



NOTE TECHNIQUE

## **Réparation de l'émissaire de Las Palmas de Gran Canaria. Partie I : description des travaux**

**Jesús CISNEROS AGUIRRE<sup>1</sup>, María D. AFONSO CORREA<sup>2</sup>**

1. Departamento de Física de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.  
*jcisnerosaguirre@gmail.com*
2. Pontho Ingeniería. Las Palmas de Gran Canaria, España.

### **Résumé :**

La réparation de l'émissaire de Las Palmas de Gran Canaria est un cas d'école pour l'ingénierie de ce type de travaux, autant par ses défauts au moment de sa construction que pour la réalisation de sa réparation. Pour plusieurs raisons jusqu'à maintenant, la construction d'émissaires a été considérée comme une activité secondaire et pour cela la conception et l'exécution ont été menées avec très peu d'attention. Ce constat, ajouté à la déficience chronique de l'épuration des eaux résiduelles et industrielles, fait que les eaux côtières espagnoles et européennes souffrent de la présence continue de déchets avec une épuration très inefficace et une dilution minimale. Dans cette note technique, nous décrivons d'abord les carences de l'émissaire étudié, puis les solutions possibles pour sa réparation et enfin la solution adoptée pour la réparation partielle prévue, qui n'inclut de tronçon diffuseur. La réparation partielle étant maintenant en cours, nous avons proposé de la compléter en y incluant un tronçon diffuseur. Tout l'intérêt de la réparation avec ce dernier élément a été justifié à l'aide d'une simulation numérique, qui est décrite dans la partie II de cette note technique. Ce complément d'étude numérique a permis de convaincre l'administration et a contribué à l'augmentation du budget pour l'exécution du chantier.

*Soumis le 10 janvier 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., 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 (disponible en ligne – <http://www.paralia.fr> – available online)

## **1. Introduction**

Nous sommes, pour la plupart des pays européens, bien loin de pouvoir traiter la quantité sans cesse croissante des eaux résiduelles qui sont générées dans les sites urbains côtiers et la seule possibilité efficace qui reste, est de déverser ces eaux résiduelles à la mer après différents niveaux de traitement (LUDWIG, 1976).

Dans la majorité des cas, les rejets se réalisent à travers d'émissaires sous-marins, dont les fonctions ne sont autres que d'éloigner les déchets de la côte et faire en sorte d'obtenir la plus grande dilution possible de ces rejets pour en faciliter l'assimilation par la mer (HYDROSCIENCE INC, 1974 ; JIRKA & LEE, 1994 ; REIFF, 1990).

Depuis relativement peu de temps, l'Espagne a commencé à donner à ce type de travaux l'importance qu'ils méritent. Loin d'être un travail facile, comme on pourrait le penser à première vue, il comporte de nombreuses particularités qui rendent sa réalisation très délicate. La négligence dans la réalisation de ces travaux et la surveillance quasi nulle de ceux-ci au cours des années, ont fait que la situation des émissaires sous-marins sur nos côtes présente un panorama des plus désolants.

Ainsi, la réparation d'émissaires sous-marins est un travail d'ingénierie maritime, qui est désormais réalisé couramment sur nos côtes, créant d'innombrables complications.

Le chantier pour la construction de l'émissaire de Las Palmas de Gran Canaria a commencé en 1992. Comme mentionné et rapporté dans des travaux antérieurs (voir la section 2 de cette note technique), une série de difficultés est apparue durant sa réalisation, amenant à un résultat final qui se différenciait du projet initial.

La tranchée prévue dans le projet dans laquelle l'émissaire devait être positionné pour ensuite être recouvert, représentait une protection particulièrement nécessaire qui n'a pas été réalisée. Pour cette raison l'émissaire est resté exposé aux mouillages de bateaux de grand tonnage qui ont pour habitude de chercher une protection proche de l'embouchure du port de Las Palmas de Gran Canaria. En cas d'accrochages de l'émissaire durant l'ancrage, une fois en mouillage, ou pendant la manœuvre d'appareillage, ceux-ci peuvent provoquer facilement des désordres sur la conduite, comme ceux que présentait l'émissaire étudié. Sur la figure 1, on peut situer l'émissaire au niveau de l'embouchure du port de Las Palmas de Gran Canaria.

En 2005, la conduite présentait un état lamentable, avec des ruptures et des déplacements de tronçons sectionnés, des glissements et une perte de poids-morts de flottaison et de fixation, ainsi que des déformations et étranglements sur toute sa longueur.

Le Conseil Insulaire des Eaux de Gran Canaria (Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria) a procédé à la reconstruction de l'émissaire cette même année en deux phases. La première, consistait en une restauration de la conduite jusqu'à la zone des diffuseurs. Considérant l'expérience dans la zone de travail, l'état de la mer en ce point de Gran Canaria, la profondeur (variant entre 35 et 45 mètres) et les difficultés rencontrées par l'entreprise de construction de l'émissaire en 1992, il a été décidé d'entreprendre le

chantier, avec des outils sous-marins usuels, nécessitant peu d'assistance depuis la surface. Ceci obligeait d'une part à programmer la journée de travail exhaustivement, sachant qu'à de telles profondeurs, le temps de réalisation effectif dans le fond pour chaque plongeur avoisine les 20-25 minutes maximum par jour et, d'autre part à être préparés pour modifier à chaque moment le plan de travail en fonction de l'évolution des travaux dans chaque rotation de plongée.

Le savoir-faire de l'entreprise de travaux sous-marins GRAU S.L., de la direction de chantier de la part du Conseil Insulaire des Eaux de Gran Canaria et de l'assistance technique, a été déterminant dans l'exécution de la première phase, de telle façon que les travaux ont été terminés dans les délais et avec le budget prévu.

Dès lors, le démarrage de la deuxième phase, a été proposé au Conseil Insulaire des Eaux de Gran Canaria ; elle inclut la réparation complète comprenant le tronçon diffuseur. Pour cela, une étude de la dilution à l'aide d'un modèle numérique (CORMIX) et une campagne de terrain ont été réalisées. Différentes situations de rejet ont été considérées à savoir (i) avec l'émissaire non réparé, (ii) avec l'émissaire réparé jusqu'au tronçon diffuseur et (iii) avec le conduit réparé y compris le tronçon diffuseur (CISNEROS AGUIRRE *et al.*, 2012).

Le résultat de l'étude était clairement probant quant à l'amélioration obtenue dans la dilution du rejet si cela se faisait à travers des diffuseurs, comparativement à la solution avec la dilution qui était obtenue avec le rejet par une sortie unique en bout de conduite comme prévu initialement.

Le Conseil Insulaire des Eaux de Gran Canaria a pris acte que cela ne supposait pas une augmentation importante du budget par rapport au projet initial et a constaté que les résultats de l'étude des dilutions étaient concluants. Il a finalement donné le feu vert à la réalisation de cette deuxième phase avec l'inclusion du tronçon diffuseur.

## **2. Historique**

La construction de l'émissaire de Las Palmas de Gran Canaria a commencé en 1992, réalisée par une entreprise norvégienne qui s'est déplacée spécialement à Gran Canaria pour l'exécution de ce chantier. Cette entreprise avait remporté le concours d'attribution, car elle s'engageait à réaliser les travaux en 3 mois et demi et ce, pour environ 200 millions de pesetas. Cette offre était de loin la plus compétitive comparée aux propositions faites par les entreprises locales de travaux sous-marins, qui estimaient la durée du chantier à environ 2 ans.

