

STRATEGIE D'ETUDE DES SUSPENSIONS MISE EN OEUVRE EN BAIE DE SEINE.

LAFITE R.*, DUPONT J.P.*, LAMBOY M.*

La caractérisation des suspensions fut d'abord abordée en Seine par Rajcevic B.M. (1957) puis Germaneau J. (1969). Une étude plus systématique a été réalisée dans le cadre du SAUM-Estuaire de Seine en 1978 (Dupont J.P. & David F., 1980). Dans un domaine dynamiquement équivalent, la mer du Nord, Eisma D. et Kalf J. (1979) ont pu caractériser les tailles et la distribution des particules en suspension. Nos travaux, poursuivis dans le cadre du Programme Baie de Seine du GRECO Manche, ont permis de mettre en évidence la diversité qualitative et texturale des particules en suspension, tant dans l'estuaire que dans le domaine plus marin "Baie de Seine".

Cette diversité, qui se traduit dans les comportements dynamiques des différents types de particules, a justifié la diversification de la stratégie d'échantillonnage et la mise au point d'une méthodologie dont l'originalité réside dans l'établissement de corrélations entre l'analyse de données quantitatives et la caractérisation qualitative (Nelsen T.A., 1981).

1. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

L'étude des suspensions *in situ* est la formule idéale, mais reste très difficile à mettre en oeuvre. Nous avons donc été conduits à réaliser des prélèvements ponctuels. Ceux-ci doivent toutefois fournir un échantillonnage représentatif des eaux, dans l'espace et dans le temps.

1.1. Hétérogénéité de la colonne d'eau :

Les données physiques ont montré que la circulation des masses d'eau n'est pas homogène dans l'ensemble de la tranche d'eau. Par ailleurs, l'affrontement des masses d'eau marine et continentale introduit, localement, des gradients physico-chimiques, notamment de salinité (Avoine J., 1981). Il a donc été décidé de traiter les prélèvements de trois niveaux (fond, milieu, surface).

1.2. Cartographie des observations :

Pour l'élaboration de synthèses cartographiques instantanées, nous avons essayé de suivre l'onde de marée en réalisant des radiales autour des situations de pleine mer et basse mer avec un décalage maximum de + ou - 1h 30 mn.

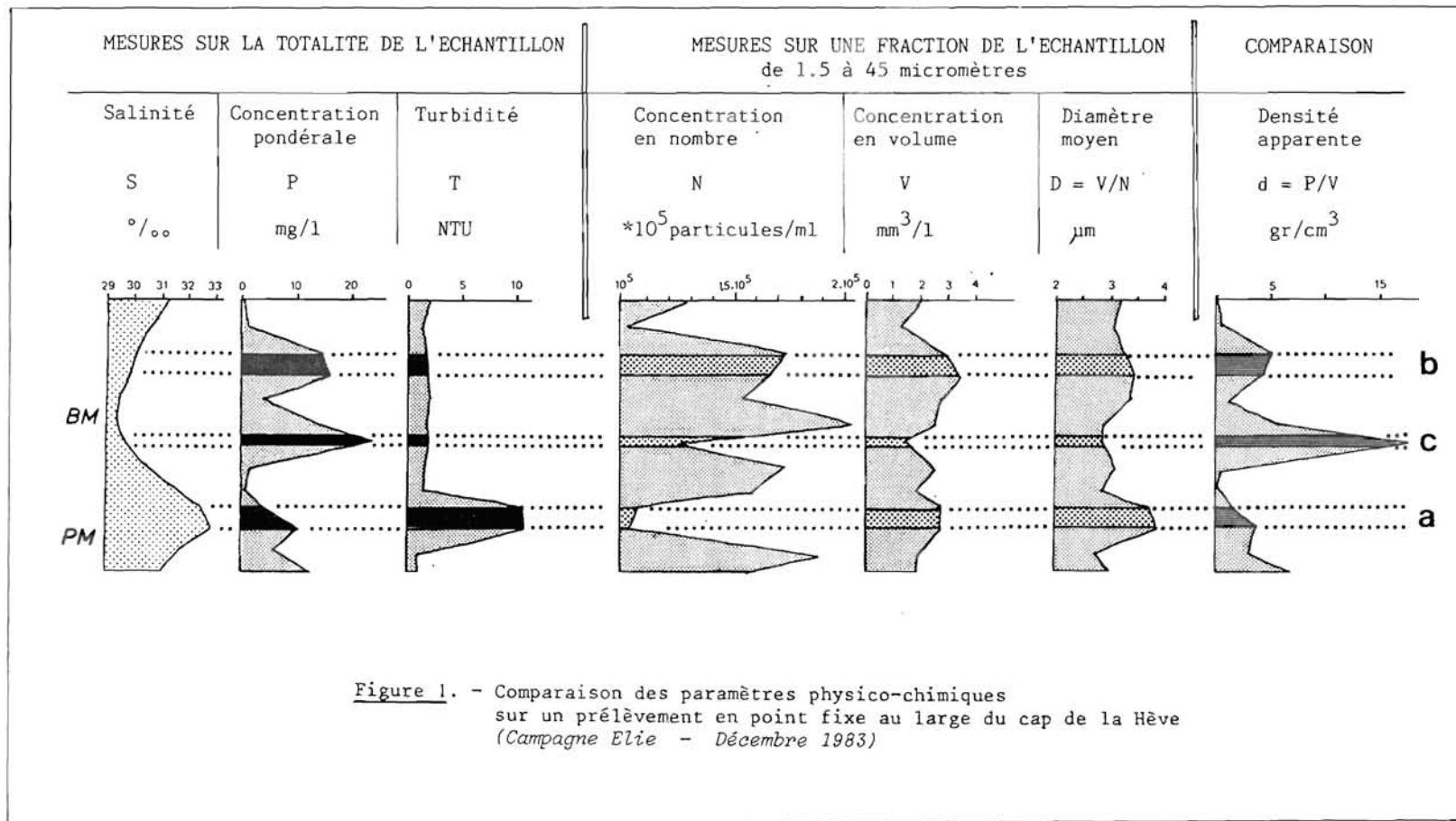
1.3. Variations temporelles en point fixe :

