

F. BENZÉCRI

Deux analyses de données granulométriques en géomorphologie

Les cahiers de l'analyse des données, tome 1, n° 2 (1976),
p. 145-160

http://www.numdam.org/item?id=CAD_1976__1_2_145_0

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1976, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Les cahiers de l'analyse des données » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

DEUX ANALYSES DE DONNÉES GRANULOMÉTRIQUES EN GÉOMORPHOLOGIE

—
par F. Benzécri ⁽¹⁾

d'après les thèses de C Bressolier ⁽²⁾ et Y. Thōmas ⁽²⁾,

avec les analyses de M Bakka, H. Boussouf,

B. Frazier-Anquez; B Hygounet

1. Préliminaires.

La géomorphologie est, selon J. Tricart [7] l'étude des formes de l'écorce terrestre; comme les autres sciences de la Nature, elle doit décrire, classer, expliquer. "L'objet spécifique de la géomorphologie, écrit J. Tricart p. 18, est une surface de contact, celle qui sépare la partie solide du globe terrestre, la lithosphère, et les enveloppes liquides et gazeuses qui l'entourent. [...] la surface de la lithosphère est le reflet d'un équilibre mouvant entre les forces de nature différente qui s'exercent de part et d'autre d'elle".

C'est dans ce cadre que se placent les deux études dont nous rapportons ici quelques résultats : l'une faite à la pointe de la Coubre (Charente Maritime) [2], [6], l'autre au Port Blanc (Ille et Vilaine) [3], [5]. Toutes deux ont pour objet l'effet des interactions entre un stock de sédiments sableux et les agents marins et éoliens de plages des littoraux de l'Atlantique et de la Manche. Sur ces deux sites, les collectes des données ainsi que leurs traitements statistiques ont été réalisés de façons semblables.

1.1. Collecte des échantillons de sable.

On a tenté de s'approcher des conditions d'observation idéales suivantes : relever au même instant des échantillons de la couche superficielle en nombre assez grand pour que les points de prélèvement recouvrent toute la surface de la plage. L'étude granulométrique de ces échantillons doit fournir la description de l'état de la plage à l'instant du prélèvement. On sait en effet combien est instable la distribution des matériaux sur une plage sans cesse couverte puis découverte par la mer. Malheureusement, à cause de l'étendue des surfaces à étudier (250 hectares à la Pointe de la Coubre, 2 hectares au Port Blanc) pareille collecte n'aurait été possible qu'à une équipe nombreuse. Faute de pouvoir faire mieux, les deux géomorphologues qui ont fait les relevés, C. Bressolier et Y. Thomas, ont procédé à des prélèvements systématiques selon des lignes parallèles ou perpendiculaires au front de mer choisies aux endroits où les changements morphologiques étaient les plus caractéristiques. A la Coubre, en plus de ces prélèvements systématiques, ils ont, pour étudier la distribution des sables sur des surfaces restreintes, fait trois séries de dix prélèvements selon une grille à entrées aléatoires (les coordonnées, selon des axes préalable-

(1) Laboratoire de statistique - Université Pierre et Marie Curie, Paris.

(2) Laboratoire de géomorphologie de l'E.P.H.E. - Paris et Dinard.

ment choisis, des dix points de prélèvement sont déterminés à partir d'une table de nombres aléatoires). Enfin, tous ces prélèvements n'ont pas été effectués simultanément, mais à des jours et même une année d'intervalle. Les géomorphologues considèrent, dans le traitement statistique, comme appartenant à une même population des échantillons prélevés dans des conditions hydroclimatiques comparables. On trouvera plus loin (fig. 2.4 et 3.3) les indications détaillées des lieux, dates et conditions hydroclimatiques des prélèvements.

Ces prélèvements de surface ont été réalisés au moyen du couvercle d'une boîte de Pétri : on enfonce le couvercle dans le sable et on le relève à l'aide d'une truelle passée in situ sous le rebord de la boîte, obtenant ainsi une galette de sable d'un centimètre d'épaisseur (C. Bressolier [2] p. 63).

1.2 Des échantillons aux données numériques.

Les divers échantillons ainsi prélevés ont donc un même volume (78,5 cm³). Chaque échantillon est lavé (pour enlever le sel) (*), décarbonaté à chaud par l'acide chlorhydrique, puis fractionné par tamisage (les échantillons de la Coubre proximale, cf Fig. 2.1, ont été d'abord tamisés avec les carbonates, décarbonatés par l'acide chlorhydrique, puis retamisés, ce qui a permis d'évaluer la quantité de particules calcaires par fractions en vue d'une étude complémentaire : cf § 2.3 in fine, différenciation des sables du haut estran et de la dune de la Coubre proximale).

On exclut les particules calcaires pour diverses raisons : d'abord, du point de vue technique, les grains calcaires, fragiles et anguleux sont facilement brisés par le tamisage; ensuite, du point de vue du fond de notre étude, à savoir "les réponses sédimentaires aux agents dynamiques" (C. Bressolier), il est préférable de ne garder qu'un matériel assez homogène en forme et en densité; enfin, on peut avoir en vue une comparaison éventuelle avec des études semblables de paléogéomorphologie : or, plus encore que les matériaux siliceux, les carbonates sont susceptibles d'importantes modifications au cours du temps.

D'autre part, sur les classes granulométriques (500 à 250 μ), (250 μ à 125 μ), (125 μ à 63 μ) de 16 échantillons de la Coubre, C. Bressolier a séparé la fraction la plus dense par le bromoforme (densité 2,88).

Pour le tamisage, il est classique de faire usage d'une série de tamis rangés en colonne, les mailles décroissant de haut en bas. Dans la série AFNOR utilisée ici les mailles décroissent selon une progression géométrique de raison $\sqrt{10} = 1,258$. Après un fractionnement mécanique de dix minutes, les grains se trouvent triés en fonction de leur diamètre : dans le p^e tamis se trouvent les grains dont le diamètre est compris entre la maille du p^e tamis et celle du (p-1)^e; ces grains constituent ce qu'on appelle le refus du p^e tamis.

Après pesée du refus de chaque tamis, on peut dresser le tableau des données brutes : appelons $I = \{i\}$ l'ensemble des échantillons d'une étude; $J = \{j\}$ l'ensemble des classes granulométriques défini par la série de tamis utilisée; pour chaque échantillon $i \in I$ et chaque classe granulométrique $j \in J$, notons $k(i, j)$ la masse de sable de l'échantillon i appartenant à la classe j . Dans le tableau rectangulaire à double entrée $I \times J$ (I ensemble des lignes, J ensemble des colonnes) on inscrit, à la croisée de la ligne i et de la colonne j , le nombre $k(i, j)$.

(*) S'ils avaient contenu des matières organiques, on les aurait passés à l'eau oxygénée, mais tel n'était pas le cas.

