



NOTE TECHNIQUE

Réparation de l'émissaire de Las Palmas de Canaria. Partie II : simulations de rejet

**Jesús CISNEROS-AGUIRRE¹, Jon VILCHES-SARASATE²,
María D. AFONSO CORREA³, Marc PIEDELEU¹**

1. Département de Physique de l'Université de Las Palmas de Gran Canaria, Espagne.
jcisneros@dfis.ulpgc.es
2. Expert en Ingénierie Côtière et Portuaire. Las Palmas de Gran Canaria, Espagne.
3. Pontho Ingénierie. Las Palmas de Gran Canaria, Espagne.

Résumé :

Initialement, le chantier de réparation de l'émissaire de Las Palmas de Canaria avait été programmé pour réparer l'émissaire sous-marin sans inclure un tronçon diffuseur. Cette note technique sur les simulations des dilutions des rejets associées à différents états de l'émissaire de Las Palmas de Gran Canaria pendant sa réparation, a permis de prouver à l'administration l'utilité d'un tronçon diffuseur. La réussite de cette étude a résidé dans la clarté de la présentation des résultats, de telle sorte que les effets bénéfiques apportés par le tronçon diffuseur ont paru évidents à l'administration malgré les conséquences sur la durée et le budget du chantier. L'obtention d'un tel résultat requiert une connaissance approfondie des spécificités du chantier maritime et de ses aspects théoriques, et nécessite un contact direct et continu avec les responsables de l'administration. Ces deux notes techniques (Partie I et Partie II) montrent un chemin à suivre, selon notre point de vue, par les universités et les centres de recherche, pour augmenter leur utilité directe dans la société.

*Soumis le 29 mars 2011, accepté le 18 juillet 2011, en ligne le 31 décembre 2012.
Version traduite non certifiée, publiée sous la responsabilité des auteurs de la note technique.*

Pour citer la version originale de cet article :

CISNEROS AGUIRRE J., VILCHES SARASATE J., AFONSO CORREA M.D., PIEDELEU M. (2012).
NOTA TÉCNICA - Reparación del emisario de Las Palmas de Gran Canaria. Parte II: simulaciones de vertido. Revue Paralia, Vol. 5, pp 7.1–7.12.

DOI:10.5150/revue-paralia.2012.007 (disponible en ligne – <http://www.paralia.fr> – available online)

1. Introduction

En 2005, le Conseil Insulaire des Eaux de Gran Canaria a décidé la réparation de l'émissaire de Las Palmas de Gran Canaria. L'état de celui-ci depuis sa mise en service en 1992 était lamentable, avec des ruptures, déformations et étranglements de la conduite, déplacements de certains tronçons sectionnés, glissement et perte de stabilisateurs de flottaison et de lests de maintien. Les raisons de cet état et la description des travaux de réparation effectués sont présentés dans la partie I de cette note technique : (CISNEROS AGUIRRE & AFONSO CORREA, 2012).

Dans un premier temps le budget du chantier de réparation est fixé et un appel d'offres est lancé sans inclure de tronçon diffuseur. La réparation se déroule en respectant aussi bien les délais que le budget. Lorsque le chantier était sur le point d'être finalisé, une étude incluant un tronçon diffuseur a été proposée à l'administration dans laquelle une augmentation du budget et des délais de finalisation était prévue (CISNEROS AGUIRRE & AFONSO CORREA, 2012).

Cette étude, réalisée au Département de Physique de l'Université de Las Palmas de Gran Canaria, présentait une synthèse théorique de l'importance du tronçon diffuseur pour augmenter la dilution des rejets, laquelle était justifiée par un résumé des différentes simulations numériques issues d'un modèle de dilution de rejets. Ces simulations correspondaient aux divers états de l'émissaire au cours de sa réparation. De plus, l'étude comportait un plan de travail serré clairement décrit et un budget détaillé. Ces deux éléments ont été essentiels pour justifier devant l'administration les travaux avec un tronçon diffuseur.

