

*Récupération du Fuel en provenance  
du pétrolier  
Prestige*

*Paris, 6 octobre 2003*

**1.- Contexte**

**2.- Plan d'action**

**3.- Drainage par gravité**

**4.- Opérations de la Marine**

**5.- Confinement du pétrole dans  
une marquise**

**6.- Exécution du Projet - Programme**

# *1. Contexte*

- **Le pétrolier Prestige, transportant quelques 79 000 tonnes de fuel lourd M100, s'est brisé en deux et a coulé au large des côtes galiciennes le 19 novembre 2002.**
- **La proue du bateau a sombré à une profondeur de 3 840 m et la poupe à 3560 m, les deux parties étant séparées l'une de l'autre par une distance de 3000 m.**
- **Lors du naufrage et pendant les semaines et les mois suivant l'accident, une quantité importante de fuel s'est déversée en mer, touchant principalement la côte galicienne mais atteignant également le reste de la côte nord espagnole. Des quantités moins importantes de fuel s'échouèrent sur les côtes françaises.**
- **Entre les mois de décembre 2002 et de février 2003, le sous-marin français Nautille, agissant pour le compte des autorités espagnoles, s'est employé à colmater les fuites de fuel émanant du pétrolier, passant ainsi d'un débit d'écoulement de 130 T/jour à 2,2 T/jour.**

- **Peu de temps après le naufrage du Prestige, les autorités espagnoles constituèrent un Comité Consultatif Scientifique qui rendit comme ultime travail un rapport publié le 13 février 2003.**
- **En premier lieu ce rapport recommandait que le fuel restant dans l'épave soit pompé et comme seconde alternative que celui-ci y reste confiné.**
- **La quantité de fuel restant dans l'épave était estimée à 38 000 T.**

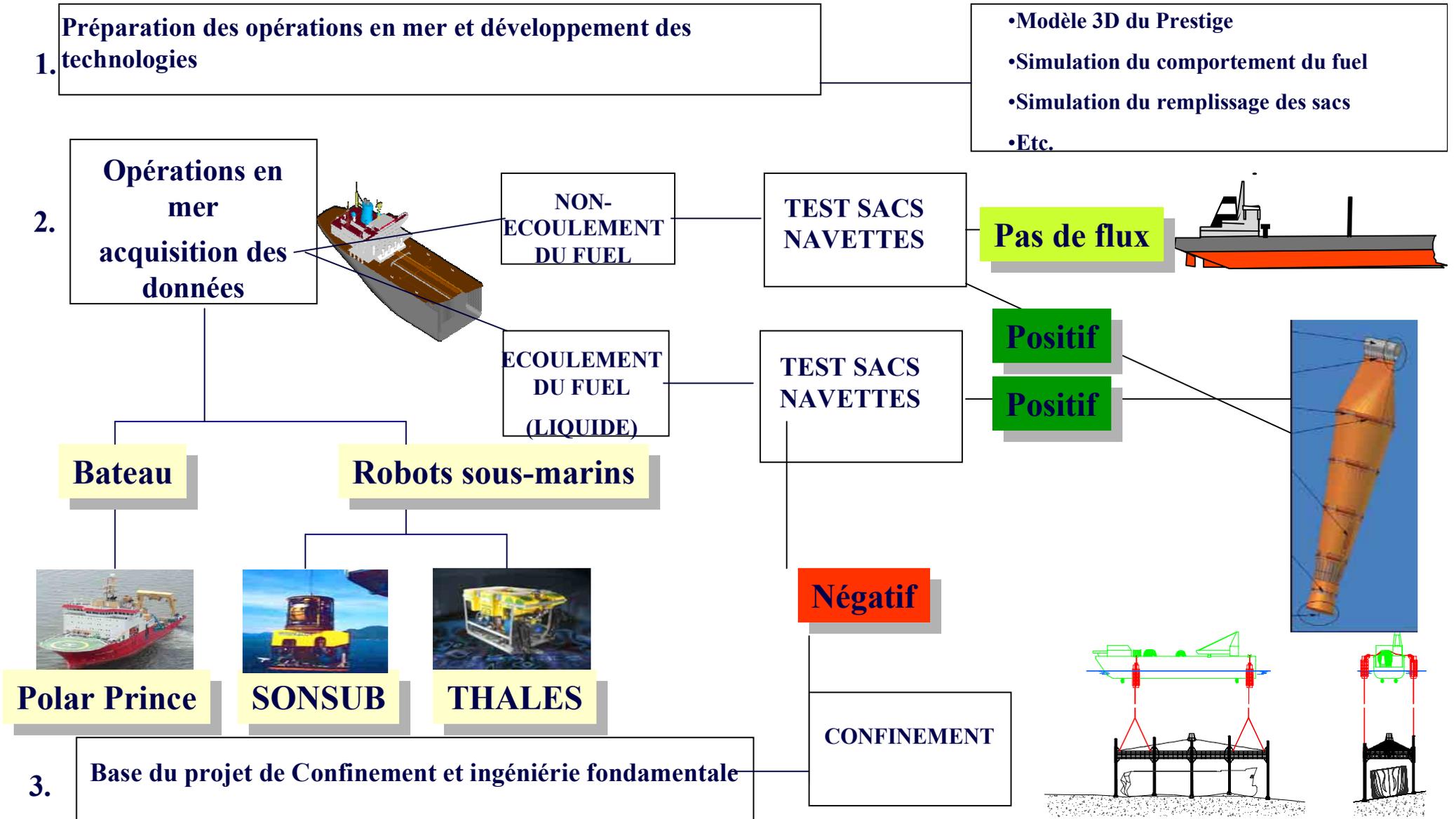
- **Le 14 février 2003, le gouvernement espagnol chargea Repsol YPF d'étudier les solutions éventuelles et demanda à la compagnie d'élaborer une ligne de conduite dans un délai de trois mois.**
- **Repsol YPF accepta le défi et forma rapidement une équipe chargée des projets internes, qui comprend désormais 40 experts.**
- **De plus, un Comité Technique international fut constitué avec les représentants des cinq autres grands groupes pétroliers ayant une grande expérience des opérations d'exploration et d'exploitation pétrolières en eau profonde que sont : BP, Eni, Petrobras, Statoil et Total.**
- **Le Comité Technique international siégea au mois de mars pour analyser le problème et soumettre ses recommandations. Un plan d'action, remportant tous les suffrages auprès des membres du comité, fut ainsi établi. Ce plan fut présenté à la presse le 4 avril à St Jacques de Compostelle, Galice.**