1.3 L'analyse des données.

On peut soumettre le tableau des données brutes, tel quel, à l'analyse des correspondances. Avant d'exposer les résultats obtenus par cette méthode, qui seule nous occupe ici, signalons cependant qu'il est classique en sédimentologie de déduire du fractionnement granulométrique de chaque échantillon des courbes cumulatives obtenues par interpolation à partir des histogrammes (ceci afin que les résultats ne dépendent pas de la série de tamis utilisée).

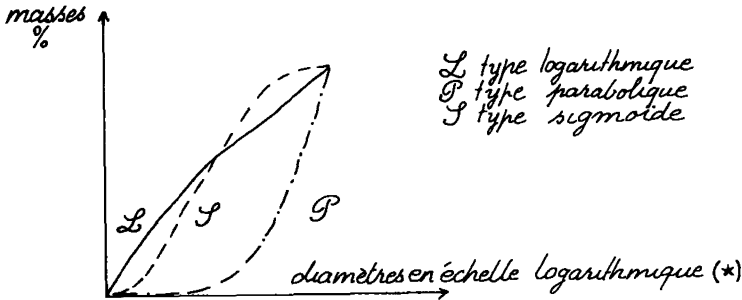
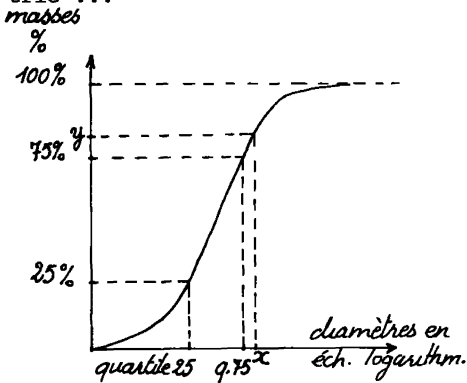


Figure 1-1. Trois types fondamentaux de courbes cumulatives. (D'après J. Tricart, op cit p 373)

On distingue trois types fondamentaux de courbes cumulatives (cf. Fig. 1.1) : logarithmique, parabolique, sigmoïde, reflétant les conditions de dépôt des sédiments étudiés (cf Tricart p. 372). Les courbes sigmoïdes, courantes pour les échantillons de dunes et de plages, sont "caractéristiques, écrit J. Tricart, de l'accumulation libre, i.e. qui se produit du fait d'une variation banale et modérée dans la compétence du processus de transport. Le matériel abandonné peut être repris dès que la compétence croîtra de nouveau. Il n'y a que fluctuation dans la compétence, non intense freinage [...]. Toutes ces accumulations sont d'ailleurs caractérisées par des changements fréquents de granulométrie ...



A tout diamètre x la courbe cumulative fait correspondre le pourcentage $y(x)$ de la masse de l'échantillon constitué par les grains plus fins que x . Inversement, à un pourcentage y la courbe fait correspondre un diamètre $x(y)$ appelé percentile de y et tel que l'ensemble des grains inférieurs ou égaux à $x(y)$ constitue un pourcentage y de la masse totale de l'échantillon. Pour $y=25\%$ et $y=75\%$ $x(y)$ est appelé respectivement quartile 25 et quartile 75; pour $y=50\%$ $x(y)$ est parfois appelé médiane

Figure 1-2 : Définition des percentiles

(*) De nombreuses lois classiques (e.g. la loi normale) offrent un modèle pour une grandeur aléatoire dont l'intervalle de variation va de $-\infty$ à $+\infty$. Le passage aux abscisses logarithmiques permet d'utiliser ce modèle pour des grandeurs essentiellement positives comme le diamètre d'un grain : $0 < \rho < \infty \Rightarrow -\infty < \text{Log } \rho < +\infty$.

Enfin, les sédimentologues calculent, par analogie avec la méthode des moments, des paramètres texturaux à partir de percentiles caractéristiques de la courbe granulométrique, de façon à rendre compte au mieux de l'aspect des courbes granulométriques de leurs échantillons. Les définitions des paramètres utilisés et l'étude de leurs variations sur l'ensemble de la plage sont exposés, pour le Port Blanc en [3], et pour la pointe de Coubre, dans la thèse de C. Bressolier [2]. Dans sa conclusion, C. Bressolier écrit (p. 110) : "De nombreux tests ont été essayés sur les échantillons de la pointe de la Coubre ... Seule l'analyse de la variance a été retenue (ainsi que parfois la régression linéaire) car elle seule a permis de dégager efficacement des gradients sédimentologiques (*). Par contre, toutes les méthodes s'avèrent inaptes à différencier significativement le haut estran (cf Fig. 2.3) de la dune et il a fallu faire appel à une autre méthode, moins dépendante d'un modèle a priori".

Cette seconde méthode est l'analyse factorielle des correspondances appliquée au tableau des données brutes; analyse dont nous allons maintenant présenter les résultats à la pointe de la Coubre, puis au Port Blanc.

2. L'analyse factorielle des correspondances appliquée à l'étude granulométrique de la pointe de la Coubre.

2.1 Le site de la pointe de la Coubre.

"Localisée sur le littoral atlantique, la pointe de la Coubre se développe sur l'extrémité sud de la côte sauvage et limite le chenal nord de l'embouchure de la Gironde (Grande Passe de l'Ouest)" (C. Bressolier, p. 4).

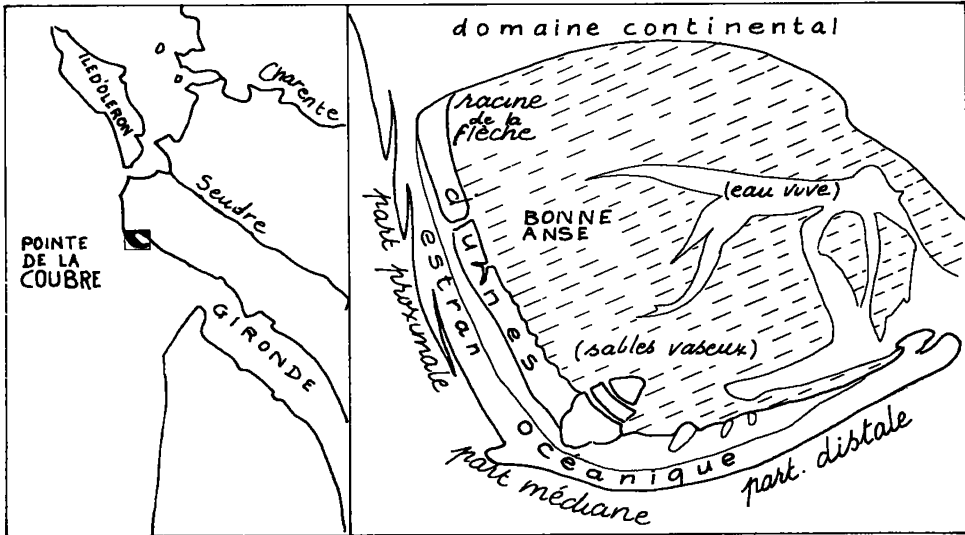


Fig 2.1 site et différentes parties de la pointe de la Coubre.