Dans cette note technique on discute du travail de modélisation numérique, qui a consisté à simuler trois différentes situations de rejet :

- avec l'émissaire avant de débiter sa réparation,
- avec l'émissaire pendant l'étape finale de sa réparation,
- avec l'émissaire réparé incluant le tronçon diffuseur.

2. Méthodologie

Les simulations ont été réalisées avec le programme informatique CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System) dans sa version 4.1. CORMIX est approuvé par l'USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) pour la simulation des processus de mélange de rejets à la mer. Cet outil est particulièrement utile dans la diminution des effets produits sur le milieu marin par des rejets continus et ponctuels (JIRKA *et al.*, 1996).

La méthodologie de CORMIX permet de simuler pratiquement la totalité des géométries de décharge réalisées, soit à travers une unique embouchure ou avec des tronçons diffuseurs constitués de diverses ouvertures aussi bien immergées que superficielles. De plus, elle permet de prévoir les processus de mélange pour différents types de décharge tels que la saumure d'une usine de dessalement, les résidus solides urbains, la pollution thermique engendrée par des procédés industriels, les eaux

résiduelles urbaines ; et ce, dans divers milieux aquatiques comme les estuaires, les océans, les fleuves peu profonds, etc. (BLENINGER & JIRKA, 2006).

Les principales caractéristiques du programme CORMIX sont les suivantes:

- Une étude hydrodynamique complète est incluse, tant dans le champ proche que éloigné, avec suivi des trajectoires des particules, de la concentration, de la forme, la dilution et la visualisation du panache.
- Les interactions du panache avec les frontières solides sont prises en compte.
- Il prévoit le comportement des courants de densité.
- Il offre une analyse documentée complète comprenant toutes les règles utilisées dans la classification et les conclusions obtenues durant chaque session de travail.
- Il inclut trois types de contaminants traités : conservatifs, non conservatifs et de température.
- Il alerte lorsque le panache de mélange atteint une zone réglementée.
- Il est applicable à des états stationnaires, non-stationnaires et avec courants marins ou de marée.
- Il peut prévoir les panaches atmosphériques en milieu stratifié avec des vitesses du vent dissymétriques.

3. Cas de simulation

CORMIX se compose de plusieurs sous-programmes, DATIN, PARAM, CLASS, HYDRO et SUM, dont chacun a une fonction au sein de CORMIX. DATIN est le module d'entrée des données et initialisation du reste des programmes, PARAM utilise les données d'entrée et calcule les paramètres physiques et les échelles importantes en tant que précurseur du programme suivant, le CLASS qui réalise la classification hydrodynamique de la situation du milieu de la décharge qui lui a été introduite. HYDRO réalise la prédiction numérique détaillée des caractéristiques de l'effluent. SUM, résume les résultats de classification et prédiction, les interprète et suggère des corrections dans la conception du projet. Pour terminer, on a la sortie graphique. La figure 1 présente un cadre résumé du fonctionnement de CORMIX.

Trois cas ont été simulés, correspondant à chacune des trois phases du chantier de réparation :

- Le premier avec les conditions du rejet au commencement du chantier.
- Le deuxième lorsque la première phase du chantier est terminée.
- Le troisième avec l'émissaire complètement réparé, avec le rejet effectué par le tronçon diffuseur selon le projet de construction initial.

Il est nécessaire de noter que les émissaires sont des conduites dont la principale fonction, en plus d'éloigner le rejet de la côte, est d'obtenir la plus grande dilution des substances rejetées. Les émissaires jouent sur le champ proche, de telle façon qu'ils facilitent le plus possible la dilution faite par la mer des substances rejetées et de leur assimilation dans le milieu (ROBERTS *et al.*, 1989a ; ROBERTS *et al.*, 1989b).

