

CONTRIBUTION DE L'ETUDE DES SUSPENSIONS A LA COMPREHENSION DES MECANISMES  
HYDROSEDIMENTAIRES ESTUARIENS ET LITTORAUX EN MANCHE CENTRALE ET ORIENTALE.

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

L'imagerie fournie par les satellites met en évidence le panache thermique (CNEXO, 1978) et turbide (Thomas Y.F., 1985) de la Seine et des zones littorales de Haute-Normandie et de Picardie. Les suspensions correspondantes ont pu être caractérisées, conformément à une stratégie d'étude (Lafite R., Dupont J.P., Lamboy M., 1985).

Dans l'ensemble côtier macrotidal ainsi défini, nous tenterons de dégager les spécificités dynamiques et le matériel propres à chacun des domaines étudiés.

#### 1. ESTUAIRE DE LA SEINE

Pour illustrer les spécificités du matériel particulaire dans le domaine estuarien interne, nous prendrons pour exemple les résultats recueillis lors de la campagne réalisée le 10 mai 1978 (étiage), le long d'une radiale longitudinale, de caractère synoptique, à basse mer, dans le chenal de navigation de la Seine (fig. 1).

La répartition des teneurs pondérales de M.E.S. et des isohalines localise le bouchon vaseux au niveau du point 4 du profil (Avoine J., 1981).

L'étude granulométrique a permis d'établir les distributions en taille des particules au fond, au milieu et en surface. L'expression pondérale ( $10^{-4}$  mg/l) de ces répartitions granulométriques confirme les différences de concentration en particules entre les divers échantillons. La nature du matériel correspondant a, par ailleurs, été caractérisée par observation au microscope électronique à balayage (M.E.B.).

D'amont en aval, nous constatons:

- Point n° 9 :

La salinité est nulle, les spectres granulométriques sont homogènes sur l'ensemble de la colonne d'eau et témoignent d'une dominance des silts moyens.

- Point n° 7 :

Les concentrations de M.E.S. sont légèrement plus fortes au fond. Le matériel correspondant est constitué essentiellement de silts moyens, mal classés, mais l'on voit apparaître un pic grossier dans les sablons (50 à 100  $\mu$ m) constitués d'agrégats et de grains de quartz.

En surface, un pic bien marqué autour de 5  $\mu$ m correspond à des populations de diatomées planctoniques d'eau douce (abondance des genres *Cyclotella* et *Melosira*).

- Point n° 5 :

Nous pénétrons dans le "bouchon vaseux". Les concentrations sont plus importantes. Le spectre granulométrique au fond est caractérisé par trois modes

