

Un exemple subactuel d'échanges sédimentaires continent-océan en région tempérée, l'estuaire de la Loire (France). Textures et structures sédimentaires

Lucien Barbaroux

► To cite this version:

Lucien Barbaroux. Un exemple subactuel d'échanges sédimentaires continent-océan en région tempérée, l'estuaire de la Loire (France). Textures et structures sédimentaires . Mémoires de la Société Géologique de France, 1982, 144, pp.53-75. insu-01493890

HAL Id: insu-01493890 https://insu.hal.science/insu-01493890

Submitted on 28 Mar 2017 $\,$

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers. L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Un exemple subactuel d'échanges sédimentaires continent-océan en région tempérée, l'estuaire de la Loire (France). Textures et structures sédimentaires

par LUCIEN BARBAROUX *

Résumé. — Accompagné d'un tri actif, le transit fluvial entraîne un départ de colloïdes en solution. Les matériaux détritique subissent leur évolution essentielle en estuaire, au cours de leur blocage dans le bouchon vaseux et la crème de vase, où la préstructuratio et l'éoconsolidation sont optimales et accompagnées d'une coagulation des colloïdes. L'estuaire et le milieu littoral peuvent être considéré comme des filtres. En effet, en raison de la forte destructuration du sédiment en milieu littoral et du refoulement vers l'estuaire de maté riaux d'origine marine, il ne s'échappe actuellement vers le large qu'une partie des sédiments, surtout colloïdaux. Ces derniers formen alors des structures réagrégées, mais à un niveau d'organisation inférieur par rapport aux sédiments estuariens. Le contrôle de la séd mentation dans le géo-système se fait par sauts (seuils) et secteurs évolutifs, sous la dépendance des facteurs d'environnement régionau (géomorphologie, débit fluvial, marée, etc.).

Subactual sedimentary continent-ocean interactions in temperate area, the Loire estuary (France) Sediments textures and structures

Abstract. — Along fluvial transit, with active sorting, an extraction of colloidal particles takes place. Fine detritic material inherited by estuary have their optimum (for physical properties : fabric, shear strength, water contents and so on) in areas of maximum turbidity and fluid mud standing zones. These areas control : prestructuration, ecoconsolidizing processes and colloids coagulation Estuary and shore take effect as filtering systems. Presently the strong destructuration of sediments in coastal environments and the back driving cycle of marine materials from shelf to shore, permits only a part of colloids and clay minerals escape in the open ocean These — definitively — settled particles, give reaggregated structures on oceanic floor, but at a lower organization level than in estuarin environment. Sedimentary processes, in estuarine geosystem, located at the interface between the continent and the ocean, operat The regional pattern (geomorphology, geology, hydrology, etc.) governs these processes. So, paleoestuarine recognition needs, together fine and large scale studies. These peculiarities can explain the lack of informations in this field.

1982.

I. — INTRODUCTION (fig. 1-2).

Comme nous l'avons signalé [L. Barbaroux, 1976 b, 1980], on peut distinguer divers types de seuils dans un géome estuarien. Le type le plus fréquent est morphodynamique — resserrement du lit soit avec hydrodynamique prépondérante (ex. : Saint-Nazaire, superposition des chenaux de marée), soit avec influence morphologique prépondérante (ex. : Thouaré, limite de pénétration de l'onde de marée). La coupure géochimique dominante est moins fréquente (ex. : Cordemais, limite de « marée » de salinité). Les changements se produisant au passage des seuils et secteurs sont mis en évidence par les paramètres de texture (granulométrie exoscopie) et de structure (teneur en eau, cohésion).

Dans le cas de la Loire, les principales coupures (seuils) et zones évolutives (secteurs) sédimentaires affectant le circuit filtre estuarien [L. Barbaroux, 1976 a, b, c, 1980] sont reportés sur le tableau I.

Le cadre géologique de l'estuaire de la Loire est constitué par des roches métamorphiques et éruptives dominantes (Basse-Loire, littoral). De petits tributaires drainent quelques bassins cénozoïques peu étendus. En amont de la limite fleuve-estuaire une contribution de Paléozoïque sédimentaire (Ance nis) intervient, mais les apports subactuels ne reflè tent plus d'influence directe importante au-del du contexte mésozoïque angevin.

Le tracé du cours est guidé par le schéma tecto nique sud-armoricain, hérité, rajeuni au Céno zoïque. Après Nantes, l'estuaire suit un cour chenalisé parallèle au Sillon de Bretagne (faill hercynienne, jalonnée de granites écrasés, rajeuni au Tertiaire) avant d'obliquer vers le sud par un coude étroit (2 km) au niveau de Saint-Nazaire Il s'ouvre à 12 km de là, largement (16 km), au influences marines par un seuil deltaïque submergé La tendance transgressive quaternaire récente qui débuté il y a 18 000 ans au large, a fait sentir se

Travaux réalisés avec l'aide du C.N.R.S. (E.R.A. 606, pu R.C.P. 511) et du Port Autonome Nantes-Saint-Nazaire. Note présentée au Symposium de l'A.S.F. les 20 et 21 janvie 1981, déposée le 15 juin 1980, manuscrit définitif reçu le 3 man

ר			
	-		
0.7			
es on			
és é-			
nt li-			
1X			
_			
ls m			
n. he			
n.			
te			
t). 8 r,			
e, e-			
è-			
là			
0-			
0-			
le			
ie			
in e.			
IX.			
é.			
es			
.).			
ıis			
er			

^{*} Laboratoire de géologie marine de Nantes (L.G.M.N. Université de Nantes, 44072 Nantes Cedex.



FIG. 1. — Cadre géographique et subdivision du système étudié.
FIG. 1. — Geographical framework and subdivisions of the system.

effets sur la côte actuelle il y a environ 7 000 ans, mais ne s'y est surtout manifestée que depuis 3 à 4 000 ans. Elle s'est encore amplifiée récemment, par effet anthropique [L. Barbaroux *et al.*, 1980 *a*, *b*; L. Barbaroux, 1981 *a*, *b*].

II. – TEXTURES.

Les paramètres de texture permettent d'apprécier directement les effets résultant des modifications des équilibres hydrodynamiques estuariens. Nous examinerons successivement :

- variations granulométriques longitudinales dans le chenal principal, pour dégager les effets maximaux;

- ventilations par faciès (chenaux, bancs, vasières, etc.), pour dégager les écarts locaux par rapport au chenal principal;

 dispersion et symétrie des populations granulométriques, [méthode adaptée de D. Doeglas, 1968, 1971 et de D. Loring et D. Nota, 1973];

- morphoscopie, morphométrie et exoscopie des sables.

Le traitement des données (statistique élémentaire) a été exposé par ailleurs, ainsi que l'eur traitement graphique [L. Barbaroux, 1980]. Les sédiments étudiés sont, en moyenne, représentatifs d'une tranche historique de l'ordre du millénaire, période qui correspond à la dernière oscillation sensible de l'équilibre du géome estuarien [L. Barbaroux *et al.*, 1980 *a*, *b*].

1) Influence des seuils et des secteurs sur la granulométrie, le long du chenal principal (fig. 2, 3, 4).

a) Seuils.

Les principales coupures sont situées au seuil de :

— Saint-Nazaire (seuil morphodynamique principal). Cette zone d'étroitesse du lit, faisant tampon entre parties interne et externe du système estuarien, est représentative des valeurs moyennes des paramètres granulométriques pour l'ensemble de celui-ci. Elle matérialise le lieu d'équilibre général, subactuel, entre influences continentale et marine pour ce qui concerne les textures sédimentaires (fig. 3 c et 4).

— Villès (seuil morphodynamique). C'est la limite entre la zone intermédiaire aval et l'estuaire externe, on y localise l'avancée aval maximale du bouchon vaseux en débit moyen à fort (fig. 3 e et 4). C'est donc la zone limite d'influence directe du bouchon vaseux sur les textures dans l'estuaire externe.

- Charpentier - Le Vert (delta submergé). Limite du domaine marin littoral, il reçoit les décharges de crues, il représente la coupure texturale majeure (fig. 3j et 4). Il s'agit là, lors des ruptures saisonnières de l'équilibre estuarien, de la limite d'influence directe du régime fluvial en crise (crues).

Les sables du plateau continental (fig. 3 k) reliques bien que mobilisables n'ont pas été figurés sur nos diagrammes. Comme nous le verrons, il ne sort pratiquement plus de sables de l'estuaire; du sable à façonnement marin y est même refoulé (§ 3).

On aperçoit (fig. 3-4) sur le passage des principaux seuils :

— un resserrement de la gamme des valeurs (médianes, moyennes, écarts);

- un maximum pour les valeurs pondérées (Md, \overline{X}). Curieusement, le mode le plus grossier n'y atteint pas, cependant, des valeurs extrêmes.

Nous pouvons donc dire que si les seuils éliminent les matériaux les plus fins, ils n'accumulent pas, pour autant, les plus grossiers, mais focalisent sur des valeurs représentatives de la variation « moyenne».



FIG. 2. — Contexte géomorphologique [adapté de J. P. Pinot, 1974].
FIG. 2. — Geomorphologic map [from J. P. Pinot, 1974, Adapted].

