

Gentil, F.

RST/IFREMER/DYNECO/AG/07-19/REBENT

Résultats de la surveillance du Benthos

Région Bretagne

> Suivi stationnel des sables sublittoraux 2006

Édition décembre 2007



Coordination

ifremer



Réf. photo. (F. Gentil) : L'anémone de sable ***Peachia cylindrica*** (Reid, 1848), espèce caractéristique mais rare dans les fonds de sables fins sublittoraux.

Avant propos

Le REseau de surveillance BENThique, le REBENT, a pour objectifs d'acquérir une connaissance pertinente et cohérente des habitats benthiques côtiers, et de constituer un système de veille pour détecter les évolutions de ces habitats, à moyen et long termes, notamment pour ce qui concerne la diversité biologique. Ce réseau devrait s'étendre à terme sur l'ensemble du littoral métropolitain.

La Bretagne constitue la région Pilote. Sur cette région, après une phase d'avant-projet (2001-2002), la stratégie opérationnelle mise en œuvre depuis 2003 englobe un inventaire régional d'habitats, des cartographies des habitats sur des secteurs de référence, le suivi de la dynamique spatiale du couvert végétal et le suivi de la diversité végétale et animale.

Coordonné par Ifremer, ce réseau associe sur la région Bretagne de nombreux partenaires scientifiques et techniques : l'Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM) de Brest, le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN), station de Concarneau, la Station Biologique de Roscoff, le Laboratoire de Géomorphologie (EPHE/CNRS) de Dinard, le Centre d'Etudes et de Valorisation des Algues (CEVA) de Pleubian, les départements DYNECO et LER d'IFREMER.

Le Rebent Bretagne bénéficie d'un financement exceptionnel décidé en CIADT, du soutien financier de la Région Bretagne qui s'inscrit à partir de l'année 2007 dans le cadre du CPER ainsi que d'un financement de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne pour les prélèvements concernant l'application de la Directive Cadre Eau (DCE).

Les suivis de la biodiversité ont été mis en place sur une sélection d'habitats comprenant des habitats remarquables et des habitats largement représentés : dans la zone de balancement des marées, ils concernent en particulier les sédiments fins, les herbiers et certains types de zones rocheuses ; dans les petits fonds, il s'agit des sables fins, des bancs de maërl et de certains types de fonds rocheux suivis en plongée.

Chaque habitat est placé sous la responsabilité thématique d'un laboratoire, il est échantillonné régulièrement, selon un protocole adapté dans des lieux de surveillance répartis le long du littoral. A partir de 2007, la stratégie d'échantillonnage retenue tient compte des contraintes définies pour le contrôle de surveillance DCE.

Les informations produites se présentent sous la forme de fiches techniques, précisant les protocoles mis en œuvre, de fiches descriptives pour les lieux de surveillance, d'un bulletin, visant à communiquer annuellement les résultats sous une forme graphique facile à lire, de données (stockées sous une forme intermédiaire en attendant le développement en cours de la base Quadrige²). Les premiers bulletins établis sur la région Bretagne (édition 2005) ont été présentés dans le cadre des journées Rebent 2006.

Cette nouvelle édition complète dans l'espace et dans le temps les séries temporelles déjà entamées et permet de mieux appréhender la variabilité à l'échelle régionale.

Vous retrouvez sur le site du réseau Rebent (<http://www.rebent.org/>), l'ensemble des documents mis en forme. Ces informations peuvent être librement téléchargées et utilisées, sous réserve de citation.

Brigitte Guillaumont

Coordination Rebent-Bretagne

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
1. Présentation des acteurs	3
2. Présentation générale de l’habitat des sables fins sublittoraux et de la stratégie du suivi	4
3. Résultats de surveillance	8
3.1. Documentation des figures.....	8
3.1.1. Granulométrie.....	8
3.1.2. Matière organique	10
3.1.3. Richesse spécifique et Abondance	11
3.1.4. Groupes écologiques et coefficient benthique	13
3.1.5. Les groupes trophiques.....	15
3.2. Analyse sédimentologique	18
3.2.1. Analyse granulométrique	18
3.2.2. Matière organique	20
3.3. Composition spécifique.....	21
3.4. Richesse spécifique et Abondance.	23
3.4.1. Richesse spécifique	23
3.4.2. Abondance.....	24
3.5. Structure écologique.....	25
3.6. Structure trophique.....	27
4. Commentaires.....	28
Références bibliographiques	30

1. Présentation des acteurs

Brigitte GUILLAUMONT (IFREMER/DYNECO/AG)

Coordination Rebent Bretagne, édition

Franck GENTIL (Station Biologique de Roscoff)

Responsabilité scientifique, expertise taxonomique, rédaction

Caroline BROUDIN (Station Biologique de Roscoff)

Analyse en laboratoire, expertise taxonomique

Caroline BROUDIN (Station Biologique de Roscoff)

Prélèvements de terrain (mission THALIA 2006)

Jacques GRALL (Observatoire IUEM)

Benjamin GUYONNET (LEMAR)

Marion MAGUER (LEMAR)

Renaud MICHEL (Station Biologique de Roscoff)

2. Présentation générale de l'habitat des sables fins sublittoraux et de la stratégie du suivi

La Bretagne possède un important linéaire de près de 3 000 km de côtes très découpées, d'une grande variété, alternant milieux sableux et rocheux, côtes basses, falaises, rias, estuaires, baies ouvertes. Globalement, on considère que le littoral breton est constitué d'à peu près 40% de milieux sableux, 30% de milieux rocheux, et 30% de marais et vasières.

Les fonds marins autour de la Bretagne sont caractérisés par une opposition entre deux entités géomorphologiques : la Manche occidentale et la mer d'Iroise d'une part, et le secteur Nord-Gascogne d'autre part.

Ainsi combinant cette variété géomorphologique et des situations marines contrastées, les côtes nord-bretonnes, marquées par les forts courants de marée de la Manche, s'opposent à celles du Sud-Bretagne où l'hydrodynamisme océanique est dominant par rapport au phénomène de la marée.

De ces particularités des côtes bretonnes résulte la grande variété en milieux abritant une forte diversité biologique (végétale et animale).

Les travaux d'exploration à grande échelle des fonds côtiers et du plateau continental autour de la Bretagne (Cabioch, 1961, 1968 ; Glémarec, 1964, 1969 ; Retière, 1979 ; Toulemont, 1972) ont décrit les peuplements macrobenthiques et montré que leur répartition est largement tributaire des conditions écologiques abiotiques comme l'hydrodynamisme, la granulométrie, les paramètres physico-chimiques de l'eau, ... On sait ainsi que la présence des fonds de sables fins propres ou envasés est liée à un hydrodynamisme modéré des courants de marée, et qu'ainsi en Manche, les côtes françaises sont caractérisées par la présence de surfaces limitées et discontinues de sédiments sableux essentiellement cantonnés dans les zones abritées comme les fonds de baie (Cabioch *et al.*, 1977 ; Gentil & Cabioch, 1997, ...). Ici encore, on peut noter une différence nette entre les côtes nord et sud de la Bretagne : les fonds de sables fins largement répandus sur les côtes sud (Glémarec, 1969 ; Menesguen, 1980) opposés aux rares unités de sables fins pour les côtes nord (Cabioch, 1968 ; Gentil & Cabioch, 1997).

Dans le schéma général de répartition des peuplements macrobenthiques du plateau continental nord-européen (Glémarec, 1973), les fonds sédimentaires (depuis les vases jusqu'aux cailloutis), et spécialement les fonds sablo-vaseux occupent une place particulière en raison de leur importance vis à vis de nombreuses activités halieutiques.

En effet, l'activité humaine montre un impact non négligeable sur les peuplements des sables fins sublittoraux. Par exemple, la pêche au chalut a de nombreuses conséquences, comme la remise en suspension dans l'eau de particules fines ou la destruction d'espèces benthiques pouvant aller jusqu'à leur disparition (exemple de *Pinna rudis* dans le golfe de Gascogne (Glémarec, 1978).

La prise en compte des peuplements sublittoraux de sables fins plus ou moins envasés s'impose pour plusieurs raisons (Guillaumont *et al.*, 2001) :

- ce sont des formations sédimentaires typiques des environnements côtiers sous la dépendance d'un hydrodynamisme relativement faible permettant une sédimentation des particules fines (pélites); ainsi l'hydrodynamisme a une influence directe sur la granulométrie, particulièrement sur la proportion de pélites (particules de taille inférieure à 63 μ m), ce qui sera déterminant pour la nature du sédiment et par conséquent pour la composition du peuplement qui lui est associé,

- l'anthropisation des zones côtières conduit souvent à des apports de matière organique sous forme particulaire, directement (par des effluents et par les arrivées estuariennes), ou indirectement (par eutrophisation des eaux amenant des développements de producteurs primaires), particules qui vont se déposer près des côtes sur ces fonds à sédimentation fine,

- ces peuplements sont bien connus pour abriter une diversité spécifique élevée associée à de fortes biomasses,

- la sensibilité particulièrement nette de ces peuplements vis à vis de la contamination pélagique ou de l'enrichissement en matière organique s'exprime par des changements structuraux et fonctionnels : en termes d'espèces (espèces sensibles qui vont disparaître ou régresser, espèces opportunistes qui vont s'installer ou proliférer, ...), en termes de biomasses, de guildes trophiques, Depuis quelques années, des indicateurs de la qualité du milieu pour ces peuplements de sédiments fins sont proposés à partir de ces changements structuraux et fonctionnels (Grall & Glémarec, 1997; Borja *et al.*, 2000).

La sélection des sites pour le suivi stationnel des sables fins sublittoraux a été d'abord faite en essayant de répartir régulièrement des sites autour de la Bretagne en fonction de la présence de ces sédiments, puis en considérant les différents paramètres abiotiques et « anthropiques » qui régissent ce type de milieu. Enfin pour déterminer localement les localisations des stations, il a été tenu compte des données anciennes ou des suivis déjà en cours.

Sur les dix secteurs primitivement sélectionnés autour de la Bretagne, neuf ont pu effectivement être échantillonnés, ce sont du nord au sud (voir la carte : figure 1) : La baie de Saint-Brieuc, la baie de Lannion, la rade de Brest, la baie de Douarnenez, la baie d'Audierne, Concarneau, Lorient, la baie de Quiberon, la baie de Vilaine.

Le secteur Baie du Mont Saint Michel n'a pu être retenu en raison de l'absence de sédiments fins non impactés par les proliférations de crépidules (les sédiments fins y sont essentiellement représentés par des faciès de sédiments hétérogènes envasés : voir Augris & Hamon, 1996 ; Noël P. *et al.*, 1995).

En complément de ces neuf secteurs, se rattache le secteur de la baie de Morlaix (avec deux sites différents : Pierre Noire et Rivière de Morlaix) qui fait déjà l'objet d'un suivi benthique à long terme (Dauvin, 1979, 1984, 1996 ; Gentil, 2000) et dont on présentera les données 2006 des sables fins envasés de Pierre Noire, données équivalentes aux autres secteurs.

Ce sont donc au total les résultats pour l'année 2006 sur dix secteurs autour de la Bretagne qui sont présentés (figure 1).

