

**DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT
ET DE L'AMENAGEMENT LITTORAL**

**COMPORTEMENT PARTICULAIRE DE L'EFFLUENT URBAIN DE TOULON-EST
AU COURS DE SON TRAITEMENT EPURATOIRE ET DE SA DISPERSION EN MER**

ASPECTS GRANULOMETRIQUES

Ronan LOARER
Laboratoire Environnement Méditerranéen
Centre IFREMER de Toulon-La Seyne

Rapport DRO/EM/90-03

MARS 1992



**DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT
ET DE L'AMENAGEMENT LITTORAL**

**COMPORTEMENT PARTICULAIRE DE L'EFFLUENT URBAIN DE TOULON-EST
AU COURS DE SON TRAITEMENT EPURATOIRE ET DE SA DISPERSION EN MER**

ASPECTS GRANULOMETRIQUES

Ronan LOARER
Laboratoire Environnement Méditerranéen
Centre IFREMER de Toulon-La Seyne

Rapport DRO/EM/90-03

MARS 1992

IFREMER

Adresse :

IFREMER
Centre de Toulon
Zone Portuaire de Brégaillon
BP 330
83507 LA SEYNE SUR MER Cédex

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'AMENAGEMENT LITTORAL

SERVICE

LABORATOIRE : DEL/TOULON

AUTEUR (S) :		CODE : DRO/EM/90-03
R. LOARER		DATE : MARS 92
TITRE : COMPORTEMENT PARTICULAIRE DE L'EFFLUENT URBAIN DE TOULON-EST AU COURS DE SON TRAITEMENT EPURATOIRE ET DE SA DISPERSION EN MER. ASPECTS GRANULOMETRIQUES		Pages : 35 Annexes : 5 Figures : 32
CONTRAT (intitulé)		DIFFUSION
N° _____		libre : X restreinte : confidentielle :

RESUME:

Dans le cadre d'un programme de recherche sur le devenir des rejets urbains en mer, le comportement des particules issues de l'effluent de la station d'épuration de TOULON-Est a fait l'objet d'une étude depuis son traitement épuratoire jusqu'à sa dilution en mer. On a eu recours à des filtrations totales ou différentielles et à des microgranulométries par compteur COULTER.

Le cycle journalier des matières en suspension est mis en évidence. Il fait apparaître un rendement épuratoire d'autant meilleur que la charge de l'effluent est forte à l'entrée de la station et concerne de grosses particules et/ou floccs : l'abattement en M.E.S. passe ainsi, en moyenne, de 30 % à 6h00 à 88 % à 13h00.

On montre ainsi l'efficacité du traitement épuratoire qui conjugue les processus de coagulation, de floculation et de sédimentation, et génère un ensemble complexe de transferts entre grosses, moyennes et petites particules.

La dilution de l'effluent en mer, fait apparaître une réactivation des processus engagés lors du traitement épuratoire.

Le changement de pH et le brassage dans le milieu marin se manifestent par une forte hétérogénéité de l'effluent jusqu'à une centaine de mètres du point de rejet puis par des phénomènes complexes, d'origines physique et chimique. A cet égard, la zone comprise entre 500 et 800 mètres et/ou le temps de séjour de 2 à 3 heures en mer semblent des seuils importants qui coïncident avec des zones de dépôts de matériel fin et éventuellement toxique issus de l'émissaire.

Mots clés : Rejets urbains, MES, Traitement épuratoire, Dilution en mer.

SOMMAIRE

I INTRODUCTION	1
Caractéristiques du traitement	2
Caractéristiques du milieu récepteur	2
II ETUDE GRANULOMETRIQUE DE L'EFFLUENT EN STATION D'EPURATION	3
2.1 Méthodologie	3
2.1.1 Les filtrations	3
2.1.2 Les micro-granulométries	3
2.2 Granulométrie de l'effluent brut et traité	5
2.2.1 Mise en évidence d'un cycle journalier	5
Le nombre de particules	6
Le volume des particules	9
La masse des M.E.S.	10
2.2.2 Le rendement en terme d'abattement des suspensions	12
III MODES DE DISPERSION DE L'EFFLUENT EN MER	15
3.1 Méthodologie	15
3.2 Résultats des campagnes à la mer	15
3.2.1 Campagne à la mer du 19 juin 1987	15
3.2.2 Campagne à la mer du 08 septembre 1987	20
3.2.3 Campagne à la mer du 10 septembre 1987	22
3.2.4 Campagne à la mer du 27 avril 1988	25
3.2.5 Campagne à la mer du 29 avril 1988	28
3.3 Synthèse et discussion	31
3.3.1 Récapitulatif par paramètre mesuré	31
3.3.2 Synthèse du mode de dispersion de l'effluent en mer	32
3.3.3 Discussion	33
IV CONCLUSION	35

TABLE DES FIGURES

I INTRODUCTION

Fig 1.01	Localisation du site.	1
----------	-----------------------	---

II ETUDE GRANULOMETRIQUE DE L'EFFLUENT EN STATION D'EPURATION

Fig 2.01	Exemples de spectres granulométriques.	3
Fig 2.02	Modifications du spectre granulométriques.	4
Fig 2.03	Nombre de particules selon l'heure de prélèvement.	7
Fig 2.04	Concentration et diamètre moyen des particules.	8
Fig 2.05	Répartition des particules par classe de taille.	8
Fig 2.06	Volume des particules selon l'heure de prélèvement.	9
Fig 2.07	Répartition des volumes par classes de taille.	10
Fig 2.08	Variation des M.E.S. selon l'heure de prélèvement.	11
Fig 2.09	Répartition des M.E.S. par classes de taille.	11
Fig 2.10	Rendements de la station selon l'heure de prélèvement.	13
Fig 2.11	Rendements par classes de taille des particules.	14

III MODES DE DISPERSION DE L'EFFLUENT EN MER

Fig 3.01	Campagne du 19/06/87. Ammonium.	16
Fig 3.02	Campagne du 19/06/87. M.E.S.	17
Fig 3.03	Campagne du 19/06/87. Population.	17
Fig 3.04	Evolution du spectre de taille des particules.	18
Fig 3.05	Campagne du 19/06/87. Volume des particules.	20
Fig 3.06	Campagne du 08/09/87. Ammonium.	21
Fig 3.07	Campagne du 10/09/87. Ammonium.	22
Fig 3.08	Campagne du 10/09/87. Turbidité.	23
Fig 3.09	Campagne du 10/09/87. M.E.S.	23
Fig 3.10	Campagne du 10/09/87. M.O.P.	24
Fig 3.11	Campagne du 27/04/88. Ammonium.	26
Fig 3.12	Campagne du 27/04/88. Turbidité.	26
Fig 3.13	Campagne du 27/04/88. M.E.S.	27
Fig 3.14	Campagne du 27/04/88. Population.	27
Fig 3.15	Campagne du 27/04/88. Volume des particules.	28
Fig 3.16	Campagne du 29/04/88. Ammonium.	29
Fig 3.17	Campagne du 29/04/88. M.E.S..	29
Fig 3.18	Campagne du 29/04/88. Population.	30
Fig 3.19	Campagne du 29/04/88. Volume des particules.	31
Fig 3.20	Exemple de détection de la radioactivité dans le panache.	33

TABLE DES TABLEAUX

I INTRODUCTION

II ETUDE GRANULOMETRIQUE DE L'EFFLUENT EN STATION D'EPURATION

Tab 2.01	Caractéristiques granulométriques de l'effluent brut.	5
Tab 2.02	Caractéristiques granulométriques de l'effluent traité.	6
Tab 2.03	Rendements moyens totaux.	12
Tab 2.04	Rendements moyens par classes de taille.	13

I - INTRODUCTION

L'IFREMER a développé en collaboration avec des partenaires locaux un programme de recherche sur le devenir des rejets urbains en mer. L'objectif général du programme, dont on trouvera le détail par ailleurs (IFREMER, 1988), vise à améliorer les outils scientifiques permettant de faire des recommandations en termes de rejets admissibles et de techniques d'épuration dans le cas d'implantations ou de modifications de rejets urbains en mer afin de garantir la qualité du milieu littoral méditerranéen.

Un des volets de cette étude a été réalisé à partir de la station d'épuration de TOULON-EST (figure 1.1).

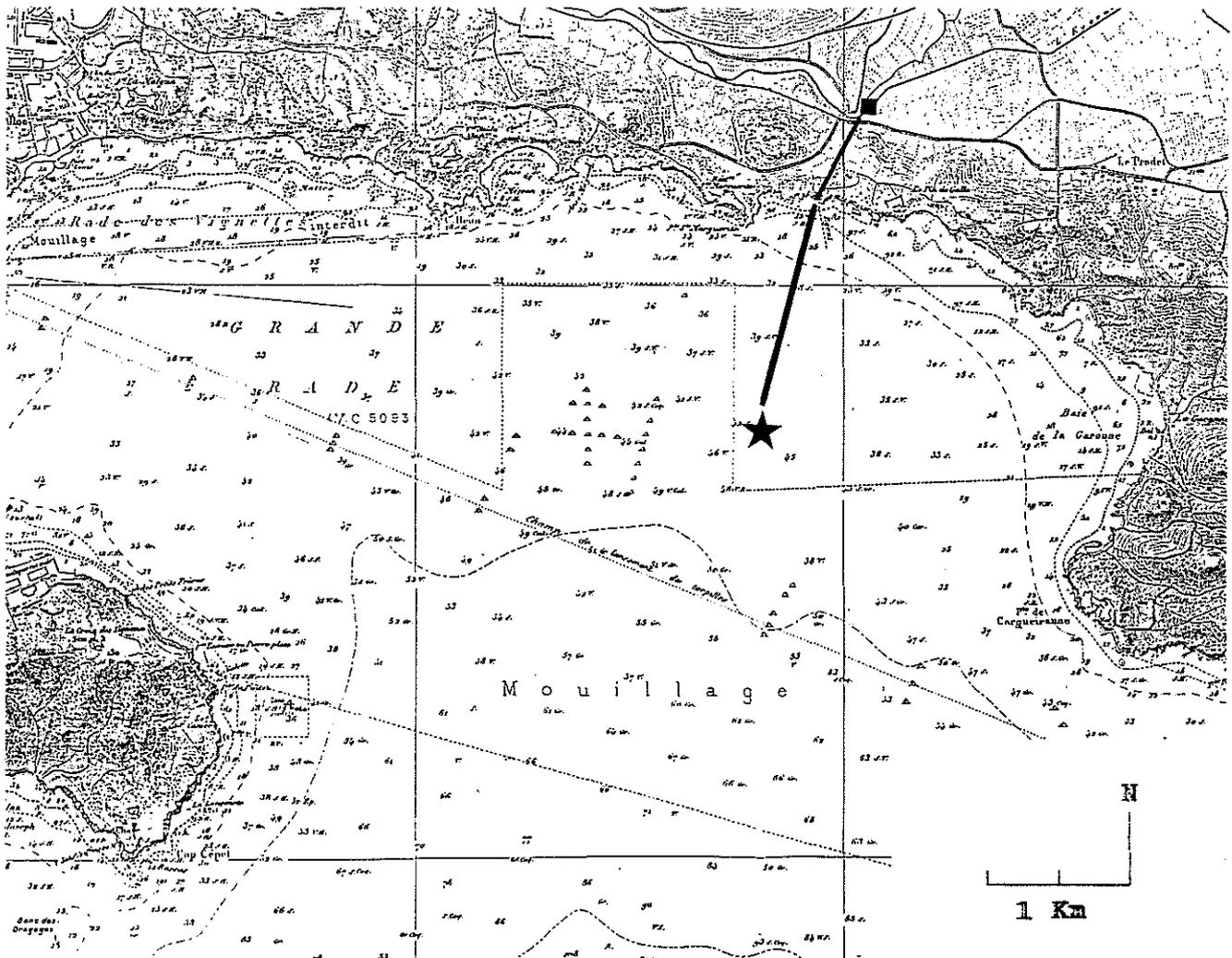


Figure 1.1 : Localisation en mer de la station d'épuration et de son point de rejet (carte SHOM n° 5175)

Caractéristiques du traitement épuratoire:

La station d'épuration de TOULON-EST traite les effluents, domestiques essentiellement, de la partie orientale de l'agglomération toulonnaise. Sa capacité de 90 000 équivalent-habitants lui permet des débits de pointe de 1 600 m³/h par temps sec et de 3 500 m³/h par temps de pluie. La filière physico-chimique utilisée permet un abattement moyen annuel des matières en suspension (M.E.S.) de 83,2% (IFREMER, 1985).

Après un premier traitement visant à éliminer les plus gros déchets et les huiles (dégrillage puis dessablage/deshuilage), l'effluent reçoit des agents réactifs (chlorosulfate ferrique, chaux et polymères) favorisant la coagulation, la floculation et la sédimentation de la fraction particulaire. Un passage en décanteurs lamellaires permet de séparer les boues de l'effluent traité qui est alors rejeté à la mer à travers un émissaire de 1820 mètres de long et par 42,5 mètres de profondeur devant la pointe de sainte Marguerite en rade de TOULON. Le débit, limité à 2800 m³/h, y est relativement stable de 500 à 625 m³/h.

Caractéristiques du milieu récepteur (THOUVENIN *et al.*, 1988):

La rade de TOULON est soumise à des vents de W-NW (mistral) dominants en hiver et au printemps et à des vents d'E-SE dominants au printemps et en automne qui, bien que moins fréquents et moins intenses engendrent par contre de nombreuses précipitations.

La courantologie locale est influencée par le courant ligure qui se déplace d'Est en Ouest à raison de 0,20 à 0,25 m/s à 3 milles des côtes et qui génère des contre-courants orbitaux dont les centres sont autant de pièges à sédiments. Les courants de surface sont largement inféodés au vent et restent faibles (inférieurs à 30 cm/s).

Une stratification thermique apparaît entre les mois de mai et de septembre ; l'écart peut atteindre 10°C entre la surface et le fond.

Dans le cadre de ce programme le comportement des particules issues de l'effluent a fait l'objet d'une étude particulière, soit à partir des campagnes pluridisciplinaires, soit à partir d'expériences spécifiques:

La campagne de 24 heures réalisée les 17 et 18/11/87 à la station d'épuration a mis en évidence un cycle journalier des matières en suspension dans l'effluent avant et après traitement.

Un second cycle, le 5 juillet 1988, a permis de préciser ces résultats en situation estivale.

Les campagnes à la mer ont permis de suivre l'effluent, depuis sa sortie de l'émissaire et son panache de remontée, jusqu'aux limites de la détection de sa dilution en mer. Pour ce faire plusieurs marqueurs ont été utilisés, colorés ou radioactifs, facilement mesurables même à de faibles concentrations et à n'importe quelle profondeur, afin de repérer le nuage de dispersion et de guider les prélèvements.

Dans la suite de cette étude nous prendrons en compte les campagnes suivantes:

- 19/06/87: rejet épuré marqué au Technétium,
- 08/09/87: rejet épuré marqué par ¹⁹⁸AU,
- 10/09/87: rejet brut marqué par ¹⁹⁸AU,
- 27/04/88: rejet épuré dopé de boues issues du traitement,
- 29/04/88: rejet épuré marqué à la rhodamine.

II - ETUDE GRANULOMETRIQUE DE L'EFFLUENT EN STATION D'EPURATION

2.1 Méthodologie

Deux techniques ont été utilisées parallèlement et de façon complémentaire:

- La filtration des matières en suspension (M.E.S.),
- La microgranulométrie par comptage des particules au compteur Coulter.

2.1.3 Les filtrations

Elles ont été de deux types:

- * Les filtrations totales, sur filtres Whatmann GF/F, avaient pour but la comparaison de la MES avec la population granulométrique et son volume correspondant analysés par ailleurs,
- * Les filtrations différentielles, sur filtres Nucléopore de $0,4 \mu\text{m}$, $3 \mu\text{m}$ et $12 \mu\text{m}$, avaient pour but de déceler un éventuel phénomène de coagulation et de floculation.

Les analyses ont, dans la mesure du possible, été doublées afin de réduire les sources d'erreur et les volumes à filtrer déterminés de façon à être représentatifs de l'échantillon sans pour cela colmater le filtre.

2.1.4 Les microgranulométries

Effectuées au compteur Coulter, elles ont permis de déterminer le spectre de taille et le volume des particules de $500 \mu\text{l}$ d'effluent selon 256 classes réparties en mode logarithmique de 2 à $60 \mu\text{m}$ de diamètre (figure 2.1).

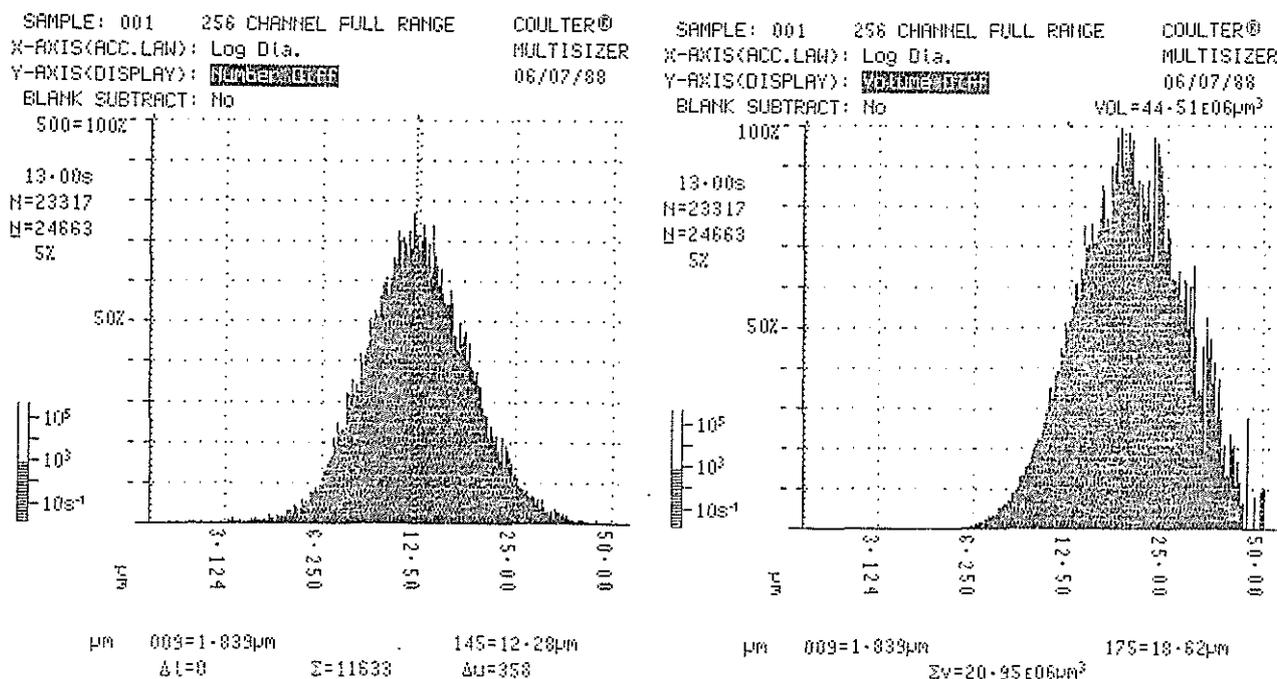
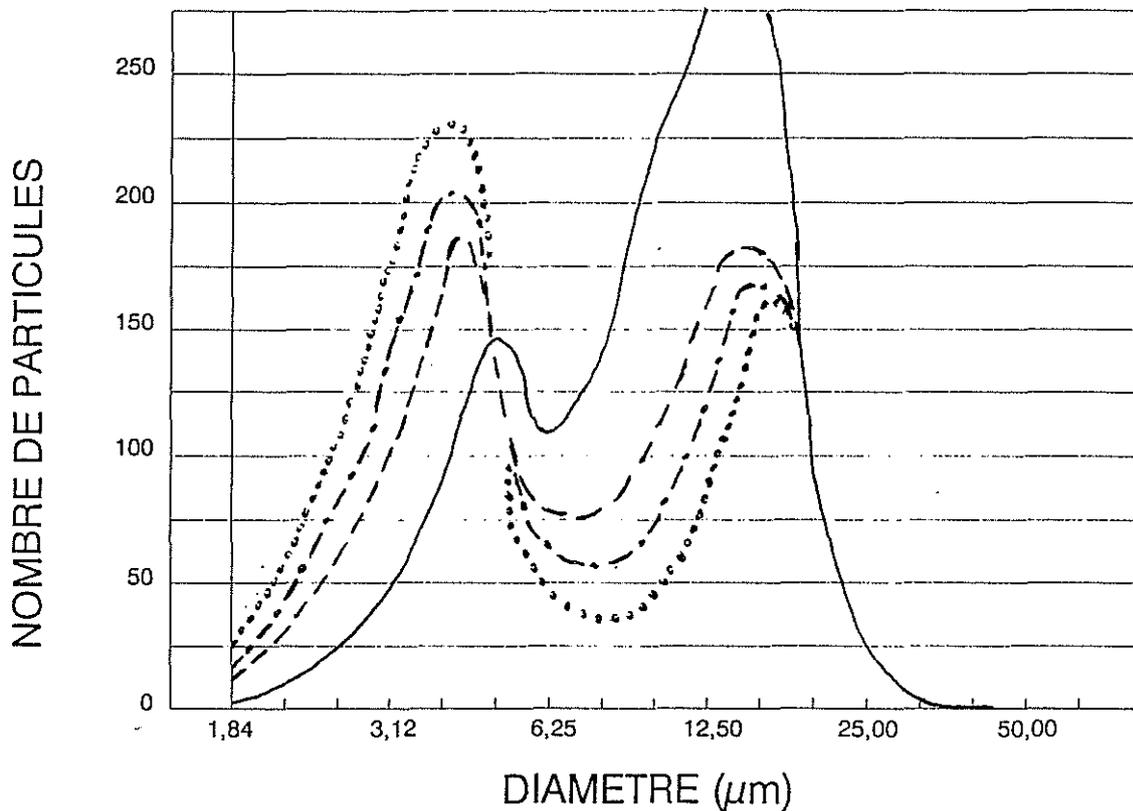


Figure 2.1: Exemple de spectres granulométriques en population (mode à $12,5 \mu\text{m}$) et en volume (mode à $18,6 \mu\text{m}$).