(*) Les gradients sédimentologiques sont les variations spatiales continues des divers paramètres texturaux comme la taille du grain moyen (on lit dans C. Bressolier p. 77 : "de la racine de la flèche (cf Fig. 2.2) vers son extrémité, la taille du grain moyen décroît") le tri ("depuis la racine jusqu'à l'extrémité de la flèche, les grains tendent à être mieux triés"; *ibid.*) etc ...

On distingue dans sa longueur trois parties : une partie proximale orientée NNW-SSE de 2400 m de long; une partie médiane orientée WNW-ESE de 1300 m de long; une partie distale orientée SW-NE de 2000 m de long.

Enfin, la pointe de la Coubre, constituée par des ensembles dunaires peu élevés (n'excédant pas 10 m), présente deux faces très différentes : l'une, à l'estran exposé au large (cf infra); l'autre, donnant sur Bonne Anse, abritée derrière le cordon dunaire, et constituée par des vases et sables vaseux. "Là, écrit Y. Thomas dans sa thèse p. 5, s'opposent au calme paysage des dunes internes, boisées et géomorphologiquement inertes, ceux de l'estran et des dunes bordières qui connaissent une intense activité géodynamique".

L'estran est l'espace compris entre le niveau des basses mers et celui des pleines mers. Seule la partie océanique de l'estran a été étudiée : on l'a subdivisée en haut et bas estran de part et d'autre du niveau de mi-marée.

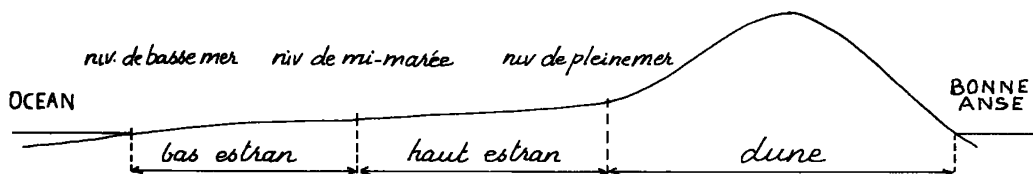


Figure 2-2 : Coupe schématique transversale de la pointe de la Coubre

En vive eau moyenne, la largeur de l'estran décroît depuis la partie proximale où elle atteint 200 m jusqu'à l'extrémité distale où elle ne mesure plus que 60 m, tandis que la pente croît depuis 1° à la partie proximale jusqu'à 4° à l'extrémité distale (Fig. 2.1; et cf [6] p. 8).

2.2 L'échantillonnage. (Fig. 2.4)

Des prélèvements systématiques ont été faits d'une part le long de la flèche, au niveau de la laisse de pleine mer, c'est-à-dire au niveau maximum atteint par la mer lors de la marée du jour (échantillons 101 à 126); d'autre part selon trois lignes perpendiculaires au grand axe de la flèche situées respectivement : à la racine proximale de la flèche (échantillons 201 à 223), dans la partie médiane au niveau de la Grande Dune (échantillons 401 à 409) et dans la partie distale à 200 m avant les derniers massifs de dunes (501 à 509).

En outre, comme nous l'avons déjà signalé (§ 1), des prélèvements selon une grille à entrées aléatoires ont été réalisés sur trois petites surfaces au niveau de la Grande Dune situées respectivement sur le bas estran (échantillons 301 à 310), le haut estran (311 à 320) et les dunes (321 à 330) : "Statistiquement, écrit C. Bressolier, la grille à entrées aléatoires permet de réaliser le meilleur des échantillonnages en ne laissant aucune part à la subjectivité de l'opérateur".

Quelques échantillons supplémentaires ont été prélevés pour compléter la série 401-409 : en effet l'estran, au niveau de la Grande Dune présente de nombreuses particularités morphologiques (on en trouvera la description détaillée dans la thèse de C. Bressolier p. 50). C'est ainsi que l'on trouvera sur le graphique 2.6 quatre échantillons 407.

Le nombre total des échantillons prélevés se monte à 102.

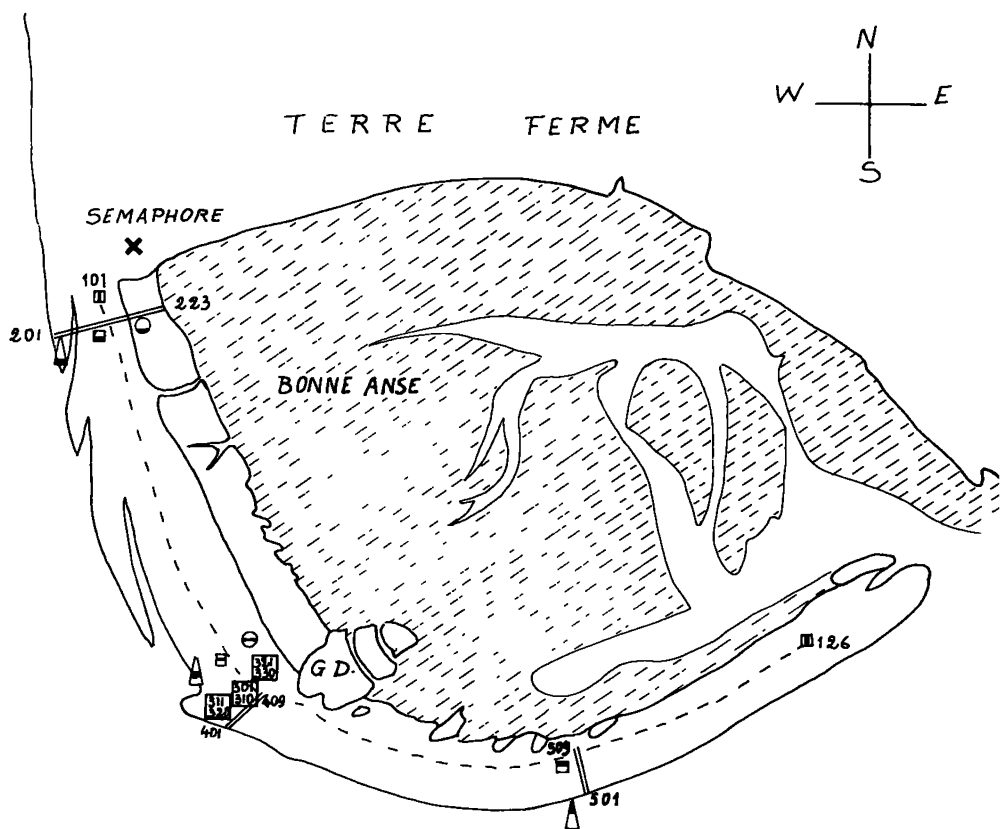


Figure 2.3 Localisation et conditions de l'échantillonnage à la Coubre

date du prélèvement	État de la mer; creux en m	direction et vitesse du vent	numéros des échantillons	espacement des points	ligne ou zone échantillonnée
26/12/71	1,25 à 2,5	S; 6 à 8 m/s	101 à 126	200 m	lisse de pleine mer
03/04/72		N; 1 à 0 m/s	201 à 216	10 m	estran; transit; à 400 m
03/04/72		N; 1 à 0 m/s	217 à 223	20 m	dune } du sémaphore
23/05/73	0,5 à 1,25	E; 2 à 4 m/s	401 à 409	20 m	estran; transit; sur G.D.
24/05/73	0,5 à 1,25	E; 2 à 4 m/s	501 à 509	6 m	estran; transit; 200 m avant les derniers massifs dun.
23/05/73	0,5 à 1,25	E; 2 à 4 m/s	301 à 310	aléatoire	haut estran } au niveau
23/05/73	0,5 à 1,25	E; 2 à 4 m/s	311 à 320	aléatoire	bas estran } de la
23/05/73	0,5 à 1,25	E; 2 à 4 m/s	321 à 330	aléatoire	dune } Grande Dune

