

Répartition des formations superficielles du domaine marin côtier entre le cap Fréhel et Saint-Malo (Côtes d'Armor – Ille-et-Vilaine)

Chantal BONNOT-COURTOIS (1)

Claude AUGRIS (2)

Michel BLANCHARD (3)

Erik HOULGATTE (4)

Distribution of coastal sediments between cap Fréhel and Saint-Malo (Côtes d'Armor - Ille-et-Vilaine Depts., France)

Géologie de la France, 2002, n° 3, 31-42, 7 fig.

Mots-clés : Sédiment marin, Milieu littoral, Milieu estuaire, Figure sédimentaire, Côtes d'Armor, Ille-et-Vilaine, Manche mer.

Key words: Marine sediments, Nearshore environment, Estuarine environment, Sedimentary features, Côtes d'Armor France, Ille-et-Vilaine France, English channel.

Résumé

La répartition des formations superficielles du domaine marin côtier entre le cap Fréhel et Saint-Malo a été établie à partir de la synthèse de trois campagnes de prospection au sonar à balayage latéral, d'analyses granulométriques de sédiments prélevés en mer et sur les estrans et de l'étude de la morphologie des zones découvrantes et des petits fonds à partir des photographies aériennes. Le domaine intertidal, soumis à un fort régime hydrodynamique, en raison du marnage qui approche 14 m en période de vive-eau, présente une disposition complexe des faciès sédimentaires, témoignant de la très grande diversité morphologique de la frange littorale. Le domaine infralittoral présente un gradient granulométrique décroissant du large vers la côte, avec l'omniprésence de faciès très grossiers au large. Seules quelques accumulations de sables bioterrigènes ou de dépôts phycogènes (maërl) se distinguent entre 5 et 15 m de profondeur. La multitude d'affleurements rocheux en écueil ou en platier ainsi que

la prédominance de sédiments grossiers sur l'ensemble du secteur cartographié témoignent de la vigueur des agents hydrodynamiques dans cette région.

Abstract

The sedimentary surficial deposits of the northern coast of Brittany, between cap Fréhel and Saint-Malo, were studied using side-scan sonar data, sedimentological analysis of subtidal and intertidal facies, and morphological analysis of intertidal and shallow-water areas. The tidal range in this area, which reaches 14 m during high spring tides, gives rise to strong tidal hydrodynamics. The intertidal sedimentary deposits have a complex distribution linked to the wide range of coastal geomorphology. The subtidal zone is dominated by coarse-grained deposits, which are the main offshore sediments. Grain-size progressively decreases until close to the shore where sandy sediments overly the bedrock, especially in embayments. The surficial sand cover in places shows various bed forms at water depths of 5 to 15 m. The coastal zone is characterized by numerous

rocky outcrops and very coarse grained sediments distributed widely over the mapped area; it is an abrasion platform that evolves under very high hydrodynamic conditions and consequently has a poorly developed sedimentary prism.

Introduction

Dans le cadre d'un programme IFREMER de recherches sur la répartition de la Crépidule ⁽¹⁾ à l'échelle du golfe normand-breton, des campagnes de prospection des fonds marins ont été réalisées dans l'ensemble du golfe depuis la baie de

(1) La Crépidule, *Crepidula fornicata*, est un mollusque gastéropode en phase exceptionnelle d'explosion démographique sur les côtes européennes, suite à une introduction accidentelle. Originnaire du plateau continental atlantique nord-américain d'où elle a été importée avec les huîtres, elle est signalée pour la première fois en Angleterre en 1872. Elle va coloniser les Pays-Bas (1922), les côtes belges (1930) puis les côtes françaises dans les années 1940, pour se retrouver actuellement largement répandue sur toutes les côtes océaniques du Sud-Ouest de l'Europe.

Manuscrit déposé le 6 mars 2002, accepté le 18 juin 2002.

(1) CNRS, UMR 8586 PRODIG, Laboratoire de Géomorphologie et Environnement littoral EPHE, 15, boulevard de la mer, 35800 Dinard, France.

(2) IFREMER, Département Géosciences marines, Technopôle Brest-Iroise, BP 70, 29280 Plouzané, France.

(3) IFREMER, Département Ecologie côtière, Technopôle Brest-Iroise, BP 70, 29280 Plouzané, France.

(4) Bureau d'Etudes géologiques, rue Amiral Linois, 29200 Brest, France.

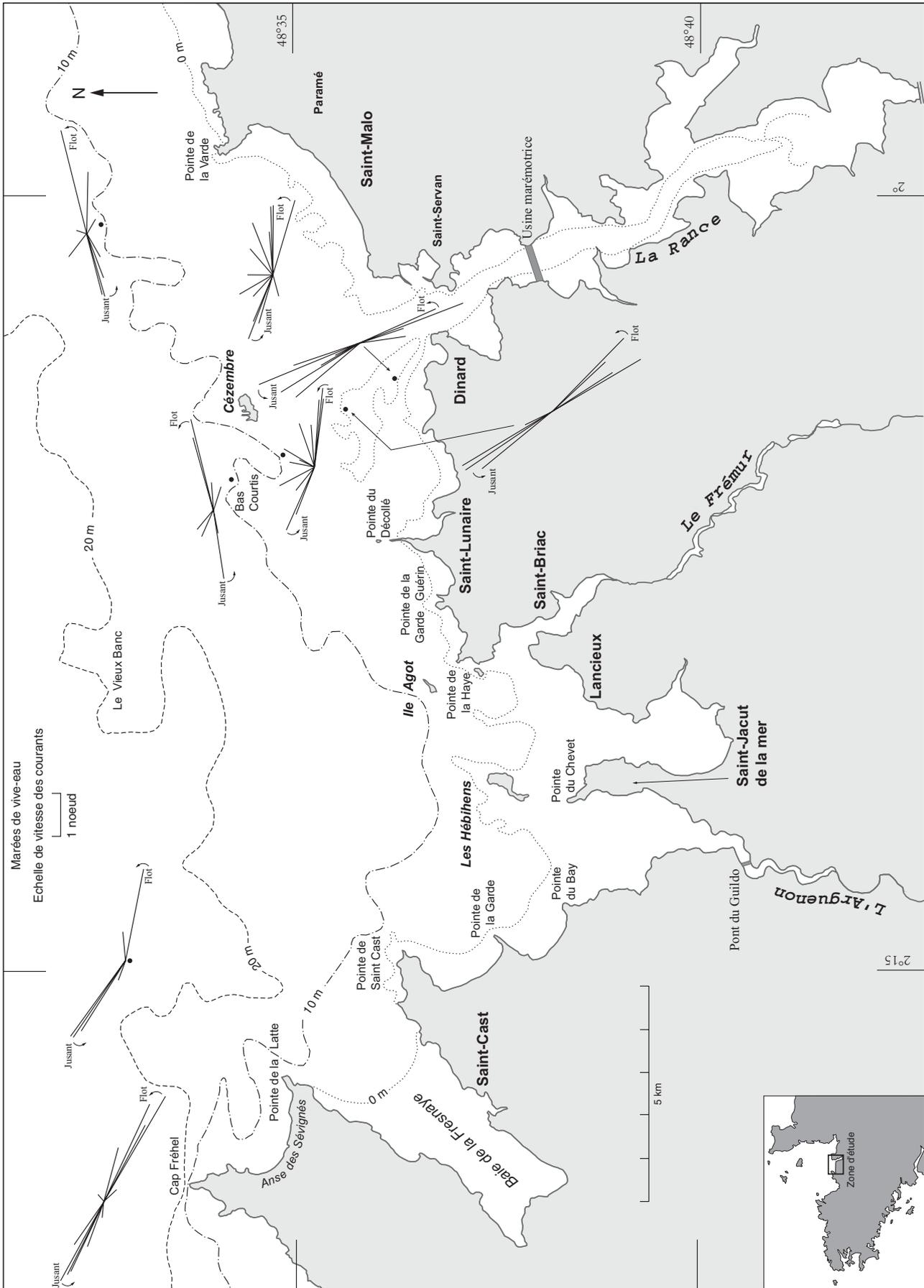


Fig. 1.- Présentation de la zone cartographiée et roses des courants entre le cap Fréhel et Saint-Malo (d'après Dagorne, 1966 et 1968).

Fig. 1.- Location of the study area and tidal currents distribution between cap Fréhel and Saint-Malo (from Dagorne, 1966, 1968).

Saint-Brieuc jusqu'à la baie du Mont Saint-Michel (Blanchard, 1999). La cartographie des formations superficielles concerne le domaine infralittoral mais aussi l'ensemble des zones intertidales largement découvrantes dans cette région à fort marnage. Les techniques utilisées comprennent la reconnaissance des fonds à l'aide du sonar à balayage latéral auquel sont associés des prélèvements à la benne ainsi que la cartographie morpho-sédimentaire des zones intertidales par l'analyse des photos aériennes et des levés de terrain.

L'objectif de cette étude est de décrire la nature et la morphologie des fonds marins afin d'identifier les grandes structures morpho-sédimentaires qui caractérisent cette zone côtière. Après une présentation générale du site, seront décrites les techniques utilisées et l'origine des données ayant servi de base à l'élaboration de la carte. Les principaux résultats obtenus seront interprétés en liaison avec les caractéristiques hydrodynamiques spécifiques du secteur.