Les prélèvements en point fixe selon un cycle de marée traduisent les déplacements des masses d'eau en fonction des courants.

1.4. Suspensions et déplacements lagrangiens des masses d'eau :

L'échantillonnage réalisé en suivant le trajet d'une bouée dérivante permet de comparer le comportement des suspensions.

* Laboratoire de Géologie GRECO Manche. Faculté des Sciences - Université de Rouen - B.P. 67 - 76130 Mont-Saint-Aignan.



2. ACQUISITION DE DONNEES ET METHODES UTILISEES

2.1. Paramètres physico-chimiques :

Les mesures de salinité et de température traduisent le mélange des masses d'eaux marines et continentales. Les valeurs de turbidité sont en relation avec la masse de matières en suspension (M.E.S.), mais la nature et la texture des particules peuvent modifier cette relation (fig. 1). La fluorimétrie peut renseigner sur l'importance des pigments chlorophylliens (plancton).

2.2. Quantification des fractions organique et minérale :

Les matières en suspension, recueillies sur filtres sans cendres prépesés, sont quantifiées, puis soumises à des calcinations à 500°C (destruction des matières organiques et perte de masse des minéraux argileux), puis à 800°C (destruction des carbonates et de certaines argiles).

2.3. Granulométrie :

Les études préliminaires "d'échantillon total" dans les suspensions de l'estuaire de la Seine (Dupont J.P. et David P., 1980) ont montré :

- la diversité qualitative (nature, densité et propriétés optiques) du matériel en suspension;
- le caractère déterminant de la fraction silteuse inférieure à 50 µm.

Ceci nous a conduit à préférer les données granulométriques basées sur le principe de la conductivité; nous utilisons un compteur de particules du type Coulter (Brun Cottan, 1976) muni d'une sonde d'orifice 100 µm. Les variations de salinité en Baie de Seine ne sont pas suffisamment fortes pour introduire des erreurs importantes dans les comptages.

Des paramètres généraux, calculés pour l'intervalle de mesure (1,5 à 45 µm), sont également utilisés: le nombre total et le volume global de particules, exprimés en concentration.

2.4. Observation des particules :

Les filtrats sont observés à la loupe binoculaire, puis au microscope électronique à balayage afin d'identifier et de mesurer les particules. Des dosages à la microsonde sont parfois nécessaires (Honjo S., Susumu et Emery K.O., 1976).

3. TRAITEMENTS DE DONNEES ET RESULTATS

Pour illustrer l'intérêt de cet ensemble de données et présenter les démarches ainsi que les traitements analytiques réalisés, nous partirons des résultats recueillis lors des campagnes.