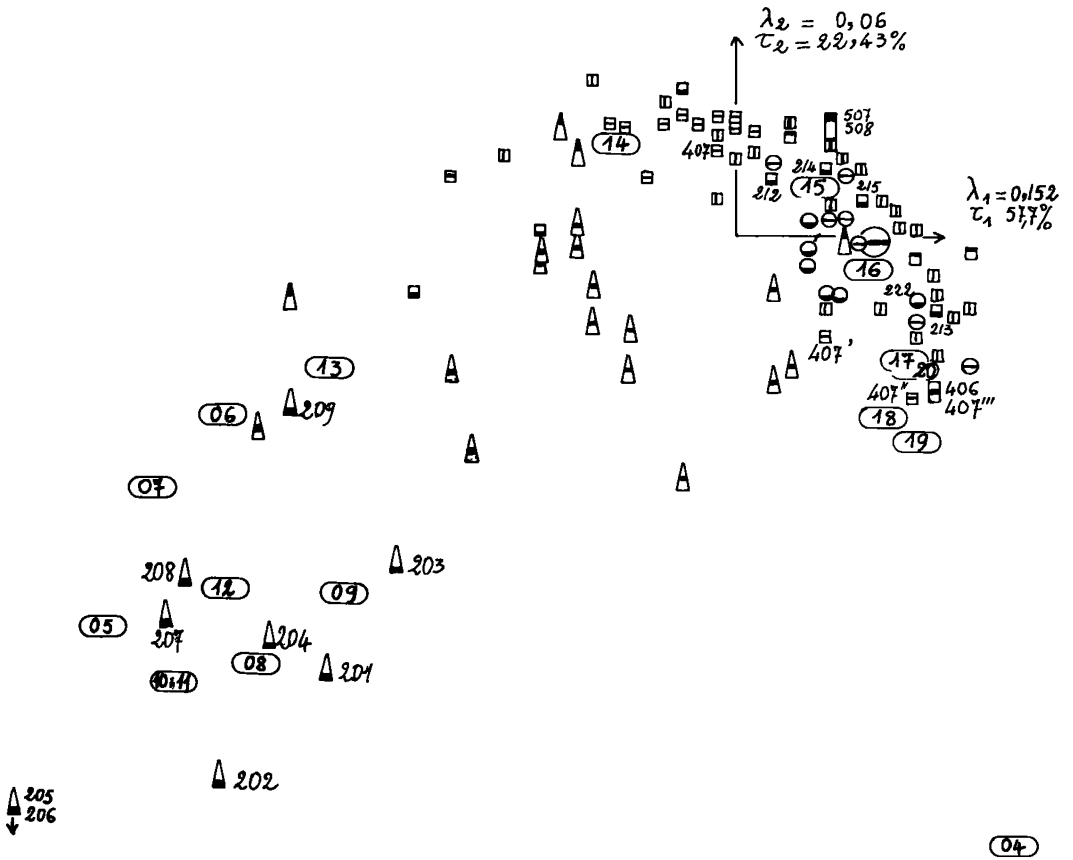


Figure 2.4 Analyse du tableau 93 x 20 avec, en éléments supplémentaires, les échantillons 201 à 209 du bas estran de la Coubre proximale. Les axes ont longueur 0,5.

bas estran	Coubre proximale	niveau Grande Dune	Coubre distale
haut estran	▲	▲	▲
dune	□	□	□

lisse de pleine mer, selon le grand axe de la Pointe : □

classe granulom.	maille	diamètre des grains de sable appartenant à la classe	classe granulom.	maille	diamètre des grains de sable appartenant à la classe
1	8	> Ø > 8	11	0,63	0,8 > Ø > 0,63
2	6,3	8 > Ø > 6,3	12	0,5	0,63 > Ø > 0,5
3	5	6,3 > Ø > 5	13	0,4	0,5 > Ø > 0,4
4	4	5 > Ø > 4	14	0,315	0,4 > Ø > 0,315
5	2,5	4 > Ø > 2,5	15	0,25	0,315 > Ø > 0,25
6	2	2,5 > Ø > 2	16	0,2	0,25 > Ø > 0,2
7	1,6	2 > Ø > 1,6	17	0,16	0,2 > Ø > 0,16
8	1,25	1,6 > Ø > 1,25	18	0,125	0,16 > Ø > 0,125
9	1	1,25 > Ø > 1	19	0,1	0,125 > Ø > 0,1
10	0,8	1 > Ø > 0,8	20	0,08	0,1 > Ø > 0,08

Le sable des 102 échantillons a été réparti en 20 classes granulométriques correspondant à des diamètres allant de 8 mm à 0,08 mm (Fig. 2.5)

Le tableau des données brutes est donc un tableau 102 x 20 où chaque ligne correspond à un échantillon et chaque colonne à une classe granulométrique.

2.3 L'analyse des correspondances. (Fig. 6)

Une première analyse portant sur la totalité du tableau a fait ressortir avec une très forte contribution les échantillons 201 à 209 prélevés sur le bas estran de la Coubre proximale. La contribution massive de ces 9 échantillons faussait l'ensemble des résultats en imposant au graphique une échelle et des axes inaptes à mettre en évidence une loi générale de répartition des sables sur l'ensemble de la flèche. On a donc fait une seconde analyse en mettant les échantillons 201 à 209 en éléments supplémentaires. Dans cette seconde analyse, les axes sont définis par le tableau 93 x 20 obtenu en supprimant du tableau initial les lignes correspondant aux échantillons 201 à 209. Quant à ces échantillons 201 à 209, ils sont considérés de masse nulle et se placent sur le graphique en éléments supplémentaires sans apporter de contribution à l'élaboration des axes.

Il ressort de cette 2ème analyse que le bas estran, caractérisé par des sables de diamètre relativement fort (de 4 à 0,4 mm), forme un groupe nettement séparé du reste. En particulier, les échantillons 201 à 209 du bas estran de la Coubre proximale sont bien groupés autour des classes granulométriques 8 à 13 (de mailles 1,25 à 0,4 mm). En se déplaçant sur le graphique de la classe 13 à la classe 14 on rencontre successivement le bas estran de la Coubre médiane, puis celui de la Coubre distale. L'analyse met donc en évidence, au niveau du bas estran, un gradient sédimentologique allant de la partie médiane à la partie distale; la partie proximale étant à part.

