

PREMIERES DONNEES SUR LE RECENSEMENT DES
EAUX D'EGOUT INDUSTRIELLES DANS LA ZONE
COTIERE MALGACHE ET DISTRIBUTION DE
DETERGENTS (MBAS) LE LONG DE LA COTE NORD-
OUEST

par

Roger Lalao RANAIVOSON

et Giuseppe MAGAZZU,
Expert UNESCO d'océanographie chimique

RESUME

En ce début de développement industriel que connaît Madagascar, et où l'on n'observe pas encore des dégâts manifestes de pollution, il a paru intéressant de faire une vérification de la dynamique de quelques polluants et de la potentialité des pollutions industrielles des différentes usines implantées sur les côtes malgaches.

Cette étude de la pollution marine s'articule sur deux sujets complémentaires :

- la détermination d'un paramètre chimique qu'est le détergent (MBAS) caractérisant la diffusion des eaux d'égout urbaine à la surface de la mer ;
- le recensement des industries se trouvant implantées sur les côtes malgaches.

Selon les résultats obtenus, on peut affirmer que les eaux côtières étudiées ne sont pas encore affectées d'une manière importante par ce type de polluant, à l'exception des zones proches de Mahajanga et de Nosy-Be représentant deux aires de diffusion. Par ailleurs la pollution industrielle à Madagascar ne pose pas jusqu'à ce moment de graves problèmes. Néanmoins pour la prévenir, certaines industries doivent prévoir dès maintenant un système de traitement et d'épuration des eaux résiduaires.

INTRODUCTION

En ce début de développement industriel que connaît Madagascar, et où l'on n'observe pas encore une situation de pollution comme en Europe, il serait très intéressant de se pencher d'ores et déjà sur une étude de la nature et de la dynamique des polluants provenant des différentes unités industrielles implantées sur les côtes malgaches. Nombreux sont les aspects positifs que l'on pourrait en tirer.

Les premiers résultats ainsi obtenus constitueront des données de référence pour des études similaires, et permettront de prévoir ce que sera l'ampleur de la pollution, ceci en tenant compte parallèlement de l'essor industriel malgache dans le futur. Le nombre et la diversité de ces industries étant restreints, le suivi chimique des différents rejets industriels apparaît beaucoup plus aisé qu'il ne le serait dans le cas contraire.

En effet, la pollution de l'ambient marin peut provoquer des effets délétères tels qu'une atteinte aux ressources vivantes, une entrave aux activités d'utilisation y compris la pêche, un abaissement de la qualité de l'eau de mer et une réduction d'agrément. La toxicité de certains polluants implique une altération de la santé, de la croissance et de la reproductivité des organismes marins. Le résultat peut être une réduction des stocks de poissons ou bien leur disparition virtuelle de la zone polluée. Une interférence dans un des stades de la chaîne alimentaire marine peut, tout en agissant indirectement, avoir des conséquences similaires.

Parmi les activités de recherches entreprises dans le cadre du Projet UNESCO MAG/81/T.01 figure l'étude de la pollution marine. Il est tout à fait logique qu'une telle étude soit associée à celle de la biologie des ressources marines, et à celle des paramètres physico-chimiques, car un des aspects de l'avenir économique malgache se trouve dans la pêche.

Cette étude de la pollution marine s'articule sur deux sujets complémentaires :

- la détermination d'un paramètre chimique qu'est le détergent caractérisant la diffusion des eaux d'égout urbaines à la surface de la mer ;
- le recensement des industries se trouvant implantées sur les côtes

malgaches.

METHODES D'ETUDES

A. Analyses des détergents

La zone d'étude comprend d'une part la côte Nord-Ouest de Madagascar incluse entre le cap Saint-André et le cap Saint-Sébastien et allant de la côte jusqu'à 20 milles au large, et les deux baies de Bombetoka et d'Antsirana d'autre part.

Les échantillons ont été prélevés à l'aide des bouteilles de Niskin, à la surface dans des stations (fig. : 1a, 1b, 1c) franchement côtières et au large, lors de la croisière I d'océanographie chimique exécutée dans le cadre du projet MAG/81/T.01, en octobre 1983.

Pour empêcher toute décomposition bactériologique, on a ajouté à chaque échantillon 2 ml d'une solution de chlore de mercure (10 mg/l). Ceci a été effectué immédiatement après l'échantillonnage.

La méthode analytique choisie a été celle utilisant le bleu de méthylène et qu'adoptent un bon nombre de pays comme protocole officiel d'analyse pour la mise en évidence des détergents selon APRA, AWWA, WPCF, (1971).

Elle réside dans la formation d'un complexe bleu lorsque le bleu de méthylène réagit avec des composés anioniques qui n'excluent non seulement les alkyles sulfonates linéaires, mais aussi les sulfates alkyles. Alors les composés à déterminer sont souvent appelés "substances actives au bleu de méthylène" (MBAS).

B. Recensement des effluents industriels

Le choix des usines a été dicté par leurs implantations à proximité de la côte (fig. 2), et de ce fait elles pourraient constituer des sources permanentes et potentielles de pollution en déchargeant leurs effluents à la mer, à moins qu'elles ne soient déjà polluantes, hypothèse qu'il faudrait vérifier par des analyses chimiques in situ. Des fiches de recensement (cf. annexe 1) ont été envoyées auprès des industries suivantes :

- Sucrerie de Nosy-Be et de la Côte Est (SNBCE) Nosy-Be -	Antsiranana
- Société Siramamy Malagasy (SIRAMA) Ambilobe -	Antsiranana
- Hoditra Malagasy (HODIMA) -	Antsiranana
- Société Textile de Majunga (SOTEMA) -	Mahajanga
- Société Siramamy Malagasy (SIRAMA) Namakia -	Mahajanga
- Sud Madagascar Textile (SUMATEX) -	Toliary
- Brasserie STAR Madagascar -	Toliary
- Solitany Malagasy (SOLIMA) -	Toamasina
- Société Verrière Malagasy (SOVEMA) -	Toamasina
- Société Malagasy pour le Palmier à Huile (SOMAPALM) -	Toamasina

Elles renferment plusieurs questions permettant de classer le type de production, les matières premières utilisées, de connaître les effectifs, le volume quotidien et annuel des eaux consommées, et celui des eaux résiduaires, l'existence ou non d'une unité de traitement des rejets industriels, le lieu d'écoulement final des effluents, etc. D'autre part, des visites ont été effectuées afin de contrôler directement l'importance des eaux de rejets, de voir le cadre géomorphologique et physique du lieu d'implantation et les différentes unités de production.