- **Le 24 avril, un accord fut signé entre les autorités espagnoles et Repsol YPF au sujet de l'exécution du plan d'action précédemment soumis. Un Comité de Coordination et de Suivi des opérations fut alors créé, comprenant 3 représentants des autorités espagnoles et 2 de chez Repsol YPF. Ce comité se réunissant une fois par semaine.**
- **Les 20 et 21 mai, les évaluations d'un programme détaillé des opérations fut présenté lors de la seconde réunion du Comité Technique International qui a eu lieu à Móstoles (Madrid).**
- **Le 26 juin, juste deux mois après que l'accord eut été signé et d'après le plan proposé par Repsol YPF et approuvé par l'administration espagnole, le MV Polar Prince quitta Aberdeen transportant à son bord 4 engins de travail télécommandés, pour arriver sur le site de l'accident le 4 juillet, date à laquelle les opérations devaient commencer.**

## *2. Plan d'action*

- Le plan d'action avalisé par le Comité Technique International peut se résumer de la sorte :
  - Développer les engins de travail télécommandés pour opérer à 4 000 m de profondeur. Pour des raisons de sécurité, des sous-marins automatisés seront utilisés
  - Améliorer l'utilisation des appareils servant à colmater les fuites de l'épave
  - Entreprendre une campagne de rassemblement de données concernant l'épave du Prestige pour pouvoir ainsi disposer d'informations profitables pour de futures interventions
  - Mener des études, incluant des analyses de la propriété du fuel, des simulations aux conditions présentes au fond de la mer et des analyses de l'intégrité et de la stabilité du pétrolier
  - Tester, si cela est possible au cours de l'été 2003, un projet d'extraction utilisant des sacs navettes
  - Réaliser des études sur des solutions de confinement alternatives qui pourraient être proposées si celles du projet expliqué ci-dessus ne fonctionnaient pas,
  - Etant donné la profondeur et la viscosité du fuel soumise aux conditions régnant au fond de la mer, le pompage peut très bien ne pas réussir, aussi faut-il étudier des solutions de remplacement