Pour tenir compte de l'extrême fragilité physico-chimique de l'effluent tenant son origine dans sa forte teneur en matières organiques (KRANCK, 1975, QUEMENEUR & MARTY, 1986), et afin d'éviter autant que faire ce peut des phénomènes de coagulation ou de formation/destruction de floccs, les analyses ont été réalisées dans les minutes suivant les prélèvements ou leur préparation.

Pour la même raison la multiplication des répliquats a été préférée à celle des analyses sur un même échantillon: Ainsi la figure 2.2 permet d'observer les effets simultanés de la coagulation: apparition de nombreuses particules vers $4 \mu\text{m}$, décalant le mode vers les fines, et de la floculation, qui, bien que sous-estimée par cette méthode d'analyse, montre une disparition des particules entre 6 et $12 \mu\text{m}$ et un regroupement vers $15 \mu\text{m}$.

L'effluent brut a subi une préfiltration à $50 \mu\text{m}$ afin de limiter les phénomènes de bouchage de l'orifice de la sonde lors de l'analyse.



—	T0	26062 particules
- - -	T+3'	21234 particules
- · - · -	T+6'	20906 particules
· · · · ·	T+9'	21056 particules

Figure 2.2: Modifications du spectre granulométrique de l'effluent brut au cours du temps, par des analyses répétées sur le même échantillon.

2.2 Granulométrie de l'effluent brut et traité

2.2.1 Mise en évidence d'un cycle journalier

L'étude des données ci-après (tableaux 2.1 et 2.2) permet d'observer la présence d'un cycle journalier dans les caractéristiques granulométriques de l'effluent parvenant à la station, cycle dont les variations extrêmes vers 6 heures et midi avaient déjà été cernées lors du cycle de 24 heures du mois de novembre 1987 (valeurs () dans le Tableau). Ce cycle, bien que très atténué, se retrouve également dans l'effluent épuré.

BRUT	MODE DES PARTICULES (ϕ μm)	POPULATION TOTALE (n/ μl)	VOLUME TOTAL (mm^3/l)	M.E.S. TOTALE (mg/l)
6 h.	3,5 (3,5)	29,0 (50,0)	3,6 (7,0)	20,8 (27,0)
12 h.	12,2 (9,2)	47,6 (62,0)	103,0 (88,0)	459,4 (385,0)

() cycle du 17-18/11/87

BRUT	POPULATION <3 μm	VOLUME <3 μm	M.E.S. <3 μm
6 h.	34,3 %	2,4 %	21,8 %
12 h.	0,3 %	0,1 %	24,7 %

BRUT	POPULATION 3< <12 μm	VOLUME 3< <12 μm	M.E.S. 3< <12 μm
6 h.	63,4 %	49,8 %	29,3 %
12 h.	47,1 %	9,4 %	20,4 %

BRUT	POPULATION >12 μm	VOLUME >12 μm	M.E.S. >12 μm
6 h.	2,3 %	47,8 %	48,9 %
12 h.	52,6 %	90,5 %	54,9 %

Tableau 2.1: Caractéristiques granulométriques observées sur l'effluent brut (05/07/88).

TRAITE	MODE DES PARTICULES (ϕ μm)	POPULATION TOTALE (n/ μl)	VOLUME TOTAL (mm^3/l)	M.E.S. TOTALE (mg/l)
7 h.	3,4 (4,0)	27,1 (30,0)	1,7 (4,6)	17,2 (25,0)
13 h.	5,7 (6,0)	32,1 (30,0)	11,0 (11,6)	40,1 (60,0)

() cycle du 17-18/11/87

TRAITE	POPULATION <3 μm	VOLUME <3 μm	M.E.S. <3 μm
7 h.	55,4 %	12,0 %	67,5 %
13 h.	5,9 %	0,2 %	80,5 %

TRAITE	POPULATION 3< <12 μm	VOLUME 3< <12 μm	M.E.S. 3< <12 μm
7 h.	43,8 %	50,4 %	14,9 %
13 h.	88,8 %	47,1 %	12,1 %

TRAITE	POPULATION >12 μm	VOLUME >12 μm	M.E.S. >12 μm
7 h.	0,8 %	37,6 %	17,9 %
13 h.	5,4 %	52,7 %	7,4 %

Tableau 2.2: Caractéristiques granulométriques observées sur l'effluent traité.

* **La population totale** de l'effluent brut passe en moyenne de 29 millions de particules par litre le matin à 48 le midi, soit une augmentation de 64 %. Dans le même temps celle de l'effluent traité passe de 27 à 32 millions par litre, soit une augmentation de 19 % (figure 2.3.A).

Globalement le **spectre de taille des particules** suit cette tendance: pour l'effluent brut le mode augmente d'un facteur 3,5 (3,48 à 12,15 μm), celui de l'effluent traité de 1,9 (2,95 à 5,68 μm). Déjà, lors du cycle de novembre 1987, des valeurs comparables avaient été observées, soit respectivement des facteurs de 2,6 et de 1,5.

Si l'on excepte les prélèvements réalisés en fin de nuit (1T1, 1B1) quand la charge de l'effluent est minimale, une relation apparait sur l'ensemble du cycle journalier entre la concentration en particules (X) et leur diamètre moyen (Y) (figure 2.4):

effluent brut:

$$Y = 4,96 \cdot 10^{-7} X - 11,53 \quad (R=0,97)$$

effluent traité:

$$Y = 2,75 \cdot 10^{-7} X - 3,15 \quad (R=0,92)$$

Nous observons donc que la **composition granulométrique du rejet varie selon la charge de l'effluent**:

- Dans l'effluent brut l'augmentation du nombre de particules entre 6 heures et 12 heures est surtout causée par l'arrivée de grosses particules ($>12 \mu\text{m}$), dont la part passe de 2 à 53 %, au détriment des petites particules alors quasiment absentes (figure 2.5).

- Le traitement atténue très fortement cette différence.

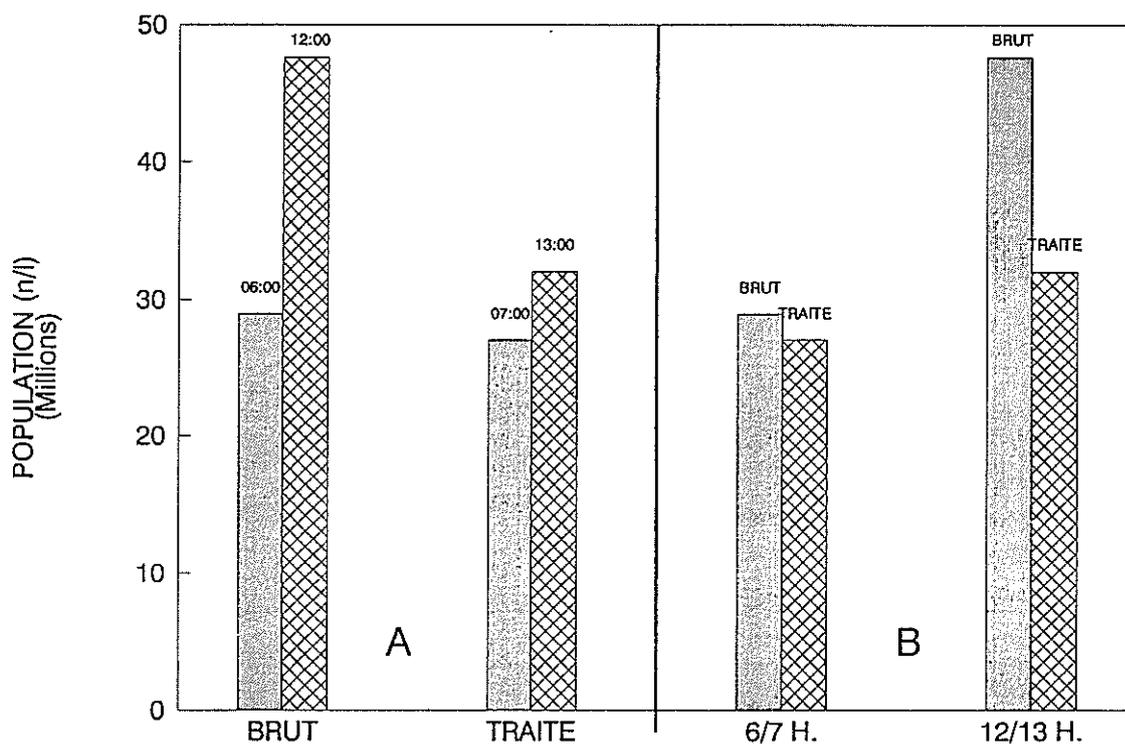


Figure 2.3 : Variation du nombre de particules en fonction de l'heure de prélèvement dans l'effluent brut et traité.

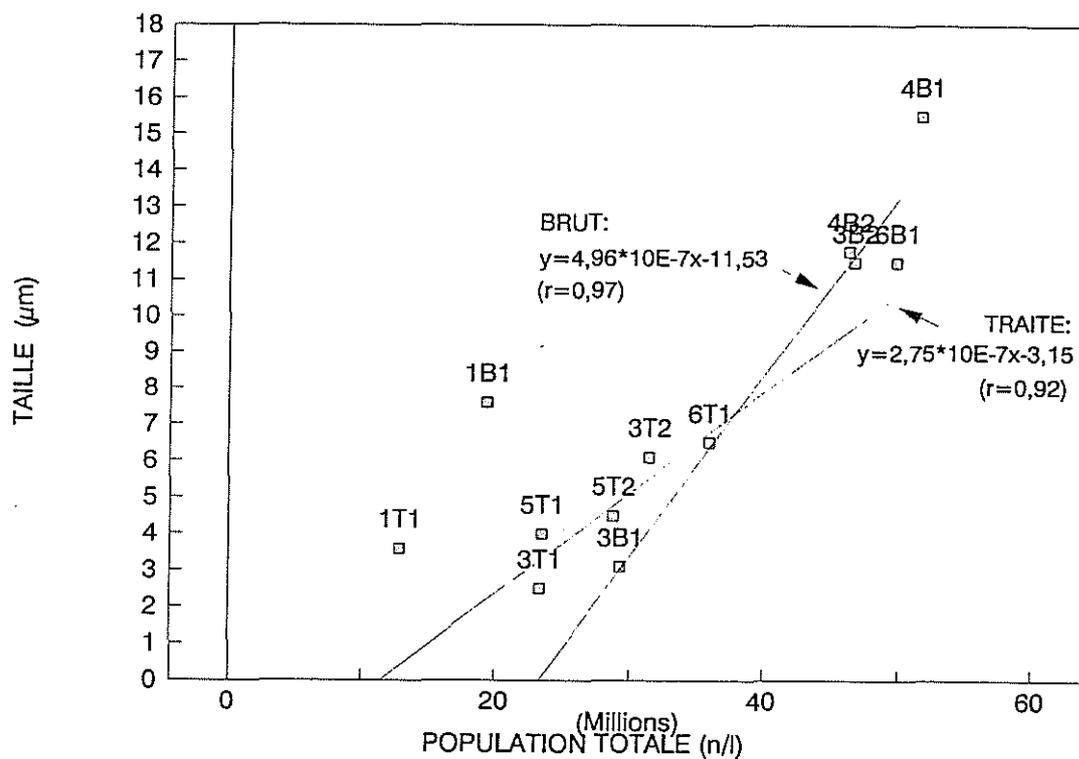


Figure 2.4: Relation entre la concentration et le diamètre moyen des particules de l'effluent brut et traité.

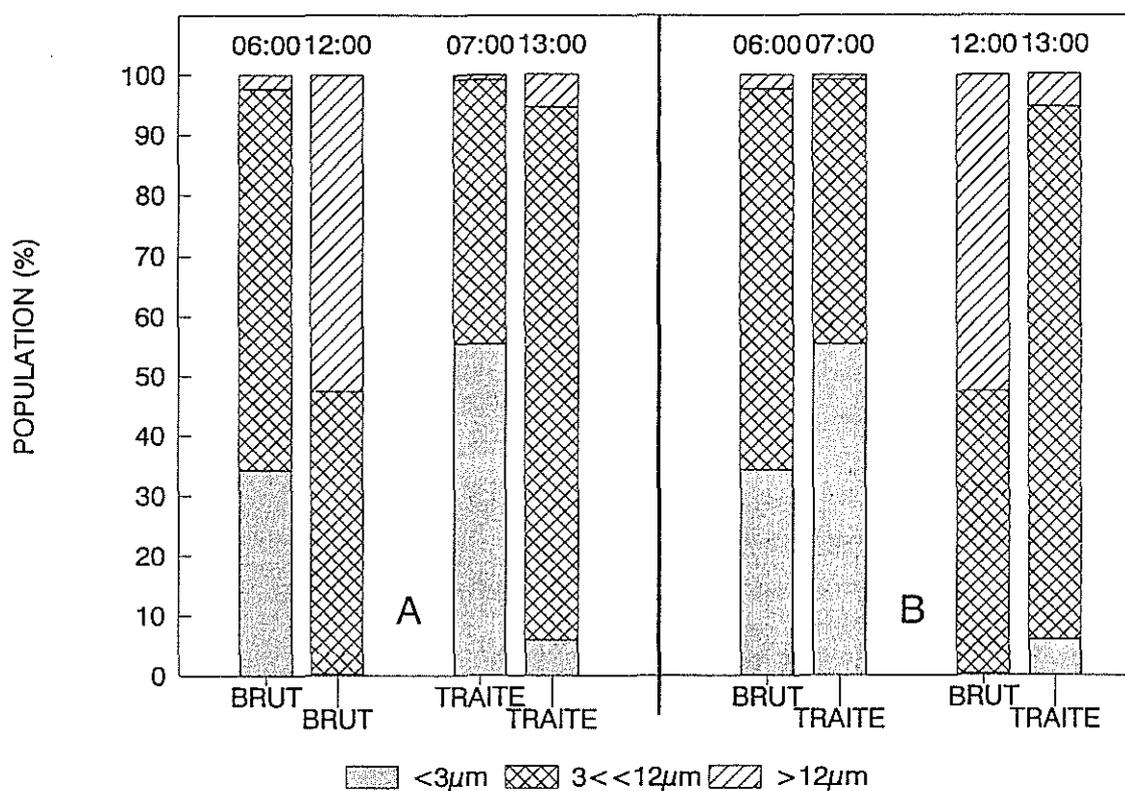


Figure 2.5: Répartition des particules par classe de taille dans l'effluent brut et traité.

* **Les volumes moyens** correspondants varient de façon bien plus importante en raison de l'accroissement rapide du volume en fonction de la taille des particules. Ainsi il suffit de quelques grosses particules pour augmenter considérablement le volume total des M.E.S. d'un échantillon:

Le volume total des particules de l'effluent brut passe en moyenne de 36 à 103 $\mu\text{m}^3/\text{l}$ entre 6 heures et 12 heures, soit une concentration de près de 30 fois supérieure (figure 2.6.A). La concentration de l'effluent traité augmente dans le même temps d'un facteur 6,5 (1,7 à 11 $\mu\text{m}^3/\text{l}$).

La répartition des volumes par classe de taille suit ce schéma de façon plus modérée: la médiane augmente d'un facteur 1,8 pour le brut (11,50 à 20,63 μm) et de 1,5 pour le traité (8,76 à 13,06 μm).

On remarque que:

- la proportionalité entre la médiane et le volume total est ici encore vérifiée bien que de façon plus irrégulière car quelques grosses particules suffisent à augmenter considérablement le volume d'un échantillon sans en modifier beaucoup la médiane,

- l'accroissement de la médiane reflète, surtout dans l'effluent brut, le changement de proportion des grosses particules qui passent dans ce cas de 47,8 à 90,5 % entre la nuit et le jour (figure 2.7).

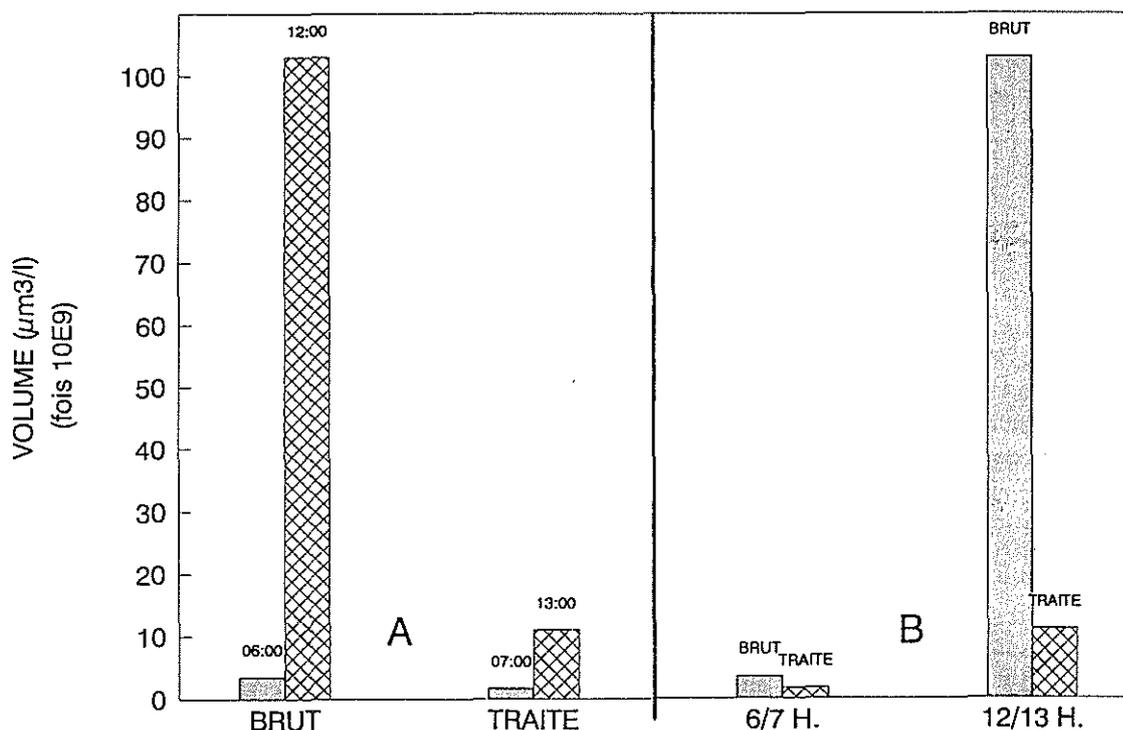


Figure 2.6: Variation du volume des particules en fonction de l'heure de prélèvement dans l'effluent brut et traité.