Contexte géomorphologique et hydrodynamique

Le littoral nord de la Bretagne, compris entre le cap Fréhel et Saint-Malo a fait l'objet de nombreuses études, tant du point de vue de la géologie du substratum rocheux (Kerrien, 1972 ; Lefort, 1975 et Guennoc, *in* Augris et Hamon 1996), que de la couverture sédimentaire des fonds marins (Dagorne, 1966, 1968, Beigbeder *et al.*, 1972 ; Ruellan *et al.*, 1967, 1972).

Du cap Fréhel à Saint-Malo, la côte, très découpée et entaillée par plusieurs baies et estuaires, s'étend sur un linéaire d'environ 70 km (fig. 1). L'altitude des falaises rocheuses diminue d'ouest en est, passant de 40 m sur la rive gauche de l'Arguenon à une vingtaine de mètres aux abords de Dinard-Saint-Malo, les falaises les plus élevées (70 m) étant celles du cap Fréhel. Les côtes basses entre les pointes rocheuses sont occupées par des plages sableuses ou par de larges estrans dont les principaux sont successivement d'ouest en est :

- la baie de la Fresnaye, aux rives parallèles, correspondant à un fossé d'effondrement orienté au nord-est ;

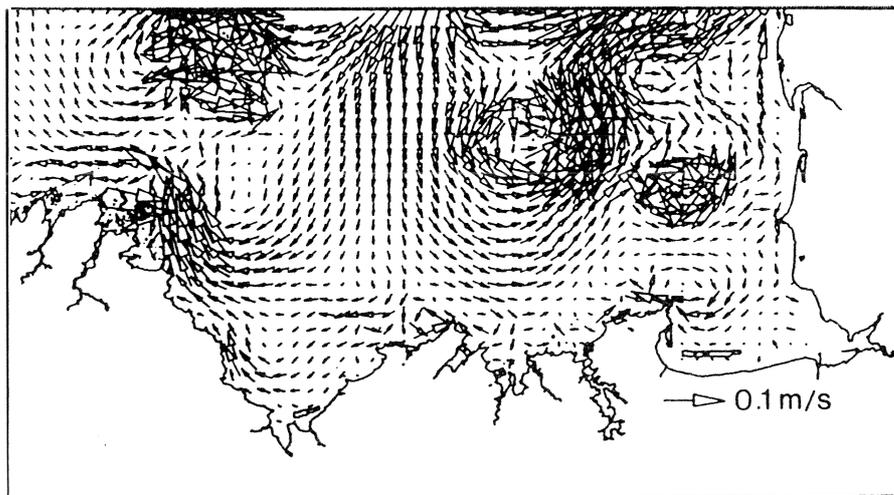


Fig. 2.- Champ de courants résiduels lagrangiens sentre la baie de Saint-Brieuc et Jersey (d'après Garreau, 1993 a).

Fig. 2.- Residual Lagrangian velocity fields between Saint-Brieuc Bay and Jersey (from Garreau, 1993a).

- l'estuaire de l'Arguenon, ouvert au nord ;

- la baie de Lancieux, également orientée au nord et séparée de l'estuaire précédent par la presqu'île de Saint-Jacut ;

- le petit estuaire du Frémur entre Lancieux et Saint-Briac, qui s'ouvre au nord-ouest ;

- enfin le vaste estuaire de la Rance, aux rives très découpées dans la série métamorphique du massif de Saint-Malo qui s'ouvre vers le nord-ouest et dont l'embouchure est occupée par un aménagement marémoteur.

En mer, l'isobathe 10 m représente la limite entre le domaine terrestre qui se prolonge vers le large par de multiples hauts-fonds et le golfe de Saint-Malo *s. s.* La profondeur 20 m est rapidement atteinte aux abords du cap Fréhel tandis qu'elle se situe à 6 ou 8 km au large entre Saint-Cast et Saint-Malo, en contournant le seul haut-fond remarquable qu'est le Vieux Banc (fig. 1).

La marée est le phénomène hydrodynamique majeur qui commande l'essentiel des mouvements des masses d'eau dans cette partie du golfe normand-breton. L'amplitude de la marée augmente d'ouest en est, et, pour un coefficient de marée de 95, le marnage passe de 10 m au cap Fréhel à 11 m à Saint-Servan, les plus grandes marées de vive-eau atteignant

13,60 m à Saint-Malo (Dagorne, 1966 et 1968). À l'échelle de l'ensemble du golfe normand-breton, les intensités maximum des courants peuvent dépasser 1,5 m/s, la principale zone de fort courant étant située entre Bréhat et les Roches Douvres (fig. 2). Des secteurs de forts courants sont également liés aux effets de cap, en particulier au niveau du cap Fréhel tandis que les maxima de courant restent faibles au fond des baies.

L'intensité des courants de flot est supérieure à celle des courants de jusant, et les roses des courants ont généralement un caractère alternatif. Au cap Fréhel, les roses de courants ont une orientation ESE au flot et WNW au jusant. Au large de Saint-Malo, elles pivotent et s'orientent à l'est au flot et à l'ouest au jusant. À l'embouchure de la Rance, la chenalisation renforce le caractère alternatif des courants qui sont dirigés vers le sud-est au flot et en direction strictement opposée au jusant (fig. 1) (Dagorne, 1966, 1968).

Entre le cap Fréhel et Saint-Malo, les courants résiduels lagrangiens (Garreau, 1993 a et b) ont des vitesses faibles, de l'ordre de quelques cm/s. La variation de l'orientation du trait de côte et les changements rapides de la bathymétrie dans les secteurs de hauts-fonds engendrent des disparités de directions des vecteurs des courants résiduels. Une succession de tourbillons anticycloniques et cycloniques se succèdent à une distance de moins de 6 km de la côte (fig. 2, Garreau 1993 a

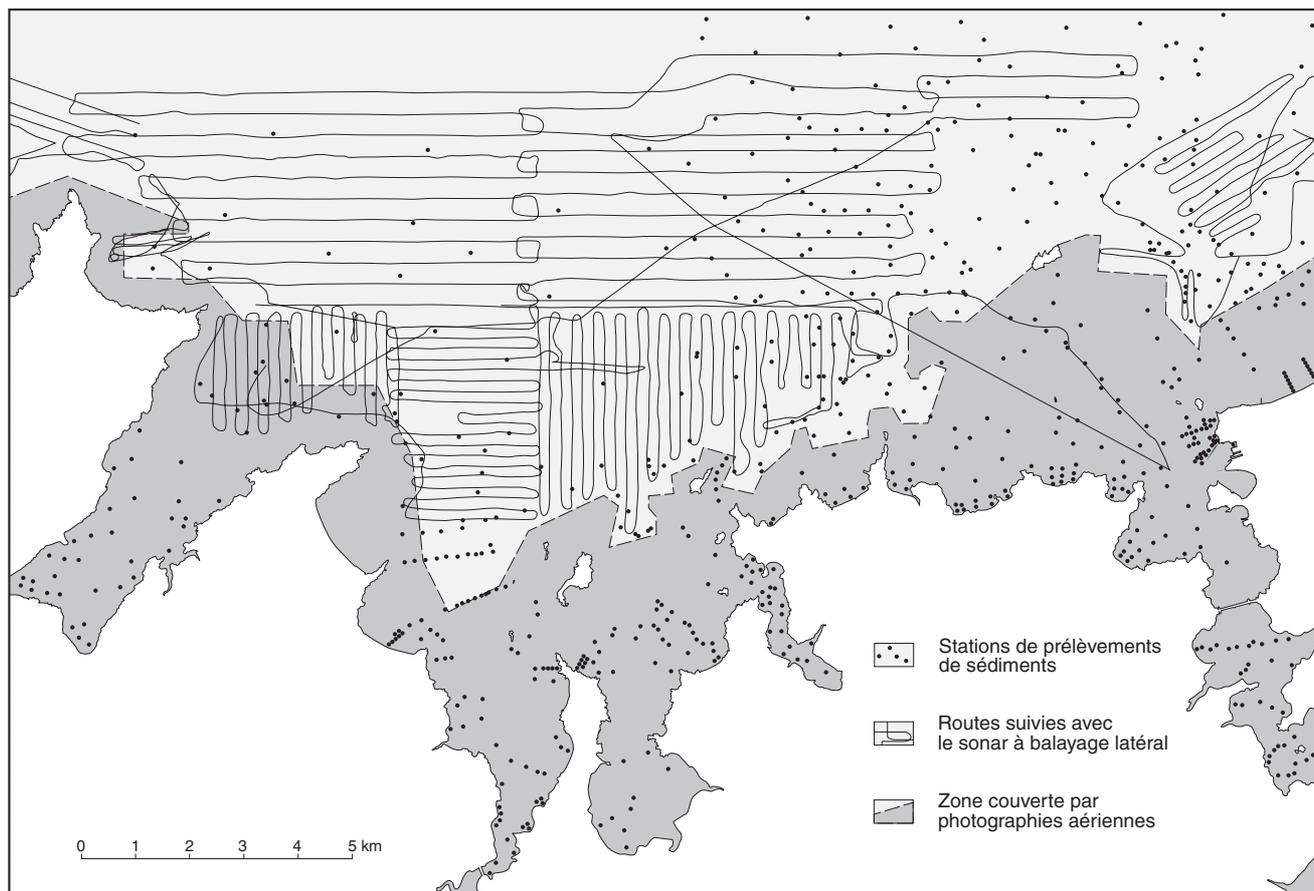


Fig. 3.- Plan de positionnement des données : sonar latéral, prélèvements sédimentologiques et couverture photographies aériennes.