Les 90% des industries ont collaboré à cette première enquête en répondant aux questionnaires.

A partir des réponses obtenues on a élaboré les données ayant comme but final d'exprimer la potentialité polluante des industries en nombre d'équivalent/habitant. En effet l'importance quantitative des charges polluantes et de leurs distributions dans une région peuvent être évaluées sur la méthode basée sur la transformation des activités industrielles en population équivalente comparable à la population réelle. Cette dernière fournit le degré de la pollution produite par les eaux d'égoût urbaines, tandis que la première représente une estimation quantitative de la contribution polluante dues aux activités industrielles et zootechniques. Cette méthode se base sur l'hypothèse que les effluents industriels peuvent être assimilés aux eaux urbaines en terme de demande d'oxygène nécessaire à l'épuration. En particulier, il a été déterminé expérimentalement que dans la quantité de matières produites par jour par habitant, il existe une concentration de matières

organiques correspondant à une demande biologique (DBO_5) de 54 gr. En partant de cette hypothèse, la charge polluante d'une industrie est évaluée en transformant soit le nombre d'ouvriers, soit les matières premières utilisées, soit la quantité des produits finaux, soit le nombre de têtes de bétails élevées, en habitants équivalents par des coefficients de conversion adéquats. Il faut noter toutefois que ce type d'évaluation présente des limites surtout au niveau même de l'hypothèse de base (assimilation des eaux industrielles aux eaux urbaines), vu la diversité des effluents industriels et la présence de substances toxiques dans ces derniers. Encore, faut-il préciser que la valeur de 54 gr de DBO_5 par habitant est valable pour les pays industrialisés ce qui impliquerait une surestimation lors de sa mise en application dans les pays moins avancés.

Par conséquent, les valeurs que l'on a obtenues dans la transformation en habitant équivalent seront sous-estimées d'un facteur F calculé de la manière qui suit :

$$F = \frac{54}{x}$$

où x = la DBO_5 adoptée pour le pays concerné.

Malgré cela, la méthode d'habitant équivalent représente une flexibilité générale pour les facilités d'obtention des données statistiques nécessaires et la possibilité de prévoir la taille des unités de traitement des effluents.

Les coefficients de transformation utilisés dans cette étude sont les mêmes que ceux adoptés par le Conseil National de Recherche italien (1976) qui représente une élaboration après une vérification expérimentale de ces coefficients adoptés en France (1963).

Dans les paragraphes suivants, la méthodologie utilisée pour l'obtention des coefficients est donnée d'une manière détaillée. Pour l'estimation de ces coefficients il faut d'abord connaître :

- la charge organique exprimée en terme de DBO_5 dans les eaux d'égout;
- le débit moyen journalier.

A partir de ces données et en considérant les 54 gr de DBO_5 /habitant,

le coefficient de conversion C_P peut se calculer pour un habitant équivalent par unité de produit :

$$C_P = \frac{K \cdot Q}{P \cdot h} \quad (1)$$

où K : concentration en DBO_5 pour l'activité productive considérée

Q : débit moyen journalier

P : production journalière

h : 54 (DBO_5 journalier par habitant)

Le coefficient de conversion C_A pour un habitant équivalent par ouvrier peut se calculer de la façon suivante :

$$C_A = \frac{P}{N} \cdot C_P \quad (2)$$

où P : production journalière pour l'activité considérée

N : nombre d'ouvriers affectés à la production

C_P : le coefficient calculé précédemment

Parfois, il existe des difficultés pour l'acquisition des données fiables sur l'activité de production, d'où la nécessité de l'utilisation d'un autre coefficient C_A basé sur des données indirectes :

$$C_A = \frac{K \cdot Q_A}{h} \quad (3)$$

où K : concentration en DBO_5 pour l'activité productive considérée

Q_A : débit moyen journalier par ouvrier

h : 54 (DBO_5 journalier par habitant)

Les données élaborées dans cette étude sont obtenues en utilisant cette dernière formule et les coefficients par grande catégorie répartis en Annexe 2.

Pour la fiabilité du coefficient faut-il aussi faire référence aux limitations déjà mentionnées à propos du DBO_5 par habitant. Parmi les causes de variabilités expérimentales vérifiées à partir de ce coefficient, on peut citer en outre :

- les différences parmi les technologies utilisées au cours de la production ;

- la variété des matières premières utilisées pour l'obtention d'un même produit ;

- l'écart qualitatif et quantitatif entre les produits finaux utilisant les mêmes matières premières.

Pour atténuer cette variabilité, il a été décidé d'utiliser autant que possible les valeurs indiquées comme moyennes dans la liste des coefficients reportés par le C.N.R. italien.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

A. Distribution des détergents le long de la côte Nord-Ouest malgache

La distribution de la concentration superficielle de MBAS varie entre 0 et 20 $\mu\text{g}/\text{l}$ (fig. 3). La valeur la plus haute a été décelée dans la baie de Bombetoka, alors que la moyenne dans la côte est de 4,2 $\mu\text{g}/\text{l}$. En général, il a été constaté que sur 42 échantillons analysés, 50% ont donné des valeurs nulles (tableau 1). Les zones qui sont apparues les plus particulièrement affectées par l'apport de MBAS ont été celles des alentours de la région de Nosy-Be et celle située au nord de Mahajanga. Dans cette dernière partie, la distribution des MBAS apparaît très intéressante car dans la ligne des stations avoisinantes de la côte, au nord de la baie, la concentration atteste une valeur nulle, tandis que celles du large se répartissent entre 5 et 9 $\mu\text{g}/\text{l}$. Il faut aussi signaler les valeurs relativement importantes dans les stations 111, 131, 151, 153 qui sont respectivement les suivantes : 8, 8, 9, 10 $\mu\text{g}/\text{l}$. Pour expliquer cette distribution spatiale des concentrations, c'est-à-dire, une dispersion vers le large de MBAS, avec une direction prédominante vers le nord, on peut émettre les deux mécanismes suivantes qui donneraient lieu à cette diffusion :