Une fois la construction de l'ouvrage attribuée, l'entreprise norvégienne a commencé les travaux et a progressivement augmenté le délai et le budget pour finalement abandonner le chantier 3 ans plus tard sans l'avoir terminé et en ayant dépensé plus que le budget initial.

Finalement, la décision prise fût d'engager une entreprise locale pour finir le travail, elle termina la construction sans respecter ni les plans, ni le procédé d'exécution, ni la

qualité du projet initial. La conséquence la plus importante a été que la tranchée de protection de la conduite ne fut pas réalisée.

L'entreprise locale disposait d'un bon matériel mais ignorait la réalité de la zone de travail et sa stratégie d'exécution n'était pas adéquate. L'entreprise disposait et avait confiance dans ses matériels lourds de surface comme des pontons avec grues, des compresseurs, des matériels de plongée reliés à la surface, des pelleteuses sous-marines, etc.

Ce matériel de surface est très efficace lorsque la mer est calme, ce qui est particulièrement rare dans la zone de Las Palmas de Gran Canaria. En conséquence avec ce type de matériel, les jours de travail utiles par mois furent très limités. D'autre part, la méconnaissance de la qualité des fonds marins où devait se faire le dragage pour la réalisation de la tranchée abritant la conduite, a été déterminante dans l'échec de sa construction.

Le résultat de tous ces facteurs conjugués a été que, seulement 4 jours de travail utiles ont pu être obtenus par mois. Et ces inconvénients cumulés ont fait que 5 ans plus tard et avec un budget bien supérieur à l'initial, (1) les stabilisateurs de flottaison et de lests de maintien de l'émissaire sous-marin étaient fortement déficients, (2) que ce dernier n'était pas ensouillé correctement comme prévu et (3) que la conduite restait sans dispositif de protection. Il est à souligner que l'émissaire se trouve dans une zone de mouillage des bateaux du Port de Las Palmas de Gran Canaria et que, son positionnement dans une tranchée recouverte, représentait une protection primordiale dans cette zone (Voir fig. 1), (LUDWIG, 1988).

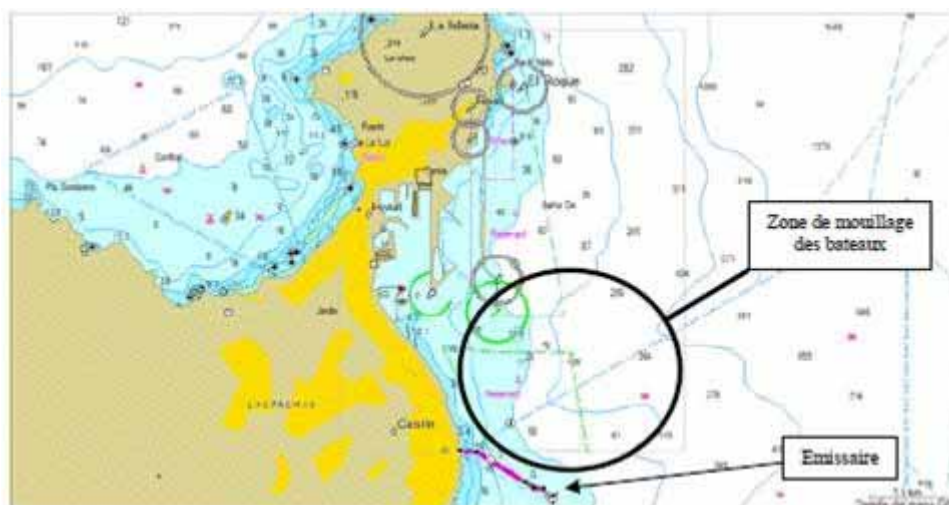
Le plan initial de l'émissaire consistait en une conduite composée d'un tuyau de polyéthylène de 1000 mm de diamètre et 30.6 mm d'épaisseur, pour une longueur de 2050 mètres, et d'un tronçon diffuseur de 126 mètres composé de 22 diffuseurs de 180 mm de diamètre, disposés alternativement sur les flancs de la conduite à une distance moyenne de 6 mètres les uns des autres.

Le tronçon diffuseur dispose de 3 réductions pour maintenir le flux de rejet pour chaque diffuseur, ce qui implique 4 tronçons de tubes diffuseurs de différents diamètres.

Le premier tronçon comporte 7 diffuseurs sur une conduite de 1000 mm de diamètre et de 42 mètres de longueur. La connexion avec le tronçon diffuseur suivant se fait moyennant une réduction de 1000 à 800 mm de diamètre.

Le deuxième tronçon incluant 7 diffuseurs se compose d'une conduite de 800 mm de diamètre, de 42 mètres de longueur, et de 30.6 mm d'épaisseur. Ensuite une réduction de diamètre de 800 à 630 mm fait la liaison avec le troisième tronçon diffuseur.

Ce dernier avec 630 mm de diamètre et 24.1 mm d'épaisseur, mesure 24 mètres de long et, est pourvu de 4 diffuseurs pour aboutir à une autre réduction de 630 à 400 mm de diamètre. Ce tuyau de 400 mm est épais de 15.3 mm, long de 18 mètres et possède 3 diffuseurs latéraux ainsi qu'un dernier situé sur la partie inférieure d'un couvercle tampon à la fin du tube.



*Figure 1. Position de l'émissaire par rapport au Port de Las Palmas de Gran Canaria.*

Le procédé de positionnement normal de ce type de tube en polyéthylène, se réalise de la façon suivante. La conduite présente des tronçons de 16 mètres, soudés en bord de mer, dans un lieu abrité qui la plupart du temps, ne coïncide pas avec celui de son positionnement. Dans le cas présent, la conduite a été soudée dans le Port de Las Palmas de Gran Canaria. A l'extrémité se trouve un couvercle tampon et au fur et à mesure que l'on soude et que la conduite augmente en longueur, celle-ci est larguée remplie d'air à la mer. Ces tronçons de conduite remplis d'air flottent et il est nécessaire de les lester à l'aide d'anneaux de béton pour que leur mouillage soit plus stable et aussi pour faciliter leur futur déplacement. Les anneaux de béton de contrôle de flottaison pèsent 2000 kg et se placent de telle façon que la partie supérieure de la conduite dépasse de quelques centimètres la surface de l'eau. Le projet initial prévoyait l'installation de 430 anneaux de flottaison pour le transport, c'est-à-dire, un tous les 5 mètres.

Lorsqu'un tronçon de la conduite se termine, un autre couvercle tampon est monté et les tronçons de conduite de plusieurs centaines de mètres de long sont laissés en flottaison. Les couvercles tampons disposent de valves d'entrée d'eau et de sortie d'air pour le contrôle de la flottabilité.

Une fois réalisés, on procède au déplacement des tronçons de conduite en flottaison jusqu'au lieu d'installation où ils seront ancrés, utilisant les valves placées sur les couvercles. Ce procédé d'ancrage est particulièrement délicat ; il est nécessaire d'assurer un contrôle continu de la conduite durant sa descente.

Le polyéthylène de haute densité (PEHD) de la conduite possède une masse volumique de  $0.96 \text{ kg/dm}^3$ , inférieure à celle de l'eau de mer, cette dernière a donc tendance à flotter dans l'eau. De plus, lorsque l'émissaire sera en fonctionnement il transportera de l'eau douce de plus faible densité que l'eau de mer, ce qui augmentera la tendance à flotter de l'émissaire. Pour ces raisons et pour assurer sa stabilité dans le fond une fois positionné à sa place, la conduite est lestée à l'aide de poids-morts en béton. Dans ce

cas, le lestage *a posteriori* est réalisé avec des poids-morts en demi-coquille cylindrique en béton de 7.5 à 10 tonnes, en fonction de leur emplacement sur l'émissaire.