Fig. 3.- Location map for the side-scan sonar data, sedimentological samples and aerial photographs.

et b). Au-delà vers le large, les courants résiduels lagrangiens décrivent une trajectoire courbe, passant du sud-est au nord-est. La circulation près du littoral est peu active, sans échange avec les eaux du large ce qui entraîne un faible renouvellement des masses d'eau dans les fonds de baies, particulièrement en baie de La Fresnaye, dans l'estuaire de l'Arguenon et en baie de Lancieux.

Les houles, mesurées en 1964 au large du cap Fréhel (Allen, 1982) montrent une hauteur significative d'environ 0,80 m, avec une période moyenne la plus fréquente comprise entre 8 et 9 secondes. Les roses des agitations (LCHF, 1984) soulignent la prédominance des houles de secteur WNW et des amplitudes maximales supérieures à 4 m. À Saint-Malo, des mesures réalisées entre 1990 et 1992 donnent une hauteur significative la plus fréquente comprise entre 0,50 et 0,70 m, avec une période moyenne d'environ 5 secondes (STNMTE, 1995). Ce secteur

côtier n'est pas à l'abri des agitations du large mais le fond des baies est relativement protégé d'une part à cause de la diffraction de ces houles autour des pointes, en particulier par le cap Fréhel et la pointe de Saint-Cast et d'autre part par leur amortissement sur les nombreux hauts-fonds et écueils qui tapissent l'avant-côte en face de l'embouchure de la Rance.

Techniques d'étude

En domaine infralittoral, la cartographie des formations superficielles a été établie à partir des données du sonar à balayage latéral associées à des prélèvements d'échantillons en vue de leur analyse sédimentologique. Les secteurs des petits fonds, inaccessibles en raison des très nombreux écueils de cette zone ou d'engins de pêche dormants, ainsi que les zones intertidales ont été reconnus à l'aide de photographies aériennes, elles aussi associées à des prélèvements afin de déterminer la nature des sédiments.

Le sonar à balayage latéral permet une reconnaissance en continu des fonds marins et fournit une image acoustique, ou sonogramme, qui donne la répartition des différentes formations et la morphologie détaillée des figures sédimentaires. Le principe du sonar à balayage latéral repose sur la variation du coefficient de rétrodiffusion du fond. Le signal acoustique, de fréquence 105 kHz, émis par les deux transducteurs qui équipent le « poisson » remorqué, est renvoyé avec plus ou moins d'intensité selon les caractéristiques du fond et est ensuite récupéré sous la forme d'enregistrements graphiques et/ou numériques (Berne *et al.*, 1986 ; Weber, 1989).

Le sonar utilisé est du type DOWTY 3050 dont le pouvoir de résolution est de 0,5 m. Les images sont réalisées en continu le long de profils de navigation sub-parallèles (fig. 3) qui couvrent l'ensemble des zones du large. La portée latérale de part et d'autre du « poisson » représente une largeur couverte de 200 m

le long de la route suivie par le navire. Au cours de la campagne, l'utilisation d'un GPS différentiel a permis un positionnement du navire avec une précision de l'ordre de quelques mètres.

Les sonogrammes ne donnant aucune information sur la nature des formations superficielles rencontrées, un calibrage des images obtenues est nécessaire pour associer aux différentes réponses acoustiques des classes de sédiment. L'ensemble de l'aire prospectée au sonar latéral a fait l'objet de 148 prélèvements de sédiments à l'aide d'une benne de type « Hamon », en 75 stations (fig. 3), permettant d'échantillonner les différents faciès sédimentaires rencontrés.

Dans la zone des petits fonds où la présence d'écueils et de hauts-fonds interdisait la navigation et donc la couverture sonar, la nature des formations superficielles a été déterminée à partir de prélèvements de sédiments réalisés par dragages au cours des années 1960 [Ruellan et Dagherne, 1963 ; Dagherne, 1966 ; Ruellan *et al.* (1967) ; Beigbeder *et al.* (1972)]. Les prélèvements avaient été faits à l'aide de la drague Rallier du Baty et les points d'échantillonnage étaient alignés selon le réseau Decca, à raison d'un espacement d'environ un demi-mille nautique entre les lignes de dragage et entre les dragages d'une même ligne. En moyenne, la densité des dragages effectués à l'époque était de l'ordre de 1 pour 0,7 km².

Près du rivage, la localisation des points de prélèvements a été contrôlée par recoupement d'amers et l'échantillonnage effectué à l'aide de bennes légères. Sur les estrans largement découverts à marée basse, les prélèvements sont faits le plus souvent le long de radiales perpendiculaires au trait de côte (fig. 3). Ils sont souvent associés à des levés topographiques et repérés par rapport à des directions définies et des points remarquables (Bouvier, 1993 ; Vaucourt, 1988, 1990 ; Juarez, 1984 ; Bonnot-Courtois, 1992, 1996 a, Bonnot-Courtois *et al.*, 1995, 1996).

Les faciès sédimentaires ont été déterminés par l'analyse granulométrique classique après séparation des fractions fines < 40 µm des fractions sableuses par tamisage sous eau. La classification granulométrique adoptée pour les sables

est analogue à celle de Wentworth (*in* Scholle, 1979), excepté pour la séparation entre les sables fins et les sables moyens qui se situe à 200 µm au lieu de 250 µm afin de tenir compte de la répartition des modes principaux des sédiments de ce secteur côtier. Les principales coupures granulométriques utilisées et les faciès sédimentaires leur correspondant sont reportés en légende de la carte (fig. 4).

Les photographies aériennes constituent un outil précieux pour l'analyse géomorphologique des zones intertidales et les zones faiblement immergées. La cartographie de ces secteurs a été établie à l'aide de la mission IPLI 1982 de l'IGN dont les prises de vue ont été réalisées au moment des basses mers de vive-eau, dans des conditions optimales d'observation des estrans alors largement découverts. La morphologie générale des plages apparaît clairement et la présence des bancs sableux ou de hauts fonds rocheux au niveau du bas estran et des petits fonds est facilement repérable (fig. 3).

Résultats

La carte des formations superficielles sous-marines entre le cap Fréhel et Saint-Malo a été éditée à l'échelle de 1/20 000 (Augris *et al.*, 2000) et est présentée dans cet article sous forme réduite (fig. 4).

Le domaine infralittoral

La prospection au sonar latéral a permis d'identifier de très nombreux platiers et pointements rocheux aux abords de Saint-Malo. À l'ouest, la formation des grès de Fréhel affleure largement autour du banc de l'Etendrée. Au nord, le Vieux Banc a pour ossature une remontée du substratum rocheux et à l'est, le socle continental se prolonge par de multiples roches à l'affleurement entre l'île Agot et la basse des Courtis. De plus, au centre et dans la moitié nord de la carte, des pointements rocheux apparaissent en de multiples endroits ce qui indique une très faible épaisseur de la couverture sédimentaire sur ces sites.

Faciès sédimentaires

L'ensemble du domaine infralittoral situé entre le cap Fréhel et les abords de Saint-Malo (Houlgatte, 1996) comprend plusieurs grands faciès allant des sables