- le déplacement stationnaire des masses d'eau sous l'action des marées oscillant selon un axe Nord-Est, normal à la côte, sur le plateau continental ;

- le déplacement vers le Nord-Ouest sous l'action d'un courant superficiel longeant les récifs, phénomène que l'on peut constater en octobre, selon Donguy et Piton (1969) (fig.4)

En tout cas, la ville de Mahajanga ayant environ une population de 100.000 habitants, et où l'on peut supposer un usage relativement intensif de détergents, reste une source importante pour la diffusion de ce polluant à travers la zone côtière.

En ce qui concerne la zone proche de Nosy-Be, toutes les valeurs enregistrées se sont révélées relativement élevées de 7 à 19 $\mu\text{g/l}$. On remarque par ailleurs, une concentration anormale à la station 41, se trouvant à proximité de la côte, mais située dans un trait de mer où le taux est pratiquement nul. Au regard des valeurs trouvées, la région de Nosy-Be où le tourisme est la principale activité semble porter la trace d'un usage important de détergents.

B. Recensements des effluents industriels

Les résultats concernant la charge polluante calculée pour chaque usine se trouvent dans le tableau 2.

En se référant au DBO_5 total exprimé en kg/j , calculé sur la base des habitants équivalents et de la valeur de 54 gr/j de DBO_5 par habitant, il a été constaté que les activités industrielles les plus polluantes sont effectivement les industries de la canne à sucre. En effet, pour un nombre d'ouvriers inférieur à 500 personnes, il résulte un DBO_5 supérieur à 30 000 kg/j . D'autre part, la valeur supérieure à 1000 kg obtenue auprès de la SOTEMA est plutôt imputable aux effectifs (lié à la dimension de l'usine) qu'à la nature plus ou moins polluante des eaux résiduaires. Cependant, la moyenne du DBO_5 total des autres usines est inférieure à 400 kg/j .

L'observation la plus importante qui découle de ce tableau est qu'aucune de ces usines recensées rejette ses effluents directement à la mer, à l'exclusion de la SOLIMA de Toamasina. On note aussi que seulement deux usines (Toliary) sur neuf déchargent sur le sol où les eaux résiduaires sont concentrées par évaporation naturelle, alors que les boues sont stockées pour un éventuel usage comme engrais. De plus, faut-il signaler que la HODIMA

d'Antsiranana, la plus périlleuse, adopte un système d'épuration, dont l'efficacité reste encore à contrôler, et qui peut réduire énormément les charges polluantes finales.

CONCLUSIONS

A. A propos de la distribution des détergents

En outre les baies d'Antsiranana et de Bombetoka, où les concentrations moyennes sont de l'ordre de 10 µg/l, la distribution des détergents dans la zone étudiée présente deux points à concentration élevée (Nosy-Be, et au large de Mahajanga). Néanmoins, les données ainsi obtenues doivent être considérées comme relativement très basses en comparaison à celle enregistrées dans les zones côtières des pays à de très forts développements industriels et urbains. La majorité des valeurs (5 - 10 µg/l) sont en effet à la limite de la sensibilité de la méthode de dosage. Ces résultats confirment que les eaux côtières étudiées ne sont pas encore affectées d'une manière importante par ce type de polluant. Il est souhaitable que dans un proche avenir, ces recherches soient étendues dans ces zones et entreprises dans d'autres zones côtières de Madagascar, de façon à fournir un cadre complet de la situation actuelle. Pour le moment, celle-ci ne doit pas être considérée, en définitif, ni rassurante, étant donné la faible pression urbaine sur les côtes, ni préoccupante à cause du très léger taux de MBAS mesuré.

B. A propos du recensement des industries

Au regard de ces données, on peut affirmer que la pollution industrielle à Madagascar ne pose pas jusqu'à ce moment de graves problèmes. Néanmoins, pour la prévenir, certaines usines doivent prévoir dès maintenant un système de traitement et d'épuration des eaux résiduaires ; cette remarque concerne plus particulièrement l'industrie de la canne à sucre, qui s'est révélée comme la plus polluante.

Il reste à évaluer d'une manière précise et quantitative les composantes chimiques (cf. annexe 3) constituant ces eaux résiduaires, aux fins d'une vue plus concrète de la situation, but qu'on s'est fixé très prochainement.