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

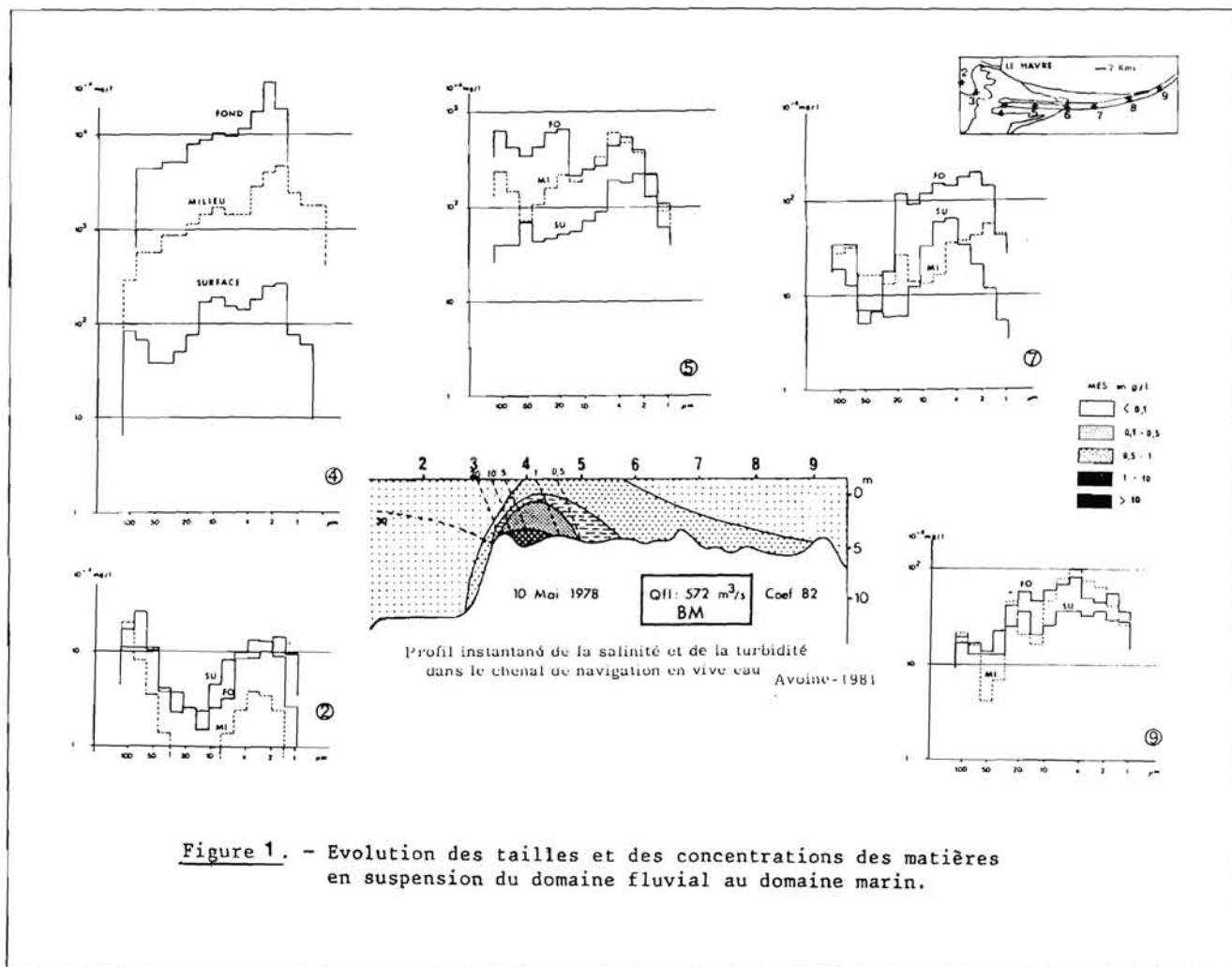


Figure 1. - Evolution des tailles et des concentrations des matières en suspension du domaine fluvial au domaine marin.

bien marqués: les silts fins ( $< 4 \mu\text{m}$ ), les silts grossiers constitués essentiellement d'agrégats ( $10 \text{ à } 30 \mu\text{m}$ ), et les éléments de la taille des sablons (agrégats et quartz  $> 50 \mu\text{m}$ ).

- Point n° 4 :

Nous sommes au coeur de la zone la plus turbide avec de très fortes teneurs en M.E.S. ( $> 10 \text{ g/l}$  au fond). Les spectres granulométriques s'échelonnent depuis la surface jusqu'au fond avec un facteur  $\times 10$  de concentration entre chacun des trois niveaux de prélèvement.

Cette masse turbide est constituée essentiellement de silts fins. L'abondance des silts grossiers et des sablons visualisée au M.E.B. ne se traduit pas selon des modes granulométriques, mais leurs concentrations sont toutefois supérieures à celles observées au niveau du point 5.

- Point n° 2 :

Dans la zone externe, les concentrations sont les plus faibles et les spectres granulométriques mettent en évidence deux pics principaux: l'un dans les silts fins  $< 8 \mu\text{m}$ , l'autre dans les silts grossiers et les sablons, reconnu au M.E.B. comme étant principalement constitué de matériel organique associé avec quelques agrégats.

CONCLUSIONS

Le matériel en suspension dans le cours aval de la Seine (point 9) correspond à des silts moyens à spectre étalé dont l'importance est renforcée au fond à l'approche des zones plus turbides.

Les mécanismes de remise en suspension associés au "bouchon vaseux" affectent les silts fins qui dominent largement dans la zone de turbidité maximale lorsque celle-ci est très élevée.

Ces mêmes silts fins se retrouvent au large dans des zones peu concentrées et constituent le panache estuarien de la Seine qui se développe en baie (cf. § suivant). Ils sont alors associés à un matériel organique.

2. BAIE DE SEINE

Les données granulométriques en Baie de Seine sont plus homogènes qu'en estuaire, notamment par la disparition du pic grossier des sablons.