1	A 11				Commentaires		Γ
•	Seuils	Secteurs		Hydrodynamique	Géomorphologie	Sédimento-géoch.	
	Y	Fluvial		écoulement fluvial	"lit de fleuve!"	faciès lit de	C
	~	(amont Thouaré)		unidirectionnel	recreusé	fleuve	co
1	Thouaré-Mauves	Seuil de pénétra	tion	de marée dynamiqu	ie = interface dyn ie de pente de Th	amique fleuve-	ne De
1			en	Pénétration	l de pente de la		ľ
		fluvio estuarien	8 -	exceptionnelle du	*	accumulation	
		interne	'iu Via	bouchon vaseux		calcipentes et	
		1. C.	lo ji	en grand étiage		metaux lourds	
	Nantes-Chanteray		Qu 44	Rupture de Pente	du Sillon de Bre	tagne	
				zone d'oscilla-	section endiguée		
		zone estuarienne		tion moy. des			
		interne amont		limites amont du			
ł		a		B. V en eti age		equil de marée	
	Cordomais	seuli de		du contro do cro		de calinité	
	Condennais	maree de		uité du evetème		linterface	
ľ	лл	saimite	1	BV-CV		géochimique"	
t			t .	zone oscillation	0.	Reconninguo	
ĺ		zone estuarienne		moy, des limites	section non	vases pré-	5
ĺ		interne aval 🖡		amont du BV	endiguée	structurées et	Å
			3	en crue		éoconsolidées	
I	Paimboeuf-Donges	Seuil morpho-	at	dynamique-lère d	issociation des ch	enaux de marée	lð
		zone de	L D	zone oscillation	deux chenaux	vases pré-	
	,	transition	FF	des limites	et bancs sableux	structurées et	1
		amont		amont exception.	médians	éoconsolidées	1
		(concavité de	at 1	du BV en fortes			
ł	04 No 1	Montoir)	ů.	Crues	1	1	k
	St Nazaire	Seuli morpho-	le:	aynamique - croise	ement des chenaux	de marees	
ł	Minuli	principal	ğ	zone des limites	l	1	1
		zone de	ษั	aval exception.	deux chenaux	début de	
I		transition aval		du BV en étiage	proches	"déstructuration"	
		(Vignettes)		et forts coeffic.		des vases	
I	Villès-Morées	Seuil morpho-		dynamique		~	
I		zone estuarienne		limites aval	1		
		externe amont		du BV en	deux chenaux	vases	Ļ
	59	(concavité de	les	débit moyen à	avec	déstructurées	
ł	9~9	Bonne Anse)	no	fort		<u> </u>	
ł	Eve	Seuil de	<u></u> 4	pénétration dynami	que "moyen" des	houles	ł
		zone estuarienne	nts lle	limites aval	panc median		
		(Aiguillon-	nel	except. du	l'aval hanc de	"ceinture" des	
I		La Barre)	no io	BV en crue	la Barre	sables et sablons	
ľ	Charpentier	Seuil morpho-	cti (c	dvnamique - limit	e estuaire - océan		t
l	Vert-St Gildas	*	ale	_croisement chena	ux		1
ĺ			eri	de marée		ceinture des silts	1
I		Delta-pro delta	en lt		a - 1	accumul, de	ł
1		(et dép. litt.)	8 8			métaux lourds	
ł			1 on		I	(crues)	
I		dépressions litt.	lati	principaux transit	S	ceinture interne	19
ŀ	Lambardo	internes(-30m)	cul	cotters sud-nord	tuna saahamaa ama	j des vases (v. mob	
ľ	Lainvarue	seuil (socle)	cir	morphologie ossa	ure rocneuse avec vallées	sables internes	ľ
I		scuir (sourc)	يد ک	Fosse Croisic		(s. mobiles)	17
ŀ		dépressions litt	۳ ۱	limite d'influence	des houles	ceinture externo	t٩
I		externes (-90 m)		amorties à _Q0m)	des vases	1,
l				~ ,0	,	(v. reliques)	ľ
ľ	4-1		ité			sables externes	1:
	talus continental		tur			(s. reliques)	ļ
ľ			– "			colloides et	1
۱						phyllites.	
I		plaine bathyal	<u>تر ا</u>			restructuration	ľ
I		pélagique	cu Isi			des vases à	
			cir ler			gamme dimens.	
1	1		· · · ·		1	faible	1

TABL. I. — Principaux seuils et secteurs géographiques.

TABL. I. — Main thresholds and sections of the system ; in connection with hydrodynamics, geomorphologics and sedimento-geochemics events.



٠

r 1

×C.

FIG. 3: — Fuseaux granulométriques enveloppes par secteurs.

a) fluvio-estuarien ; b) estuaire interne ; c) Saint-Nazaire et secteurs intermédiaires ; d) faciès bancs et fosses, secteurs intermédiaires ; e) Villès et chenal estuaire externe (amont) ; f) vasières et centre concavité estuaire externe ; g) chenal, estuaire externe aval ; h) banc de l'Eve-Aiguillon (estuaire externe); i) banc de la Barre et de Charpentier; j) delta sous-marin; k) littoral; l) talus, plaine océanique.

FIG. 3. - Granulometric curves envelops by sections of the system.

FIG. 4. -- Évolution des paramètres principaux.

1) log des deux principaux modes ; 2) log des médianes (Md max, \overline{Md} , Md min) ; 3) log des moyennes (\overline{X} max, $\overline{\overline{X}}$, \overline{X} min) (seuils et secteurs a à l. Cf. fig. 3).

FIG. 4. — Evolution of main granulometrics parameters.

57

L'ESTUAIRE DE LA LOIRE, STRUCTURES SÉDIMENTAIRES

b) Secteurs.

Dans les secteurs l'évolution granulométrique se fait suivant un gradient moins abrupt. Ces secteurs sont très diversifiés dans un domaine aussi polymorphe qu'un estuaire (tabl. I). Nous pouvons les regrouper suivant trois principaux types, d'après des critères géomorphologiques et en tenant compte, subsidiairement, de leur situation proximale ou distale par rapport au domaine maritime.

— Secteur linéaire ou sub-linéaire.

C'est typiquement le domaine d'origine fluviatile évolué, même dans sa portion envahie par la mer.

De Nantes à Cordemais, par exemple, un chenal principal unique, endigué, où se situe l'oscillation moyenne des limites amont du bouchon vaseux en étiage ordinaire, occupe un secteur à hydrodynamique souvent violente car très influencée par les crues fluviales. Le faciès granulométrique (fig. 3 a) est du type « lit de fleuve » et les valeurs des paramètres granulométriques (fig. 4) fortes et assez resserrées.

- Secteurs incurvés.

(Fig. 4 b, f, g.) Dans le cadre d'une grande variabilité générale de ces secteurs (sédiments grossiers et fins coexistants) on note une différenciation entre les sédiments situés aux extrémités et ceux situés au centre (et bien sûr avec forte différenciation rives concave - convexe).

Exemple : Bonne Anse (concavité d'estuaire externe).

	Extrémité amont	Extrémité aval	Centre
$\overline{\mathrm{Md}}_{\mu\mathbf{m}}$	750	125	$35 \frac{r. \text{ concave } 650}{r. \text{ convexe } 3,5}$

- Secteurs intermédiaires.

Ces secteurs sont intermédiaires, souvent à double titre, à proximité de seuils et entre sections linéaires et concavités (fig. 4 c, d, e). On constate que la gamme d'écart des valeurs, dans le chenal, est extrême; les dépôts les plus grossiers et les plus fins y coexistent. Ceci est transposable, de façon générale, aux estuaires soumis à fortes marées. De part et d'autre de leur point moyen général à morphologie accusée se manifestent les plus grandes variations de l'hydrodynamique.

2) Variations extrêmes transverses. Évaluation des effets des seuils et des secteurs.

Nous donnons (tabl. II) quelques exemples concernant les médianes, d'amont en aval, dans leurs variations transverses extrêmes. Par ailleurs, nous séparons seuils (col. de gauche) et secteurs (col. de droite) pour mieux faire ressortir leurs effets respectifs. On peut faire deux remarques essentielles :

* l'effet de focalisation (réduction des écarts) reste très net sur les seuils, alors que les écarts sont considérablement accentués dans les secteurs et surtout dans la zone centrale des concavités. Ainsi les granulométries sont à la fois les plus étalées (Bonne Anse) ct les plus resserrées (Eve-Delta) en estuaire externe;

** les dépôts les plus grossiers sont situés au seuil de Villès (entre zone intermédiaire aval et estuaire externe). D'une façon générale, les forts effets des courants alternatifs sur les seuils aboutissent à un équilibre statistique assez strict, par contre les zones proches des seuils (Gron, Vignettes de part et d'autre de Saint-Nazaire) recueillent les dépôts les plus variables.

a) Effets de sélection granulométrique au cours du passage fleuve-estuaire-océan.

Par delà les effets de discontinuité liés aux seuils, et à travers les différenciations progressives par secteurs, on aboutit, si on envisage le géome estuarien dans ses rapports avec le système fluvial et le système marin, à une évaluation de l'impact granulométrique du filtre estuarien (tabl. III).

Il n'est pas tenu compte des sables, reliques, du plateau continental externe. A partir de ce tableau, l'action du système estuarien peut s'interpréter en tenant compte des points suivants :

* Une particule de 2 μ m est susceptible [Berthois, 1956, 1964] de parcourir 12 cycles de marées en estuaire avant expulsion en conditions normales. On aurait donc un parcours équivalent compris entre 240 et 360 km. Par contre, en conditions exceptionnelles (crues), le trajet est direct vers l'estuaire externe et le delta.