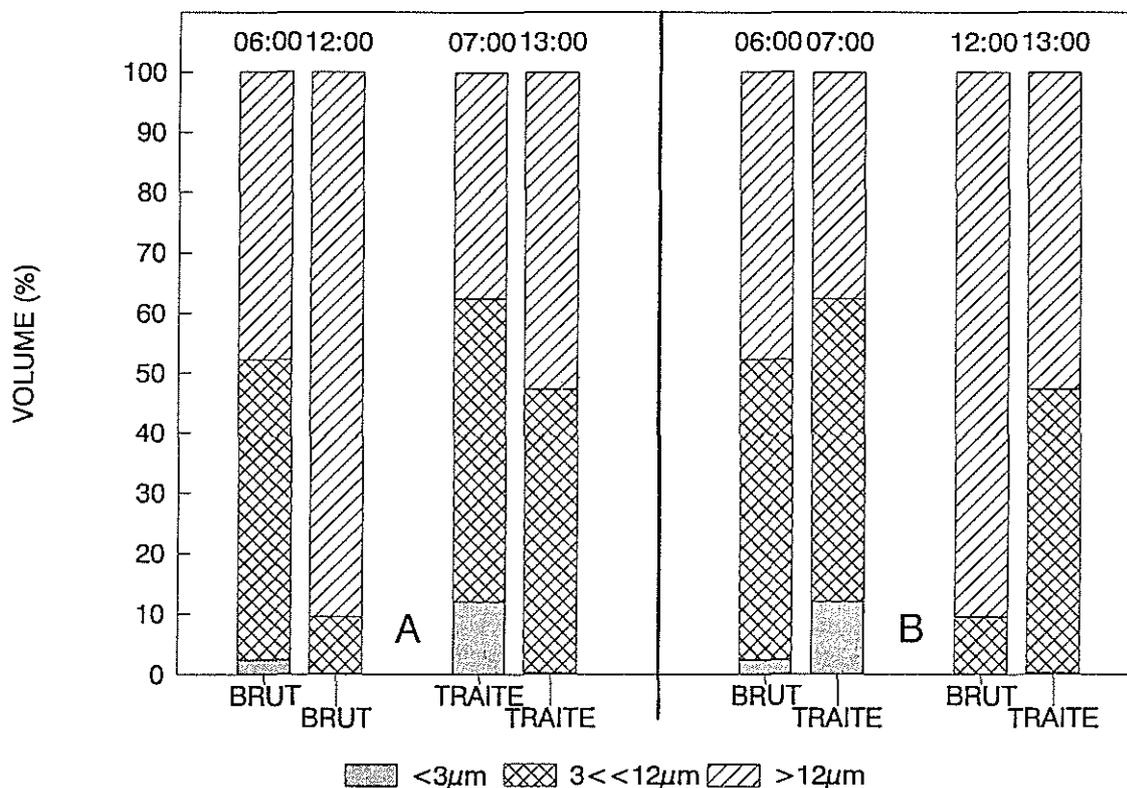


Figure 2.7: Répartition des volumes par classe de taille dans l'effluent brut et traité.

* **Les matières en suspension (M.E.S.)** totales évoluent au cours de la journée de façon plus proche du volume que de la population (figure 2.8.A): Les MES de l'effluent brut en passant de 20,8 mg/l le matin à 459,4 mg/l à midi, soit une concentration multipliée par 22, tandis que les MES de l'effluent traité n'augmentent la leur que d'un facteur de 2,3 (17,2 à 40,1 mg/l).

La composition des M.E.S. par classes de taille varie peu entre la nuit et le jour: quasi nuls dans l'effluent brut, les écarts ne sont guère supérieurs à 10 % dans l'effluent traité (figure 2.9.A). Leur évolution apparaît donc comme très différente de ce que nous venons précédemment d'observer avec le nombre de particules et les volumes (fig.2.5 et 2.7).

Dans ces conditions, **il est impossible de poser une relation stable entre la taille, le volume et la masse d'une particule.** En accord avec les résultats de K. KRANCK (1984), nous sommes donc conduits à supposer une différence de structure et/ou de densité dans les particules de l'effluent avant et après traitement en fonction de leur diamètre.

Ainsi les particules supérieures à 12 µm présentent une masse proportionnellement plus faible que le volume correspondant, ce qui suggère une structure en floccs volumineux mais légers car composés d'amas de matières organiques.

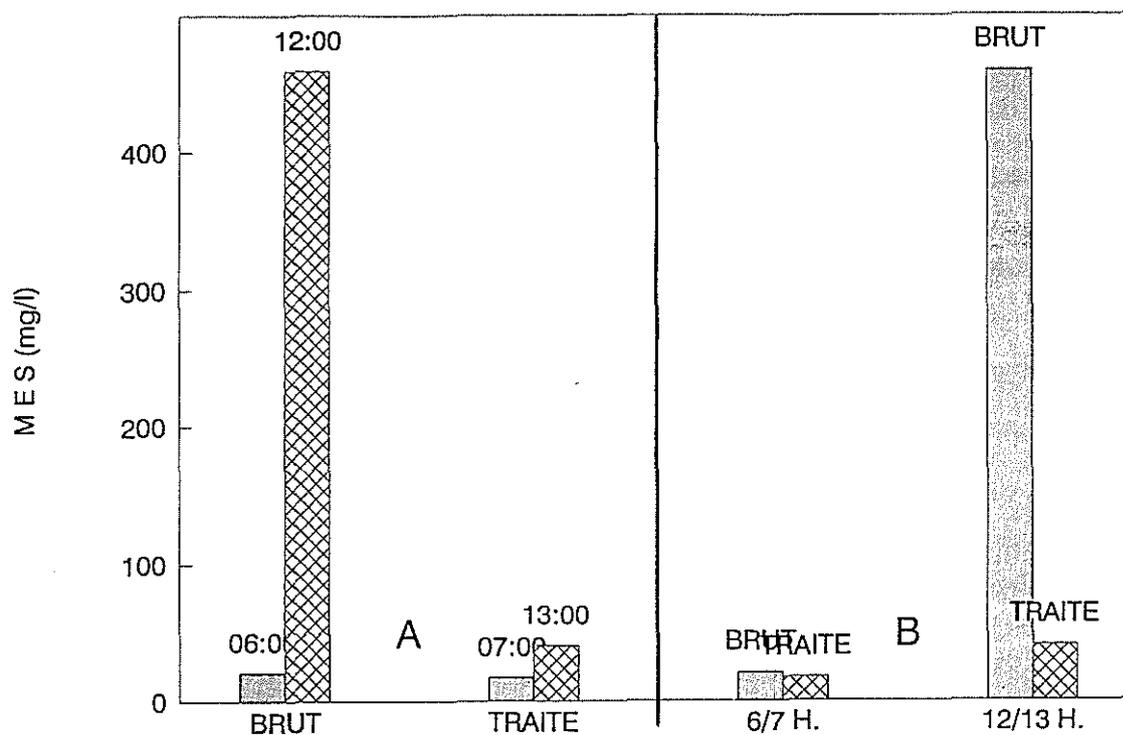


Figure 2.8: Variation de la charge particulaire en fonction de l'heure de prélèvement dans l'effluent brut et traité .

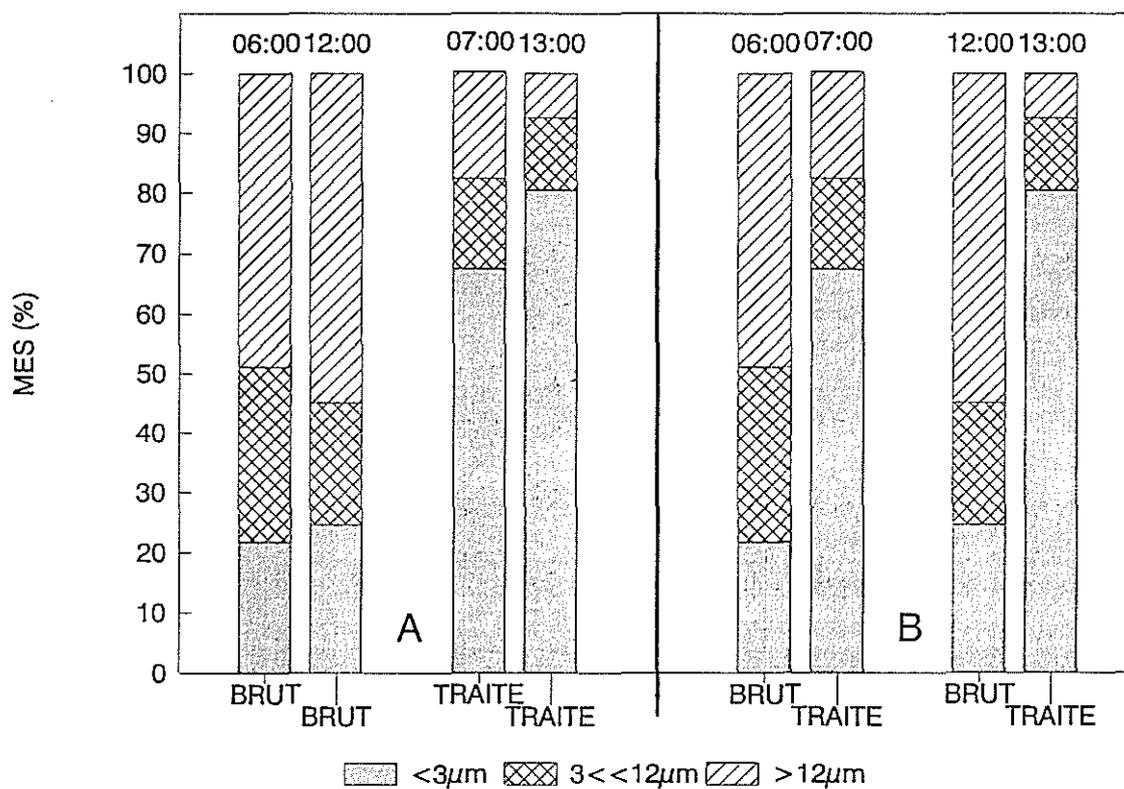


Figure 2.9: Répartition des M.E.S. par classe de taille dans l'effluent brut et traité.

On pourra certes objecter de la difficulté de comparer les résultats issus de deux méthodes d'analyses différentes. En fait le Coulter tend à casser les floccs et donc à minimiser la valeur affichée des volumes correspondant à des particules de diamètre supérieur à 12 μm par rapport à celle des M.E.S..

Une des conséquences de ceci est l'impossibilité de connaître la densité exacte des particules issues de la station, sauf à utiliser des procédés analytiques complexes. La loi de STOKES ne pouvant s'appliquer que sur des particules élémentaires et de densité connue, il sera de même très aléatoire d'évaluer la vitesse de sédimentation d'un tel matériel.

2.2.2 Le rendement de la station d'épuration en terme d'abattement

* Rendements moyens totaux:

Les données ci-dessous (tableau 2.3) montrent que, tout en étant prudent quant au pourcentage de MES à 7 heures qui nous semble un peu faible, **l'efficacité du traitement est d'autant meilleure que la charge de l'effluent est importante à l'entrée de la station**. Ce que nous montrent les données sur la population (figure 2.3.B), le volume (figure 2.6.B) et les M.E.S. (figure 2.8.B), qui comparent l'effluent avant et après traitement le matin et en milieu de journée.

HEURE DE PRELEVEMENT	POPULATION TOTALE	VOLUME TOTAL	M.E.S. TOTALES
07H00	-20,6 (-40,0)	-83,9 (-34,3)	-29,5 (-7,4)
13H00	-30,1 (-51,6)	-88,9 (-86,8)	-88,2 (-84,4)

() cycle du 17-18/11/87

Tableau 2.3: Rendements épuratoires moyens totaux (%) calculés d'après les mesures réalisées sur les effluents brut et traité correspondants selon l'heure de prélèvement (*).

On s'aperçoit cependant que les rendements ne sont pas identiques pour tous les paramètres: en période de charge, pour des abattements supérieurs à 80 % en volume et en M.E.S., on relève des valeurs de l'ordre de 30 % en population (figure 2.10).

(*) le rendement est d'autant meilleur que le % négatif est important. A contrario, un % positif indique une apparition de particules, volume ou M.E.S. au cours du traitement dans la station.

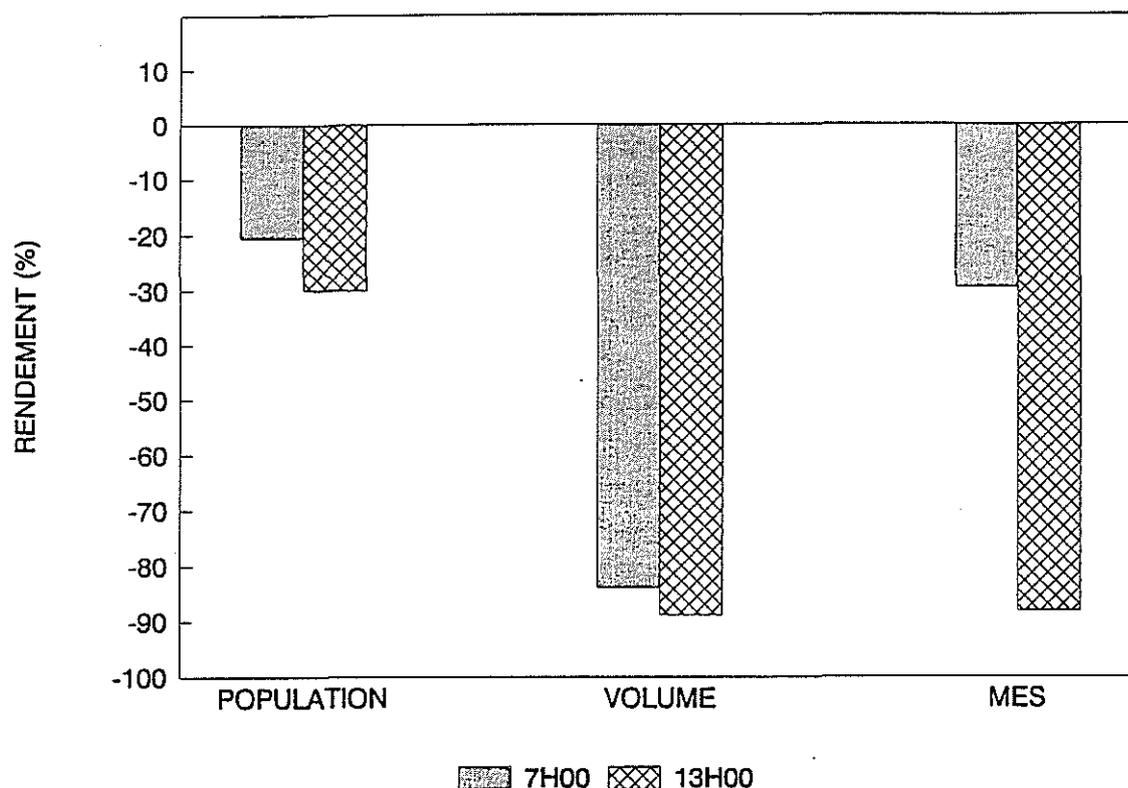


Figure 2.10: Abatement des particules en fonction de l'heure de prélèvement.

*** Rendements par classes de taille:**

Les rendements calculés par classe de taille (%) vont nous permettre d'affiner l'analyse (tableau 2.4).

CLASSES DE TAILLE	POPULATION		VOLUME		M.E.S.	
	07H00	13H00	07H00	13H00	07H00	13H00
<3 μm	+25,8	+03,0	+01,4	00,0	+66,0	-16,5
3<<12 μm	-44,3	+11,6	-42,6	-04,6	-40,5	-19,7
>12 μm	-02,1	-44,7	-42,8	-84,4	-55,0	-52,0
TOTAL	-20,6	-30,1	-83,9	-88,9	-29,5	-88,2

Tableau 2.4: Rendements moyens par classes de taille (%) selon l'heure du prélèvement (*).

(*) le rendement est d'autant meilleur que le % négatif est important. A contrario, un % positif indique une apparition de particules, volume ou M.E.S. au cours du traitement dans la station.

La variation des taux de rendement du traitement sur l'effluent selon le diamètre des particules rend compte d'un ensemble complexe de mécanique de transferts entre grosses, moyennes et petites particules et même entre les phases dissoute et particulaire. Nous allons tenter d'en dresser le bilan (figure 2.11).

La décantation produite par le traitement génère un abattement général des M.E.S. d'autant plus fort que les particules et/ou les floccs sont importants en nombre et en taille.

Il apparait cependant des phénomènes qui tempèrent celui-ci:

- le fractionnement de "macro-floccs" ($40-50 \mu\text{m}$) très fragiles (KRANCK, 1984), ce qui augmente le nombre de particules de cette catégorie sans en augmenter le volume ou la masse,
- le fractionnement d'une partie des floccs de taille moyenne qui ne sont alors plus pris en compte dans la catégorie des particules $>12 \mu\text{m}$, ce qui permet une déflation de celle-ci, tant en nombre qu'en volume ou en masse, mais une inflation correspondante (et sans doute même supérieure pour la population) de la catégorie inférieure,
- l'apparition par coagulation de petites particules $<3 \mu\text{m}$, et de densité sensiblement plus forte que les floccs (adsorption de chlorosulfate ferrique au cours du changement de phase?), ce qui a pour conséquence un abattement plus faible de cette catégorie et parfois même un rendement "négatif": +25 % en population et +66 % en M.E.S. à 7h00.

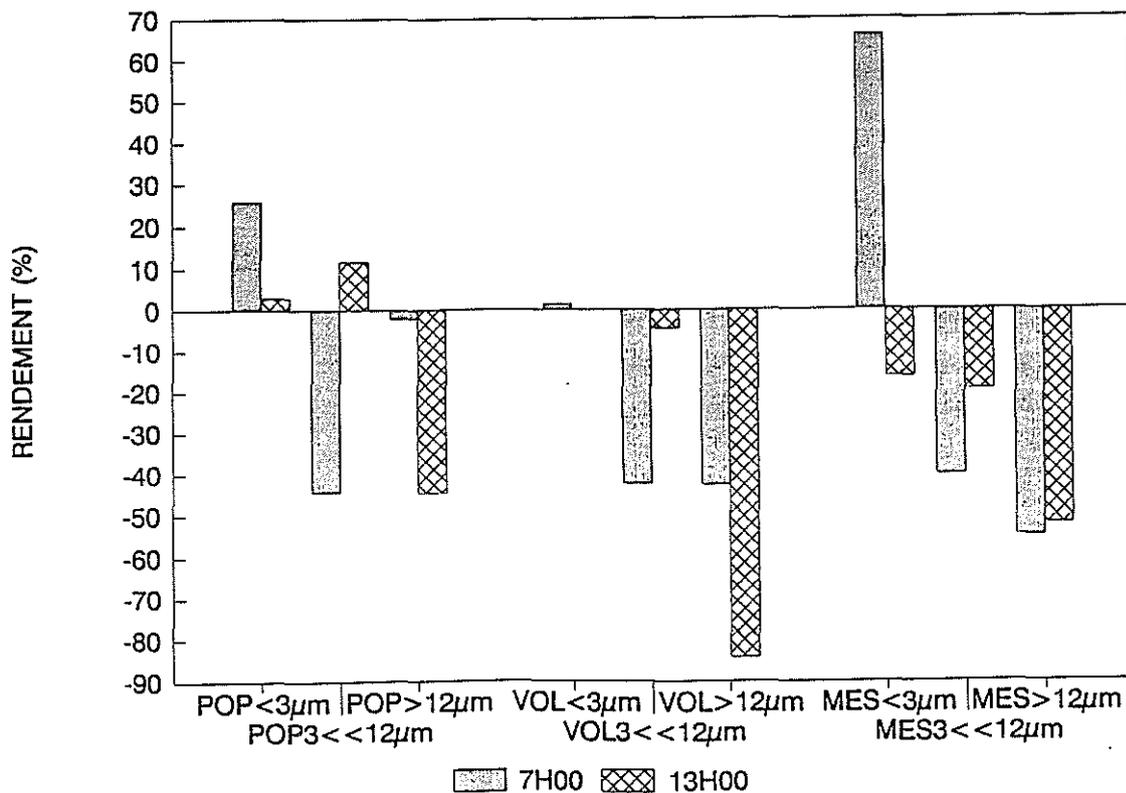


Figure 2.11: Abattement des particules par classes de taille.

III – MODES DE DISPERSION DE L'EFFLUENT EN MER

3.1 Méthodologie

Afin d'évaluer les concentrations de l'effluent à un moment donné autour de l'émissaire un certain nombre de campagnes à la mer ont été réalisées avec marquages du rejet et prélèvements d'échantillons. Parmi les paramètres mesurés, l'étude des matières en suspension (M.E.S.) fait l'objet du présent chapitre.

Pour ce qui est de la microgranulométrie, les prélèvements réalisés à la sortie du rejet et dans le panache de remontée de l'effluent (par plongeur) puis dans son nuage de dispersion (par pompage ou à l'aide de bouteilles hydrologiques), ont aussitôt été analysés à bord même du bateau. Il était en effet important de réduire au maximum les délais de traitement d'échantillons, riches en matières organiques susceptibles de dégradation. Pour ce faire un compteur de particules Coulter alimenté par du courant électrique stabilisé à partir d'un groupe électrogène a été utilisé. Afin d'affiner les mesures, les répliquats ont été multipliés: 4 ou 5 par prélèvements.

Si certaines M.E.S. ont pu être filtrées à bord (campagne d'avril 1988), la plupart l'ont été à terre dans les heures qui suivaient sur filtre Whatmann GF/F et selon une méthode éprouvée (AMINOT, 1983).

Afin de comparer ces résultats au "bruit de fond" de la rade de Toulon, des stations dites de référence ont été échantillonnées en divers points variables suivant les campagnes. L'hétérogénéité de leurs spectres granulométriques est telle qu'elle semble plutôt caractériser diverses masses d'eaux. En conséquence nous avons préféré nous référer aux teneurs en ammonium relevées simultanément au cours des campagnes à la mer et, par ailleurs, excellent marqueur de l'effluent.

3.2 Résultats

3.2.1 Campagne à la mer du 19 juin 1987

Les mesures ont porté sur de l'effluent traité, coloré à la rhodamine et dont la fraction dissoute a été marquée par un élément radioactif, le Technétium. Ceci a permis un suivi du nuage de dispersion pendant 3 heures et sur 1,5 km.