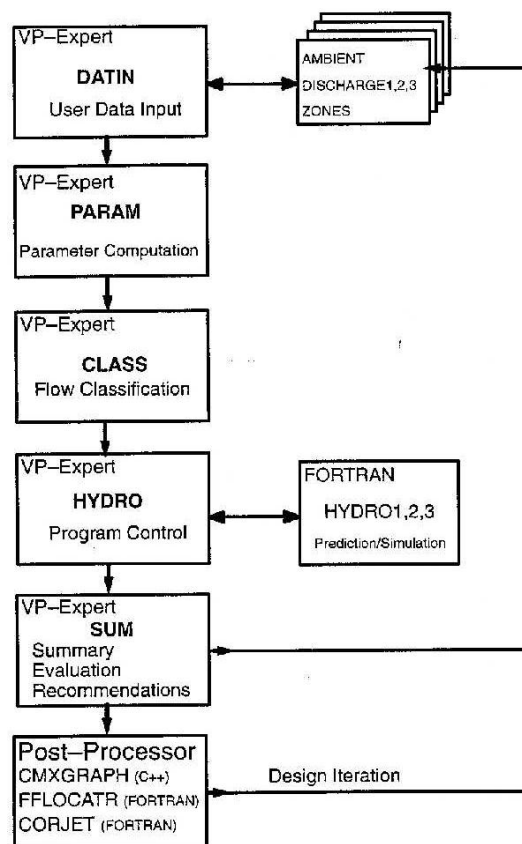


Figure 1. Description du fonctionnement du modèle CORMIX.

La mer possède une grande capacité de dilution et d'assimilation pour la plupart de rejets biodégradables. Cependant, si les concentrations de ces rejets sont trop élevées, et bien que ces substances soient parfaitement assimilables comme c'est le cas pour les rejets urbains, elles empêchent l'assimilation et la dissolution rapide par la mer. En conséquence de ceci, un rejet urbain composé dans sa grande majorité de matières organiques, peut, de par son influence sur la qualité des eaux côtières, se convertir en un problème écologique et sanitaire.

Les simulations réalisées sur trois cas d'étude considèrent un même rejet de référence : avec un flux de 600 l/s, une concentration de 445 mg/l d'un composé conservatif, rejeté dans une eau marine de 1,025 gr/cm³ de masse volumique qui est affectée par un courant vers le sud de 0,3 m/s. Les valeurs de référence caractéristiques du rejet sont approximatifs, ceci sachant que l'administration ne considère pas opportun de publier les données réelles de la qualité et la quantité du rejet (en général, l'administration ne communique pas les données de ce qu'elle rejette à travers un émissaire). Le courant marin dans la zone d'étude est considéré être uniforme. Sa direction et sa vitesse sont celles du courant le plus fort enregistré par un courantomètre ADCP durant les campagnes de terrain qui ont duré seulement quelques jours.

Le travail a dû être réalisé en un temps record pour présenter l'étude à temps pour la modification du budget. Entre les différentes simulations, seules la profondeur et la distance à la côte du point de rejet ont été modifiées. Dans les deux premiers cas le rejet s'effectuerait par une sortie unique. Le troisième cas serait semblable au deuxième pour ce qui est de la profondeur et de la distance à la côte, mais le rejet s'effectuerait par plusieurs bouches de sortie, le tout étant conforme aux caractéristiques du tronçon diffuseur totalement réparé. Dans la simulation du cas 3, les augmentations de la distance à la côte et de la profondeur qu'occasionnerait le tronçon diffuseur, n'ont pas été prises en compte, ceci afin de pouvoir évaluer les effets directement liés au tronçon diffuseur en comparant ces résultats avec ceux issus des simulations propres au cas 2.

Avec le choix d'un composé conservatif pour les simulations, on ne tient compte que de la dilution physique qui est liée aux conditions du milieu récepteur et à celles du rejet. De cette façon on ne prend pas en considération la capacité de la mer à assimiler et incorporer dans ses chaînes trophiques les substances non-conservatives, comme les nitrates, le carbone organique particulaire, le carbone organique dissout, les bactéries, etc. ... Pour prendre en compte ces facteurs une étude approfondie de la zone de rejet aurait été nécessaire.

Trois simulations ont été réalisées pour les trois cas prévus durant les phases du chantier.

Cas 1 : Rejet avec rupture de l'émissaire à 1810 m de la côte et à 35 m de profondeur.

