,68	4,72	0,44	0,54	100,19
	67,70	16	4,20	0,05	0,34	1,23	3,40	5,53	0,54	1,20	99,23

TABLEAU II

MESURES DE POROSITÉ

(Laboratoire de géographie physique de M. P. Birot)

Localisation et numéro de l'échantillon			porosité macropores	porosité micropores	porosité totale	porosité (CRPG)
<i>Caneliñas</i>	sommet	R 8	0,4 %	0,25 %	0,6	0,515
	proximité sommet	G 140			1,6	
	zone littorale	R 4 ⁽¹⁾	0,8	7,3	8,1 ⁽¹⁾	
<i>Pindo</i>	1ère cascade du Jallas (140 m)	P 21	0,1	0,85	1	0,632 0,567
	2ème cascade du Jallas	P 25	0	2,40	2,4	
	relief de 116 m, lisière	P 11	0,9	9,1	10 ⁽²⁾	
	dépression de Carnota	22-60				
	dépression de Carnota	G 141	0,40	3,09	3,49	
	bord S ria de Ezaro	P 2	0,20	2,90	3,10	
	presqu'île de El Pindo (zone basse)	P 2	0,20	3,20	3,40	
flanc du dône de Funte de Castelino (à 110 m)						
<i>El Grove-</i>	E Villanueva				0,283	
<i>Cambados</i>	Mte Curras	C 29	0,05	0,65	0,7	0,880
	S Villanueva					1,202
	zone basse littorale	C 26	0,2	6,2	6,4	0,411
	Mte Rabuñade					0,409
	El Grove, Mte Loureiro	C 2	0,1	1,8	1,9	0,29 0,64
		C 5	0,1	0,5	0,6	
	zone basse, N du Loureiro	C 12	0,9	2,3	3,2	
	S (La Lanzada)					
	El Grove, sommet W					
	R 8	C 8	0,1	0,93	1,03	

⁽¹⁾ diaclases denses.⁽²⁾ fissures exagérées par le prélèvement.

anneau», le centre consistant en un granite à deux micas, assez altérable (secteur de Carnota-Valdebois), le secteur NNE étant fait de granite presque dépourvu de mica, riche en silice. De fait, certains de nos échantillons prélevés avant 1967 ont montré des pourcentages de cristaux de quartz de 41,9 à 43,3 aux abords des chutes du Jallas. Toutefois, les analyses chimiques globales de nos échantillons de 1967 révèlent que les différences ne sont pas systématiques. Quoi qu'il en soit il s'agit donc d'un batholite complexe.

La seconde unité géologique prise en considération est le batholite du granite de Caldas. L'examen de détail du secteur compris entre Caldas de Reyes et la presqu'île de El Grove permet là encore de s'interroger sur les fortes dénivellations qui s'y rencontrent. La presqu'île de El Grove est constituée de deux ensembles élevés, le plus haut culminant à 160 m, le second à 90 m à moins de 1 km des rivages. Au delà vers l'Est, s'étend une baie (Ronjique, Dena) où l'altération du granite est extrêmement poussée — beaucoup d'altérites, argiles kaoliniques abondantes. Le littoral y reste bas, sans falaise nette. Le relief environnant n'est guère accidenté que de quelques bosses isolées, hautes de quelques dizaines de mètres; aussi a-t-on échantillonné sur les contours mêmes de la presqu'île de El Grove, pour les zones basses. Au sud du rio Umia vers le NE, pourtant, reparaissent des reliefs dépassant 100 m pour lesquels des analyses étaient déjà détenues (Mte Curras, Mte Rabuñade). Ainsi dans ce secteur également était-on en droit de se demander si les dénivellations de cette partie du batholite n'étaient pas en relation avec des différenciations lithologiques ou structurales.

II — LES ANALYSES OBTENUES ET LEUR COMMENTAIRE

Il est fait état, dans ce qui suit, de résultats d'analyses obtenues chronologiquement de manière dispersée, afin de disposer de davantage d'éléments. Autrement dit, il a été associé aux études faites sur la récolte de 1967, quelques données établies lors des recherches précédentes. Les précautions prises rendent les comparaisons possibles, d'autant que ce sont les mêmes laboratoires qui ont procédé aux analyses.

Au centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy ont été faites des analyses chimiques, des comptages de minéraux au Point Counter et des mesures de porosité selon la méthode utilisée par ce Laboratoire ⁽⁴⁾. Monsieur le Professeur BIROT, à la Sorbonne, a mené pour nous les mesures de porosité totale (porosimètre à mercure, calcul de micro et macro-porosité) ⁽⁵⁾.

L'interprétation des données rassemblées sur les tableaux I et II est rendue délicate par le nombre insuffisant d'échantillons étudiés — ce qui empêche d'établir des conclusions de manière ferme.