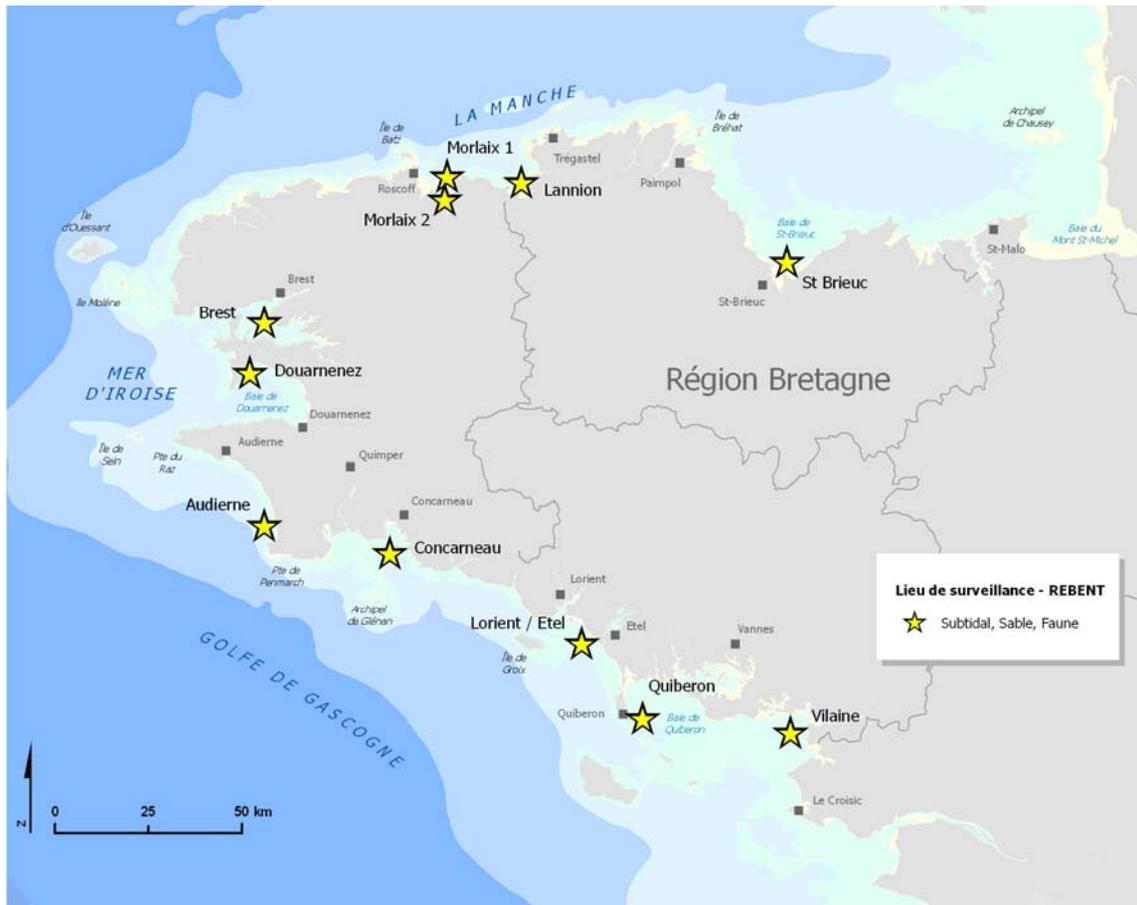


Figure 1.- Localisation des secteurs choisis pour le suivi des sables fins sublittoraux.

Méthodologie

Une fiche technique « échantillonnage quantitatif des biocénoses subtidales des fonds meubles » a été mise au point en 2003 (Hily & Grall, 2003 : FT01-2003-01 sur le site REBENT) ; elle sera retenue pour le suivi stationnel des peuplements sublittoraux des sables fins envasés.

Suivant les recommandations issues de l'APS (Guillaumont *et al.*, 2001), la variabilité spatiale sera appréhendée en considérant trois stations peu éloignées les unes des autres dans chaque site, avec 3 réplicats (= prélèvements) pour chaque station (figure 2).

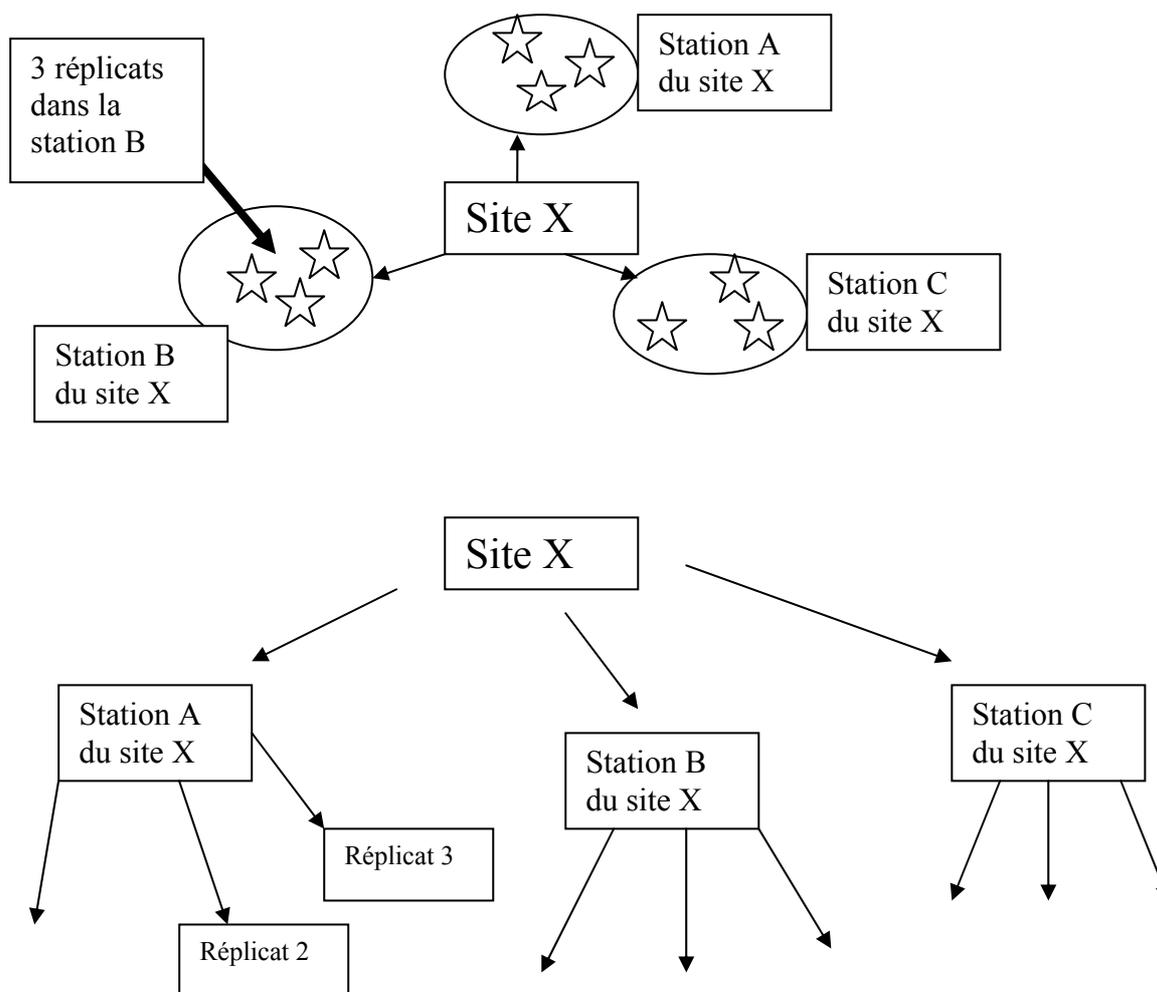


Figure 2 : principe de répartition des répliquats (= prélèvements) par station, et des stations pour chaque site sélectionné.

Travail en mer :

Les prélèvements (répliquats) se font à l'aide de la benne Smith & McIntyre (surface d'échantillonnage de 0,1m²). Le contenu de chaque benne est tamisé sur une maille ronde de 1 mm de diamètre. Puis le refus est conservé individuellement dans une solution salée et neutralisée à 10% de formol, en attendant d'être trié en laboratoire.

Pour chaque station, un coup de benne supplémentaire est effectué pour les analyses sédimentaires et les mesures de matière organique. Le sédiment ainsi prélevé, est stocké au congélateur pour être analysé ultérieurement.

Travail au laboratoire :

Après coloration au rose Bengale, la macrofaune de chaque prélèvement est triée, puis identifiée jusqu'à l'espèce dans la mesure du possible.

Pour chaque espèce ou groupe taxonomique, des mesures de biomasse sont réalisées selon le protocole suivant (Crisp, 1984) : après un passage à l'étuve (48h à 80°C), le poids sec avec cendres (PS) est déterminé avec une balance de précision. Chaque échantillon passe ensuite au four (6h à 520 °C), ce qui permet de mesurer le poids sec de cendres (PSC).

La différence entre les deux mesures obtenues (poids sec – poids sec de cendres) permet de calculer le poids sec libre de cendre (PSLC) :

$$\text{PSLC} = \text{PS} - \text{PSC en grammes}$$

Pour l'étude granulométrique, les échantillons (une fois décongelés) séjournent 48h à l'étuve à 80°C, puis sont pesés avant d'être lavés à l'eau douce sur un tamis de maille 63µm, et ensuite à nouveau séchés à l'étuve à 80°C pendant 48h, et sont pesés une nouvelle fois. Cette manipulation permet d'estimer le taux de pélites (particules de taille inférieure à 63µm) par différence entre le poids sec avant lavage et le poids sec après lavage.

A la suite, le sédiment, une fois lavé et séché, passe sur une colonne de tamis AFNOR. Chaque fraction obtenue est ensuite pesée avec une balance de précision.

Pour chaque fraction granulométrique, les résultats bruts sont exprimés en pourcentage pondéral de l'échantillon de départ.

Pour les mesures de matière organique (Buchanan, 1984), le sédiment est séché à l'étuve pendant 48h à 80°C, pesé puis passé au four à 520°C pendant 6h, et les résidus sont pesés. La différence entre les deux mesures obtenues (poids sec total – poids sec des résidus) permet d'estimer la fraction de matière organique présente dans l'échantillon de sédiment.

Les résultats sont exprimés en pourcentage pondéral de l'échantillon de départ.

3. Résultats de surveillance

3.1. Documentation des figures

3.1.1. Granulométrie

Pour chaque site, trois échantillons sont prélevés à raison d'un par station afin d'obtenir une valeur moyenne (et écart-type) par site échantillonné.

Chaque échantillon de sédiment analysé subit le traitement décrit dans la partie méthodologie. Après passage sur la colonne de tamis AFNOR, chaque fraction recueillie et pesée est exprimée sous forme de pourcentage de la masse totale de sédiment analysé. En considérant une ou plusieurs fractions, on peut ensuite définir plusieurs catégories sédimentaires suivant la classification adoptée par Larssonneur (1971, 1977) et Vaslet *et al.* (1975) (tableau 1).

Tableau 1. Catégories sédimentaires adoptées en fonction du maillage des tamis AFNOR utilisés, et correspondance en unités phi Φ (d'après Larssonneur, 1971, 1977 ; Vaslet *et al.*, 1975)

Diamètre maille (μm)	unités Φ	catégories sédimentaires
2000	-1	graviers et cailloux
1250	-0,32	sables grossiers
1000	0	
500	1	
315	1,67	sables fins
200	2,32	
125	3	sables très fins
100	3,32	
90	3,48	
63	3,99	pélites
40	4,64	

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de graphiques combinés (figure 3) : en abscisses, le diamètre des grains est exprimé en unités micrométriques (μm) et en unités Phi (Φ), où $\Phi = -\text{Log}_2 [\text{diamètre de la maille du tamis (en mm)}]$.

La contribution de chaque fraction au poids total est exprimée sous forme d'histogramme, complété par une courbe cumulée des pourcentages pondéraux (figure 3).

Exemple d'illustration des résultats obtenus par l'analyse granulométrique des sédiments :

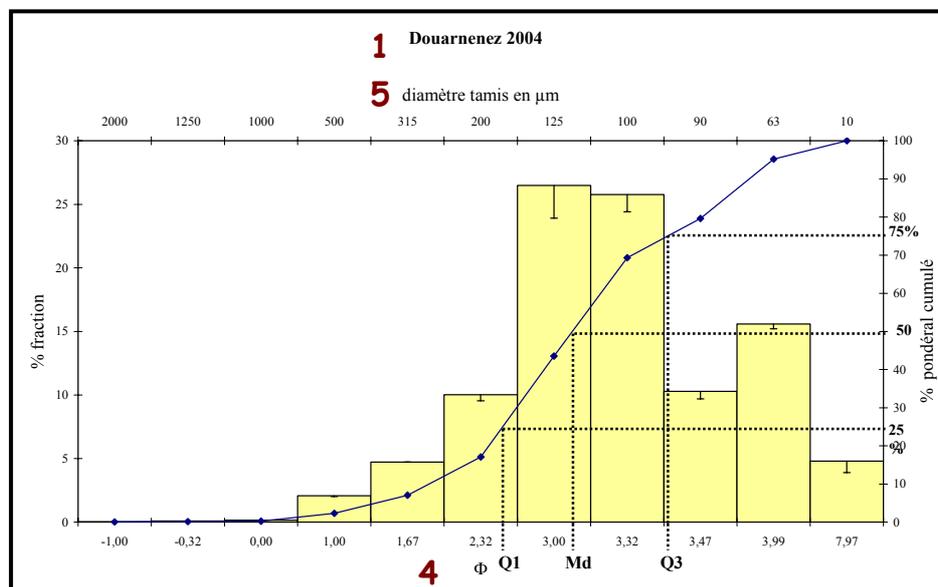


Figure 3 : Courbe granulométrique en pourcentage pondéral cumulé, et histogramme des pourcentages de chaque fraction en fonction des unités Φ et du diamètre du tamis (μm). Détermination graphique des quartiles (Q1 et Q3) et de la médiane (Md = Q2).

