

Physio-Géo

Géographie, physique, et environnement

Volume 3 | 2009 :
Varia

Un littoral sableux en progradation : le lido entre Leucate et Port-la-Nouvelle (Aude, Golfe du Lion, France)

JEAN-PIERRE LARUE, MOSTAFA BOUABDALLAH ET ROBERT ÉTIENNE

p. 151-173

Résumés

L'étude multichronique de photographies aériennes révèle que le lido entre Leucate et Port-la-Nouvelle (Aude) a progradé d'environ 15 % en largeur, entre 1952 et 2008. L'analyse sédimentologique permet de montrer que cette progradation exceptionnelle en période d'élévation du niveau marin est due à la présence de barres pré-littorales volumineuses et bien alimentées par la dérive littorale et le transport éolien effectué par les vents de terre. Cependant, du fait de la montée actuelle du niveau marin (2,5 à 3 mm/an) et malgré la poursuite de l'accrétion, le lido subit des inondations de plus en plus fréquentes entre le cordon actuel et l'ancien cordon romain.

A kinematic study of vertical aerial photos taken between 1952 and 2008 reveals that the Leucate-Port-la-Nouvelle lido (Aude) has prograded of about 15 % in width. A sedimentological analysis allows us to explain this accretion caused by drift and wind which supply abundant nearshore bars. In spite of this progradation, frequent floodings, favoured by sea level rise (2.5 to 3 mm⁻¹.year), occur between the present coastal bar and the Roman barrier.

Entrées d'index

Index de mots-clés : sédimentologie, lido, accrétion, dynamique littorale, Golfe du Lion

Index by keywords : sedimentology, lido, accretion, shoreline dynamics, Gulf of Lions

Texte intégral

I - Introduction

- ¹ Dans un contexte de montée récente du niveau marin (A. CAZENAVE *et al.*, 2008), l'accrétion des littoraux sableux est un phénomène plutôt rare dans le monde : selon E.C. BIRD et M.L. SCHWARTZ (1985), 70 % du linéaire côtier recule, 20 % est en relative stabilité et seulement 10 % est en accrétion. Pour le Golfe du Lion, une comparaison des traits de côte entre 1945 et 1996, effectuée pour le Service maritime et de navigation du

Languedoc-Roussillon, révèle une grande mobilité des côtes sableuses. Le continent a perdu 552 ha et gagné 292 ha, ce qui se traduit par une érosion nette de 260 ha en 50 ans (D. FRAYSSINET, 2000). Mais de fortes différences spatiales apparaissent : le recul est important aux deux extrémités, à l'est du cap d'Agde et au sud de l'embouchure du Tech, alors que dans la partie centrale dominant l'accrétion ou la stabilité. Le secteur étudié, entre Port-la-Nouvelle au nord et le plateau de Leucate au sud, se situe dans cette dernière partie.

- 2 Le but de cet article est d'analyser les processus morphodynamiques, de montrer et d'expliquer les étapes de l'accrétion. Pour cela, nous avons réalisé une étude multichronique de photographies aériennes et effectué l'analyse sédimentologique des sables du lido et des matériaux détritiques susceptibles d'alimenter ce dernier.

II - Cadre de l'étude

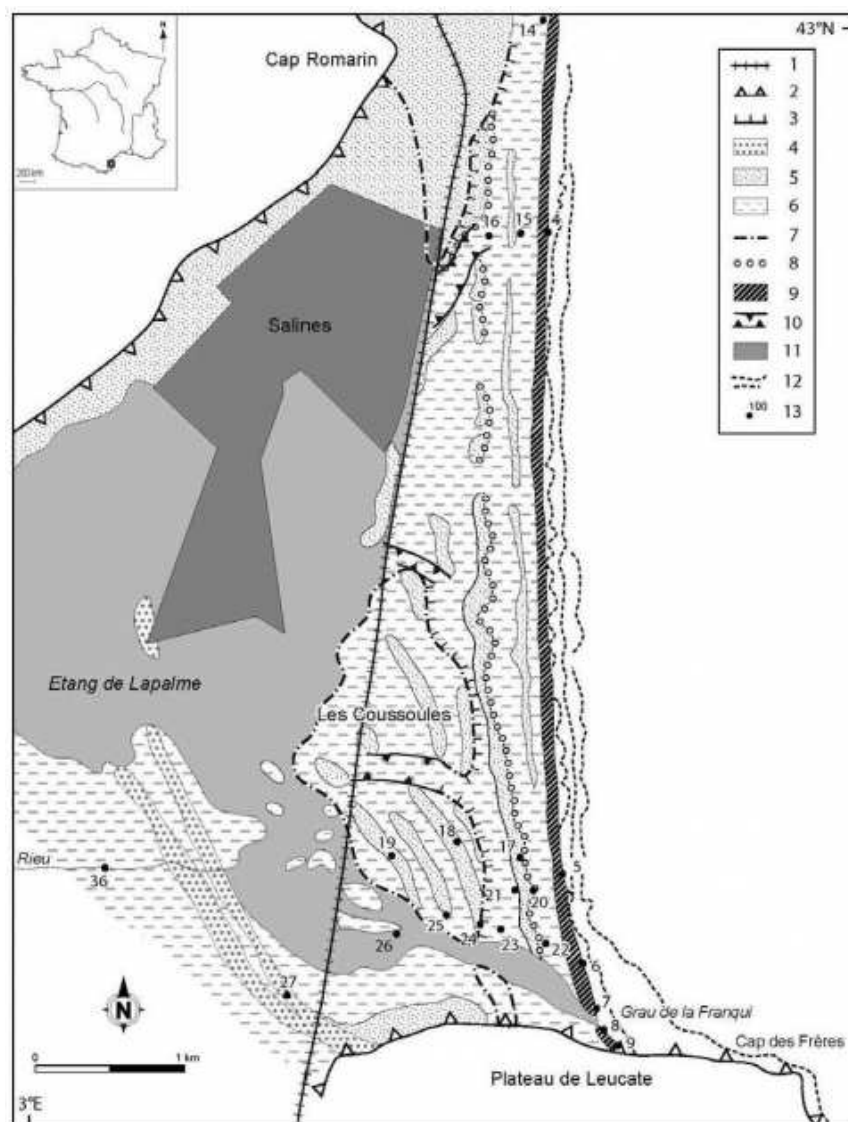
- 3 Entre Port-la-Nouvelle et le plateau de Leucate, le littoral sableux, rectiligne sur 9 km, comprend plusieurs unités de la mer vers l'intérieur (Photo 1, Fig. 1). L'avant-côte présente une pente faible (0,75 %) et comprend trois barres pré-littorales modelées dans l'USU (upper sand unit, unité supérieure de sable mobile), limitée à la base par des *beach-rocks* datés de 6000 à 1700 BP en d'autres parties du Golfe du Lion et entrant en contact avec les sédiments vaseux vers 30 m de profondeur (J.P. BARUSSEAU et B. SAINT-GUILY, 1981 ; R. CERTAIN *et al.*, 2005 ; B. FERRÉ *et al.*, 2005). Cela donne un caractère dissipatif très prononcé (J.P. BARUSSEAU *et al.*, 1991). Le cordon littoral actuel, ici peu élevé (50 à 100 m de largeur et 1 à 1,50 m de hauteur), isole de la mer une étendue plane, inondée fréquemment soit par l'eau de mer en cas de vent marin, soit par le débordement de la lagune de Lapalme par vent de terre, la tramontane. Des dunes peu élevées et des restes d'anciens cordons littoraux accidentent cette zone plane tapissée d'une fine couche de vase grise et de sel. Face à la mer, le cordon présente une pente forte façonnée par les processus liés au jet de rive et à la nappe de retrait. À l'arrière, l'île des Coussoules, formée de plusieurs cordons couronnés de dunes fixées dont la flore est très riche en espèces rares (comme la lavande de mer et le caucalis maritime), est séparée de cette zone par une falaise sableuse de 2 m de hauteur qui peut être atteinte par la mer lors de tempêtes exceptionnelles. La lagune de Lapalme, qui a été exploitée en marais salants dans sa partie nord-est jusqu'en 2005, sépare l'île des Coussoules du plateau de Leucate et communique avec la mer par le grau temporaire de La Franqui. Au nord, le cap Romarin est une falaise morte qui a conservé une encoche marine pléistocène, correspondant sans doute au dernier haut niveau marin interglaciaire (J.C. ALOÏSI *et al.*, 1978 ; J. LABOREL *et al.*, 1998).

Photo 1 - Vue du plateau de Leucate en direction de Port-la-Nouvelle, le lido et le grau de La Franqui. [cliché : J.P. LARUE, le 19 avril 2006]



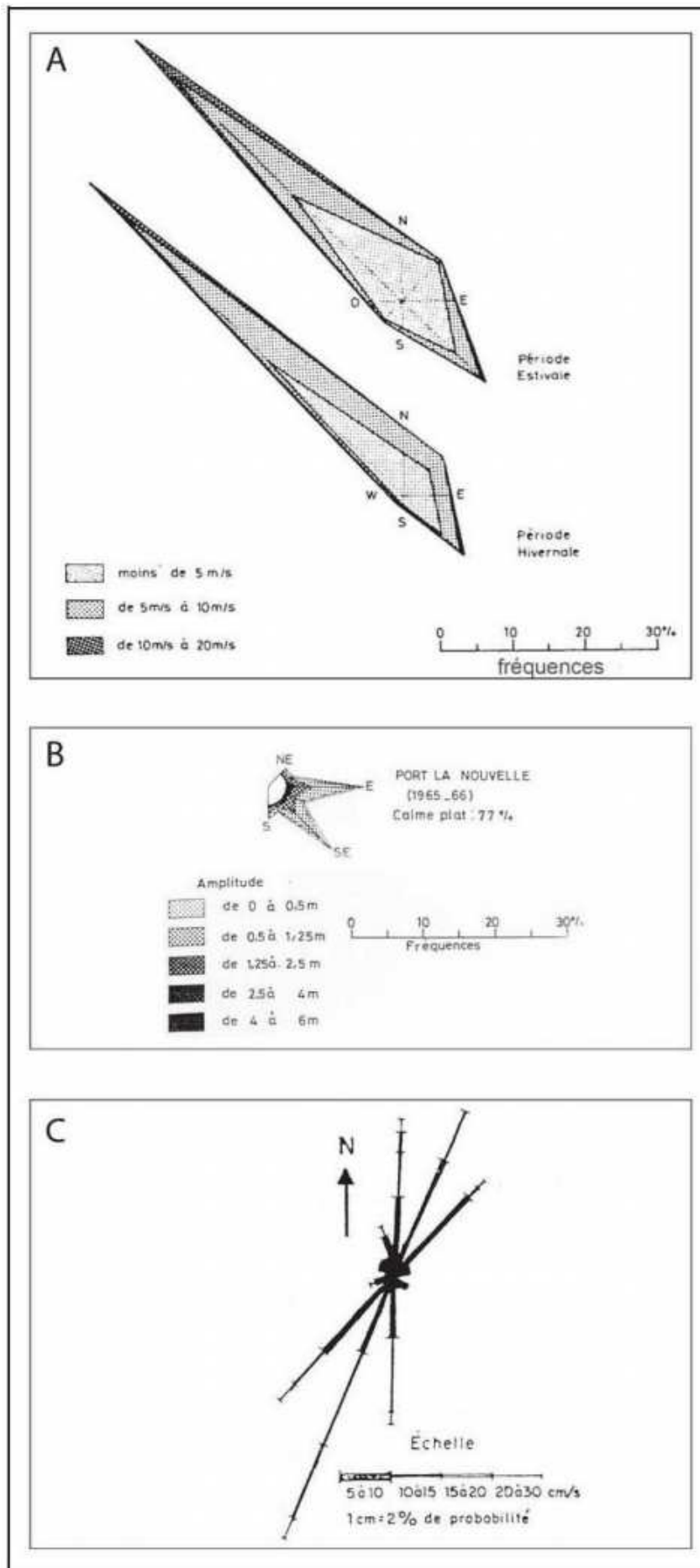
1 : voie ferrée. 2 : falaise morte. 3 : falaise vive. 4 : cordon de galets. 5 : cordons sableux et dunes. 6 : argile sableuse grise et croûte salée. 7 : cordon romain des Coussoules. 8 : rivage aux XVIIème et XVIIIème siècles. 9 : cordon actuel. 10 : ancien grau. 11 : lagunes et salines de Lapalme. 12 : barres d'avant-côte. 13 : échantillon.