### **3. Etat initial de la réparation**

L'émissaire est situé à peine à deux miles nautiques de l'embouchure du port de Las Palmas de Gran Canaria, dans un lieu de mouillage habituel de grands bateaux. Du fait qu'il ne soit pas ensouillé, l'émissaire est très exposé aux croches pendant les ancrages et a souffert au cours de ces dernières années de plusieurs pannes détectées. La figure 2 montre la situation dans laquelle il se trouvait en 2005. Durant le dernier accident, l'émissaire avait été déplacé vers le nord par l'ancre d'un bateau. La conduite avait été aplatie et s'est finalement brisée à l'endroit où l'ancre s'était accrochée, lieu correspondant à cette époque au point de rejet. Durant l'incident autant de poids-morts de fixation que de transport et flottaison avaient été déplacés. En raison de cet accident et d'autres antérieurs, la conduite présentait plusieurs déformations et une fracture hélicoïdale qui avait été masquée par une série de poids-morts qui étaient restés agglomérés. Le rejet se faisait en un point unique à 1800 mètres de la côte, à travers la fissure de la conduite de 1000 mm de diamètre. Comme il est expliqué dans la partie modélisation numérique (CISNEROS AGUIRRE *et al.*, 2012), le rejet par une sortie unique rend difficile la dilution et empêche l'assimilation rapide par la mer du fluide rejeté. En conséquence on constatait une remontée immédiate en surface des rejets d'eaux résiduelles urbaines, leur grande flottabilité dans l'eau salée s'ajoutant à leur dilution minimale. Ce fluide avec pratiquement les mêmes caractéristiques qu'il avait à l'intérieur de la conduite, posait un réel problème sanitaire, écologique et de détérioration de la zone marine à l'entrée de la ville et du port où l'usage d'embarcations de loisirs à moteur et à voile est intensif.

### **4. Méthodes possibles d'exécution de la réparation et difficultés spécifiques**

Le projet initial de réparation comportait la remise en lieu et place originale du tronçon de la conduite déplacée et sa connexion avec les deux tronçons, légèrement déplacés comme le montre la figure 2. De plus, divers accidents avaient disséminé les poids-morts de maintien et avaient déplacé voire détaché de nombreux anneaux de contrôle de flottaison. La profondeur d'intervention allait de 35 mètres jusqu'à 42 mètres à marée basse, ce qui limitait fortement les travaux sous-marins. L'état de la mer est un des paramètres déterminants dans un chantier marin, et la baie de Las Palmas souffre de tous les types de temps, de nord-est (produit par les alizés qui sont constants de mars à octobre), de nord, d'est, sud et sud-ouest. Pour cette raison la perspective de travail ne comportait que peu de jours de mer calme durant le chantier.

Etant donné que la tâche principale était de déplacer le tronçon de la conduite d'environ cents mètres et de la positionner avec précision pour procéder à son futur raccordement, plusieurs options furent examinées pour la réalisation des travaux :

- travaux depuis la surface grâce à un équipement lourd de ponton avec grue,
- travail depuis la surface avec un remorqueur,
- travaux intégralement sous-marins.

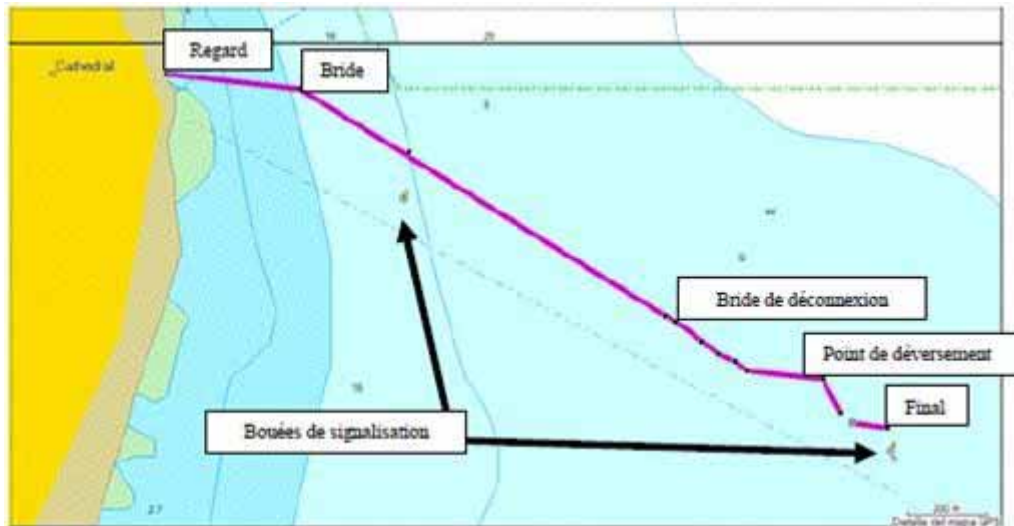


Figure 2. Etat de l'émissaire avant sa réparation.

#### 4.1 Travail depuis la surface avec un équipement lourd sur ponton avec grue

A partir de l'expérience accumulée durant des années de travaux dans la zone et en analysant les raisons de l'échec de l'entreprise qui avait réalisé la construction initiale de l'émissaire, le travail à l'aide d'une grue depuis la surface n'avait pas de bonnes perspectives d'être choisi. Au-delà du coût journalier du matériel, s'ajoutait que la prévision de jours utiles de travail pour cette machine était trop faible. En effet, l'installation d'un appareil lourd peut mettre entre un et deux jours avant d'être effectif et autant de temps pour le démontage. Le procédé de déplacement de la conduite en toute sécurité n'était pas assuré. Il faut considérer que, malgré une révision de la conduite, on ne connaissait pas avec certitude l'état de la structure de celle-ci, du fait qu'après tant d'accidents, et en fonction de la violence des efforts mis en jeu dans ces travaux, il était très probable que la conduite présente des dommages, difficiles d'évaluer *a priori*.

#### 4.2 Travail depuis la surface avec remorqueur

Ceci consistait à réaliser le positionnement de la conduite de réparation en la remorquant avec un bateau. Cette possibilité faisait augmenter en principe le nombre de jours de travail possibles par mois, et le coût était sensiblement diminué. Mais le travail en remorquant depuis le bateau la conduite de réparation devenait moins contrôlable et la possibilité d'endommager cette conduite était encore plus grande qu'en utilisant un

ponton avec grue. De plus, il était quasiment sûr qu'il se produirait dans cette conduite des courbures très difficiles à corriger.

Il faut tenir compte que la conduite déplacée était pratiquement de la même taille que l'espace qui existait entre les deux tronçons d'émissaire détachés. De ce fait, les courbures risquaient de faire perdre des mètres effectifs à la conduite qui serait alors trop courte pour assurer la connexion des deux tronçons d'émissaire détachés, obligeant ainsi à ajouter une autre conduite de réparation, ou à rapprocher le tronçon final pour pouvoir réaliser le raccordement.