- 1 : Titre du graphique : site et année considérée
- 2 : Axe principal des ordonnées (histogramme des pourcentages du poids total analysé)
- 3 : Axe secondaire des ordonnées (courbe cumulée des pourcentages pondéraux)
- 4 : Axe principal des abscisses (unités Φ).
- 5 : Axe secondaire des abscisses (unités en μm)

Pour une meilleure caractérisation des sédiments, différents paramètres de distribution peuvent être utilisés (Buchanan, 1984) :

- *Le premier quartile Q1* (en mm ou en unités Φ) : correspond au diamètre égal à celui de 25% des grains.
- *La médiane Md ou deuxième quartile Q2* (en mm ou en unités Φ) : correspond au diamètre égal à celui de la moitié pondérale des grains.
- *Le troisième quartile Q3* (en mm ou en unités Φ) : correspond au diamètre égal à celui de 75% des grains.
- *Le taux de pélites* : correspond au pourcentage de particules fines dans le sédiment total.

A partir des valeurs de Q1 et Q3, l'indice de classement (indice de Trask = S_0) est calculé selon la formule (Buchanan, 1984) :

$$S_0 = (Q_3 - Q_1)/2.$$

Une faible valeur de cet indice indique une relative homogénéité dans la taille des grains (tableau 2). Le sédiment est alors qualifié de « bien classé » ou « très bien classé ». Une forte valeur indique un sédiment présentant un mélange de différentes catégories sédimentaires.

Tableau 2 : Interprétation des valeurs de l'indice de Trask

S_0	Sédiment
< 0,35	Très bien classé
0,35 – 0,50	Bien classé
0,50 – 0,71	Relativement bien classé
0,71 – 1,00	Moyennement classé
1,00 – 2,00	Mal classé
2,00 – 4,00	Très mal classé

Ces différents résultats figurent dans un tableau récapitulatif pour tous les sites.

3.1.2. Matière organique

Chaque échantillon récolté subit le traitement décrit dans la partie méthodologie.

Le taux de matière organique est estimé par différence entre le poids mesuré après séchage à l'étuve, et celui obtenu après passage au four. Les résultats sont exprimés en pourcentage par rapport au poids total de sédiment analysé. Pour chaque échantillon (un échantillon par station), trois mesures sont réalisées afin d'obtenir un taux de matière organique moyen et son écart-type. Les résultats pour tous les sites sont présentés sous forme de graphiques (figure 4).

Exemple d'illustration des résultats obtenus par l'analyse de la matière organique des sédiments :

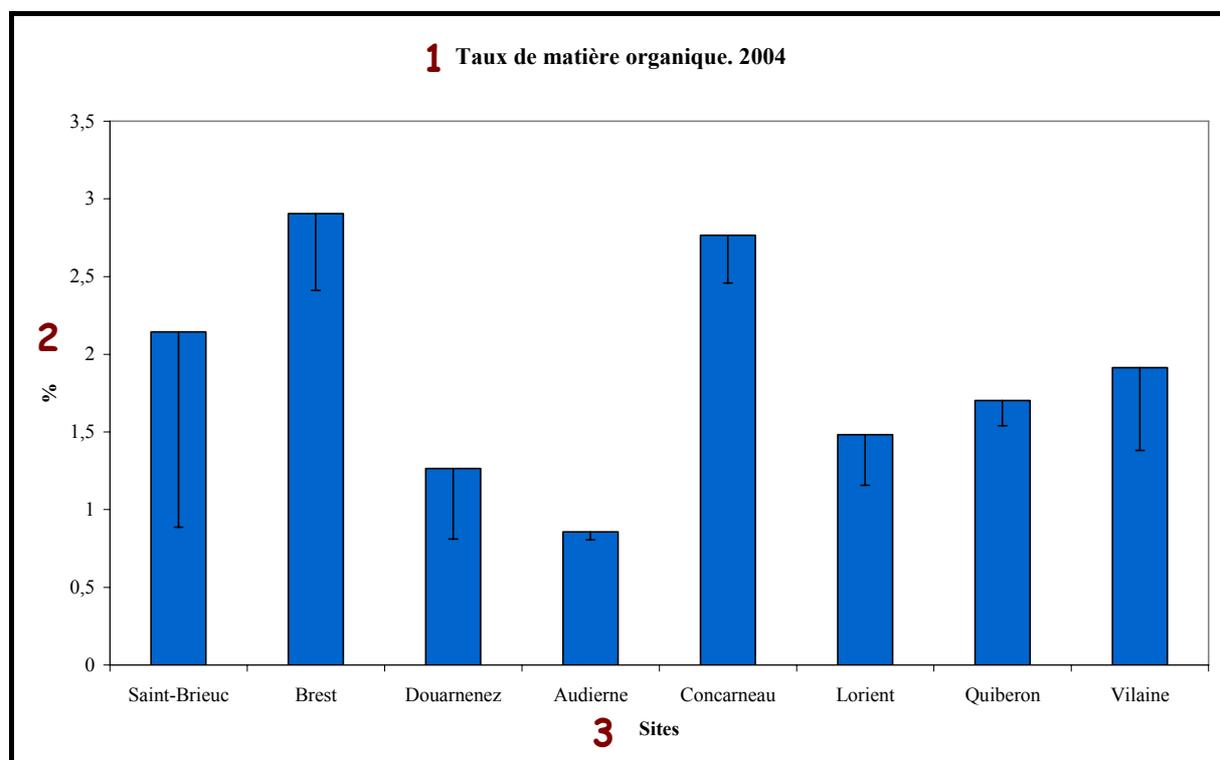


Figure 4 : Taux de matière organique moyen (et écart-type) pour chaque site étudié (classés de nord au sud).

- 1 : Titre du graphique et année considérée
 2 : Axe principal des ordonnées (pourcentage du poids total)
 3 : Axe principal des abscisses (sites échantillonnés)

3.1.3. Richesse spécifique et Abondance

Après dépouillements et analyses en laboratoire, les données de macrofaune (espèces et abondances associées) sont regroupées dans un tableau des abondances brutes (tableau 3).

Tableau 3 : Tableau des abondances brutes pour un site donné et pour l'année considérée.

	Site X								
	Station A			Station B			Station C		
Espèces	réplicat 1	réplicat 2	réplicat 3	réplicat 1	réplicat 2	réplicat 3	réplicat 1	réplicat 2	réplicat 3
Espèce 1	N 1.A1	N 1.A2	N 1.A3	N 1.B1	N 1.B2	N 1.B3	N 1.C1	N 1.C2	N 1.C3
...									
Espèce i	N i.A1								N i.C3
total	A XA1	A XA2	A XA3	A XB1	A XB2	A XB3	A XC1	A XC2	A XC3
Nb d'esp	S XA1	S XA2	S XA3	S XB1	S XB2	S XB3	S XC1	S XC2	S XC3

A partir de ce tableau de données brutes, il est possible de calculer deux paramètres qui serviront à estimer la richesse spécifique moyenne et l'abondance moyenne :

- le nombre d'espèces S présentes dans chaque répliat
- l'abondance A exprimée en nombre d'individus par répliat

En complément, le nombre d'individus récoltés pour chaque espèce dans un site est totalisé ainsi que la fréquence de présence de chaque espèce dans les répliat.

La richesse spécifique (S)

Le tableau 3 donne S = nombre total d'espèces présentes dans un répliat.

La richesse spécifique moyenne (exprimée en nombre moyen d'espèces par répliat) est calculée sur l'ensemble du site en considérant tous les répliat de ce site. Les résultats pour tous les sites sont présentés sous forme de graphique (figure 5).

Exemple d'illustration des résultats obtenus pour la richesse spécifique des différents sites :

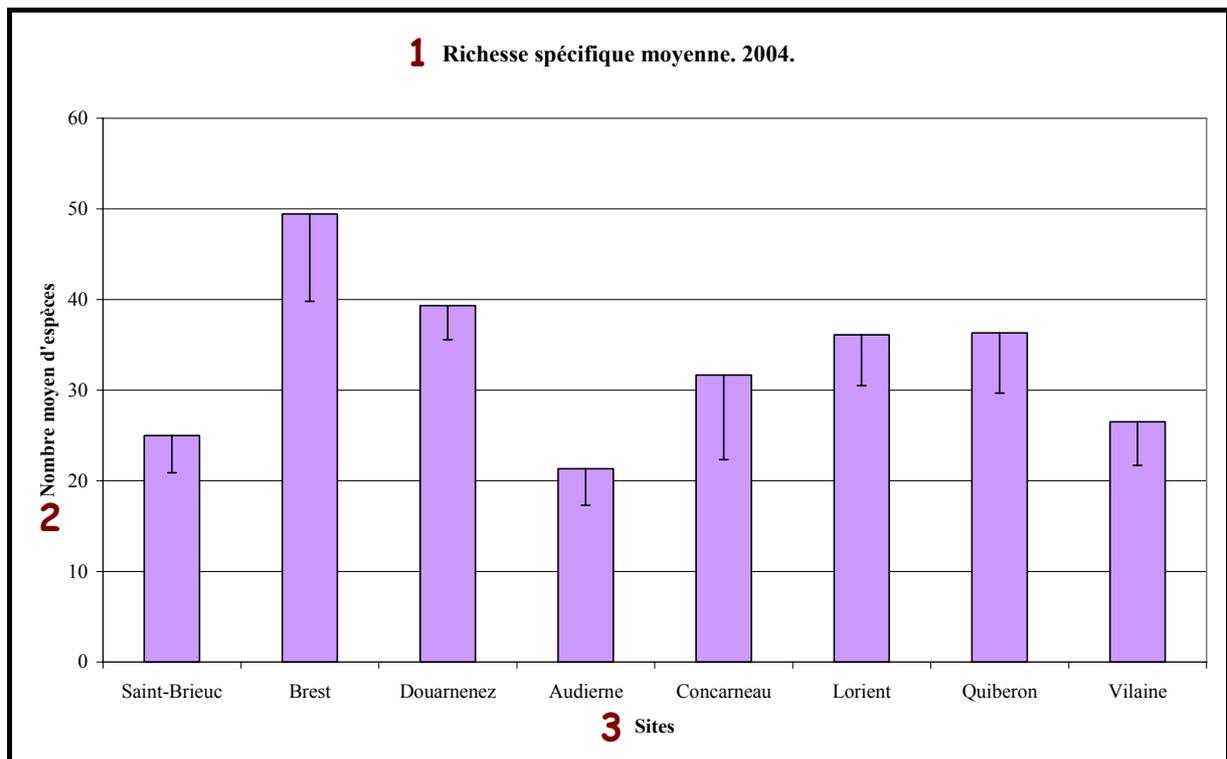


Figure 5 : Richesse spécifique moyenne (et écart-type) en 2004 pour tous les sites étudiés (classés du nord au sud).

- 1** : Titre du graphique et année considérée
2 : Axe principal des ordonnées (nombre moyen d'espèces par site)
3 : Axe principal des abscisses (sites échantillonnés)

L'abondance (A)

Le tableau 3 donne pour chaque réplicat l'abondance A_x = nombre total d'individus présents dans un réplicat.

L'abondance moyenne A (exprimée en nombre d'individus /m²) est calculée sur l'ensemble du site en considérant tous les réplicats de ce site, et ramenée au m². Les résultats pour tous les sites sont présentés sous forme de graphique (figure 6).