Figure 1 - Carte de localisation (d'après M. GUY, 1987, G.M. BERGER et al.,1997, et travail de terrain). [Réalisation : J.P. LARUE]



4 Les conditions hydrodynamiques auxquelles est soumis le littoral ont été dégagées par P. DURAND (1999) à partir du traitement de séries statistiques sur les vents et les houles durant cinquante ans (1949 à 1998). Le régime de houle et de dérive littorale est lié à l'antagonisme entre vents de terre dominants (tramontane et mistral) et vents marins (Fig. 2).

Figure 2 - Vents (A), houles (B) et courants (C) à Port-la-Nouvelle (d'après P.M. CLIQUE et al., 1984).

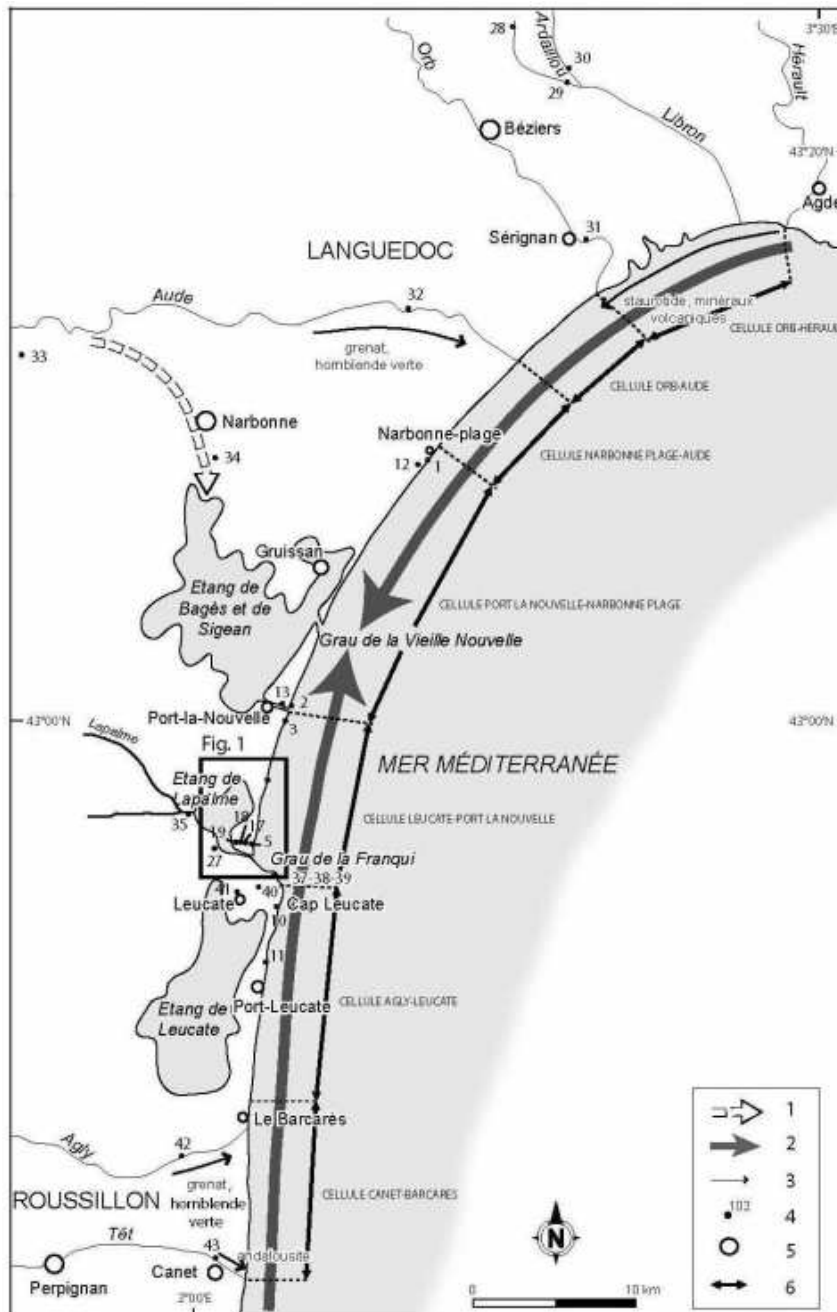


5 La houle engendrée par les vents de terre est la plus fréquente, mais ce n'est pas la plus

efficace en raison de son fetch limité. La houle créée par les vents marins, essentiellement de SE, est beaucoup plus agressive, car son fetch est plus long. Elle accompagne toutes les tempêtes qui affectent le littoral. L'hiver, les vagues sont constructives (les tempêtes apportent des sédiments provenant de l'avant-plage), alors que l'été, l'érosion favorisée par les vents de terre souvent violents l'emporte, contrairement à ce qui se passe en général ailleurs (P. DURAND, 1999).

- 6 La houle a le plus souvent des hauteurs moyennes inférieures à 2 m, un tiers des valeurs étant inférieures ou égales à 1 m, principalement en juillet et août, période estivale calme (P.M. CLIQUE *et al.*, 1984). Les épisodes où la houle est supérieure à 4 m sont rares et ont lieu entre septembre et mars. En décembre 1997, un pic exceptionnel a atteint presque 7 m. On note aussi une extrême variabilité interannuelle avec, par exemple, des années plus calmes (1990, 1993) et des années où les tempêtes ont été plus fréquentes (1994, 1997, 1999, 2003). Les fortes houles mettent en suspension les sédiments fins de la plateforme : ainsi la tempête du 12 novembre 1999, qui a généré une houle de 7 m, avec une période de 10 s, a-t-elle remanié les dépôts jusqu'à 34 m de profondeur, soit au delà du contact entre les sédiments sableux et les sédiments vaseux, situé à environ 30 m de profondeur (C.F. JAGO et J.P. BARUSSEAU, 1981 ; B. FERRÉ *et al.*, 2005). Cette tempête a aussi provoqué la submersion du front de mer à La Franqui et l'échouage d'un cargo sur le lido au sud de Port-la-Nouvelle.
- 7 Les transferts longitudinaux, effectués par les dérives littorales qui en résultent, s'organisent depuis le littoral roussillonnais et le littoral languedocien (entre le Cap d'Agde et Saint-Pierre) en direction des rivages du Narbonnais, avec une convergence des deux dérives littorales aux environs du grau de Vieille-Nouvelle (Fig. 3).

Figure 3 - Cellules sédimentaires, dérives littorales et flux de minéraux lourds. [Réalisation : J.P. LARUE]



1 : ancien cours de l'Aude. 2 : dérive littorale. 3 : minéraux lourds dominants. 4 : échantillon analysé. 5 : localité. 6 : cellule sédimentaire (d'après R. CERTAIN *et al.*, 2005).

III - Méthodes

8 Pour comparer des photographies aériennes prises à des dates différentes, la définition d'une ligne de référence du trait de côte est un problème essentiel (M. CROWELL *et al.*, 1991 ; P. DURAND, 1998 ; M. BOUABDALLAH et J.P. LARUE, 2009). Vu le faible marnage (30 cm), nous considérons ici que le trait de côte est le contact visible entre le plan d'eau et le sable. La carte topographique de référence est la carte IGN (Institut Géographique National) de Durban-Corbières-Leucate, au 1/25000. Les six photographies aériennes IGN utilisées dont l'échelle varie entre 1/30000 et 1/32000 (1974, 1999 et 2008) et la carte topographique ont été numérisées. Le traitement des documents a été effectué par informatique. La correction et le géo-référencement des photographies ont été réalisés grâce aux logiciels ERDAS imagine et Arc GIS 9.1. Les marges d'erreur liées à la précision des documents et au processus de correction des photographies sont évaluées à ± 6 m pour la variation du trait de côte entre deux

photographies (M. BOUABDALLAH et J.P. LARUE, 2009).

- 9 Des analyses sédimentologiques ont été effectuées sur les sables littoraux des Coussoules, afin de caractériser les différents cordons successifs, mais aussi sur les sédiments-sources qui ont pu les alimenter, à savoir les alluvions des principaux cours d'eau et les formations du plateau de Leucate attaquées par la mer. Les 43 échantillons sableux localisés sur les figures 1 et 3 et présentés dans le tableau I ont subi une analyse granulométrique et la détermination de leurs minéraux lourds dans le but de déterminer les processus de mise en place, l'origine des matériaux et le sens des transits dus aux mouvements de la mer, principalement les dérives littorales. Le granulomètre laser Coulter LS 230 du Laboratoire de Géographie Physique Pierre BIROT à Meudon permet de classer les particules comprises entre 0,375 µm et 2000 µm, ce qui couvre la totalité des fractions sableuses, limoneuses et argileuses (S.J. BLOTT *et al.*, 2004). La médiane des sables qui traduit bien le sens de la résultante des dérives littorales, les quartiles et les indices de classement et d'asymétrie sont donnés dans le tableau II. Pour des raisons de simplicité, on a utilisé les indices de P.D. TRASK (1932).

Tableau I - Localisation et lithostratigraphie des échantillons prélevés.