#### 4.3 Travail sous-marin complet

La dernière solution consistait à réaliser tous les travaux sans l'effort de traction depuis la surface. Ceci impliquait la difficulté du travail à des profondeurs élevées et donc, la limitation de temps effectif de travail pour chaque plongeur et par jour. Le fait est que la décompression augmente rapidement avec le temps de présence dans le fond. L'utilisation d'air comprimé a été privilégiée et les mélanges de gaz comme le NITROX, TRIMIX et autres ont été écartés. Aux profondeurs décrites le gain de temps de plongée était limité et la grande complexité due à la charge des bouteilles entraînait en jeu et ne compensait pas les avantages apportés par ces équipements. De plus, l'indépendance du plongeur par rapport à la surface a confirmé le rejet d'autres mélanges contrôlés depuis celle-ci. Ceci a été confirmé durant la réparation, lorsque l'erreur d'un capitaine de bateau qui manœuvrait dans la zone a fait que l'on ait dû arrêter rapidement toute la manœuvre depuis la surface et abandonner le lieu de travail, sans aucun risque pour les plongeurs. Ceci n'aurait pas été possible si ces derniers avaient travaillé sous la dépendance de la source de mélange de gaz en surface et aurait probablement causé un sérieux problème de sécurité.

De cette façon chaque plongeur disposait d'environ 25 minutes au maximum de travail par jour, avec une décompression aux alentours de 22 minutes. Le graphique de la figure 3 correspond à une immersion typique réalisée entre 35 et 42 mètres de profondeur durant une journée de travail normale. La figure indique une immersion avec un temps de 24 minutes dans le fond, avec une profondeur maximale de 38.1 mètres à laquelle correspond une décompression de 22 minutes à 6 mètres et une de 20 minutes à trois mètres de profondeur.

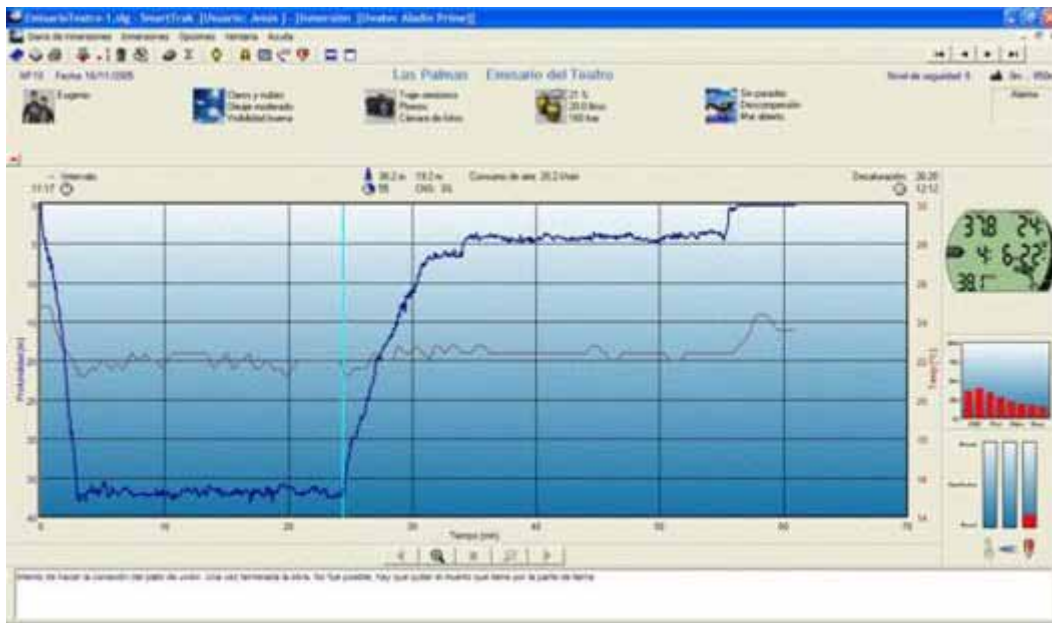
A cela s'ajoutait les repos hebdomadaires obligatoires pour éviter l'accumulation de l'azote dans les tissus. Au cours d'une même semaine, les immersions du vendredi ou samedi nécessitaient plus de décompression pour un temps égal dans le fond que celles qui se réalisaient les lundis ou après un repos obligatoire en raison de l'état de la mer.

Le système de travail consistait à alléger la conduite à l'aide de ballons remplis d'air et déplacer la conduite mètre par mètre jusqu'à la placer en son lieu définitif. Il est à noter que la manipulation des ballons est une tâche très délicate nécessitant beaucoup



d'expérience. En effet, sans suffisamment d'attention, la conduite pourrait souffrir des mêmes dégâts que dans les deux méthodes présentées précédemment.

Ainsi, la décision prise a été de réaliser le chantier grâce au travail totalement sous-marin.



*Figure 3. Graphique d'une immersion avec les temps de décompression.*

## **5. Evolution du chantier**

Le chantier a débuté la première semaine d'avril 2005, avec la localisation des corps-morts et des anneaux de béton déplacés durant les diverses ruptures. Pour cela une zone de recherche a été déterminée et plusieurs jours furent dédiés à la localisation des corps-morts et des anneaux.

La figure 4 montre plusieurs photographies des anneaux de contrôle flottaison : 4-a anneau seul pour tube de 1000 mm de diamètre et 4-c anneau positionné sur la dernière partie du tronçon diffuseur, dont le diamètre est de 400 mm. Les corps-morts de maintien : 4-b corps-mort attaché au ballon pour le positionnement et 4-d corps-mort placé sur la conduite.

Lorsque les corps-morts de maintien et les anneaux de flottaison ont été localisés, la conduite a été déconnectée au niveau dénommé "Bride de déconnexion" sur le graphique de la figure 2. Ceci permettait que le rejet se réalise loin de la zone de réparations et de travailler dans de bonnes conditions de salubrité et de visibilité.

Une fois la conduite déconnectée le travail de déplacement du tronçon a pu commencer. Pour ce faire, premièrement il a fallu réaliser une coupure au niveau du point de rejet initial. Du fait que la conduite présentait une fracture partielle avec étranglement du tube, les tronçons étaient encore unis. L'étranglement avait déformé la forme circulaire

de la section du tuyau et empêchait tout travail de réparation et raccordement une fois qu'il serait positionné dans son lieu initial.

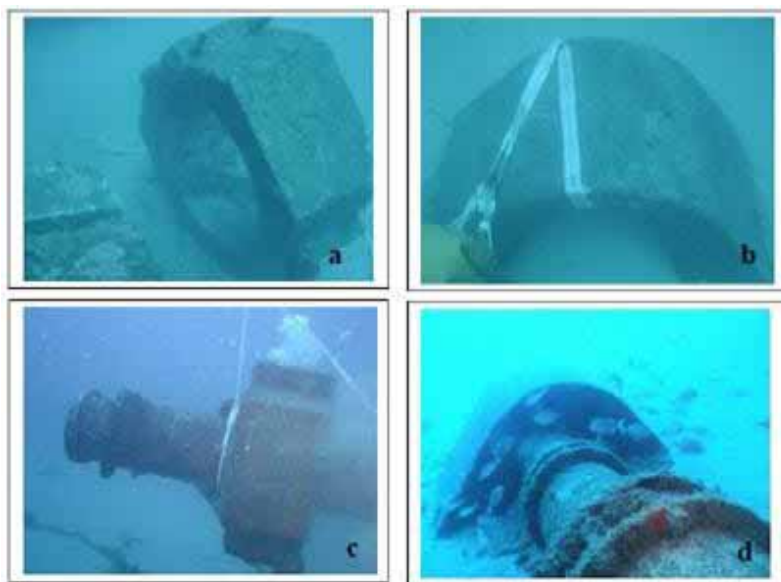


Figure 4. Plusieurs exemples de corps-mort de maintien et d'anneaux de flottaison.