Exemple d'illustration des résultats obtenus pour l'abondance moyenne dans les différents sites :

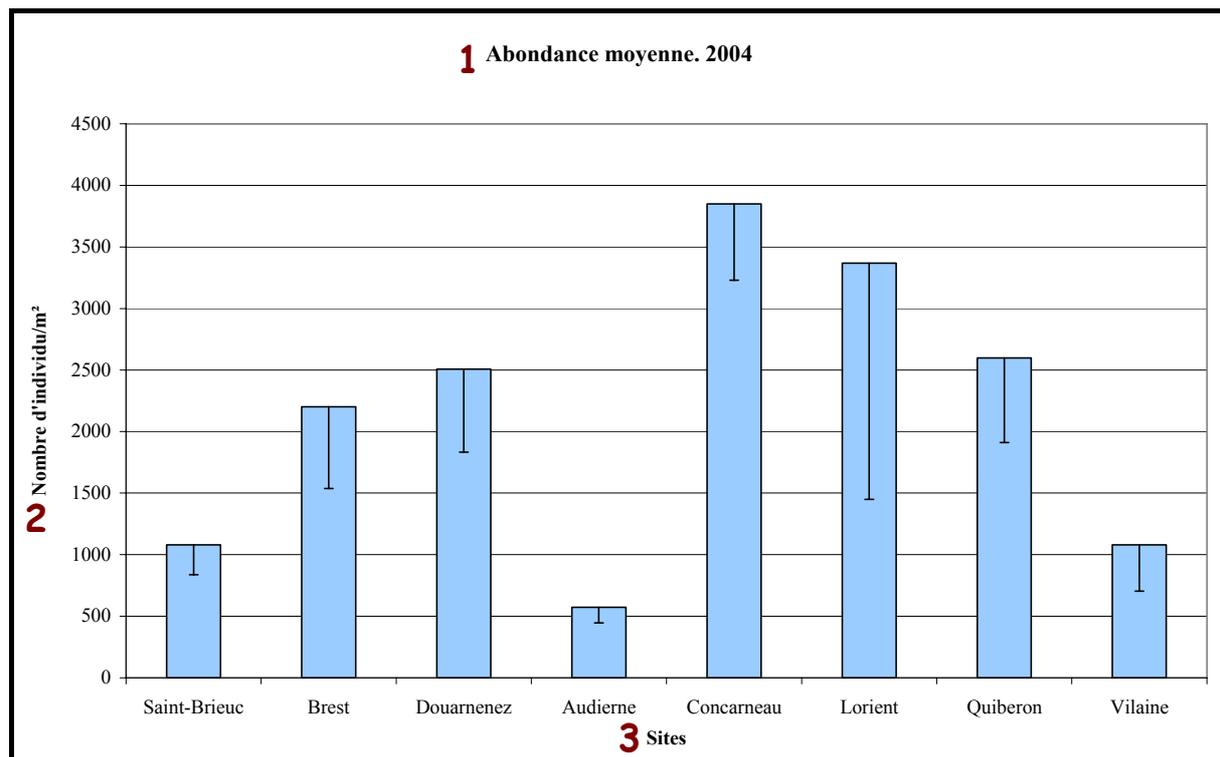


Figure 6 : Abondance moyenne (et écart-type) en 2004 pour tous les sites étudiés (classés du nord au sud).

- 1** : Titre du graphique et année considérée
- 2** : Axe principal des ordonnées (nombre d'individus par m²)
- 3** : Axe principal des abscisses (sites échantillonnés)

3.1.4. Groupes écologiques et coefficient benthique

Principe du calcul du coefficient benthique

Hily (1984) et Glémarec (1986) ont établi que la macrofaune benthique des sables fins peut être classée en cinq groupes dits écologiques (ou groupes écologiques de polluo-sensibilité), en fonction de leur sensibilité à un enrichissement en matière organique. Ces groupes sont présentés dans le tableau 4, selon les différentes classes définies par Grall & Glémarec (1997). Cette classification sert ensuite de base au calcul du coefficient benthique BC (Grall & Glémarec, 1997, Borja *et al*, 2000).

Tableau 4 : Groupes écologiques de polluo-sensibilité (d'après Grall & Glémarec, 1997).

Groupes écologiques	Types d'espèce	Caractéristiques	Groupes trophiques dominants
I	Espèces très sensibles à un enrichissement	Présentes en conditions normales	Carnivores spécialisés, polychètes tubicoles déposivores
II	Espèces indifférentes à un léger enrichissement en matière organique	Toujours présentes, mais en faible densité	Suspensivores, carnivores moins sélectifs, nécrophages
III	Espèces tolérantes à un enrichissement en matière organique	Présentes sous conditions normales, se maintiennent à la suite d'enrichissement en M.O.	Déposivores tubicoles de surface
IV	Espèces opportunistes de second ordre	Se développent sous conditions d'enrichissement en M.O.	Déposivores de sub-surface
V	Espèces opportunistes de premier ordre	Prolifèrent dans les sédiments réduits (forts taux de M.O.)	Déposivores

Afin de calculer le coefficient benthique (BC), l'abondance relative de chaque groupe écologique par rapport à l'abondance totale dans chaque répliquat est déterminée. Le calcul du coefficient benthique BC se fait ensuite selon la formule suivante (Grall & Glémarec, 1997 ; Borja *et al*, 2000) :

$$BC = [(0 \times \% GI) + (1,5 \times \% GII) + (3 \times \% GIII) + (4,5 \times \% GIV) + (6 \times \% GV)] / 100$$

L'indice biotique (BI) décrivant l'état de la communauté benthique du site étudié est évalué à partir de la valeur du coefficient benthique BC (Borja *et al.*, 2000). Les relations entre le coefficient benthique (BC) et l'indice biotique (BI) sont présentées dans le tableau suivant (tableau 5) :

Tableau 5: Relations entre BC, BI (selon Borja *et al*, 2000) et l'état des communautés benthiques.

Coefficient Benthique BC	Indice Biotique BI	Groupe écologique dominant	État de la communauté benthique
0.0 < BC ≤ 0.2	0	I	Normal
0.2 < BC ≤ 1.2	1		Appauvrissement
1.2 < BC ≤ 3.3	2	III	Déséquilibré
3.3 < BC ≤ 4.3	3		Vers pollué
4.3 < BC ≤ 5.0	4	IV-V	Pollué
5.0 < BC ≤ 5.5	5		Vers très pollué
5.5 < BC ≤ 6	6	V	Très pollué
non calculable	7	Azoïque	Azoïque

Application aux données REBENT

Les résultats concernant les groupes écologiques sont exprimés, pour chaque site, en pourcentages des abondances moyennés sur l'ensemble des réplicats du site et représentés sous la forme d'histogrammes empilés à 100% (figure 7).

Un coefficient benthique moyen (et son écart-type) est calculé à partir de l'ensemble des réplicats de chaque site. En complément de l'histogramme des groupes écologiques, le coefficient benthique BC est représenté pour chaque site sous forme d'un point associé à une double barre représentant l'écart-type (figure 7).

Exemple d'illustration des résultats obtenus pour les groupes écologiques dans les différents sites :

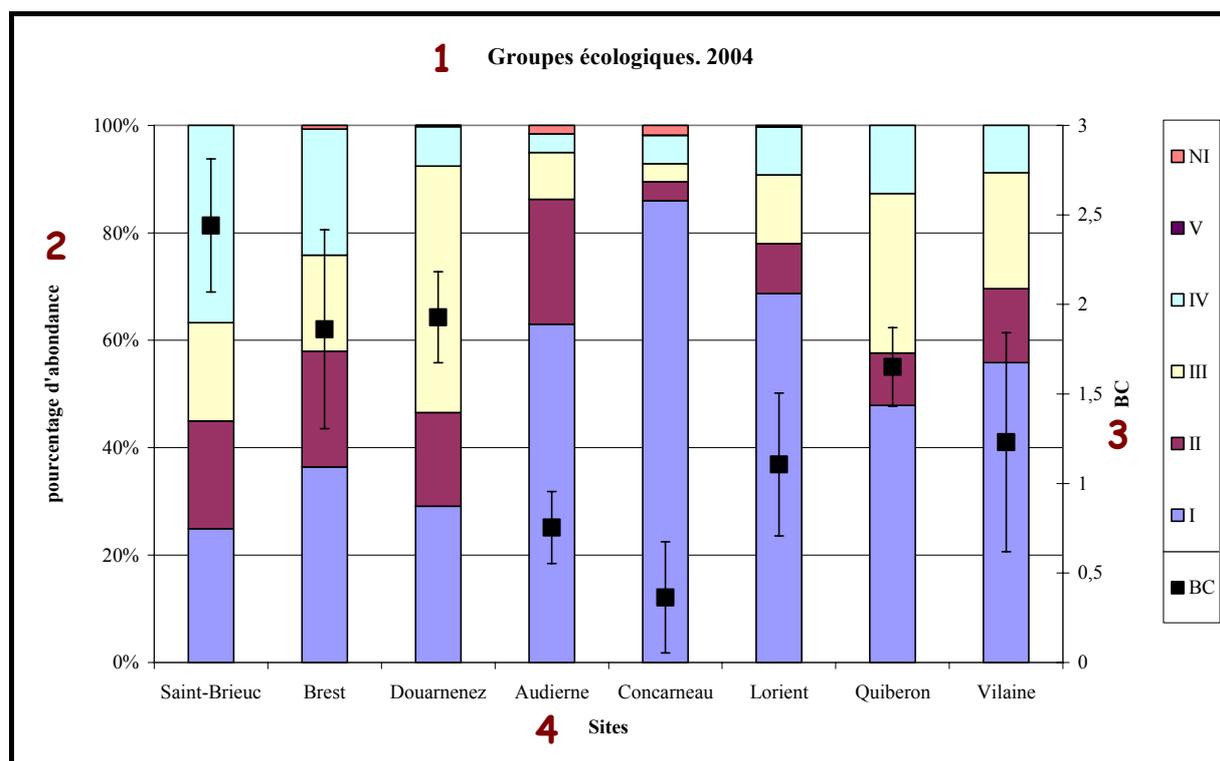


Figure 7 : Groupes écologiques et coefficient benthique (BC) avec son écart-type pour chaque site échantillonné (classés du nord au sud).

- 1 : Titre du graphique et année considérée
- 2 : Axe principal des ordonnées (histogramme empilé : pourcentage d'abondance des différents groupes écologiques)
- 3 : Axe secondaire des ordonnées (symbole et double barre : coefficient benthique BC et son écart-type)
- 4 : Axe principal des abscisses (sites échantillonnés)

3.1.5. Les groupes trophiques

Pour compléter l'analyse de la structure du peuplement benthique, une classification en groupes fonctionnels basée sur l'alimentation peut être réalisée. Ainsi Grall & Glémarec (1997) ont défini 8 groupes trophiques particuliers (tableau 6).

Cette classification basée sur plusieurs critères dont l'origine ou l'état de la nourriture ingérée (animale, végétale, vivante, morte), pose toujours des problèmes pour certaines espèces dont on ne connaît pas encore précisément le régime alimentaire.

Tableau 6 : Classification des différents groupes trophiques et codes associés (d'après Grall & Glémarec, 1997)

Source alimentaire	Groupe trophique	Codes	Comportement trophique
Macrophages	Prédateurs ou carnivores	2	Chassent des proies mobiles ou sessiles
	Nécrophages	3	Mangeurs de chairs mortes (cadavres)
	Herbivores	4	Broutant les algues macrophytes
	Détritivores	5	Consomment les détritux essentiellement d'origine végétale
Microphages	Suspensivores	6	Liés aux apports de la couche sous-jacente
	Dépositivores sélectifs	7	Se nourrissent de particules organiques, supports de bactéries et d'algues unicellulaires, qui se déposent sur le sédiment
	Dépositivores non sélectifs	8	Ingèrent le sédiment dans lequel ils prélèvent la matière organique
	Brouteurs	9	Brouteurs de microphytes, bactéries et détritux

Exemples d'espèces de chaque groupe trophique :

Groupe 2 (prédateurs carnivores) : *Inachus dorsettensis* (crustacé décapode),

Groupe 3 (nécrophages) : *Nassarius reticulatus* (mollusque gastéropode), *Pagurus bernhardus* (crustacé décapode),

Groupe 4 (herbivores) : *Paracentrotus lividus* (échinoderme échinide),

Groupe 5 (détritivores) : *Gammarus locusta* (crustacé amphipode),

Groupe 6 (suspensivores) : *Phaxas pellucidus* (mollusque bivalve),

Groupe 7 (dépositivores sélectifs) : *Polydora antennata* (annélide polychète), *Abra alba* (mollusque bivalve),

Groupe 8 (dépositivores non sélectifs) : *Pectinaria koreni* (annélide polychète), *Echinocardium cordatum* (échinoderme échinide),

Groupe 9 (brouteurs) : *Gibbula magus* (mollusque gastéropode).

La fréquence relative basée sur les abondances dans les réplicats de chacun de ces groupes au sein des peuplements permet d'estimer quels types de régimes dominent la chaîne alimentaire.

Les résultats des groupes trophiques sont exprimés en pourcentage des abondances des groupes trophiques pour chaque site échantillonné et représentés sous forme d'histogrammes empilés à 100% (figure 8).