	N° éch.	Lieu-dit	Carte 1/50 000	Coordonnées Lambert (zone III)	Altitude (m)	Prélèvement	Lithologie et âge
Cordon actuel	1	Narbonne-plage	Narbonne	667,5-95,4	0,5	limite jet de rive	plage
	2	Port-la-Nouvelle	Leucate	659,3-80,2	0,5	limite jet de rive	plage N jetée
	3	Port-la-Nouvelle	Leucate	659,3-79,9	0,5	limite jet de rive	plage S jetée
	4	E des salines *	Leucate	658,2-76,2	0,5	limite jet de rive	sable cordon actuel
	5	Les Coussoules	Leucate	657,3-71,3	0,5	limite jet de rive	sables cordon actuel
	6	La Franqui-plage	Leucate	657,4-71,2	0,5	limite jet de rive	sable cordon actuel
	7	La Franqui-plage	Leucate	657,4-70,9	0,5	limite jet de rive	sable cordon actuel
	8	La Franqui-plage	Leucate	657,4-70,7	0,5	limite jet de rive	sable cordon actuel
	9	La Franqui-plage	Leucate	657,4-70,5	0,5	limite jet de rive	sable cordon actuel
	10	Leucate-plage	Leucate	658,8-68	0,5	limite jet de rive	plage
	11	N de Port-Leucate	Leucate	658,3-64,5	0,5	limite jet de rive	plage naturiste
Cordons anciens	12	Narbonne-plage	Narbonne	666,5-95,3	3	0,1 m prof.	sables cordon littoral ancien
	13	Port-la-Nouvelle	Leucate	659,3-80,2	3	0,1 m prof.	sables cordon littoral ancien
	14	Port-la-Nouvelle	Leucate	658,8-78,8	1	en surface	sable éolien
	15	E des salines *	Leucate	657,9-76,2	3	0,10 m prof.	sables cordon littoral ancien
	16	E des salines *	Leucate	657,7-76,2	3	0,20 m prof.	sables cordon littoral ancien
	17	Les Coussoules	Leucate	656,8-71,7	2	1 m prof.	sables cordon littoral ancien
	18	Les Coussoules	Leucate	656,7-72	2	1 m prof.	sables dunaires
	19	Les Coussoules	Leucate	656,1-71,8	2	1 m prof.	sables dunaires
	20	La Franqui-plage	Leucate	657,4-71,5	2	0,10 m prof.	sables cordon littoral ancien
	21	La Franqui-plage	Leucate	657,2-71,5	1	0,10 m prof.	sables cordon littoral ancien
	22	La Franqui-plage	Leucate	657,1-71,2	2	0,20 m prof.	sables cordon littoral ancien
	23	La Franqui-plage	Leucate	656,9-71,2	2	0,20 m prof.	sables cordon littoral ancien
	24	Les Coussoules	Leucate	656,7-71,2	2	1m prof.	sables cordon littoral ancien
	25	Les Coussoules	Leucate	656,6-71,2	2	0,10 m prof.	sables dunaires
	26	La Franqui	Leucate	656-71,5	0	lagune	sables lagunaires actuels
	27	La Franqui gare	Leucate	655,5-70,5	3	1,5 m prof.	sables cordon caillouteux
Orb et Libron	28	O de Lieuran	St Chinian	672,8-124,6	60	lit mineur	alluvions actuelles du Libron
	29	E Boujan-sur-Libron	Agde	676,2-119,4	30	lit mineur	alluvions actuelles du Libron
	30	E Boujan-sur-Libron	Agde	676,8-119,8	32	lit mineur	alluvions actuelles de l'Arduillou
	31	Sérignan	Agde	677-109,8	4	lit mineur	alluvions actuelles de l'Orb
Aude	32	Pont de Fleury	Béziers	666,3-105,4	6	lit mineur	alluvions actuelles de l'Aude
	33	N de Villedaigne	Lézignan-Cubières	642,8-103	25	2 m prof	alluvions anciennes de l'Aude
	34	Lunes	Narbonne	655-95,7	7	1 m prof.	alluvions anciennes de l'Aude
BV de l'étang de Lapalme	35	La Franqui	Leucate	654,5-71,7	3	lit mineur	alluvions actuelles du Rieu
	36	Lapalme	Leucate	653,5-73,6	1	lit mineur	alluvions actuelles du Lapalme
Formations du Cap Leucate	37	Cap des Frères	Leucate	658,7-70	60	1 m prof.	sables ocre sommitaux
	38	Cap des Frères	Leucate	658,7-70	60	5 m prof.	matrice brèche sous-jacente
	39	Cap des Frères	Leucate	658,7-70	60	10 m prof.	limon plaqué contre la falaise
	40	N de Leucate	Leucate	657-69,2	50	1 m prof.	sables ocre
	41	NNO de Leucate	Leucate	655,6-69,5	10	1 m prof.	grave (Miocène)
Agly	42	S de Saint-Laurent-de-la-Salanque	Perpignan	684-118,2	2	1,5 m prof.	alluvions actuelles de l'Agly
Têt	43	N de Canet	Perpignan	677,2-117,7	2	1,5 m prof.	alluvions actuelles de la Têt

BV : bassin versant. * : salines de Lapalme. prof. : indication d'une profondeur de prélèvement.

Tableau II - Caractéristiques granulométriques des sables littoraux.

	N° échantillon	Q3 (µm)	Q1 (µm)	Médiane (µm)	Moyenne (µm)	Mode (µm)	< 50 µm (%)	So (TRASK)	As (TRASK)
Cordon actuel	1	300	220	250			0,1	1,17	1,06
	4	505	347	420	416	429	0	1,21	0,99
	6	846	465	632	601	684	0,012	1,35	0,98
	7	631	413	511	490	517	0,008	1,24	1,0
	8	545	360	445	417	471	0,014	1,23	0,99
Cordons anciens	9	499	326	409	378	421	0,017	1,24	0,97
	14	415	230	323			3,6	1,33	0,90
	15	431	199	295	262	295	0,27	1,47	0,99
	16	357	69	197	125	223	1,16	2,27	0,63
	20	475	320	404			5,1	1,22	0,94
	21	475	300	396			2,6	1,25	0,93
	22	989	435	626	613	517	0,037	1,51	1,1
	23	634	79	396	189	517	0,84	2,83	0,32
	24	423	234	316	291	324	0,12	1,34	0,99
	26	500	300	370			1,8	1,29	1,10
	27	1800	700	1100			0,4	1,6	1,04

Q3 : troisième quartile. Q1 : premier quartile. < 50 µm : limons et argile. So : indice de classement de TRASK [= (Q3 / Q1)^{0,5}]. As : indice d'asymétrie de TRASK [= (Q1 × Q3) / Médiane²]. La moyenne arithmétique de la distribution et le mode (taille la plus représentée dans la courbe de fréquence) sont directement calculés par le logiciel du granulomètre Coulter (selon FOLK et WARD), mais les données sont manquantes pour les analyses les plus anciennes. Valeurs surlignées en jaune : sables mal classés.

- 10 Concentrés selon la méthode densimétrique de séparation au bromoforme (S. DUPLAIX, 1958 ; A. PARFENOFF *et al.*, 1970), les minéraux lourds des sables du lido actuel, des cordons anciens et des matériaux sources (alluvions des principaux cours d'eau et formations du Cap Leucate) ont été déterminés au microscope optique. Les pourcentages de minéraux transparents (Tab. III, IV et V) ont été calculés à partir de l'analyse d'environ 200 grains. Puis les résultats chiffrés ont été soumis à l'analyse factorielle des correspondances, afin de réaliser une discrimination objective des échantillons. En ne retenant que les minéraux les plus représentés, la figure 4 permet de mieux visualiser les variations spatio-temporelles de leurs teneurs. La composition en minéraux lourds donne des indications sur les sources des sables littoraux et révèle les secteurs en accrétion et ceux en recul. En effet, les secteurs en érosion enregistrent une concentration en minéraux lourds de fortes densités, alors que les zones d'accrétion comportent surtout des minéraux moins denses (O.E. FRIHY *et al.*, 1995). La densité moyenne des minéraux lourds étudiés figure sur le tableau VI.

Tableau III - Composition en minéraux lourds (%) des sables déposés par le jet de rive (juillet 2008) de Narbonne-Plage (1) à Port-Leucate (11). [Déterminations :R. ÉTIENNE]

Échantillon	Zircon	Tourmaline	Barytine	Topaze	Corindon	Momazite	Grenat	Andalousite	Sillimanite	Staurolite	Disthène	Épidote	Hornblende verte	Tremolite	Anthophyllite	ML volcaniques	Densité > 4 (% des minéraux)
1	1	4	7	4	0	0	16	1	0	20	0	4	7	0	0	35	24
2	2,5	5	6	13	1,5	0,5	9	4	2,5	6,5	0	2,5	33	0	0	16	20
3	1	5	12	10	2	0	16	6	4	5	3	6	12	0	0	10	32
4	0	2,9	4,4	2,9	0	0	36,8	21	4,4	4,4	1,5	4,4	13	2,9	0	1,5	41
5	0	0	14	0	2	0	53	3	4	0	0	3	14	0	0	2,5	69
6	2	3	0	0	0	0	48,5	17	4	7,9	1	5,9	7,9	1	0	2	51
7	0	7,5	0	12	0	0	44,1	18	0	4,3	0	1,1	9,7	1,1	0	2,2	44
8	0	5,3	0	0	0	0	28,1	21	0	0	1,8	5,3	28	7	1,8	1,8	28
9	0	0,7	0	6	0	0	67,2	12	0	3	0	6	3,7	0	0	1,4	67
10	0	0	5,5	0	0	5,5	22	50	5,5	0	0	0	0	0	0	0	33
11	1,5	0	9	8	0	1,5	38	8	1,5	11	2,5	4	13	0	0	3	50

ML : minéraux lourds. Valeurs surlignées en jaune : minéraux indicateurs fortement représentés.

Tableau IV - Composition en minéraux lourds des sables des anciens cordons littoraux. [Déterminations :R. ÉTIENNE]

Échantillon	Zircon	Tourmaline	Barytine	Topaze	Corindon	Monazite	Grenat	Andalousite	Sillimanite	Staurotide	Disthène	Épidote	Homblende verte	Trémolite	Anthophyllite	Chondrodite	N.L. volcaniques	Densité > 4 (% des minéraux)
12	2	8,5	7,5	1,5	1,5	0	12	2	0,5	13	0	6	26	0	0	0	21	23
13	2	2	11	7	3,5	0	11	3,5	0	5,5	2	5,5	27	0	0	0	20	28
15	0	6,1	9,8	0	1,2	0	23	35	0	1,2	0	1,2	15	6,1	1,2	0	0	34
16	0	4,1	5,4	4,1	0	2,7	43	22	2,7	2,7	0	4,1	5,4	4,1	0	0	0	51
17	3	7	10	0	2	0	28	13	0	4	0	0	28	0	0	0	5	43
18	0	0	9	0	0	0	62	3	0	0	0	0	14	0	0	0	5	71
19	5	8	18	0	0	0	10	30	1	5	0	2	6	0	0	0	6	33
20	0	1	6	6	0	0	50	12	3	1	0	0	6	0	7	0	1	37
21	0	3,5	17	7	1	0	31	13	1	0	0	0	7	0	14	0	3,5	50
22	3,3	4,4	2,2	5,6	0	0	34	23	3,3	6,7	0	2,2	13	0	0	0	1,1	40
23	0	4,2	4,2	3,2	2,1	1,1	34	24	4,2	4,2	1,1	0	9,5	6,3	0	1,1	1,1	41
24	0	4,4	5,9	7,4	1,5	0	22	29	1,5	5,9	0	1,5	10	8,8	0	0	1,5	30
25	0	7,3	0	2,1	1	0	28	26	0	3,1	0	1	19	10	0	0	2,1	29
27	21	5	2	6	2	0	37	5	1	2	2	2	2	0	0	0	10	63

Tableau V - Sources des minéraux lourds des sables littoraux.