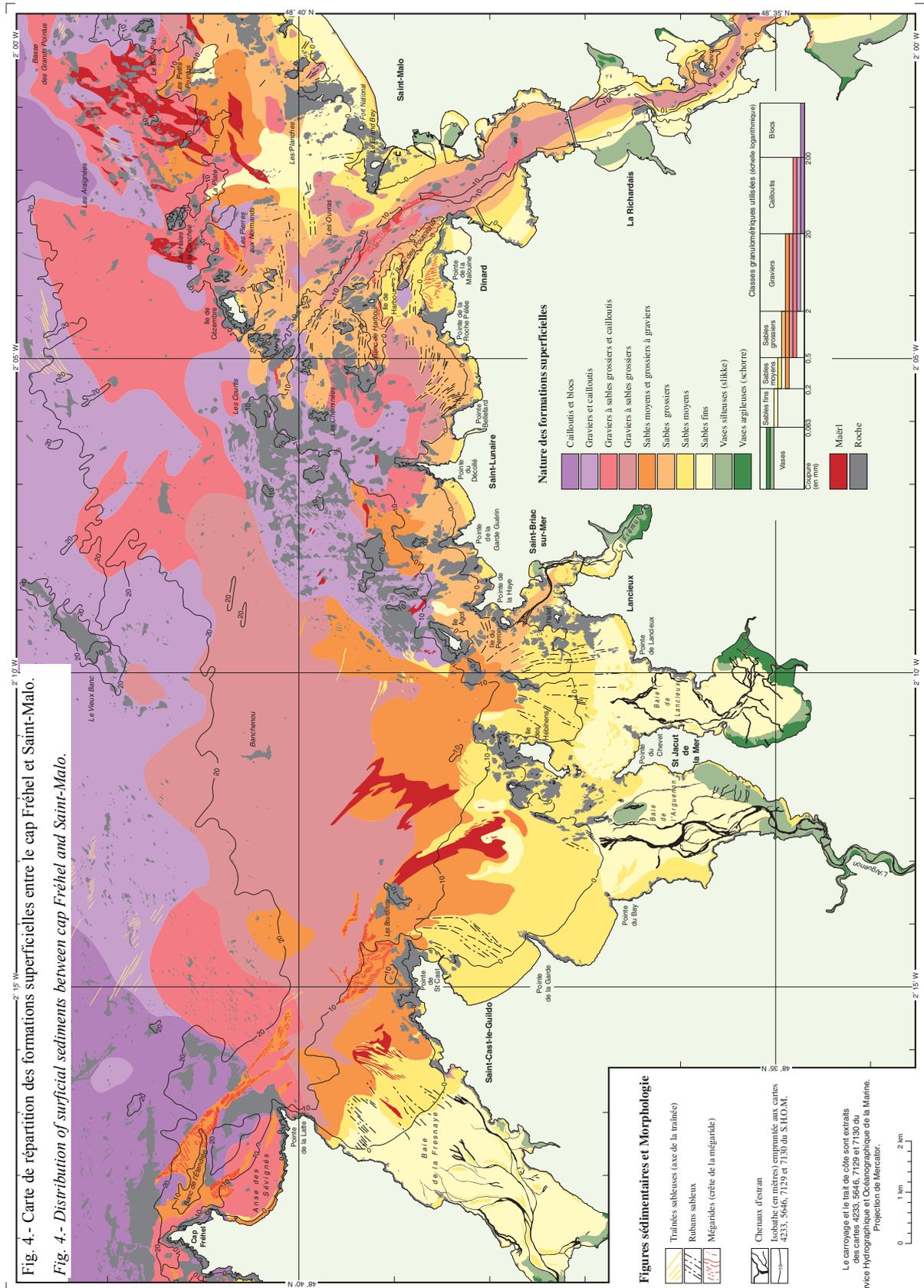
fins aux graviers et cailloutis, très largement présents au large.

Les sables fins, majoritairement composés par la fraction granulométrique comprise entre 63 µm et 200 µm, comportent systématiquement une part importante (20 à 30 %) de sables moyens. Les teneurs en vase de ces sables sont très variables (entre 2,8 et 14,5 %), et le taux moyen de calcaire de la fraction sableuse est de 55 %. Le sonogramme de ces sables fins apparaît en gris clair, plus ou moins piqué en fonction de l'importance du recouvrement par la crépidule (Blanchard et Houlgatte, 1997). Les sables fins sont présents près du littoral où ils se prolongent en domaine intertidal dans la baie de la Fresnaye et dans l'estuaire de l'Arguenon.

Les sables moyens, compris entre 200 et 500 µm, peuvent comporter une part non négligeable de fraction plus fine ou au contraire de sables grossiers. Les teneurs en vase varient entre 1,8 et 11,4 % avec une moyenne générale pour les sédiments de cette catégorie de 4,3 %. La teneur moyenne en calcaire est élevée, autour de 60 %. Au sonar latéral, ces sédiments ont un faciès gris moyen clair et se présentent sous forme de taches ou de rubans. Près de la côte, les sables moyens se répartissent largement devant les ouvertures des baies (La Fresnaye, l'Arguenon et Lancieux). Au-delà de l'isobathe 20 m, ce faciès de sables moyens se retrouve sous forme de traînées de plusieurs centaines de mètres.

Les sables grossiers, constitués d'une fraction s'étendant entre 500 µm et 2 mm, sont généralement dépourvus de fraction fine. Ils font la transition entre les sables moyens de bas de plage et des petits fonds subtidiaux et les faciès très hétérométriques des sables moyens et grossiers à graviers qui apparaissent autour de l'isobathe 5 m. À l'est de la zone cartographiée, ces sédiments grossiers mais dépourvus de graviers ont été reconnus au sonar latéral dans les écueils rocheux entre l'île Agot et Dinard, sur les fonds du chenal de la Rance ainsi qu'au nord de Saint-Malo.

Les sables moyens et grossiers à graviers, regroupent tous les faciès dont la fraction granulométrique dominante est comprise entre 200 µm et 2 mm, à laquelle s'ajoute un pourcentage élevé (25 %) de graviers aussi bien lithoclastiques que bioclastiques. La proportion de fraction fine est toujours très faible (< 3 %) et les



teneurs en calcaire restent élevées dans les sables moyens (60 %) et sont encore plus importantes (70 %) dans les sables grossiers. Ce faciès couvre près du quart de la zone prospectée, depuis la pointe de La Latte jusqu'au large de l'île Agot. Au niveau du cap Fréhel, il prolonge vers le sud-est le banc de l'Etendrée et forme un vaste placage au large de la pointe de Saint-Cast.

Le maërl, composé d'algues calcaires, bien conservées ou en débris, appartenant à la famille des Corallinacées, constitue un faciès particulier (Augris, 1995). En Bretagne, les espèces les plus communes sont *Phymatolithon calcareum* (Howson et Picton, 1997) et *Lithothamnion corralloïdes* et se présentent sous forme d'arbuscules libres, couleur « lie de vin » lorsqu'elles sont vivantes et de couleur pâle lorsqu'elles sont mortes. Les dépôts de maërl pur sont rares et le plus souvent mélangés avec des coquilles, graviers, sables et vases en proportions variables. La fraction granulométrique dominante de ces accumulations est celle des sables grossiers et graviers (en moyenne 30 %), avec un faible pourcentage (< 2,3 %) de vase. Les teneurs en calcaire, normalement très élevées, sont généralement constantes, autour de 72 %. L'écho-faciès au sonar latéral, de teinte gris foncé, se caractérise par l'omniprésence de mégarides de longueur d'onde inférieure à 2 m. Le mode de gisement du maërl est en vastes placages linguiformes répartis d'ouest en est à l'ouverture de la baie de la Fresnaye, entre la pointe de Saint-Cast et le large de l'île des Hébihens et dans un secteur au nord de Saint-Malo.

Les graviers à sables grossiers, sans cailloutis, sont des sédiments grossiers mais qui ne comportent pratiquement pas d'éléments de taille supérieure à 2 cm. Ces sédiments contiennent toujours environ 30 % de sables grossiers et leurs teneurs en vase sont très faibles, de l'ordre de 2 %. Les taux de calcaire sont très variables, compris entre 40 % et 75 % pour la valeur la plus élevée, liée à la présence constante de débris de maërl dans ces dépôts. Ce faciès sédimentaire occupe une large zone au centre du domaine cartographié et s'étend d'ouest en est de la pointe de La Latte au NNW des Courtis.

Les graviers à sables grossiers avec cailloutis se distinguent du faciès précédent par la présence d'une quantité notable

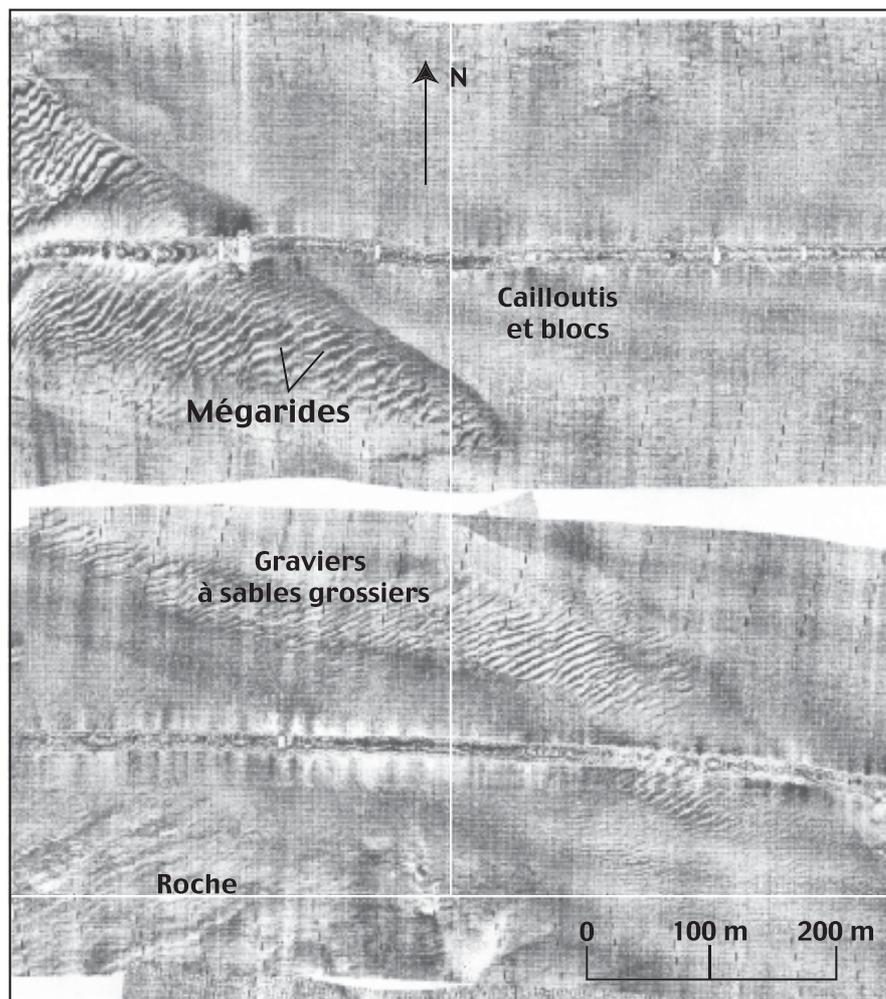


Fig. 5.- Sonogramme du secteur nord-ouest. Banc de l'Etendrée.