** Un recyclage intervient en estuaire externe avec une extrême dispersion des valeurs (cf. supra).

*** Un stockage plus ou moins long avec recyclage littoral peut intervenir sur le plateau avant expulsion [Y. Delanoe, V. Le Mire, J. P. Pinot, 1977; Y. Delanoë et J. P. Pinot, 1976, 1977, 1978 a, b, 1980 I-II]. Moyennant ces observations on perçoit la cause de la diminution très nette du diamètre médian pondéré des sédiments dans le passage continent-océan. Le diamètre médian observé à Saint-Nazaire (cf. 2 a) correspond exactement à la valeur moyenne générale du système estuarien pris dans son ensemble. Au delta, la chute dimensionnelle acquise à l'issue du parcours estuarien est d'un facteur 10 par rapport aux valeurs fluviales.

Ľ	ESTUAIRE	DE	LA	LOIRE,	STRUCTURES	SÉDIMENTAIRES
---	----------	----	----	--------	------------	---------------

	SEUILS			SECTEURS							
TYPE	LOCALISATION	Mct (µm)	ECARTS	TYPE	LOCALISATION CARACTERES	Mcl (µm)	ECARTS				
MORPHO DYNAMIQUE	St NAZAIRE (zone étroite (chenaux de (marée super- (posés)	18-230	1 à 12	1 à 12 ZONE centrale de MONTOIR concavité ((transition 8 à 16) interne (amont)		8 à 1600	1 à 200				
DYNAMO - MORPHOLO -	VILLES (haut fond (chenaux de	250–1800	1à 7				4				
GIQUE	(ciés)	-		ZONE proximale de concavité	GRON (transition	6 à 900	1 à 150				
DYNAMO - MORPHOLO -	EVE (seuil de pé- (nétration	40-230	1à 6	interne	(amonts)		-				
GIQUE	(moyen des (houles 			ZONE	VIGNETTES	2 3 1200	1 3 400				
MORPHO -	CHARPENTIER	30-330	1 8 7	diaire	(aval)	5 a 1200	1 2 400				
DYNAMIQUE	(sition che - (naux de ma- (rée)		± a /	CENTRE concavité externe	BONNE ANSE (estuaire externe)	2 à 1800	1 à 900				
MAXI	MUMS et	18-230 250-1800	1 à 12	MAXI	MUM	2 à 1800	1 à 900				

TABL. II. -- Écarts granulométriques (Md) suivant seuils et secteurs.

TABL. II. — Granulometrics deviations (Md) on thresholds and sections.

	MEDIANES moyenne (µm) pondêrée	DISTANCE (supposée directe) de transport à partir de l'entrée du système (km)
Valeurs fluviales (Ancenis-Thouaré)	300 µm	950
Valeurs .estvariennes (St-Nazaire)	125 pm	50 *
Valeurs deltaïques et littorales internes (Charpentiers)	30 µm	60 (par rapport à la limite (fleuve -12 km par rap - (port à St-Nazaire)
Valeurs océanigues (Atlantique (plaine abyss.)	10 µm	260 ***

TABL. III. — Évolution du diamètre médian pondéré du domaine continental au domaine océanique.

TABL. III. — Median evolution from continental to oceanic deposits.

En milieu océanique, cette chute n'est que d'un facteur 3 par rapport aux valeurs deltaïques.

En conséquence, le rôle du milieu estuarien subactuel comme filtre granulométrique, et milieu de rétention, est tout à fait déterminant. Sur une distance linéaire très courte s'y produit une chute considérable des dimensions particulaires pondérées du squelette sédimentaire.

3) Variations générales des propriétés granulométriques suivant les faciès.

a) Proportions des fractions fines dans les divers faciès sédimentaires.

Nous avons examiné les variations longitudinales de quelques paramètres granulométriques des sédiments suivant le chenal principal et observé quelques variations transverses. Nous considérons ici l'évolution générale, suivant les faciès, en distinguant trois faciès principaux : banc sableux, chenal et fosse de chenal, vasière, sur un diagramme (fig. 5 a, b) siltoïdes ($\% \emptyset = [2-16 \ \mu m]$)/argiles ($\% \emptyset < 2 \ \mu m$). On observe (fig. 5 *a*) trois nuages de points bien distincts : le premier à fortes proportions de siltoïdes regroupe les faciès bancs fluvio-estuariens et deltaïques ; le second, intermédiaire, réunit les faciès de chenaux, le troisième à fortes proportions de fractions très fines ($< 2 \mu m$) rassemble les vasières.

D'amont en aval, l'évolution au sein de ces trois ensembles est la suivante :

 filiation des faciès deltaïques à partir des faciès de bancs sableux (délestage sableux et argileux, accrétion de silts et siltoïdes);

— position mixte des faciès chenal et fosse de chenal qui jouent un rôle de ventilation entre bancs et vasières;

- lente ségrégation des particules les plus fines vers les vasières d'aval.

En outre, nous avons reporté sur cette même figure trois points moyens (*) représentatifs des faciès marins externes (haut du talus, bas du talus continental, plaine abyssale atlantique).

On doit sans doute mettre à part les faciès du haut de talus, qui pourraient être rapprochés des faciès de bancs précédemment décrits ; ceci confirmerait leur caractère relique, dépôts périlittoraux de bas niveau marin quaternaire froid [A. Lapierre, 1969], remaniés ultérieurement. Au cours de ces remaniements, a pu se produire, dans le contexte subactuel, une évolution indépendante du système sédimentaire talus-plaine par rapport aux milieux margino-littoraux. C'est ce que paraît indiquer la position intermédiaire des faciès bas de talus entre sommet de talus et plaine abyssale. Cette dernière serait donc privée d'apports en silts et siltoïdes subactuels.

Rien n'interdit de penser, cependant, à une alimentation persistante, directe en ultrafines (< 2 μ m) à partir du continent. La position du point représentatif moyen du faciès plaine abyssale, au sein du nuage des vasières peut être interprété en ce sens.

Dans le passé et au cours du Quaternaire en particulier, cette configuration des échanges a été perturbée par des décharges directes issues du continent [L. Glangeaud, 1952; R. M. Garrels *et al.*, 1972; M. Caralp et M. Vigneaux, 1976].

Notre modèle [L. Barbaroux, 1976, 1980, 1981] serait donc ici décrit dans sa phase diffusive :

- rétention des grossières, rétention et refoulement d'une partie des fines sur le littoral continental;

- alimentation en ultrafines (colloïdes) et en substances dissoutes correspondant aux époques de haut niveau marin (éléments de cycle quaternaire, chaud et tempéré chaud).

Alors qu'à d'autres périodes (éléments de cycle quaternaire froid, rupture climatique chaud - froid) le modèle deviendrait advectif : large alimentation du continent vers le large.

En ce qui concerne le fonctionnement subactuel de l'estuaire, une étude fine de l'évolution des chenaux (fig. 5 b) permet de rendre compte d'un circuit complexe, avec retour en arrière. En effet, après passage au point estuarien moyen (Saint-Nazaire) on assiste dans les milieux estuariens externes à une boucle de rétroaction ramenant les dépôts vers une position voisine de celle des faciès fluviatiles. On peut y voir l'expulsion directe en crue d'éléments fluviaux et leur recyclage en cours et/ou un tri antagoniste entre poussée fluviale et refoulement marin (voir § 4). En bref, l'effet des crises d'expulsions vers le littoral (crues) serait compensé par une poussée encore très vive, océanique, vers le continent.

b) Proportions relatives des fines et des grossières au cours du transit estuarien (fig. 6) (indices de dissymétrie).

Rappel. Définition des indices de dissymétrie [L. Barbaroux, 1980]. A partir des courbes granulométriques cumulatives, nous avons établi des graphiques, avec ordonnées en échelle Φ , suivant la méthode de D. Doeglas [1968], modifiée par D. Loring et D. Nota [1973]. Sur ces graphiques on procède à la mesure des valeurs $[Q_1 Q_2]$ et $[Q_2 Q_3]$, pondérées par secteurs et seuils estuariens, ces valeurs servent à établir nos indices de dissymétrie :

$$(Q_1 \ Q_2 - Q_2 \ Q_3) < 0$$
 sont les dissymétries « F »
entraînées par un excès de
fines dans la population gra-
nulométrique.

 $(\overline{Q_1 \ Q_2} - \overline{Q_3 \ Q_4}) > 0$ sont les dissymétries « G » entraînées par un excès de grossières dans la population granulométrique.

 $(\overline{Q_1 \ Q_2} - \overline{Q_2 \ Q_3}) \simeq 0$ Symétrie.

Nous allons rapidement étudier les variations des indices de symétrie [L. Barbaroux, 1980]. Dans chacun des secteurs et seuils du système coexistent des tendances antagonistes suivant les faciès en présence (fines dominantes ou grossières dominantes dans les répartitions granulométriques). Elles peuvent s'y équilibrer globalement ou marquer un excès.

- Observations générales.

Les dissymétries « F » décroissent en importance de l'estuaire vers le large (fig. 6 à gauche). Les dissymétries liées aux grossières croissent, en estuaire, jusqu'en aval du point moyen d'équilibre (Saint-Nazaire); puis décroissent, à partir de là, vers l'Océan (fig. 6, à droite). Il y a donc un contraste très net entre populations fines et grossières dans le passage Continent-Océan.



- FIG. 5. a) diagrammes siltoïdes argiles des faciès : bancs, chenaux, vasières.
 b) détail d'évolution en rétroaction dans les chenaux (feed-back).
 - FIG. 5. a) Siltoids Clays diagrams.
 b) Detail Feedback evolution in channels.

7

. 6

FIG. 6. — Variation des indices de symétrie par secteurs.

FIG. 6. \rightarrow Symetry index (granulometric) by sections of the system.



