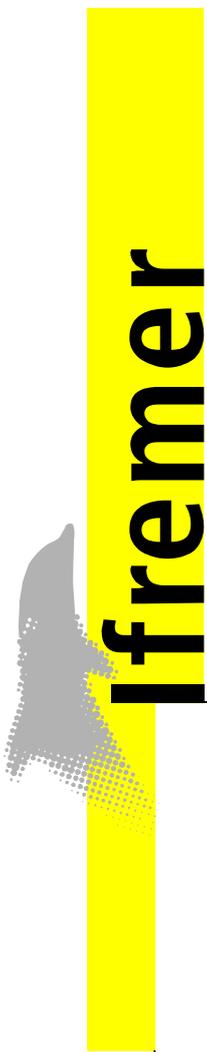


DOPLER
LER / BL

HITIER Benoist

avril 2005 – RST/LER/BL/05.04



Ifremer

Modélisation Dunkerque

Modélisation de l'impact du rejet du canal
exutoire de Dunkerque

Modélisation Dunkerque

Modélisation de l'impact du rejet du canal
exutoire de Dunkerque

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : .RST/DOP/LER/BL/05.04 Diffusion : libre- <input checked="" type="checkbox"/> restreinte: <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> Validé par : Benoist Hitier Adresse électronique : Web : http://www.ifremer.fr/	date de publication : avril 2005 nombre de pages : 21 p annexe : 3 p bibliographie : Non illustration(s) : langue du rapport : F
Titre et sous-titre du rapport : Modélisation Dunkerque. Modélisation de l'impact du rejet du canal exutoire de Dunkerque	
Contrat n° Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>	
Auteur(s) principal(aux) : Benoist Hitier	IFREMER, Direction opérationnelle, Laboratoire Environnement Ressources.
Collaborateur(s) :	Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer/ DOP/LER/BL
Cadre de la recherche :	
<p>Résumé : Ce rapport présente la réalisation pour le compte du bureau d'étude « Royal Asconing » de la modélisation de l'impact du canal exutoire de Dunkerque sur la plage de Malo les bains (59). La modélisation a été utilisée pour essayer d'expliquer les résultats d'une campagne de prélèvement d'eau à différents endroits de la côte.</p> <p>Abstract : This report presents the realization for the consulting organisation "Royal Asconing" of the modelling of the impact of the "canal exutoire de Dunkerque" on the beach of Malo-les-bains (59). The modelling was used to try to explain the results of a campaign of taking of water to various places of the coast near Dunkerque.</p>	
Mots-clés Modélisation hydrodynamique, , bactériologie, Nord Pas de Calais	
Keys words Hydrodynamical Modelling, bacteriology, northern of France	

Sommaire

Introduction	1
Les principes de la modélisation.....	2
Le modèle hydrodynamique Mars	2
L'étude	6
Présentation de l'étude	6
Campagne de mesure	6
Influence du vent	8
Linéarité entre concentrations du rejet et sur la plage	11
Influence de l'heure du lâcher	11
Influence du rejet dans l'avant port ouest	13
Influence du rejet par un exutoire	14
Conclusion	17
annexes.....	19

Introduction

Le centre IFREMER de Boulogne sur mer est équipé de quatre modèles hydrodynamiques fonctionnant avec le logiciel MARS 2D. Ce programme calcule les courants marins ainsi que les concentrations en éléments solubles qu'ils transportent. A ce jour, trois sites de la zone couverte par notre laboratoire ont été modélisés : un modèle couvre l'ensemble de la zone littorale des deux régions Nord - Pas de Calais et Picardie. Trois modèles concernent La Baie de Somme, le Boulonnais d'autre part et la région de Oye-plage.

Ces modèles donnent en tout point les hauteurs d'eau et les courants et permettent de simuler la dispersion d'un rejet de bactéries.

Une étude visant à comprendre les quelques mauvais résultats d'analyses bactériennes sur les plages situées de part et d'autre de l'avant port Est de Dunkerque a conduit le bureau d'étude Royal Hasconing a demander à Ifremer de modéliser l'impact du rejet du canal exutoire de Dunkerque, source identifiée comme la plus importante, sur les plages environnantes.

Les principes de la modélisation

Le modèle hydrodynamique Mars

Il s'agit d'un algorithme de calcul des courants marins, des hauteurs d'eau, et des concentrations en éléments solubles (ou en suspension temporaire) transportés par les courants. Mars est composé de :

- un noyau de calcul opérationnel en version 2D et 3D qui, dans un souci de meilleure précision, de minimisation des temps de calcul et de facilité d'emploi, adopte une méthode en différences finies sur un maillage régulier.
- un pré-processeur nommé IMars dont les fonctions essentielles sont la gestion et l'intégration aisées des paramètres et données d'entrée qui servent à l'activation du code de calcul. IMars permet également un contrôle en temps réel de l'évolution de variables hydrodynamiques modélisées.
- un post-processeur, ou programme d'exploitation graphique des résultats de Mars nommé VisuMars mis à la disposition des utilisateurs du logiciel de modélisation hydrodynamique côtière qui ne possèdent pas d'interface avec le SIG Arc View. Il permet de présenter les résultats de calculs déjà réalisés (ou en cours de calcul) sous forme de courbes et de cartes. Il permet aussi des calculs spécifiques d'interprétation (trajectoires, etc...)

Mars effectue le calcul des courants, des hauteurs d'eau et des concentrations en substances dissoutes, dans un écoulement liquide plan, quasi-horizontale. La forme des fonds peut être absolument quelconque et comporter un nombre quelconque de chenaux, îles, hauts fonds, bancs découvrants et estrans.

MARS permet de modéliser sous forme de calculs instantanés ou de synthèses (valeurs moyennes, maxi, mini...) les grandeurs suivantes :

- le courant (composantes U et V) et les résiduelles eulériennes ;
- la hauteur du plan d'eau, les niveaux moyens et les composantes harmoniques de marée ;
- la salinité ;
- des constituants provenant de rejets (par exemple les coliformes fécaux) ;
- le transport sédimentaire et les dépôts.

Il produit pour chaque zone étudiée une base de données dont les résultats sont stockés sous la forme d'une série temporelle de vecteurs et de scalaires en coordonnées géographiques. On se limitera dans ce qui suit à la description puis aux applications de la version 2D du modèle.