Débit de la station d'épuration: 760 m³/h.

On observe ce jour-là une mer peu agitée, un courant portant à l'Est, de 9 cm/s puis 6-7 cm/s en surface et 4-6 cm/s au fond, une température homogène sur tout la colonne d'eau à 13-14°C, un vent instable de secteur Est/Sud-Est (2-4 cm/s forçant 4-8 cm/s) qui fait suite à un fort courant d'Ouest les jours précédents la campagne.

* **Ammonium** (figure 3.1):

Les dosages de l'ammonium dans le panache de remontée de l'effluent et dans son nuage de dispersion montrent une rapide décroissance des valeurs dès que l'on s'éloigne de l'émissaire: de 3500 $\mu\text{mol/l}$ environ au débouché de celui-ci, on passe à 53 $\mu\text{mol/l}$ à 10 mètres de la surface. A une distance de 175 mètres la teneur en NH_4 atteint un seuil de 9 à 10 $\mu\text{mol/l}$ que l'on retrouve encore au-delà de 1000 mètres. Les variations en plus ou en moins par rapport à ce seuil caractérisent des prélèvements effectués dans une bouffée d'effluent plus concentrée (225 mètres) ou au contraire dans un nuage déjà fragmenté, voire en dehors de ce dernier (625, 1 000, 1 100 et 1 400 mètres). Dans ce cas les valeurs tournent autour de 4-5 $\mu\text{mol/l}$ et peuvent être considérées comme celles du milieu marin côtier et servir de références. Ces variations doivent logiquement se retrouver plus ou moins dans les différents paramètres étudiés. Cette remarque vaudra pour les autres campagnes.

Matières en suspension (figure 3.2):

La masse des M.E.S. décroît encore plus rapidement que la teneur en NH_4 , passant de 50 mg/l environ au débouché de l'émissaire à 4,6 mg/l à 10 mètres de la surface pour atteindre un seuil de 2 mg/l à 25 mètres de distance du panache. Cependant, entre 500 et 800 mètres d'une part et à partir de 1 150 mètres d'autre part, on relève des valeurs multipliées par 2,5 voire par 4 selon les cas.

* Nombre et taille des particules (figure 3.3 et 3.4):

Après une diminution rapide: 92,6 millions de particules par litre à 10 mètres de la surface dans le panache, 20 millions à 175 mètres de distance de celui-ci, la population reste relativement stable.

Le spectre de taille des particules se répartit sur trois modes: 2,5 μm , 3,1 μm et 3,7 μm . Le premier beaucoup plus variable que les deux autres qui évoluent de façon parallèle.

* Volume des particules (figure 3.5):

Le volume total des particules diminue de 1,7 à 0,8 mm^3/l en fonction de la distance du rejet. Toutefois, comme pour les M.E.S., on note une forte augmentation des volumes entre 600 et 700 mètres et à 1 000 mètres.

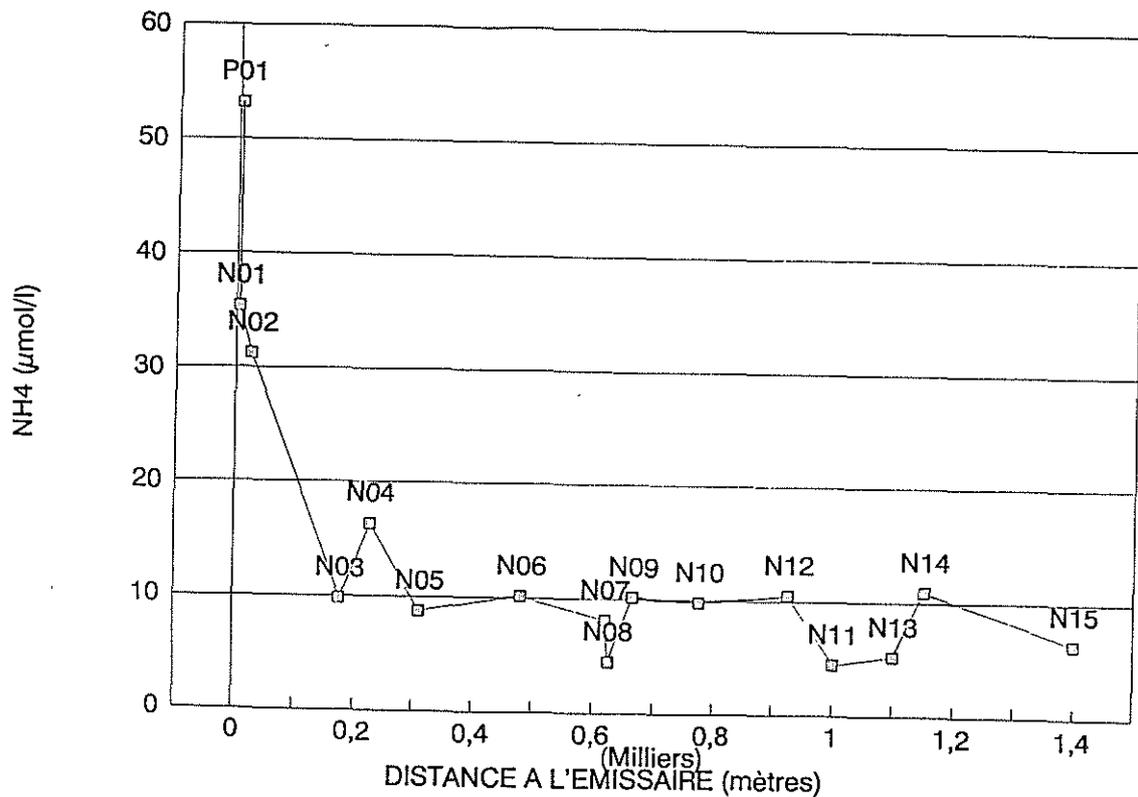


Figure 3.1: Campagne du 19/06/87. Ammonium.

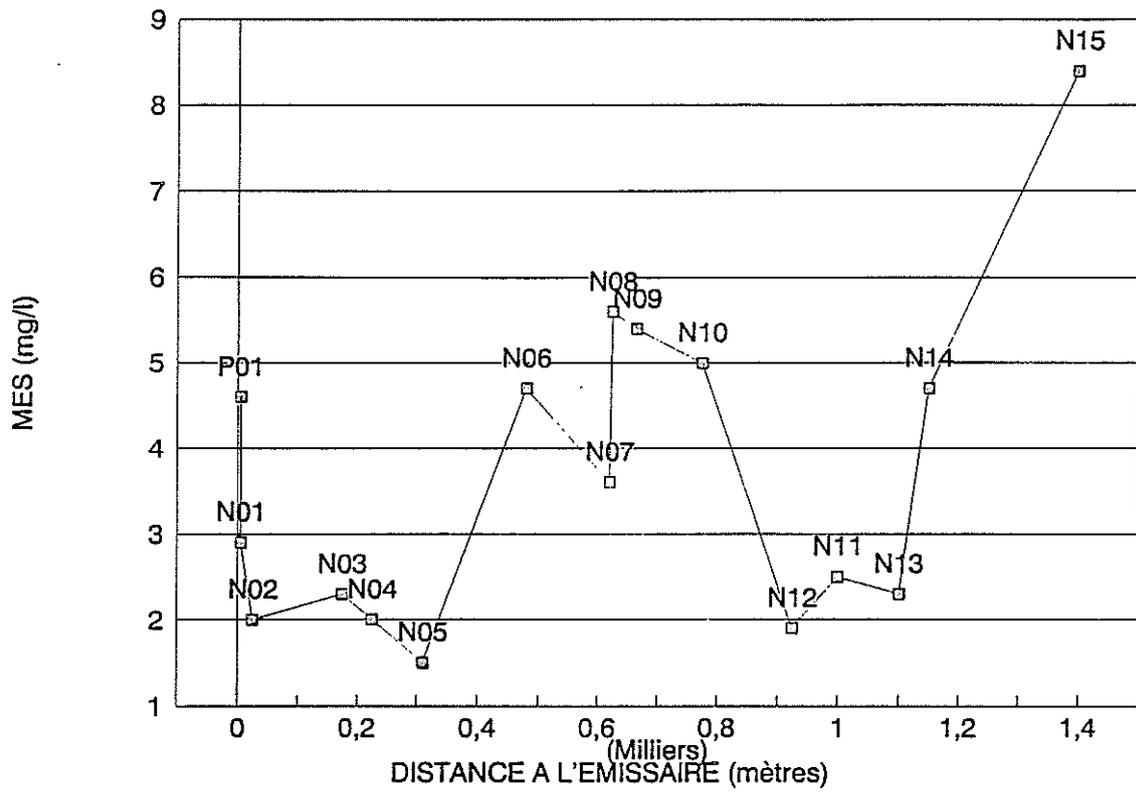


Figure 3.2: Campagne du 19/06/87. M.E.S..

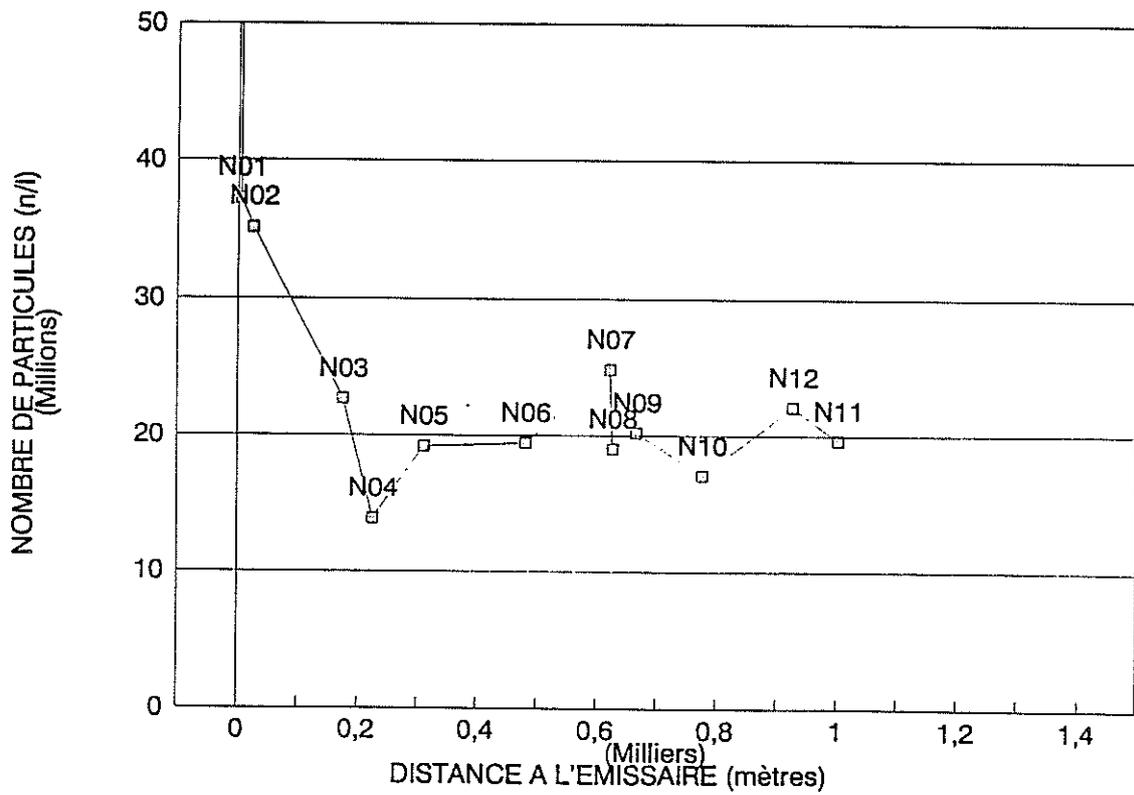


Figure 3.3: Campagne du 19/06/87. Population.

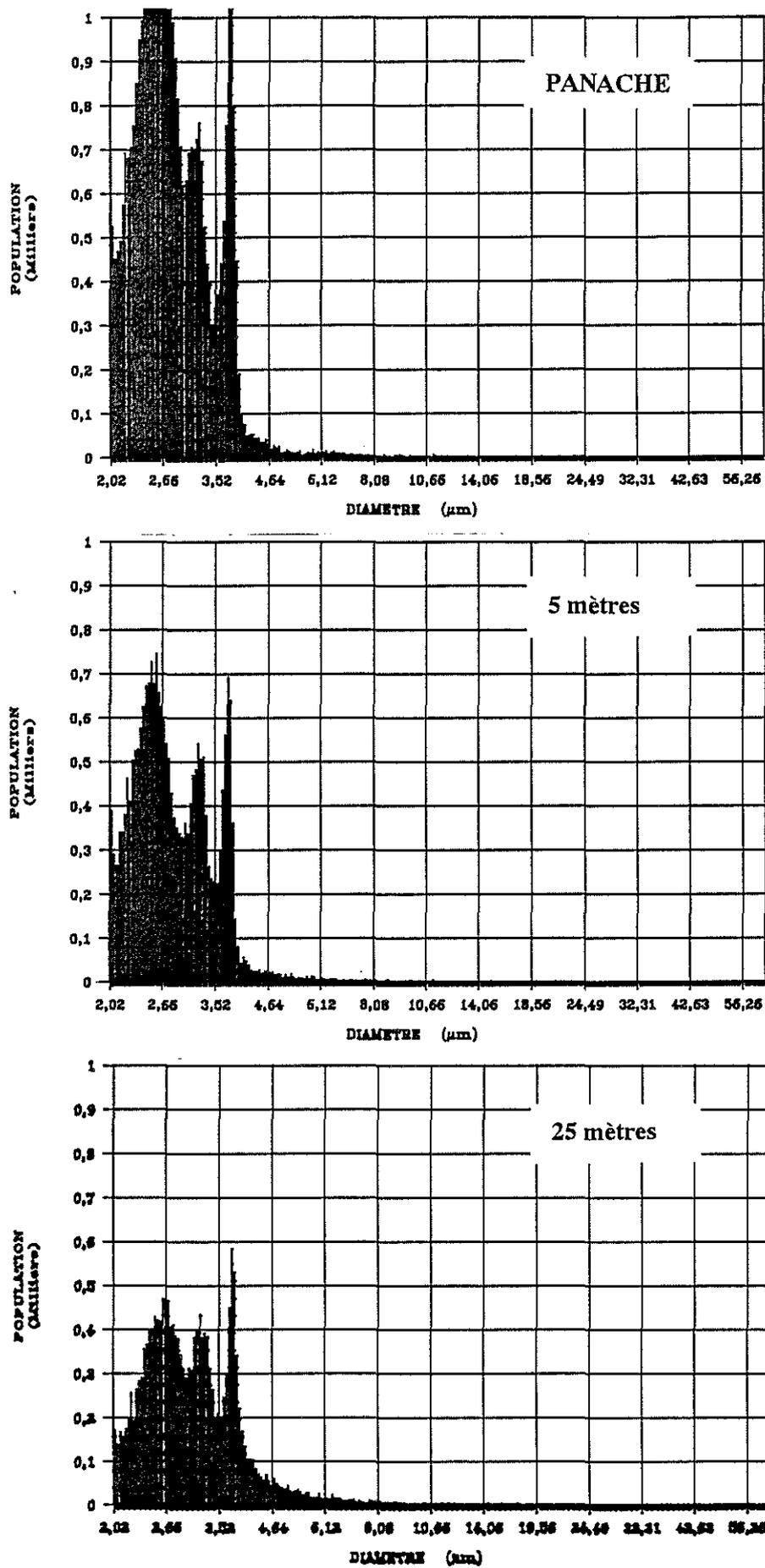


Figure 3.4 : Evolution du spectre de taille des particules pour différentes distances du rejet .

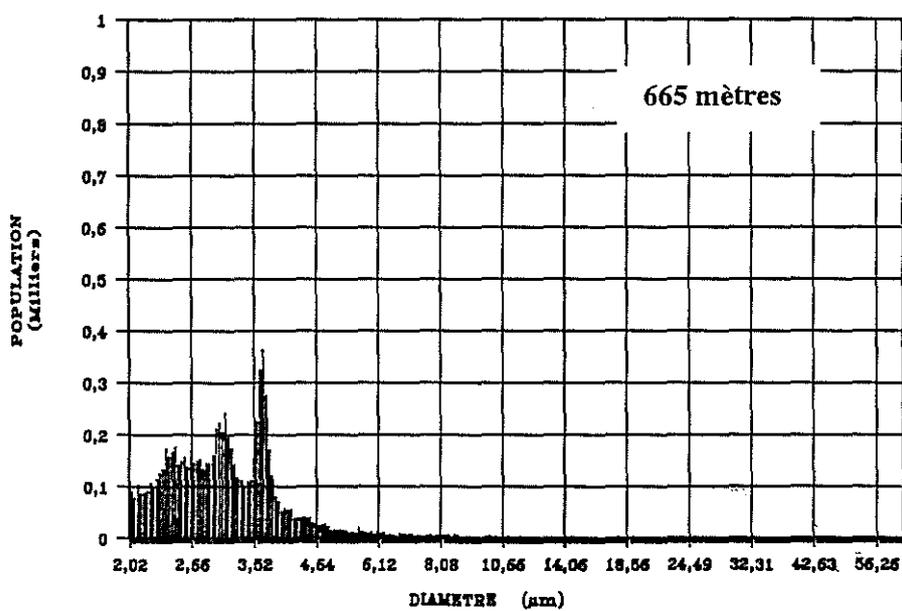
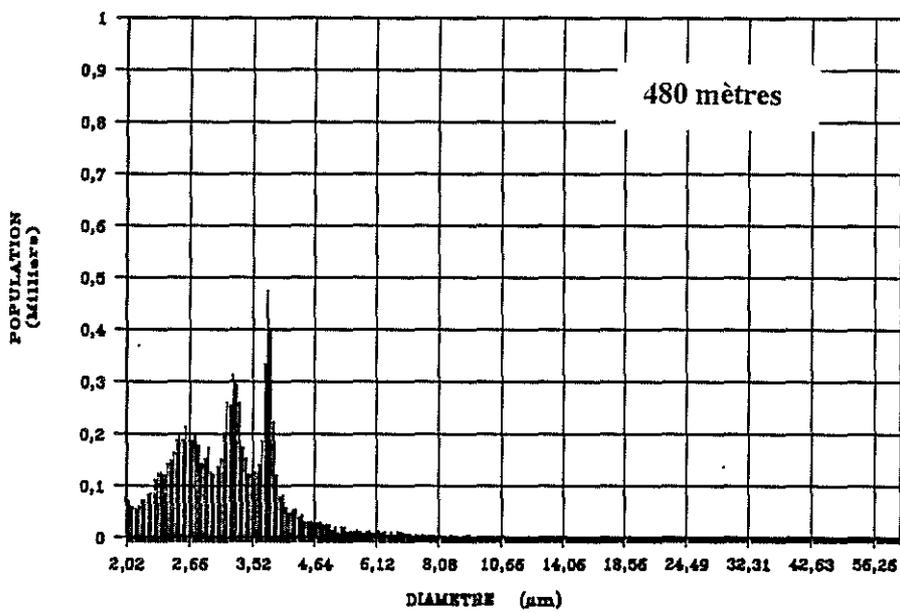
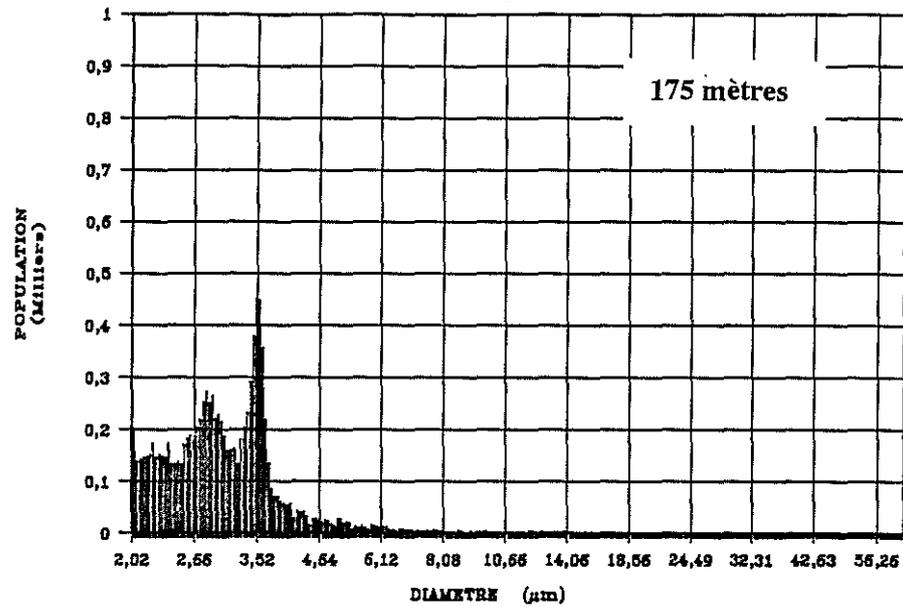


Figure 3.4 (suite) : Evolution du spectre de taille des particules pour différentes distances du rejet.