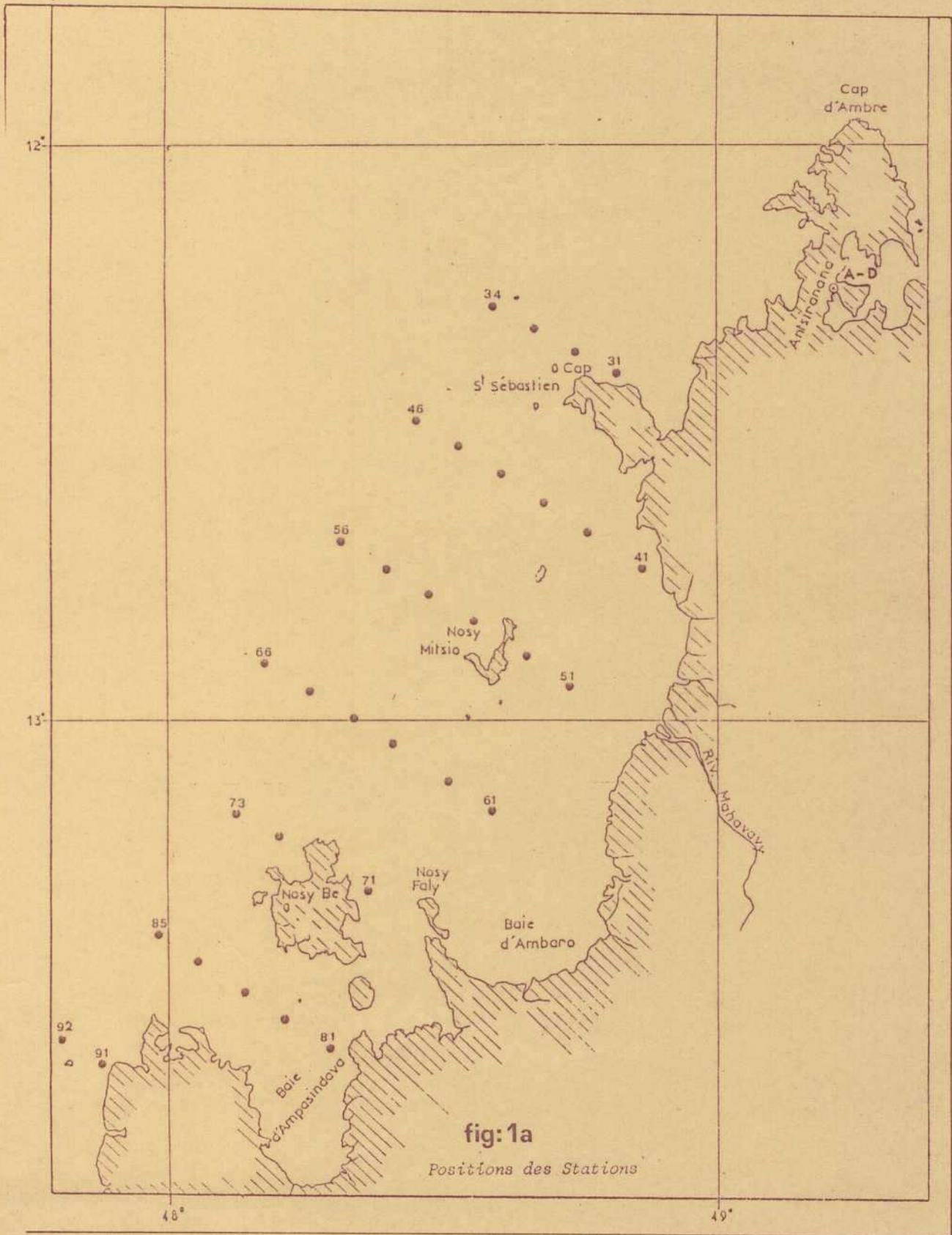
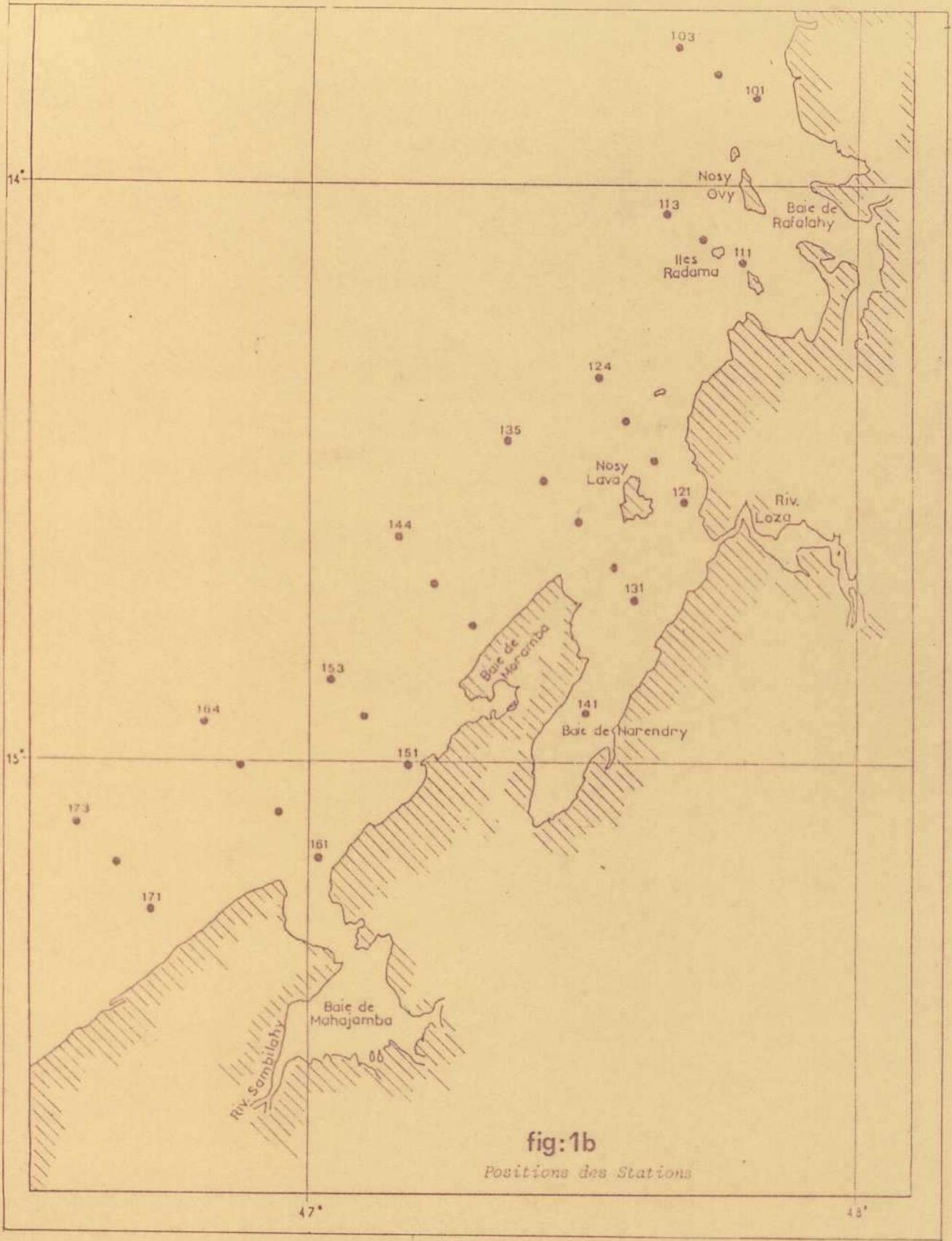