FIG. 7. — a) Courbes morphoscopiques cumulatives des émoussés-luisants [méthode Cailleux-Tricart, 1959].
 b) Courbes morphométriques (références éolien-marin-fluvial de A. Cailleux). Indice A_K de Krumbein.

FIG. 7. — d) Morphoscopy — Cumulative curves of blunt-shine quartz (Cailleux-Tricart method).
 b) Morphometrics curves (A_K index — Krumbein method).

On peut y trouver confirmation d'un blocage des sorties de grossières en estuaire externe et d'une exportation réduite de fines vers le large.

- Secleur linéaire amont.

Très forte dissymétrie, liée aux fines, très étalées. Le processus de tri, en cours, affectant les grossières est perturbé pour la partie la plus fine de la distribution.

- Concavités (ex. Donges - Montoir - Bonne Anse, etc.).

La dissymétrie y est en général faible et les tendances observées se compensent sur place. Ceci implique une bonne évolution par triage actif et régulier dans ces secteurs.

- Seuils (ex. Saint-Nazaire).

La dissymétrie y est très marquée. Une dissymétrie liée aux fines (Saint-Nazaire) n'est compensée qu'immédiatement en aval (secteur intermédiaire aval) par une dissymétrie liée aux grossières. Les seuils sont donc bien nets, en tant que « sauts » des valeurs de part et d'autre.

- Vasières.

Les éléments grossiers, en contexte général de dépôt fin, sont très perturbateurs (vasière de Bonne-Anse). Ils sont liés aux atterrissements accidentels de crues, qu'ils signalent très nettement.

Il est à remarquer que, même dans les secteurs ou seuils majeurs bien typés, existe toujours un élément perturbateur rémanent de la tendance antagoniste; il s'exprime fortement sur la dissymétrie de la distribution. Cet élément devient, à son tour, dominant dans les secteurs jouxtant les seuils, où s'inverse la tendance. Les deux tendances coexistent et s'équilibrent rarement, en particulier, dans les concavités.

4) L'origine individuelle des grains de sable et la dynamique sédimentaire.

Nous avons, à partir des données granulométriques, émis l'hypothèse d'une absence de sortie de sables et même d'un refoulement à partir du milieu marin. Nous allons vérifier cette hypothèse.

a) Morphoscopie, morphométrie.

Les méthodes classiques [W. C. Krumbein, 1938; A. Cailleux et J. Tricart, 1959] ont été employées. Par ailleurs, nous utiliserons des mesures de Cailleux sur la Loire fluviale (et pour d'autres faciès) en référence (tabl. IV). Nous avons établi les courbes morphoscopiques et morphométriques cumulatives des émoussés-luisants en fonction des fractions (fig. 7).

Une évolution régulière peut y être constatée, rapide entre Nantes et Paimbœuf, où des caractères marins sont déjà perceptibles, elle ne se confirme qu'au-delà de Saint-Nazaire, dans les dépôts estuariens externes. Dans ces milieux, mais surtout dans les dépôts littoraux, une composante d'éléments éoliens est incorporée aux faciès marins (tabl. IV).

La figure 8 permet de pousser les investigations. Elle combine, pour la fraction 0,7 mm, les données morphométriques (indice d'arrondi A_K de Krumbein) et les faciès déduits de la morphoscopie.

AK (Krumbein)	0,10-	.0,25	0,25	0,55			
AC (Cailleux)	0,01-	0,06	0,06	i-0,28	0,28		
Interprétations Faciès	Fluvia	tile	Ma I Ma	Eollen			
AK (mesures en (Loire)	res en 0,18-0,22 0,22-0,25 e)		0,25-0,32	0,28-0,42			
Localisation	ocalisation Nantes Le Pellerin		St-Nazaire	Charpentiers Lambarde	Contamination • éolienne		
Milieux	Fluvio - estuarien	Estuaire interne	Estuaire externe				

TABL. IV. - Morphométrie des sables (références Krumbein, Cailleux et mesures de l'auteur).

TABLE IV. - Sand morphometry (ref. Krumbein, Cailleux and author measurements).

Sur la figure 8, la disposition de la ligne $A_{\kappa} = 0,25$ montre la progression des sables estuariens le long de la côte nord et, inversement, la pénétration d'un mélange de sables marins et estuariens externes le long de la côte sud jusqu'à Montoir. L'influence fluviatile est oblitérée vers Donges-Paimbœuf. C'est donc bien un mouvement complexe, de mélange et de refoulement, qui apparaît dans l'estuaire externe et se poursuit jusqu'à Montoir et confirme nos interprétations granulométriques.

Les courbes morphométriques, d'autre part, impliquent une composante non négligeable de sables éolisés. Il ne peut s'agir que d'une reprise érosive de stocks plus anciens, hérités des bas niveaux quaternaires en période de déflation en contexte steppique froid [L. Barbaroux, 1972, L. Barbaroux *et al.*, 1973 *a*, *b*, 1980 *a*, *b*; J. P. Barusseau, 1973; J. P. Barusseau et B. Long, 1976].

b) Exoscopie (fig. 9).

Parallèlement aux initiateurs de cette méthode [A. Cailleux et H. Schneider, 1969; G. Busson, 1968] nous avons observé au M.E.B., plusieurs centaines d'échantillons dont nous avons répertorié les figures



F1G. 8. — Carte de répartition des faciès sableux d'après morphométrie et exoscopie. Ligne $A_K = 10,25$ (limite marin-fluvial selon Krumbein).

FIG. 8. — Quartz grains facies map (morphometry and exoscopy).

types de surface en fonction des milieux de dépôt [L. Barbaroux *et al.*, 1972]. De nombreux travaux [notamment L. Le Ribault, 1971 *a*, *b*, 1972, 1976; D. Krinsley et J. C. Doornkampf, 1973] ont depuis confirmé et développé la méthode.

A partir des surfaces (%) occupées par les différentes figures types, nous présentons (fig. 9) un diagramme triangulaire sur lequel nous pourrons suivre l'évolution du façonnement. *— fluvial évolué - fluvio estuarien :* formes à caries, caries coalescentes et/ou néogenèses,

- estuarien marin - marin : formes à « V », à rhombes, guillochées.

Les formes éoliennes, manifestement héritées, ont été exclues. L'évolution amont-aval est nette. Dans ce genre d'étude on ne peut exclure des injections locales ; ainsi un stock léger de figure « V » présent



FIG. 9. — Typologie évolutive des faciès sableux d'après l'exoscopie.

FIG. 9. — Typological evolution of quartz along the transit Continent - Ocean after exoscopic datas (Scanning).

Les figures sont regroupées sur les trois pôles suivants :

- fluvio-torrentiel : formes non usées, à éclats, stries, fissures,

en milieu fluvial doit être considéré comme hérité des dépôts marins mésozoïques (région d'Angers) ou pliocènes (région nantaise).

En milieu fluvial, l'évolution générale, nonobstant

Mém. Soc. géol. de France. — N. S. — T. LXI.

Ме́м. Nº 144. — 5

65

ces introductions discrètes, se fait vers les formes cariées, par attaque progressive, qui se superpose à un tri. Entre Ancenis et Nantes s'amorce une évolution nouvelle qui se confirme en milieu estuarien interne par la présence de néogenèses (Si, Al, Fe) sur l'importance desquelles nous reviendrons. De Paimbœuf à Saint-Nazaire, s'instaure une répartition en deux stocks, qui va être de règle au large. III. — STRUCTURES.

Les paramètres de structure examinés ici sont, pour l'essentiel, la teneur en eau (ω ; %) et la cohésion des vases (τ ; g/cm²).

Rappel de définitions [d'après P. Habib, 1973] : $\omega(\%)$: rapport du poids de l'eau contenue dans

Dist. en km.	SEUILS ET SECTEURS		SEUILS ET SECTEURS		SEUILS ET SECTEURS		ω min %	ω %	W max %	τ g/cm ² min	₹ g/¢m ²	τ g/cm ² max		
77	aire erne	Secteur endigué	80	125	160	75	200	560						
n,,	Estu int	Concavité amont (MONTOIR)	65	90 . 140		40	350	780						
87		St-NAZAIRE	45	75	120	50	160	600						
90	19	VILLES	45	85	160	65	180	⁻ 350						
97	Est	Concavité aval uaire externe(BONNE ANSE)	40	60	130	70	150	280						
110		DELTA	45	80	160	28	125	200						
125		PRODELTA et vases littorales		PRODELTA et vases littorales		PRODELTA et vases littorales		PRODELTA et vases littorales		120	200	10	40	160
300	(Fos	OMBILIC Fosse préri-littoral du Cròisic)		85	140	32	75	230						
		PLAINE Bathy-pélagique	28	45	110	38	85	310						

TABL. V. — Teneurs en eau et cohésion des vases dans les différents milieux de la transition continent-océan (minimum, moyenne, maximum).

TABLE V. — Water content and shear strength of muds in differents facies, along the continent-ocean transition.

L'un des stocks, surtout présent au delta et dans les sables gris du littoral et du large, semble influencé par des apports fluviatiles directs (actuels et passés), des reprises d'érosion (littoral) et des stocks fluviatiles quaternaires de bas niveau marin (marge externe). L'autre, représenté en estuaire externe (rive droite), dans les sables roux du littoral et surtout du large est nettement plus évolué, il représente un façonnement marin prolongé (avec reprise des sables littoraux anciens). L'injection de ce type de sable dans l'estuaire externe confirme le refoulement subactuel. Ceci conforte l'ambiguïté de la notion de sables « reliques » [J. P. Barusseau et B. Long, 1976]. le sol (perte en poids après 24 h en étuve à 106°C) au poids des éléments solides du sol.