Fig. 5.- Sonograph of the Northwestern area. Etendrée bank.

de cailloux (de taille comprise entre 2 cm et 20 cm). Cette fraction très grossière est généralement détritique, entraînant une diminution des teneurs en calcaire du sédiment total à environ 49 %. Ces dépôts très grossiers ont été reconnus dans trois secteurs proches de la côte, d'ouest en est respectivement : à l'ouverture de l'anse des Sévigné, sur une large zone située au nord-est de la pointe de La Latte et dans un petit secteur de part et d'autre de la pointe du Décollé. Plus au large, ce faciès se retrouve également sur une grande surface au débouché de la Rance au-delà de Cézembre, ainsi que près des fonds rocheux au nord de Saint-Malo.

Les graviers et cailloutis constituent un faciès sédimentaire où les deux fractions granulométriques représentent ensemble plus de 75 % du sédiment. Les teneurs en vase sont très faibles (< 1 %) et le taux de calcaire varie entre 20 et 50 %. Les graviers et cailloutis occupent près de la moitié du

domaine étudié et se répartissent en deux secteurs : d'une part, ils occupent toute la partie du grand large de part et d'autre du Vieux Banc, et d'autre part, ils ceinturent les platiers rocheux entre l'île Agot au sud-ouest et la Courtis au nord-est.

Les cailloutis, ne contiennent pas plus de 20 % d'éléments de taille inférieure à 2 cm et ont une teneur en vase excessivement faible (< 1 %). La teneur en calcaire, d'origine biogène, est également faible (de l'ordre de 5 %) car ce faciès très grossier est formé pour l'essentiel d'éléments d'origine terrigène. Les fonds situés à l'ouest, du large de la pointe de La Latte aux abords du cap Fréhel, sont couverts par ces dépôts de cailloutis très grossiers.

Figures sédimentaires

Les données fournies par le sonar permettent d'analyser précisément la morphologie et l'orientation des figures

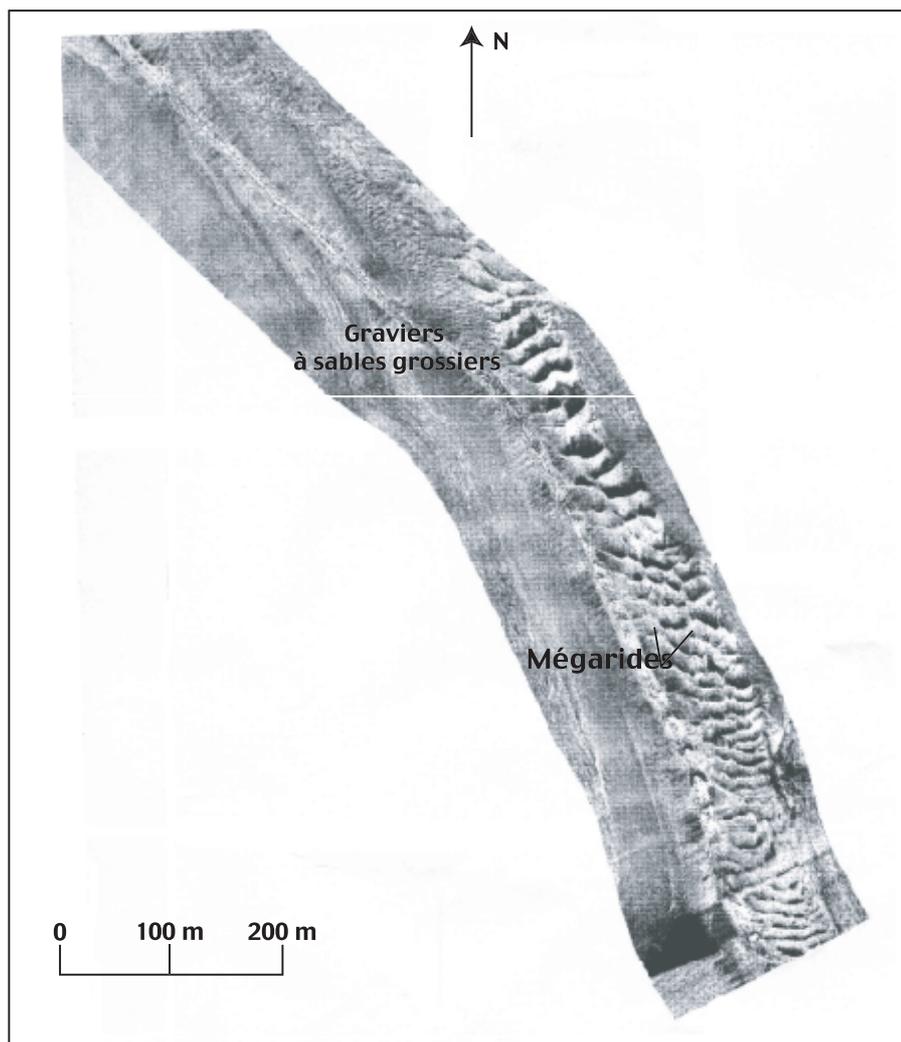


Fig. 6.- Sonogramme des fonds à l'embouchure de la Rance.

Fig. 6.- Sonograph showing megaripples near the mouth of the Rance.

sédimentaires présentes sur l'avant-côte du golfe de Saint-Malo. Les sédiments du large étant majoritairement formés de graviers et de cailloutis, peu mobiles, ces figures sédimentaires sont peu présentes dans le domaine cartographié. Classiquement, deux types de figures sédimentaires peuvent être identifiés : les figures longitudinales qui sont allongées parallèlement au courant qui les génère, et les figures transversales, caractérisées par une succession de lignes de crêtes perpendiculaires aux courants et à la houle.

Les figures sédimentaires longitudinales rencontrées sont les traînées sableuses, les rubans et les bancs. Les traînées sableuses formées de sables moyens, se rencontrent généralement dans les secteurs à faible stock de sédiments mobiles, comme au nord-ouest et au nord-est, au-delà de l'isobathe 20 m. Elles

constituent un bon indicateur de la direction des courants de marée.

Les rubans s'observent dans les secteurs proches du littoral, entre la baie de La Fresnaye et l'île Agot. La direction principale d'allongement des rubans se différencie très nettement d'ouest en est, en fonction de la modification d'orientation des courants de marée par les pointes rocheuses et les hauts fonds à l'entrée des baies. À l'ouest, en baie de la Fresnaye, les rubans sont orientés NE-SW, parallèlement aux rives de la baie, ils s'orientent de même NNE-SSW en face de la plage de Saint-Cast, suite à l'effet de déviation des courants par la pointe de Saint-Cast. Dans les petits fonds des baies de l'Arguenon et de Lancieux, les rubans s'allongent selon une direction nord-sud, alors qu'au large de la côte comprise entre Saint-Lunaire et Dinard, leur orientation

devient franchement ouest-est. Dans ce secteur, les modifications dans l'orientation des courants sont particulièrement visibles au niveau de la pointe Bellefard où l'axe des rubans sableux pivote vers le sud immédiatement à l'est de la pointe.

Dans la zone cartographiée, deux formes majeures d'accumulation de sables moyens et/ou grossiers à graviers ont pu être identifiées comme des bancs. À l'ouest, il s'agit du banc de l'Etendrée, d'une hauteur de 8 m, façonné en surface par des mégarides de longueur d'onde supérieure à 2 m (fig. 5). Ce banc se prolonge vers le sud-est sous forme de placages sableux bifides au large de la pointe de La Latte. À l'est, devant Dinard, le banc des Pourceaux, formé de sables grossiers et modelé par des mégarides (fig. 6), découvre aux basses mers de vive-eau et s'allonge en direction du sud-est sur la rive gauche du chenal de la Rance.

Les figures sédimentaires transversales les plus élémentaires sont constituées par les rides dont la longueur d'onde ne dépasse pas 60 cm et l'amplitude maximale avoisine 5 cm. La présence et la morphologie des rides dépendent d'une part de la granulométrie des sédiments, (rares sur les graviers, elles sont inexistantes sur les cailloutis) et d'autre part de la puissance des agents hydrodynamiques. En milieu marin, ces structures ne peuvent être observées que par vidéo sous-marine ou en plongée car leurs dimensions sont inférieures au pouvoir de résolution du sonar latéral.