Cas2 : Rejet par une bouche unique à 2000 m de la côte et à 42 de profondeur.

Cas 3 : Rejet par 20 diffuseurs dans les 126 derniers mètres de l'émissaire, à 2000 m de la côte et à 42 m de profondeur.

Le cas 1 correspond au rejet de l'émissaire avec la rupture initiale. Dans le cas 2 on considère la simulation avec le rejet après la première phase de réparation, c'est-à-dire avec une bouche unique de sortie. Le cas 3 représente la simulation de rejet avec le tronçon diffuseur tel qu'il était prévu lors du projet initial, avec 20 diffuseurs de 180 mm de diamètre espacés tous les 6 m.

4. Résultats

La figure 2 est une photographie aérienne sur laquelle on peut apprécier le panache en surface du rejet après la rupture de l'émissaire, ce qui correspond sensiblement au cas 1 des simulations. La conduite sur le fond est indiquée par une ligne. Les résultats du modèle montrent que le rejet affleure en surface avec une concentration de 3,62 mg/l et avec un très petite dérive horizontale par rapport au point de rejet au fond. Les valeurs de la concentration sur les arcs de cercles concentriques correspondent aux distances de 0, 140, 240 et 320 m à partir du point d'affleurement du rejet.

Ce rejet atteint la surface en créant localement une surélévation. Elle engendre un courant de gravité dont le champ de gradients de pression est tellement élevé que le panache se disperse à contre-courant sur plusieurs centaines de mètres (voir figure. 2).

L'advection provoquée par le courant océanique commence à prédominer sur la dilution à une distance de 300 m à partir du point de rejet en déformant le panache superficiel en direction du Sud. Ceci donne une idée claire de l'effet défavorable produit par le rejet d'une grande quantité d'eaux résiduelles à travers un point unique de rejet.

Il est important de noter que la photographie peut ne pas correspondre à la situation exacte de la simulation, car on ne connaît ni les conditions de rejet ni de courant au moment de la prise. Cependant, cette photographie correspond aux conditions normales de rejet. En effet, l'extension du panache à contre-courant sur plusieurs centaines de mètres a été vérifiée durant la réalisation du chantier. Le modèle décrit la dilution en surface du rejet, mais en raison de ses limitations, il ne peut pas représenter précisément l'extension du panache, ni son évolution.

La figure 3 montre une sortie graphique du modèle numérique qui correspond à un profil vertical aligné sur la direction Nord-Sud du courant. Les concentrations du rejet sont représentées par une échelle de couleurs. On peut observer comment le panache monte vers la surface presque verticalement, avec peu d'effet de la part du courant.



Figure 2. Photographie du secteur du rejet, avec des valeurs de la concentration en surface au point de rejet et à 140, 240, et 320 m de ce point (valeurs en mg/l).