 $\tau(g/cm^2)$: nous appelons résistance au cisaillement la contrainte maximum (ou taux) de cisaillement donnée par la formule de Coulomb : $\tau = C + \sigma_n tg \phi$ avec / σ_{τ} ou $\tau = taux$ de cisaillement.

Cί	στou	$\tau =$	taux de	cisaillement,	
٠.		C	a a la dada an	intermentation	

- C = cohésion intergranulaire,
 - σ_n = contrainte normale appliquée,

 φ = angle de frottement interne.

On peut dire, de façon très approximative, que l'angle de frottement interne (φ) lié aux frottements intergranulaires, très fort dans les faciès sableux, devient négligeable dans les faciès argileux qui nous préoccuperont ici. Dans cette approximation (vases argileuses), τ devient très voisin de la cohésion C.

C'est, le plus souvent, ce dernier terme que nous emploierons, par commodité de langage, bien qu'en toute rigueur il faudrait parler de contrainte maximum de cisaillement.

La mesure de cette contrainte maximum a été faite au Icissomètre type Vane-Test (Wykeham-Farrance) ou essai NCR (non consolidé rapide).

1) Principales coupures structurelles dans le passage Continent-Océan.

Le tableau V permet de suivre cette évolution; il complète nos investigations précédentes [L. Barbaroux et F. Ottmann, 1972; L. Barbaroux *et al.*, 1972].

= L'origine (0 km) représente l'entrée en système estuarien vers Thouaré.

-hb: les valeurs $\overline{\omega}$ et $\overline{\tau}$ sont des moyennes, obtenues sur un échantillonnage représentant environ 200 mesures par secteur [L. Barbaroux, thèse, 1980]. Les coupures principales soulignent les seuils et ponctuent une évolution plus lente dans les secteurs.

Les teneurs en eau les plus fortes, jointes aux meilleures cohésions, se localisent en estuaire interne (zone de structuration optimale). Un premier changement apparaît au seuil de Saint-Nazaire (valeurs moyennes bien groupées), s'affirme au seuil de Villès (valeurs extrêmes très dispersées). Le seuil principal de destructuration se situe au delta. Les milieux marins littoraux présentent les propriétés mécaniques les plus médiocres. Celles-ci ne s'améliorent que légèrement en milieu bathypélagique, au prix d'une baisse importante des teneurs en eau (minimum absolu).

2) Teneur en eau et cohésion « initiales ».

Les teneurs en eau et cohésion initiales (ω_0 , %; τ_0 , g/cm) sont extrapolées à partir des droites de régression ($\omega = f$ /profondeur, sondage) et $\tau = f$ (profondeur sondage), sur un ensemble de carottes

	1		TENEU ET CO "INITI (à l'inte "instant	R EN EAU HESIONS ALES" rface , anées").	GRADIENTS TENEUR EN COHESION de structu millénaire	DE EAU ET DE vitesse ration,).	AMPLEUR DES PERTES (teneurs en eau) et des grains (cohésion) lors de la consolidation.			
Distan- ces en km.	SEUILS	ET SECTEURS	67° (%)	τ_{g/cm^2}	Pw	Р Т	<u>w - w.</u> w.	<u>τ.</u> τ.		
80	Estuaire	interne	146	145	-0,46	1,10	- 0,26	0,89		
9	St-Nazair	ré	162	70	-0,38	0,40	- 0,54	1,29		
90	Secteur	intermédiaire	120	165	0,20	0,10	-	- T		
97	Villès	-	93	110	-0,05	0,60	- 0,10	0,63+		
	Estuaire	Estuaire Bonne Anse		30	-0,07	0,42	- 0,32	4		
	externe	Aiguillon	92	150	-0,10	0,10	-	-		
110	Delta	÷	120	100	-0,15	0,90	- 0,33	0,25		
125	Prodelta	× .	152	20	-0,19	0,25	- 0,21	1		
	Littoral		140	42	-0,23	0,18	- 0,39	0,79		
300	Plaine		65	90	-0,07	0,50	- 0,31	0,20		

TABL. VI. — Teneur en eau et cohésion initiales à l'interface.

Gradient de teneur et cohésion en profondeur dans les différents milieux de transition continent-océan.

TABLE VI. - Initial water content and initial shear strength at interface ;

water content and shear strength gradients with depth, during continent-ocean transition.

par secteur. L'intersection de la droite de régression avec l'interface, suivant la méthode que nous avons mise au point [L. Barbaroux, thèse, 1980] donne ω_0 et τ_0 . Nous atteignons ainsi une valeur assez représentative de celle du sédiment à l'état initial (échelle saisonnière), avant les premiers stades de consolidation (moyennant les précautions d'usage : cycle sédimentaire unique, faciès vaseux comparables, etc.).

Le tableau VI rassemble les résultats, et appelle les commentaires suivants : En ce qui concerne les changements observables dans les propriétés initiales lors du passage estuaire - océan, il faut souligner les valeurs élevées (ω_0 et τ_0) de l'estuaire interne, la faible teneur en eau initiale dans l'estuaire externe avec des cohésions très variables, le caractère très net de la coupure delta - prodelta (ω_0 très élevée, τ_0 très faible). La totale indépendance du mileu océanique profond (ω_0 faible, τ_0 moyen).

Par comparaison avec les propriétés des sédiments déposés, l'ampleur des pertes (teneur en eau) et des gains (cohésion) lors de la consolidation montre l'amplitude et la rapidité d'évolution des sédiments lors des premiers stades de dépôt. Les teneurs en eau initiales sont de 10 à 50 % plus élevées que celles du dépôt consolidé. Les cohésions initiales sont de 1,5 à 5 fois plus faibles que celles du dépôt consolidé (tabl. VI, colonne de droite). Du point de vue de l'interprétation, en faisant retour sur les données granulométriques (§ 2) et sur le contexte géomorphologique et hydrodynamique (§ 1, tabl. I) il semble que l'on puisse dégager diverses indications.

- La perte en eau et le gain de consolidation ne semblent pas avoir de lien direct apparent et permanent; ce sont donc d'autres facteurs de changement propres aux différents milieux qui doivent jouer pour la structuration, en plus des paramètres de texture et de l'hydrodynamique proprement dite. Toutefois, au sein de chaque milieu, on retrouverait une influence de la texture et de l'hydrodynamique. C'est ainsi que la perte d'eau initiale est maximale en milieu estuarien interne, sur les seuils géomorphologiques étroits à dynamique violente, taux de sédimentation réduit et texture toujours très typée : valeur moyenne, répartition granulométrique très focalisée (Saint-Nazaire : -0,54). Elle est minimale en estuaire externe, dès que le cours s'élargit, que la dynamique devient plus variable, le taux de sédimentation élevé et la texture très fluctuante — valeurs extrêmes des paramètres granulométriques — (Villès -0,10) (tabl. VI, colonne de droite).

Le gain en consolidation, post-dépositionnel, est partout très marqué, mais il est surtout accusé en estuaire interne (avec teneur en eau restant élevées) et externe (avec teneurs en eau plus faibles); mais, dans ce dernier milieu, la cohésion initiale est très basse et les valeurs, dans le dépôt consolidé, ne peuvent rivaliser avec celles de l'estuaire interne. Il y a donc une *destructuration* très perceptible dès l'estuaire externe et qui se confirme très brutalement entre delta et prodelta. Il ne peut s'agir que d'influences propres au milieu marin et au choc océanique (remises en suspension, houles, salinité) par contraste avec l'action structurante du bouchon vaseux et de son relatif équilibre estuarien.

3) Gradients de teneur en eau et de cohésion.

Pour compléter cette notion d'évolution lors des premiers stades de dépôt, nous examinerons les gradients de ω et τ avec la profondeur d'enfouissement, toujours à partir des droites de régression, dont nous avons calculé les pentes (p ω , p τ).

Ces valeurs, pour un cycle sédimentaire homogène, sont représentatives de la rapidité de consolidation des sédiments à l'échelle millénaire.

On constate (tabl. VI, colonne centrale) :

 $P\omega$ — une décroissance vive de teneur en eau avec la profondeur, en estuaire interne, très faible

Fig. 10. — Ultrastructures des vases.

```
A. - Schéma théorique de A. Casagrande, [1941].
```

B. — Schémas théoriques de T. W. Cambe [1953] : 1 = milieu d'eau douce 2 = milieu salin.

C. — Schémas théoriques de Van Olphen [1963] d'après la théorie de Gouy

1 2	: dispersé : agrégé face-face	non floculés
3 4	: arête face : arête - arête	floculés dispersés
5 6 7	: arête - face : arête - arête : arête - face et arête -	arête }
Types	observés sur clichés l	M.E.B. [L. Barbaroux, 1980].

1 : grumuleux (floconneux).

2 : alvéolaires (nid d'abeilles).
3 : microlités (sandwich).

D. —

FIG. 10. — Ultrastructural diagrams of muds. (A to C theoretical, D scanning observations.)



FIF. 10. — (Voir légende page ci-contre.)

.

en estuaire externe et en milieu marin littoral; très faible en milieu océanique profond. La capacité évolutive d'expulsion d'eau des sédiments est donc directement liée à des causes structurelles initiales;

 $P\tau$ — corrélativement, le gradient de cohésion très fort en estuaire interne, variable en estuaire externe, fort au delta, faible près du littoral et moyen en milieu océanique montre que la consolidation n'est pas uniquement liée à la perte d'eau, mais également, à la capacité d'arrangement des particules.

4) Réflexions sur l'évolution des paramètres de structure en milieu péricontinental et marin.