### 5.1 Description de la découpe

Durant le chantier de réparation de nombreuses coupures de la conduite ont été réalisées autant pour séparer un tronçon et faciliter son repositionnement que pour assainir les extrémités des tronçons que l'on allait unir. Les coupures ont été réalisées en utilisant des scies circulaires pneumatiques et des outils manuels pour la finition. Les scies circulaires pneumatiques ont besoin d'un grand débit d'air sous pression pour obtenir un rendement acceptable pour le sciage. Pour cela un compresseur suffisamment puissant spécifique à ce cas particulier est nécessaire.

Il faut rappeler que le travail se faisait entre 35 et 42 mètres de profondeur, ce qui signifie une pression extérieure de 4 atmosphères. Les tuyaux apportant de l'air aux outils avaient plusieurs dizaines de mètres de plus que la profondeur de travail. Des tuyaux de 140 mètres de long et d'un diamètre de 1 pouce ont été utilisés. Le compresseur devait pallier les pertes primaires du tuyau, la pression à laquelle se trouvait l'estafilade et proposer un débit suffisant pour que le rendement de l'outil soit acceptable. Il a été calculé qu'un débit de 4000 litres par minute était nécessaire dans les conditions présentes.

La coupe de la conduite devait se faire en deux phases, en commençant par la partie supérieure du tube et en réalisant une demi-coupe. Ensuite il fallait retirer la partie supérieure grâce à deux coupures horizontales sur chacun des deux flancs du tuyau, pour laisser à découvert la partie inférieure et pouvoir ensuite terminer la coupe.

Selon la distance à réparer, chaque coupe oscillait entre 4 et 6 mètres linéaires. Sur la photographie de la figure 5-a on peut observer le début de la découpe depuis la partie supérieure de la conduite, alors que la figure 5-b montre une scie circulaire pneumatique avec laquelle ont été réalisés les sciages. La figure 5-d montre une vue depuis l'intérieur du conduit, de l'avancée de la coupe latérale horizontale vers la découpe verticale. La figure 5-e présente le moment durant lequel la moitié du tuyau coupé est retiré et en 5-f la suite de la découpe de la partie inférieure du tube, une fois retirée de la partie supérieure.



*Figure 5. Diverses étapes de la découpe de la conduite.*

## 5.2 Transport des différents tronçons de la conduite

Les tronçons de la conduite à transporter ont été allégés par des ballons de flottaison d'une capacité de 1000 et 1500 litres positionnés stratégiquement. Une fois, les ballons positionnés et le tronçon prévu pour le déplacement suffisamment allégé, le

déplacement a pu commencer. Des bandes de guidage ont été placées à une certaine distance les unes des autres selon la taille du tronçon destiné à être transporté. Le déplacement de la conduite a été vérifié à chaque immersion et les bandes et ballons d'allègement corrigés, selon la réponse du tube.

A ce moment précis, l'expérience du groupe de plongeurs et particulièrement celle du chef d'équipe a été essentielle. Selon les informations fournies par le binôme de plongeurs sortant de l'eau, le plan établi pour la journée préalablement dans les bureaux par l'ensemble de l'équipe devait être maintenu ou modifié. La coordination de la totalité du groupe a été vitale du fait que la plus petite erreur aurait pu annuler le travail d'une journée entière, et de plus aurait pu supposer la perte de plusieurs jours pour la réparation de l'erreur. Il faut rappeler que pour chaque plongeur, seulement 25 minutes effectives de travail par jour étaient disponibles au maximum.

La figure 6 montre l'évolution du transport des différents tronçons de la conduite. Durant le transport, il était crucial de ne pas produire de nouvelles flexions ni d'étranglements dans la conduite. Le tronçon de la conduite à déplacer devait être bougé comme une pièce unique.

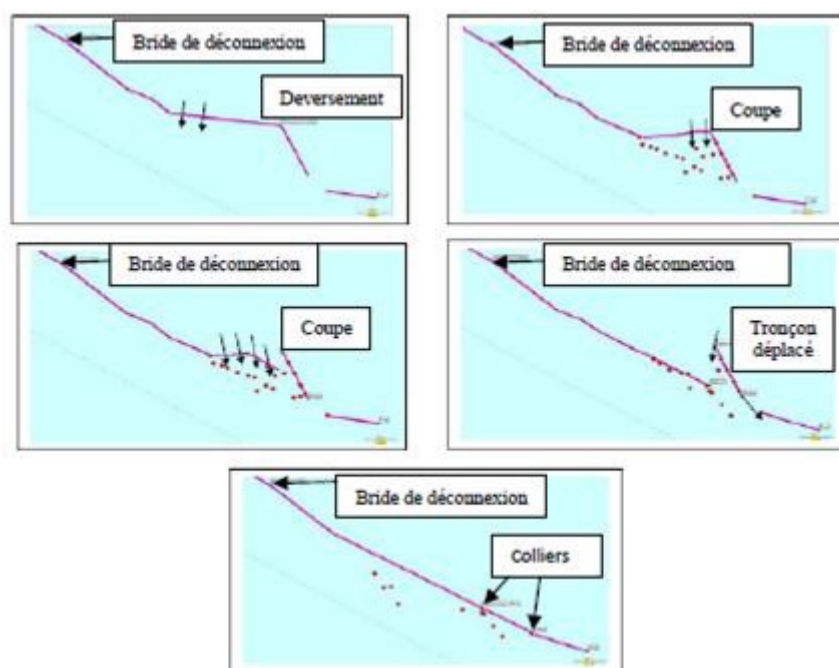


Figure 6. Evolution des déplacements des tronçons et directions des bandes de guidage.

Une fois la conduite mise en place, la connexion des extrémités a pu être réalisée. Comme il avait été prévu et cela a été confirmé durant la première révision, que la fracture de la conduite n'était pas nette, ce qui signifie qu'avant de se rompre, le tube s'était déformé. Pour cette raison il a été nécessaire de nettoyer les extrémités, en découpant la conduite au niveau de la zone qui présentait une forme circulaire.

### 5.3 Connexion des différents tronçons de la conduite

Une fois les deux extrémités de la conduite nettoyées au niveau de la découpe et rapprochées, ces deux dernières ont pu être jointes. Les connexions de la conduite de 1000 mm de diamètre ont été réalisées en utilisant une bride composée par deux demi-coquilles en acier inoxydable de 6 mm d'épaisseur, 1000 mm de longueur et 1005 mm de diamètre. Les deux demi-coquilles se brident à l'aide de 18 vis de 27 mm de longueur et des écrous de 40 mm. Ces deux demi-coquilles sont disposées à 500 mm de chaque extrémité des tronçons et bridés rendant ainsi la connexion très solide. Le matériau constituant le joint de fermeture doit être choisi avec grand soin pour qu'il puisse absorber les petites déformations que pourrait présenter les sections des deux extrémités et ne pas se rompre sous le cisaillement produit par le frottement de la bride avec le tube. L'opération de positionnement du raccordement doit se faire avec une extrême précaution en raison de possibles fuites au niveau des raccordements.

Sur les photos de la figure 7 sont présentés divers moments de la pose d'une bride de raccordement. Les photos 7-a et 7-b montrent deux vues différentes d'une bride déjà montée, 7-a correspond à une vue latérale et 7-b à une vue de dessus, où l'on peut observer la rangée de 9 vis d'un côté du raccordement. Une fois présentées, les deux demi-coquilles de la bride sont serrées à l'aide de vis pour les rapprocher. La photo 7-c montre un cliché de ce premier moment durant lequel on utilise l'outil pneumatique pour accélérer le travail. Ensuite, on procède au serrage manuel de manière progressive et ordonnée pour ne pas endommager le joint et ne pas déséquilibrer le serrage, ce moment est illustré par la photo 7-d.