Exemple d'illustration des résultats obtenus pour les groupes trophiques des différents sites :

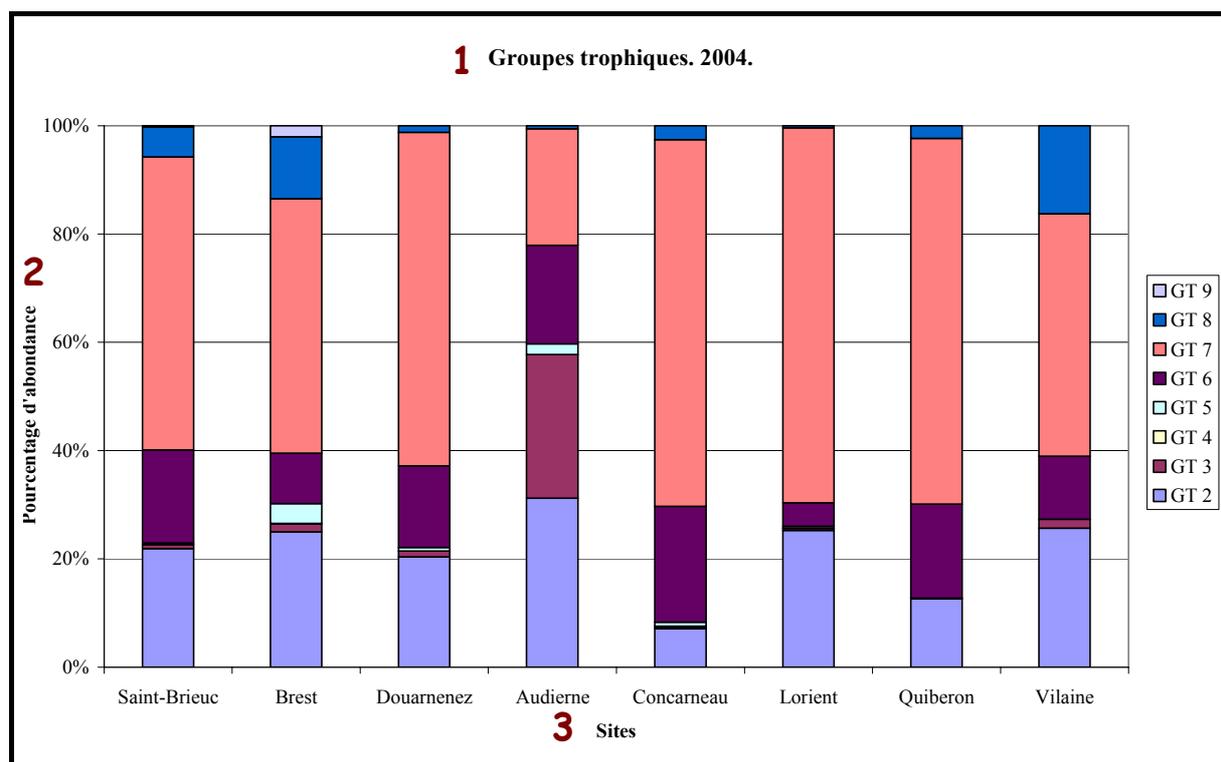


Figure 8 : Groupes trophiques (GT) en pourcentage des abondances pour chaque site (classés du nord au sud).

- 1** : Titre du graphique et année considérée
- 2** : Axe principal des ordonnées (histogramme empilé des pourcentages des abondances des groupes trophiques)
- 3** : Axe principal des abscisses (sites échantillonné)

3.2. Analyse sédimentologique

3.2.1. Analyse granulométrique pour l'année 2006

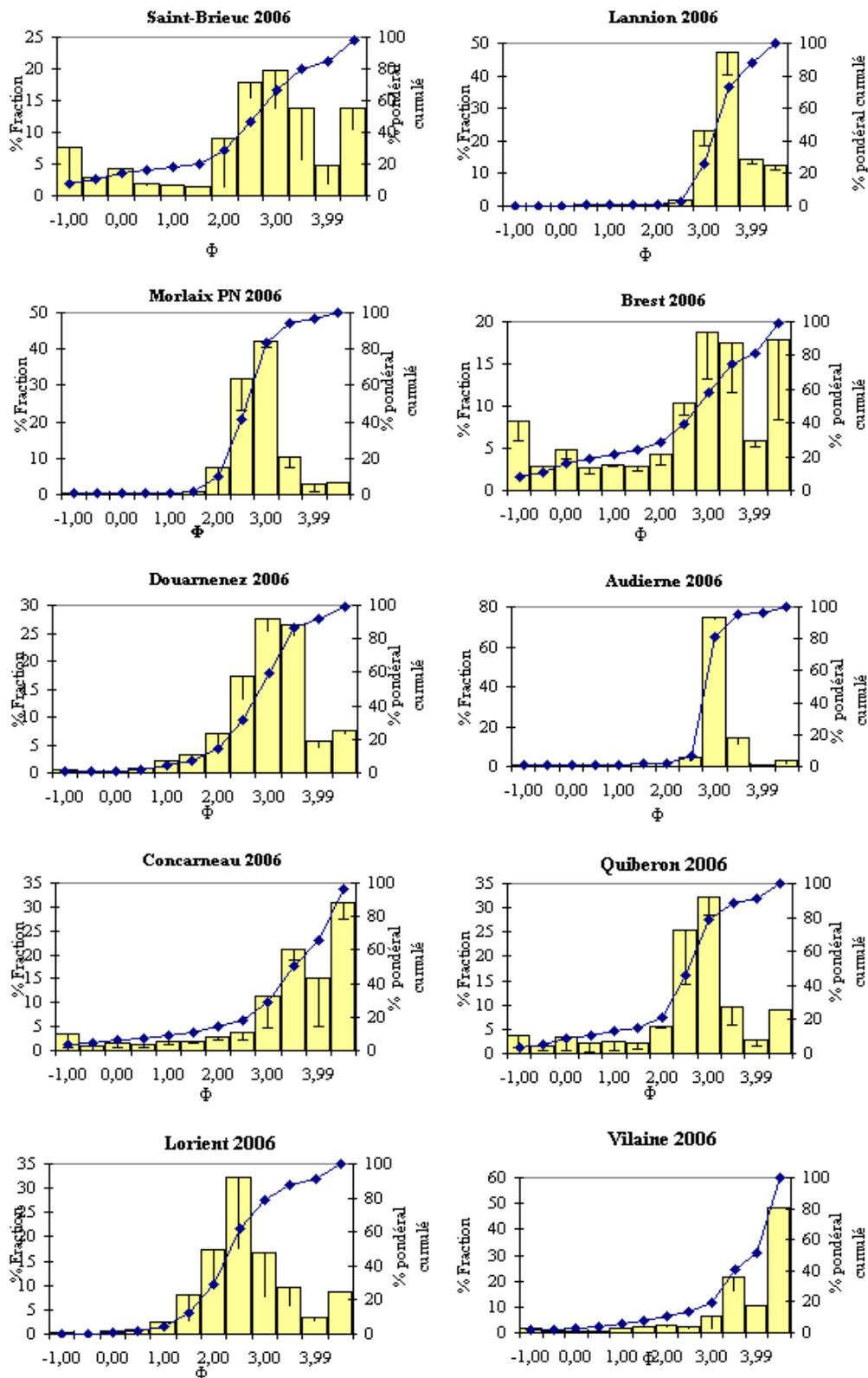


Figure 9 : Courbe granulométrique cumulée et pourcentages pondéraux des fractions granulométriques (avec écart-type) pour chaque site étudié, classé du nord au sud.

Afin de caractériser la composition sédimentaire de chaque site, différents paramètres ont été pris en compte. Ils sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Récapitulatif des différents paramètres granulométriques pour chaque site étudié.

Sites	1 ^{er} Quartile (Q ₁)	Médiane (Q ₂)	2 ^{ème} Quartile (Q ₃)	S ₀ = (Q ₃ -Q ₁)/2	Taux de pélites (%)
Saint-Brieuc	2,00	2,47	3,47	0,735	13,76
Lannion	3,00	3,47	3,99	0,495	12,41
Morlaix	2,47	3,00	3,47	0,5	3,27
Brest	1,49	3,00	3,99	1,25	14,94
Douarnenez	2,00	3,00	3,47	0,735	7,30
Audierne	2,47	3,00	3,47	0,5	3,20
Concarneau	3,00	3,47	3,99	0,495	24,30
Lorient	2,00	2,47	3,00	0,5	8,70
Quiberon	2,00	2,47	3,00	0,5	8,88
Vilaine	3,00	3,99	7,97	2,485	48,60

Globalement, les caractéristiques granulométriques de tous les sites échantillonnés placent leurs sédiments dans la même catégorie des *sédiments sableux plus ou moins envasés* présentant des différences en termes de taux de particules fines, et de présence de sédiments grossiers.

Les valeurs de l'indice de classement (S₀) varient de 0,5 à 2,5, correspondent à des sédiments « relativement bien classés à très mal classés ».

Au vu de ces résultats, les sites peuvent être grossièrement classés en deux catégories :

- Une majorité de sites (6) peuvent être qualifiés de « relativement bien classés » : Audierne, Concarneau, Lorient, Quiberon, Morlaix, et Lannion. Leurs médianes varient de 2,47 à 3,47.
- les (4) autres sites se répartissent en moyennement classés (Douarnenez, Saint Brieuc), mal classé (Brest) et très mal classé (Vilaine), avec des médianes variant de 2,47 à 3,99 (donc proches de celles du premier groupe).

La proportion de pélites varie de 3,2% à 48,6% selon les sites, opposant deux sites caractéristiques des sables propres (Audierne et Morlaix) à un site caractéristique des fonds de vases sableuses (Baie de Vilaine). Seuls deux sites montrent un taux supérieur à 20% (Baie de Vilaine et Concarneau).

Toutes ces données sont synthétisées dans le tableau 8 :

Tableau 8 : Caractéristiques granulométriques des sites échantillonnés en 2006.

Sites	Médiane μm	So	% pélites	Mode dominant μm
<i>Saint-Brieuc</i>	180	Moyt classé	13,4	125
<i>Lannion</i>	90	Bien classé	12,4	100
<i>Morlaix</i>	125	Bien classé	3,3	125
<i>Brest</i>	125	Mal classé	14,9	125
<i>Douarnenez</i>	125	Moyt classé	7,3	125
<i>Audierne</i>	125	Bien classé	3,2	125
<i>Concarneau</i>	90	Bien classé	24,3	< 63
<i>Lorient</i>	180	Bien classé	8,7	200
<i>Quiberon</i>	180	Bien classé	8,9	125
<i>Vilaine</i>	63	Très mal classé	48,6	< 63

3.2.2. Matière organique

Les taux moyens de matière organique mesurés dans chaque site pour l'année 2006 sont représentés sur la figure 10.

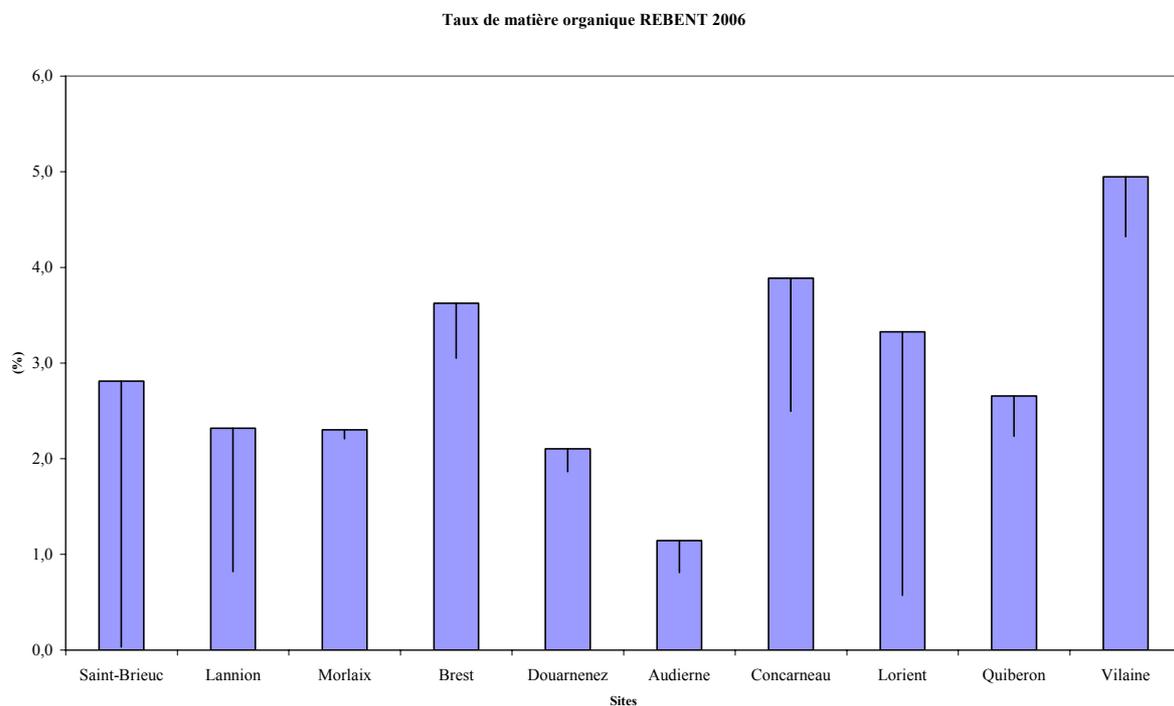


Figure 10 : Taux de matière organique moyen pour chaque site étudié en 2006 (classés du nord au sud).