Par contre, les structures sédimentaires de plus grande amplitude ont été reconnues comme des mégarides ayant une longueur d'onde supérieure à 60 cm et pouvant aller jusqu'à plus d'une dizaine de mètres pour des amplitudes de l'ordre de quelques décimètres. Les mégarides de longueur d'onde inférieure à 2 m sont systématiquement observées sur les sédiments de type maërl, avec une valeur régulière de longueur d'onde comprise entre 1 et 2 m. Leur profil transversal est parfaitement symétrique ce qui implique une remise en mouvement de ces accumulations sous l'action des houles. Les mégarides de longueur d'onde supérieure à 2 m se rencontrent principalement au niveau des bancs de sables moyens et/ou de sables grossiers, proches du littoral (fig. 6). Leurs profils transversaux dissymétriques indiquent une influence

marquée des courants de marée. Plus au large, des structures analogues mais de moins grande amplitude s'observent localement sur les fonds à graviers.

Le domaine intertidal

La découpe importante du trait de côte implique que la bande littorale proprement dite est caractérisée par la présence d'un grand nombre de plages sableuses, de dimensions modestes, encastées entre les pointes rocheuses. Ces systèmes sédimentaires fonctionnent comme des entités relativement indépendantes les unes des autres, du moins pour le domaine intertidal très réduit au niveau des pointes rocheuses. En dehors de ces plages, relativement ouvertes sur le large, plusieurs baies profondes et trois estuaires d'inégale importance débouchent dans le golfe de Saint-Malo.

Les plages sableuses externes

Les sables grossiers des petits fonds font place progressivement aux sables moyens, puis aux sables fins, au fur et à mesure que l'on remonte sur les parties hautes des plages. Au niveau de l'anse des Sévigné, entre le cap Fréhel et la pointe de La Latte, la plage est très peu développée et formée en majorité de matériaux grossiers, graviers et sables grossiers. Toujours à l'ouest du secteur cartographié, la plage de Saint-Cast et celle de Pen Guen (entre la pointe de La Garde et la pointe du Bay) sont largement développées et occupées par des sables moyens. Ces deux ensembles, orientés au nord-est, sont protégés des houles dominantes de nord-ouest d'abord par le cap Fréhel, puis par la pointe de Saint-Cast. Ils sont aussi relativement protégés des agitations de nord-est par les nombreux îlots et écueils de l'archipel des Hébihens. La zone intertidale s'étend largement sur une distance comprise entre 500 et 800 m et se prolonge sur l'avant-côte par des sables moyens qui passent progressivement aux sables plus grossiers. Des massifs dunaires, partiellement aménagés, bordent la haute plage.

Entre la baie de Lancieux et Dinard, les plages externes sont de dimensions très réduites, limitées latéralement par de très nombreuses indentations rocheuses du trait de côte. Les parties hautes de ces « plages de poche », relativement bien

protégées sont occupées par des sables moyens qui deviennent de plus en plus grossiers vers la basse plage où ils se raccordent aux faciès de sables grossiers et de graviers des petits fonds.

À Dinard, entre la pointe de La Roche Pelée et la pointe de La Malouine, la plage comprend des sables moyens, modelés en de nombreuses mégarides dans la partie basse de la plage. Les crêtes de rides sont orientées nord-sud, perpendiculairement aux houles d'ouest qui les façonnent. Sur l'avant-côte proche, les rubans sableux sont orientés ouest-est parallèlement aux courants de marée, renforcés dans cette zone entre le banc des Pourceaux et la côte. Immédiatement à l'est de la pointe de La Malouine, l'estran ne présente par contre aucune forme dynamique visible sur les photos aériennes. Les faciès sédimentaires sont des sables fins car cette plage, évoluant en mode calme, est très protégée des agitations, de toute provenance, par les deux pointes rocheuses qui l'encadrent d'une part, et par la présence d'un platier rocheux qui ferme au nord-ouest la quasi-totalité du bas de plage d'autre part. En outre, le banc des Pourceaux, émergé aux basses mers de vive-eau, constitue un obstacle supplémentaire à la pénétration des houles dans ce secteur. Enfin, la plage de Dinard située le plus à l'est, appartient à l'embouchure de La Rance et est de ce fait très protégée comme le montrent les faciès de sables fins qui occupent la majeure partie de la moyenne plage. Ces sables font place à des sables moyens vers le bas de plage où ils passent rapidement à des sables grossiers et des graviers dans la partie centrale du chenal.

À l'est de Saint-Malo, la plage de Paramé longue de 2 km est relativement protégée des houles dominantes de nord-ouest par la présence de nombreux écueils et îlots rocheux de l'avant-côte. Les faciès sableux dominant dans ce secteur, allant des sables fins de moyenne et basse plage aux sables grossiers qui forment le bourrelet littoral de haut de plage. Les faciès de sables fins et moyens se prolongent sur l'avant-côte par des sables grossiers mais la dynamique sédimentaire de ce secteur est complexe car perturbée par les innombrables platiers rocheux et îlots qui perturbent la propagation des houles et amortissent les vagues.

Les baies et les estuaires

Entre le cap Fréhel et Saint-Malo, deux grandes baies, celle de La Fresnaye et celle de Lancieux, et trois estuaires, L'Arguenon, La Rance et secondairement Le Frémur s'ouvrent sur le large avec des orientations différentes, guidées par la structure du bâti géologique.

La baie de La Fresnaye correspond à un fossé d'effondrement, large de près de 2 km, entre deux rives parallèles soulignant un système d'accidents majeurs d'orientation NE-SW (Nonn, 1953 ; Bousquet, 1967). Protégée des houles dominantes de nord-ouest par le cap Fréhel et la pointe de La Latte, cette baie présente peu de faciès sédimentaires mobilisables, seule l'agitation de nord-est pouvant y pénétrer directement. Les rubans sableux des petits fonds sont parallèles aux courants de marée et aux rives de la baie. La granulométrie des sables diminue progressivement depuis le bas estran jusqu'au fond de la baie, mais l'ensemble de la zone intertidale est couvert par des sables fins. Quelques bancs de sables moyens soulignent les berges des chenaux et les hauts de plage soumis à l'action des houles et adossés à la falaise rocheuse, tandis que les faciès fins vaseux se rencontrent dans les parties les plus internes de la baie et/ou au débouché de petits ruisseaux. Dans la partie sud-ouest, la plus abritée, le grain moyen des sédiments passe de 80 μm à 40 μm pour les zones les plus internes du schorre (Bouvier, 1993).

L'estuaire de l'Arguenon et la baie de Lancieux s'ouvrent vers le nord et ne sont séparés que par l'étroite bande de la presqu'île de Saint-Jacut. L'embouchure de l'Arguenon se présente comme un entonnoir encaissé entre des rives régulières, largement ouvert aux influences marines avec un débit fluvial très faible par rapport au prisme de marée qui pénètre dans l'estuaire. À l'inverse, la baie de Lancieux, très faiblement encaissée, est étroite au nord et s'évase dans sa partie méridionale (Vaucourt, 1988, 1990). Bien qu'orientés de la même façon par rapport aux agents dynamiques extérieurs, ces deux ensembles ne présentent pas la même répartition de leurs faciès sédimentaires.

Dans l'Arguenon, les vases et les silts occupent toute la partie amont de l'estuaire. La partie moyenne et basse de l'es-

tuaire comprend des faciès de sables fins qui passent progressivement à des sables moyens à l'embouchure près de l'archipel des Hébihens. Les sables moyens se rencontrent également d'une part sur les plages externes de la rive gauche au sud de la pointe du Bay, et d'autre part, sous forme d'une bande de sables riches en coquilles qui longe toute la rive droite. Dans la partie centrale de l'estuaire, ces sables moyens sont précédés par des vasières typiquement estuariennes. La présence de ces sédiments grossiers est liée à la propagation des houles à l'intérieur de l'estuaire qui montre que les plages atteintes par les houles dominantes de nord-ouest sont celles qui s'individualisent sur les cartes de répartition du matériel grossier (Vaucourt et Bonnot-Courtois, 1992). En effet, l'obliquité avec laquelle les houles atteignent la rive orientale de l'estuaire engendre une dérive littorale qui fait transiter les sables moyens en haut de plage du nord vers le sud. Ce phénomène ne s'observe pas sur la rive occidentale, protégée des houles de nord-ouest diffractées autour des pointes de Saint-Cast, de La Garde et du Bay, et aussi des houles de nord-est par l'archipel des Hébihens et la pointe du Chevet. Une dissymétrie apparaît donc entre les deux rives de l'Arguenon, la rive droite comprenant des sables moyens et coquilliers en haut de plage tandis que la rive gauche ne comporte que des sédiments vaseux en contact avec la falaise rocheuse.

En baie de Lancieux, il existe de même un gradient granulométrique décroissant depuis l'embouchure externe jusqu'aux parties méridionales les plus internes de la baie, avec une nette prédominance des sables fins au centre de la baie (Vaucourt, 1988). Les hauts de plage de la partie externe sont formés de sables moyens, parfois associés à des sables fins quand ils sont prolongés par des massifs dunaires. Au sud, les sédiments se répartissent en zones concentriques suivant les contours de la baie et les faciès vaseux occupent les parties les plus internes de façon symétrique à l'ouest et à l'est où s'est développé un vaste schorre. Cette répartition est directement liée à la circulation des courants de marée qui, au flot comme au jusant, suivent les contours de la baie (Bousquet, 1967 ; Vaucourt, 1988). La pénétration des houles dans cette baie est limitée par l'archipel des Hébihens qui amortit les houles de nord-ouest et par l'île Agot et la pointe de La Haye qui atténuent les houles de nord-est,

moins fréquentes. Seule l'agitation de nord peut pénétrer directement à l'intérieur de la baie, mais le goulet de la partie médiane protège le fond de baie qui est en voie de comblement. Houles et courants modèlent des figures sédimentaires au niveau du bas estran où les sables moyens forment de nombreuses rides et de petits bancs sableux qui se superposent aux sables fins entre la pointe du Chevet et celle de Lancieux.