Les variations de ω , τ , ω_0 , τ_0 , P ω , P τ , nous conduisent à émettre trois hypothèses principales (tabl. VII) :

a) Textures et structures (tabl. VII, col. 4, 5, 6).

Les coupures texturales (§ 2) se retrouvent, au niveau des structures, selon une hiérarchie différente. La coupure structurelle dominante se produit au seuil deltaïque et des particularités apparaissent en estuaire interne.

La texture semble donc guider la structure et parfois l'optimaliser, mais n'explique pas tout. Les milieux margino-littoraux avec une texture comparable à celle des milieux estuariens et marins profonds sont, cependant, mal structurés. Un autre facteur structurant doit donc jouer.

b) Structuration et destructuration (tabl. VII, col. 6, 8, 9, 10, 11).

L'évolution des paramètres de structure (et surtout à l'état initial pour ω_0 et τ_0) nous ont amené à définir une « préstructuration » en estuaire [L. Barbaroux, 1980], par constitution d'agrégats « préfabriqués » lors du séjour dans les suspensions estuariennes. Inversement, le choc marin littoral entraîne une destruction de ces agrégats, c'est la « destructuration » littorale, avec médiocres propriétés cohésives des vases péri-littorales formées d'éléments dispersés. Enfin « restructuration océanique » en milieu bathial, mais à un niveau d'organisation qui reste inférieur à l'optimum estuarien.

c) Écoconsolidation et sous-consolidation (tabl. VII, col. 8).

L'évolution du dépôt dans les premiers stades ($p\omega$, $p\tau$) de consolidation conduit à souligner [L. Barbaroux, 1980] les différents comportements suivants :

- Consolidation très rapide avec ou non conservation durable d'eau en milieu estuarien : c'est *l'éoconsolidation estuarienne*.

— Absence de consolidation avec départ d'eau moyen à faible en milieu marin littoral : c'est la *sousconsolidation littorale*. - Consolidation moyenne à lente avec départ d'eau lent en milieu marin profond : c'est la *reconsolidation océanique*.

5) Étude des ultrastructures des vases au microscope électronique à balayage (M.E.B.) (fig. 10, tabl. VII, col. 7).

Afin de visualiser les structures et de les corréler aux paramètres correspondants, nous avons observé au M.E.B. depuis quelques années et photographié [L. Barbaroux *et al.*, 1972], plusieurs centaines de prélèvements de vases lyophillisées provenant de divers milieux.

Trois principaux types ont pu être dégagés [L. Barbaroux, 1980] au sein desquels une variation de taille du motif élémentaire est susceptible d'intervenir (fig. 10 D).

Ces structures peuvent parfois être rapprochées des modèles théoriques préalablement conjecturés [A. Casagrande. 1940; T. W. Lambe, 1953; H. Van Olphen, 1963; A. N. Schofield, 1976] (fig. 10 A, B, C).

Le premier type, celui des vases grumeleuses (floconneuses) mal consolidées, riches en eau (vitesse de sédimentation forte), paraît correspondre à une édification rapide (ou d'état critique). Il se rencontre dans les milieux estuariens externes, marin littoral et même dans les milieux très perturbés (souilles de dragages) de l'estuaire interne.

Ce sont des structures lâches, riches en colloïdes, semblables à des floculats (fig. 10 D1).

Le deuxième type, celui des vases alvéolaires, à motif régulier (nid d'abeille) très bien consolidées, riches en eau (vitesse de sédimentation faible) paraît correspondre à un état de préstructuration et d'éoconsolidation (état évolutif). Il est localisé en estuaire interne pour les structures à grosses mailles (20 μ m) et en milieu bathypélagique pour celles à mailles fines ($\simeq 5 \mu$ m) que l'on peut aussi retrouver dans les dépôts décantés (fig. 10 D2).

Le troisième type, celui des vases microlitées se différencie par un microlitage qui paraît correspondre à un phénomène périodique lors du dépôt. Ces vases sont mal consolidées, riches en eau (vitesse de sédimentation variable). Il apparaît en estuaire externe et domine en milieu marin littoral (fig. 10 D3).

IV. — CONCLUSIONS.

Le tableau synthétique (tabl. VII) rappelle les principaux résultats obtenus; accompagné de la figure 11, il nous permet d'insister sur quatre considérations principales.

1) Évolution par seuils et secteurs ou continuités et discontinuités sédimentologiques [L. Barbaroux, 1976 a, b, 1980 a b].

		-	1											Comme	ntaire s	sur les	s paramè	tres de sti	ucture-facteurs ppx
Distances	Seuils et secteurs	Faciès et	Hydrologie	Md	Commentaires	-	St	ructu	res	-	-	Types	Domaine de	Dyna	miques			Géochim	iques
(km)	geographiques	limites	Hydrodynamique	G F	sur les textures	540	S 051 BS	- Plut	, PL	4.	v Ka o	structuraux	structuration	Granul	o. Vites	sse	Salinité	Collofdes	Minéralo-argiles
0	Ancenis	fluvial	Ecoulement fluvial unidirectionnel											- •	+ - •	• •	- • + 	- 0	+ - •• +
32	Mauves	fluvio-estu.	seuil marée dynamique pénétration exception.	5	piégeage "catastrophique" des fines en grand étiage	T	1							$\overline{\mathbf{N}}$	1				
42	Nantes		bouchon vaseux	1-1:			+	+		-									
	Pellerin Cordemais	estuarien interne	Amt. oscill. moyenne limite amt. B. V en étiage -Seuil marée salin		effet de rive et chenal(sect, endigué). Maxima des modes grossiers "fluviatiles"	<u> </u>		<u> </u>		 		alvéolaire ^a	Domaine des préstructuration ¥ et éoconsolidation						
	Donges		Av. zone oscill, moy.	1	transit avai, lent, des	11	1	1	V		11	alvéolaire a	Sault Diata D C	/		t		1 .	
	Paimboeuf		conditions movennes		Déviations granulométriques	++-	+	\rightarrow	5	\rightarrow	++		Seur-Destr. ()	K		K			+
	Montoir Gron	Transition Amont (sect.interm)	zone limite amont except. du BV (crue faible coeff.)	2	extrêmes Accum, maxi, des fines Refoulements marins Maxi modes grossiers est		L	ß	1	2	ζ	alvéolaire ^a (et floconneuse)	Zone des fortes structurat, fortes teneurseau ¥ fortes vitesses	T.T.					
87	Saint Nazaire	Pt singulier	Amont	\$ 0	Mini, modes grossiers est.			1T	1	10	11	d°		>				5	
	Vignettes	Transition Aval (sect.interm)	zone limite aval except, du BV en étiage	\leq	Paramètres <u>s. anulo "moyens</u> Déviationsgranulométriques extrêmes Accumulation de fines	15		3	7	7	5	alvéolaire ^a	Seuil de déstructur (forte/moyenne)(3) Zone des struc. moy. à fortes, teneurs en eau moyennes, vitesse moyennes	5				5	
	Villès	Pt. singulier Aval	zone limite aval BV conditions moyennes	*)0	Minima modes grossiers Expuls."grossières" fluvi, est.	1	1		17	9	\bigcup	alvéolaire ^a	Seuil déstructur, (2)	\leq				1	
	Bonne Anse	est, ext, amt,	seuil des influences marines permanentes		Effet de concavité Réception matériaux fluy. Refoul sables marins		17		17	2	(floconneuse, alvéolaire	Zone des etmotus	T					
	Eve La Barre		pénétration des houles limite aval except. du BV en crue		rive droite Recyclage sables extu.ext.	Κ)		moyennes						
110	Charpentier Le Vert Chatelier	DELTA	effet massif de crue isobathe 30 m effet maži des houles permanent et courants littoraux	*	Ceinture de stabilité des silts		2					a-b floconneuses et alvéolaires	Seuil de déstructur.						
	Lambarde	Prodelta	sortie des suspensions et dispersion BV en Gde crue		Redistribution des fines	$\left \right\rangle$		1		0	5	flocon. microlitées	majeur () du prodelta Zone des	5	<	1			
	Four-Croisic	Dépress. littor. in ternes	Résultante transit littoral NW dominant		Ceinture interne des vases circulantes Sables internes circulantes	í		II.	3			floconn. ^a microlitées alvéolaires ("ombilics")	très faibles structurations						
160	Gde Vasière	Dépress, littor, externes	isobathe 100 m limite amortiss, des houles moyennes	2	Sables mixtes ceinture externe des vases (reliques) cyclées silts et sables reliques ext.							microlitées		$\left \right\rangle$					
	Talus et cañon de St Nazaire		limite except. des houles dergde tempête turbidités		Turbidités	\square				$\left \right\rangle$		microlítée ^b	Seuil de restructur du talus Zone de restructur.			-			
300	Plaine Nd Gascogne	bathypélag.	Ct densité	1	vases et colloides piégées	11				1/		microlitées alvéolaire ^b	bathypélagique						
		Remarq d'impor Du poin	ues : Du point de vue d lance des seuils est le t de vue des structures	es granulomé suivant : , cet ordre d	tries, l'ordre <u>1</u> St Nazaire 2 evient 1 Delta 2	Villè Villè	s 3	B D	elta t Naza	ire		a Gde maille b Pte maille	0 effet nul ((+ effet positif () - effet négatif () NB En crue établie = la p) - Seuil marée.) - Seuil débit) - Seuil) - Seuil éstructura	FONCTI sajeur du p de Villès moyen du f de Saint-Nu de Donges tion cesse	IONNEME! prodeit = forte leuve. lazaire = début	NT DES SEUI a=condition s marées, p = fortes ma des crues.	LS DE DESTRUCT s moyennes or énétration de: rées, houles,	URATION Jimaires des débits ét., s houles de tempête, débit fort du fleuve.