Sur la figure 7-e on peut observer un détail d'un côté de la fermeture du raccordement où il est important de suivre l'évolution du joint et de vérifier que le serrage a été correctement effectué. La photo 7-f qui a été prise au niveau du point de connexion des extrémités de deux tronçons de la conduite, montre l'état du joint à l'intérieur des platines d'appui de la bride.

### 5.4 Poursuite de la réparation

Les travaux de réparation de l'émissaire jusqu'à la zone des diffuseurs ont été réalisés selon ce procédé d'exécution. Ce chantier a sans nul doute été bien exécuté dans le temps en respectant le budget initial, ce qui mérite d'être noté dans le cadre d'un ouvrage maritime.

Mais ce qu'il y a de réellement méritoire dans ce chantier, c'est le fait que l'administration, dans le cas présent, le Conseil Insulaire des Eaux de Gran Canaria, décide d'inclure à la réparation de l'émissaire, la mise en place du tronçon diffuseur. Un rapport a été élaboré par le Département de Physique de l'Université de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) dans lequel a été inclus le travail de simulation numérique lié à



la dilution des rejets. Les détails de ce rapport sont évoqués dans une publication constituant la partie II de cette note technique (CISNEROS AGUIRRE *et al.* 2012).

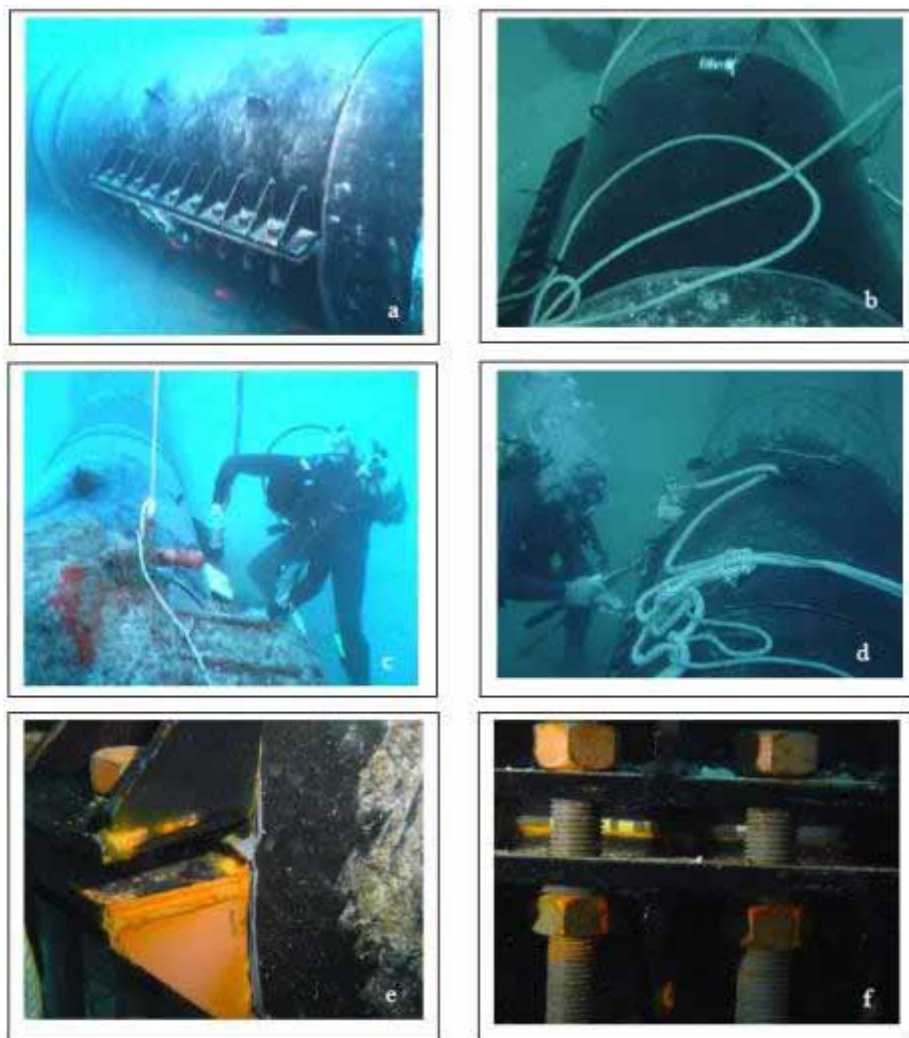


Figure 7. Plusieurs étapes de la mise en place d'une bride de raccordement.

Les avantages ont été exposés en ce qui concerne la dilution du rejet si la réparation incluait le tronçon diffuseur. Des valeurs comparatives de la dilution ont été obtenues pour un même rejet potentiel à différentes étapes du chantier. La première simulation consistait à prévoir les valeurs de dilution avec les conditions provoquées par la fracture initiale ; une deuxième simulation avec des conditions de dilution qu'aurait le rejet jusqu'au tronçon diffuseur ; enfin, une troisième simulation donnant des valeurs de dilution obtenues avec l'émissaire totalement réparé, incluant le tronçon diffuseur. De plus le rapport incluait une étude exhaustive des coûts et de délais d'exécution.

Le rapport se composait de :

- (a) l'étude de dilution dans les trois cas,
- (b) la réalisation du devis et estimation du délai d'exécution,
- (c) la description du procédé de réparation.

#### 5.5 Finalisation de la réparation incluant le tronçon diffuseur

Les différentes sections du tronçon diffuseur se trouvaient dispersées autour du point final de la réparation (voir figure 2). Ces tronçons de la conduite présentaient, d'innombrables imperfections, des fractures, des déformations et des étranglements. Ceci était dû au fait qu'au fur et à mesure que les sections de la conduite allaient en diminuant, la résistance diminuait et les effets des pannes étaient plus importants sur ces tronçons. Sur la série de photographies de la figure 8 on peut observer quelques détails montrant l'état du tronçon diffuseur. Les figures 8-a et 8-b montrent la fin du tronçon diffuseur, de 400 mm de section, qui se trouvait étranglé en deux endroits. Sur la figure 8-b, une réduction de diamètre allant de 630 mm à 400 mm est indiquée par un cercle. Cette réduction s'était détachée et se trouvait à plusieurs mètres de distance du tronçon diffuseur final. La réduction a été remontée et amenée à terre pour assurer son nettoyage et son placement ultérieur. Un des problèmes d'exécution de cet émissaire est illustré sur la figure 8-c, où on peut observer une bride de connexion sur laquelle il manque une grande partie de ses attaches. Cela produit des pertes d'eau dans la l'émissaire, un affaiblissement de la structure et un point faible au niveau duquel une fracture peut se produire. Durant la totalité du travail de réparation, les attaches ont été remplacées sur de nombreux points, au niveau des brides de connexion de même section y compris celles des réductions.

Les photographies 8-d et 8-f. montrent différentes fractures. Certaines sont difficiles à détecter du fait qu'elles étaient quasiment cachées par les anneaux de béton de flottaison, ou bien par les poids-morts de fixation.