On démontre que les calculs réalisés par le modèle nécessitent l'utilisation de trois types d'information :

- La **topographie** du domaine (fournie ici par une matrice des profondeurs).
- Les **conditions aux limites** sur les frontières ouvertes du domaine. Pour la partie hydraulique, on utilisera des conditions aux limites fortes de dénivellation et des conditions faibles de vitesse des courants.
- Les **flux d'eau et de matière dissoute** (ou en suspension) à l'intérieur du domaine (rivières, émissaires ...)

Les hypothèses du calcul valables en 2D sont les suivantes :

- La composante horizontale du courant ne varie pas beaucoup depuis la surface jusqu'à proximité du fond (courant de masse). Le modèle dans sa version 2D calcule la moyenne des courants sur la verticale et cette valeur moyenne a une forte signification physique.
- Les vitesses verticales sont faibles.

Sous ces hypothèses, les lois qui décrivent le comportement physique du système, à savoir le second principe de Newton et la loi de conservation de la masse se traduisent par le système d'équations dit de Saint-Venant :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - fu - \varepsilon \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{k^2 H^{4/3}} + \frac{\partial Pa}{\partial y} + \frac{\tau_y}{\rho H} = 0$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - fv - \varepsilon \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + g \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{k^2 H^{4/3}} + \frac{\partial Pa}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho H} = 0$$

U composante de la vitesse selon Ox

V composante de la vitesse selon Oy

ζ cote de la surface libre

f facteur de Coriolis

kr coefficient de frottement de fond, de Strikler

H hauteur de la colonne d'eau

Ce système est complété par l'équation de transport-diffusion-décroissance d'un élément chimique (ou assimilé) transporté en suspension :

$$\frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{\partial(HUC)}{\partial x} + \frac{\partial(HVC)}{\partial y} - \frac{\partial\left(HK_x \frac{\partial C}{\partial x}\right)}{\partial x} - \frac{\partial\left(HK_y \frac{\partial C}{\partial y}\right)}{\partial y} + IHC + S = 0$$

- C Concentration en une substance dissoute
- K Coefficient de diffusion horizontale
- L Coefficient de décroissance propre
- S Source

Mars intègre ces équations différentielles de manière totalement automatique, quelle que soit la forme du domaine, qui peut d'ailleurs évoluer dans le temps (zones découvrantes, murs immergés, etc...).

Un modèle mathématique doit offrir une représentation de la réalité d'autant plus fine et précise que l'on se situe sur la zone d'intérêt. A cette fin le modèle Mars utilise une technique d'emboîtement de modèles sous forme gigogne. Par cette technique un modèle de grande emprise et de grande maille contient lui même un ou plusieurs sous modèles (loupes). Ces derniers reçoivent des modèles qui les précèdent, les conditions aux limites sur leur périmètre. Au plan spatial les modèles intermédiaires possèdent une maille environ 4 fois plus petite que celle du modèle précédent. Le modèle de grande emprise s'étend jusqu'au plateau continental et trouve ses conditions aux limites dans la valeur des ondes générant la marée au large. Un forcing météorologique peut être pris en compte sur toute la surface du modèle et ses éventuelles loupes successives. La figure ci-après présente l'emboîtement des deux niveaux de modèles construits sur le littoral du Nord de la France et dans lesquels il est possible de d'injecter des rejets et des rivières.

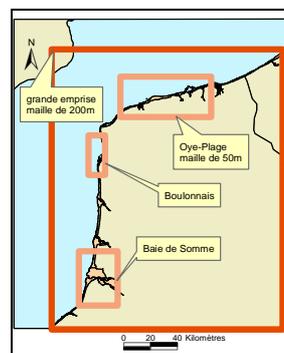


Figure 1 : les quatre modèles du Nord de la France

L'étude

Présentation de l'étude

Le bureau d'étude Royal Hasconing France nous a sollicité pour simuler le rejet du « canal exutoire de Dunkerque » et de voir son impact sur la plage de Malo située à proximité immédiate des jetées du Port de Dunkerque. En effet il semble que cet exutoire soit la source principale d'apport de bactéries contaminant la plage de Malo et responsable de la qualité de la plage.

Un modèle de dispersion est intéressant dans la mesure où il permet de simplifier une situation pour mieux la comprendre. A partir d'une situation de base qui correspond à une observation une condition sera changée pour en observer les conséquences

Nous avons convenu que nous ferons une simulation qui servira de base à notre étude.

Campagne de mesure

Une première simulation cherchera à correspondre à la situation observée le 11 septembre 2004 comme le montre le document reçu par le bureau d'étude et reproduit en annexe.

Une première simulation reproduit les résultats observés sur la plage de Malo le 11 septembre en tenant compte des conditions de vents et de débits observés lors d'une campagne de mesures menée pour les besoins de l'étude et dont le document reçu par le bureau d'étude a été mis en annexe.

Celle-ci correspondent aux conditions limites suivantes :

Marée de faible amplitude (3,50 m)

vent de 14 m.s^{-1} (soit 50 km/h)

le rejet du canal exutoire de $9^{e}11 \text{ E. Coli.m}^{-3}$ périodique pendant les 2 heures précédant la basse mer

un débit constant du canal exutoire seul de $25 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$

Nous observons alors une succession d'arrivée de masse d'eau contaminée sur la plage de Malo à chaque marée haute à des concentrations qui varient entre $1,37 \cdot 10^7$ et $1,94 \cdot 10^7$ E. coli .m⁻³ (soit 1 940 E. coli par 100ml). Le temps de survie des bactéries influe fortement sur les concentrations observées. Sur le graphique ci-dessous (figure 2), deux courbes représentent l'évolution des concentrations en bactéries suivant le T90 (temps que mettent 90 % des bactéries à disparaître). La courbe en rouge correspond à un T90 de 72 heures et la courbe en vert à un T90 de 48 heures.

heure	T90=48h	T90=72h
50	$5,18 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³	$9,27 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³
150	$8,34 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³	$1,91 \cdot 10^7$ E. coli.m ⁻³