Sources de minéraux lourds	Échantillon	Zircon	Tourmaline	Barytine	Topaze	Rutile	Grenat	Spinnelle	Corindon	Andalousite	Sillimanite	Staurotide	Disthène	Épidote	Homblende verte	Enstatite-bronzite	Hyperssthène	Augite	Olivine	Homblende brune	Sphène
Orb et Libron	28	0	15,5	6	0	0	8	0	0	2,5	0	58	0	5	0	0	0	2,5	1	0	0
	29	2	10	2	3	0	4	0	0	3	0	51,5	0	0	0	0	0	16	6,5	0	1
	30	0	11	2	0,5	0	3	0	0	3,5	0	73	0	0	0	0	0	5	1	0	0
	31	0	3	9	0	0	13	0	0	2	0	37	0	0	0	1	0	5	29	1	0
Aude	32	0,5	4,5	3	3	0	35	0	2,5	4,5	2,5	0,5	0	0	36	0	0	0,5	0	2,5	0
	33	9	2,5	3	0	0	54,5	0	0	0	0	1	0	1	29	0	0	0	0	0	0
	34	16,5	4	1	0	0,5	48	0	0	1	0	0,5	0	0,5	23	1	1	2	0	0	0
Bassin versant de l'étang de Lapalme	26	0	12	3	0	0	24	0	0	35	3,5	1	0	0	19	0	0	1	0	0	1
	35	27	13	1	1	1	20	0	1	12	6	1	0	4	6,5	0	0	9	0	0	0
	36	9	9	9	1	0	13	0	0	9	3	1	0	25	4,5	0	0	3	0	0	4,5
Formations du Cap Leucate	37	5	27	5	0	0	37	1	0	18	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	1
	38	14,5	26,5	4	3	0	25	0	1	12	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0
	39	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	42	0	0	0	0	0	0	0
	40	19	6,5	0	0	1,5	52,5	0	0	6,5	9	4	0	1,5	0,5	1,5	0,5	0,5	0	0	0
Agly	41	21	12,5	0	1	1	32,5	0	0	13,5	2	2	0	6,5	2	0	0	0	0	0	0
	42	2	0,5	3,5	0	0,5	78	0	0	0,5	2	1	0	0	1,5	0	0	2	0	5	0
Têt	43	4	5,5	22	0	0	20	0	0	24	3	2	0	1	8,5	0	0	0	0	0	8

IV - Résultats

1) Progradation du littoral et fonctionnement du grau

- 11 La comparaison des photographies aériennes de 1974, 1999 et 2008 révèle une nette progradation du littoral sableux et une migration du grau de La Franqui (Fig. 4). Le trait de côte de 1952 est considéré comme repère et les mesures faites perpendiculairement à ce trait de côte indiquent pour le premier profil une avancée de 99 ± 6 m jusqu'en 1974, de 241 ± 6 m jusqu'en 1999 et de 390 ± 6 m jusqu'en 2008. Le second profil donne une progression un peu moindre : 55 ± 6 m jusqu'en 1974, 208 ± 6 m jusqu'en 1999 et 322 ± 6 m jusqu'en 2008. Depuis 1952, la vitesse de l'accrétion augmente : pour le profil 2, elle est d'environ 2,5 m/an de 1952 à 1974, 6,5 m/an de 1974 à 1999 et 12,6 m/an de 1999 à 2008. La largeur du cordon actuel a ainsi augmenté d'environ 15 % et le grau, qui a migré tantôt vers le nord, comme en 1999, tantôt vers le sud, comme en 2008, n'est plus

ouvert qu'exceptionnellement. Le suivi de son fonctionnement depuis 1998 montre que la durée de son ouverture, principalement hivernale, varie beaucoup d'une année à l'autre (Fig. 5). Resté fermé durant toute la saison froide 2003-2004, le grau a été ouvert artificiellement en mai 2004, puis à nouveau en avril 2007. Des travaux de curage de la partie sud-est de l'étang de Lapalme ont été effectués en septembre 2007 dans le but de favoriser l'ouverture du grau par une meilleure évacuation des eaux de la lagune. Les digues de Port-la-Nouvelle ont constitué un obstacle au transit sud-nord et provoqué une accrétion plus forte au sud qu'au nord ainsi que l'atteste le décrochement actuel du rivage.

Figure 4 - Évolution du trait de côte de 1952 à 2008. [Réalisation : M. BOUABDALLAH, d'après des photographies aériennes]

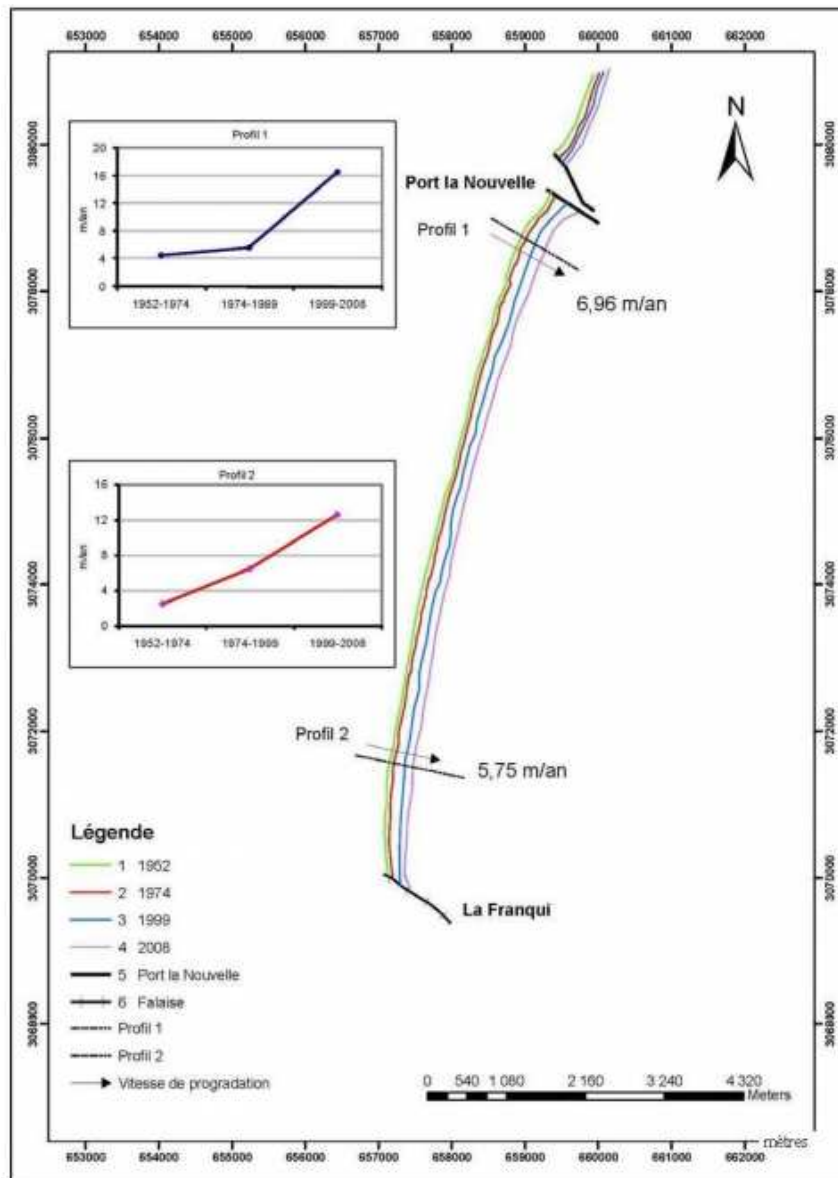
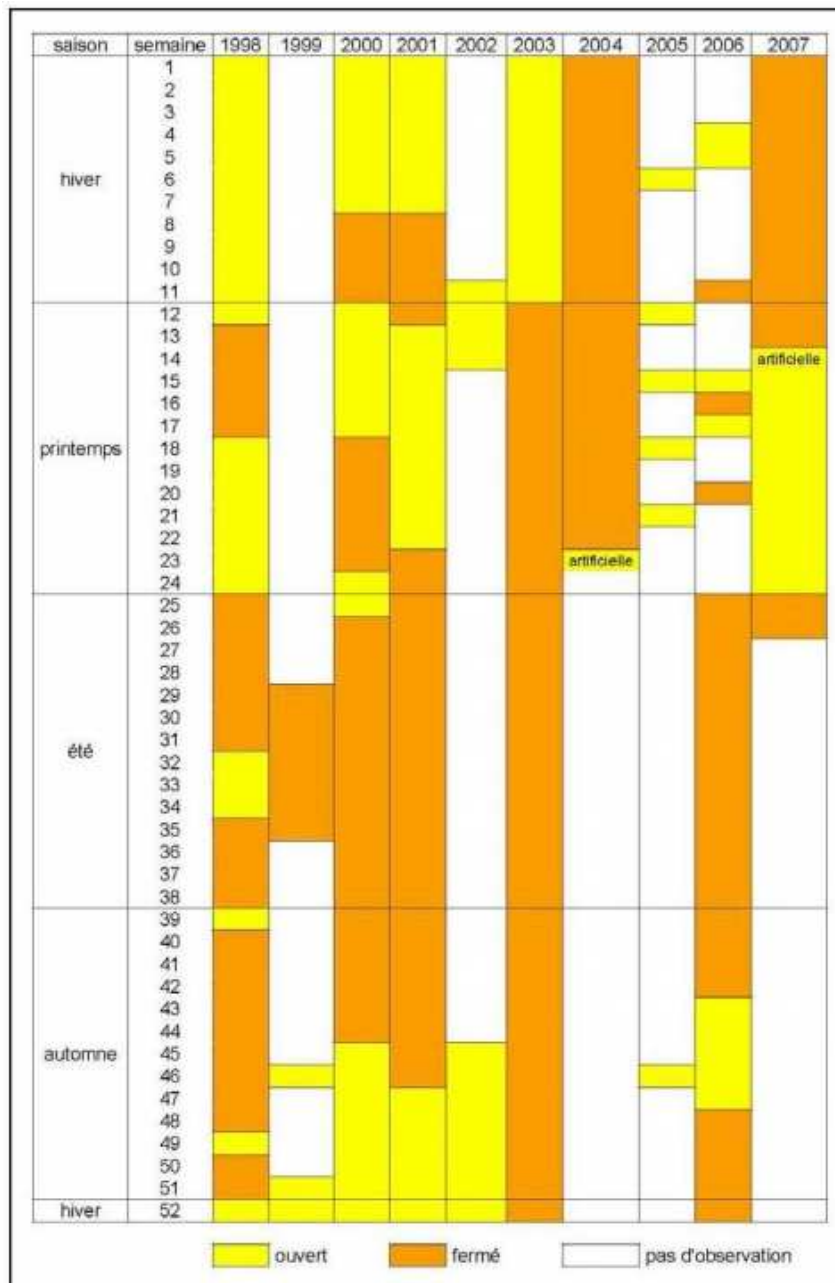


Figure 5 - Suivi du fonctionnement du grau de La Franqui (d'après un dossier technique du Parc Naturel régional de la Narbonnaise – juin 2007 – et des observations personnelles).