Les échantillons du haut estran et de la dune forment un second groupe sans coupure, caractérisé par des sables plus fins. Toutefois, on peut suivre un gradient transversal, le grain s'affinant du haut estran (situé sur le graphique en regard des classes granulométriques 14 et 15 de mailles 0,315 et 0,25 mm) à la dune (située sur le graphique entre les classes 15; 16; 17 de mailles 0,25; 0,2; 0,16 mm). Quelques échantillons du haut estran se trouvent égarés parmi les échantillons dunaires : ce sont {406, 407', 407", 407''} prélevés dans une zone complexe de rides; un grand nombre d'échantillons prélevés le long de la laisse de pleine mer, à la limite de l'estran et de la dune; et les échantillons {504, 506, 509} prélevés sur l'estran distal un jour où le vent soufflait de terre et pouvait être chargé de sable dunaire. Reste les échantillons {212, 214, 215} du haut estran proximal qui sortent sur le graphique groupés autour de la classe granulométrique (15) de maille 0,25 mm, au voisinage d'échantillons dunaires de la Grande Dune : {321, 323, 325, 327, 328, 329}; et l'échantillon 213 du haut estran proximal qui sort au voisinage de l'échantillon dunaire 222 de la Coubre proximale. Cette confusion de l'estran et de la dune est confirmée par une étude faite par Y. Thomas portant sur 46 échantillons du haut estran et de la dune (d'où se trouvent éliminés les échantillons 101 à 126 prélevés le long de la laisse de plein mer) croisés avec les 11 classes granulométriques (10) à (20).

Pourtant, l'examen des listages des facteurs suivants révèle que la confusion n'est pas si grande qu'elle apparait sur le plan 1.2. En effet, quoique ne totalisant qu'une faible part de l'inertie totale du nuage, les axes 3 et 4 présentent de fortes corrélations avec quelques échantillons : ceux de la Grande Dune {321, 323, 325, 327, 329} sont forte-

ment corrélés avec l'axe 3, ce qui signifie qu'ils s'écartent en réalité du plan 1.2 dans la direction de l'axe 3; les échantillons {323, 325 et 329} sont également bien corrélés avec l'axe 4, ce qui signifie qu'ils s'écartent du plan 1.2 également dans la direction de l'axe 4. En outre, les fortes valeurs de leurs facteurs 3 et 4 montrent que ces échantillons s'écartent notablement du plan 1.2.

Quoi qu'il en soit, après ce nettoyage méticuleux, il reste encore des promiscuités troublantes : telle, celle des échantillons 213 et 222 de la Coubre proximale, l'un du haut estran l'autre dunaire. Ceci confirme la difficulté à différencier par la texture des sables provenant d'unités morpho-dynamiques voisines; mais la composition minéralogique globale peut permettre de les différencier.

Sur la Coubre proximale, pour saisir la différence entre les sables dunaires et ceux du haut estran, Y. Thomas considère, pour chaque échantillon, les teneurs en quartz, carbonates et minéraux denses de la fraction de taille comprise entre 500 et 63 micromètres, elle-même scindée en trois classes granulométriques : (1) 500 μ à 250 μ ; (2) 250 μ à 125 μ ; (3) 125 μ à 63 μ . Pour chacune des trois classes (1), (2), (3) on détermine sur chaque échantillon le pourcentage de quartz (noté respectivement Q_1 , Q_2 , Q_3); de carbonates (C_1 , C_2 , C_3) et de minéraux denses (M_1 , M_2 , M_3). Pour chaque échantillon Y. Thomas détermine donc 9 caractères et il fait l'analyse factorielle des correspondances du tableau 16 x 9 obtenu en croisant : 16 échantillons de la flèche proximale ({201, 203, 205, 206, 208} du bas estran, {210, 212, 214, 216} du haut estran et les 7 échantillons dunaires 217 à 223); et les 9 caractères Q_1 , Q_2 , Q_3 , C_1 , C_2 , C_3 , M_1 , M_2 , M_3 .

Cette analyse fournit dans le plan des deux premiers axes factoriels une nette partition en dune et estran : les échantillons dunaires (sauf un, le 217 provenant de la zone limitrophe dune-estran et qui sort dans le groupe de l'estran) sont bien groupés en regard des caractères Q_2 et C_2 , ce qui met en évidence la forte teneur de ces échantillons en quartz et carbonates dans la fraction granulométrique (2); en outre ces échantillons dunaires sont comme tirés vers le bas du graphique par les caractères M_1 , M_2 , M_3 et C_3 , ce qui correspond à leur teneur relativement élevée en minéraux denses dans les trois fractions (1), (2), (3) et en carbonates dans leur fraction la plus fine. Le second groupe comprend tous les échantillons de l'estran (ainsi que l'échantillon 217); caractérisés par Q_1 , ces échantillons ont une forte teneur en quartz dans leur fraction la plus grossière; en outre ils sont attirés vers le haut du graphique par C_1 qui sort opposé à C_3 sur l'axe 1.

En résumé, le sable dunaire se distingue du sable d'estran (haut ou bas) par sa forte teneur en minéraux lourds et par la relative richesse en quartz et carbonates de ses fractions granulométriques les plus fines (*).

Les analyses que nous venons de décrire mettent en évidence deux gradients sédimentologiques sur l'ensemble de la flèche : l'un longitudinal au niveau du bas estran, allant de la racine à l'extrémité distale, l'autre transversal allant du bas estran à la dune. Les diverses parties

(*) Aussi dans son article "Dynamique sédimentaire et teneurs globales en quartz, carbonates et minéraux denses à la Pointe de la Coubre" [9], C. Bressolier affirme-t-elle que "la principale distinction entre l'estran et la dune n'est pas dans la texture, mais dans la composition minéralogique".

de la flèche (bas et haut estran, dune) sont différenciées par la texture et la minéralogie de leurs sables. C. Bressolier et Y. Thomas expliquent dans leurs thèses respectives (2) et (6) les réponses sédimentaires l'un à l'action de la houle et des courants marins, l'autre à celle du vent.