Les taux de matière organique montrent un gradient de valeurs entre 1,14% (Audierne) et 4,95% (Baie de Vilaine), illustrant le gradient d'affinement sédimentaire (sables propres – vases sableuses) déjà décrit précédemment, mais restent globalement dans la même gamme.

3.3. Composition spécifique

Importance relative des embranchements et grands groupes zoologiques

Les résultats sont présentés sous la forme de graphiques (figure 11) et d'un tableau récapitulatif (tableau 8).

Tableau 9 : Pourcentage des abondances des grands groupes zoologiques pour chaque site (les groupes dominants sont grisés ; la catégorie Divers regroupe les Cnidaires, Némertes, Sipunculien, Phorinidiens et Chordés).

Taxon	Saint-Brieuc	Lannion	Pierre-noire	Brest	Douarnenez	Audierne	Concarneau	Quiberon	Lorient	Baie de vilaine
Divers	2,4	1,68	0,64	9,22	18,02	0	1,86	1,61	3,97	7,54
Annelida	66,21	35,29	42,53	62,38	20,93	12	16,37	45,49	31,29	57,65
Crustacea	22,13	10,92	46,76	12,5	10,47	4	0,97	28,69	6,38	3,55
Echinodermata	0	0	0,52	0,85	11,82	8	21,23	7,86	21,42	9,53
Mollusca	9,26	52,1	9,56	15,05	38,76	76	59,56	16,35	36,94	21,73
total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Si l'on considère l'ensemble des sites (tableau 9), ce sont les Annélides Polychètes (40% des abondances totales) suivis des Mollusques (26% des abondances totales) qui dominent globalement le peuplement des sables fins envasés en représentant plus de 60% de tous les individus collectés, les Crustacés (20%) et les Echinodermes (7%) sont plus faiblement représentés.

Si l'on examine les dominances par site (tableau 9 et figure 11), on note que ce sont encore les Annélides Polychètes qui dominent globalement le peuplement des sables fins envasés avec une dominance dans cinq sites sur dix, et les Mollusques sont dominants dans quatre sites (Douarnenez, Audierne, Concarneau et Lorient).

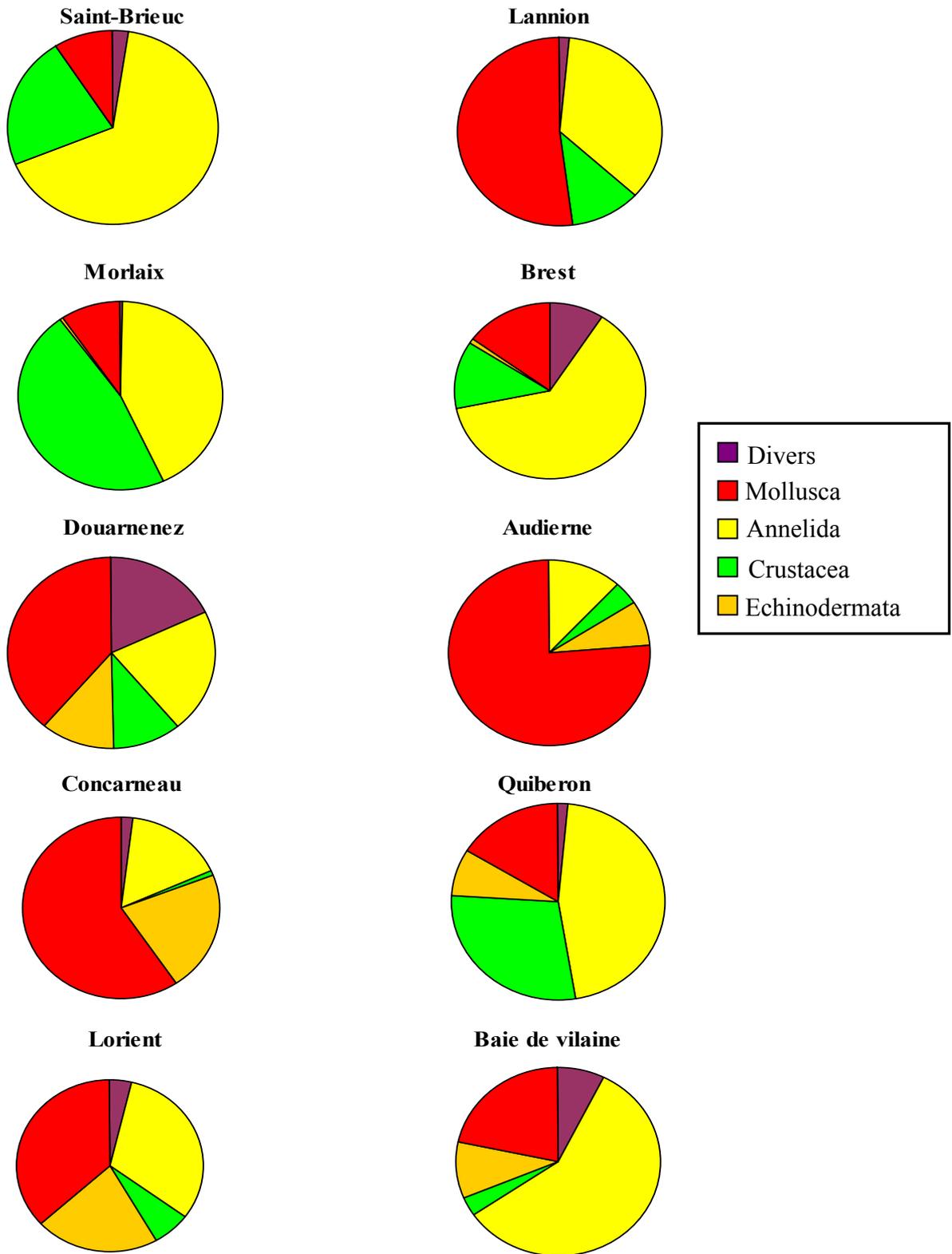


Figure 11 : Dominance des grands groupes zoologiques dans chaque site échantillonné en 2006.

Dominance relative des espèces

Si l'on considère les 20 premières espèces classées par ordre décroissant d'abondance dans chaque site, on note qu'il se dégage un petit nombre d'espèces communes qui constitue le noyau d'espèces communes dominantes du peuplement des sables fins envasés. Les plus fréquentes de ces espèces (c'est à dire communes à plus de 4 sites) sont présentées dans le tableau 10 : on y retrouve la place importante des espèces de polychètes et mollusques (respectivement 4 et 3 espèces). Un seul genre de crustacé y est représenté, il correspond à plusieurs espèces dont l'identification est nécessaire afin de visualiser correctement l'importance de ce genre dans les peuplements étudiés.

Tableau 10 : Espèces communes dominantes (embranchement et fréquence d'apparition).

Embranchement	Espèce	Fréquence d'apparition
Crustacea	<i>Ampelisca spp.</i>	9/11
Annelida	<i>Nephtys hombergii</i>	7/11
Mollusca	<i>Abra alba</i>	7/11
Annelida	<i>Euclymene oerstedii</i>	6/11
Annelida	<i>Notomastus latericeus</i>	6/11
Mollusca	<i>Thyasira flexuosa</i>	6/11
Mollusca	<i>Nucula turgida</i>	5/11
Annelida	<i>Chaetozone sp</i>	5/11

3.4. Richesse spécifique et Abondance.

3.4.1. Richesse spécifique

La richesse spécifique moyenne (tableau 11) varie entre 7 ($\pm 3,53$) espèces par réplicat pour Audierne et 38,55 ($\pm 9,36$) espèces par réplicat pour Quiberon. Néanmoins, tout comme pour l'abondance, les valeurs de richesse spécifique restent sensiblement équivalentes entre les différents sites échantillonnés (figure12).

Tableau 11 : Richesse spécifique moyenne (et écart-type) par site.

Sites 2006	Richesse spécifique (nb moyen d'espèces)
Saint-Brieuc	15,77 \pm 5,40
Lannion	7 \pm 3,53
Morlaix (Pierre Noire)	30 \pm 6,20
Brest	28,2 \pm 10,48
Douarnenez	20,55 \pm 6,42
Audierne	2,44 \pm 1,13
Concarneau	14,66 \pm 5,5
Lorient	26,50 \pm 8,35
Quiberon	38,55 \pm 9,36
Baie de Vilaine	17,44 \pm 7,63

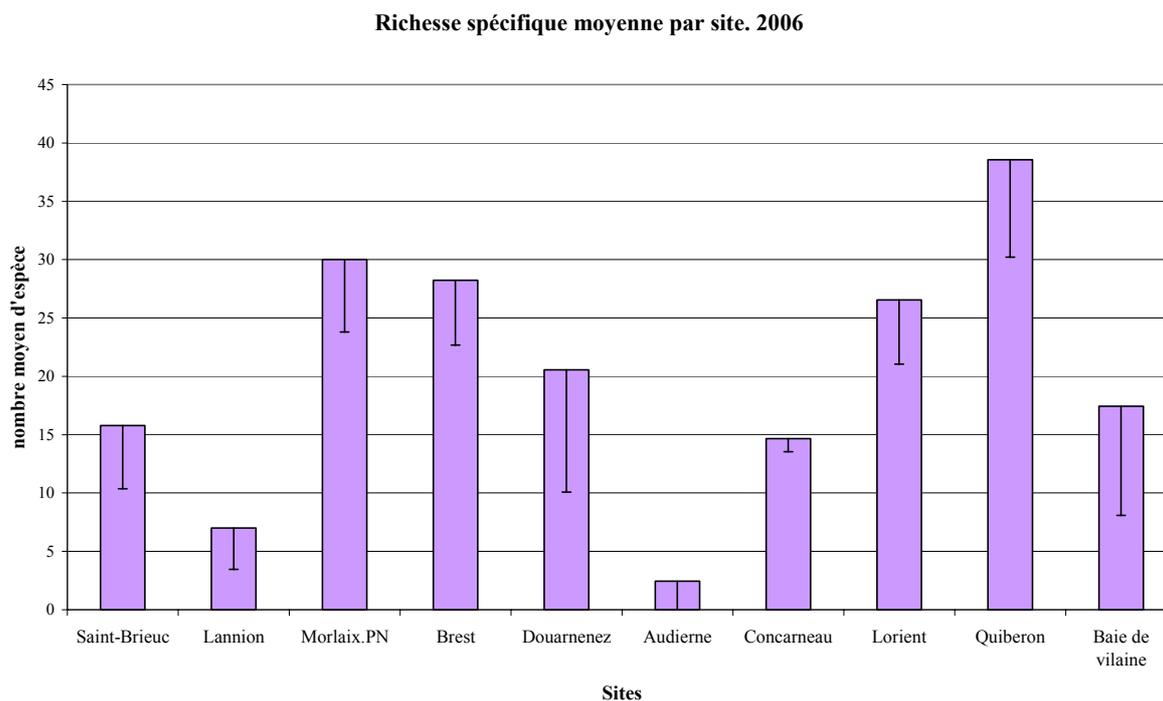


Figure 12 : Richesse spécifique moyenne (nombre moyen d'espèces par réplikat) avec l'écart-type pour chaque site échantillonné en 2006 (classé du nord au sud).

3.4.2. Abondance

Les abondances moyennes par site figurent dans le tableau 12 et sont présentées dans la figure 13.

Tableau 11 : Abondance moyenne (avec écart-type) par site.