L'analyse en composante principale normée (A.C.P.) appliquée aux données granulométriques exprimées en concentration ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ) permet de dégager les grands traits de la distribution des particules en suspension. La distance retenue par l'A.C.P. est la distance euclidienne.

L'analyse factorielle des résultats de la campagne Cryos de septembre 1981 (étiage), ayant consisté en radiales à pleine mer et basse mer, permet de dégager quatre composantes "dynamiques" principales.

Pour évaluer l'importance de ces facteurs sur les caractères des suspensions en Baie de Seine, nous localiserons les échantillons les mieux corrélés avec ces composantes dynamiques, à basse mer, puis à pleine mer, sur deux coupes longitudinales perpendiculaires, l'une d'orientation O-E dans l'axe du chenal principal de la Seine, l'autre N-S (fig. 2) au large de la Hève.

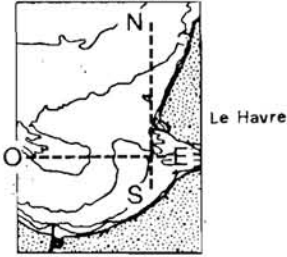
Composante F<sub>1</sub> :

Elle correspond à un stock étalé de silts moyens.

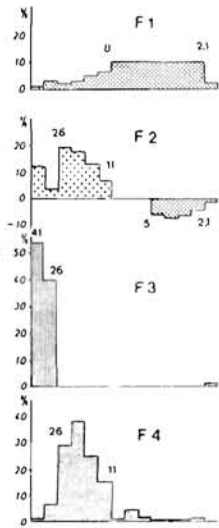
A basse mer, les échantillons les plus représentatifs sont localisés au débouché de l'estuaire et à proximité de la côte du Calvados. Ce panache est beaucoup plus développé vers le Nord que vers l'Ouest.

A pleine mer, ce panache se rétracte de façon importante. Vers l'Est, face à l'estuaire, il est pratiquement absent, excepté au fond. Ce panache est plus développé sur la radiale N-S, mais il est alors inféodé à l'activité des dragues qui rejettent peu avant la pleine mer.

localisation



contribution des tailles à l'élaboration des facteurs



Légende :

Pourcentage de corrélation entre chaque échantillon et leur composante (de 100 à -100 %)

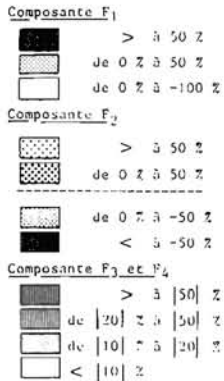
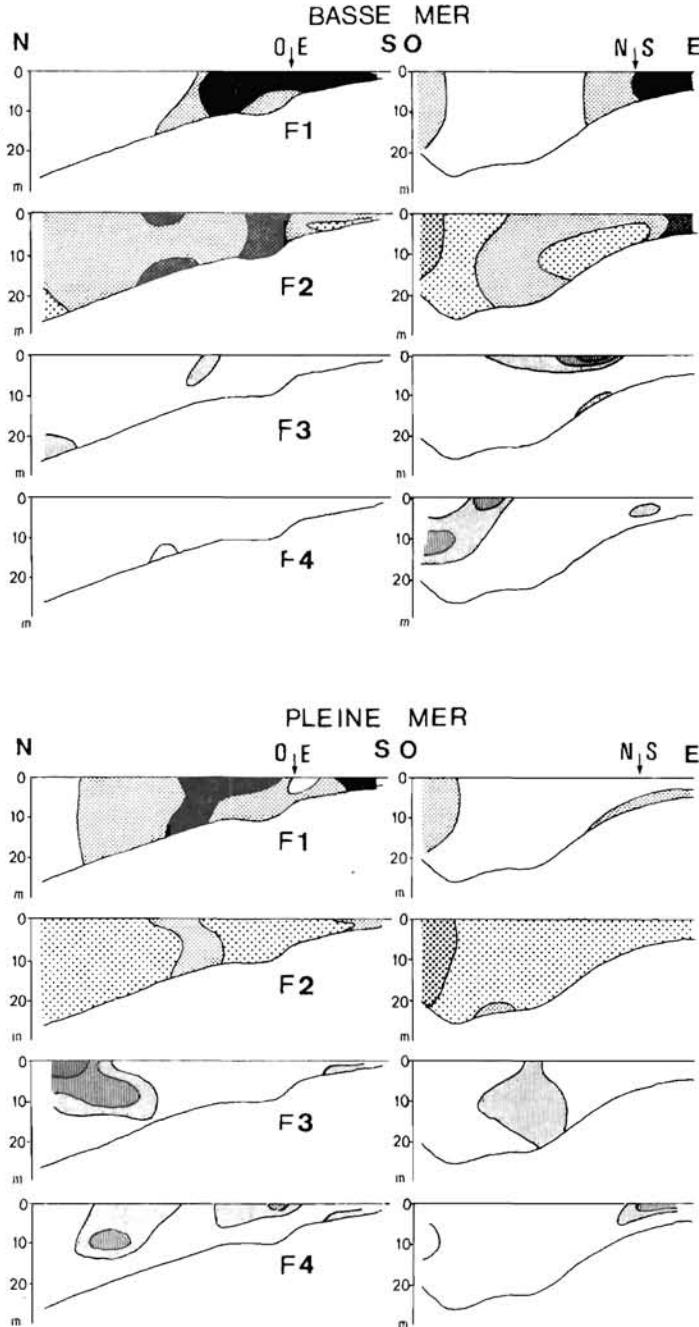