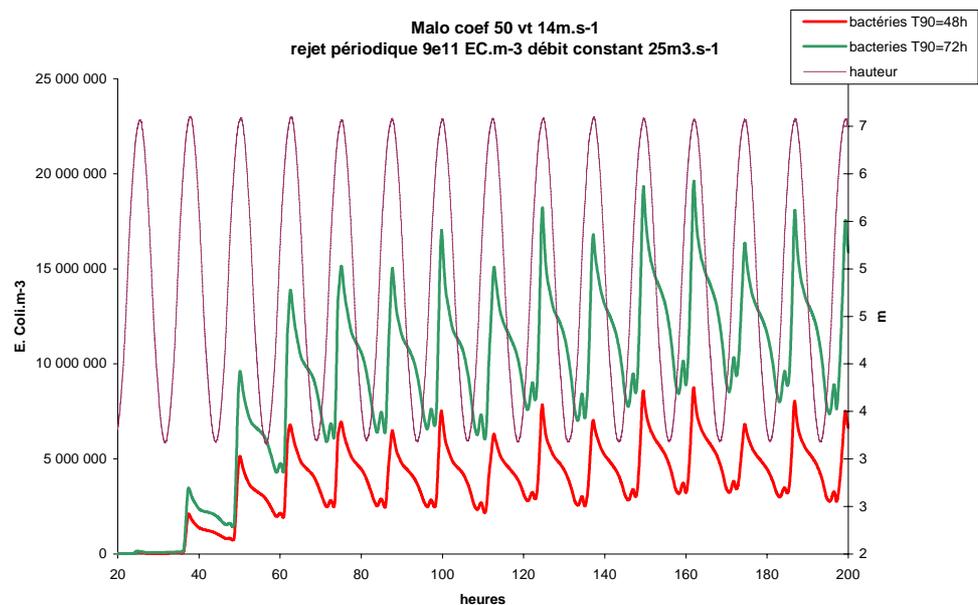


Figure 2 : Concentrations observées sur la plage de Malo reproduisant les analyses du 11 septembre 2004

Des analyses bactériennes ont été faites sur un autre point « la digue du Break » situé à l'ouest du port Est de Dunkerque. La concentration mesurée par le bureau d'étude est de $77 \text{ E. Coli.}100\text{ml}^{-1}$, soit $7,7 \cdot 10^5 \text{ E.coli.m}^{-3}$ et celles données par le modèle sont dans le tableau ci-dessous :

heure	T90=48h	T90=72h
45	$8,08 \cdot 10^5 \text{ E. coli.m}^{-3}$	$1,46 \cdot 10^6 \text{ E. coli.m}^{-3}$
145	$1,72 \cdot 10^6 \text{ E. coli.m}^{-3}$	$3,84 \cdot 10^6 \text{ E. coli.m}^{-3}$

Il faut souligner la grande variabilité des résultats puisque ceux ci varient entre des valeurs nulles et les valeurs maximum en un cycle de marée. En d'autres termes, les résultats sont inférieurs aux valeurs figurant dans ce tableau. On remarquera que le pic de contamination arrive une heure après la basse mer.

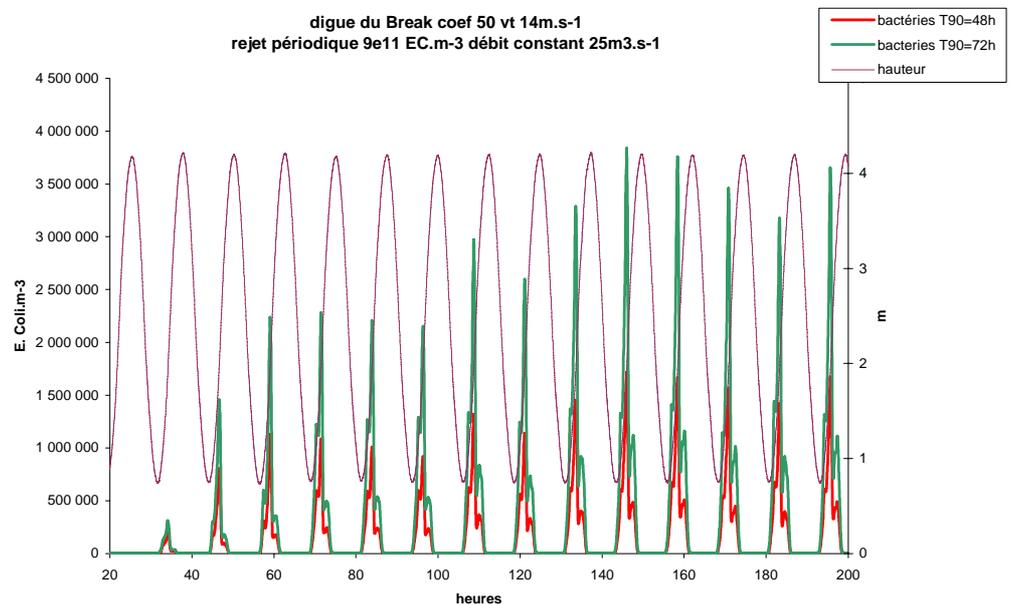


Figure 3 : Concentrations observées sur la digue du Break reproduisant les analyses du 11 septembre 2004

Influence du vent

Dans un deuxième temps nous avons testé l'influence du vent sur la concentration observée sur la plage de Malo les bains. Les courbes de

concentrations sont plus symétriques que lorsque qu'il y a du vent. Les concentrations observées sont les suivantes :

heure	T90=72h
50	$8,03 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³
150	$1,18 \cdot 10^7$ E. coli.m ⁻³

C'est cette simulation qui servira de base aux simulations suivante à laquelle les résultats seront comparés (vent nul, T90 de 72 heures).