Entre Lancieux et Saint-Briac débouche l'estuaire du Frémur dans lequel s'observe un fort gradient granulométrique décroissant depuis l'embouchure jusqu'au fond de l'estuaire, avec passage des sables grossiers aux sables moyens, puis fins et aux vases silteuses dans les parties les plus internes (Juarez, 1984). Ce gradient suit l'atténuation des courants de marée au fur et à mesure de leur progression vers l'amont, et des faciès vaseux s'observent également dans les anses internes abritées. La rive droite de l'estuaire, en face du goulet d'entrée, est attaquée frontalement par les houles de nord-ouest qui sont ensuite diffractées et pénètrent plus à l'amont où elles engendrent un transit des sables moyens de haut de plage vers le sud. La dynamique sédimentaire est active dans la partie centrale de l'estuaire où les sables moyens et grossiers sont remodelés par l'agitation et par les divagations du chenal dans lequel se renforcent les courants de marée. Comme dans l'Arguenon, le modelé et la dynamique des faciès sableux, évoluant sous l'action des houles, se superposent à la dynamique sédimentaire estuarienne des faciès fins vaseux, dominée par la marée.

Entre Dinard et Saint-Malo, l'embouchure de la Rance, orientée au nord-ouest, présente un chenal profond, occupé par des graviers à sables grossiers qui témoignent de l'intensité des courants dans ce secteur où le marnage atteint 13,60 m en grande vive-eau. Les rives de l'estuaire ont une morphologie irrégulière, formée d'une succession d'anses plus ou moins profondes taillées dans les schistes, séparées par des pointes rocheuses de migmatites plus résistantes (Bonnot-Courtois, 1996b). L'usine marémotrice est installée à environ 3 km en amont de l'embouchure proprement dite et isole en arrière d'elle un bassin où les eaux marines remontent sur une longueur d'une vingtaine de kilomètres. L'exploitation de l'usine entraîne des modifications du régime hydrologique de l'estuaire qui se

manifestent dans le bassin par une tenue des étales prolongées de plus d'une heure par rapport à la mer ouverte et par un abaissement du niveau moyen lié à la diminution du marnage, les niveaux bas ne descendant jamais en dessous de 4 m (par rapport au zéro hydrographique).

La répartition des faciès sédimentaires suit deux gradients granulométriques décroissants : un gradient transversal depuis le centre du chenal occupé par des graviers et sables grossiers jusqu'aux berges où l'on passe progressivement des sables moyens et fins aux vases silteuses ; un gradient longitudinal avec affinement de la taille des grains depuis l'embouchure jusqu'à la limite amont de remontée des eaux marines (Bonnot-Courtois *et al.*, 1995). L'embouchure externe est dominée par des sédiments grossiers ou sableux, les vases silteuses n'étant présentes que dans les zones très abritées de l'avant-port et du port de plaisance de Saint-Malo. Ces faciès fins sont mieux représentés dans les anses profondes de la Rance où les vases silteuses remplacent les sables fins au niveau du moyen estran. Dans ces secteurs très abrités des courants alternatifs puissants au niveau du chenal, les parties les plus hautes des berges peuvent être colonisées par la végétation du schorre.

Synthèse et conclusion

Le domaine marin côtier compris entre le cap Fréhel et Saint-Malo est caractérisé par une grande diversité du trait de côte dont la morphologie est guidée par l'hétérogénéité pétrographique des roches encaissantes (grès de Fréhel, diorites de La Latte, micaschistes, gneiss ou migmatites de la série métamorphique du massif de Saint-Malo) et de la tectonique qui les affecte. La frange littorale est composée de plages sableuses de petite taille, encastrées entre des pointes rocheuses, et de 5 baies plus importantes, (dont 3 estuaires), dans lesquelles s'est développé un prisme littoral.

Les faciès sédimentaires des plages externes comportent des sables moyens et des sables fins qui passent rapidement à des faciès grossiers de sables grossiers et graviers dès que l'on entre dans le domaine subtidal. La brutalité des falaises accores du cap Fréhel ne permet pas le développement de plages, le niveau des basses mers se trouvant à proximité du

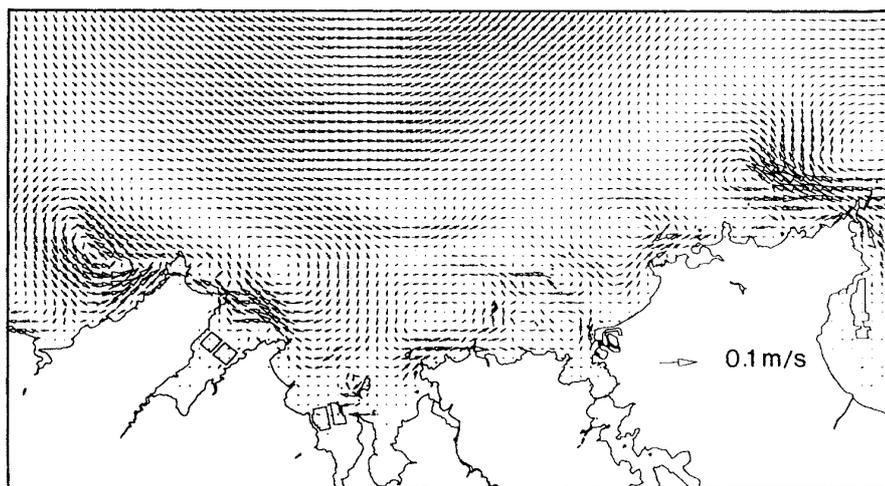


Fig. 7.- Champs de courant résiduel lagrangien entre le cap Fréhel et Cancale (d'après Garreau, 1993b).

Fig. 7.- Residual Lagrangian velocity fields between cap Fréhel and Cancale (from Garreau, 1993b).

trait de côte, la plage est formée de blocs effondrés en pied de falaise à l'anse des Sévignés et de sables grossiers, graviers et cailloutis vers le large. Au niveau des baies de La Fresnaye et de Lancieux, la faiblesse des pentes permet au contraire une sédimentation de sables fins qui couvrent de vastes étendues du bas et moyen estran. Des faciès silteux plus fins, plus ou moins vaseux, se rencontrent dans les parties les plus hautes de ces baies où peuvent alors se développer des schorres. L'orientation de ces deux baies par rapport aux agents dynamiques les place en situation très protégée, celle de La Fresnaye étant abritée des houles de nord-ouest par le cap Fréhel et la pointe de La Latte, celle de Lancieux, par l'archipel des Hébihens au nord-ouest et l'île Agot au nord-est. Les champs de courants résiduels lagrangiens (fig. 7) montrent que la circulation est peu active au niveau de ces baies profondes, peu propices au renouvellement des masses d'eau (Garreau, 1993a et b). L'embouchure de l'estuaire de la Rance est moins sensible à l'atténuation des courants (fig. 7) et les sédiments sableux grossiers et graviers tapissent le chenal bien marqué sur l'avant-côte jusqu'à

Cézembre. À l'est de Saint-Malo, la circulation résiduelle est peu active au niveau de la bande côtière qui est occupée par des faciès sédimentaires sableux aussi bien dans les petits fonds que sur la plage elle-même.

Le domaine infralittoral est caractérisé par une couverture sédimentaire généralement très grossière et hétérométrique, avec un gradient granulométrique décroissant du large vers la côte. Autour de l'isobathe des 20 m, la pente du relief sous-marin est faible et les éléments très grossiers prédominent, blocs et cailloutis recouvrent l'ensemble des fonds sur une épaisseur faible. Cette nappe de cailloutis commence à l'ouest du cap Fréhel, s'étend jusqu'au plateau des Minquiers et disparaît au niveau de la pointe du Grouin de Cancale (Beigbeder *et al.*, 1972 ; Ehrhold, 1999). A l'approche de la frange côtière, les faciès très grossiers terrigènes font place à des sables moyens et grossiers bien représentés en avant des baies de la partie ouest. Entre l'île Agot et Cézembre, entre les isobathes 10 et 20 m, les fonds présentent une multitude d'affleurements rocheux sous forme d'écueils et de platiers associés à des gra-

viers et cailloutis. Ces faciès très grossiers témoignent de la vigueur de l'hydrodynamisme dans ce secteur qui coïncide avec une augmentation des champs de courants résiduels (fig. 7), la propagation de la marée étant renforcée entre le plateau des Minquiers et le massif de Saint-Malo. Dans ce secteur, les sédiments sableux plus fins sont balayés par les courants et se retrouvent mieux représentés au-delà du chenal de la Rance à l'est de Saint-Malo. Les platiers rocheux qui se prolongent vers le nord-est au large de Cézembre dispersent les courants et protègent la frange côtière des houles de nord-ouest de telle sorte que les faciès sableux moyens et même fins recouvrent les petits fonds en avant de la plage de Saint-Malo.