3.1. Fluctuations des paramètres physico-chimiques et caractérisation des suspensions :

Un prélèvement toutes les heures pendant un cycle de marée sur un point géographiquement fixe permet de suivre les caractéristiques des eaux et des suspensions transitant par ce point (mesures dites "en point fixe").

En décembre 1983, au large du cap de la Hève, le suivi d'un point fixe révèle une grande fluctuation des salinités de surface (fig. 1) et une relative stabilité des salinités en profondeur. Ceci montre une stratification verticale des eaux par une influence estuarienne prédominante en surface.

Les concentrations de matériel en suspension sont faibles (inférieures à 20 mg/l) et les diamètres apparents sont également faibles (de 2,6 à 3,6 µm). La comparaison des fluctuations relatives entre ces paramètres calculés sur la fraction mesurée des suspensions (de 1,5 à 45 µm) et ceux incluant l'ensemble d'un échantillon (poids de M.E.S. et turbidité) permet d'individualiser :

- un pic très marqué de turbidité au flot, avec des teneurs en M.E.S. assez faibles (a, sur fig. 1).

La concentration en nombre de particules est faible alors que le diamètre moyen est relativement grand (3,6 μm), ce qui traduit une prédominance des particules grossières. La densité apparente calculée est faible (voir définition au § 3-4). Les pertes pondérales à 500°C sont élevées et témoignent d'un taux élevé de matières organiques. L'observation à la loupe binoculaire et au M.E.B. met en évidence l'abondance d'un plancton riche et varié de caractère marin, ainsi que la présence d'agrégats et de flocons. Ce pic affecte l'ensemble de la tranche d'eau qui est alors de salinité homogène (près de 33‰).

- Un pic de M.E.S. au jusant, avec une turbidité assez faible (b, sur fig. 1).

La concentration en nombre de particules est forte; le diamètre moyen est relativement important (3,3 μm); la densité apparente est assez faible. L'ensemble de ces données caractérise un matériel de taille et de densité moyennes. L'observation au M.E.B. montre un matériel silteux fin minéral. Ce pic n'est visible qu'en surface et est associé à la diminution de salinité des eaux superficielles lors du jusant. Ce matériel silteux fin a donc une origine estuarienne.

- Un pic de M.E.S. très marqué à mi-marée, avec une turbidité faible (c, fig. 1).

La concentration en nombre de particules et le diamètre moyen (<3 μm) ont des valeurs moyennement élevées qui traduisent la présence d'une fraction silteuse. La densité apparente très forte suggère la présence de particules de taille supérieure à la gamme de mesure et de densité forte. Les pertes à 800°C sont importantes et témoignent d'une dominante carbonatée et argileuse. L'observation au M.E.B. montre la présence de nombreux agrégats et de frustules de diatomées benthiques souvent brisés. Ce matériel provient de rejets d'une drague.

Par conséquent, l'étude des particules en suspension confère une signification qualitative aux fluctuations de paramètres généraux, tels que M.E.S. et turbidité, et permet une interprétation dynamique en se calant par rapport aux données courantologiques ou de salinité.

L'exemple choisi permet en outre de caractériser trois mécanismes essentiels en Baie de Seine à l'approche de l'estuaire :

- le "panache turbide organique" très riche en plancton marin (turbidité importante, M.E.S. faible);
- le "panache turbide minéral" très riche en particules fines émanant de l'estuaire au jusant (M.E.S. forte pour turbidité faible);
- la remise en suspension avec une importante population d'agrégats.

3.2. Analyse des données granulométriques et identification au M.E.B. :

PRINCIPE

Les résultats granulométriques font l'objet d'un traitement statistique par la méthode des classifications ascendantes hiérarchisées sur un tableau de distance euclidienne à partir de données centrées et réduites. Le critère d'agrégation est la maximisation du moment centré d'ordre 2.

Les histogrammes granulométriques sont ainsi réunis en classes de similitude. Chacune de ces classes est caractérisée par un histogramme moyen (fig. 2).

Les modes caractéristiques de chaque classe sont définis qualitativement par observation à la loupe binoculaire puis au M.E.B.

RESULTATS

Exemple tiré de la campagne Thalia de juin 1981. L'analyse a été réalisée sur 36 échantillons de surface selon 4 couvertures cartographiques différentes (2 à pleine mer, 2 à basse mer).