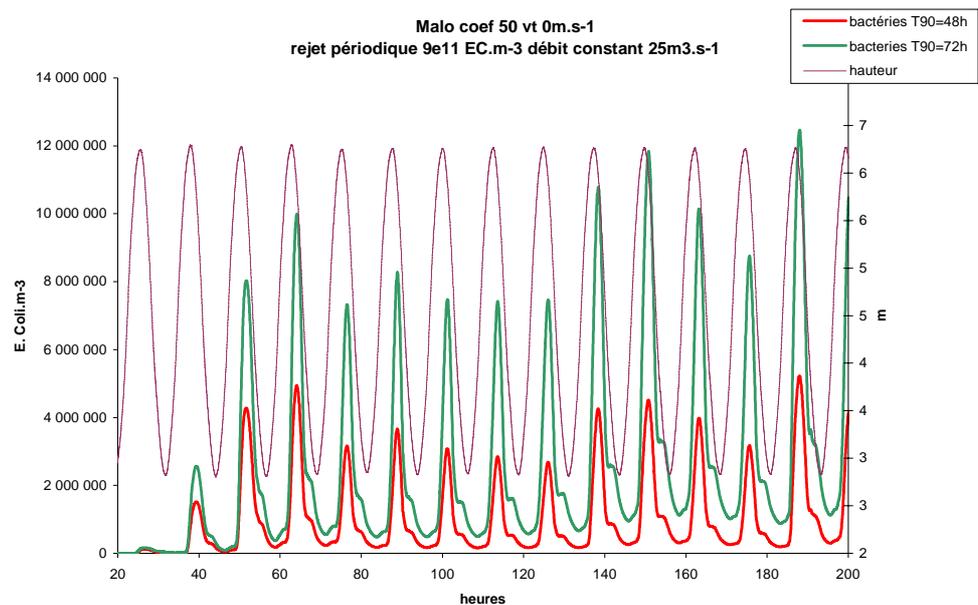


Figure 4 : concentrations observées avec un vent nul

Voici maintenant deux vues du panache du rejet du canal exutoire de Dunkerque par vent nul dans des orientations extrêmes. Nous constatons clairement que le panache n'arrive pas à s'étendre franchement vers l'Ouest lorsque la partie la plus concentrée est poussée en direction de l'avant port Ouest. En revanche on voit distinctement que l'extension vers l'Est est beaucoup plus évidente. Cette différence est due principalement au jeu des courants dans le secteur et illustre bien la dissymétrie de la circulation des

masses d'eau dans ce secteur. Ceci a pour conséquence de protéger les plages situées à l'ouest du port alors que les plages situées à l'est sont sous l'influence du panache. Il faut toutefois préciser que les parties de couleur bleu et vert foncé représentent des zones où les concentrations sont trop faibles pour être détectées par les méthodes actuelle d'analyses bactériologiques.

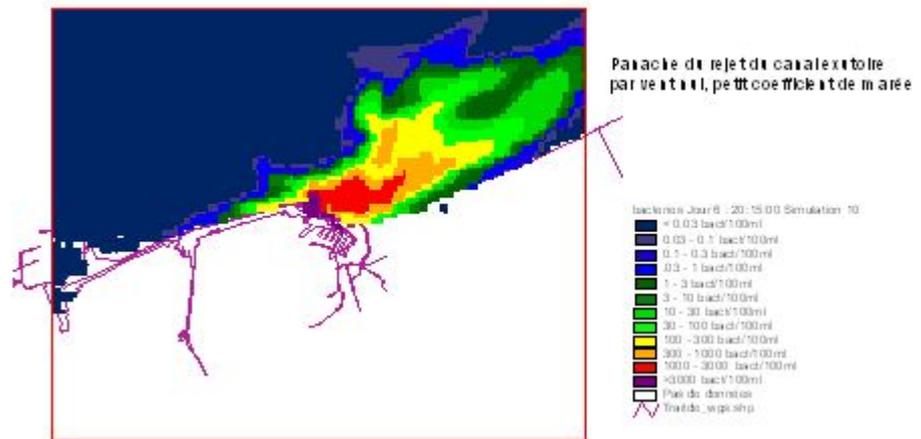


Figure 5 : panache du canal exutoire orienté vers l'Est

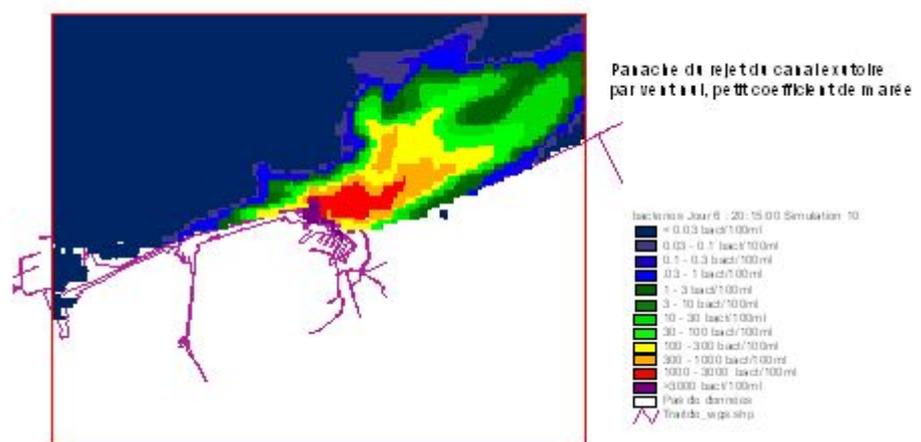


Figure 6 : panache du canal exutoire orienté vers l'Ouest

Linéarité entre concentrations du rejet et sur la plage

La simulation suivante a consisté à comparer la situation sans vent avec un rejet périodique de $9 \cdot 10^{10}$ E. Coli.m⁻³ en conservant un T90 de 72 heures, nous observons les valeurs suivantes sur la plage de Malo les bains :

heure	concentration	simulation de base
50	$8,03 \cdot 10^5$ E. coli.m ⁻³	$8,03 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³
150	$1,18 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³	$1,18 \cdot 10^7$ E. coli.m ⁻³

Nous constatons qu'un rejet dix fois moins important donne une concentration 10 fois moins moindre sur la plage de Malo. Ceci montre bien la linéarité qui existe entre concentration du rejet et concentration observée en tout point du modèle.