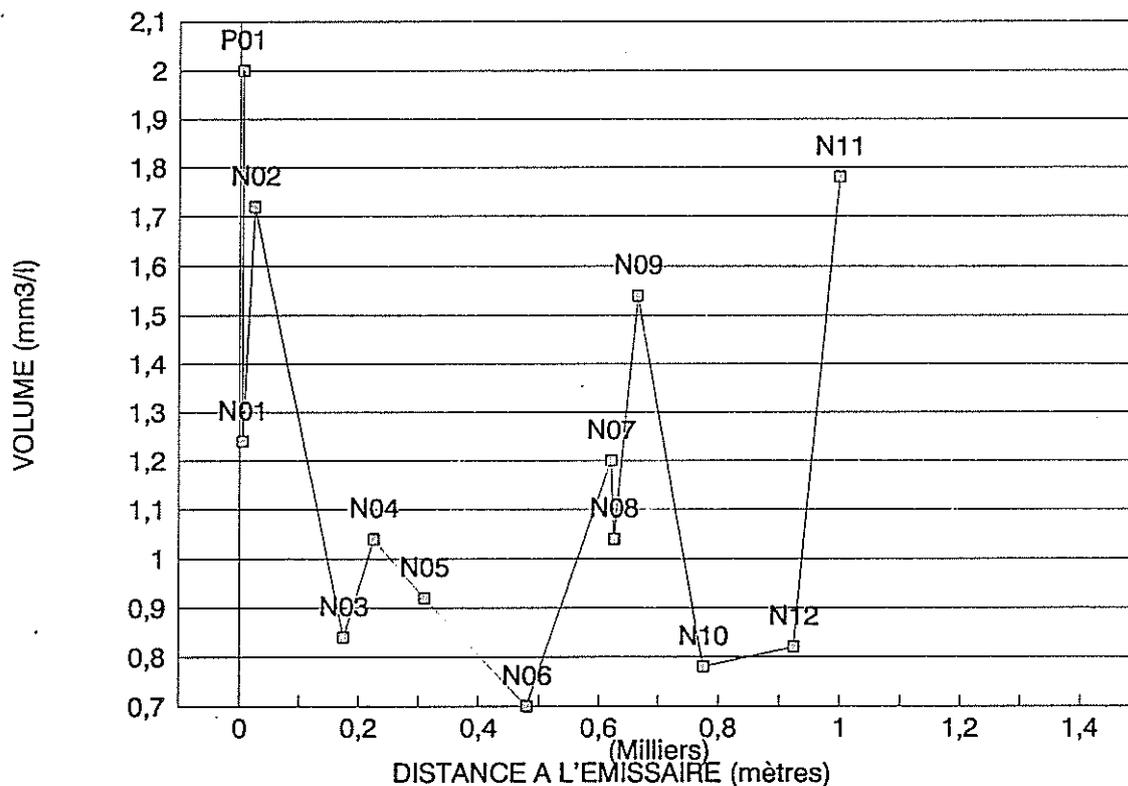


Figure 3.5: Campagne du 19/06/87. Volume des particules.

3.2.2 Campagne à la mer du 08 septembre 1987

Afin de comparer le comportement de la phase particulaire de l'effluent traité avec celui de l'effluent non traité cette campagne se déroule en deux parties. La première, le 08/09/1987, a concerné l'effluent traité, habituellement rejeté par la station d'épuration. Au cours de la seconde, le 10/09/1987, l'effluent n'était pas traité. Dans les deux cas le nuage de dispersion a été suivi grâce à un marquage radioactif de la fraction particulaire à l'Or 198.

On observe ce 08 septembre une mer agitée, un courant portant à l'Est-Sud-Est de 7 à 10 cm/s en surface, une stratification importante (de $\Delta T 7^\circ C$) entre 20 et 40 mètres de profondeur bloquant l'essentiel de l'effluent vers 20 mètres. Ceci a nécessité un échantillonnage à différentes profondeurs pour mieux cerner la dispersion du rejet. Le débit de la station est de 700 m³/h.

Les enseignements de cette campagne sont relativement limités en raison de diverses difficultés techniques qui se sont posées: retards dans l'acheminement des échantillons (délais d'analyse >1h pour 3 prélèvements) et surtout problèmes d'alimentation électrique (étalonnage malaisé du compteur de particules).

* **Ammonium** (figure 3.2.5):

On observe une rapide décroissance des concentrations du NH₄: 2300 $\mu\text{mol/l}$ au débouché de l'émissaire, 48 $\mu\text{mol/l}$ à 10 mètres de la surface dans le panache, puis des teneurs d'environ 13 $\mu\text{mol/l}$ qui ne s'abaissent que très progressivement dans le nuage (11,5 $\mu\text{mol/l}$ à 160 mètres du panache). De part et d'autre de celui-ci les teneurs sont de l'ordre de 2 $\mu\text{mol/l}$.

*** Turbidité:**

Elle se maintient au-dessus de 0,50 NTU dans l'ensemble du nuage ; en-dessous de cette valeur à l'extérieur. Valeur minimale 0,31 NTU.

*** Matières en suspension:**

Les MES semblent bloquées par la thermocline et présentent des valeurs >13 mg/l dans le nuage. A l'extérieur de celui-ci elles tournent autour de 6-7 mg/l.

*** Matières organiques particulaires:**

Les teneurs en M.O.P. dans les M.E.S. restent supérieures à 63 % dans le nuage, elles passent sous les 50 % en dehors. Ce seuil correspond à une masse de ± 4 mg/l de M.O.P.. Les valeurs les plus faibles sont de l'ordre de 2,5 mg/l.

*** Nombre, taille et volume des particules:**

Les analyses réalisées sur le compteur de particules mettent en évidence deux pics de populations vers 2,2 et 3,3 μm .

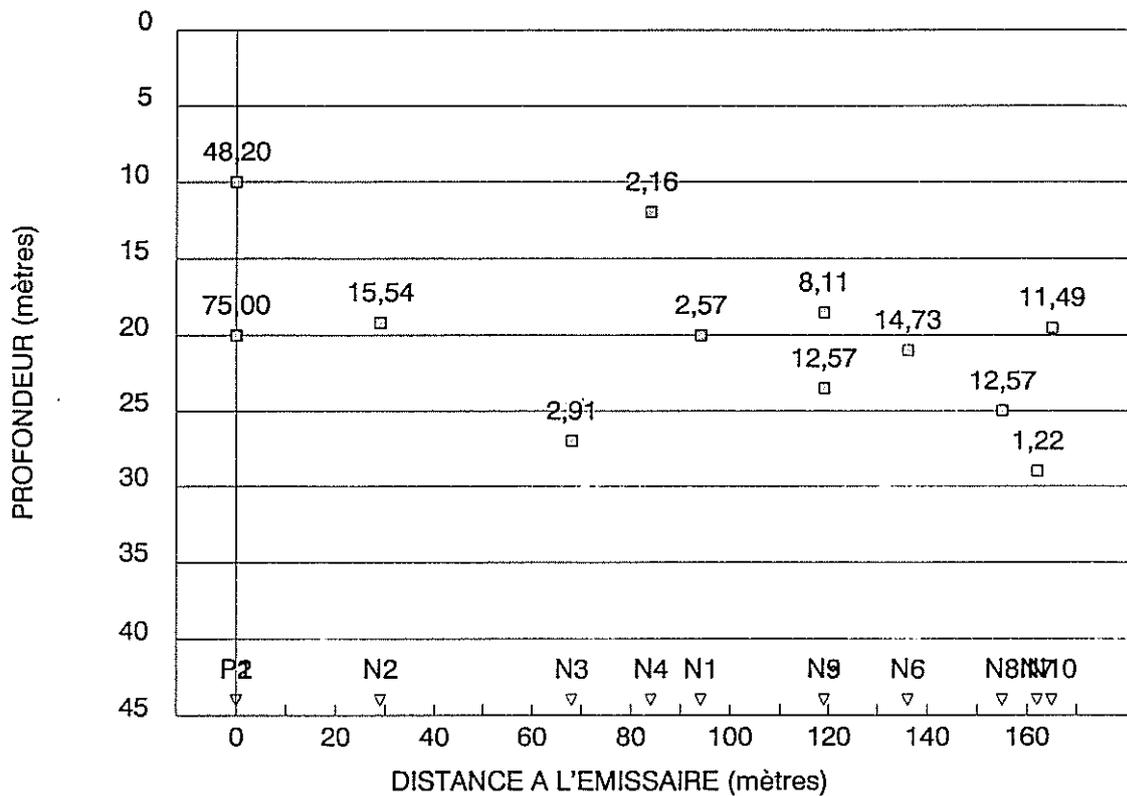


Figure 3.6: Campagne du 08/09/87. Ammonium (concentrations en $\mu\text{ml/l}$).

3.2.3 Campagne à la mer du 10 septembre 1987

Cette campagne est réalisée, rappelons-le, avec de l'effluent brut. La mer est belle, le courant porte au Nord-Est. La thermocline très affaiblie par rapport au 8 septembre se situe aux environs de 10 mètres de profondeur. Le débit de la station est de 840 m³/h.

* Ammonium (figure 3.7):

La décroissance de l'ammonium est ici encore très rapide: de 35 $\mu\text{mol/l}$ à 10 mètres de profondeur dans le panache de remontée de l'effluent, on passe à des valeurs voisines de 6-7 $\mu\text{mol/l}$ dans le nuage de dispersion. Au-delà de 500 mètres ces valeurs tombent autour d'une $\mu\text{mol/l}$. En revanche, à 120 mètres de distance du rejet, en sub-surface, on relève 2,8 $\mu\text{mol/l}$.

* Turbidité (figure 3.8):

On observe une lente décroissance de la turbidité qui passe de 0,50 à 0,35 NTU en s'éloignant du panache.

* Matières en suspensions (figure 3.9):

Toute chose égale par ailleurs, la masse de M.E.S. décroît plus lentement que la concentration en ammonium (environ d'un facteur 2). Dans le nuage les valeurs tournent autour de 6-7 mg/l. Cependant une lentille plus chargée (10-13 mg/l) est observée vers 580 mètres. En dehors du nuage les valeurs sont inférieures à 6 mg/l.

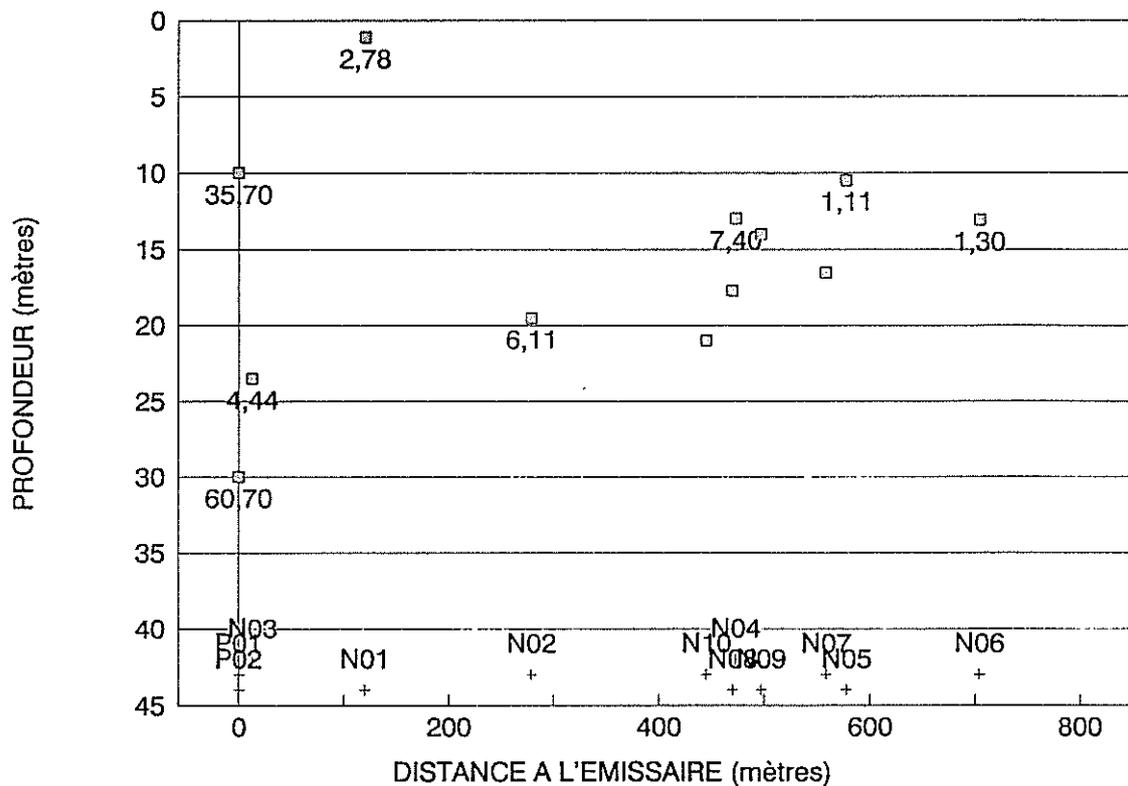


Figure 3.7: Campagne du 10/09/87. Ammonium (Concentrations en $\mu\text{mol/l}$).

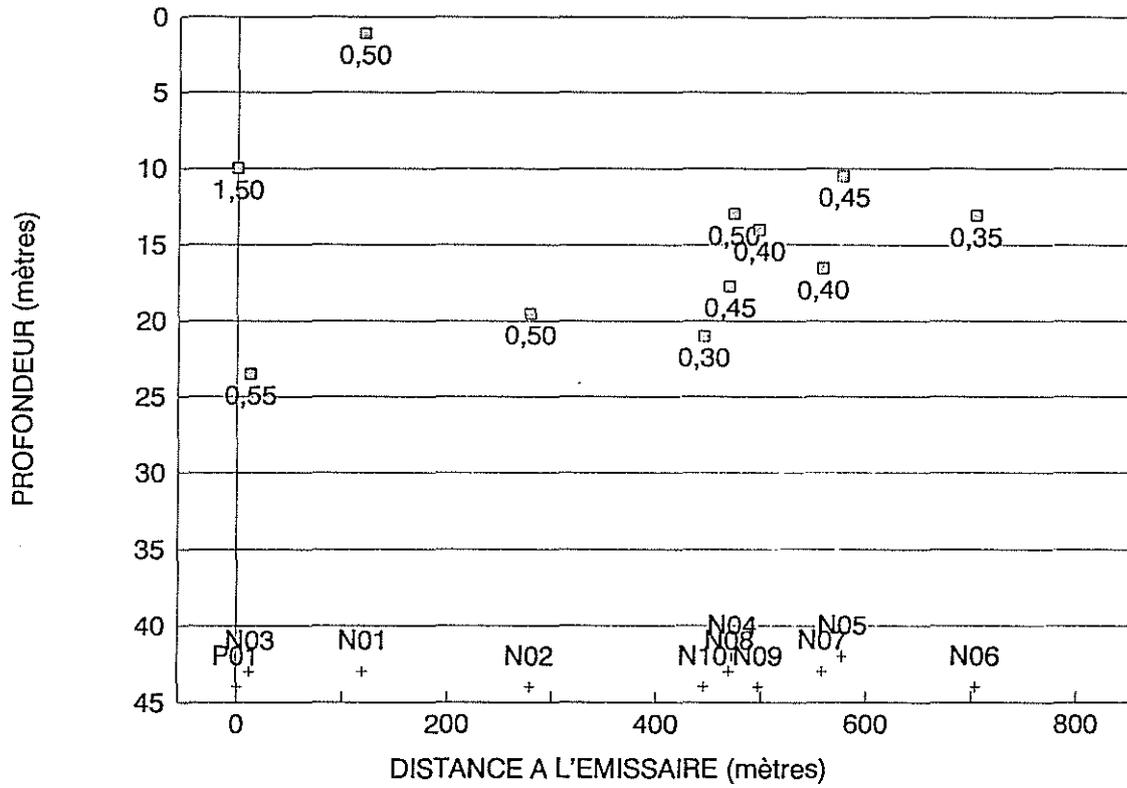


Figure 3.8: Campagne du 10/09/87. Turbidité (NTU).

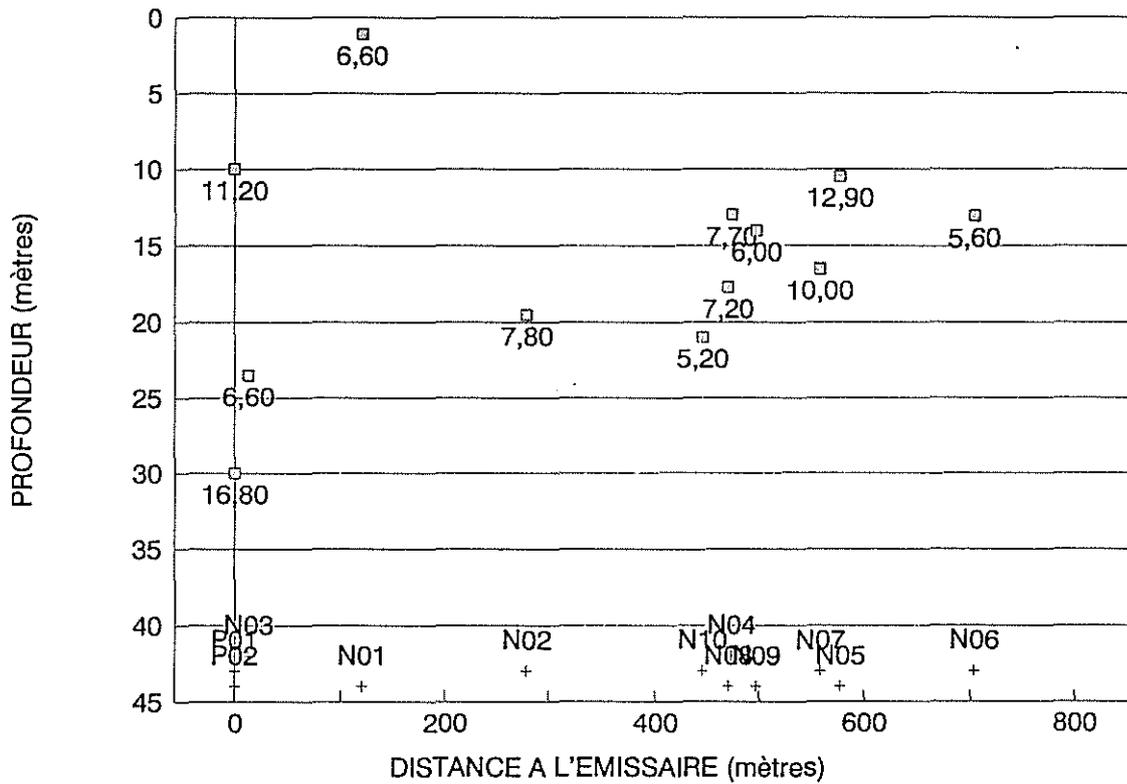


Figure 3.9: Campagne du 10/09/87. M.E.S.(mg/l).

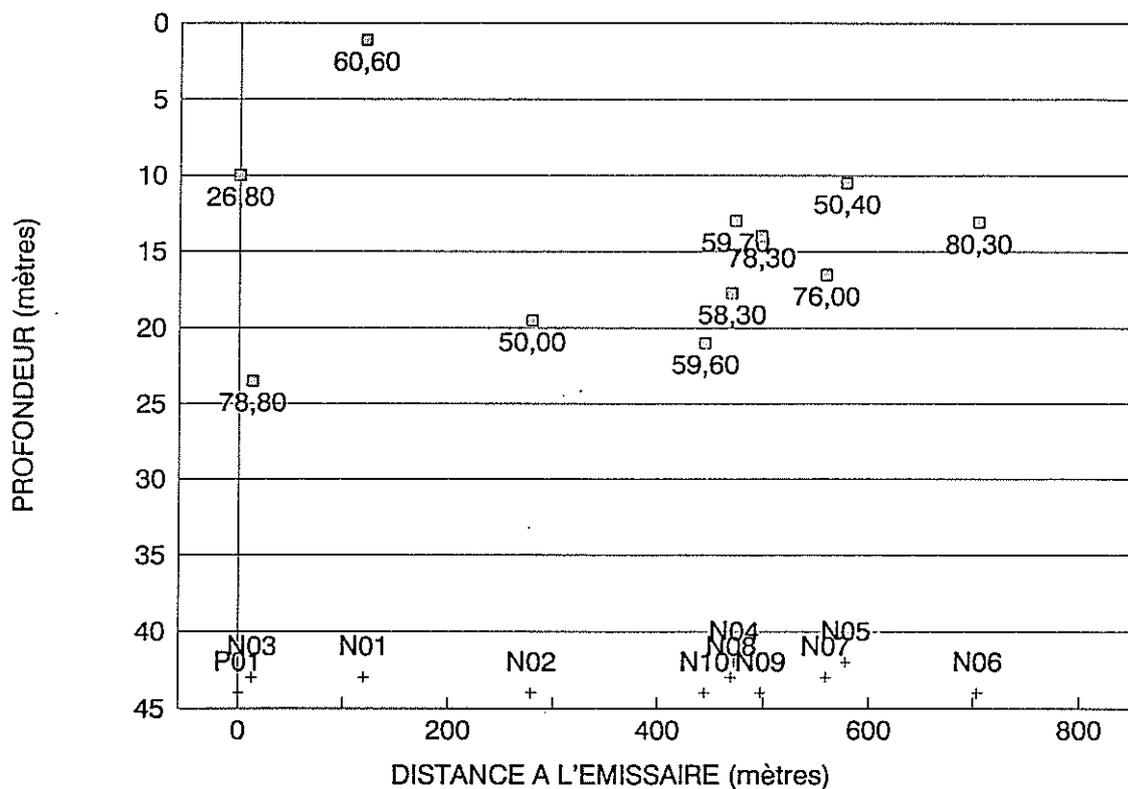


Figure 3.10: Campagne du 10/09/87. M.O.P.(%).