⁽⁴⁾ Qu'il me soit permis de remercier ici encore M. De la Roche, directeur du CRPG, pour la compréhension dont il a fait preuve envers mes recherches, et les analyses qu'il a conduites pour moi. La méthode de calcul de la porosité est décrite in *Rev. Géogr. de l'Est*, 1961, fasc. 3, pp. 223-233.

⁽⁵⁾ Je lui exprime encore ma gratitude, ainsi qu'à Monsieur GUEZ, son assistant de recherche.

En ce qui concerne le granite du Pindo, il semble clair que les différences relevées dans le batholite sont de médiocre ampleur sur le plan des analyses chimiques. Les roches des zones basses sont aussi riches en silice que celles des reliefs élevés. Tout au plus note-t-on davantage d'alumine dans les terrains des secteurs déprimés et un peu moins de calcium. S'agit-il d'une marque d'«usure chimique» ou de lessivage, premier indice de la dégradation qui aboutit à l'érosion différentielle? Il est une autre constatation: elle se lit dans la perte au feu, plus élevée dans les roches des zones basses, ce qui semble devoir aller de pair avec la porosité. De fait, sur les quelques échantillons examinés, on voit des différences assez significatives, en particulier au niveau de la microporosité (N. B.: la porosité mesurée par la méthode du CRPG reflète surtout la macro et meso-porosité des roches; les valeurs obtenues ainsi ne varient guère, et on peut observer que les écarts sont restreints également dans les données concernant les macropores, à partir du porosimètre à mercure). Il y a donc lieu, pour le Pindo, de ne pas négliger dans l'interprétation l'intervention de la densité des micropores.

Ainsi dans ce batholite, la différenciation de la composition chimique demeure, tout compte fait, un facteur explicatif subalterne; la recherche des explications de l'érosion différentielle devra s'orienter vers la comparaison de la taille des grains, de leur arrangement, de leur fissuration intime, d'une part, et vers les effets des différentes formes et styles de diaclasation d'autre part. Et on devra garder à l'esprit l'intervention possible à diverses reprises d'une tectonique active que signalent les zones de broyage, les lignes de fracture, et peut-être le profil en long du Jallas ou la déformation éventuelle de la «rasa» côtière qui s'observe au Nord de Carnota à Quilmas (*).

Le cas du secteur sud de la ria de Arosa, entre El Grove et Villagarcía paraît mieux éclairé par les analyses que nous avons recueillies. On y constate, en premier lieu, une fois de plus, que la teneur en silice n'est pas significative du degré de résistance des roches. Les points les plus élevés, situés au SW de Caldas de Reyes (Mte Curras, Mte Rabuñade) ont des pourcentages de silice inférieurs à 70 % presque toujours, alors que dans tout l'Ouest de l'affleurement, vers El Grove, la silice représente plus de 70 % des composants.

Le premier apport de notre étude est donc de fournir la preuve qu'il existe dans ce vaste affleurement différents aspects du granite «de Caldas». Les roches sont à l'Est plus alumineuses, plus riches en fer, et en MgO que celles de l'Ouest, plus siliceuses et plus potassiques.

Quant à la justification des dénivellations constatées dans le relief, elle peut être en partie appuyée sur les analyses chimiques. Autour du relief du Loureiro fait de roches très siliceuses, les zones basses présentent des terrains appauvris de 2 à 3 % en SiO₂, mais un peu plus calciques et surtout plus alumineux. De même, aux abords du relief le plus occidental de la presqu'île, le taux de silice s'abaisse, au profit

d'Al₂O₃, du fer, et de MgO et des bases (CaO, Na₂O). De sorte que l'on peut supposer que les parties déprimées coïncident avec des roches de nature légèrement plus basique — plus calcique surtout. Est-ce une indication suffisante? Peut-être pas; du moins est-on engagé dans la voie d'une recherche à approfondir sur la nature des plagioclases. On peut observer encore que la perte au feu est également moins accusée dans les roches qui constituent les reliefs que dans celles qui les environnent. Et comme précédemment, on note une microporosité sensiblement différente dans les deux situations topographiques, qui encourage à trouver là un second facteur de comportement différentiel des terrains vis-à-vis de l'érosion.

Ainsi, cette recherche, pour incomplète qu'elle soit, apporte quelques éléments d'interprétation utiles. Elle engage à s'orienter vers des travaux complémentaires dans la même voie, pour appuyer davantage ces premières notations, et dans des voies non abordées ici: nous pensons particulièrement à l'examen de la fissuration des quartz, la détermination de la nature des plagioclases, à l'étude du comportement d'échantillons à l'aspersion ou à l'immersion par l'eau de mer; en tout état de cause, également à des mesures systématiques d'écartement des diaclases.

De tels travaux pourraient concerner d'autres secteurs granitiques, placés en position littorale, pour bénéficier de l'avantage qui est ainsi offert à la collecte des échantillons frais.

H. NONN

(*) Voir thèse H. NONN, pp. 179-184 et pp. 343-345.