La traction causée par le mouillage d'un bateau de grand tonnage, produit un glissement de la conduite au niveau des poids-morts de maintien qui en principe restent fixes. La conduite passe à l'intérieur des poids-morts portant les anneaux de flottaison qui percutent le poids-mort de fixation. Ce processus se déroule jusqu'aux diffuseurs où le frottement des anneaux contre le tuyau produit un blocage de la conduite. Les diffuseurs sont des tuyaux de 180 mm qui sortent perpendiculairement sur le flanc de la conduite, et servaient de butoir en différents points de la conduite en appuyant les anneaux de flottaison contre les poids-morts de maintien. A cet instant, et en fonction des caractéristiques des forces mises en jeu, plusieurs détériorations peuvent être engendrées : une rupture totale du tube en ce point ; une rupture partielle sans que les extrémités se séparent ; un déplacement latéral qui renverse le poids-mort de maintien et libère la pression en ce point permettant à la conduite de continuer de glisser sur le fond. Il peut aussi arriver, ce qui a été le cas, que le diffuseur se casse et que la conduite

continue de glisser. Les déplacements des poids-morts de fixation et des anneaux de flottaison se sont produits de cette façon.

Sur la figure 9 sont présentés deux photos qui montrent qu'en certains points des anneaux de flottaison se sont accumulés contre les poids-morts de maintien. La figure 9-a montre deux anneaux contre un poids-mort bloqués par un diffuseur. Alors que sur la figure 9-b ce sont trois anneaux qui sont accumulés mais le diffuseur est absent.

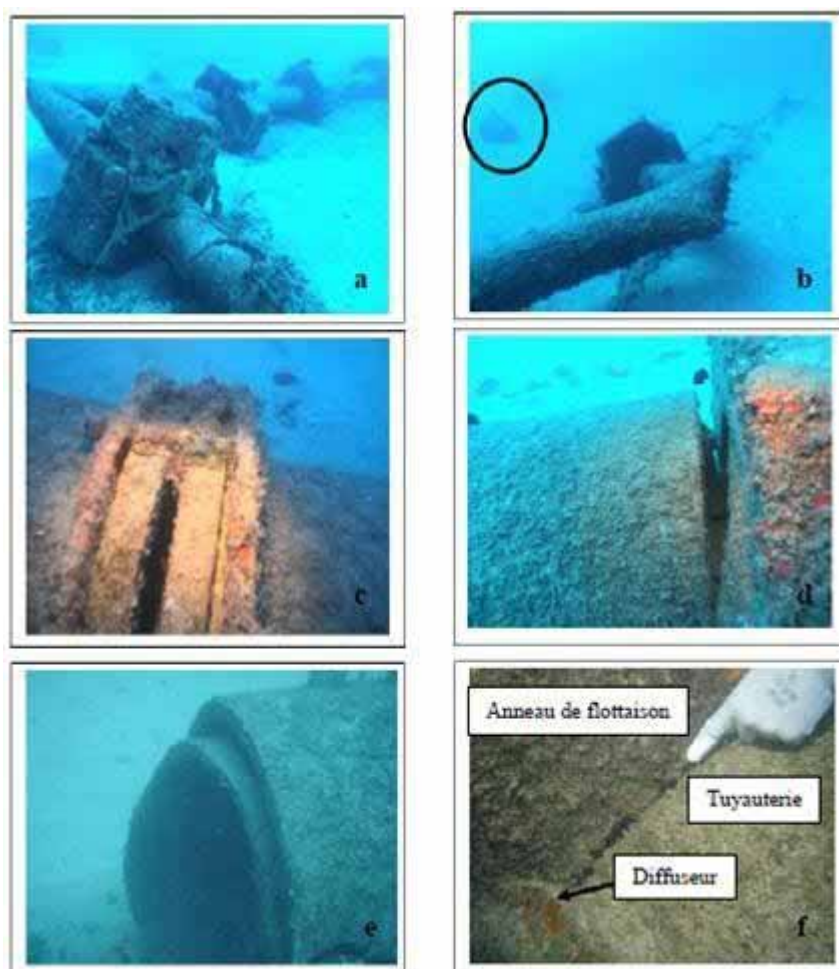


Figure 8. Détails de l'état du tronçon diffuseur.

Le tronçon diffuseur a été reconstruit totalement (GRACE, 1978 ; GRACE, 1997, ROBERTS *et al.* 1989) comme la conduite de 1000 mm de diamètre, mais avec l'avantage que les découpes étaient réalisées chaque fois sur des sections plus réduites et les tronçons à déplacer pesaient moins lourds. Les bandes de guidage aussi diminuaient en taille ce qui les rendait plus faciles à manier. Le seul facteur qui rendait plus difficile la réparation était que la profondeur augmentait et les temps de travail dans le fond s'en trouvaient amoindris. Sur le tronçon des diffuseurs, la profondeur de 43



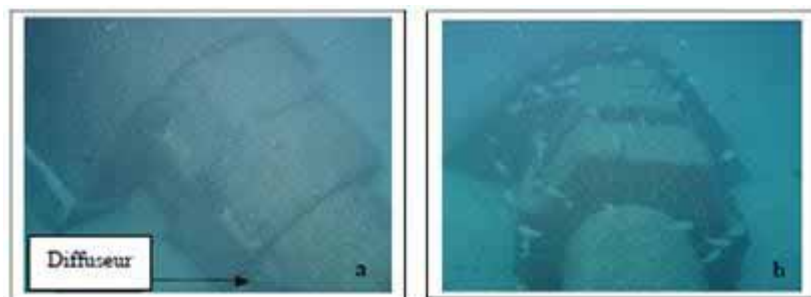
mètres a été atteinte à marée basse. La figure 10 présente une série de photos montrant plusieurs détails de la réparation du tronçon diffuseur.

La photo de la figure 10-a présente l'endroit de l'insertion d'un tronçon de 4 mètres de conduite neuf dans un raccordement. Sur la partie inférieure de cette photo, on observe un collier positionné avec ses attaches et, sur la partie supérieure l'extrémité du tube suivant en attente du montage du collier. De cette façon, une partie complète de la nouvelle conduite est ajoutée entre les deux colliers, car les extrémités à raccorder présentaient une section très endommagée. Ainsi, plusieurs mètres de conduite de chaque extrémité ont dû être éliminés.

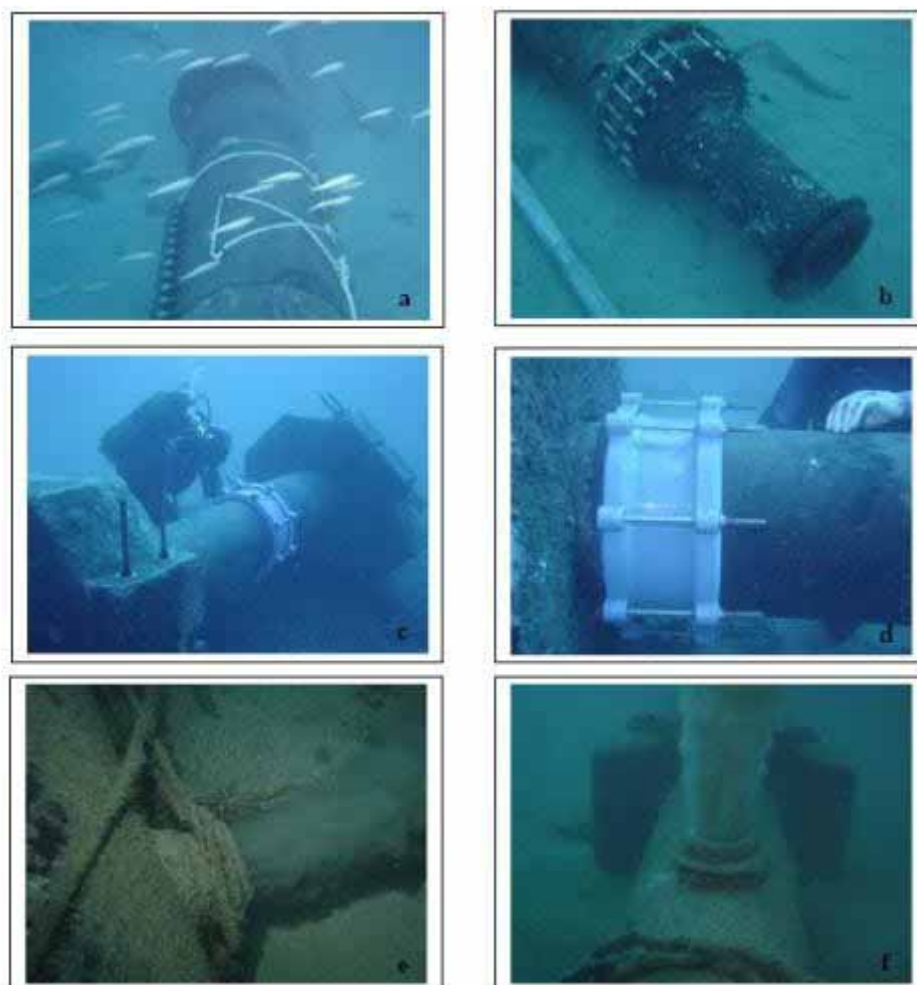
La photo de la figure 10-b montre le repositionnement de la réduction de diamètre 630 mm passant à 400 mm, celle-ci une fois nettoyée de toute incrustation de sol et munie de nouvelles attaches.