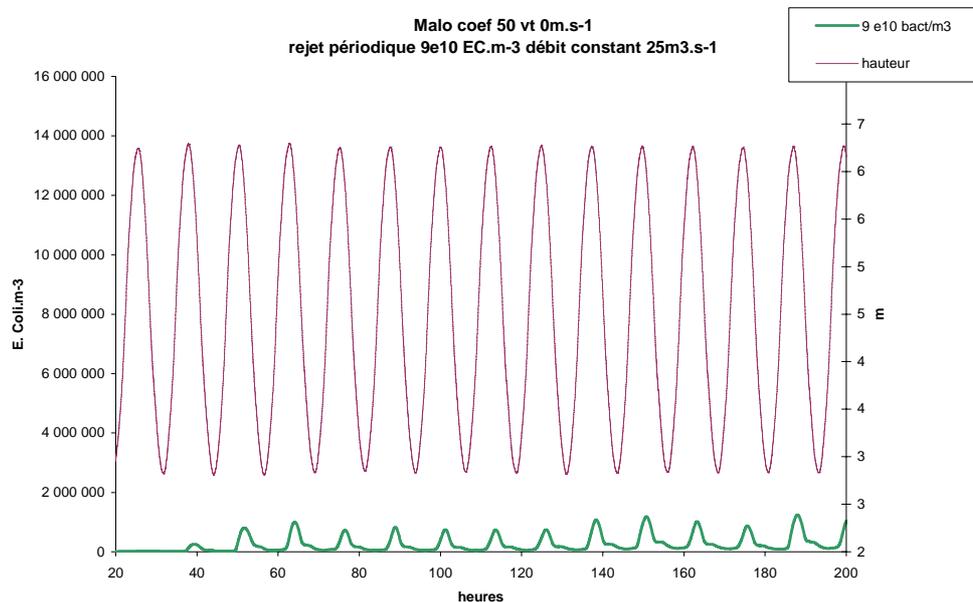


Figure 7 : rejet périodique de $9 \cdot 10^{10}$ E. Coli.m⁻³

Influence de l'heure du lâcher

La simulation suivante porte sur un rejet fait plus tôt dans le cycle de marée en cherchant à bénéficier de la vidange du port. Voici les concentrations observées sur la plage de Malo.

heure	concentration	simulation de base
50	$7,91 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³	$8,03 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³
150	$1,34 \cdot 10^7$ E. coli.m ⁻³	$1,18 \cdot 10^7$ E. coli.m ⁻³

Nous constatons que les valeurs sont tout à fait comparables à la situation de base et que l'heure d'ouverture des portes n'apporte pas de solution à une baisse de concentration. ceci nous amène même à penser que le fait de retenir les bactéries en fond de port présente un intérêt vis à vis de leur mortalité dans la mesure où il y a moins de bactéries à disperser.

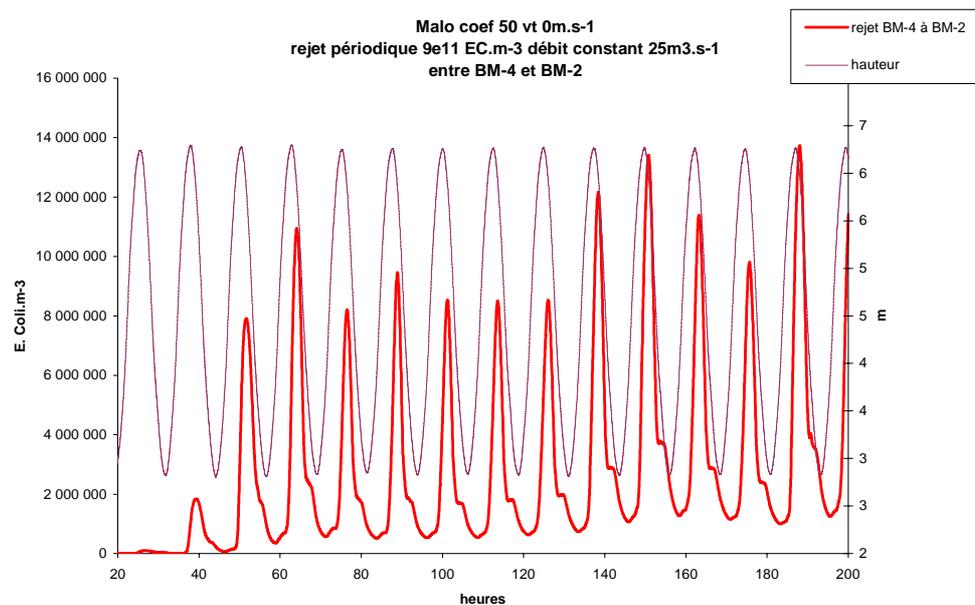


Figure 8 : rejet périodique entre BM-4 et BM-2

Une autre simulation concerne un rejet périodique entre basse mer et basse mer +2 afin de profiter de la période de remplissage du port pendant laquelle les bactéries vont mourir avant de se disperser.

heure	concentration	simulation de base
50	$6,26 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³	$8,03 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³
150	$1,03 \cdot 10^7$ E. coli.m ⁻³	$1,18 \cdot 10^7$ E. coli.m ⁻³

On constate une diminution de la concentration bactérienne mais en faible quantité. On peut estimer cette diminution à environ vingt pour cent dans les premières heures. Cette abatement diminue au cours du temps pour se situer autour de dix pour cent après 150 heures.

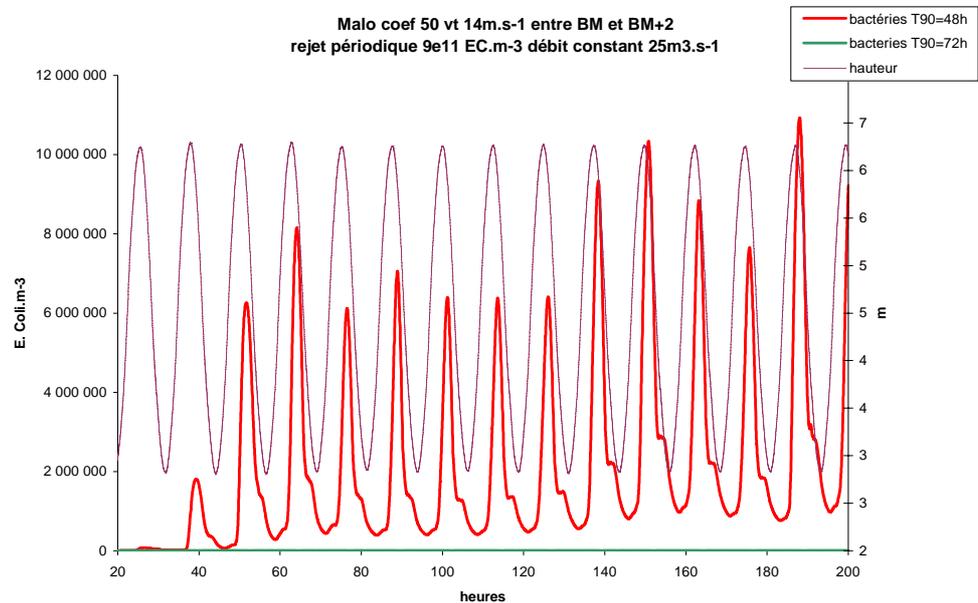


Figure 9 : rejet périodique entre BM et BM+2

Influence du rejet dans l'avant port ouest

Nous avons fait une simulation en mettant le rejet dans l'avant port ouest

Nous avons observé les concentrations suivantes sur la plage de Malo :

heure	concentration	simulation de base
50	0 E. coli.m ⁻³	8,03 10 ⁶ E. coli.m ⁻³
150	5,9710 ⁻² E. coli.m ⁻³	1,18 10 ⁷ E. coli.m ⁻³

Nous constatons que nous n'avons pas de bactéries sur la plage de Malo.