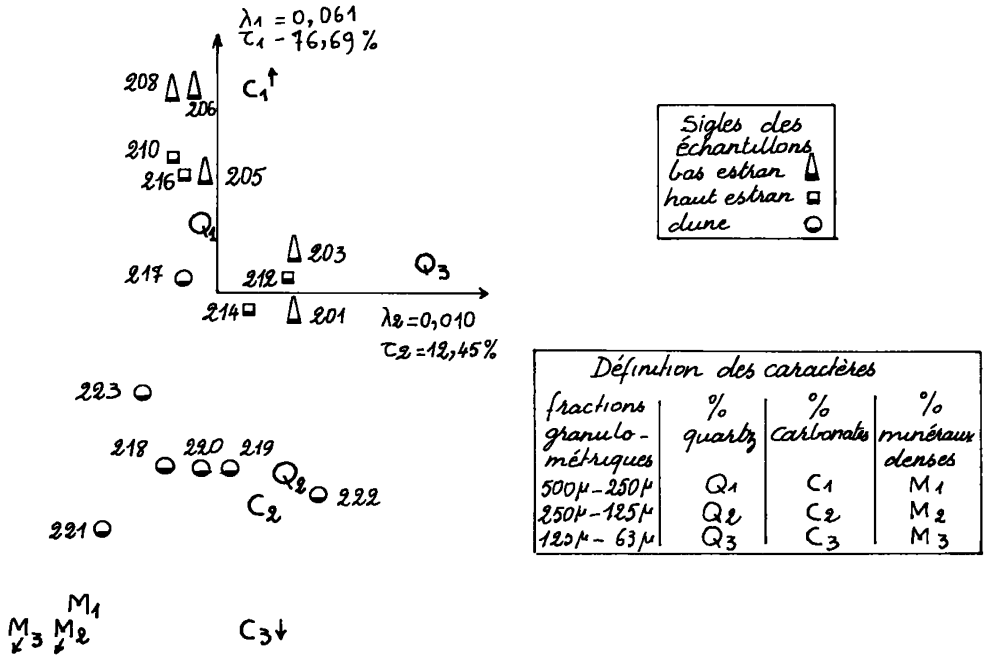


Figure 2-5: Analyse du tableau 16x9 des échantillons d'estran et de dune de la Coubre proximale Crasés avec les teneurs en quartz, carbonates et minéraux denses des fractions fines Plan des axes 1-2 ; les axes ont longueur 0,4.

3. L'analyse factorielle des correspondances appliquée à l'étude granulométrique de la place du Port Blanc.

3.1. Le site du Port Blanc.

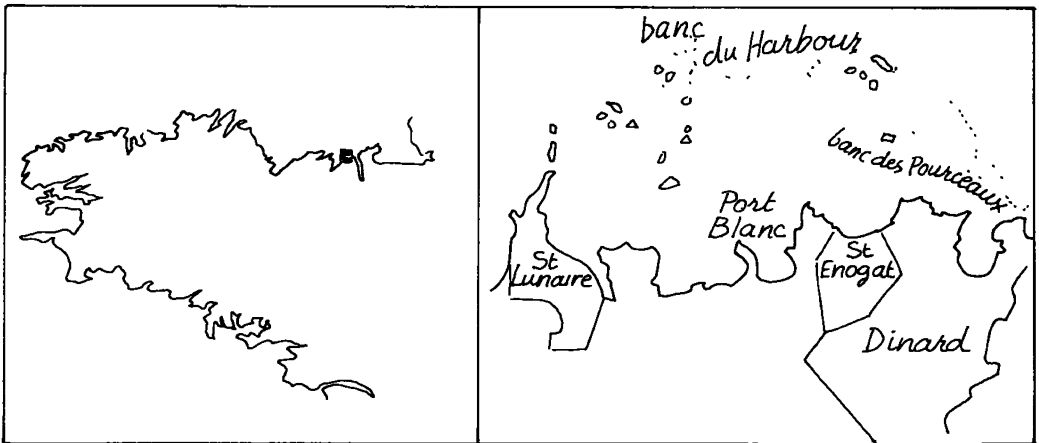


Figure 3-1 : Le site du Port Blanc. On a marqué d'un carré noir la place de ce site sur la côte Bretonne.

"Plage de la côte de la Bretagne, le Port-Blanc est situé à l'extrémité orientale du littoral de la commune de Saint-Lunaire (Ille et Vilaine). A marée haute, la plage est encadrée par deux saillies rocheuses qui lui servent d'abri : seules les actions de secteur NW à NNE s'y font sentir. A basse mer, l'ouverture de cette plage aux agents hydroclimatologiques s'étend plus largement : de WNW à NE... Les deux bancs du Harbour et des Pourceaux qui émergent à marée basse, atténuent les actions de provenance NNW à NE" (C. Bressolier et Y. Thomas (3)).

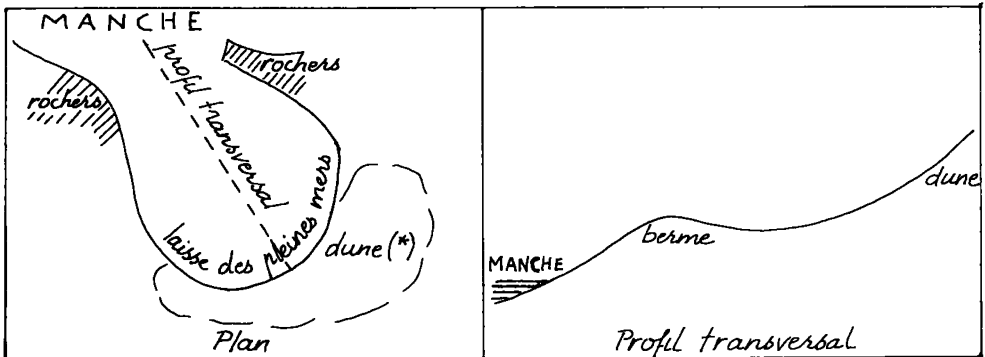


Figure 3.2: Forme de la plage du Port Blanc. En plan : la laisse des pleines mers décrit un arc de cercle de 200m de rayon. En profil, perpendiculairement au front de mer, la plage est concave avec une berme basale et avec un ressaut à sa partie inférieure.

3.2. L'échantillonnage (fig. 3.3).

Les prélèvements ont été faits de façon systématique tous les 10 ou 15 mètres, d'une part selon l'axe de la plage perpendiculaire au front de mer (profil transversal), d'autre part selon trois lignes droites parallèles au front de mer et situées respectivement sur le haut, le moyen et le bas estran.

Les 66 échantillons prélevés ont été fractionnés selon les mêmes 20 classes granulométriques que ceux de la Coubre. Toutefois, on a regroupé en une classe unique codée K les cinq classes correspondant aux sables les plus grossiers. Il faut remarquer que les échantillons du profil E ont été recueillis 6 mois après les autres prélèvements et dans des conditions de marée différentes : on les a donc exclus des analyses d'ensemble qui seront seules exposées ici.

3.3 L'analyse des correspondances portant sur le tableau 44 x 16 des 44 échantillons {A}, {B}, {D} et {C} par les 16 classes granulométriques {K, 06, ... 20} (fig. 3.4).

Les premières analyses portant sur le tableau 44 x 16 distinguent des quarante autres quatre échantillons riches en éléments grossiers : {C10, D01, D10, D11} (ces trois derniers sont proches de la bordure rocheuse de la plage); on a donc mis ces quatre échantillons en éléments supplémentaires.

(*) La dune étant occupée par un terrain de camping, elle est exclue de cette étude.