Figure 2. - Evolution des composantes dynamiques principales en baie de Seine



Il faut, par ailleurs, noter la présence à l'ouest, quelles que soient les conditions de marée, d'un pôle à forte affinité avec la composante  $F_1$  dont l'interprétation est hypothétique dans l'état actuel de nos connaissances. Cette observation confirmée par toutes les campagnes réalisées devra être approfondie par une étude en Baie de Seine occidentale.

#### Composante $F_2$ :

Elle est liée aux silts fins minéraux ( $< 5 \mu\text{m}$ ) et aux silts grossiers constitués essentiellement par des agrégats de 10 à 50  $\mu\text{m}$ .

La radiale E-0 à basse mer montre un gradient décroissant, très étalé, de silts fins, depuis l'entrée de l'estuaire vers le large. Ce panache estuarien de silts fins est plus développé vers le Nord à basse mer.

A pleine mer, l'influence de ces silts fins disparaît presque totalement dans la radiale E-0, mais persiste au niveau de la zone de dépôts de dragage au large de Cauville.

En ce qui concerne les populations d'agrégats (silts grossiers), la radiale E-0 présente une corrélation maximale vers l'ouest tant à basse mer qu'à pleine mer. A basse mer, on enregistre toutefois une zone d'influence de ces silts grossiers en aval de l'estuaire. A pleine mer, on constate que la rétraction du panache des silts fins provenant de l'estuaire laisse place à une large extension de l'influence de ces agrégats.

Les mêmes observations peuvent être réalisées sur la radiale N-S avec une faible contribution des agrégats à basse mer excepté toutefois à proximité immédiate de l'estuaire, et un très large développement à pleine mer excepté au niveau de la zone des dépôts de dragage au niveau de laquelle les silts fins doivent masquer l'influence de cette fraction minérale plus grossière.

#### Composante $F_3$ :

Elle correspond à la contribution du matériel biologique de taille comprise entre 26 et 41  $\mu\text{m}$ . Les organismes concernés sont essentiellement des Diatomées du genre *Chaetoceros*, des Dinoflagellés, des Tintinnoides et des larves d'Ostracodes.

Ce matériel est bien développé en surface à basse mer dans la partie médiane de la radiale E-0 et se retrouve dans l'ensemble de la colonne d'eau à pleine mer.

Selon la radiale N-S, ce matériel est peu représenté à basse mer, mais il se développe à pleine mer au nord de la zone des dépôts de dragage: apports venant du nord conformément aux conditions courantologiques.

#### Composante $F_4$ :

Il s'agit également de matériel biologique, mais de taille plus petite, comprenant également des *Chaetoceros* et des larves d'Ostracodes en association avec d'autres Diatomées dont *Rhizosolenia*, *Diploneis*, ainsi que des Dinoflagellés (*Prorocentridae*).

Selon la radiale E-0, à basse mer, ce matériel n'est bien représenté qu'à l'ouest; à pleine mer, il est repoussé devant l'estuaire.