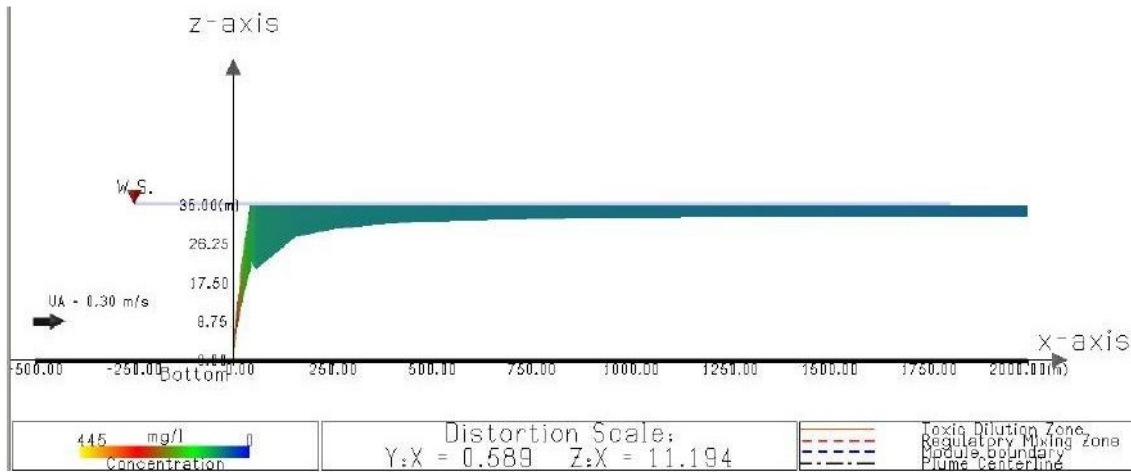


Figure 3. Simulation du rejet à travers une bouche unique selon le cas 1 (profondeur de 35 m, distance à la côte de 1810 m), avec une concentration initiale de 445 mg/l de substance conservatrice et un courant de 0,3 m/s.

La profondeur de la décharge est un paramètre important agissant dans la dilution d'un rejet et pour cette raison quand la profondeur augmente, la dilution augmente aussi, le rejet a un parcours plus important dans la colonne d'eau et se dilue davantage. Ainsi après l'achèvement de la première phase de réparation avec un rejet à travers une bouche unique située à 42 m de profondeur et à 2000 m de la ligne de côte (cas 2 des simulations), on obtient une dilution au point d'émergence du panache à la surface de l'eau, 1.45 fois supérieure à celle correspondant au cas 1. La concentration dans ce point d'émergence a une valeur de 2,50 mg/l (voir tableau 1). Les résultats du cas 2 (figure 4) gardent une forte similitude avec ceux correspondant au cas 1 (figure 3).

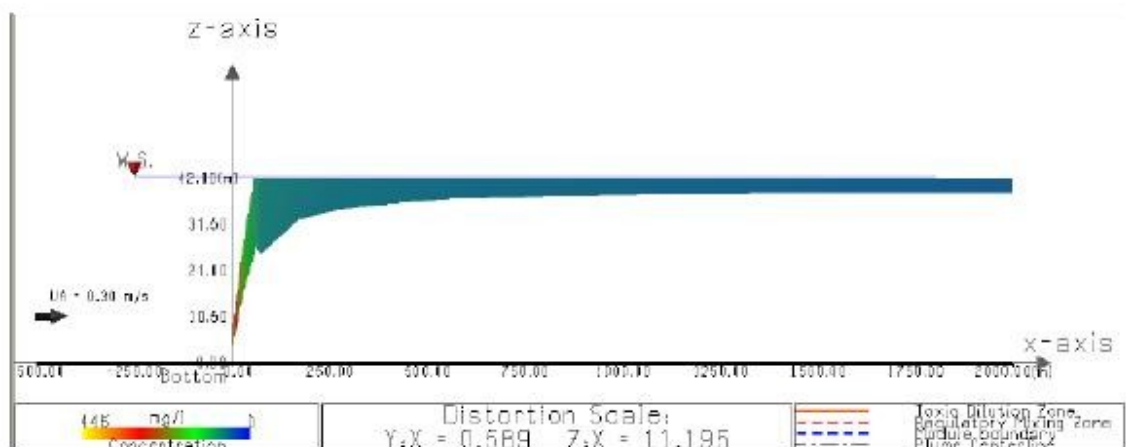


Figure 4. Simulation du rejet à travers une bouche unique selon le cas 2 (profondeur de 42 m, distance à la côte de 2000 m), avec une concentration initiale de 445 mg/l de substance conservatrice et un courant de 0,3 m/s.

Dans ce cas 2, par rapport au cas 1, la dilution est améliorée et la décharge est éloignée de la côte. Une conséquence de ces modifications est que les concentrations sur la côte sont plus faibles. On observe en effet une amélioration de la qualité de l'eau près de la côte, mais celle-ci n'est pas complètement satisfaisante.