*** Matières organiques particulières (figure 3.10):**

Si le schéma de dilution des M.O.P. est identique à celui des M.E.S. en masse, en particulier en ce qui concerne la présence d'une lentille plus chargée vers 580 mètres, en revanche, sa proportion dans les M.E.S. devient de plus en plus grande avec l'éloignement du rejet: 50 % à 300 mètres, 76 % à 560 mètres, 80 % à 700 mètres.

*** Nombre et taille des particules:**

On retrouve avec les particules le même schéma de distribution que les M.E.S.: diminution de 39 à 16 millions de part./l dans le nuage puis une lentille plus chargée vers 580 mètres: 26 millions de particules par litre contre 11 à 18 pour les stations environnantes.

Les particules se répartissent en 2 classes de taille: autour de $2,85 \mu\text{m}$ (de $2,60$ à $3,20 \mu\text{m}$), et autour de $3,78 \mu\text{m}$ ($3,62$ à $3,99 \mu\text{m}$). La première population tend à diminuer en taille et en proportion en s'éloignant de l'émissaire, le pic s'effaçant complètement au-delà de 560 mètres, la seconde, plus stable, reflète l'évolution de la population totale.

*** Volume des particules:**

Il ne présente qu'un léger accroissement vers 560-580 mètres. Les valeurs restent supérieures ou proches de $1 \text{mm}^3/\text{l}$ dans le nuage. Elles descendent sous $0,7 \text{mm}^3/\text{l}$ en dehors.

3.2.4 Campagne à la mer du 27 avril 1988

Afin de suivre le nuage par mesure directe de turbidimétrie l'effluent traité a été dopé de boues provenant des décanteurs lamellaires. Malheureusement le nuage n'étant pas visible à l'oeil nu, seuls les 6 premiers prélèvements ont pu être retenus.

On observe une mer belle, un faible courant portant à l'Est et une stratification quasi-nulle. Le vent de Nord-Est est faible. Le débit de la station est de 1 000 m³/h.

* Ammonium (figure 3.11):

De 2600 $\mu\text{mol/l}$ à l'émissaire en passant par 13 $\mu\text{mol/l}$ à la sortie du panache puis par une augmentation (21 $\mu\text{mol/l}$ à 32 mètres), l'ammonium devient rapidement difficile à mesurer (valeurs inférieures au seuil de précision dès 314 mètres).

On notera une concentration de 4 $\mu\text{mol/l}$ à 705 mètres qui correspond vraisemblablement à un prélèvement réalisé dans une bouffée d'effluent plus concentrée (observation qui vaut d'ailleurs pour les autres paramètres de cette station).

* Turbidité (figure 3.12):

Elle reste élevée jusqu'à 91 mètres du rejet, puis décroît brutalement jusqu'à 200 mètres de 2 à 0,85 NTU, marque un seuil vers 314 mètres et ne décroît que lentement par la suite (0,25 NTU à 1 505 mètres).

* Matières en suspensions (figure 3.13):

En raison de l'adjonction de boues plus denses issues des bassins de décantation de la station d'épuration, et malgré une augmentation de sa masse au cours des 100 premiers mètres, la diminution des M.E.S. est particulièrement rapide: 260 mg/l au débouché de l'émissaire, <1 mg/l après 200 mètres, 0,1 mg/l à 924 mètres. On note cependant une forte augmentation (1,5 mg/l) vers 700 mètres, proportionnellement plus importante que celle observée avec l'ammonium.

* Nombre et taille des particules (figure 3.14):

Le nombre des particules commence par augmenter de 35 à 43 millions par litre jusqu'à 91 mètres, par la suite, il décroît jusqu'à 1 500 mètres (6,4 millions).

La répartition des particules par classes de taille, unimodale jusqu'à 705 mètres (maximum voisin de 2 μm), fait apparaître au-delà un second mode proche de 4 μm .

* Volume des particules (figure 3.15):

Son évolution, proche de celle des particules, est marquée par une forte poussée des volumes jusqu'à 91 mètres, puis par une décroissance de 3,8 à 0,7 mm³/l au-delà.

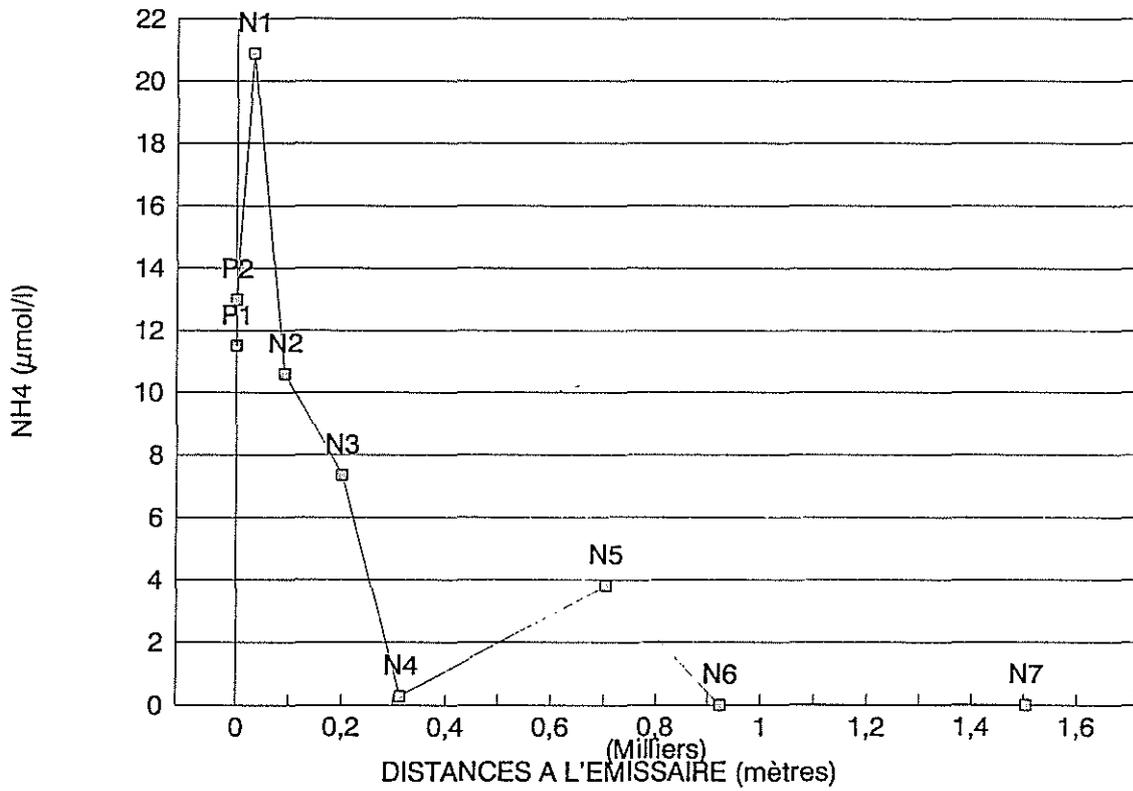


Figure 3.11: Campagne du 27/04/88. Ammonium.

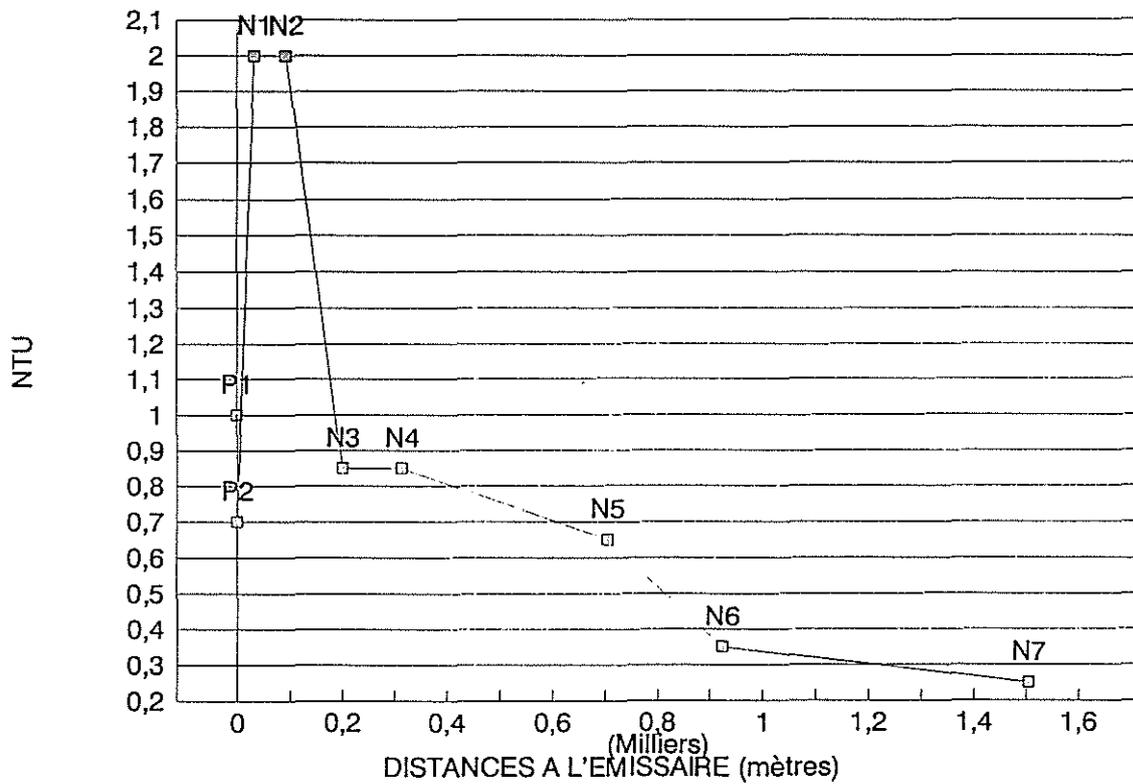


Figure 3.12: Campagne du 27/04/88. Turbidité.

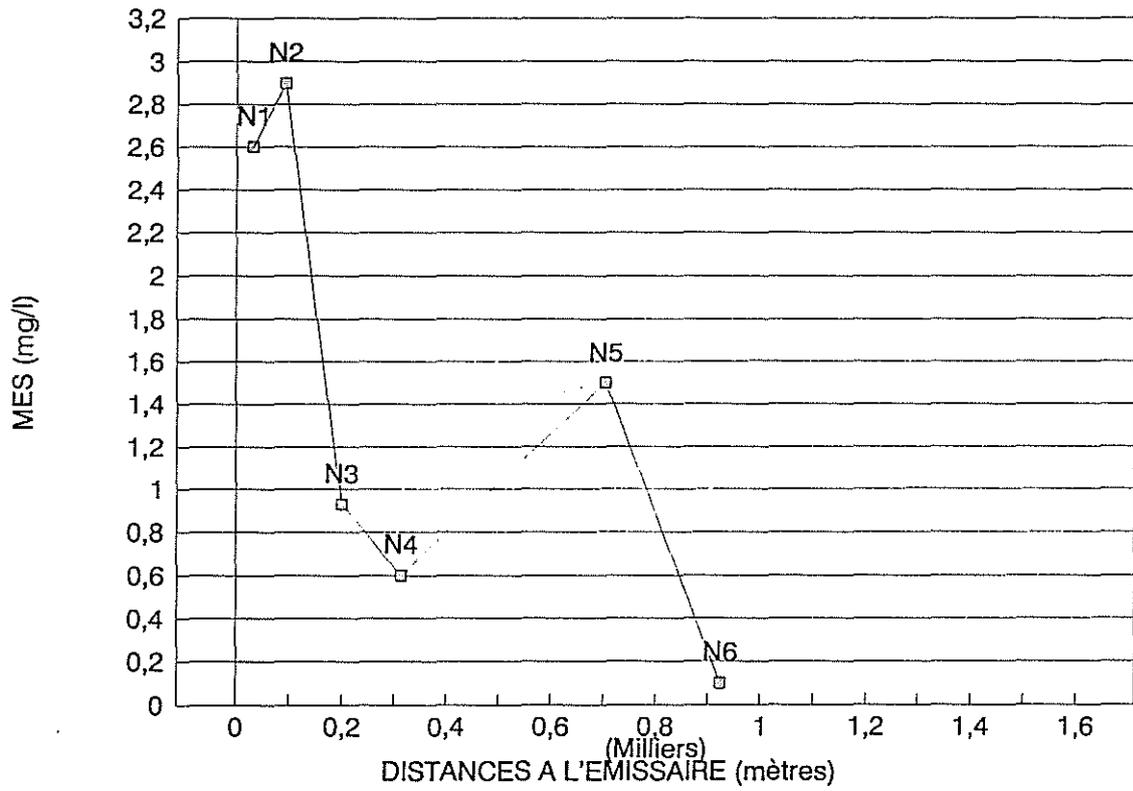


Figure 3.13: Campagne du 27/04/88. M.E.S.

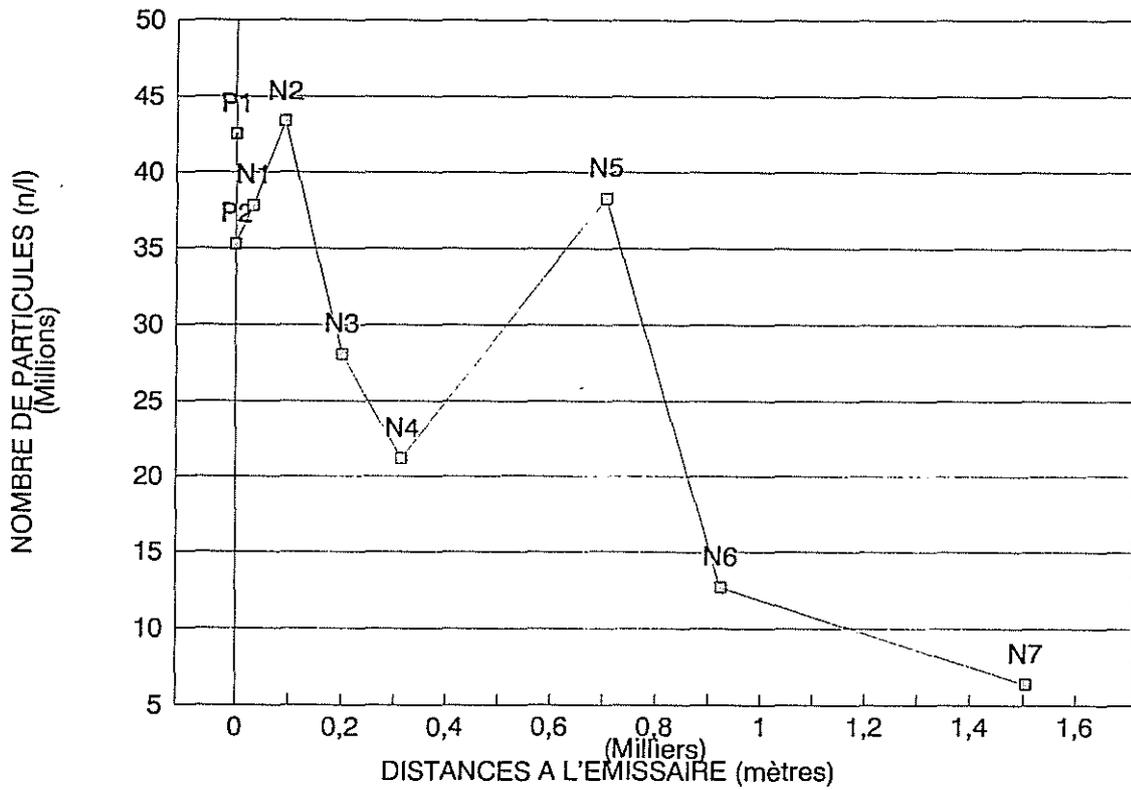


Figure 3.14: Campagne du 27/04/88. Population.

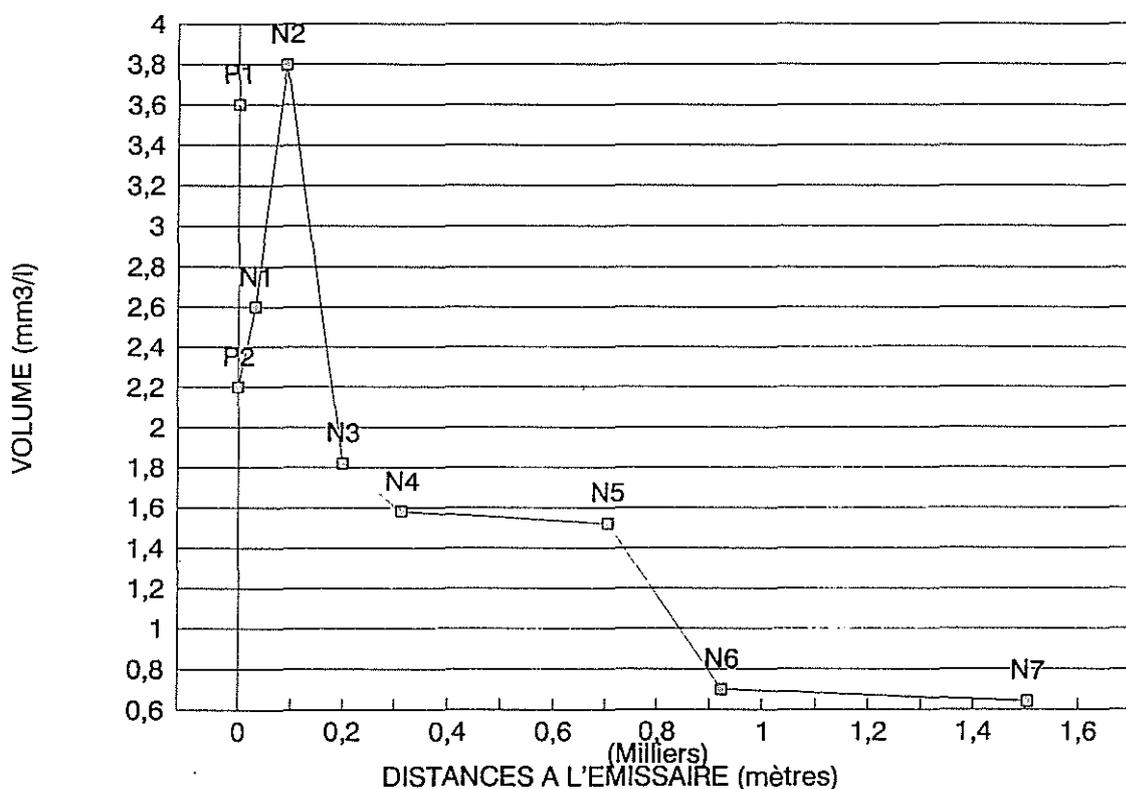


Figure 3.15: Campagne du 27/04/88. Volume des particules.

3.2.5 Campagne à la mer du 29 avril 1988

L'effluent traité est marqué à la rhodamine afin de suivre à l'oeil nu et par mesure de fluorescence le nuage.

On observe une mer agitée, un faible courant portant à l'Est, une densité pratiquement homogène sur la profondeur et un étalement du panache en anneaux. Le vent est faible de Sud-Ouest.

Le débit de la station est légèrement supérieur à la moyenne (1 116 m³/h).

* Ammonium (figure 3.16):

Un pic de concentration plus importante à 271 mètres interrompt une décroissance de l'ammonium de 15 $\mu\text{mol/l}$ jusqu'à un seuil de 1 $\mu\text{mol/l}$ à partir de 527 mètres de l'émissaire.

* Matières en suspension (figure 3.17):

Après une décroissance très rapide (40 mg/l à l'émissaire, 1,2 mg/l en sub-surface dans le panache), la masse de M.E.S. atteint vers 375 mètres des valeurs inférieures à 0,2 mg/l. On note une forte augmentation des concentrations entre 800 et 1 000 mètres (2,6 mg/l à 835 mètres).