Selon la radiale N-S, l'influence de ces organismes, très limitée à basse mer, est, en revanche, très développée à pleine mer, surtout en surface.

#### CONCLUSION

Cette analyse factorielle met en évidence les principales composantes du matériel en suspension en Baie de Seine et permet d'aborder les mécanismes de leur dispersion. En ce qui concerne le matériel essentiellement minéral, nous distinguons :

- une fraction silteuse moyenne ( $F_1$ ) déjà reconnue dans l'estuaire et dont le panache important à basse mer est plus développé vers le nord que vers l'ouest;





Ce mécanisme de front, naturel ou artificiel par déversement de dragage, va entraîner un blocage des dilutions particulières de l'une ou l'autre masse d'eau, ainsi que des phénomènes de concentration tels que :

- l'accumulation des particules minérales fines en surface (FM) caractérisée par de fortes teneurs en M.E.S. pour des turbidités moyennes,
- l'accumulation de matériel planctonique sur l'ensemble de la colonne d'eau (FP), présentant de fortes turbidités pour de faibles teneurs en M.E.S. .

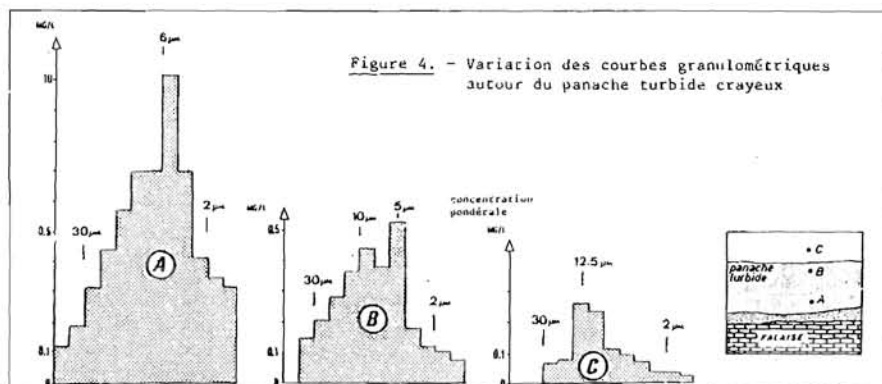
Ces phénomènes ont été illustrés par des données en point fixe (cf. résultats point fixe La Hève de décembre 1983 dans Lafite, Dupont, Lamboy, 1985). De tels processus de front ont été observés dans d'autres domaines; ils peuvent être moins complexes et constituent alors des modèles (au sens non mathématique du terme) de fonctionnement intéressants à étudier.

### 3.2. Le panache turbide du littoral crayeux de Haute-Normandie :

Le long du littoral crayeux de Haute-Normandie situé à l'est du cap d'Antifer, les apports fluviaux de M.E.S. sont négligeables. C'est le démantèlement des éboulis crayeux qui fournit un abondant matériel en suspension formé de coccolithes (Simon S. et Dupont J.P., 1983).

Les suspensions sont concentrées dans une frange littorale d'environ un kilomètre de large avec des concentrations de surface supérieures à 20 mg/l, même en absence de houle. Le matériel correspondant présente le plus souvent deux modes principaux :

- le plus important, situé entre 4 et 6  $\mu\text{m}$ , correspond aux coccolithes de la craie et se prolonge dans les particules plus fines (fragments de coccolithes); à proximité immédiate du littoral, ce mode est exclusif (fig. 4A).
- L'autre, situé entre 9 et 12  $\mu\text{m}$  voire plus, est lié au plancton actuel (fig. 4, histogramme bimodal B).



Le contact entre ce panache turbide littoral et les eaux du large de turbidité faible est relativement brutal: passage de plus de 20 mg/l à moins de 10 mg/l en quelques dizaines de mètres. De plus, la composition du matériel en suspension au large est très différente : mode principal planctonique et quasi absence de matériel crayeux (fig. 4C).

Les relations entre le panache turbide littoral et les eaux du large ne se résument pas en un simple phénomène de dilution qui introduirait une progression graduée du littoral vers le large. Les mécanismes physiques d'échange en zone de bordure littorale restent à préciser mais les coccolithes doivent pouvoir constituer un excellent marqueur des apports littoraux. La zone littorale de Haute Normandie pourrait ainsi devenir un bon "modèle" pour l'étude des phénomènes hydrodynamiques de bordure.