La figure 2 présente le dendrogramme des classes avec leurs histogrammes correspondants. L'ensemble peut être subdivisé en deux groupes :

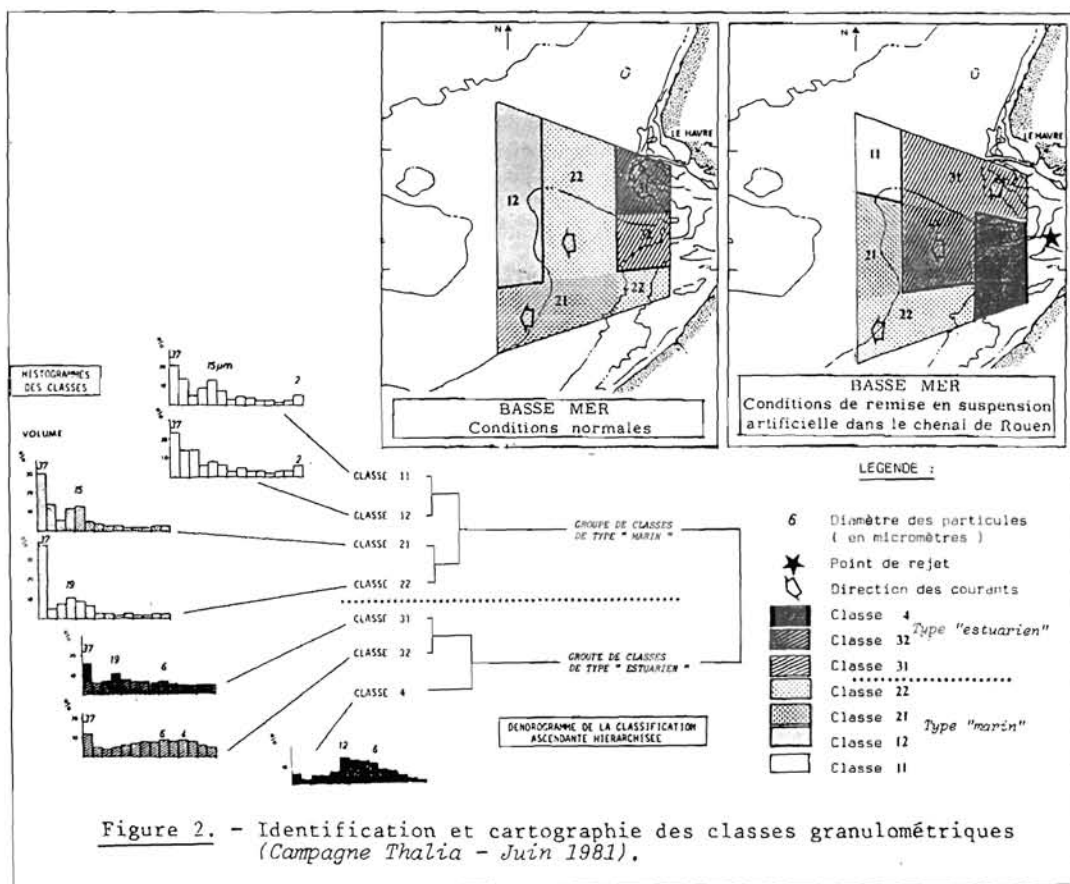


Figure 2. - Identification et cartographie des classes granulométriques (Campagne *Thalia* - Juin 1981).

- Les classes de type "estuarien", caractérisées par l'importance en pourcentage volumique des particules de la taille des silts fins, correspondant à une fraction minérale fine;
- les classes de type "marin", avec les modes granulométriques les plus grossiers bien marqués correspondant aux populations planctoniques : *Ditylum* vers 15 μm et *Rhizosolenia*, *Thalassiosira* et *Chaetoceros* entre 25 et 40 μm .

Ces données de la classification ascendante hiérarchisée sont reportées cartographiquement pour les deux situations à basse mer: l'une en conditions normales, l'autre à la suite d'une remise en suspension artificielle dans le chenal de Rouen (drague suceuse du port autonome de Rouen, cf. point de rejet de la fig. 2).

Dans le premier cas, les classes de caractère marin sont largement prépondérantes. Seuls, les échantillons prélevés face au chenal de Rouen et à la sortie du port du Havre témoignent d'un apport de silts fins minéraux caractérisant l'influence estuarienne.