Sites 2006	Abondance moyenne (nb ind/m ²)
Saint-Brieuc	647,77 ± 238,68
Lannion	132,22 ± 92,97
Morlaix (Pierre Noire)	1726 ± 629,25
Brest	915,55 ± 664,36
Douarnenez	571,11 ± 233,36
Audierne	27,77 ± 14,81
Concarneau	1371,11 ± 890,35
Lorient	923,33 ± 64,4
Quiberon	1243,33 ± 490,17
Baie de Vilaine	501,11 ± 319,90

On note que l'abondance moyenne varie entre un minimum de 27,77 ($\pm 14,81$) ind. /m² pour Audierne et un maximum de 1726 ($\pm 629,25$) ind. /m² pour Morlaix (Pierre Noire).

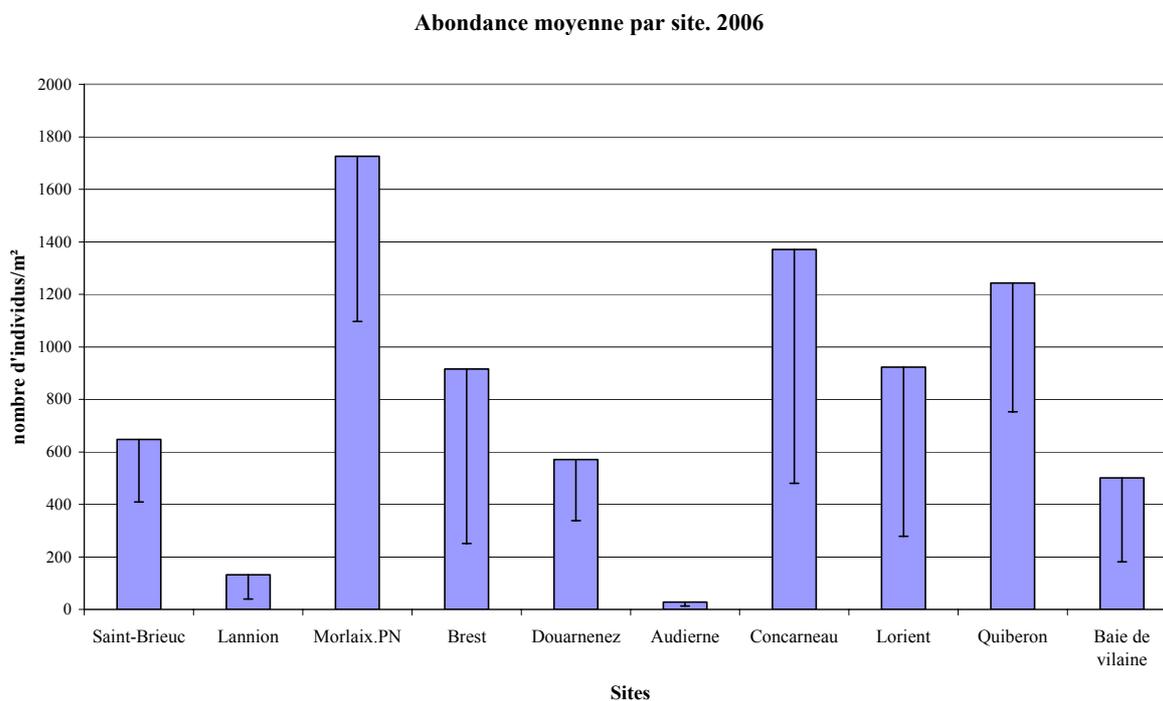


Figure 13 : Abondance moyenne (nombre moyen d'individus par m²) et écart-type en 2006 pour chaque site échantillonné (sites classés du nord au sud).

Il existe donc une certaine variabilité entre les sites, représentative des différences sédimentaires mais néanmoins la majorité des sites présentent des valeurs de richesse et d'abondance relativement proches, dans une gamme habituelle pour ce type de peuplement ; seul les sites d'Audierne et Lannion restent à part avec de faibles valeurs d'abondance.

3.5. Structure écologique

La structure écologique de chaque site (pourcentages d'abondance de chaque groupe), ainsi que le coefficient benthique (BC) sont représentés sur la figure 14.

Groupes écologiques. 2006

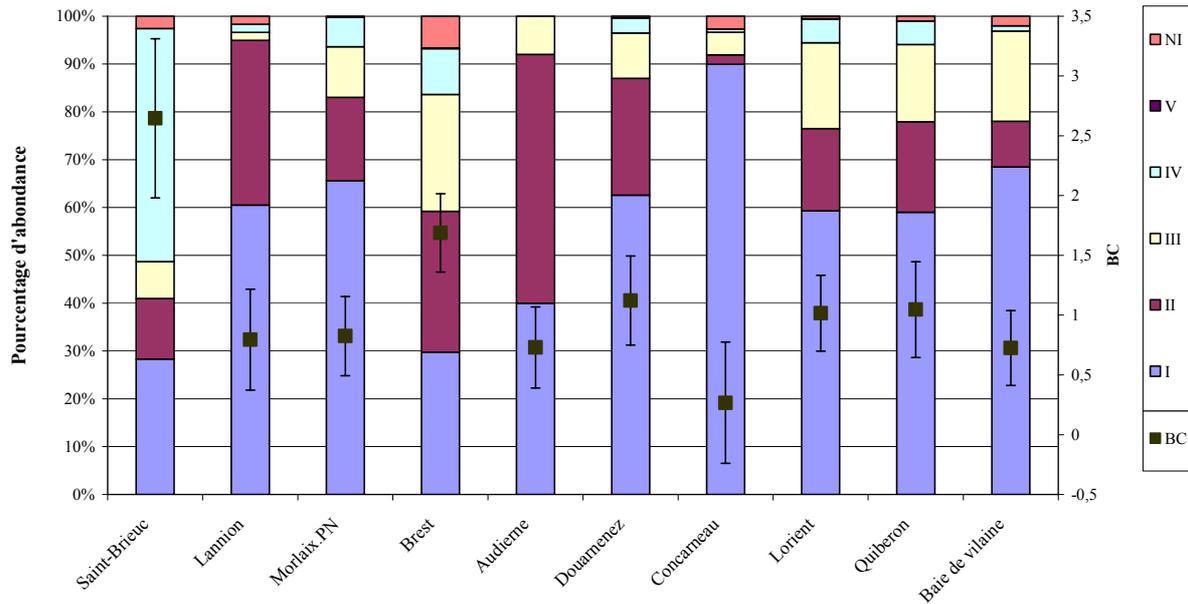


Figure 14 : Groupe écologique et coefficient benthique (BC) pour chaque site échantillonné (sites classés du nord au sud).

Les proportions de chaque groupe écologique, ainsi que les valeurs du coefficient benthique sont présentées dans le tableau 13.

Tableau 13 : Pourcentage d'abondance des groupes écologiques et coefficient benthique (BC) et l'indice biotique (BI) associé. (Les groupes dominants sont notés en gras).

GE %	Saint-Brieuc	Lannion	Morlaix.PN	Brest	Audierne	Douarnenez	Concarneau	Lorient	Quiberon	Baie de vilaine
I	28,30	60,50	65,64	29,73	40,00	62,60	89,95	59,28	58,98	68,51
II	12,69	34,45	17,38	29,49	52,00	24,42	1,94	17,23	18,95	9,53
III	7,72	1,68	10,60	24,39	8,00	9,50	4,78	17,95	16,18	18,85
IV	48,71	1,68	6,14	9,59	0	3,10	0,65	4,94	4,92	1,11
V	0	0	0	0,12	0	0	0	0,12	0	0
NI	2,57	1,68	0,23	6,67	0	0,39	2,67	0,48	0,98	2,00
BC moyen	2,65	0,79	0,82	1,69	0,73	1,12	0,27	1,02	1,05	0,72
et	0,67	0,42	0,33	0,34	0,37	0,51	0,32	0,40	0,31	0,46
BI	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1

Pour tous les sites étudiés (à l'exception de Saint-Brieuc et d'Audierne), le groupe écologique I domine, avec des pourcentages oscillant entre 29,73% pour Brest et 89,95% pour Concarneau. Pour le site d'Audierne, le groupe écologique II est dominant, tandis que pour Saint-Brieuc, il s'agit du groupe IV.

Le coefficient benthique (BC) varie entre 0,27 pour Concarneau et 2,65 pour Saint Brieuc. A partir du calcul du coefficient benthique BC, l'indice biotique (BI) peut être déduit : il varie entre 1 et 2 pour tous les sites étudiés.

3.6. Structure trophique

Pour chaque site, les différents groupes trophiques sont représentés dans la figure 15.

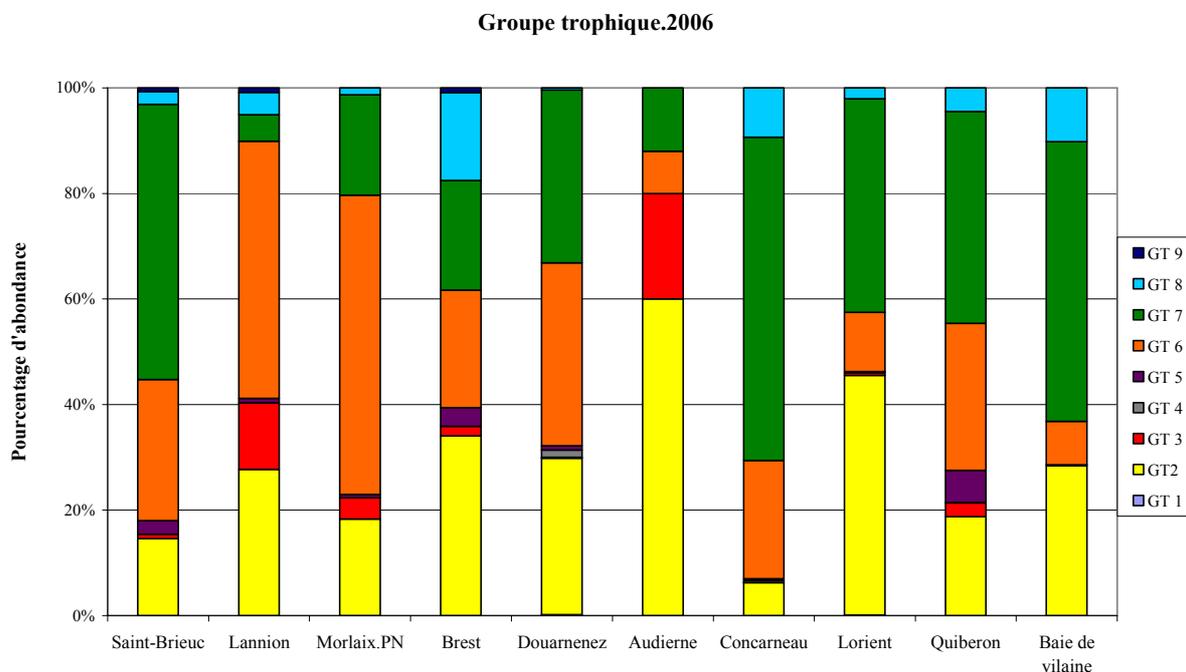


Figure 15 : Groupes trophiques en pourcentage d'abondance pour chaque site échantillonné en 2006 (sites classés du nord au sud).

Les proportions des différents groupes trophiques figurent dans le tableau 14, avec les groupes dominants notés en gras.

Tableau 14 : Pourcentage d'abondance des groupes trophiques pour chaque site.

GT	Saint-Brieuc	Lannion	Morlaix.PN	Brest	Douarnenez	Audierne	Concarneau	Lorient	Quiberon	Baie de vilaine
GT 1	0	0	0	0	0,19	0	0	0,12	0	0
GT2	14,58	27,73	18,31	34,06	29,65	60,00	6,24	45,37	18,77	28,38
GT3	0,86	12,61	4,00	1,82	0,19	20,00	0,08	0,48	2,59	0
GT4	0	0	0	0	1,36	0	0,32	0	0,09	0
GT 5	2,57	0,84	0,64	3,53	0,78	0	0,32	0,24	6,08	0,22
GT6	26,76	48,74	56,72	22,26	34,69	8	22,45	11,19	27,88	8,20
GT7	52,14	5,04	19,06	20,80	32,75	12	61,26	40,43	40,13	52,99
GT8	2,40	4,20	1,27	16,67	0,39	0	9,32	2,05	4,47	10,20
GT9	0,69	0,84	0	0,85	0	0	0	0	0	0

Les sites étudiés peuvent être classés en trois groupes selon leur groupe trophique majoritaire. Ainsi, le groupe 7 (dépositivore sélectif) le plus représenté est dominant pour les sites de Saint-Brieuc, Rivière de Morlaix, Concarneau, Quiberon et la Baie de Vilaine.