4.1 Effets sur le champ proche

Le segment de diffusion est de 126 mètres de long et comporte 20 bouches de 180 mm de diamètre. Ces bouches d'axe horizontal sont situées sur les deux côtés de la conduite en alternance, ce qui a plusieurs effets sur le panache de sortie qui se développe vers le haut de la colonne d'eau. Les processus qui se produisent dans le champ proche ont été discutés dans FISHER et al. (1979), BROOKS (1983), JIRKA & LEE (1994), BAUMGARTNER *et al.* (1993), et ROBERTS *et al.* (1989a ; 1989b ; 1989c). La séparation de l'effluent en 20 parties augmente la surface d'interface entre l'eau rejetée et l'eau marine faisant en sorte que l'efficacité du mélange soit fortement améliorée.

Le panache de chaque rejet individuel incorpore une quantité d'eau environnante pendant son ascension, il en résulte que la somme de l'eau marine intégrée dans le panache global sera beaucoup plus élevée que si le rejet s'effectuait par une bouche unique. Cette absorption rapide de l'eau de mer entraîne une diminution de la différence de densité entre l'eau mélangée du panache et l'eau de mer, qui à son tour provoque une diminution de la vitesse ascensionnelle du panache.

Dans le cas 3 le panache du rejet atteint la surface avec une concentration de 0,321 mg/l (tableau 1), qui est 11,3 fois plus diluée que dans le cas 1 et 7,78 fois plus que dans le cas 2. La figure 5 présente une sortie graphique du modèle de dilution où on peut observer que le panache monte lentement en même temps qu'il est entraîné par le courant vers le sud (BLUMBERG *et al.*, 1996 ; ZIELKE & MAYERLE, 1999 ; BLENINGER & JIRKA, 2006).

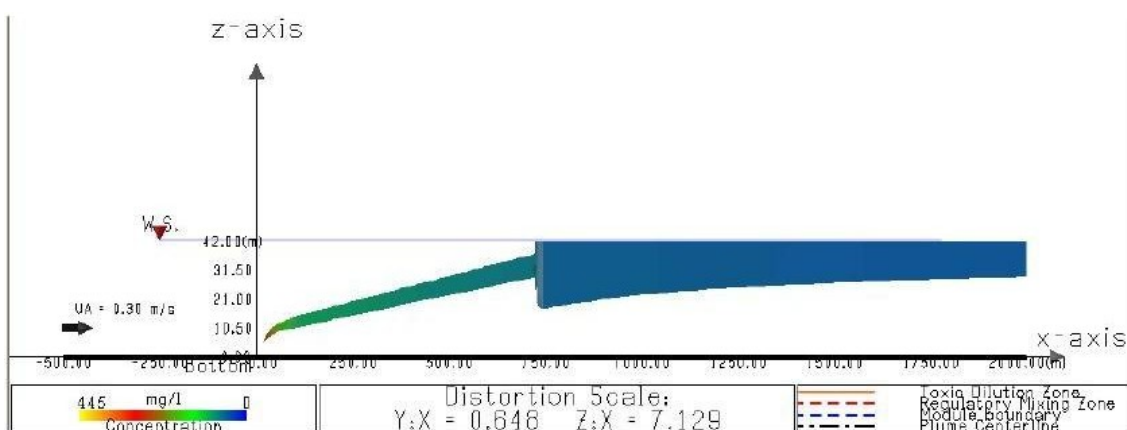


Figure 5. Simulation du rejet selon le cas 3 (profondeur de 42 m, distance à la côte de 2000 m et rejet à travers 20 bouches de sortie d'un diffuseur long de 26 m), avec une concentration initiale de 445 mg/l de substance conservatrice et un courant de 0,3 m/s.

Toujours selon les simulations, le rejet émergerait à environ 750 mètres en aval du courant, avec une taille du panache beaucoup plus grande que lors des simulations liées aux deux cas précédents. Cela indique clairement que le diffuseur a une forte influence sur la décharge et fait augmenter significativement les dimensions du panache, ce qui est caractéristique d'un mélange beaucoup plus performant.

4.2 Effets sur le champ lointain

D'une façon générale, plus la taille d'un panache est grande dans le champ lointain, meilleure est la dilution d'un rejet donné. Pour cette raison, il est très important d'avoir une dimension du panache aussi grande que possible.