Les sédiments les plus grossiers sont principalement d'origine lithoclastique, les teneurs en calcaire des sédiments diminuent généralement vers le large, corrélativement avec l'augmentation de la granulométrie. Entre 5 et 15 m de profondeur, le pourcentage de calcaire biogène augmente dans les faciès sableux et des bancs de maërl s'individualisent surtout à l'ouest à l'entrée de la baie de La Fresnaye et au large des Hébihens et sous forme de placages dans l'extrême nord-est.

Les accumulations sédimentaires de grande amplitude sont rares et concernent des bancs de sables grossiers comme le banc de l'Etendrée qui s'étend à partir du cap Fréhel en direction du sud-est et les bancs situés au large de Dinard comme le banc des Pourceaux allongé parallèlement au chenal de la Rance. D'autres figures sédimentaires longitudinales comme les nombreuses traînées sableuses au nord des Hébihens soulignent l'orientation et le renforcement des courants de marée aux abords de l'avant-côte. De même, les changements d'orientation des rubans sableux à l'entrée des baies correspondent à la déviation des courants par les pointes rocheuses qui les bordent au nord-ouest.

Références

- Allen H. (1982) – Mesures de houle en différents sites du littoral français. EDF/LNH. Edition n° 5, 18 p.
- Augris C. (1995) – Schéma de mise en valeur de la mer : baie de Saint-Brieuc et Trégor-Goëlo (Côtes d'Armor). Etude sur les extractions de matériaux marins. Rapport Ifremer pour la DDE des Côtes d'Armor, 55 p.
- Augris C., Hamon D., (coordinateurs) Maze J.P., Bonnot-Courtois C., Garreau P., Guennoc P., Guenole A., Houlgatte E. (1996) – Atlas thématique de l'environnement marin en baie de Saint-Brieuc. Edition Ifremer, 65 p.

- Augris C., Blanchard M., Bonnot-Courtois C., Houlgatte E. (2000) – Carte des formations superficielles sous-marines entre le cap Fréhel et Saint-Malo. Côtes d'Armor, Ille-et-Vilaine. Echelle 1/20 000. Edition Ifremer.
- Beigbeder Y., Dagonne A., Ruellan F. (1972) - Géomorphologie et sédimentologie de la partie méridionale du Golfe normand-breton. 4^e Congrès International de la Mer, 57-79.
- Berne S., Augustin J.M., Braud F., Chene G., Walker P. (1986) – Cartographie et interprétation de la dynamique sédimentaire des plates-formes continentales : améliorations de la technique d'observation par sonar latéral. *Bull. Soc. géol. Fr.* (8), t. II, n° 3, 437-446.
- Blanchard M. (1999) – Répartition et évaluation du stock de la crépidule (*Crepidula fornicata*) entre le cap Fréhel et le Mont Saint-Michel (Manche-Ouest). Rapport Ifremer Brest RST.DEL/9905, 44 p.
- Blanchard M., Houlgatte E. (1997) – Répartition de la crépidule (*Crepidula fornicata*) et des sédiments marins superficiels, du Cap Fréhel aux abords de Saint-Malo. Document couleur à l'échelle 1/25 000 (48°38'N). In Blanchard (1997) Rapport Ifremer Brest. DEL/97.03, 39 p.
- Bonnot-Courtois C. (1992) - La digue de Paramé et la plage de Saint-Malo. Sédimentologie et analyse des risques. *Géologues*, n° 97, 17-22.
- Bonnot-Courtois C. (1996a) - L'estuaire de la Rance, sédimentologie et aménagement. IV^e Journées Nationales Génie civil - Génie côtier, Dinard, Paralia ed., 247-251.
- Bonnot-Courtois C. (1996b) - L'estuaire de la Rance, géomorphologie et sédimentologie. *Penn ar Bed*, n° 160/161, 19-30.
- Bonnot-Courtois C., Caline B., Le Vot M., Malassingne O., Ousset O. (1995) - A new sedimentological map of the Rance estuary (Brittany, France). 16th Regional Meeting of Sedimentology, Pub. ASF, Paris, n° 22.
- Bonnot-Courtois C., Lafond L.R., Bizien H. (1996) - Agrandissement du cercle d'évitage des car-ferries à l'entrée de l'avant-port de Saint-Malo. Étude sédimentologique. Rapport DDE 35/Lab. Géomorphologie Dinard, 44 p.
- Bousquet B. (1967) – Contribution à l'étude du golfe normand-breton : morphologie littorale des trois baies La Fresnaye, l'Arguenon, La Beaussais. Thèse 3^e cycle, Univ. Rennes, 456 p.
- Bouvier P. (1993) - Morphogenèse et morphosédimentologie des vastes estrans plans en Bretagne septentrionale. Thèse Univ. Bretagne Occidentale, 395 p.
- Dagonne A. (1966) - Contribution à l'étude géomorphologique et sédimentologique du littoral et du pré littoral de la région de Dinard, Saint-Briac (Ille-et-Vilaine). Thèse Univ. Rennes. EPHE, 373 p.
- Dagonne A. (1968) – Le sud du golfe normand-breton : carte sédimentologique des fonds détritiques du pré littoral et répartition du calcaire organogène total. Doc. Lab. Géomorphologie Dinard, 2 cartes, échelle 1/67 500.
- Ehrhold A. (1999) – Dynamique de comblement d'un bassin sédimentaire soumis à un régime mégatidal : exemple de la baie du Mont Saint-Michel. Thèse Dr. Univ. Caen, 294 p. + annexes.
- Garreau P. (1993a) – Hydrodynamics on the North Brittany coast : a synoptic study. *Oceanologica Acta*, vol. 16, n° 5-6, 469-477.
- Garreau P. (1993b) – Conditions hydrodynamiques sur la côte Nord Bretagne. Rapport Ifremer. DEL 93.02, 31 p.
- Houlgatte E. (1996) – Répartition de la crépidule (*Crepidula fornicata*) et des sédiments marins superficiels, du cap Fréhel aux abords de Saint-Malo. Rapport de contrat pour Ifremer, n° 95 2 431139 DEL. 2 volumes : & : notice 27 p. et carte h.t. au 1/25 000 : 2 : annexes 186 p.
- Howson C.M., Picton B.E. (Eds.) (1997) – The species directory of the marine fauna and flora of British Isles and surrounding seas. Ulster Museum and The Marine Conservation Society, Belfast and Ross-on Wye. Ulster Museum Publication n° 276, 508 p.
- IGN (1982) – Mission aérienne IPLI. Échelle : 1/20 000.
- Juarez J. (1984) - Comportement sédimentaire de la baie de Saint-Briac. Bretagne (France). Mem. ENTPE, 79 p.
- Kerrien Y. (1972) – Carte géologique de la France à 1/320 000. Rennes-Cherbourg. BRGM, feuille 7–12. 2^e édition.
- LCHF (1984) – Golfe normano-breton. Étude du régime de l'agitation : approche des agitations du large. Rapport CNEXO, 60 p.
- Lefort J.P. (1975) – Le socle périarmoricain. Étude géologique du socle submergé à l'ouest de la France. Thèse Dr. Es Sciences. Rennes, 217 p.
- Nonn H. (1953) – Morphologie du littoral breton entre Saint-Cast et Dinard. *Bull. Inf. C.O.E.C.*, n° 6, 29-46.
- Ruellan F., Beigbeder Y., Dagonne A. (1967) – Répartition des fonds sédimentaires détritiques dans la partie méridionale du golfe normand-breton (au sud du parallèle de 48°46'48" – 54G20°). *C.R. Acad. Sci. Série D*, t. 264, 1580-1583.
- Ruellan F., Beigbeder Y., Dagonne A. (1972) – Les feuilles de Saint-Malo et de Saint-Briac de la carte sédimentologique des fonds marins. Mémoire du BRGM n° 79, p. 281-292.
- Scholle P.A. (1979) – A color illustrated guide to constituents, textures, cements and porosities of sandstones and associated rocks. AAPG Memoir 28, 201 p.
- STNMTE (1995) – Catalogue de fiches synthétiques de mesures de houle. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Équipement et des Transports. 171 p.
- Vaucourt C. (1988) - Morphologie et sédimentologie littorales dans la baie de Lancieux et l'estuaire de l'Arguenon (Côtes du Nord). Mem. Maîtrise. Univ. Paris IV / EPHE. 165 p.
- Vaucourt C. (1990) - Dynamique littorale et sédimentation infratidale dans le secteur de Saint-Jacut de la mer (Côtes d'Armor). Mem. DEA Univ. Bretagne occidentale/EPHE, 135 p.
- Vaucourt C., Bonnot-Courtois C. (1992) - Dynamique sédimentaire dans les baies de Lancieux et de l'Arguenon (Côtes d'Armor). *Norois*, Poitiers, t. 39, n°153, 29-44.
- Weber O. (1989) – Utilisation et intérêt de l'emploi du sonar latéral sur le plateau continental. Cours intensif européen ; connaissance et gestion de la frange littorale et du proche plateau continental. AESTM Strasbourg, 333-356.