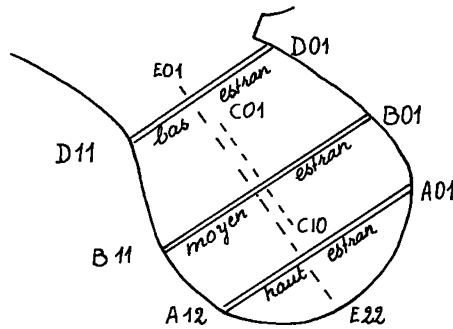


Figure 3.3 : Localisation et conditions de l'échantillonnage au Port Blanc

date du prélèvement	état de la mer	coef de marée	direction et vitesse du vent	sigles des échantillons	espacement des points	ligne ou zone échantillonnée
23/05/72	peu ag à ag.	51	S SE 6 à 12 m/s	C01 à C10	15 m	ligne médiane // front de mer
23/11/72	peu agitée	98	S-SE 8 à 12 m/s	E01 à E22	10,5 m	ligne médiane // front de mer
21/05/72	belle à peu ag.	47	S-SSE 5 à 9 m/s	A01 à A12	10 m	haut estran, ligne // front de mer
21/05/72	belle à peu ag	47	S SSE 5 à 9 m/s	B01 à B11	10 m	moyen estran, ligne // fr. de mer
24/05/72	peu agitée	56	S SSW 6 à 10 m/s	O01 à D11	10 m	bas estran, ligne // fr. de mer

Les valeurs assez élevées des deux premières valeurs propres (0,142 et 0,107) témoignent que les profils des échantillons (lignes du tableau de données) selon les classes granulométriques (colonnes du tableau de données) sont bien différenciés les uns des autres. Nous étudierons principalement la projection des échantillons et des classes granulométriques dans le plan 1.2 qui totalise 82,51% de l'inertie totale, sans nous interdire de considérer les axes suivants pour critiquer les résultats.

Les classes granulométriques se suivent, dans le plan 1.2, des plus fines aux plus grossières, selon une ligne qui se confond d'abord avec la partie négative de l'axe 1 (classes très fines : de la classe (19) au groupe {18, 20}), puis s'écarte du 1er axe (classe (17)), contourne l'origine en passant par le 1er quadrant (classes {16, 15, 14}), pénètre dans le dernier quadrant et se rapproche du 2ème axe négatif (classes {13, 12, 11, 10}) pour aboutir au groupe des classes les plus grossières {9 à K}.

Observons comment se répartissent, par rapport à cette ligne, les divers échantillons.

Le haut estran forme un groupe bien distinct du reste : ses échantillons sont massés dans le 1er quadrant autour des classes granulométriques {14, 15, 16} qui les caractérisent (un seul échantillon, B01, appartenant au moyen estran est, sort, bien corrélé avec les axes 1 et 2, près de la classe 16). A l'intérieur de ce groupe, on peut remarquer un gradient sédimentologique net quoique de faible amplitude : le sable va s'affinant d'Est (échantillons {A01.. A6}) en Ouest (échantillons {A07... A11}). C. Bressolier et Y. Thomas expliquent ce fait par "la prédominance quasi-absolue des influences d'Ouest sur le haut estran qui implique un transit de sédiments d'Ouest en Est" (cf infra).

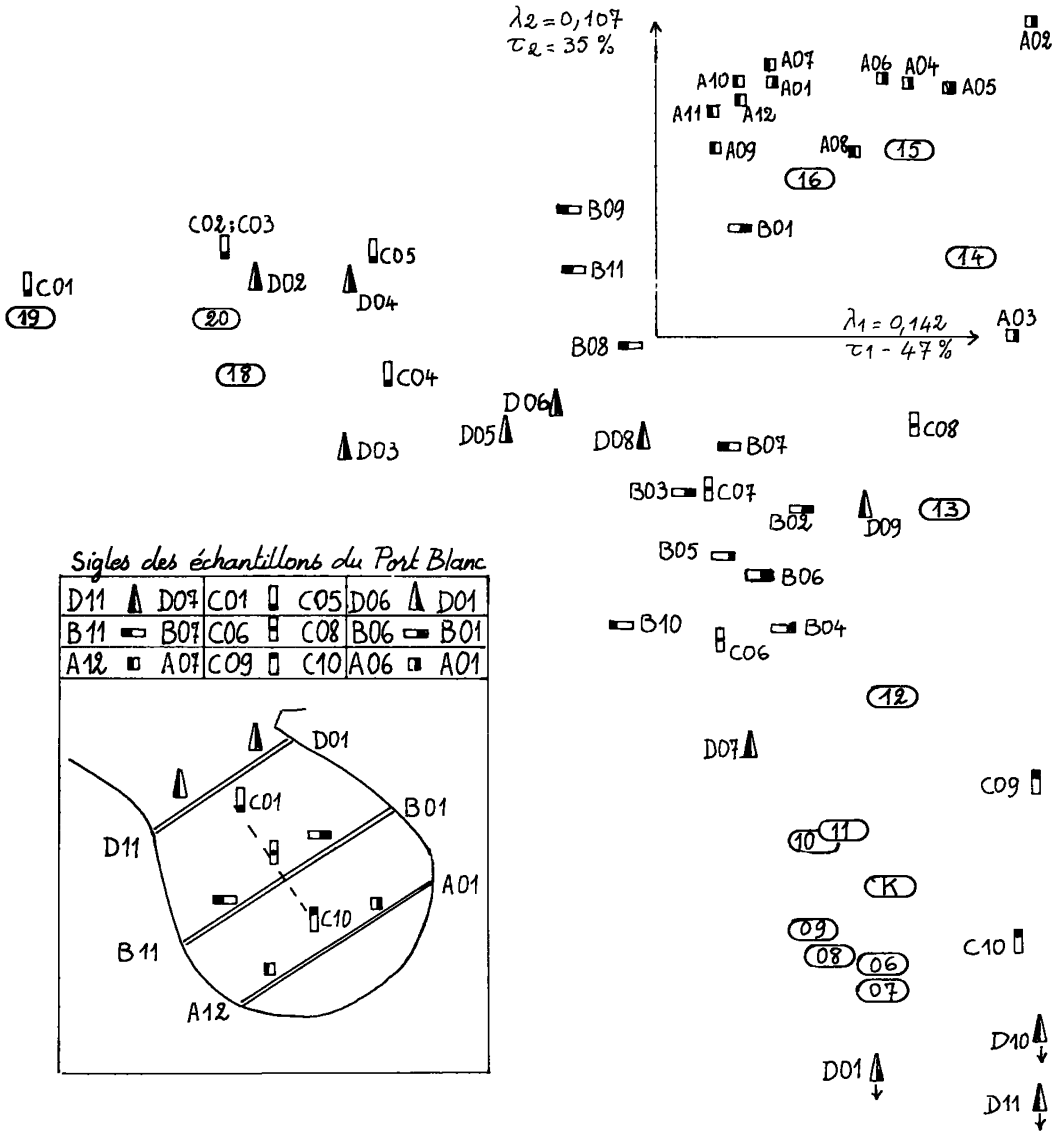


Figure 3-4: Analyse du tableau 44 x 16, 44 échantillons des profils {A}, {B}, {D}, {C} du Port Blanc par 16 classes granulométriques. Ces classes sont celles du tableau de la figure 2-4 numérotées de 1 à 20 en allant du gros au fin, à ceci près que les classes 1 à 5 ont été regroupées en une classe unique K. On a donné aux deux axes respectifs longueurs 0,5.