Un arrêté de l'état espagnol du 13 juillet 1993 (BOE -Boletín Oficial del Estado-, 1993) recommande l'utilisation d'une expression pour le calcul du coefficient de dispersion horizontale dans le sens transversal à l'axe des panaches des émissaires qui s'écrit : $K_y(m^2/s) = 3 \times 10^{-5} \times B^{4/3}$, où B est la largeur initiale du panache en mètres.

La taille du panache atteignant la surface pour les émissaires complètement réparés avec diffuseurs (cas 3), est environ 10 fois plus élevée que pour le rejet avec l'émissaire cassé avant réparations (cas 1) et environ 7 fois plus élevée que pour la décharge avec un émissaire partiellement réparé sans diffuseur (cas 2).

5. Résumé des simulations

Les dilutions au point d'émergence du rejet sont de l'ordre de 10 et de 8 moins importantes dans les cas 1 et 2, si l'on compare leurs résultats avec ceux du cas 3 qui correspond à l'émissaire réparé comprenant la section du diffuseur. Cette dilution initiale en surface qui est beaucoup plus élevée pour le cas 3 fait que la taille de la superficie du panache est aussi plus grande dans ce cas. Ceci s'accompagne d'une amélioration supplémentaire de la dilution dans le champ lointain.

Les résultats des calculs de dilution prouvent l'intérêt de réparer l'émissaire sur toute sa longueur, avec la section du diffuseur comme préconisé dans projet de construction (ZHANG, 1995).

Tableau 1. Récapitulatif des résultats relatifs à la dilution correspondant aux simulations des 3 cas de rejet étudiés.

<i>Distance en aval du courant à partir du point d'émergence du rejet</i>	<i>Cas 1 Emissaire brisé, rejet à 35 m de profondeur</i>	<i>Cas 2 Bouche unique, rejet à 42 m de profondeur</i>	<i>Cas 3 Multi-diffuseur, rejet à 42 m de profondeur</i>
	<i>Concentration (mg/l)</i>	<i>Concentration (mg/l)</i>	<i>Concentration (mg/l)</i>
<i>0 m</i>	<i>3,62</i>	<i>2,50</i>	<i>0,321</i>
<i>140 m</i>	<i>1,64</i>	<i>1,18</i>	<i>0,213</i>
<i>240 m</i>	<i>1,48</i>	<i>1,07</i>	<i>0,207</i>
<i>320 m</i>	<i>1,42</i>	<i>1,02</i>	<i>0,203</i>

6. Conclusions

L'utilisation de modèles numériques en ingénierie est de plus en plus répandue, et d'une manière plus particulière pour aborder les problèmes du génie côtier. Il faut dire que malgré les progrès importants dont ils ont bénéficié, ces outils sont encore loin de représenter pleinement la réalité d'un processus. L'exemple d'application présenté dans cette note technique est clair à ce propos. En effet, le modèle ne peut pas simuler exactement la taille du panache en surface et ne donne qu'une indication de la dilution au point d'émergence du rejet.

Chaque modèle a un domaine de validité limité qui doit être connu par ses utilisateurs. Pour qu'un modèle fournisse des résultats fiables, un étalonnage avec des données de terrain de bonne qualité, est nécessaire (ZHANG 1995 ; ZHANG & ADAMS, 1999). Pour cette raison les campagnes de mesure sur le terrain doivent être conçues et réalisées de manière à ce que les données d'entrée et de calibration du modèle soient aussi précises que possible.

Les limitations du modèle CORMIX utilisé dans cette étude sont importantes, par exemple on peut indiquer que ce modèle considère toujours une vitesse d'écoulement unique sur toute la colonne d'eau. Cependant, si ce modèle est bien ajusté et si les données d'entrée sont de qualité, il devient un outil de gestion puissant et fiable.

Dans cette étude, le modèle a permis de démontrer les améliorations qui peuvent être apportées à la dilution par l'installation d'un multi-diffuseur. Le modèle a été utilisé pour comparer trois cas possibles, à première vue similaires, entre lesquels la principale différence réside dans la façon dont le rejet s'effectue tous les paramètres environnementaux restant constants.