Dans le second cas, la remise en suspension artificielle réalisée plus à l'Est dans le chenal de Rouen est nettement mise en évidence par un panache turbide minéral qui se développe dans l'axe du chenal conformément aux conditions courantologiques.

3.3. Analyse factorielle des données granulométriques :

PRINCIPE

L'analyse en composante principale normée a été choisie pour cette étude. La distance retenue est la distance euclidienne. Ce traitement des données permet de générer un nuage multidimensionnel dans lequel chaque échantillon correspond à un point. Le volume ainsi défini est caractérisé par des axes factoriels hiérarchisés en fonction de leur degré de contribution à la morphologie du nuage.

Ce traitement permet ainsi de hiérarchiser les composantes "dynamiques" principales responsables des spectres granulométriques (Chanut J.P. & Poulet S.A., 1982).

Inversement, il est important de déterminer les tailles de particules affectées par ces composantes "dynamiques". Pour ce faire, nous recherchons le degré de contribution de chacune des classes de taille à la définition des axes factoriels.

RESULTATS

Nous prendrons pour exemple la composante n° 2 de l'analyse factorielle des résultats de la campagne en basse mer de mars 1982. Cette composante est définie principalement par les silts fins ($< 4 \mu\text{m}$) et, accessoirement, par les silts grossiers ($> 15 \mu\text{m}$); ces spectres de contribution des tailles au facteur 2 sont représentés dans la figure 3 avec la cartographie qualitative des échantillons contribuant le plus à l'élaboration de ce facteur 2.

La répartition des échantillons les plus affines avec le facteur 2 par leurs silts fins est conforme au tracé des isohalines et caractérise la dispersion fluviale en Baie de Seine. Les échantillons affines au facteur 2 par leur fraction grossière sont localisés juste à l'entrée de l'estuaire et se poursuivraient en amont; ils correspondent au matériel grossier remis en suspension dans le chenal sud.

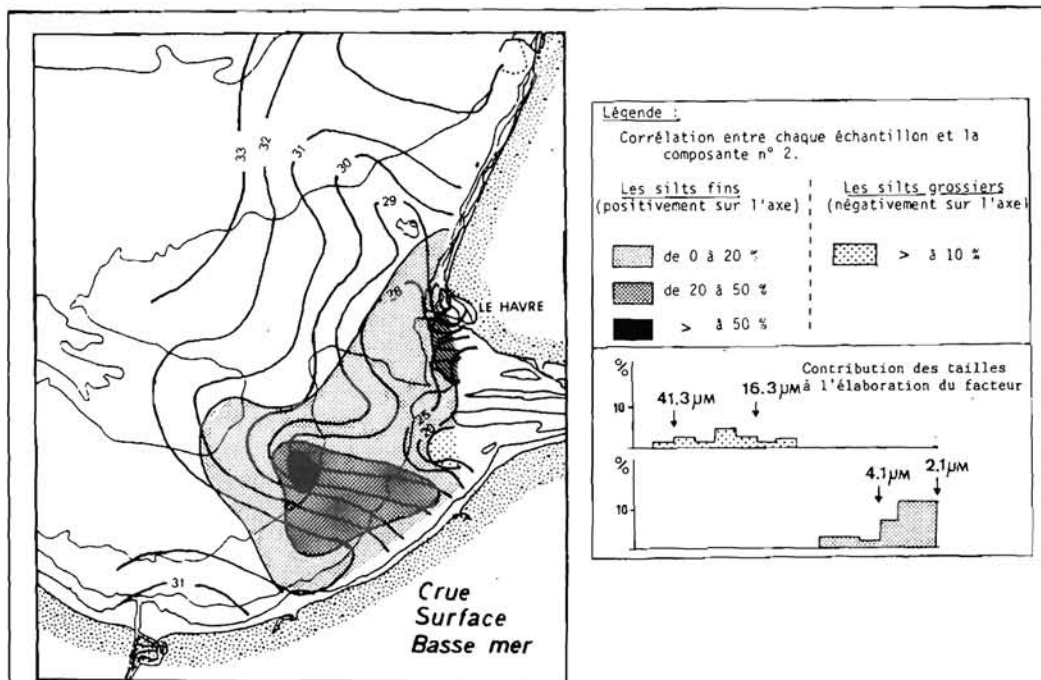


Figure 3. - Identification et cartographie de la 2ème composante d'une analyse factorielle (analyse en composante principale) (Campagne Plutéus II - Mars 1982)

Ce traitement permet de mettre en évidence :

- les tailles caractérisant le mieux un mécanisme tel que la dispersion fluviale en Baie de Seine (résultats confirmés par l'observation au M.E.B.);
- les limites du panache concerné.