La situation est identique sur la digue du Break avec des valeurs très faibles où le modèle donne 2 bactéries par mètre cube au bout de 180 heures. Il faut toutefois être très prudent car il y a des plages situées à

proximité de l'avant port ouest de Dunkerque et qui pourraient être touchées par le panache du rejet ; sans compter les problèmes liés aux eaux réchauffées par la centrale nucléaire et les conséquences sur le cycle de vie des bactéries qui ne peut pas être modélisé sans précautions

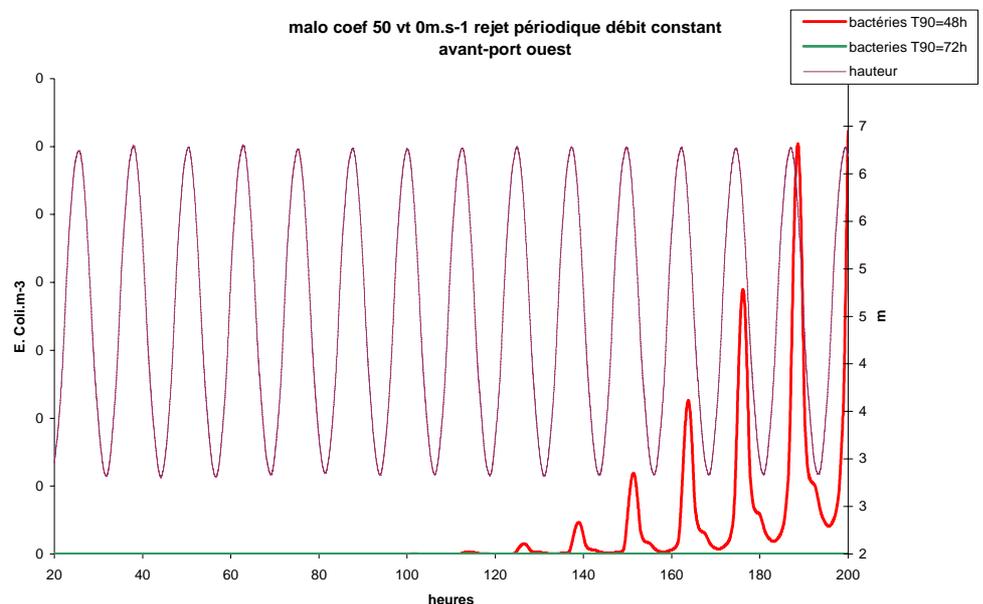


Figure 10 : rejet périodique dans l'avant port ouest

Influence du rejet par un exutoire

Nous avons testé le rejet en imaginant de poser un exutoire au large des jetées du port Est de Dunkerque. Le rejet périodique se fait à marée descendante avec la même concentration de $9 \cdot 10^{11}$ E. Coli.m⁻³. Les concentrations observées sur le plage sont les suivantes :

heure	concentration	simulation de base
50	$1,08 \cdot 10^7$ E. coli.m ⁻³	$8,03 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³
150	$1,15 \cdot 10^7$ E. coli.m ⁻³	$1,18 \cdot 10^7$ E. coli.m ⁻³

Les concentrations observées sur la plage de Malo sont beaucoup moins fluctuantes puisque les valeurs maximales varient entre 1,1 et 1,3 10^7 E.Coli.M⁻³. Nous constatons toutefois que le fait de mettre un exutoire n'apporte pas de solution évidente au problème posé à première vue. On

peut toutefois préciser que le rejet a été mis sans réflexion préalable particulière concernant le moment et le positionnement les plus favorables de rejet afin de profiter au maximum de la dilution du panache en optimisant la dispersion des courants. Cette simulation montre qu'un rejet a des répercussions directes sur la plage située à proximité.

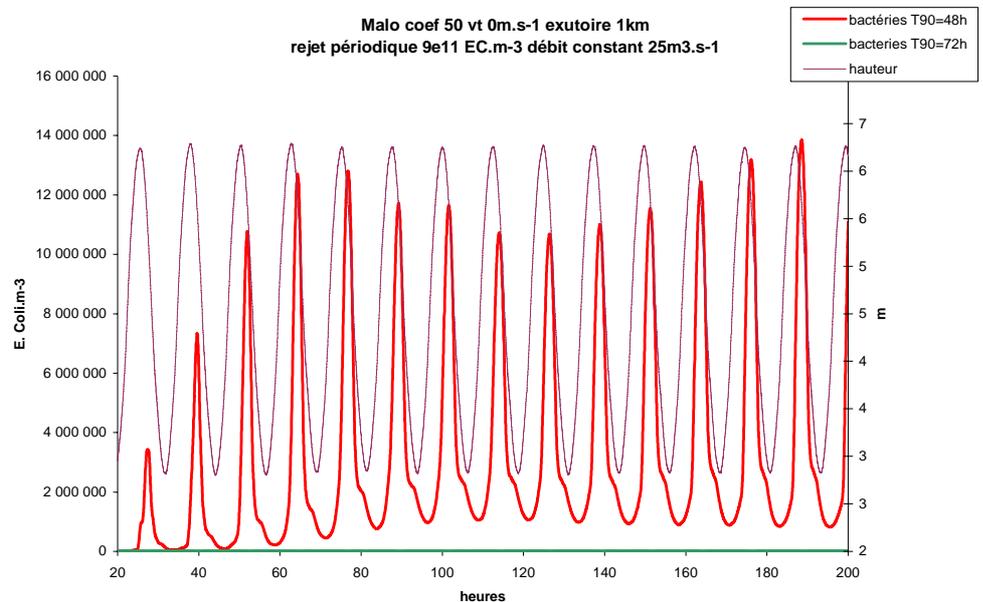


Figure 11 : rejet périodique à partir d'un exutoire positionné au large des jetées du port Est de Dunkerque

En positionnant le rejet encore plus au large à environ 1,5 km des jetées du port est voici les concentrations observées

heure	concentration 1,5km	concentration 1 km	simulation de base
50	$3,54 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³	$1,08 \cdot 10^7$ E. coli.m ⁻³	$8,03 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³
150	$7,67 \cdot 10^6$ E. coli.m ⁻³	$1,15 \cdot 10^7$ E. coli.m ⁻³	$1,18 \cdot 10^7$ E. coli.m ⁻³

Le fait d'éloigner l'exutoire fait chuter la concentration à 354 E. Coli pour 100ml ce qui est encore très important car dégradant fortement la qualité de la plage.