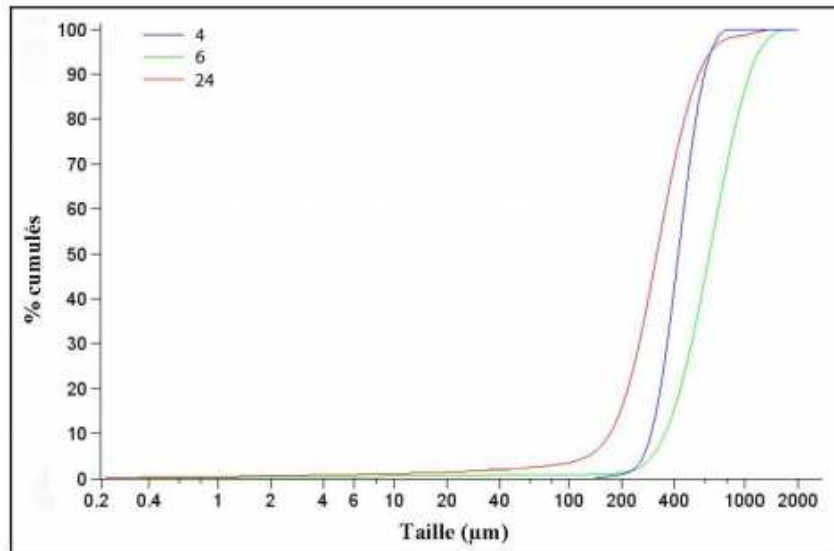


12 Entre 1974 et 2008, on peut aussi noter la forte dégradation du couvert végétal des dunes résiduelles situées entre le cordon du XVIII^{ème} siècle et le rebord de l'île des Coussoules : elle est due au piétinement et aux passages répétés de véhicules.

2) Granulométrie des sables littoraux

13 Le tableau II donne les caractéristiques de sables moyens mis en place par la mer. La taille moyenne diminue globalement du sud vers le nord (Fig. 6), ce qui est en accord avec la résultante vers le nord des dérives littorales. La médiane passe de 632 µm pour l'échantillon 6 (Fig. 1), face aux Coussoules, à 420 µm pour le 4, au droit des salines et 250 µm pour le 1, à Narbonne-Plage. On enregistre toutefois une diminution du nord vers le sud pour la plage de La Franqui : 632 µm en 6 et 409 µm en 9, près de la falaise.

Figure 6 - Courbes granulométriques montrant la diminution de taille des sables littoraux, du sud (échantillon 6) vers le nord (échantillon 4) et du cordon actuel (échantillon 6) vers les cordons plus anciens (échantillon 24). [Analyses : M. BOUABDALLAH]



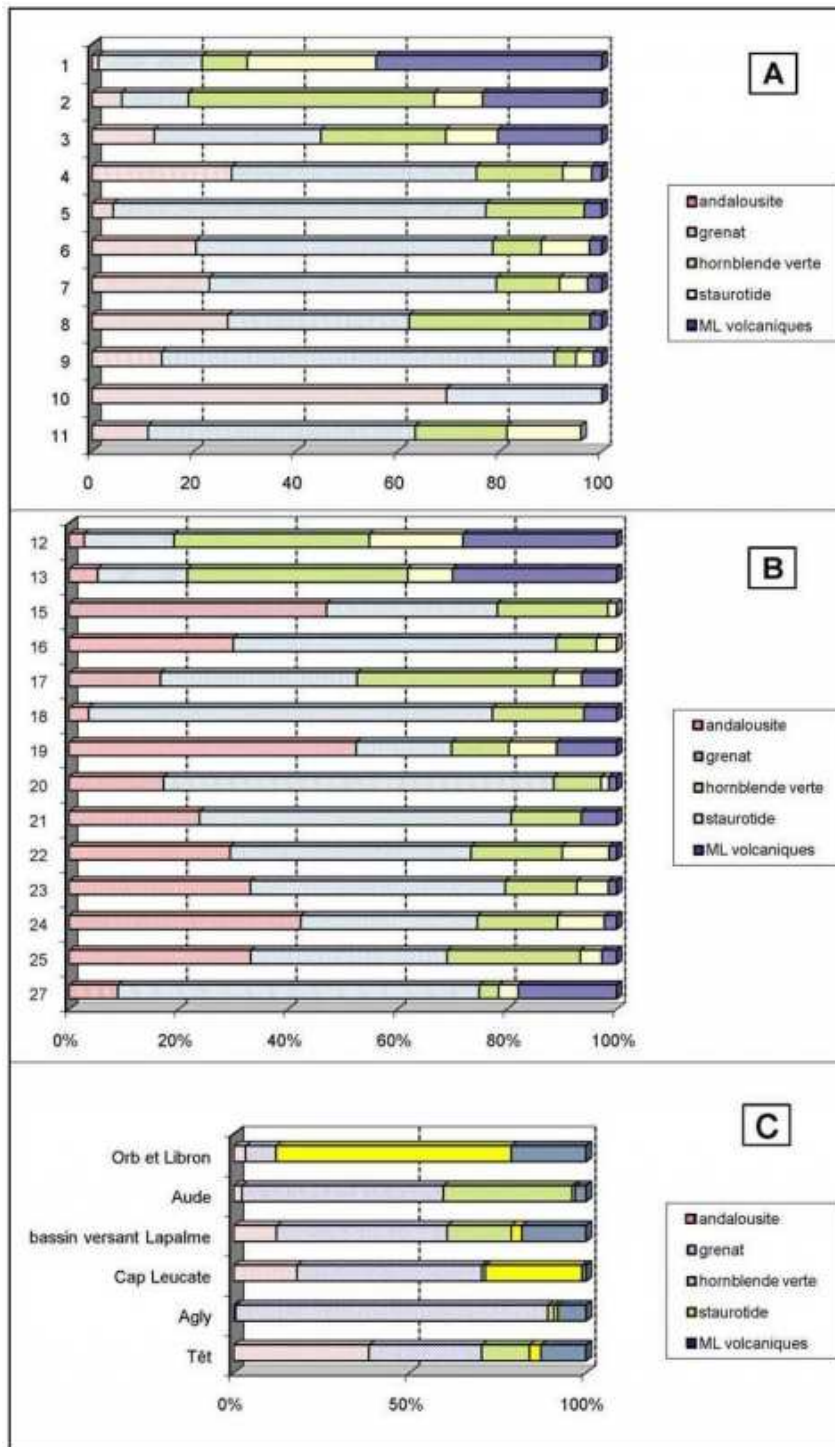
- 14 Sur un même transect, la taille médiane diminue aussi en s'éloignant du trait de côte actuel : 632 μm en 6 et 316 μm en 24, au nord du grau de La Franqui ; 420 μm en 4 et 197 μm en 16, au droit des salines. En revanche, le cordon grossier intérieur (27) atteint une médiane forte de 1100 μm pour la matrice sableuse. La médiane est toujours supérieure à la moyenne. Les matériaux sont bien classés ($S_o < 1,5$), sauf les sables des échantillons 16 et 23 qui renferment aussi un plus fort pourcentage de fractions $< 50 \mu\text{m}$. Les sédiments accumulés dans la partie aval de la lagune de Lapalme sont des sables moyens bien classés (médiane : 370 μm et $S_o : 1,29$ pour l'échantillon 26). Les dépôts éoliens piégés dans les ganivelles de Port-la-Nouvelle (14) apparaissent très bien classés, mais un peu plus fins (médiane : 323 μm).

3) Composition en minéraux lourds

a. Les sources des minéraux lourds

- 15 Elles sont à rechercher dans les apports fluviaux et dans les formations du Cap Leucate attaquées par la mer (Tab. V et Fig. 7-C).

Figure 7 - Variations spatio-temporelles de la composition en minéraux lourds en ne retenant que les espèces les plus fréquentes. A : lido actuel ; B : cordons anciens ; C : sources.



- 16 Comme l'avait remarqué A. MONACO (1971), la composition en minéraux lourds des alluvions actuelles des cours d'eau principaux est assez bien différenciée. Au nord, l'Orb et le Libron fournissent de la staurotide et des minéraux volcaniques (olivine et augite principalement). L'Aude présente un cortège plus diversifié, marqué par la prédominance de la hornblende verte et du grenat ; le corindon ne provient d'ailleurs que de ce fleuve. Lors des crues, les petits affluents de l'étang de Lapalme apportent du grenat, de l'andalousite et un peu de hornblende verte. L'Agly, qui prend sa source au nord du pic de Bugarach, traverse les roches sédimentaires principalement calcaires de la zone nord-pyrénéenne, mais aussi les granites et les gneiss du massif de l'Agly : il fournit à la mer surtout du grenat, un peu de hornblende verte et de l'olivine qui peut provenir des coulées de basalte situées dans le Carbonifère noté *h5b3* sur la carte géologique de Tuchan (G.M. BERGER *et al.*, 1997) et entaillées par un affluent du Verdouble, lui-même affluent de l'Agly. La Têt apporte surtout de l'andalousite provenant des gneiss du massif du Canigou. Le Tech transporte jusqu' à la mer des alluvions plus grossières et plus

pauvres en minéraux lourds, on y trouve de la hornblende verte, de l'andalousite, de la tourmaline et de l'augite (A. MONACO, 1971).