3.4. Utilisation de diagrammes bivariés de synthèse :

PRINCIPE

Chaque campagne est réalisée dans des conditions hydrodynamiques spécifiques. Les corrélations, délicates en ce qui concerne la caractérisation générale du matériel en suspension, rendent nécessaires l'utilisation de diagrammes de synthèse.

Dans le diagramme proposé (fig. 4) chaque échantillon peut être figuré par un point défini :

- en abscisse par le logarithme de la concentration en volume des particules dénombrées sur l'intervalle de mesure;
- en ordonnée par le logarithme de la concentration pondérale de la totalité de l'échantillon.

Le rapport de la masse sur le volume permet d'obtenir une densité apparente dont nous avons pu constater l'intérêt au paragraphe 3.1.. Cette densité apparente peut se trouver surestimée ($> 10 \text{ gr/cm}^3$) par le fait que les deux paramètres (poids et volume) ne recouvrent pas la même fraction d'une population donnée. Des échantillons contenant une population significative de particules dont le diamètre se situe en dehors de l'intervalle de mesure pourront être reconnus. Les lignes d'isodensité servent de référence pour la caractérisation du matériel, laquelle est par ailleurs contrôlée par observation directe au M.E.B.

La position du point sera également inféodée à la concentration globale du matériel en suspension qui, pour une densité apparente constante, varie parallèlement aux lignes d'isodensité.

RESULTATS

Pour accroître l'intérêt interprétatif du diagramme de la fig. 4, nous avons réuni l'ensemble des données disponibles tant en Baie de Seine que dans d'autres domaines étudiés.

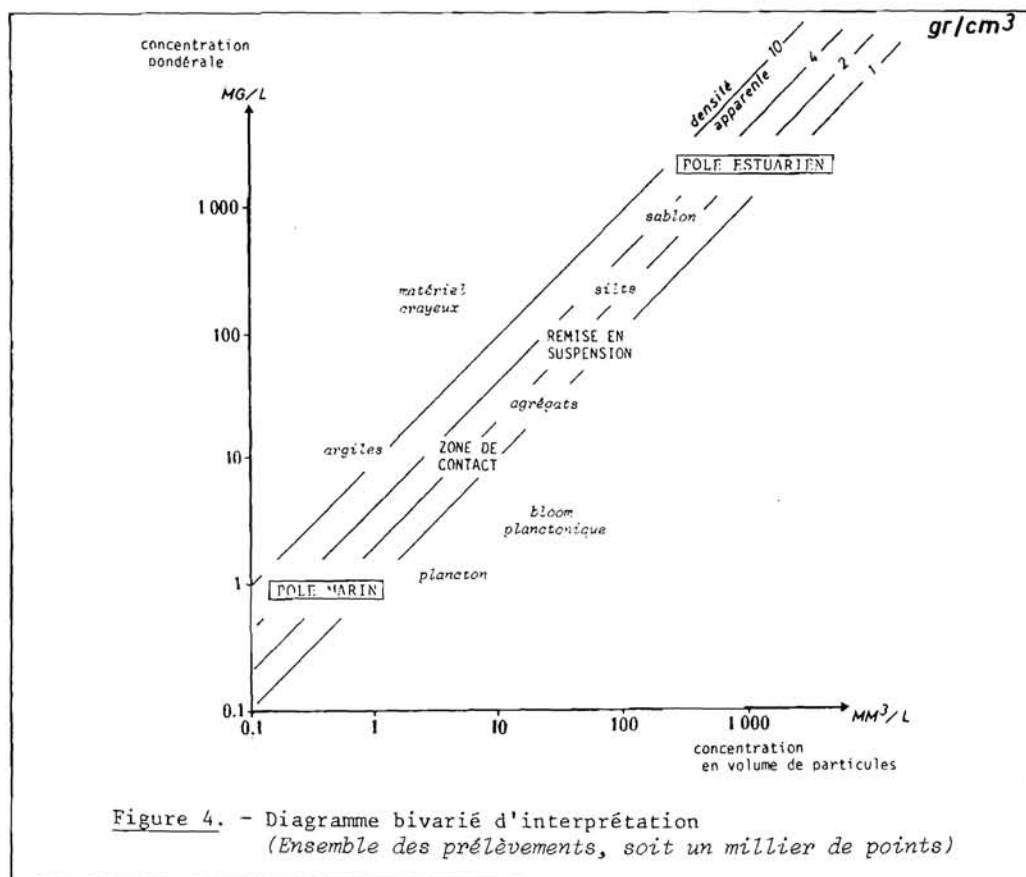
Cette représentation permet, dans un premier temps, de séparer :