Pour les figures 10-c et 10-d, on peut observer les colliers utilisés pour la conduite de 400 mm et divers anneaux de flottaison. Comme on peut le voir, la taille, le poids et la maniabilité de ces raccordements rendent leur usage plus facile. Cependant il faut être très vigilant durant la manœuvre de positionnement car en recouvrant moins la conduite celle-ci devient nettement plus fragile. Il est nécessaire de l'ajuster avec grande précision du fait que le moindre défaut peut amener à la perte de rejets.

Les photos des figures 10-e et 10-f, présentent les diffuseurs en fonctionnement. On peut observer que ceux-ci ont des orientations différentes. Sur la figure 10-e le rejet se déverse depuis la partie supérieure de la conduite alors que sur la figure 10-f le rejet se fait latéralement. En principe, le projet original prévoyait que tous les diffuseurs soient latéraux, mais les défauts dans l'exécution de l'ouvrage ont fait que cela n'a pas été fait et le tronçon diffuseur a été construit de façon incorrecte (GRACE, 1997 ; JIRKA & AKAR, 1991 ; JIRKA & BLENINGER, 2004).



*Figure 9. Points d'accumulation d'anneaux de flottaison contre des poids-morts de maintien.*



*Figure 10. Différentes phases de la réparation au niveau du diffuseur.*

## **6. Conclusions**

Du point de vue de l'exécution de la réparation, il faut savoir que dans tout ouvrage sous-marin il est fondamental de connaître les conditions environnementales spécifiques à la zone et de faire un choix judicieux des moyens les plus adaptés à ces conditions. La réussite d'un tel ouvrage ne rime pas toujours avec le déploiement de grands moyens, qui peuvent avoir des effets négatifs, ne serait-ce par leur coût. Ici, le choix de moyens simples sans dépendance en surface autre qu'un bâtiment de servitude, la sélection d'un personnel compétent et une bonne connaissance de la zone, ont été les clefs du succès de la réparation.

La grande nouveauté de cette réparation est que l'administration (Conseil Insulaire des Eaux de Gran Canaria) et l'entreprise qui a réalisé la réparation (Techniques Sous-marine GRAU, S.L) ont compris toute l'importance de celle-ci et qu'aujourd'hui elle représente un ouvrage maritime exemplaire sur divers aspects.

En premier lieu, il faut mettre en avant la réalisation impeccable de la réparation de la part de l'entreprise, qui a respecté le budget et les délais d'exécution ; ce qui a rendu possible d'inclure dans la réparation le tronçon diffuseur.

Dans un deuxième temps, il faut souligner la bonne disposition de l'organisme public, le Conseil Insulaire des Eaux de Gran Canaria et spécialement le chef de chantier (D. Miguel Ángel Landáburu) qui a permis la modification du chantier en considérant l'augmentation du coût, pour inclure le tronçon diffuseur dans la réparation.

La proposition d'ajouter un tronçon diffuseur a été justifiée par une étude de dilution réalisée par le département de physique de l'Université de Las Palmas de Gran Canaria à l'aide d'un modèle numérique de dilution dont les résultats ont été présentés au Conseil Insulaire des Eaux de Gran Canaria (CISNEROS AGUIRRE *et al.* 2012). Les résultats de cette étude ont abouti à la réalisation de l'ouvrage complet dont la réparation a amélioré notablement l'efficacité de l'émissaire sous-marin pour diluer le rejet en mer.

Sur la figure 11, on peut voir certains poissons qui profitent des opportunités offertes par les nouvelles constructions en mer. Cela indique aussi que si on met le plus grand soin dans les projets d'exécution et de maintenance dans n'importe quel ouvrage sous-marin et que si l'on intègre les différents points de vue de tous les professionnels de la mer (ingénierie, sciences de la mer, entreprises de plongée, etc.), les ouvrages sous-marins de tout type, pourraient avoir de surcroît un impact positif sur l'environnement sans augmenter le budget du chantier.



*Figure 11. Quelques exemples de colonisateurs de l'émissaire.*

## 7. Références

- CISNEROS AGUIRRE J., VILCHES SARASATE J., AFONSO CORREA M.D. (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
- GRACE R.A. (1978). *Marine outfall systems: Planning, design and construction*. Prentice-Hall. New Jersey.
- GRACE R.A. (1997). *Returning impaired marine outfall diffusers to full service*. Journal of Environmental Engineering, Volume 123, Issue 3, pp 297-303. doi:10.1061/(ASCE)0733-9372(1997)123:3(297)
- HYDROSCIENCE INC. (1974). *Water quality evaluation for ocean disposal system: Nassau County, Supplement A*. New York.
- JIRKA G.H., AKAR P.J. (1991). *Hydrodynamic classification of submerged multiport-diffuser discharges*. J. Hydraulic Engineering, ASCE, (117), pp 1113-1128, HY9. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1991)117:9(1113)
- JIRKA G.H., BLENINGER T. (2004). *Diseño de emisarios submarinos con difusores para la protección de la calidad del agua costera*. Actas XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Asociación Internacional de Investigaciones e Ingeniería Hidráulica (AIHH), São Pedro, Brasil, Octubre 18-22, 2004, A.M. Genovez, Ed. IAHR AIPH.
- JIRKA G.H., LEE J.H.-W. (1994). *Waste disposal in the Ocean*. in Water Quality and its Control, M. Hino (ed.), Balkema, Rotterdam.
- LUDWIG R.G. (1976). *The planning and design of ocean disposal systems*. Prepared for the Pan American Health Organization Symposium on Wastewater Treatment and Disposal Technology. Buenos Aires.
- LUDWIG R. (1988). *Evaluación del impacto ambiental: ubicación y diseño de emisarios submarinos*. Informe No. 43 de MARC. Documento de EIA.
- REIFF F.M. (1990). *Emisarios submarinos de pequeño diámetro de polietileno de alta densidad (HDPE)*, CEPIS/HPE/OPS.
- ROBERTS P.J.W., SNYDER W.H., BAUMGARTNER D.J. (1989). *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)