La figure 6 montre une photographie aérienne de la zone de rejet prise après la réparation complète de l'émissaire incluant le multi-diffuseur. Le composé rejeté est entraîné par l'écoulement depuis le diffuseur pour créer un panache en forme de sillage avec une concentration en surface bien inférieure à celle du rejet au fond.

Des observations *in situ* après la fin des travaux de réparation ont montré que la décharge émerge beaucoup moins violemment qu'auparavant et que le rejet est emporté par le courant depuis les points de sortie du multi-diffuseur. L'odeur et la couleur de l'eau se sont améliorées et la taille du panache en surface a augmenté considérablement, mais ce panache est moins perceptible car il s'agit d'un rejet très dilué.



Figure 6. Vue aérienne du rejet avec l'émissaire réparé muni d'un multi-diffuseur.

7. Références bibliographiques

- BAUMGARTNER D.J., FRICK W.E., ROBERTS P.J.W. (1993). *Dilution models for effluent discharges*. Report No. EPA/600/R-93/139.
- BLENINGER T., JIRKA G.H. (2006). *Near and far-field model coupling methodology for wastewaters discharges*. Institute for Hydromechanics, University of Karlsruhe, Germany.
- BLUMBERG A.F., JI Z.G., ZIEGLER C.K. (1996). *Modeling outfall plume behaviour using far field circulation model*. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 122, n° 11, pp 610-616. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1996)122:11(610)
- BOE -Boletín Oficial del Estado- (1993). *Orden de 13 de julio de 1993 por la que se aprueba la instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar*. M. de Obras Públicas y Transportes, BOE n° 178 de 27/7/1993, pp 22861-22876, [URL <http://www.boe.es/boe/dias/1993/07/27/pdfs/A22861-22876.pdf>]
- BROOKS N.H. (1983). *Dispersion in hydrologic and coastal environments*. Environmental Protection Agency. Springfield, Virginia, NTIS, 141 p. PB-226980.
- CISNEROS AGUIRRE J., AFONSO CORREA M.D. (2012). *NOTA TÉCNICA - Reparación del emisario de Las Palmas de Gran Canaria. Parte I: descripción de los trabajos*. Revue Paralia. Vol. 5, pp 6.1-6.20. doi:10.5150/revue-paralia.2012.006
- FISHER H.B., LIST E.J., KOH R.C.Y., IMBERGER J., BROOKS N.H. (1979). *Mixing in inland and coastal waters*, Academic Press, New York.

JIRKA G.H., LEE J.H.-W. (1994). *Waste disposal in the Ocean*, in Water Quality and its Control, M. Hino (ed.), Balkema, Rotterdam.

JIRKA G.H., DONEKER R.L., HINTON S.W. (1996). *User's manual for CORMIX: A hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters*. U.S. Environmental Protection Agency, Tech. Rep., Environmental Research Lab, Athens, Georgia, USA.

ROBERTS P.J.W., SNYDER W.H., BAUMGARTNER D.J. (1989a). *Ocean outfalls I, Submerged wastefield formation*. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 115, pp 1-25. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1989)115:1(1)

ROBERTS P.J.W., SNYDER W.H., BAUMGARTNER D.J. (1989b). *Ocean outfalls II, Spatial evolution of submerged wastefield*. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 115, pp 26-48. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1989)115:1(26)

ROBERTS P.J.W., SNYDER W.H., BAUMGARTNER D.J. (1989c). *Ocean outfalls III, Effect of diffuser design on submerged wastefield*. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 115, pp 49-70. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1989)115:1(49)

ZHANG X.-Y. (1995). *Ocean outfall modeling - Interfacing near and far field models with particle tracking method*. Dissertation thesis, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA.

ZHANG X.-Y., ADAMS E.E. (1999). *Prediction of near field plume characteristics using far field circulation model*. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 125, n° 3, pp 233-241. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:3(233)

ZIELKE W., MAYERLE R. (1999). *Küstengewässer*, in: Numerische Modelle von Flüssen, Seen und Küstengewässer, W. Zielke [Hrsg.], DVWK Schriften 127, Bonn.