- des échantillons caractérisés par une densité apparente forte, qui comportent une fraction minérale de taille inférieure à $1,5 \mu\text{m}$, de nature carbonatée (débris de coccolithes du panache littoral crayeux) ou de nature argileuse;
- des échantillons caractérisés par une densité apparente faible liée à une importante fraction planctonique de densité réelle faible et de taille souvent supérieure à $45 \mu\text{m}$.

Il s'agit là d'échantillons très typés dans leur composition. En ce qui concerne une grande partie des échantillons prélevés en estuaire et Baie de Seine, les particules sont principalement de la taille des silts et les points correspondants s'inscrivent autour de la ligne d'isodensité apparente $d = 2$. La différenciation entre les échantillons se réalise alors selon la concentration du matériel en suspension et nous pouvons distinguer :

- un pôle marin faiblement concentré;
- un pôle estuarien dont les échantillons les plus concentrés correspondent au "bouchon vaseux" et comporte à l'extrême une fraction sablon ($< 45 \mu\text{m}$);
- une zone de remise en suspension caractérisée par des silts et des agrégats (panache défini au § 3.1.);
- une zone de transition ou de contact qui est plus développée en crue qu'en étiage.

A partir de paramètres simples, ce type de représentation, calé à partir d'observations initiales, permet de mettre en évidence les traits dominants des suspensions d'un échantillon ou d'une campagne tout en les situant dans un contexte plus général.



4. CONCLUSION

Les paramètres physico-chimiques généraux, dont l'acquisition est simple, permettent de caractériser des évolutions globales; cependant, ils ne rendent pas compte de la complexité de détail des situations.

L'analyse des données granulométriques, confortée par l'utilisation du M.E.B., permet :

- de mettre en évidence la diversité des populations particulières,
- de caractériser ces populations,
- de suivre leur évolution,
- d'établir leur liaison avec des mécanismes hydrodynamiques spécifiques.

Avoine J. (1981).- L'estuaire de la Seine: sédiments et dynamique sédimentaire. Thèse de 3ème cycle, Caen, 270 p.

Brun-Cottan J.C. (1976).- Contribution à l'étude de la granulométrie et de la cinétique des particules marines. J. Rech. Océanogr., Vol. I., n° 4, p. 41 à 54.

- Chanut J.P. & Poulet S.A. (1982).- Short-term variability of the size spectra of suspended particles in a rapidly changing environment. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 15, p. 497-513.
- Dupont J.P. & David F. (1980).- Microgranulométrie des suspensions du bouchon vaseux. In " Rapport S.A.U.M. Estuaire de la Seine, tome a - Eau et sédiments", MEBS/MABN, 38 p..
- Eisma D. & Kalf J. (1979).- Distribution and particle size of suspended matter in the southern bight of the north sea and the eastern channel. Netherlands Journal of sea research, Vol. 13, n° 2, p. 298-324.
- Germaneau J. (1969).- Origine, déplacement et dépôt des suspensions. In " Etude de la sédimentation dans l'estuaire de la Seine". Cent. Rech. Et. Océan. n° 2, Vol. VIII, fasc. 1-2.
- Honjo S., Susumu & Emery K.L. (1976).- Suspended matter off eastern Asia : scanning electron microscopy and X-Ray probe analysis. In: " Volcanoes and tectonosphere", Tokai University Press, Japan, p. 259-288.
- Nelsen T.A. (1981).- The application of Q-mode factor analysis to suspended particulate matter studies: examples from the New York bight apex. Mar. Geology, Vol. 39, p. 15-31.
- Rajcevic B.M. (1957).- Etudes des conditions de sédimentation dans l'estuaire de la Seine. Supplément aux Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 10è année, n° 117, Série : Sols et Fondations p. 744-775.
- Zbinden R. (1980).- Microgranulométrie du seston de la baie du Mont Saint Michel. Mémoire du labo. de Géomorphologie de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, n° 35, 171 p.