Le bas estran présente un gradient sédimentologique de plus forte amplitude (des classes {18, 20} aux classes les plus grossières) et allant en sens inverse de celui du haut estran : le sable devient plus grossier d'Est en Ouest (les échantillons d'Est {D02... D05} s'étagent entre les classes fines {18, 20} et {17}, tandis que les échantillons d'Ouest {D07... D11} sortent à proximité des classes les plus grossières). L'échantillon D01, traité en élément supplémentaire et déjà reconnu comme riche en éléments grossiers, sort très loin du côté des classes grossières avec D10 et D11. Quant à D08, il semble appartenir au groupe des échantillons d'Est : en fait, D08 est surtout corrélé avec les axes 2, 3, 5 et sort, sur ces axes du même côté que la classe la plus grossière K.

Cette différence de sens dans le tri des matériaux entre le haut et le bas estran est "à mettre en relation, écrivent C. Bressolier et Y. Thomas, avec la modification d'ouverture de la plage en fonction de l'oscillation verticale du plan d'eau. [...] à pleine mer, seules peuvent se faire sentir les houles de provenance NW à NNE, alors qu'à basse mer celles de NNE à NE sont également efficaces".

Le moyen estran est groupé autour de l'origine le long de la 2ème bissectrice, entre les classes granumométriques (17) et (13) : les échantillons {B01} (Est) et {B08, B09, B11} (Ouest) sortent plus près de la classe 17; les autres plus près de la classe (13). Mais on ne reconnaît pas de gradient sédimentologique le long de la ligne d'échantillonnage {B}.

Le profil transversal {C} présente un gradient sédimentologique de grande amplitude, le sable devenant plus grossier du bas estran vers le haut estran, phénomène très général (*) résultant du mouvement d'avancée et de retour des vagues : "le premier [avancée] a son origine dans l'impulsion brutale et désordonnée transmise à l'eau par le déferlement, tandis que le second [retour] est un écoulement en nappe, ou en filets si la pente est plus forte, partant d'un stade de repos" (Jacques Bourcart : les Frontières de l'Océan, Albin Michel, 1952); l'avancée transporte vers la côte sable et galets en suspension; le retour ramène les éléments vers le large par roulement sur le fond ou saltation. C'est le flot de retour qui trie les matériaux, "laissant en place les plus denses et ceux dont la surface de frottement est la plus grande" (ibid.). Ainsi, on trouve {C01, C02, C03, C04, C05} autour des classes {19, 20, 18}; {C06, C07, C08} autour des classes (13) et (12); {C09, C10} dans le groupe des classes les plus grossières.

3.4 Classification ascendante hiérarchique :

B. Frazier-Anquez et P. Hygounet ont complété cette analyse factorielle par une classification hiérarchique ascendante avec agrégation suivant la variance, la métrique étant celle du Chi deux; nous donnons ci-contre les quatre classes les plus hautes de l'arbre obtenu. Les échantillons {D01, D10, D11, C09, C10} forment à eux seuls une classe (de sables très grossiers); les autres échantillons se répartissent selon trois classes Q_1 (correspondant aux sables les plus fins), Q_2 et Q_3 dont la distribution sur la plage permet de délimiter des zones continues.

B. Frazier-Anquez et P. Hygounet ont également fait deux analyses partielles (et les classifications ascendantes hiérarchiques correspondantes) portant l'une sur les profils A B D, l'autre sur C et E. Nous n'en parlerons pas ici, renvoyant le lecteur à leur rapport de stage.

(*) Phénomène qu'on n'a pourtant pas observé à la Coubre où, au contraire, les sables s'affinent du bas vers le haut estran.

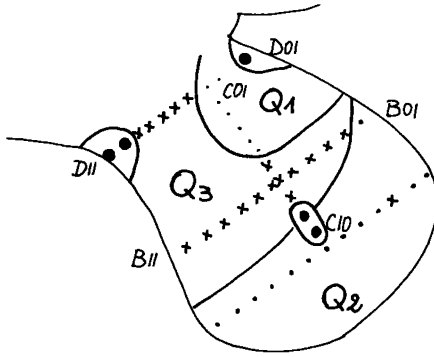


Figure 3.5 : Distribution des faciès sédimentologiques obtenue par classification ascendante hiérarchique du tableau 44 x 16 des 44 échantillons des profils {A}; {B}; {C}; {D} du Port Blanc par les 16 classes granulométriques {K; 06; · 20}.

4. Conclusion.

La connaissance précise des variations de la texture des matériaux permet de mettre à l'épreuve les hypothèses formulées quant au rôle de la houle, des courants marins et du vent dans la répartition des sédiments. C'est en cela que l'analyse statistique contribue à la connaissance de la géomorpho-génèse. Son importance devrait être particulièrement grande en paléogéomorphologie pour l'étude de dépôts très anciens effectués dans des conditions géographiques et climatologiques (position de la mer orientation des vents dominants) généralement très mal connues.

Bibliographie.

- [1] J. Bourcart, les Frontières de l'Océan, Albin Michel, 1952, 317 p.
- [2] C. Bressolier, Processus d'Actions Dynamiques et Réponses Sédimentaires à la Pointe de la Coubre (Charente Maritime) (Thèse de 3ème cycle de géomorphologie, Paris VII), Mémoires du Laboratoire de Géomorphologie de l'E.P.H.E., n° 27, 1974, 157 p.
- [3] C. Bressolier et Y. Thomas, Etude Morpho-Sédimentologique de la plage du Port Blanc, Mémoires du Laboratoire de Géomorphologie de l'E.P.H.E., n° 25, 1973, 50 p.
- [4] M. Derruau, Précis de géomorphologie, Masson 1971, 415 p.
- [5] B. Frazier Anquez et P. Hygounet, Application des méthodes de l'analyse des données à la sédimentologie de la plage du Port Blanc, rapport de stage de D.E.A. de statistique, 1975, 34 p.
- [6] Y. Thomas, Actions Eoliennes en Milieu Littoral, la Pointe de la Coubre (Thèse de 3ème cycle de géomorphologie, Paris VII), Mémoires du Laboratoire de Géomorphologie de l'E.P.H.E., n° 29, 1975, 152 p.
- [7] J. Tricart, Principes et Méthodes de la géomorphologie, Masson, 1965, 496 p.
- [8] A. Vatan, Manuel de Sédimentologie, Editions Technip. 1967, 397 p.
- [9] C. Bressolier, Dynamique sédimentaire et teneurs globales en quartz, carbonates et minéraux denses à la Pointe de la Coubre. A paraître dans les Bulletins de la Société géologique de France 7° série, tome 18, n° 3, 1976.