- 17 Les falaises du Cap Leucate peuvent fournir du grenat, de l'andalousite, du zircon, de la tourmaline et de l'épidote, elles sont en revanche pauvres en hornblende verte et en minéraux volcaniques.

b. Le cordon littoral actuel

- 18 Le tableau III montre que les sables du cordon actuel contiennent surtout des minéraux d'origine métamorphique : grenat, andalousite, hornblende verte et staurotide, auxquels s'ajoutent des minéraux d'origine volcanique en proportions variables. Les minéraux ubiquistes : zircon, tourmaline et rutile sont très peu abondants. Du nord au sud, on peut observer la diminution de la staurotide et des minéraux volcaniques et la progression de l'andalousite et du grenat (Fig. 7-A). Les sables déposés par le jet de rive enregistrent un mélange d'apports : l'andalousite et le grenat traduisent une alimentation méridionale par le Tech, la Têt et l'Agly (le Cap Leucate pourrait en fournir, mais l'absence de zircon exclut cette origine), alors que la staurotide et les minéraux volcaniques proviennent des cours d'eau septentrionaux (Aude, Orb et Libron). La hornblende verte, pour sa part, peut résulter aussi bien de l'influence de l'Aude que de celle du Tech, du Têt et de l'Agly. Au total, ce sont les apports méridionaux qui prédominent, ce qui témoigne de la résultante vers le nord de la dérive littorale et confirme les résultats obtenus avec la granulométrie. À Narbonne-plage, le fort pourcentage d'éléments volcaniques et de staurotide (échantillon 1) atteste des apports prépondérants de l'Orb et du Libron.

c. Les anciens cordons littoraux

- 19 Le tableau IV révèle qu'à latitude égale, les cordons anciens se distinguent du cordon actuel par une plus grande richesse en andalousite et en hornblende verte. Sur un même transect, près du grau de La Franqui, on peut aussi noter une augmentation de la hornblende verte et une diminution des minéraux volcaniques du plus ancien à l'actuel. Le corindon, qui est un bon indicateur des apports de l'Aude, voit sa part augmenter avec l'ancienneté des dépôts. Le cordon à galets (échantillon 27) s'individualise par sa richesse en zircon, grenat, sphère et minéraux d'origine volcanique : cette composition témoigne d'apports provenant du Cap Leucate, mais aussi des cours d'eau septentrionaux.
- 20 Le cordon limitant à l'est l'ancienne île des Coussoules a une composition peu différente du lido actuel, avec cependant un peu plus de grenat et d'éléments volcaniques. Le cordon plus ancien (romain selon M. GUY, 1987) situé à l'ouest de l'île des Coussoules comprend de la staurotide et des minéraux d'origine volcanique qui attestent d'apports septentrionaux. Les sables qui ont été remodelés en dunes (Fig. 1, échantillons 18, 19 et 25) indiquent un mélange plus équilibré avec 26 % de grenat, 23 % de hornblende et 13 % d'andalousite, et les minéraux lourds de faible densité deviennent dominants.
- 21 Toutefois les fluctuations du grenat et de l'andalousite (Fig. 7-B) témoignent probablement davantage des conditions de mise en place que de sources différentes. En effet, le grenat, qui a une forte densité (Tab. VI), se concentre dans les secteurs soumis à une forte agitation et à une érosion, alors que l'andalousite, moins dense, domine dans les secteurs où l'accrétion rapide protège les sables du remaniement marin. Globalement, les minéraux lourds de densité < 3,5 dominent sur le lido actuel, ce qui rend compte d'une accrétion rapide. En revanche, les cordons anciens plus riches en minéraux denses (échantillons 18 et 27) ont dû être mis en place dans des conditions plus agitées. Toutefois des différences peuvent localement se manifester, du fait de la variété des conditions morphodynamiques.

Tableau VI - Densité des minéraux lourds analysés.

Minéral	Densité
Monazite	5,27
Zircon	4,5
Rutile	4,4
Barytine	4,4
Brookite	4,1
Corindon	4
Grenat	4
Anatase	3,85
Disthène	3,65
Hypersthène	3,6
Topaze	3,55
Staurotide	3,55
Sphère	3,5
Épidote	3,45
Augite	3,4
Olivine	3,3
Diopside	3,3
Bronzite	3,3
Sillimanite	3,2
Enstatite	3,2
Hornblende	3,2
Andalousite	3,15
Tourmaline	3

Les données surlignées en bleu moyen distinguent les densités égales ou supérieures à 4 et celles surlignées en turquoise clair, les densités entre 3,5 et 4.

V - Interprétations

1) Causes de l'accélération de l'accrétion

a. Des barres pré-littorales bien alimentées

- 22 Contrairement au lido de l'étang de Thau qui démaigrir (J.P. BARUSSEAU *et al.*, 1996), le lido entre Leucate et Port-la-Nouvelle prograde à une vitesse croissante, comme l'a révélé l'analyse multichronique de photographies aériennes entre 1952 et 2008. R. CERTAIN *et al.* (2005) ont montré que la dynamique actuelle du lido était liée au volume de l'USU (unité supérieure de sable mobile, limitée à la base par des *beach-rocks* ou toute autre formation dure créant un substratum) qui inclut les barres pré-littorales : l'accrétion se produit entre l'embouchure de l'Aude et le cap Leucate, là où le volume des barres est important (2000 m³ par mètre linéaire), et le recul se développe de part et d'autre, là où ce volume est réduit (< 200 m³/ml). Dans ce secteur, les profils bathymétriques montrent que la profondeur de fermeture des profils, c'est-à-dire la limite sous-marine à partir de laquelle on n'enregistre plus de variations significatives des profils actuels, est située vers -6 m (O. SAMAT, 2007). Cependant, lors des tempêtes exceptionnelles, comme celles de décembre 1997, novembre 1999 et décembre 2000, la houle qui dépasse 5 m de hauteur a pu mettre en suspension des sédiments jusqu'à 34 m de profondeur, soit près du contact sédiments sableux / sédiments vaseux situé à 30 m de profondeur (B. FERRÉ *et al.*, 2005). Ces sédiments sableux sont ensuite pris en charge et accumulés par la dérive littorale.
- 23 Les festons des barres pré-littorales, bien visibles sur les photographies aériennes, sont expliquées par deux théories : soit celle des ondes de bord, soit celle d'auto-organisation

(B. CASTELLE *et al.*, 2006). R. CERTAIN et J.P. BARUSSEAU (2004) ont montré sur le littoral sétois que l'évolution morphologique des barres sédimentaires peut être synthétisée selon deux modèles conceptuels en réaction à la variabilité météo-marine. Le modèle "oscillation autour d'une position d'équilibre" (O.P.E) traduit le régime ordinaire du comportement des barres, avec des reculs et des avancées successifs. Ponctuellement, cet équilibre dynamique peut être fortement déstabilisé par un ou plusieurs coups de mer d'une vigueur exceptionnelle. On entre alors dans un épisode "*net offshore migration*" (N.O.M) de rapide migration vers le large, puis de dégénérescence et de remplacement de la barre externe. Quelques années après l'événement déclencheur, la disposition standard est restaurée. Dans le secteur étudié, les migrations apparaissent réduites car les barres pré-littorales sont volumineuses et bien alimentées.

- 24 Elles sont approvisionnées par les dérives littorales qui convergent vers le Narbonnais. Les transferts sont particulièrement actifs le long du littoral roussillonnais, bien alimenté par les apports des trois petits fleuves côtiers, notamment par le Tech (18300 m³ d'apports par an au maximum, dont 14000 m³ redistribués vers le nord selon P.M. CLIQUE *et al.*, 1984). La poursuite de ces transferts vers le nord, par delà le cap de Leucate (environ 40000 m³ par an selon P.M. CLIQUE *et al.*, 1984), explique l'accrétion importante enregistrée par la partie méridionale du secteur narbonnais, entre La Franqui et Port-la-Nouvelle. Les apports des cours d'eau méditerranéens sont importants mais très variables dans le temps (P. SERRAT et C. DEPRAETERE, 1997 ; P. SERRAT, 1999 ; W. LUDWIG *et al.*, 2004). Par exemple, au cours de la période 1980-1999, le bassin versant de la Têt a fourni à l'exutoire (module de 10,4 m³/s) un débit solide estimé à 53546 t/an, soit un flux spécifique de 40 t/km²/an environ (P. SERRAT *et al.*, 2001). L'essentiel du transfert des matières en suspension (MES) se produit au cours de crues-éclair, qui surviennent généralement en automne. La variabilité saisonnière se double d'une très grande irrégularité annuelle (rapport de 1 à plus de 100), mais W. LUDWIG *et al.* (2004) montrent que la fréquence et l'intensité des crues augmentent depuis les années 1980 en liaison avec le réchauffement climatique.

b. L'efficacité des vents de terre

- 25 Les vents de NO jouent un grand rôle dans l'alimentation du cordon actuel. Les sables fins enlevés par déflation à l'arrière plage sont transportés vers le SE et bloqués par la falaise du plateau de Leucate. Ils s'accumulent à l'extrémité de la plage de La Franqui et en mer. La déflation explique la vaste surface plane entre le cordon actuel et cordon romain des Coussoules : les cordons intermédiaires ont été arasés jusqu'au niveau des sables restant toujours humides. L'accrétion au sud de la plage de La Franqui est due aux apports éoliens déposés et surtout ramenés par la houle et le jet de rive sur la berme qui présente une granulométrie anormalement fine (Tab. I, échantillons 8 et 9). Ces apports annulent la sous-alimentation de ce secteur provoquée par l'avancée du plateau de Leucate, lequel réfracte la houle et repousse vers le large la dérive littorale dirigée vers le nord. Selon F. SABATIER *et al.* (2004), les mesures *in situ* (pièges et profils) révèlent que la participation des sables transportés par le vent de terre à l'accrétion de la berme est de 45 % en moyenne. Mais cette valeur masque d'importantes variations.

c. Rôle des aménagements

- 26 Les aménagements réalisés sur le lido et dans l'étang de Lapalme ont eu des impacts importants. Les digues de Port-la-Nouvelle ont perturbé les transits sédimentaires des dérives littorales, provoquant une accumulation sableuse plus importante au sud qu'au nord. Le développement des salines et la construction de la ligne de chemin de fer en 1850 ont abouti à la suppression de trois graus sur les quatre reliant la lagune de Lapalme à la mer. Seul celui de La Franqui a été maintenu, grâce à une ouverture de 10 m dans le remblai de la voie ferrée, permettant la circulation des eaux. Dans les années 1980, la mise en place de la route et du pont des Coussoules va ralentir les échanges entre l'étang et la mer, et donc favoriser le développement de bancs de sable qui allongent et freinent encore plus le parcours des eaux. D'après leur granulométrie et leur composition

en minéraux lourds, ces dépôts ont une origine essentiellement marine : ils peuvent provenir d'apports directs par *washovers* (dépôts de tempête) depuis le cordon actif lors des tempêtes ou alors être issus de cordons reliques en partie submergés et détruits. Cet ensablement de la partie sud de la lagune explique que les périodes d'ouverture du grau se soient progressivement réduites, la force des courants devenant insuffisante pour percer le lido et maintenir un chenal ouvert suffisamment longtemps pour permettre un bon renouvellement des eaux de la lagune. Ce blocage sédimentaire est aussi responsable du confinement de la partie nord de l'étang qui subit à partir de 2003 des débuts d'eutrophisation.