fig: 1a

Positions des Stations



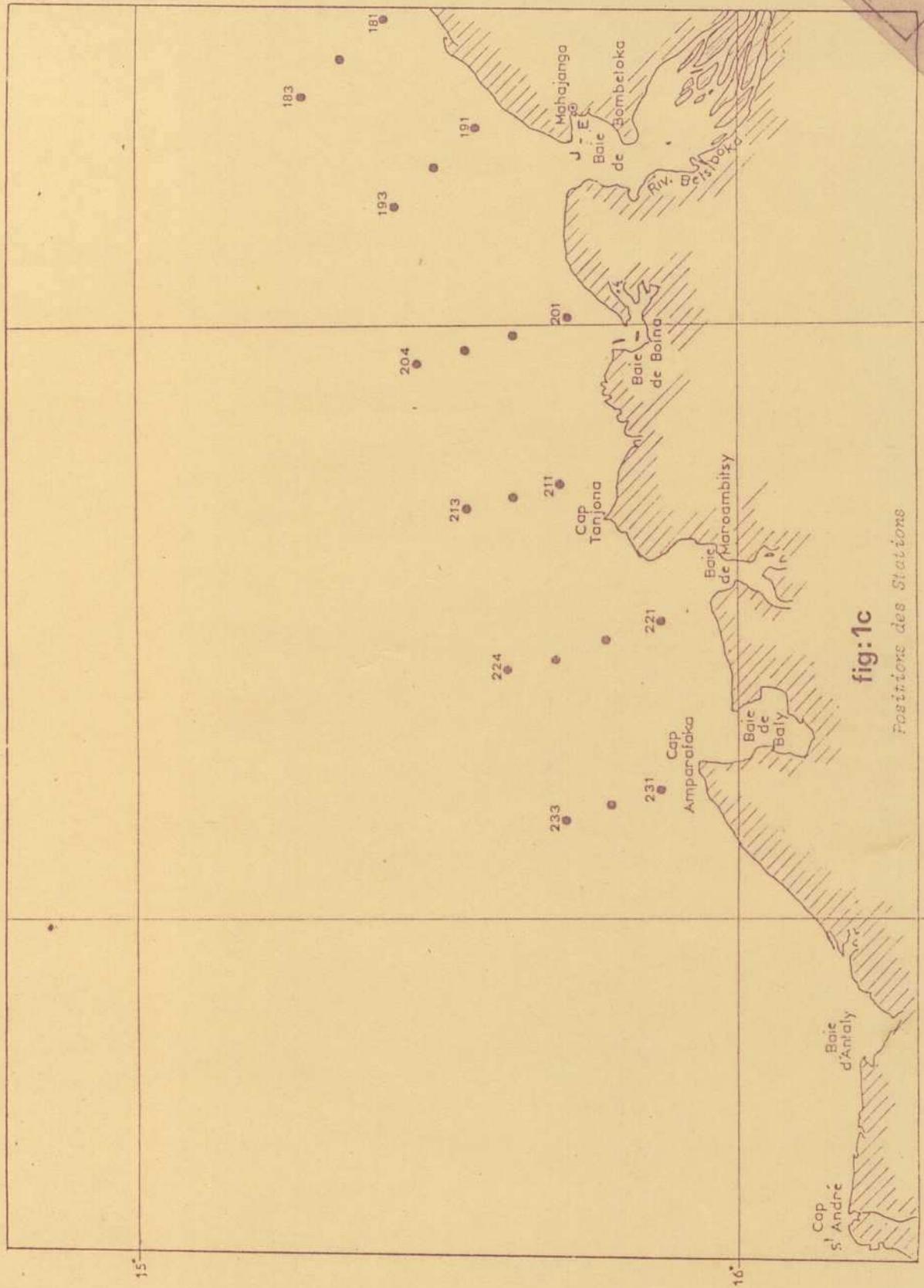
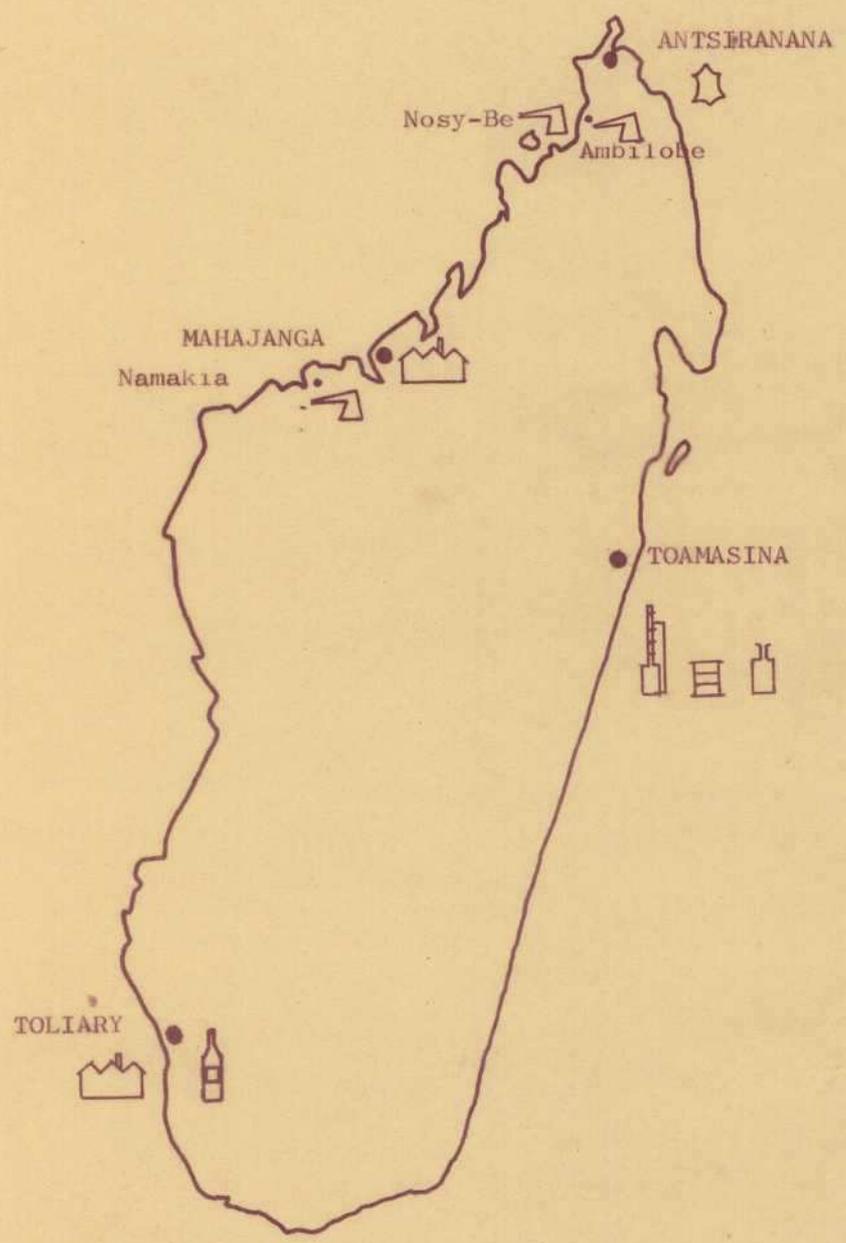