### 3.3. Principaux aspects dynamiques en Baie de Somme :

Le panache turbide littoral, précédemment défini, se déplace globalement le long des côtes vers le Nord-est et pénètre dans le domaine interne de la baie de Somme, siège d'un colmatage important par du matériel quartzeux et carbonaté.

Au large, dans les domaines externes même non affectés par des différences de salinité, nous retrouvons un front estuarien externe, qui se manifeste par une ligne d'écume très nette et qui évolue en fonction des conditions de marée. Cette discontinuité se concrétise par un front turbide organique que révèlent les données fluorimétriques des eaux de surface et qui est caractérisé par une concentration en germes pathogènes, marqueurs d'origine continentale.

Dans le domaine interne, nous observons une seconde discontinuité liée au gradient de salinité plus ou moins étalé selon les conditions hydrodynamiques (marée et débit fluvial). Les courants, fortement chenalisés, y sont responsables d'une remise en suspension abondante concernant des particules fines, mais surtout des particules grossières de la taille des sablons et même des sables (grains de quartz jusqu'à 500  $\mu\text{m}$ ). Ce mécanisme, relativement limité au sein des chenaux, est particulièrement développé au flot sur les bords des chenaux et sur les zones de slikke (Dupont J.P. et Lafite R., 1984).

L'absence de véritable bouchon vaseux résulte de l'aménagement du cours inférieur de la Somme et de la Maye qui modifie artificiellement les débits et réduit les apports particuliers fluviaux.

### 4. CONCLUSION

L'étude du matériel en suspension permet de caractériser le matériel spécifique à chaque domaine et ses relations avec les paramètres dynamiques.

Il apparaît possible en Baie de Seine de définir des polarités géographiques en ce qui concerne le matériel en suspension :

- polarité estuarienne caractérisée par la remise en suspension de la fraction sable dans le domaine estuarien interne et par la dispersion des silts fins constituant le panache estuarien en Baie,
- polarité marine matérialisée par la dominance des éléments planctoniques,
- polarité côtière inféodée au contexte géologique: remise en suspension de silts fins à proximité des côtes de Calvados, panache turbide constitué de coccolithes le long du littoral crayeux de Seine Maritime,
- polarité artificielle liée aux rejets de dragages et autres activités portuaires.

Les limites des domaines concernés fluctuent en fonction des conditions hydrodynamiques (marée et débit fluvial). Ces limites peuvent être définies comme des fronts dont l'étude est délicate en Baie de Seine par suite de la complexité des masses d'eau et de leur circulation. Des investigations pluridisciplinaires complémentaires sont nécessaires; elles pourront tirer profit de l'étude de "modèles" plus simples, tels le panache turbide littoral de Haute Normandie et les fronts turbides observés en Baie de Somme.

---

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

Avoine J., Boust D., Lafite R. & Thomas Y. (1984).- Dispersion des apports fluviaux en Baie de Seine. Communication 5<sup>e</sup> Congrès Européen de Sédimentologie, Marseille.



- Bowman M.J. & Iverson R.L. (1978).- Estuarine and plume fronts. In "Oceanic fronts in coastal processes" de Bowman M. and Essias W.E., p. 87 à 104, Ed. Springer Verlag, Berlin.
- CNEXO/COB (1978).- Baie de Seine, Campagne Thalia, mai 1978, 189 p..
- Dupont J.P. & Lafite R. (1984).- Principales caractéristiques hydrobiosédimentaires de la baie de Somme. Communication Colloque "L'Environnement en Picardie", AMBE, Amiens, 9 et 10 octobre 1984.
- Lafite R., Dupont J.P. & Lamboy M. (1985).- Stratégie d'étude des suspensions mise en oeuvre en Baie de Seine. Ce volume, N° 11.
- Simon S. & Dupont J.P. (1983).- Suivi biosédimentaire et impact biologique des travaux d'aménagements dans la centrale nucléaire de Paluel. Rapport E.D.F., Suivi 1981-1982, 145 p..
- Thomas Y.F. (1985).- Mouvements et charges turbides des eaux de la Manche d'après les données CZCS, capteur opérant sur le satellite Nimbus-7, ce volume, N° 15.