2) Des dynamiques différentes au cours du temps

- 27 Les résultats obtenus soulignent des variations spatio-temporelles des sources sédimentaires pour les cordons successifs des Coussoules. L'amenuisement granulométrique des dépôts du cordon actuel vers les cordons plus anciens et la modification de la composition en minéraux lourds suggèrent des changements dans la résultante des dérives littorales. L'augmentation du pourcentage des minéraux d'origine volcanique et du corindon avec l'ancienneté pourrait être expliquée par une plus forte influence de la dérive venant du nord à l'époque romaine et antérieurement, comme lors du haut niveau de l'interglaciaire Riss-Würm. Un changement du régime des vents serait certainement à envisager depuis la période romaine. Depuis le milieu du XX^{ème} siècle, A. ULLMANN et P.A. PIRAZZOLI (2007) et A. ULLMANN (2009) ont montré que la fréquence des vents de sud-est associés à des surcotes exceptionnelles augmentent significativement dans le Golfe du Lion. De plus, l'accroissement de la part des apports provenant des cours d'eau pyrénéens pourrait coïncider avec l'apparition de crises érosives d'origine anthropique. Les défrichements des terroirs pyrénéens à forte pente stimulent l'érosion des sols et les alluvions sableuses parviennent d'autant mieux jusqu'à la mer que l'intensité des crues est en augmentation (W. LUDWIG *et al.*, 2004), alors que les pentes plus faibles dans les bassins des cours d'eau septentrionaux font que l'accumulation s'effectue pour l'essentiel dans les plaines alluviales qui enregistrent d'ailleurs un exhaussement rapide (P. VERDEIL, 1970).
- 28 La formation de la côte à lido, qui résulte d'une régularisation du trait de côte par la houle, apparaît très récente puisque la fermeture complète de la lagune de Leucate plus au sud intervient autour de 2000 BP (R. CERTAIN *et al.*, 2004). La phase de recul généralisée, attestée par la présence d'un système de barres d'avant-côte situé dans le secteur de l'étang de Thau à 400 ± 100 m au large du système actuel vers 2000 ± 100 BP (J.P. BARUSSEAU *et al.*, 1996), ne semble pas s'être produite pour le lido entre Leucate et Port-la-Nouvelle. Ici, les périodes de forte accrétion accompagnant la mise en place des cordons successifs semblent correspondre aux phases de crises érosives bien enregistrées dans les remblaiements de vallées, à savoir celles de Antiquité tardive et du début du Moyen-Âge, du Petit Âge Glaciaire et de la Période actuelle (M. JORDA et M. PROVANSAL, 1996 ; A.T. GROVE, 2001 ; B. DEVILLERS et M. PROVANSAL, 2003). Les cordons sableux se développent rapidement quand les cours d'eau rejettent en mer d'abondants sédiments sableux qui sont ensuite redistribués par la dérive littorale. En Languedoc, malgré une forte anthropisation dès le Néolithique, la véritable déstabilisation des versants n'apparaît qu'au cours de l'Antiquité tardive (B. DEVILLERS et M. PROVANSAL, 2003). En effet, les recherches anthracologiques n'ont révélé qu'un mode d'exploitation des versants peu agressif durant le Néolithique final (L. CHABAL, 1997). Les sables grossiers produits par l'érosion des sols et acheminés à la mer par les cours d'eau pyrénéens ont fourni l'essentiel des matériaux lors de la mise en place des cordons des XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles (M. GUY, 1987) et du cordon actuel.

VI - Conclusion

- 29 L'analyse multichronique de photographies aériennes permet de montrer l'évolution séculaire des lidos si on dispose d'une base de données suffisamment ancienne. Ensuite, l'analyse sédimentologique, principalement la granulométrie et la minéralogie des sables,

fournit des indications sur la morphodynamique littorale et les sources des matériaux. Les résultats obtenus suggèrent que des modifications dans la morphodynamique littorale se sont produites au cours du temps. Pour les cordons des Coussoules, les apports septentrionaux ont été plus importants jusqu'au Moyen-Âge, ensuite les apports méridionaux sont devenus prédominants suite à une résultante vers le nord des dérives littorales et à la déstabilisation des versants pyrénéens par l'anthropisation. Cependant, des prélèvements plus nombreux dans les cordons anciens et des datations absolues seraient utiles pour obtenir une reconstitution plus précise de l'évolution morphodynamique pour cette portion de littoral.

30 Longé par d'importantes barres pré-littorales et soumis à des dérives littorales puissantes ainsi qu'à des vents de terre efficaces, le lido entre Leucate et Port-la-Nouvelle enregistre une progradation qui s'accélère. Mais du fait de la montée actuelle du niveau marin (environ 3 mm/an) et des surcotes temporaires dont la fréquence augmente significativement, et malgré la poursuite de l'accrétion, le lido subit des inondations de plus en plus fréquentes entre le cordon actuel et l'ancien cordon romain (B. ANSELME *et al.*, 2008). Par ailleurs, la fixation des dunes à l'aide de ganivelles, comme cela est réalisé au sud de Port-la-Nouvelle, diminue les transports éoliens de sable, mais risque aussi de supprimer l'alimentation principale de la plage de La Franqui située au SE du lido, et ainsi de ralentir sa progradation ou même de favoriser son recul.

Remerciements : Nous remercions François BÉTARD, cartographe à l'Université Paris 12, pour la mise au net des figures, Raphaël CERTAIN et les quatre relecteurs anonymes pour leurs critiques et suggestions qui ont contribué à l'amélioration du manuscrit.

Bibliographie

ALOÏSI J.C., MONACO A., PLANCHAIS N., THOMMERET J. et THOMMERET Y. (1978) - The Holocene transgression in the Golfe du Lion: paleogeographic and paleobotanical evolution. *Géographie Physique et Quaternaire*, vol. XXXII, n° 2, p. 45-162.

ANSELME B., DURAND P. et GOELDNET-GIANELA L. (2008) - Le risque de submersion dans le système lagunaire de La Palme (Languedoc, France) : nature de l'aléa et perception du risque. *Actes du colloque international "Le littoral : subir, dire, agir"* (Lille, 2008), p. 1-13.

BARUSSEAU J.P. et SAINT-GUILY B. (1981) - Disposition, caractères et formation des barres d'avant-côte festonnées du Golfe du Lion. *Oceanologica Acta*, vol. 4, n° 3, p. 297-304.

BARUSSEAU J.P., BRISSAUD L., DRAPEAU G. et LONG B. (1991) - Processus hydrodynamiques et morphosédimentaires de l'environnement des barres d'avant-côte du littoral du Golfe du Lion. *Oceanologica Acta*, vol. sp. 11 (Actes du colloque international sur l'environnement des mers épicontinentales - Lille), p. 163-176.

BARUSSEAU J.P., AKOUANGO E., BÂ M., DESCAMPS C. et GOLF A. (1996) - Evidence for short term retreat of the barrier shorelines. *Quaternary Science Reviews*, vol. 15, p. 763-771.

BERGER G.M., ALABOUVETTE B., BESSIÈRE G., BILOTTE M., CROCHET B., DUBAR M., MARCHAL J.P., TAMBAREAU Y., VILLATE J. et VIALLARD P. (1997) - Notice explicative de la feuille Tuchan à 1/50000. Édit. BRGM, 113 p.

BIRD E.C. et SCHWARTZ M.L. (1985) - *The world's coastline*. Édit. VAN NOSTRAND, New York, 1072 p.

BLOTT S.J., CROFT D.J., PYE K., SAYE S.E. et WILSON H.E. (2004) - Particle size analysis by laser diffraction. In : *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*, K. PYE et D.J. CROFT édit., Geological Society, Londres, Special Publication, vol. 232, p. 63-73.

BOUABDALLAH M. et LARUE J.P. (2009) - Évolution du littoral de la baie de Saïdia : dynamique naturelle et impacts des aménagements (Maroc oriental). *Physio-Géo, Géographie Physique et Environnement*, vol. 3, p. 21-132.

CASTELLE B., BONNETON P. et BUTEL R. (2006) - Modélisation du festonnage des barres sableuses d'avant-côte : application à la côte aquitaine, France. *C. R. Geoscience*, vol. 338, p. 795-801.

CAZENAVE A., LOMBARD A. et LLOVEL W. (2008) - Present-day sea level rise: a synthesis. *C. R. Geoscience*, vol. 340, p. 761-770.

CERTAIN R. et BARUSSEAU J.P. (2004) - Modélisation conceptuelle de l'évolution morphodynamique des barres sédimentaires d'une plage microtidale (Sète, France). *Actes des VIIIèmes Journées Nationales Génie Civil - Génie Côtier* (Compiègne, 2004), p. 175-183.

CERTAIN R., TESSIER B., COURP T., BARUSSEAU J.P. et PAUC H. (2004) - Reconnaissance par

sismique très haute résolution du remplissage sédimentaire de la lagune de Leucate (Aude et Pyrénées-Orientales – SE France). *Bulletin de la Société Géologique de France*, t. 175, n° 1, p. 35-48.

CERTAIN R., TESSIER B., BARUSSEAU J.P., COURP T. et PAUC H. (2005) - Sedimentary balance and sand stock availability along a littoral system. The case of the western Gulf of Lions littoral prism (France) investigated by very high resolution seismic. *Marine and Petroleum Geology*, vol. 22, p. 889-900.

CLIQUE P.M., FEUILLET J. et COËFFÉ Y. (1984) - Partie A, de la frontière espagnole à Sète. In : *Catalogue sédimentologique des côtes françaises. Côtes de la Méditerranée de la frontière espagnole à la frontière italienne*, Collection de la Direction des études et de la recherche d'EDF, Édité. Eyrolles, Paris, p. 1-105.

CHABAL L. (1997) - *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive). L'anthracologie, méthode et paléocéologie*. Édité. Maison des sciences de l'homme, Paris, 188 p.

CROWELL M., LEATHERMAN S.P. et BUCKELY M. (1991) - Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, vol. 7, n° 3, p. 839-852.

DEVILLERS B. et PROVANSAL M. (2003) - La morphogénèse d'un géosystème cultivé depuis le Néolithique récent : les petits bassins versants de la moyenne vallée de l'Hérault (France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 2, p. 83-98.

DUPLAIX S. (1958) - *Détermination microscopique des minéraux des sables*. Librairie Polytechnique C. BÉRANGER, Paris et Liège, 96 p., 69 fig.

DURAND P. (1998) - Cinématique d'un littoral sableux à partir de photographies aériennes et de cartes topographiques. Exemple du littoral d'Argelès-Plage à Saint-Cyprien (Roussillon, France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 2, p. 155-166.

DURAND P. (1999) - *L'évolution des plages de l'ouest du golfe du Lion au XX^e siècle. Cinématique du trait de côte, dynamique sédimentaire, analyse prévisionnelle*. Thèse de Doctorat, Université Lyon II, 2 vol., 461 p.

FERRÉ B., GUIZIEU K., DURRIEU DE MADRON X., PALANQUES A., GUILLÈN J. et GRÉMARE A. (2005) - Fine-grained sediment dynamics during a strong storm event in the inner shelf of the Gulf of Lion (NW Mediterranean). *Continental Shelf Research*, vol. 25, p. 2410-2427.

FRAYSSINET D. (2000) - *L'évolution du trait de côte, éléments statistiques*. Rapport pour le Service maritime et de navigation du Languedoc-Roussillon, 4 p.

FRIHY O.E., LOFTY M.F. et KOMAR P.D. (1995) - Spatial variations in heavy minerals and patterns of sediment sorting along the Nile Delta, Egypt. *Sedimentary Geology*, vol. 97, p. 33-41.

GROVE A.T. (2001) - The "Little Ice Age" and its geomorphological consequences in Mediterranean Europe. *Climatic Change*, vol. 48, p. 121-136.

GUY M. (1987) - Chronologie relative et explications des formes d'anciens rivages d'après leurs images aériennes. In : *Déplacements des lignes de rivage en Méditerranée* (Colloque international CNRS, Aix-en-Provence, 1985), Édité. CNRS, Paris, p. 45-58.