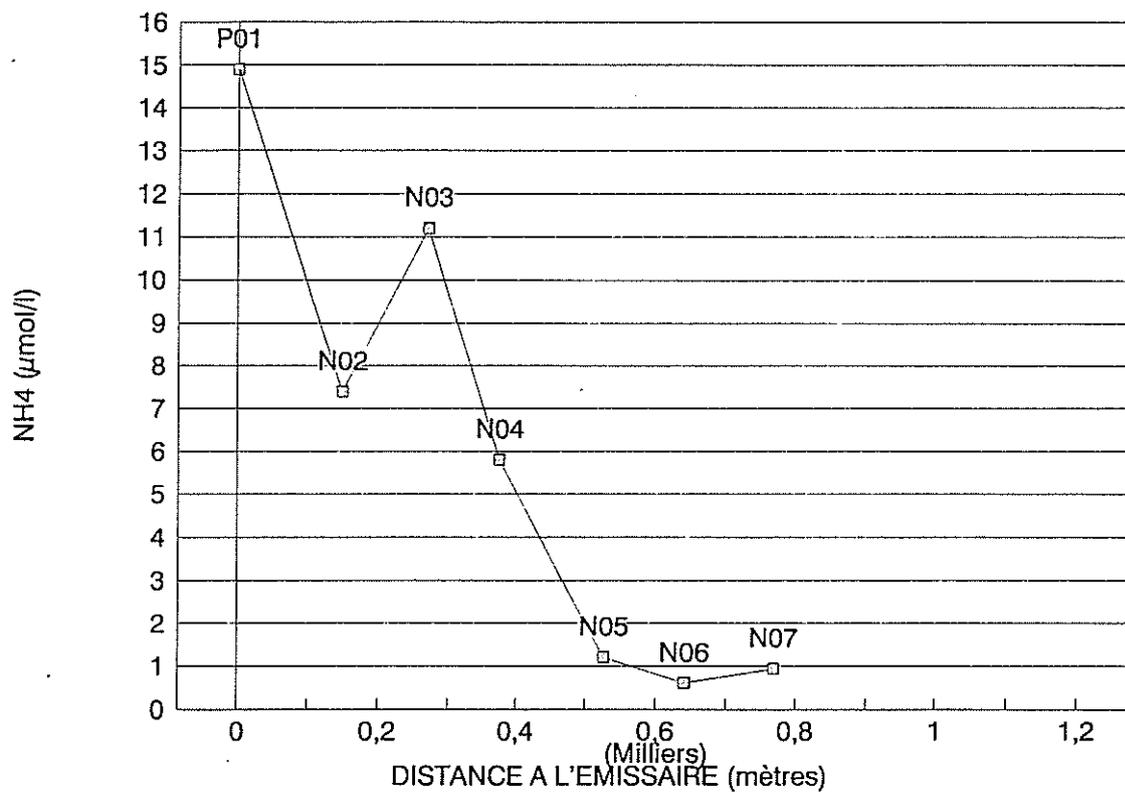


Figure 3.16: Campagne du 29/04/88. Ammonium.

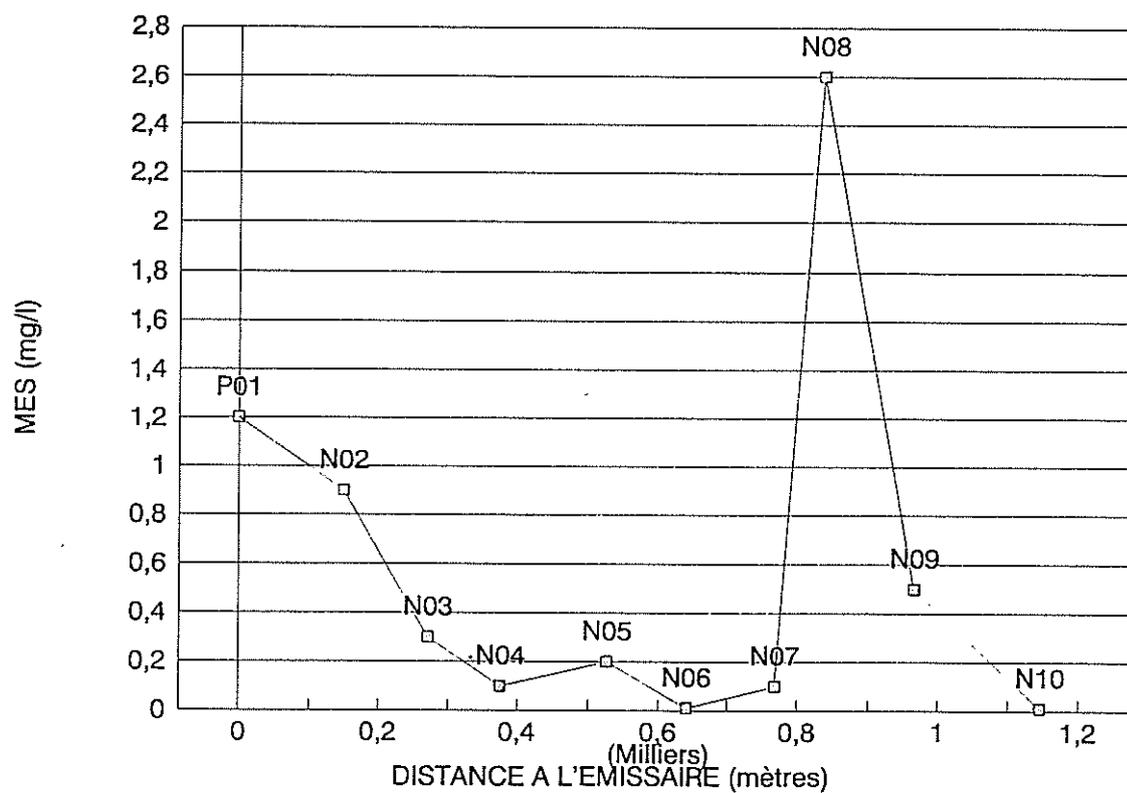


Figure 3.17: Campagne du 29/04/88. M.E.S.

*** Nombre et taille des particules (figure 3.18):**

Depuis le panache le nombre de particules décroît régulièrement de 23 à 6 millions par litres à partir de 641 mètres. Bien que légère, on retrouve entre 700 et 900 mètres l'augmentation relevée pour les M.E.S.: 7,7 millions à 768 mètres.

Les particules se répartissent sur deux pics: le premier autour de $2\ \mu\text{m}$, le second, parfois à peine marqué, autour de $3,8\ \mu\text{m}$.

*** Volume des particules (figure 3.19):**

La diminution du volume des suspensions, depuis le panache ($1,3\ \text{mm}^3/\text{l}$) jusqu'à 835 mètres ($0,24\ \text{mm}^3/\text{l}$), est marquée par un pic à 768 mètres, au-delà les valeurs augmentent à nouveau. Ces variations ont beaucoup d'analogies avec celles observées lors de la campagne de juin 1987.

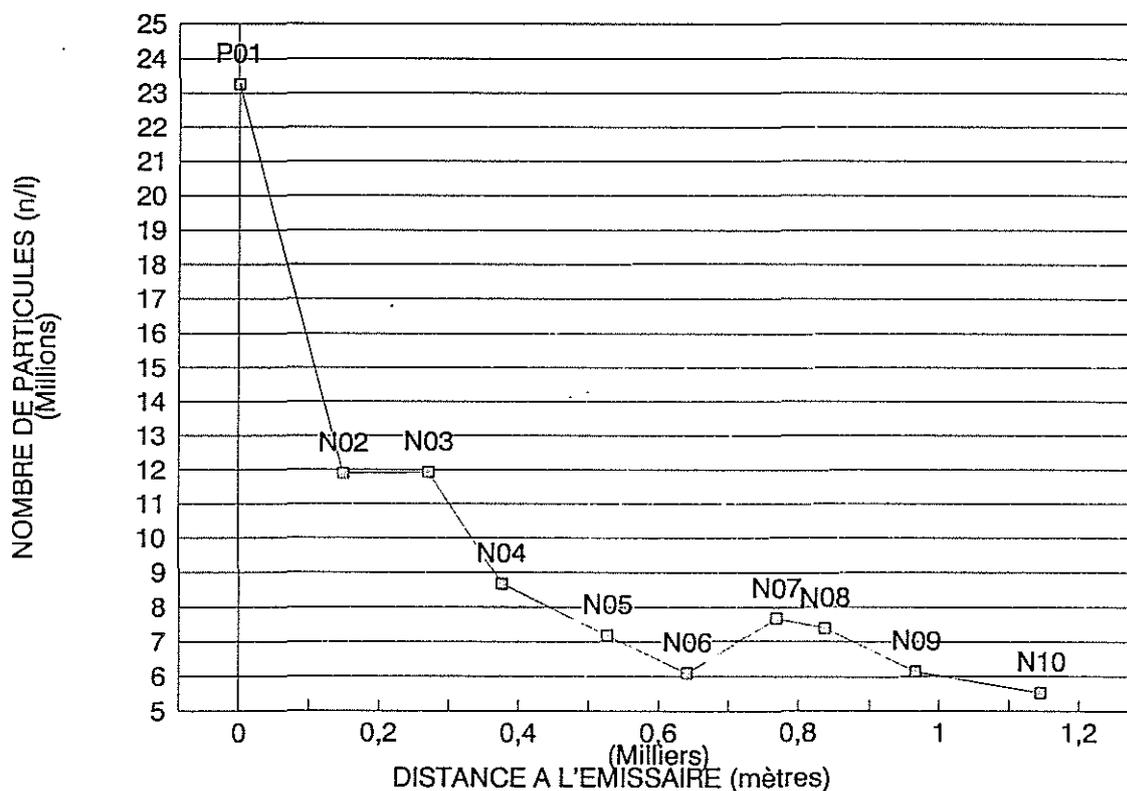


Figure 3.18: Campagne du 29/04/88. Population.

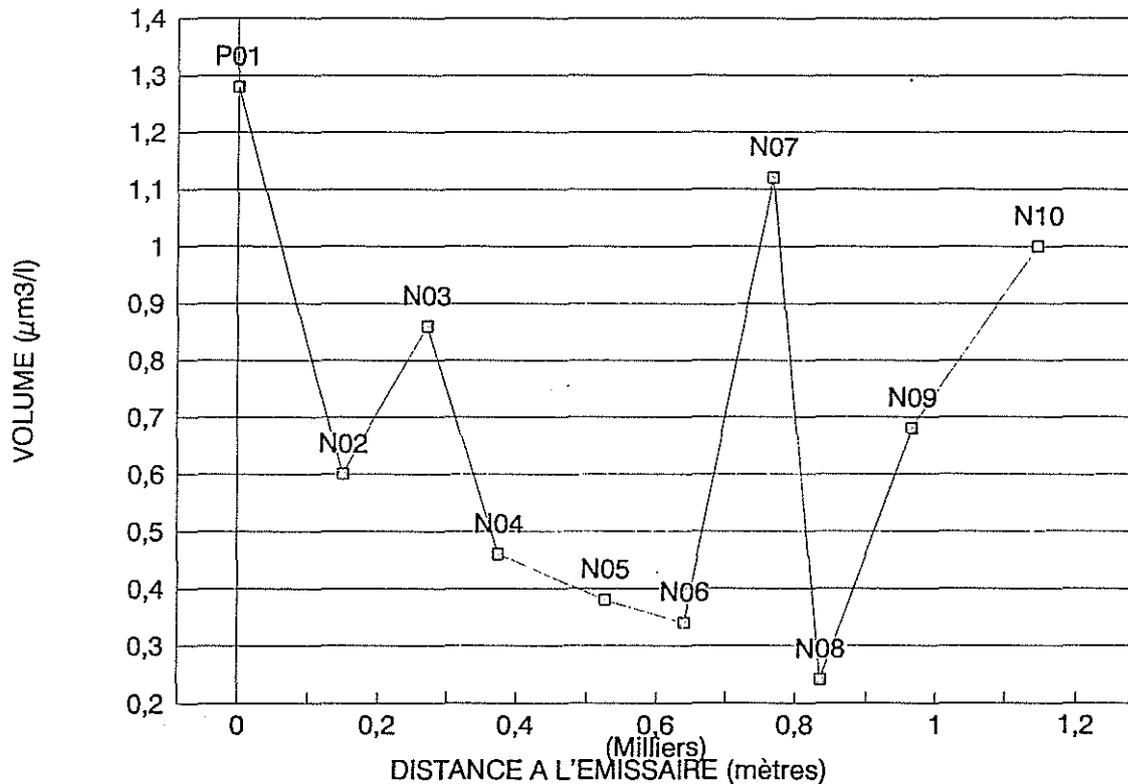


Figure 3.19: Campagne du 29/04/88. Volume des particules.

3.3 Synthèse et discussion

3.3.1 Récapitulatif des résultats par paramètre mesuré

* Ammonium:

- 1) 9–10 $\mu\text{mol/l}$ à partir de 175 mètres, référence: 4–5 $\mu\text{mol/l}$.
- 2) >10 $\mu\text{mol/l}$ dans le nuage, référence: 2 $\mu\text{mol/l}$.
- 3) 6–7 $\mu\text{mol/l}$ dans le nuage, référence: 1 $\mu\text{mol/l}$.
- 4) < seuil de précision à partir de 314 mètres.
- 5) Référence: 1 $\mu\text{mol/l}$.

* Turbidité:

- 1)
- 2) >0,5 NTU dans le nuage, <0,5 NTU en dehors (min à 0,31).
- 3) Lente décroissance de 0,5 à 0,35 NTU.
- 4) Lente décroissance de 0,85 à 0,25 NTU (200 à 1505 mètres).
- 5)

* Matières en suspensions:

- 1) 2 mg/l à partir de 25 mètres. x2,5 entre 480 et 775 mètres et à partir de 1150 mètres.
- 2) >13 mg/l dans le nuage, référence: 6–7 mg/l.
- 3) 6–7 mg/l dans le nuage, mais 10–13 mg/l vers 600 mètres, référence: <6 mg/l.
- 4) Augmentation jusqu'à 91 mètres puis <1 mg/l après 200 mètres. Référence: 0,1 mg/l.
- 5) <0,2 mg/l à partir de 375 mètres. x10 à 835 mètres.

* Matière organique particulaire:

- 1)
- 2) >63 % dans le nuage, ≤ 50 % en dehors, ce qui équivaut à ± 4 mg/l. Référence: 2,5 mg/l.
- 3) Proportion grandissant avec la distance (50 à 80 %).
- 4)
- 5)

*** Nombre et taille des particules:**

- 1) 20 millions à partir de 175 mètres. 3 modes à 2,5, 3,1 et 3,7 μm .
- 2) Inexploitable en absolu mais 2 modes: 2,2 et 3,3 μm .
- 3) Décroissance de 39 à 16 millions dans le nuage, reprise (26 millions) vers 580 mètres. Référence: 12 millions.
Modes à 2,8 μm (disparaissant dès 580 mètres) et à 3,8 μm .
- 4) Augmentation jusqu'à 91 mètres, décroissance de 43 à 6,4 millions au-delà. Unimodal (2 μm) jusqu'à 700 mètres. 2 modes au-delà (2 et 4 μm).
- 5) 6 millions à partir de 641 mètres. Légère augmentation autour de 800 mètres. Modes vers 2 et 3,8 μm .

*** Volume des particules:**

- 1) Décroissance de 1,7 à 0,8 mm^3/l avec pics à 665 et à 1 000 mètres.
- 2) Inexploitable.
- 3) 1 mm^3/l dans le nuage, <0,7 en dehors.
- 4) Augmentation jusqu'à 91 mètres puis décroissance de 3,8 à 0,7 mm^3/l entre 91 et 924 mètres.
- 5) Décroissance de 1,3 à 0,24 mm^3/l à 835 mètres. Pic à 768 et au-delà de 900 mètres.

3.3.2 Synthèse sur les modes de dispersion de l'effluent en mer observés lors des campagnes de mesures

Les turbulences du panache engendrent une forte hétérogénéité des concentrations (figure 3.20 in BRISSET & CAILLOT, 1987). Dès qu'elles se sont estompées, et en tenant compte des phénomènes de bouffées ou de bulles décrites par ailleurs (THOUVENIN, 1991), l'effluent présente en général les caractères suivants:

* **L'ammonium** passe en quelques centaines de mètres de valeurs voisines de 10 $\mu\text{mol/l}$ à des teneurs inférieures à 2 $\mu\text{mol/l}$.

* **La turbidité** évolue peu, de 0,75 à 0,3 NTU en moyenne.

* **Les matières en suspensions** expriment une cinétique particulière que l'on retrouvera dans les différents paramètres caractérisant le particulaire: une augmentation de la masse parfois considérable après quelques dizaines ou quelques centaines de mètres de transit en mer; en général entre 500 et 800 mètres, ce qui correspond à des temps de séjour en mer de une à près de trois heures. On a même noté une nouvelle poussée relative de M.E.S. après 1 000 mètres (campagne du 19/06/87). Celle-ci pourrait cependant ne traduire qu'une remise en suspension des fonds à proximité de la côte.

Hormis cette distorsion qui sera étudiée plus avant, la masse des M.E.S. varie également selon un cycle saisonnier: les campagnes estivales (juin et septembre 1987) présentent des masses de M.E.S. représentatives d'une surpopulation d'origine touristique ($\approx 100 \text{ mg/l}$ à l'émissaire, $\approx 10 \text{ mg/l}$ à la sortie du panache) ou d'une période de bloom planctonique (2 à 6 mg/l en dehors du nuage de dispersion de l'effluent). Les campagnes hivernales présentent, a contrario, des valeurs nettement inférieures tant au débouché du rejet (40 mg/l à l'émissaire, 1 mg/l à la sortie du panache) qu'à l'extérieur du nuage (<0,2 mg/l).

* **Les matières organiques particulières**, dont les valeurs ne sont connues qu'en période de régime stratifié présentent, pour la campagne de mesures sur l'effluent brut, un gradient selon la distance (50 à 80 %). Leur masse en dehors du nuage est de 2,5 mg/l soit 50 % des M.E.S.

* **Le nombre de particules par litre** décroît en général de moitié en moins de 200 mètres. Cette proportion est largement dépassée lors des campagnes marquées avec de l'effluent brut ou des boues.

Par la suite l'influence saisonnière se fait sentir: les minima estivaux atteignant le double des minima hivernaux (environ 12 millions contre 6). Comme pour les M.E.S. des pics apparaissent entre 500 et 800 mètres selon les campagnes. On notera celui qui affecte les boues à 90 mètres de l'émissaire.

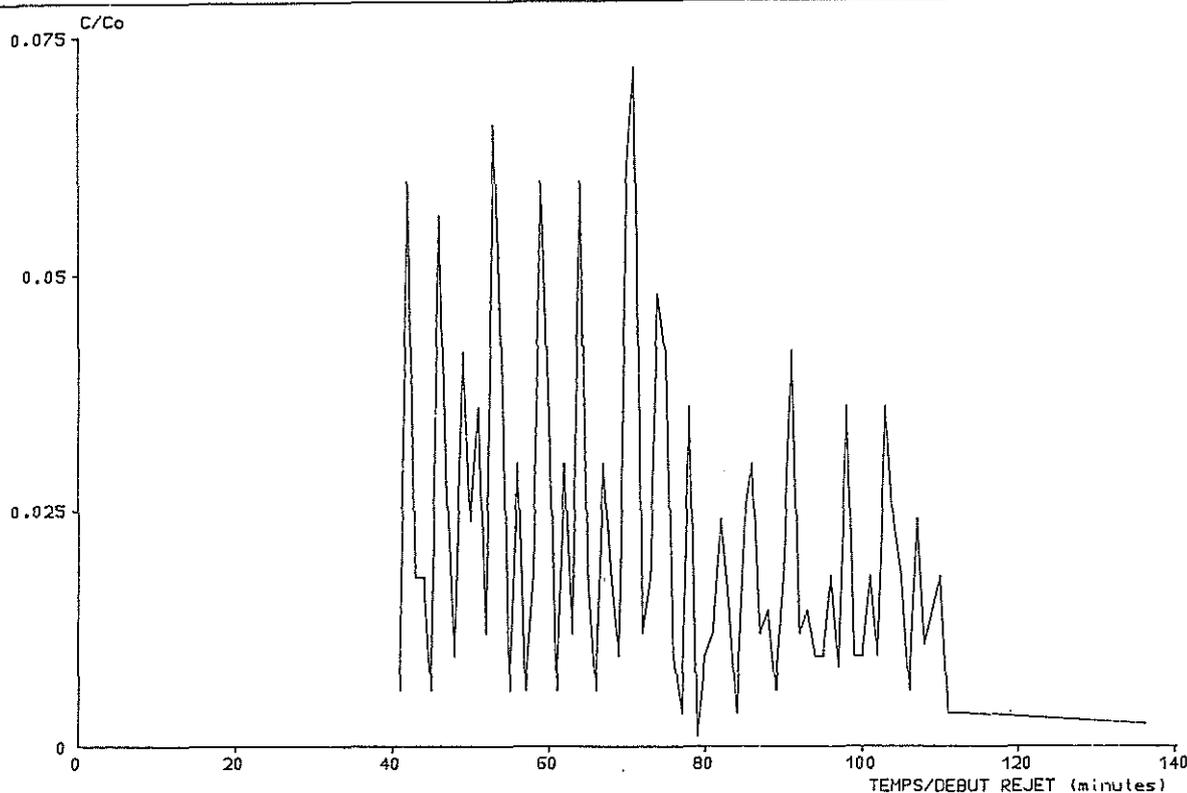


FIGURE 17 : DTS DANS LE PANACHE . SONDE A -30m
BOUES MARQUEES A L'OR 198 . REJET CONTINU DU 10 SEPTEMBRE 1987

Figure 3.20 : Exemple de détection de radioactivité dans le panache et mettant en relief son hétérogénéité.