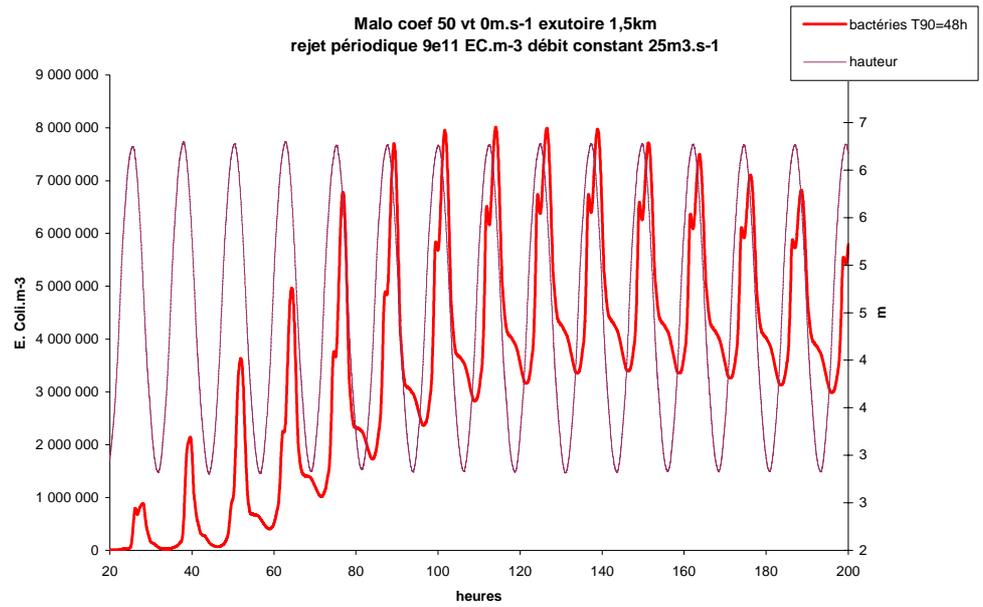


Figure 12 : rejet périodique à partir d'un exutoire positionné très au large des jetées du port Est de Dunkerque

Conclusion

Le premier travail a consisté à reproduire par le modèle les concentrations observées lors de la campagne de mesure du 11 septembre 2004, jour de faible coefficient de marée (40) et avec un fort vent d'ouest 50 km/h). Les concentrations bactériennes obtenues par le modèle sur la plage de Malo sont proches de celles mesurées au cours de la campagne à condition mettre le T90 à 72 heures (durée mise pour diviser le nombre de bactéries par 10 du fait de la mortalité) ; de mettre un débit important ($25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) et de rejeter un nombre élevé de bactéries ($9 \cdot 10^{11} \cdot \text{m}^{-3}$) au canal exutoire.

Dans les conditions ci-dessus, l'abattement bactérien entre le canal exutoire et la plage de Malo est de 5 log ; c'est à dire que la concentration bactérienne est divisée par cent mille entre ces deux endroits.

Par ailleurs, le modèle montre que l'impact du canal exutoire est cinq fois plus important sur la plage de Malo que sur la « digue du Break » autre point de mesure considéré lors de la campagne du 11 septembre 2004. Or la contamination mesurée alors est vingt fois plus importante sur la plage de Malo que sur la digue du Break. Ceci pose la question de savoir si le canal exutoire est la seule source de contamination possible de la plage de Malo.

Dans un deuxième temps, nous avons cherché à voir les conditions pouvant influencer la dispersion du rejet du canal exutoire vis à vis de son impact sur la plage de Malo sachant que l'action la plus efficace est de réduire au maximum la pollution à la source puisqu'il y a linéarité entre concentration et impact un rejet divisé par 10 donnera une concentration dix fois moindre.

Le vent influence la diffusion du panache du canal exutoire sur la plage de Malo. Le vent d'ouest augmente la concentration bactérienne d'environ vingt pour cent. On peut penser que le vent de nord ouest sera encore plus impactant.

La période de rejet par rapport à la marée influence la dispersion. Il est préférable de rejeter pendant les deux heures qui suivent la marée basse que pendant la mi marée descendante.

Déplacer le rejet vers le port ouest supprime tout impact sur la plage de Malo, mais il convient de voir s'il n'y a pas d'inconvénient du fait de la particularité du port (eaux réchauffées à l'ouest, présence de vibrions...) et de conséquences sur les plages de Loon ainsi que de Petit et Grand Fort Philippe.

La dernière possibilité est de construire un exutoire pour rejeter le canal exutoire au large de l'avant port de Dunkerque. Les deux scénarii sont assez décevants dans la mesure où la concentration bactérienne est divisée par deux avec l'exutoire le plus au large.