TABL. VII. - Tableau synoptique récapitulatif concernant l'évolution des textures et des structures dans la transition continent-océan (estuaire de la Loire).

TABLE VII. - Synthetic table for textural and structural sediments properties during continent-ocean transition (Loire estuary model, France).

N.B. — Au centre dans les colonnes « structures » aux paramètres étudiés ici (ω_0 , τ_0 , $\rho\omega$, $\rho\tau$) ont été ajoutés : Is Indice de structuration et Vs vitesse de sédimentation [L. Barbaroux, 1980]. A droite les colonnes « commentaire sur les paramètres de structure » constituent un essai pour dégager les principaux facteurs de structuration (+) et de destructuration (--).

FIG. 11. — Principaux phénomènes sédimentaires subactuels de la transition continent - océan en milieu tempéré à fort marnage. — Quartz (exoscopie) ; — état des suspensions ; — ultrastructure des vases ; — textures.

FIG. 11. — Main subactuals sedimentary phenomenons occurring in the continent ocean transition (in temperate weathering and high tidal effect contexts).

Les paramètres sédimentologiques subissent, dans un système estuarien des sauts quantitatifs et qualitatifs au niveau de seuils et une évolution plus régulière dans des secteurs. Ceci sous la dépendance des facteurs d'environnement général (cadre géomorphologique et hydrodynamique). La hiérarchie et l'importance des coupures diffère suivant les propriétés concernées (tabl. VII, en bas).

Ceci suggère une interdépendance relative des paramètres.

Pour les structures, la coupure principale est située au delta, le domaine de structuration optimal est estuarien interne, les déstructurations se produisent essentiellement près du littoral (\simeq isobathe 30 m).

2) État évolutif du système.

Malgré les seuils, on note l'interpénétration possible (fig. 11) des limites des différents domaines. Ceci est lié à l'état d'équilibre hydrodynamique oscillant du système estuarien. Cet équilibre est régi par des déplacements saisonniers (crues, étiages) plus ou moins réguliers autour de points moyens.

A plus long terme, cette imbrication peut s'amplifier en fonction de modifications plus importantes affectant le système. Par exemple, l'état transgressif de la mer et de la subsidence sub-actuelle de la Bretagne méridionale [L. Barbaroux, 1980, 1981] amène une pénétration de l'influence marine sur le domaine continental. Ce processus est accéléré notablement depuis quelques décennies, par un effet anthropique croissant [L. Barbaroux, 1981].

3) Principaux phénomènes sédimentologiques dans la transition continent-océan.

Sur le modèle de la Loire - milieu tempéré, influence maritime forte, cadre géomorphologique hérité d'un long façonnement [J. P. Pinot, 1974; J. R. Vanney, 1977], nous pouvons établir les phénomènes suivants :

- « préstructuration » et « éoconsolidation » en milieu estuarien interne, sous contrôle du système bouchon vaseux - crème de vase. Ceci est dû au temps de résidence des agrégats, à la sélection optimale des populations granulométriques (classe des argiloïdes), à l'abondance de colloïdes formant « liant », à la sélection minéralogique (tri différentiel, illite montmorillonites) [L. Barbaroux et B. Gallenne, 1973] et au facteur « gamme de salinité » (force ionique). Le système bouchon vaseux - crème de vase est un système synergique. La figure 11 est une tentative d'illustration de ce phénomène;

- les effets sédimentologiques de cette synergie sont assez clairs :

• rétention en estuaire des matériaux structurés,

• rôle de *filtre* des circuits estuariens et littoraux,

• évolution par « sauts » (i.e. seuils énergétiques) au sein de ces circuits,

• relative indépendance du milieu océanique actuel (seulement alimenté en colloïdes) par rapport au continent,

• augmentation de l'influence marine actuelle vers le continent manifestée par le refoulement de matériaux.

4) Modalités de la transition eau douce - eau salée dans ces mécanismes (tabl. I, VII, fig. 11).

La transition cau douce-eau salée, dans le contexte de mer à marée à forte influence marine qui est le nôtre dans l'estuaire de la Loire, ménage un espace tampon assez étendu qui acquiert des caractéristiques autonomes. Ces caractéristiques lui confèrent un rôle primordial pour la sélection granulométrique, la rétention des matériaux phylliteux d'origine continentale et marine, le recyclage de ces matériaux, leur façonnement mécanique et les attaques chimiques qu'ils subissent.

Au niveau ultrastructural, les vases estuariennes sont très particulières et acquièrent une structuration optimale.

Enfin et surtout les milieux estuariens et littoraux dans l'état actuel du système constituent un lieu d'accumulation de sédiments et ne laissent filtrer vers l'océan que des substances colloïdales et dissoutes.

Il est évident qu'au cours des périodes géologiques, de tels systèmes peuvent osciller entre deux extrêmes :

- rétention, péricontinentale avec refoulement de matériaux détritiques d'origine marine en période tempérée - chaude établie (état diffusif du système). Cas actuel de la Loire ;

 expulsion des stocks précédents et expulsion dominante des matériaux détritiques d'origine continentale vers le large en cas de rupture climatique chaud - froid (état advectif du système) — Cas du Würm III pour la Loire — avec des résultats complètement opposés pour les échanges continent océan.

Toute reconstitution des paléomilieux estuariens et littoraux devra donc tenir compte des contextes paléogéomorphologiques et de l'état diffusif ou advectif des systèmes de transition continentocéan en vue de reconstituer les modalités de l'alimentation passée des bassins sédimentaires.

Ceci implique, allant de pair, une étude fine des paramètres sédimentologiques, dans un contexte global de bassin ou d'ensemble de bassins.

Les particularités des milieux estuariens et leur complexité expliquent, sans doute, le manque de connaissance actuel dans le domaine des paléoenvironnements estuariens souvent non reconnus et décrits sous les rubriques de deltas et/ou de dépôts littoraux dans les études géologiques.

Remerciements.

Je remercie F. Baltzer de ses précieux conseils.

Bibliographie

- BARBAROUX L., BOURON A., GOULEAU D. et OTTMANN F. (1972).
 Utilisation de la radiographie de la gammadensimétrie et du microscope électronique à balayage pour l'étude des sédiments marins. Intérêt pour la géologie de l'ingénieur. Bull. Ass. Intern. Geol. Ing., 6, p. 48-74.
- BARBAROUX L. et OTTMANN F. (1972). Contribution à l'étude statistique de quelques propriétés physiques des sédiments estuariens et marins. C. R. Acad. Sc., Paris, t. 275, série D, p. 1103-1106.
- BÅRBAROUX L., BOUSQUET B., BROSSÉ R., DA NOBREGA COUTINHO P. et JOVIC P. (1972). — Examen au microscope électronique à balayage de grains de quartz de diverses origines. Essai de typologie, signification environnementale. Bull. B.R.G.M., IV, 2° série, 4, p. 3-31, 2 fig., 6 pl. photo.
- BARBAROUX L., GALLENNE B., MARGEREL J. P. et OTTMANN F. (1973). — Évolution de l'estuaire de la Loire au Quaternaire. Symp. Intern. Estuaires et plateaux continentaux, Bordeaux, Mém. I. G.B.A., nº 7, p. 267-274.
- BARBAROUX L. et GALLENNE G. (1973). Répartition des minéraux argileux dans les sédiments récents de l'estuaire de la Loire et du plateau continental voisin. C. R. Acad. Sci., Paris, t. 277, série D. p. 1609-1612.
- Acad. Sci., Paris, t. 277, série D, p. 1609-1612. BARBAROUX L. (1976 a). — Essai de modèle géodynamique général pour le système fleuve - estuaire - océan. Bull. U.O.F., vol. 7, n° 3-4. BARBAROUX L. (1976 b). — Phénomènes à seuils et phénomènes
- BARBAROUX L. (1976 b). Phénomènes à seuils et phénomènes à évolution continue dans la sédimentation estuarienne et marine. Bull. U.O.F., vol. 7, nº 3-4.
- BARBAROUX L. (1976 c). Approche sédimentologique et géodynamique globale de la transition continentocéan. Essai de modèle analogique général. C. R. 4º R.A.S.T., Paris, p. 29.
- BARBAROUX L., VISSET L. et DUPLAIX S. (1980 a). Les dépôts du Quaternaire récent (Atlantique actuel) et le remaniement flandrien du Weichselien dans la région de Saint-Nazaire (Loire-Atlantique). Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, 27, p. 61-85, 9 fig., 2 tabl.
- BARBAROUX L., VISSET L. et DUPLAIX S. (1980 b). Les alluvions anciennes submergées de la Basse Loire dans la région de Saint-Nazaire (Loire-Atlantique). Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, 28, p. 51-70, 8 fig., 4 tabl.
- BARBAROUX L. (1980). Évolution des propriétés physiques et chimiques des sédiments dans le passage continent océan. L'effet estuarien. L'estuaire de la Loire et ses parages. Thèse Nantes, 387 p. et annexes.
- BARBAROUX L. (1981 a). Paléolits et bas niveaux quaternaires. Réflexions sur le façonnement polyphasé du cours des trois principaux fleuves atlantiques français. Répercussions sur la sédimentation marine. J. Rech. Océanogr., vol. VI, nº 1, p. 9.
- BARBAROUX L. (1981 b). Évolution hydrologique et sédimentologique de la Basse-Loire estuarienne depuis le début de l'ère industrielle. Poids des facteurs anthropiques. J. Rech. Oceanogr., vol. VI, nº 2, p. 1-22.
- BARUSSEAU J. P. (1973). Évolution du plateau continental rochelais (Golfe de Gascogne) au cours du Pléistocène terminal et de l'Holocène; les processus actuels de sédimentation. Thèse, Bordeaux I, 363 p.
- BARUSSEAU J. P. et LONG B. (1976). Ambiguïté de la notion de sables actuels et reliques. Exemple de la côte nord-

ouest de l'île de Ré (Golfe de Gascogne). Ann. Hydrogr. Fr., 4, 1, p. 75-81.