fig:1c

Positions des Stations

-  Tannerie
-  Sucrierie - Distillerie
-  Huilerie
-  Textile
-  Raffinerie de pétrole
-  Verrerie
-  Brasserie



Distribution des différents types
d'industrie sur les côtes malgaches

fig: 2

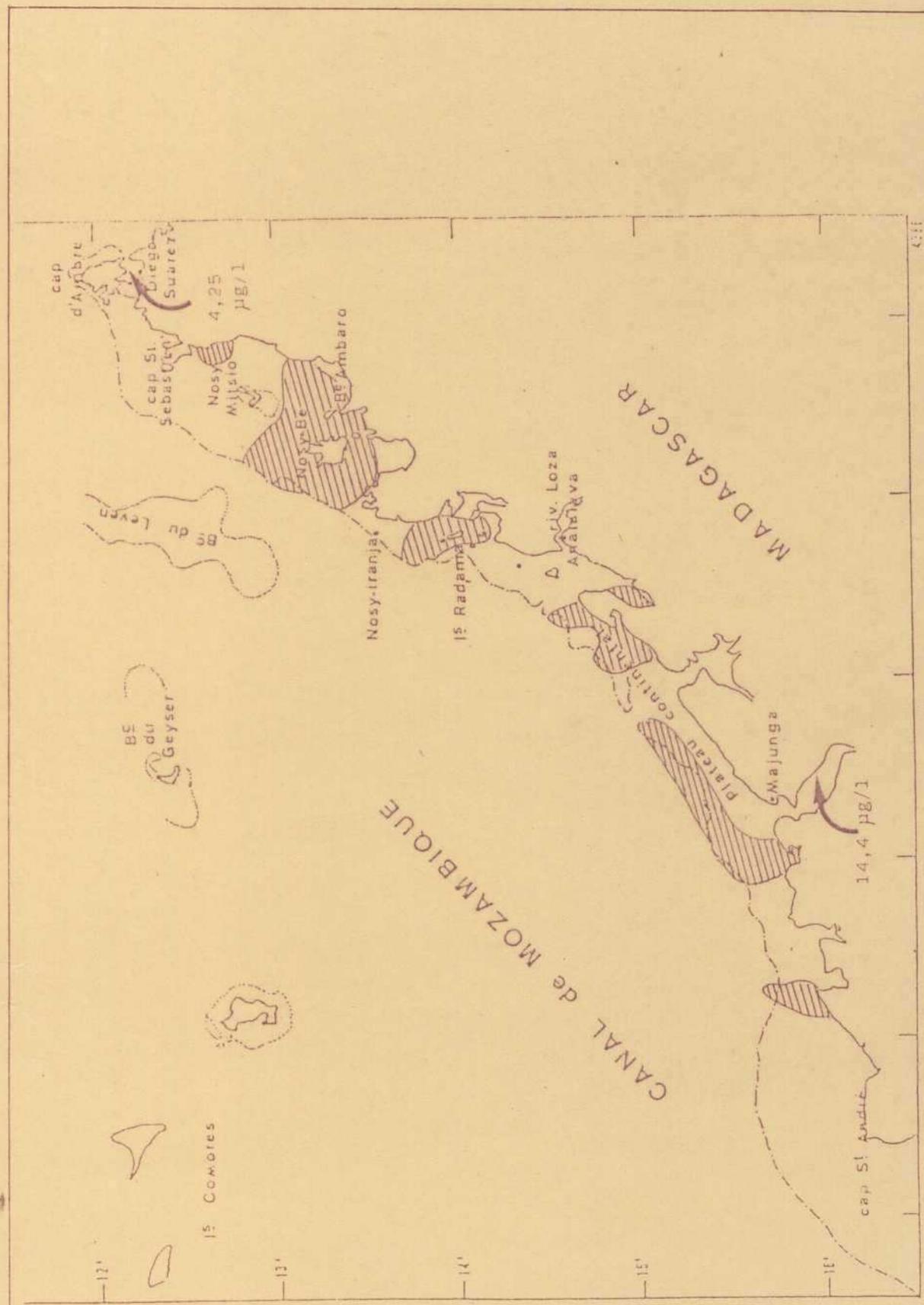


Fig: 3 - Distribution superficielle de ABS le long de la côte Nord-Ouest. Résultats supérieurs à 5 µg/l dans les zones hachurées.