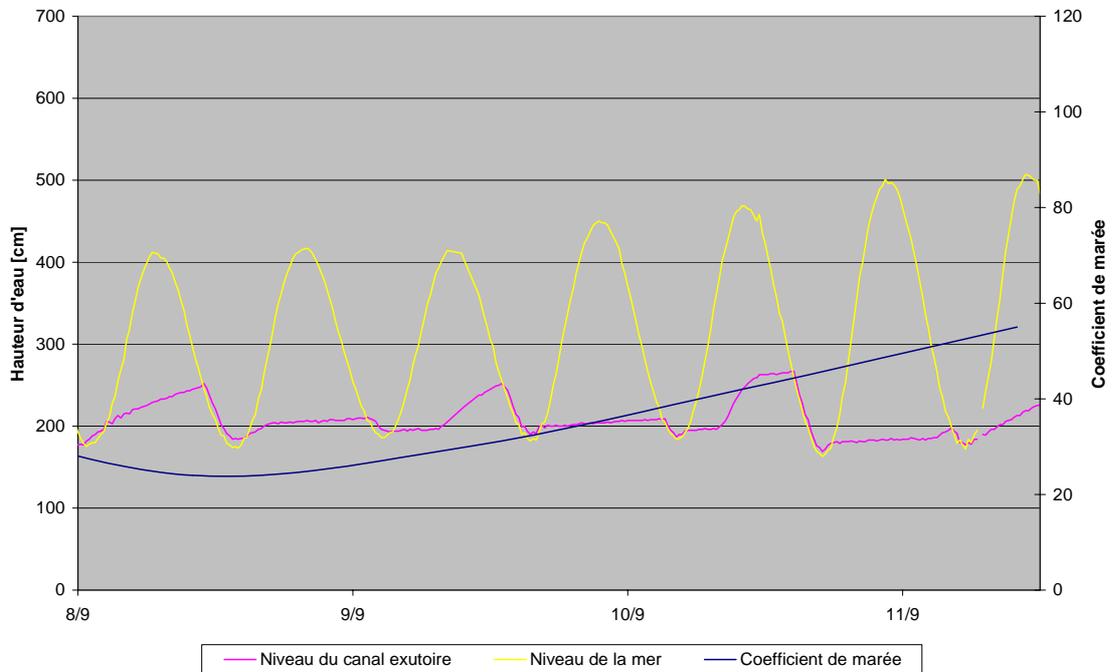
annexes

Pic de pollution bactérienne du 11 septembre 2004

1. Constat

L'échantillon d'eau de mer prélevé le 11 septembre à 7h40 au poste de Malo – Centre de Secours présente une concentration de 1 500 Ecoli / 100 mL.

2. Hydrodynamique



Les marées sont faibles (coefficient de l'ordre de 40). Sur les 6 cycles de marée précédant le pic de pollution, des chasses du canal exutoire ont lieu à chaque marée basse alternant entre amplitude faible et moyenne :

- le 8 septembre entre 11h00 et 14h00 évacuant une hauteur d'eau de l'ordre de 70 cm ;
- le 9 septembre entre 1h15 et 3h15 évacuant une hauteur d'eau de l'ordre de 20 cm ;
- le 9 septembre entre 13h00 et 16h00 évacuant une hauteur d'eau de l'ordre de 60 cm ;
- le 10 septembre entre 3h15 et 4h15 évacuant une hauteur d'eau de l'ordre de 25 cm ;
- le 10 septembre entre 14h30 et 17h00 évacuant une hauteur d'eau de l'ordre de 95 cm ;
- le 11 septembre entre 4h15 et 5h30 évacuant une hauteur d'eau de l'ordre de 20 cm.

On peut considérer des débits de rejet moyens compris entre 2,1 et de 9,8 m³/s.

Le vent qui influence le mouvement des masses d'eau de surface est de secteur ouest avec des vitesses maximales de l'ordre de 50 km/h.

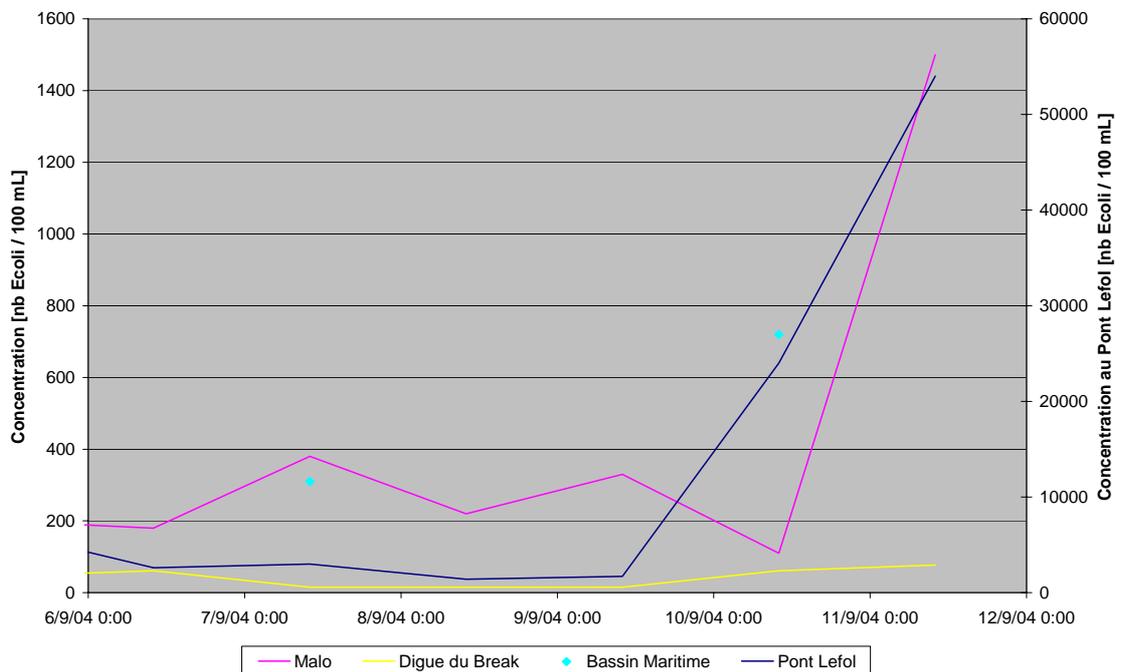
3. Déversement d'eau usée

La pluviométrie sur les 10 jours précédents le pic de pollution bactérienne est nulle.

Les déversoirs d'orage du réseau unitaire n'ont pas déversé durant cette période.

La STEP de Coudekerque-Branche rejette environ 12 500 m³ d'eau épurée (traitement anti-bactérien durant la période balnéaire) par jour ce qui constitue la moyenne de temps sec.

4. Concentrations bactériennes mesurées



Le canal exutoire atteint un pic de concentration bactérienne le 11 avec 54 000 Ecoli / 100 mL. Ce pic poursuit une phase de croissance entamé le 10 (24 000 Ecoli / 100 mL) et qui précède d'une journée celui de Malo alors que la concentration bactérienne est assez forte dans le bassin maritime et faible à la digue du Break.

5. Bilan cartographique