- Busson G. (1968). Les sables ronds mats, émoussés luisants et non usés observés au microscope électronique à balayage. Bull. Mus. Nat. Hist. Nat., 2, 40, (4), p. 850-856.
- CAILLEUX A. et TRICART J. (1959). Initiation à l'étude des sables et galets. Paris. C.D.U. SEDES, 4, 369 p.
- CAILLEUX A. et SCHNEIDER H. (1969). L'usure des sables vue au microscope électronique à balayage. Sc. Progrès, La Nature, 3395, p. 92-94.
- CARALP M. et VICNEAUX M. (1976). Données actuelles sur la sédimentation récente dans le golfe de Gascogne. Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aqu., 19, p. 87-147.
- CASAGRANDE A. (1940). The structure of clays and its importance in foundation engineering. Boston Soc. Civ. Eng., p. 72-125.
- DELANOË Y, et PINOT J. P. (1976). --- Structures rompant la continuité du prisme sédimentaire sur la plate-forme continentale sud-armoricaine. Bull. U.O.F., vol. 7, n° 3-4, p. 24.
- DELANOË Y., LE MIRE V. et PINOT J. P. (1977). L'instabilité de la couverture sédimentaire dans la passe de l'île aux Moutons de la baie de Concarneau. Contribution à l'étude de la dynamique de l'interface eau-sédiment. J. Rech. Océanogr., vol. II, nº 1, p. 20.
- DELANOË Y. et PINOT J. P. (1977). Étude par sismique réflexion continue des formes d'érosion et de sédimentation quaternaires récentes en baie de Concarneau (Bretagne méridionale). Colloque « Les niveaux marins quaternaires », Saint-Valéry-sur-Somme, 1°²⁻³ décembre 1977.
- DELANOE Y. et PINOT J. P. (1978). Premières données sur la répartition hivernale des épaisseurs de sédiments fins dans la partie nord-ouest de la grande vasière. U.O.F., Brest, 26-28 janvier 1978.
- DELANOË Y. et PINOT J. P. (1980, I-II). Aperçus sur la dynamique sédimentaire du précontinent atlantique breton :
 I) L'évolution actuelle des vasières submergées, méthodes d'études et résultats préliminaires. Ann. Inst. Océanogr., Paris, 56 (S) 47-60; II) La mobilité des sables, son influence sur la morphologie actuelle et les structures sédimentaires. Ann. Inst. Océanogr., Paris, 56 (S) 61-72.
- DOEGLAS D. J. (1968). Grain size indices. Classification and environment. Sédim., 10, p. 83-100.
- GALLENNE B. (1974). Les accumulations turbides de l'estuaire de la Loire. Étude de la « crème de vase ». Thèse 3° cycle, Nantes, 323 p.
- GARBELS R. M. et al. (1972). Sedimentary cycling in relation to the history of the continents and oceans. « The Nature of solid earth ». McGrawHill édit., p. 93-121.
- GLANGEAUD L. (1952). Sur les relations entre continents et océans. Ann. géophysique, 8, 1, p. 121-124.
- HABIB P. (1973). Précis de géotechnique. Paris, Dunod Ed., 146 p.
- KRINSLEY D. et DOORNKAMPF J. C. (1973). Atlas of sand grains surface textures. Camb. Univ. Press., 91 p.
- KRUMBEIN W. C. (In KRUMBEIN W. C. et PETITJOHN F. J.) (1938). — Manual of Sedimentary petrography. Appleton, p. 91-181.
- LAMBE T. W. (1953). The structure of inorganic soils. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. J. Soil Mech. Found Div., 79, p. 1-49.

- LAPIERRE F. (1969). Répartition des sédiments sur le plateau continental du golfe de Gascogne. Intérêt des minéraux lourds. Thèse Bordeaux, 182 + 90 p.
- LE RIBAULT L. (1971 a). Présence d'une pellicule de silice amorphe à la surface de cristaux de quartz des formations sableuses. C. R. Acad. Paris, 272, série D, p. 1933-1936.
- LE RIBAULT L. (1971 b). Comportement de la pellicule de silice amorphe sur les cristaux de quartz en fonction des différents milieux évolutifs. C. R. Acad. Sc., Paris, 272, série D, p. 2649-2652.
- LE RIBAULT L. (1972). Exoscopie, caractères distinctifs

des quartz à évolution marine. C. R. Acad. Sc., Paris, 275, série D, p. 735-738.

- LE RIBAULT L. (1976). Mémoire C.F.P. nº 12. L'exoscopie, méthode et applications, Paris, C.F.P., 132 p.
- PINOT J. P. (1974). Le précontinent breton entre Pen March', Belle-Ile et l'escarpement continental. Etude géomorphologique, thèse, Lannion édit. Impram., 256 p.
- SCHOFIELD A. N. (1976). Classification and consolidation of soils. Offshore soil mechanics, Cambridge, p. 1-13.
- VANNEY J. R. (1977). Géomorphologie de la marge continentale sud-armoricaine. Paris, C.D.U. SEDES, 495 p.
- VAN OLPHEN H. (1963). Clay colloid chemistry. Interscience Publ., N.Y. U.S.A., 301 p.

Lexique

La terminologie employée pouvant paraître parfois obscure pour des géologues de terrain ne connaissant pas nécessairement ces milieux marins actuels, nous donnons ici un petit lexique.

Accrétion : augmentation graduelle ou imperceptible, par extension. Se dit de l'extension d'un faciès ou d'un groupe de faciès sous l'effet de forces naturelles (syn. aggradation).

Advection : mouvement à composante horizontale à grande échelle ; en océanographie s'utilise pour l'expression du transfert des masses d'eau (et par extension des sédiments) sous l'effet des courants (adj. : advectif).

Bouchon vaseux : (abrév. B.V.) — unité sédimentologique, définie par L. Glangeaud en 1941 ; formée de vases en suspension, dans l'estuaire, à l'équilibre entre débit fluvial et pénétration de la marée. Cette unité est à l'équilibre tant par l'effet des forces dynamiques en présence que par celui du comportement physico-géochimique des argiles et colloïdes mis en contact avec le milieu salé.

Consolidation : désigne tout processus par lequel un ensemble de particules sédimentaires à peine agrégés, ou même à l'état de dispersion dans un liquide acquiert consistance et cohésion. L'éoconsolidation correspond à une consolidation précoce et se développant rapidement dans un contexte favorable. La sousconsolidation correspond à une consolidation non achevée, lente, imparfaite dans un contexte défavorable.

Crème de vase : (abrév. C.V.) — unité sédimentologique estuarienne procédant du bouchon vaseux et formant une couche dense limite entre ce dernier et le dépôt du fond.

Diffusion : mouvement lent, multidirectionnel à diverses échelles, affectant les éléments dissous, les fines particules sous l'effet de propriétés physicochimiques (différences de concentrations, migrations ioniques, forces électrostatiques, etc.).

Géome : unité géomorphologique, physiographique, à échelle d'une masse continentale. L'estuaire de la Loire, dont le fleuve draine, sur 1 000 km de cours, une grande partie de la France, est un géome. Interface : limite, au sens large, frontière entre deux milieux ou entre deux unités sédimentaires, ou entre un milieu de transport et le milieu de dépôt correspondant. Dans le cas d'un estuaire, l'interface prend une dimension supplémentaire. C'est, dans ce cas, le volume oscillant où s'effectue la transition plus ou moins bien graduée entre le milieu fluvial d'eau douce et le milieu marin, salé. On pourra par extension l'appeler *volume interfacial*.

Souille : fosse récemment creusée artificielle ou naturelle et souvent remplie de sédiments très mous.

Structure : on appelle structure en sédimentologie, l'arrangement dans l'espace des éléments constitutifs du dépôt. Les paramètres de structure sont l'expression mesurable des propriétés liées à l'arrangement mutuel des éléments du squelette, à leurs liaisons réciproques (ex. : teneur en eau, cohésion du sédiment) et à celle des liquides ou gaz qui peuvent leur être associées.

Structuration : processus guidant l'arrangement des particules lors du dépôt.

Préstructuration : préparation, préalable au dépôt, d'agrégats.

Déstructuration : destruction des agrégats.

Restructuration : nouvel assemblage après destruction.

Synergie : (système synergique) effet, multiplicateur, dû à la réunion de plusieurs conditions favorables ou défavorables à un phénomène et qui, prises séparément, n'auraient eu qu'un effet très réduit.

Texture : on appelle texture, en sédimentologie, l'apparence ou les caractéristiques physiques générales des éléments constitutifs d'un dépôt.

Les paramètres de texture sont l'expression mesurable des propriétés liés aux éléments solides séparés du squelette sédimentaire. (Ex. : dimensions, forme, distribution statistique, états de surface des particules solides, etc.).

Siltoïde : nous appelons siltoïde un élément de taille intermédiaire entre celle des silts et celle des argiles et comprise entre 16 et 2 μ m.