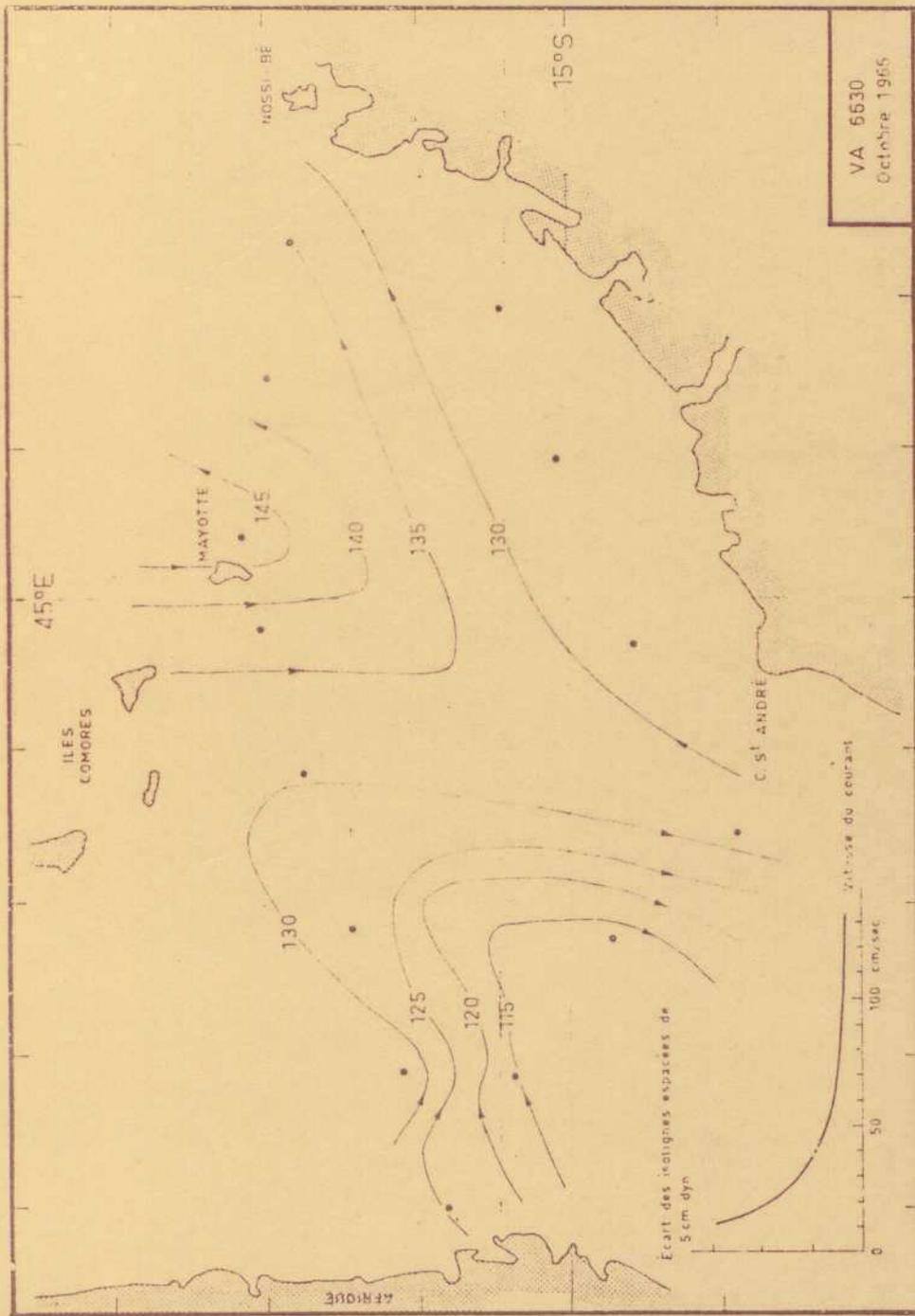


Fig. 4. Topographie dynamique de la surface de la mer relative à 500 db en centimètres dynamiques.

Fig: 4

CONCENTRATION EN $\mu\text{g}/\text{L}$ DANS LES STATIONS
ECHANTILLONNEES (EAU DE SURFACE)

Tableau 1

Station n°	Concentration $\mu\text{g}/\text{l}$	Station n°	Concentration $\mu\text{g}/\text{l}$
31	0	135	8
34	0	141	5
41	10	144	0
46	0	151	9
51	0	153	10
56	0	161	0
61	11	164	0
66	19	171	0
71	18	173	9
73	9	181	0
81	8	183	6
85	7	191	0
91	0	193	6
92	0	201	5
101	5	204	6
103	5	211	0
111	8	213	0
113	0	221	0
121	0	224	0
124	0	231	8
131	0	233	5

Moyenne générale pour toutes les stations est de 4,2 $\mu\text{g}/\text{l}$

Baie d'Antsiranana

A	0
B	0
C	10
D	7

moyenne 4,25

Baie de Bombetoka

E	10
F	10
G	15
I	20
J	17

moyenne 14,4

T A B L E A U D E R E C E N S E M E N T

Tableau 2 .-

Nom des Industries	Nombre d'effectif	Type de production.	Consom. m ³ /j	Volume Eau x résiduaires déclaré m ³ /j	DBO ₅ prévu mg/l	DBO-Total kg/j	Habitant équivalent ouvrier	Destination finale
SOTEMA (Majunga)	3000	Tissus Articles confectionnés	4020	3930	342	3078	57000	marécage de marée basse mer
SUMATEX (Toliary)	781	Tissus écarus (coton) Cuir Wet Blu	320	20	200	483	8951	lac d'évaporation
HODIMA (Antsiranana)	58	produits semi finis et finis.	330	300	1198	416	7714	rivière mer
SOLIMA (Toamasina)	159	Essence Rétrole Gaz	5100 à 18000	4800 à 16800	92	558	10335	Canal des Pangalanes mer
SOMAPALM (Toamasina)	non communiqué	Huile de palme et palmiste	120	non communiqué	500	-	-	Canal des Pangalanes mer
SOVEMA (Toamasina)	231	Verre creux mécanique bouteille bocaux - verre	50	50	40	42	785	Canal des Pangalanes
STAR-Braserie (Toliary)	80	Bière -Bois sans gazettes	280	256	704	380	7040	à 500m sur un lit de sable
SNBCE Dzamenjery Nosy-Be	400	Sucre Rhum	12500 à 15000	37200	845	31471	582800	rivière mer
SIRAMA Namakia Majunga	90	Sucre Alcool	31600	24000	845	7081	131130	rivière mer

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Anonyme.- Atlas de la pollution des eaux en France Métropolitaine
Ed. la documentation française. Paris 1983.