Le groupe des suspensivores (Groupe 6) est représentatif de Lannion, Morlaix (Pierre Noire) et Douarnenez. Le groupe des carnivores (Groupe 2) domine les peuplements de Brest, Audierne et Lorient.

4. Commentaires généraux

Dès à présent, le suivi stationnel des sédiments meubles sublittoraux apporte des informations intéressantes sur la biodiversité des peuplements de sables fins sublittoraux côtiers autour de la Bretagne, élément majeur dans le fonctionnement des écosystèmes côtiers.

Les résultats acquis au titre du réseau de surveillance REBENT pour l'année 2006 montrent que les dix sites échantillonnés ont des caractéristiques sédimentologiques et benthiques qui les relient nettement au peuplement des sables fins plus ou moins envasés ; elles peuvent être résumées ainsi :

Variabilité des paramètres abiotiques édaphiques

Des paramètres abiotiques édaphiques que sont la granulométrie et le taux de matière organique, c'est le premier qui montre le plus de variabilités pour différencier les sites. Ainsi on peut discerner quelques différences séparant les dix suivis en plusieurs groupes :

- d'un côté, à l'extrême « sables fins propres ou très peu envasés », les sites d'Audierne et de Morlaix avec des indices de classement de 0,5 (bien classé), un minimum de particules fines (#3%) et un mode dominant (90%) dans les sables fins (125µm) ;
- de l'autre, le pôle des « vases sableuses », les sites de Vilaine et Concarneau caractérisés par un mode dominant (> 24%) dans les pélites, et une médiane inférieure à 100 µm.

Entre ces deux pôles, on peut encore discerner deux sous-groupes :

- celui des sites de Douarnenez, Quiberon, Lorient caractéristiques des sables fins peu envasés avec un mode dominant (> 25%) dans les sables très fins (125µm) ;
- celui des sites de Brest et Saint-Brieuc représentant des sables fins hétérogènes envasés caractérisés par un indice de classement plus fort que tous les autres sites (0,735 = sédiment moyennement classé ; 1,25 = mal classé) avec un mode dominant (> 25%) dans les particules fines et un mode (#10%) secondaire dans les tailles de grain supérieures ou égales aux sables grossiers.

Au total, on peut remarquer que les dix sites représentent bien le gradient habituel de variations des paramètres édaphiques des peuplements de sables fins plus ou moins envasés, sans que la gamme soit trop importante pour induire de trop fortes différences dans les caractéristiques faunistiques.

Aspects structuraux et quantitatifs

Composition faunistique

Si l'on tient compte de l'importance des grands groupes zoologiques dans l'ensemble des sites, ce sont le groupe des Annélides Polychètes (à près de 50%), puis celui des Mollusques (24%) qui dominent totalement le peuplement. Cette dominance est à peu près similaire pour la plupart des sites sauf Audierne et Douarnenez dominés par les Mollusques.

En considérant les 20 premières espèces classées dans chacun des sites, il se dégage un petit nombre d'espèces communes entre une majorité de sites, ces espèces formant le noyau d'espèces dominantes du peuplement. On y retrouve évidemment une majorité d'Annélides Polychètes (4 espèces), puis trois espèces de Mollusques et une de Crustacé.

Richesse spécifique

Les résultats obtenus montrent que la richesse spécifique moyenne par site varie entre 7 (pour le site d'Audierne) et 39 espèces (pour le site de Quiberon). Ces chiffres sont principalement le reflet des caractéristiques sédimentaires avec le site d'Audierne typique des sables fins propres, et le site de Quiberon typique des sables fins hétérogènes très envasés.

D'une façon générale, on peut noter que les valeurs de richesse spécifique moyenne restent dans une gamme des variabilités habituelles du peuplement des sédiments sableux côtiers sublittoraux.

Abondance

Les abondances moyennes par site varient entre 28 individus par m² (Audierne) et 1 726 individus par m² (Morlaix Pierre Noire). Mise à part cette faible valeur d'Audierne, toutes les autres valeurs sont supérieures à 500 individus par m².

Ainsi, de même que pour la richesse spécifique moyenne, la gamme des valeurs obtenues pour l'abondance moyenne se situe dans les variabilités habituelles connues pour ce type de peuplement.

Groupes écologiques de polluo-sensibilité, et coefficient benthique

On observe que le groupe écologique I constitué d'espèces sensibles à une hypertrophisation domine la quasi-totalité des sites. Ces espèces sont majoritaires dans le milieu sous conditions normales, elles disparaissent en premier lors d'un enrichissement en matière organique du milieu (Hily, 1984).

Les résultats de calcul des groupes écologiques de polluo-sensibilité, et de coefficient benthique montrent que les sites échantillonnés dans le peuplement des sables fins plus ou moins envasés présentent globalement un indice biotique de 1 ou 2, sans qu'il soit possible de détecter des perturbations majeures dans la composition qualitative et quantitative de ce peuplement.

Groupes trophiques

De même l'examen des résultats de la structure trophique des différents sites montre que la plupart des sites sont dominés par les espèces de type dépositore sélectif (dépositore de surface) ce qui ne permet pas de déceler actuellement des états fortement perturbés du peuplement, mais pose le problème de définir des états de référence entre les différents faciès étudiés.

En résumé :

Les résultats obtenus dans les différents sites échantillonnés pour l'année 2006 sont globalement caractéristiques du peuplement sublittoral des sables fins envasés côtiers, ils illustrent la diversité des faciès liés essentiellement aux caractères particuliers des sites et notamment leurs paramètres sédimentologiques.

Les variabilités inter-sites en termes de richesse et composition spécifique, et d'abondance moyenne sont de l'ordre de celles que l'on connaît dans ce type de peuplement sur les côtes nord-européennes.

L'évaluation de perturbations possibles sur ces aspects structuraux et quantitatifs (composition, abondance, dominance, groupes écologiques et trophiques, ...) du peuplement des sables fins envasés des côtes bretonnes ne permet pas de les discerner dans cette troisième série de prélèvements. Il est prévu une analyse comparative sur les trois premières années afin d'évaluer de possibles variations temporelles.

Références bibliographiques

- Augris C. Hamon D. (édit.), 1996.- *Atlas thématique de l'environnement marin en Baie de Saint-Brieuc (Côtes d'Amor)*, Éditions IFREMER., 72 pp., 20 cartes.
- Borga A., Franco J., Perez V., 2000.- A Marine Biotic Index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40, 1100 – 1114.
- Buchanan J.B., 1984.- Sediment analysis. In, Holme N.A., McIntyre A.D. (edit). *Methods for the study of marine benthos*. IBP hand book 16, Blackwell scientific publication, Oxford, 41-65.
- Cabioch L., 1961.- Étude de la répartition des peuplements benthiques au large de Roscoff. *Cahiers de Biologie marine*, 2, 1-40.
- Cabioch L., 1968.- Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche occidentale. *Cahiers de Biologie marine*, 9, 493-720.
- Cabioch L., Gentil F., Glaçon R., Retière C., 1977.- Le macrobenthos des fonds meubles de la Manche : distribution générale et écologie. In Keegan B., O'Ceidigh P., BOADEN (eds). *Biology of marine organisms*, Pergamon Press, 115-128.
- Chassé C., Glémarec M., 1976.- Atlas des fonds meubles du plateau continental du Golfe de Gascogne. *Cartes biosédimentaires* ; Feuille de Brest, Pont-Croix, Quimper, Lorient et Vannes. Imprimerie ICA, Brest.
- Crisp D.J., 1984.- Energy flow measurements. In, Holme N.A., McIntyre A.D. (eds), *Methods for the study of marine benthos*. IBP hand book 16, Blackwell scientific publication, Oxford, 284-372.

- Dauvin J.-C., 1979.- *Recherches quantitatives sur les peuplements des sables fins de la Pierre Noire, baie de Morlaix, et sur sa perturbation par les hydrocarbures de l'Amoco-Cadiz.* Thèse de 3^{ième} cycle, Océanographie Biologique. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 251 pp.
- Dauvin J.-C., 1984.- *Dynamique d'écosystèmes macrobenthiques des fonds sédimentaires de la baie de Morlaix et leur perturbation par les hydrocarbures de l'Amoco Cadiz.* Thèse Doctorat État, Sciences Naturelles, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 468 pp et annexes 193 pp.
- Dauvin JC., 1996.- Le macrobenthos marin : témoin des variations de l'environnement côtier. *RNO 1996.- Surveillance du Milieu Marin. Travaux du RNO.* Édition 1996. IFREMER et Ministère de l'Environnement. 9-20.
- Dauvin J.-C. (édit.), 1997.- *Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et Mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives.* Laboratoire de Biologie des Invertébrés Marins et Malacologie- Service du Patrimoine naturel/ IEBG/ Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 376 pp.
- Gentil F., Dauvin J.-C., 2000.- Le macrobenthos marin : témoin des variations de l'environnement côtier. Le suivi des peuplements benthiques de la Baie de Morlaix dans le cadre de la surveillance des effets biologiques du RNO (Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin). *Actes du colloque RNO : 25 ans de surveillance du milieu marin.* 27-28 octobre 1999, Nantes, éditions IFREMER , 45-55.
- Gentil F., Cabioch L., 1997.- Les biocénoses subtidales macrobenthiques de la Manche, conditions écologiques et structure générale. In, Dauvin J.-C. (édit.), *Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et Mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives.* Laboratoire de Biologie des Invertébrés Marins et Malacologie-Service du Patrimoine naturel/ IEBG/ Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 68-78.
- Glémarec M., 1964.- Bionomie benthique de la partie orientale du golfe du Morbihan. *Cahiers de Biologie marine*, 5, 33-96.
- Glémarec M., 1969. *Les peuplements benthiques du plateau continental Nord-Gascogne.* Thèse de doctorat État, Sciences Naturelles, Faculté des sciences de Paris, Brest, 167 pp.
- Glémarec M., 1973.- The benthic communities of the European North Atlantic continental shelf. *Oceanography & Marine Biology Annual Review*, 11, 263 – 289.
- Glémarec M., 1978.- Distribution bathymétrique et latitudinale des bivalves du Golfe de Gascogne. *Haliotis*, 9, 45 – 48.
- Glémarec M., 1986.- Ecological impact of an oil-spill : utilisation of biological indicators. IAWPRC-NERC Conference, July 1985. *IAWPRC Journal*, 18, 203 – 211.
- Grall J., Glémarec M., 1997.- Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. *Estuarine, Coastal and shelf Science*, 44, 43 – 53.

- Hily C., 1984.- *Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hypertrophiques de la Rade de Brest*. Thèse de doctorat d'État, Sciences Naturelles., Université de Bretagne Occidentale, Brest, Vol I & II, 359 pp.
- Hily C., Grall J., 2003.- Traitement des données stationnelles (faune). Fiche technique REBENT n° 10 (FT-10-2003-01.doc).
- Guillaumont B., Hamon D., Hily C., 2001.- Réseau benthique (REBENT): développement d'un pilote breton. Élaboration de l'avant-projet sommaire (APS). Rapport technique IFREMER RST.DEL, Brest, 112 pp. et annexes.
- Larsonneur C.- 1971.- *Manche Centrale et baie de Seine : géologie du substratum et des dépôts meubles*. Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles, Université de Caen, 394 pp.
- Larsonneur C.- 1977.- La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français, méthode mise au point et utilisée en Manche. *Journal Recherche océanographique*, 2, 33-39.
- Menesguen A., 1980.- *La macrofaune benthique de la baie de Concarneau. Peuplements, dynamique de populations, prédation exercée sur les poissons*. Thèse de 3^{ème} cycle, océanographie biologique, Université de Bretagne Occidentale, 127 pp.
- Noël P., Blanchard M., Berthou P., 1995.- Cartographie et évaluation des principaux mollusques filtreurs du golfe normanno-breton. Rapport IFREMER DEL/95 11 et DRV/RH Brest, 31 pp.
- Retière C., 1979.- *Contribution à la connaissance des peuplements benthiques du golfe Normano-Breton*. Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles, Université de Rennes, 421 pp.
- Toulemont A., 1972.- Influence de la nature granulométrique des sédiments sur les structures benthiques. Baies de Douarnenez et d'Audierne (Ouest-Finistère). *Cahiers de Biologie marine*, 13, 91-136.
- Vaslet D., Larsonneur C., Auffret J.-P., 1978.- *Carte des sédiments superficiels de la Manche au 1/500 000 et notice*. B.R.G.M. édit., Orléans.