* **Les diamètres moyens des particules** se classent en deux catégories, la première autour de $2 \mu\text{m}$ semble relativement plus instable que la seconde située entre 3 et $4 \mu\text{m}$.

* **Si le volume total initial** des particules diffère selon le type d'effluent rejeté, on atteint après quelques centaines de mètres des valeurs inférieures à $1 \text{ mm}^3/\text{l}$ quelque soit la saison à laquelle la campagne de prélèvements a été effectuée. En outre, on retrouve les pics déjà signalés par ailleurs (M.E.S., M.O.P.).

3.3.3 Discussion

Préalablement à toute interprétation, rappelons les principaux phénomènes physiques et chimiques auxquels sont soumis un tel effluent (THOUVENIN, 1991) : A la sortie de l'émissaire, on assiste à une remontée rapide du rejet jusqu'en surface en situation homogène, jusqu'à la thermocline en situation stratifiée. Dans tous les cas les mouvements turbulents engendrent des bouffées turbides dans le panache. Corollairement l'arrivée en mer entraîne une remontée du pH comparable à celle produite par l'adjonction de chaux lors du traitement épuratoire; il en résulte une précipitation d'hydroxyde ferrique dès que le pH dépasse 4,52 (DUURSMAN & SEVENHUYSEN, 1966).

La dispersion du nuage est dominée par les conditions hydrodynamiques locales. Elle est caractérisée par la formation de lentilles de concentrations plus ou moins fortes, pouvant varier d'un facteur 4. Parallèlement les particules sont soumises à une sédimentation différentielle dépendant d'un ensemble de divers facteurs comme le diamètre, la densité, les teneurs en matières minérales et/ou organiques, l'aspect élémentaire ou floculant (KRANCK, 1984), la turbulence. La vitesse de chute des particules peut ainsi varier de 10 à $0,01 \text{ mm/s}$ (LAVELLE, 1988). Une vitesse de $0,3 \text{ mm/s}$ a donné des résultats satisfaisants pour le modèle de dispersion du rejet (THOUVENIN, 1991).

Les observations relevées dans cette synthèse rendent compte de ces phénomènes:

- **la remontée des particules de l'effluent dans le panache est marquée par une forte hétérogénéité** dans leur composition qui se manifestent dans des prélèvements peu reproductibles au niveau des masses de M.E.S. comme du nombre de particules, ou de leur volume et que les variations de l'ammonium pris comme référence de la dilution de l'effluent ne prend pas en compte. Ces paramètres peuvent varier considérablement **jusque dans la première centaine de mètres du nuage** en fonction de la coagulation suscitée par le relèvement du pH au contact de l'eau de mer.
- **la dispersion du panache ne se fait ni régulièrement ni de façon identique** entre la phase dissoute et la phase particulaire. Si la première présente une certaine continuité (bulles plus ou moins concentrées mis à part), la seconde évolue différemment avec le temps de séjour en mer:
- la part grandissante avec la distance des matières organiques dans les matières en suspension, particulièrement visible entre 400 et 700 mètres au cours de la campagne du 10/09/87 sur l'effluent brut, manifeste **une sédimentation différentielle des M.E.S.** La fraction minérale des suspensions (densité 2,6) a en effet tendance à chuter plus rapidement que la fraction organique (densité 1,3).
- **l'augmentation en masse des M.E.S.**, fréquemment observée entre 500 et 800 mètres du rejet et accompagnée d'un accroissement de petites particules (4 μm lors de la campagne du 27/04/88 sur les boues), relativement denses, peut s'expliquer par un phénomène de coagulation lors de la précipitation de l'hydroxyde ferrique au cours du mélange de l'effluent dans l'eau de mer (augmentation du pH). Ceci est parfois favorisé par la présence d'une lentille d'effluent plus concentrée.

A partir de là, **une interprétation globale de l'évolution en mer des matières en suspensions issues de la station d'épuration** est possible, en tenant compte toutefois du fait que certains processus peuvent par leur importance en masquer d'autres et que les campagnes, forcément ponctuelles, ne sont que des "instantanés" où ne se retrouvent pas forcément à chaque fois l'ensemble des phénomènes observés.

A la sortie de l'émissaire, l'expulsion de l'effluent en mer produit un panache de forte turbidité qui remonte rapidement jusqu'à la surface en situation hydrologiquement homogène mais peut se trouver bloquée au niveau de la thermocline en situation stratifiée (essentiellement en été). Les turbulences ainsi créées occasionnent une forte hétérogénéité du panache dont les influences peuvent se faire sentir sur une centaine de mètres dans le nuage de dispersion. Ces bouillonnements, joints à une remontée rapide du pH (l'effluent se dilue d'un facteur 100 lors de sa remontée dans le panache) suscitent l'apparition de petites particules relativement denses par fixation des colloïdes autour de l'hydroxyde de fer (coagulation), la formation de floccs, voire de macro-floccs.

A cette phase de transit vertical, succède une phase de dispersion du nuage. Celle-ci est plus efficace si elle se produit en surface (action hydrodynamique de la houle, du vent et des courants), elle est néanmoins rarement régulière et s'accompagne fréquemment de lentilles plus ou moins concentrées.

A cette dilution se surimposent des processus complexes de coagulation et de floculation résiduelles d'une part, de sédimentation des particules les plus denses, marquée par un accroissement relatif de la M.O.P., d'autre part. Ces phénomènes souvent observés entre 500 et 800 mètres du rejet correspondent à environ 2 à 3 heures de séjour en mer, il pourraient être à l'origine des zones de sédimentation maximale observées à des distances identiques autour du rejet (LOARER *et al.*, 1991).

Les différentes campagnes à la mer ont montré qu'il ne semblait pas possible de détecter le nuage de turbidité au-delà de 1 500 à 2 000 mètres du rejet.

IV - CONCLUSION

La station d'épuration des eaux usées de l'Est de l'agglomération toulonnaise déverse quotidiennement en mer 1 200 kg de matières solides après en avoir éliminé 83% lors du traitement physico-chimique. Le cycle journalier fait apparaître un minimum de charge vers 6h00 et un maximum vers 13h00. Si la présence de matières organiques et l'adjonction de réactifs favorisant la floculation au cours du traitement épuratoire rendent difficile l'appréhension correcte de l'ensemble des processus et leur importance respective, il apparaît néanmoins clairement que le rendement épuratoire est d'autant meilleur que la charge de l'effluent est forte à l'entrée (de 30 à 88 % d'abattement des M.E.S. entre le matin et le midi) et ceci d'autant plus que les particules et/ou floes sont importants en nombre et en taille. La fraction supérieure à 12 μm , qui constitue l'essentiel des apports de la mi-journée, est ainsi bien mieux éliminée que les fractions de taille inférieure.

En mer on observe une continuité dans ces processus qui sont activés par le brassage dans le milieu marin (hydrodynamisme) et la variation du pH. Ceci se manifeste par une forte hétérogénéité de l'effluent jusqu'à une centaine de mètres du point de rejet puis par des phénomènes complexes, d'origines à la fois chimique et physique, modifiant les particules issues du rejet tant en quantité qu'en qualité (coagulation, floculation, sédimentation).

La zone comprise entre 500 et 800 mètres du rejet et/ou le temps de séjour de 2 à 3 heures en mer semblent à cet égard des seuils importants. Elle coïncide sur le fond à des zones de dépôts maximum d'un matériel fin issu de l'émissaire. Les campagnes n'ont pas permis de suivre le nuage de dispersion au-delà de 1 500 à 2 000 mètres.

Cette étude met ainsi en évidence la complexité des processus auquel est soumis la phase particulaire de l'effluent. Son instabilité physique et chimique qui en fait un paramètre non conservatif joint à sa variabilité qui est de l'ordre de celle que l'on observe en milieu "propre" (stations dites de références) la rendent peu propice à servir comme marqueur de l'effluent en mer. Le rôle principal des particules du rejet doit apparaître plutôt comme un support efficace pour les contaminants chimiques et bactériologiques, particulièrement au niveau des sédiments et des organismes filtreurs.

BIBLIOGRAPHIE

- AMINOT A. & CHAUSSEPIED M. (1983) – Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO. 395 pages.
- BRISSET P. & CAILLOT A. (1987) – Etude au moyen de traceur radioactifs des rejets urbains en Méditerranée, station de Toulon-Est – 3ième campagne expérimentale. Septembre 1987 – CEA/ORIS – Contrat Ifremer 86/3430013 – 20 pages, 54 figures.
- DUURSMA E.K. & SEVENHUYSEN W. (1966) – Note of chelation and solubility of certain metals in sea water at different pH values. Neatherland J. Sea Res. 1966,3/1/95–106. 12 pages.
- HUNT J.R. & PANDYA J.D. (1984) – Sewage sludge coagulation and settling in seawater. Environ. Sci. Technol. 1984,18/119–121. 3 pages.
- IFREMER (1985) – Etude bibliographique sur le site de l'émissaire de Sainte Marguerite . Etat des connaissances. Rapport Rejets Urbains, volet Méditerranée n° 01, n. p.
- IFREMER (1988) – Etat d'avancement des travaux au 01/05/88. Rapport Rejets Urbains, volet Méditerranée n° 25, 24 pages.
- KRANCK K. (1984) – The role of flocculation in the filtering of particulate matter in estuaries in The Estuary as a Filter. Ed. V. KENNEDY. 17 pages, 6 figures.
- KRANCK K. (1975) – Sediment deposition from flocculated suspensions. Sedimentology 1988,22/111–123. 13 pages, 10 figures.
- LAVELLE J. W., OZTURGUT E., BAKER E.T., TENNANT D.A., WALWER S.L. (1988) – Setling speeds of sewage sludge in sea water. Environ. Sci. Technol. 1988,22/1201–1207. 7 pages.
- LOARER R., ARNOUX A., BODENNEC G., MARTIN Y., PAGANO G. (1991) – Impact de l'émissaire de Toulon-Est sur les sédiments de la Grande Rade. Aspects granulométriques, chimiques, bactériens et bactériologiques. Rapport IFREMER DRO/EM – 90–02, 42 pages, annexes.
- QUEMENEUR M. & MARTY Y. (1986) – Comportement du matériel particulaire des effluents urbains en milieu marin. UBO/LOC, contrat IFREMER 85/2434009. 17 pages, annexes.
- THOUVENIN B., ROMAÑA L.A., LOARER R., JOLY R. (1988) – Cycle annuel de mesures physiques dans le milieu récepteur marin. Mouillage T0 dans la grande rade de Toulon. Rapport IFREMER DERO/EM – 88–01.
- THOUVENIN B. (1991) – Modélisation mathématique d'un rejet urbain émis en profondeur. Rapport IFREMER DRO/EM – 90–01, 77 pages, annexes.

A N N E X E S

CAMPAGNE DU 19/06/87 - EFFLUENT TRAITE (+ RHODAMINE)

NUMERO PRELEV	DISTANCE REJET	TPS SEJ (mn)	NH4 ($\mu\text{mol}/\text{l}$)	M.E.S. (mg/l)	TOTAL PARTIC	VOLUME (mm^3)
P01	5	1	53,13	4,6	9,26E+07	2,00
N01	5	1	35,40	2,9	3,72E+07	1,24
N02	25	21	31,25	2,0	3,51E+07	1,72
N03	175	34	9,79	2,3	2,27E+07	0,84
N04	225	43	16,35	2,0	1,39E+07	1,04
N05	310	53	8,75	1,5	1,92E+07	0,92
N06	480	64	10,16	4,7	1,95E+07	0,70
N07	620	75	8,13	3,6	2,49E+07	1,20
N08	625	83	4,48	5,6	1,90E+07	1,04
N09	665	93	10,21	5,4	2,02E+07	1,54
N10	775	105	9,79	5,0	1,70E+07	0,78
N12	925	128	10,52	1,9	2,21E+07	0,82
N11	1000	116	4,48	2,5	1,97E+07	1,78
N13	1100	142	5,20	2,3		
N14	1150	152	10,94	4,7		
N15	1400	172	6,35	8,4		
REF			5,13	2,1	1,03E+07	0,79

NUMERO PRELEV	POP PIC1 DIA (μm)	POP PIC2 DIA (μm)	POP PIC3 DIA (μm)	VOL PIC1 DIA (μm)	VOL PIC2 DIA (μm)	VOL PIC3 DIA (μm)
P01	2,59	3,23	3,82	2,70	3,19	3,82
N01	2,59	3,23	3,77	2,66	3,23	3,77
N02	2,66	3,19	3,77	2,66	3,19	3,77
N03	1,80	2,90	3,56		2,90	3,56
N04	2,42	3,06	3,61		3,06	3,66
N05	2,32	2,94	3,56		2,94	3,56
N06	2,63	3,23	3,77	2,66	3,19	3,77
N07	2,66	3,19	3,77	2,78	3,15	3,77
N08	2,74	3,28	3,82	2,82	3,19	3,82
N09	2,45	3,10	3,66	2,49	3,06	3,66
N10	2,49	3,06	3,61	2,49	3,06	3,61
N12	2,29	3,10	3,61	2,49	3,10	3,61
N11	2,38	3,06	3,61	2,49	3,06	3,66
N13			3,69	2,62	3,10	3,70
N14	2,46	3,12				
N15						
REF						

CAMPAGNE DU 08/09/87 - EFFLUENT TRAITE

NUMERO PRELEV	DISTANCE REJET	PROF. (m)	TPS SEJ (mn)	NH4 ($\mu\text{mol/l}$)	RAD.ACT. (ch/sec)	TURB. (NTU)	M.E.S. (mg/l)
P2	0	20,00	2	75,00	0,00	1,2	16,80
P1	0	10,00	2	48,20	0,00	0,68	13,40
N1	94	20,00	70	2,57	150,00	0,51	13,40
N2	29	19,20	95	15,54	1000,00	0,56	6,30
N3	68	27,00	120	2,91	90,00	0,41	7,20
N4	84	12,00	135	2,16	150,00	0,39	7,60
N5	119	18,50	165	8,11	1200,00	0,54	9,40
N6	136	21,00	180	14,73	1250,00	0,63	7,60
N7	162	29,00	195	1,22	140,00	0,31	6,20
N8	155	25,00	210	12,57	150,00	0,54	7,00
N9	119	23,50	230	12,57	175,00	0,54	7,30
N10	165	19,50	255	11,49	35	0,51	5,70
REF				2,22			5,95

NUMERO PRELEV	M.O.P. (mg/l)	M.O.P. (%)	TOTAL PARTIC	VOLUME (mm3)	POP PIC1 DIA (μm)	POP PIC2 DIA (μm)
P2	13,89	82,70	9,05E+07	1,34	2,1	3,1
P1	4,40	32,80	6,54E+07	1,14	2,02	3,62
N1	10,20	76,10	1,25E+07	0,98	1,86	3,06
N2	4,00	63,50	1,00E+0,8	2,22	3,23	1,52
N3	4,60	63,90	6,48E+07	1,18	2,1	3,23
N4	3,80	50,00	8,01E+07	1,34	2,05	3,23
N5	6,88	73,20	1,02E+08	1,46	2,29	3,23
N6	3,80	50,00	6,27E+07	0,96	2,1	3,19
N7	2,80	45,10	9,45E+07	1,48	2,22	3,19
N8	3,50	50,00	1,03E+08	1,42	2,22	3,19
N9	4,60	63,00	1,03E+08	1,04	1,86	
N10	2,40	42,10	1,06E+08	1,06	1,94	
REF	2,60					

CAMPAGNE DU 10/09/87 - EFFLUENT BRUT

NUMERO PRELEV	DISTANCE REJET	PROF. (m)	TPS SEJ (mn)	NH4 ($\mu\text{mol/l}$)	RAD.ACT. (ch/sec)	TURB (NTU)	M.E.S. (mg/l)
P02	0	30,00	1	60,70		2,00	16,80
P01	0	10,00	1	35,70		1,50	11,20
N01	120	1,10	63	2,78	500,00	0,50	6,60
N02	279	19,50	69	6,11	250,00	0,50	7,80
N03	13	23,50	103	4,44	250,00	0,55	6,60
N04	473	13,00	129	7,40	180,00	0,50	7,70
N05	578	10,50	140	1,11	100,00	0,45	12,90
N06	704	13,10	148	1,30	100,00	0,35	5,60
N07	559	16,50	164		42,50	0,40	10,00
N08	470	17,70	172		25,00	0,45	7,20
N09	497	14,00	183		25,00	0,40	6,00
N10	445	21,00	193		22,50	0,30	5,20
REF				1,21		0,36	5,60

NUMERO PRELEV	M.O.P. (mg/l)	M.O.P. (%)	TOTAL PARTIC	VOLUME (mm3)	POP PIC1 DIA (μm)	POP PIC2 DIA (μm)
P02	10,00	59,50	5,17E+07	4,60	3,60	3,83
P01	3,00	26,80	3,91E+07	3,20	3,20	3,72
N01	4,00	60,60	2,02E+07	1,22	2,82	3,99
N02	3,90	50,00	2,14E+07	1,32	2,71	3,93
N03	5,20	78,80	1,75E+07	1,46	2,60	3,88
N04	4,60	59,70	1,79E+07	1,40	1,40	3,67
N05	6,50	50,40	2,57E+07	0,98	0,98	3,62
N06	4,50	80,30	1,46E+07	0,92	0,92	3,62
N07	7,60	76,00	1,14E+07	0,96	0,96	3,67
N08	4,20	58,30	1,00E+07	0,66	0,66	3,67
N09	4,70	78,30	1,61E+07	0,76	3,20	3,93
N10	3,10	59,60	1,28E+07	0,64	2,90	3,88
REF	3,10		1,22E+07	0,82		

CAMPAGNE DU 27/04/88 - EFFLUENT TRAITE (+ BOUE)

NUMERO PRELEV	DISTANCE REJET	PROF. (m)	TPS SEJ (mn)	NH4 ($\mu\text{mol/l}$)	TURB (NTU)	M.E.S. (mg/l)
P1	0	20,00	2	11,51	1,00	
P2	0	10,00	2	13,01	0,70	
N1	32	0,00	22	20,9	2,00	2,60
N2	91	0,00	23	10,6	2,00	2,90
N3	200	0,00	26	7,35	0,85	0,93
N4	314	0,00	44	0,29	0,85	0,60
N5	705	0,00	97	3,82	0,65	1,50
N6	924	0,00	104	0,01	0,35	0,10
N7	1505	0,00	137	0,01	0,25	0,10
REF	1500	0,00	137	0,29	0,25	0,10

NUMERO PRELEV	TOTAL PARTIC	POP PIC1 DIA (μm)	VOLUME (mm^3)
P1	4,25E+07	<2	3,60
P2	3,53E+07	<2	2,20
N1	3,78E+07	<2	2,60
N2	4,33E+07	<2	3,80
N3	2,81E+07	<2	1,82
N4	2,12E+07	<2	1,58
N5	3,83E+07	2,2	1,52
N6	1,27E+07	3,7	0,70
N7	6,38E+06	4,0	0,64
REF	6,38E+06		0,67

CAMPAGNE DU 29/04/88 - EFFLUENT TRAITE (+ RHODAMINE)

NUMERO PRELEV	DISTANCE REJET	PROF. (m)	TPS SEJ (mn)	NH4 ($\mu\text{mol/l}$)	M.E.S. (mg/l)
P01	0	0,50	4	14,90	1,20
N02	150	0,50	19	7,40	0,90
N03	271	0,50	38	11,20	0,30
N04	375	0,50	57	5,80	0,10
N05	527	0,50	91	1,21	0,20
N06	641	0,50	121	0,61	0,01
N07	768	0,50	141	0,94	0,10
N08	835	0,50	161		2,60
N09	966	0,50	185		0,50
N10	1145	0,50	205		0,01
REF				0,92	0,06

NUMERO PRELEV	TOTAL PARTIC	POP PIC1 DIA (μm)	POP PIC2 DIA (μm)	VOLUME (mm ³)
P01	2,33E+07	2,4	3,7	1,28
N02	1,19E+07	2,5	3,7	0,60
N03	1,19E+07	2,4	3,7	0,86
N04	8,67E+06	<2	3,7	0,46
N05	7,18E+06		3,7	0,38
N06	6,08E+06	<2	4,2	0,34
N07	7,66E+06		4,0	1,12
N08	7,39E+06	<2	3,8	0,24
N09	6,13E+06	<2	4,0	0,68
N10	5,53E+06	<2	4,2	1,00
REF	5,91E+06			0,32