APRA, AWWA, WPCF.- Standard Methods for Examination of water.
Surfactants (Anionic) pag. 339 - 342. New-York, APHA. 1971.

C.N.R.- Coefficient di popolazione equivalente delle attivita' economiche
p 31 - 43. Roma 1976.

Donguy et Piton.- Aperçu des conditions hydrologiques de la partie nord
du canal de Mozambique. Cah. ORSTOM sér. océanogr.
vol VII, n°2, 1960.

Recensement des Eaux résiduaires
industrielles malgaches.

Fiche technique N°

- 1 - Nom de l'usine Lieu :
- 2 - Type de production
- 3 - Matières premières utilisées
- 4 - Nombre d'effectifs : Ouvriers Adm.....Tot
- 5 - Cycle de travail (continu, sémi-continu)..... H/j.....
- 6 - Production { - quotidienne
 - annuelle
- 7 - Volume des eaux utilisées { - quotidien
 - annuel
- 8 - Volume des eaux résiduaires { - quotidien
 - annuelle.....
- 9 - Source d'approvisionnement
- 10 - Recyclage (partiel)(total)
- 11 - Utilisation d'autres substances chimiques
 Par jour Par an
a)
b)
c)
d)
e)
- 12 - Traitement et épuration des eaux résiduaires
a) En activité Efficacité %
b) En construction Efficacité prévue %
c) En projet Efficacité prévue %
d) Pas de prévision
- Pour (b), (c) préciser la date prévue d'entrée en activité
- e) Utilisation de désinfectants pendant le traitement: oui non (En cas affirmatif, préciser la nature et la quantité par jour : hypochlorite, phénols)
- 13 - Ecoulement des eaux résiduaires
a) Direct à la mer
b) Par rivière

Tableau sommaire des coefficients de conversion exprimé en terme d'habitant équivalent par ouvrier, selon les activités économiques

Classe d'activité	Habit. équi/ouvrier
- Industrie du blé	1,5
- Pâtisserie	65
- Conserverie	83
- Fromagerie	57
- Industrie des graisses végétales et animales	230
- Industrie alimentaire générale	407
- Industrie des boissons alcooliques et de distillation de l'alcool	781
- Industrie des boissons minérales et hygiéniques	21
- Industrie du tabac	7,5
- Industrie textile	22
- Industrie des vêtements, des tissus d'ameublement	0,6
- Tannerie	65
- Industrie du bois	2
- Industrie du bois de meuble et de décoration	
- Industrie métallurgique	2,4
- Industrie mécanique	1,3
- Industrie pétrochimique	68
- Industrie du caoutchouc	37
- Industrie des celluloses pour textile et fibre synthétique	40
- Industrie des cartons	197
- Imprimerie	1
- Industrie audiovisuelle	
- Industrie des matières plastiques	1
- Industrie manufacturière générale	0,4
- Production et distribution de gaz	10
- Service sanitaire	1,5

A N N E X E 3

CENORE NATIONAL DE RECHERCHES OCEANOGRAPHIQUES
PROJET UNESCO MAG/81/T.01 : Etude de pollution
RECENSEMENT DES EAUX DE REJET INDUSTRIEL DE MADAGASCAR
Fiche technique d'analyse chimique - physique N°

Date Lieu Usine H. échant.....
Cycle de production : normal ou partiel. Egoût total ou partiel
Température air (C°)
Température eau (C°)
pH
Oxygène dissous (O₂ ppm)
Chlorure (Cl⁻ ppm) }
Dureté totale (CaCO₃ ppm) }
COD (O₂ ppm) }
Couleur (ppm Pt)
Turbidité (UT/F)
(Echantillon filtré oui ou non)

DETERMINATION	METHODE	CONCENTR. ppm	OBSERVATION
<u>Sels nutritifs</u>			
Ammonium (NH ₄ ⁺)	Nessler	.....	.....
Ammonium (NH ₄ ⁺)	Bleu d'indophénol	.....	.....
Nitrate (NO ₃ ⁻)	Brucine	.....	.....
Nitrite (NO ₂ ⁻)	Naphthylaminosulf.	.....	.....
Phosphate (PO ₄ ³⁻)	Bleu de molybdène	.....	.....
Silice (SiO ₂)	Bleu de molybdène	.....	.....
<u>Métaux</u>			
Aluminium (Al ³⁺)	Eriochromcyanine	.....	.....
Chrome (CrO ₄ ²⁻)	Diphénylcarbazine	.....	.....
Cuivre (Cu ⁺⁺)	Cuprizon	.....	.....
Fer (Fe ⁺⁺)	Ferrospectral	.....	.....
Fer (Fe ⁺⁺)	1,10 phénanthroline	.....	.....
Manganèse (Mn ⁺⁺)	Formaldoxine	.....	.....
Nickel (Ni ⁺⁺)	Diméthylglyoxime	.....	.....
<u>Toxiques</u>			
Chlore total (Cl ₂)	O - Tolidine	.....	.....
Cyanure (CN ⁻²)	Diméthylbarturique	.....	.....
Fluorure (F ⁻)	SPADNS	.....	.....
Phénol (C ₆ H ₅ OH)	Colorant diazo	.....	.....
MABS	Bleu de méthylène	Flacon N°..	.....

Opérateur :