JAGO C.F. et BARUSSEAU J.P. (1981) - Sediment entrainment on a wave-graded shelf, Roussillon, France. *Marine Geology*, vol. 42, p. 279-299.

JORDA M. et PROVANSAL M. (1996) - Impact de l'anthropisation et du climat sur le détritisme dans le Sud-Est de la France (Alpes du Sud et Provence). *Bull. Soc. Géol. France*, t. 167, n° 1, p. 159-168.

LABOREL J., ARNOLD M., LABOREL-DEGUEN F., MORHANGE C. et TISNERAT-LABARDE N., (1998) - Confirmation of a Pleistocene age for the marine notch at Cape Romarin (Port-la-Nouvelle, Languedoc, France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 2, p. 125-130.

LUDWIG W., SERRAT P., CESMAT L. et GARCIA-ESTEVEZ J. (2004) - Evaluating the impact of climate change on the hydrology of the Têt River (Southern France). *Journal of Hydrology*, n° 289, p. 204-221.

MONACO A. (1971) - *Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du plateau continental du Roussillon (Golfe du Lion)*. Thèse de Doctorat d'État, Sciences, Montpellier, 295 p.

PARFENOFF A., POMEROL C. et TOURENQ J. (1970) - *Les minéraux en grains, méthodes d'étude et détermination*. Édité. MASSON, 578 p.

SABATIER F., SAMAT O., CHAIBI M., LAMBERT A. et PONS F. (2004) - Transport sédimentaire de la dune à la zone du déferlement sur une plage sableuse soumise à des vents de terre. *Actes des VIII^{èmes} Journées Nationales Génie Civil - Génie Côtier* (Compiègne, 2004), p. 223-229.

SAMAT O. (2007) - *Efficacité et impact des ouvrages en enrochement sur les plages microtidales. Le cas du Languedoc et du delta du Rhône*. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille I, 369 p.

SERRAT P. (1999) - Dynamique sédimentaire actuelle d'un système fluvial méditerranéen : l'Agly (France). *C. R. Acad. Sci.*, Paris, vol. 329, série IIa, p. 189-196.

SERRAT P. et DEPRAETERE C. (1997) - Incidences de facteurs géomorphologiques dans le fonctionnement d'un bassin en situation de crue : l'exemple de l'Agly (Pyrénées-Orientales). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 1, p. 79-88.

SERRAT P., LUDWIG W., NAVARRO B. et BLAZI J.L. (2001) - Variabilité spatio-temporelle des

flux de matières en suspension d'un fleuve côtier méditerranéen : la Têt (France). *C. R. Acad. Sci.*, Paris, vol. 333, p. 389-397.

TRASK P.D. (1932) - *Origin and environment of source sediments of petroleum*. Gulf Publishing Company, Houston, 67 p.

ULLMANN A. (2009) - Changement climatique et évolution des tempêtes dans le Golfe du Lion : approche par intégration d'échelles spatio-temporelles. *Cybergeo: European Journal of Geography*, document 441, accessible en ligne : www.cybergeo.eu/index22013.html.

ULLMANN A. et PIRAZZOLI P.A. (2007)- Recent evolution of extreme sea surge-related meteorological conditions and assessment of coastal flooding risk on the gulf of Lions. *Méditerranée*, n° 108, p. 69-76.

VERDEIL P. (1970) - Données nouvelles sur le Quaternaire de la basse vallée de l'Aude. *Bull. Soc. Géol. France* (7), t. XII, n° 3, p. 413-425.



Titre Photo 1 - Vue du plateau de Leucate en direction de Port-la-Nouvelle, le lido et le grau de La Franqui. [cliché : J.P. LARUE, le 19 avril 2006]

Légende 1 : voie ferrée. 2 : falaise morte. 3 : falaise vive. 4 : cordon de galets. 5 : cordons sableux et dunes. 6 : argile sableuse grise et croûte salée. 7 : cordon romain des Coussoules. 8 : rivage aux XVIIème et XVIIIème siècles. 9 : cordon actuel. 10 : ancien grau. 11 : lagunes et salines de Lapalme. 12 : barres d'avant-côte. 13 : échantillon.

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-1.jpg>

Fichier image/jpeg, 68k



Titre Figure 1 - Carte de localisation (d'après M. GUY, 1987, G.M. BERGER et al.,1997, et travail de terrain). [Réalisation : J.P. LARUE]

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-2.jpg>

Fichier image/jpeg, 172k



Titre Figure 2 - Vents (A), houles (B) et courants (C) à Port-la-Nouvelle (d'après P.M. CLIQUE et al., 1984).

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-3.jpg>

Fichier image/jpeg, 84k



Titre Figure 3 - Cellules sédimentaires, dérives littorales et flux de minéraux lourds.[Réalisation : J.P. LARUE]

Légende 1 : ancien cours de l'Aude. 2 : dérive littorale. 3 : minéraux lourds dominants. 4 : échantillon analysé. 5 : localité. 6 : cellule sédimentaire (d'après R. CERTAIN et al., 2005).

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-4.jpg>

Fichier image/jpeg, 188k

Titre Tableau I - Localisation et lithostratigraphie des échantillons prélevés.

Légende BV : bassin versant. * : salines de Lapalme. prof. : indication d'une profondeur de prélèvement.

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-5.jpg>

Fichier image/jpeg, 576k

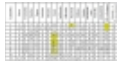
Titre Tableau II - Caractéristiques granulométriques des sables littoraux.

Légende Q3 : troisième quartile. Q1 : premier quartile. < 50 µm : limons et argile. So : indice de classement de TRASK [= (Q3 / Q1)^{0,5}]. As : indice d'asymétrie de TRASK [= (Q1 - Q3) / Médiane²]. La moyenne arithmétique de la distribution et le mode (taille la plus représentée dans

la courbe de fréquence) sont directement calculés par le logiciel du granulomètre Coulter (selon FOLK et WARD), mais les données sont manquantes pour les analyses les plus anciennes. Valeurs surlignées en jaune : sables mal classés.

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-6.jpg>

Fichier image/jpeg, 212k



Titre **Tableau III - Composition en minéraux lourds (%) des sables déposés par le jet de rive (juillet 2008) de Narbonne-Plage (1) à Port-Leucate (11). [Déterminations :R. ÉTIENNE]**

Légende ML : minéraux lourds. Valeurs surlignées en jaune : minéraux indicateurs fortement représentés.

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-7.jpg>

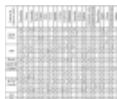
Fichier image/jpeg, 204k



Titre **Tableau IV - Composition en minéraux lourds des sables des anciens cordons littoraux. [Déterminations :R. ÉTIENNE]**

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-8.jpg>

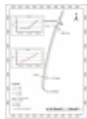
Fichier image/jpeg, 252k



Titre **Tableau V - Sources des minéraux lourds des sables littoraux.**

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-9.jpg>

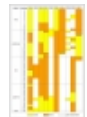
Fichier image/jpeg, 328k



Titre **Figure 4 - Évolution du trait de côte de 1952 à 2008. [Réalisation : M. BOUABDALLAH, d'après des photographies aériennes]**

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-10.jpg>

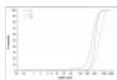
Fichier image/jpeg, 108k



Titre **Figure 5 - Suivi du fonctionnement du grau de La Franqui (d'après un dossier technique du Parc Naturel régional de la Narbonnaise – juin 2007 – et des observations personnelles).**

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-11.jpg>

Fichier image/jpeg, 112k



Titre **Figure 6 - Courbes granulométriques montrant la diminution de taille des sables littoraux, du sud (échantillon 6) vers le nord (échantillon 4) et du cordon actuel (échantillon 6) vers les cordons plus anciens (échantillon 24). [Analyses : M. BOUABDALLAH]**

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-12.jpg>

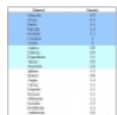
Fichier image/jpeg, 68k



Titre **Figure 7 - Variations spatio-temporelles de la composition en minéraux lourds en ne retenant que les espèces les plus fréquentes. A : lido actuel ; B : cordons anciens ; C : sources.**

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-13.jpg>

Fichier image/jpeg, 196k



Titre **Tableau VI - Densité des minéraux lourds analysés.**

Légende Les données surlignées en bleu moyen distinguent les densités égales ou supérieures à 4 et celles surlignées en turquoise clair, les densités entre 3,5 et 4.

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/915/img-14.jpg>

Fichier image/jpeg, 90k

Pour citer cet article

Référence électronique

Jean-Pierre Larue, Mostafa Bouabdallah et Robert Étienne, « Un littoral sableux en progradation : le lido entre Leucate et Port-la-Nouvelle (Aude, Golfe du Lion, France) », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 3 | 2009, mis en ligne le 28 novembre 2009, Consulté le 08 novembre 2011. URL : <http://physio-geo.revues.org/915> ; DOI : 10.4000/physio-geo.915

Auteurs

Jean-Pierre Larue

Géodynamique des milieux naturels et de l'environnement. Université de Paris XII-Val de Marne, 94010 CRÉTEIL cedex.
Courriel : larue@univ-paris12.fr

Articles du même auteur

Risques de glissement et aménagements : l'exemple du glissement d'un remblai autoroutier à l'ouest de Bouira (Grande Kabylie, Algérie) [Texte intégral]

Paru dans *Physio-Géo*, Volume 4 | 2010

Évolution du littoral de la baie de Saïdia : dynamique naturelle et impact des aménagements (Maroc oriental) [Texte intégral]

Paru dans *Physio-Géo*, Volume 3 | 2009

L'induration ferrugineuse des alluvions du Loir à Cré-sur-Loir, Sarthe, France [Texte intégral]

Paru dans *Physio-Géo*, Volume 3 | 2009

Contribution à l'étude des formations superficielles de la boutonnière du Béloinois (Sarthe, France) [Texte intégral]

Paru dans *Physio-Géo*, Volume 2 | 2008

La thèse de Paul DEMANGEON un demi-siècle après : une relecture actualisée dans le bassin de l'Orb (Languedoc, France) [Texte intégral]

Paru dans *Physio-Géo*, Volume 2 | 2008

Mostafa Bouabdallah

Géodynamique des milieux naturels et de l'environnement. Université de Paris XII-Val de Marne, 94010 CRÉTEIL cedex.
Courriel : mostafa.bouabdallah@laposte.net

Articles du même auteur

Évolution du littoral de la baie de Saïdia : dynamique naturelle et impact des aménagements (Maroc oriental) [Texte intégral]

Paru dans *Physio-Géo*, Volume 3 | 2009

Robert Étienne

Géodynamique des milieux naturels et de l'environnement. Université de Paris XII-Val de Marne, 94010 CRÉTEIL cedex.
Courriel : robert.etienne9@wanadoo.fr

Articles du même auteur

La thèse de Paul DEMANGEON un demi-siècle après : une relecture actualisée dans le bassin de l'Orb (Languedoc, France) [Texte intégral]

Paru dans *Physio-Géo*, Volume 2 | 2008

Droits d'auteur

Tous droits réservés