# Plan d'action



**La plupart des études ont été réalisées en collaboration avec les universités et institutions espagnoles :**

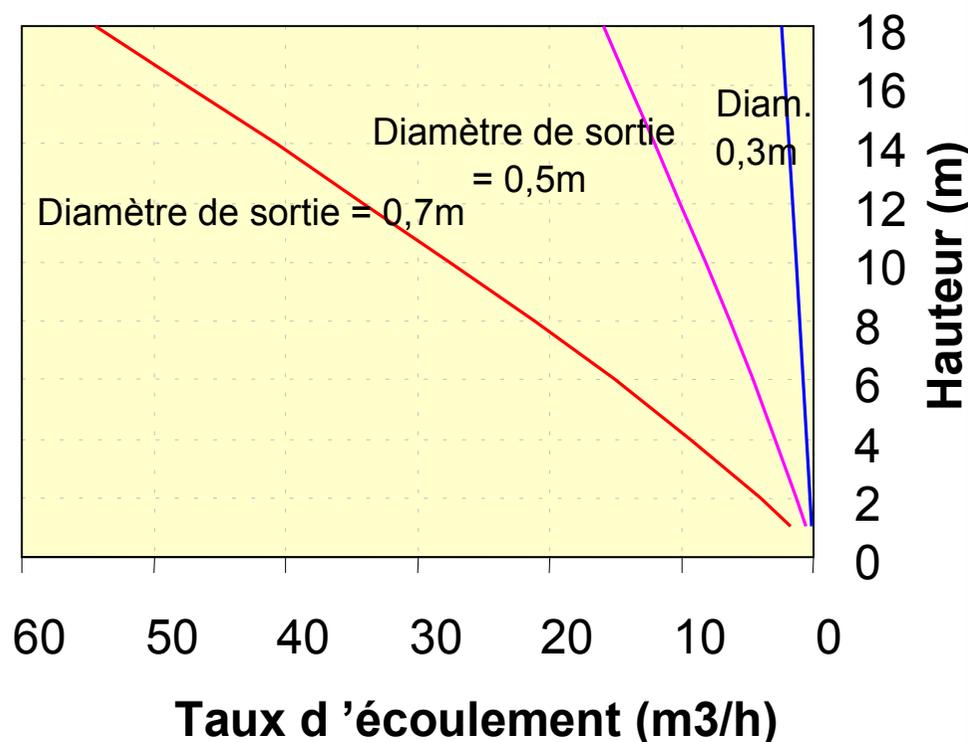
- **Etudes météorologiques et océanographiques sur documents**
- **Modélisation numérique et prédiction en continu (vents, vagues, courants, etc.)**
- **Bathymétrie de la zone du naufrage**
- **Description géologique et compte rendu de l'état de la zone**
- **Modèle 3D de l'épave du Prestige**
- **Mesures des courants environnants**
- **Etude en laboratoire et simulations numériques du comportement du fuel à la température et à la pression relevée à bord de l'épave**
- **Synthèse d'un fuel qui se comporte en surface comme le fuel dans l'épave du Prestige**
- **Identification des risques pour l'environnement**
- **Etude des films, photomosaïques et autres données d'observation obtenues par l'Ifremer au moyen du Nautille**
- **Campagne océanographique à bord du navire océanographique Hesperides**

### *3. “Drainage par gravité”*

*(Etudes d’extraction du fuel, conception  
et construction du taraud et de la navette)*

Taux d'écoulement vs. Hauteur du fuel dans la citerne

Soupapes P incluses



$$Q = K D^3 h^{1.4}$$

- A cause de la forte pression (383 bars à la proue du navire) et de la basse température (température de l'eau 2,6 °C) la viscosité du fuel a augmenté énormément
- Des tests en laboratoire montrent que sous ces conditions le fuel a une viscosité de 18 millions de centipoises (il se déplace lentement), qui se réduit à 3 millions of centipoises lorsqu'il se déplace plus rapidement. Ce comportement est appelé pseudo-plastique
- Des expériences et des calculs montrent que, malgré une si forte viscosité, le fuel garde un comportement fluide et est capable de couler à faible vitesse. Cela implique que les orifices permettant au fuel de couler aient le diamètre le plus large possible.

# Conception de la soupape d'extraction et de la foreuse



Ce système est conçu pour perforer le pont du prestige en utilisant une machine spécialement élaborée pour installer et tester une soupape à double extraction avant de perforer l'épave

Une fois cette soupape installée et solidement ancrée, un trou de 70 cm de diamètre est foré à travers celle-ci, trou qui reste fermé grâce à la double soupape

Ce développement est une première mondiale, du fait de la profondeur de l'eau, du diamètre et des consignes de sécurité particulières



- Deux sacs navettes pouvant contenir 250 m<sup>3</sup> de fuel (pour un volume total de 320 m<sup>3</sup>) ont été pensés et conçus pour expérimenter des concepts alternatifs
- L'un est réutilisable car il est muni d'un sac jetable alors que l'autre est à usage unique
- Les deux sacs comprennent une deuxième épaisseur renforcée pour plus de sécurité au niveau écologique

**Note: Certains aspects de l'opération ont été modifiés par rapport à ce qui est montré dans le film**

## *4. Opérations en mer*

# Polar Prince



- Quatre engins de travail télécommandés (Remote Operated Vehicles) de deux conceptions différentes ont été développés (Sonsub's Innovator et Thales G4) pour lesquels des changements ont été opérés concernant le cordon de raccordement, la flottabilité, les manipulateurs, les caméras, l'éclairage, etc.
- Courant juillet, les deux engins de type "Innovator" ont été testés avec succès à une profondeur de 4000 m. Le 6 juillet, ils ont tous les deux travaillé simultanément à cette profondeur, établissant ainsi une première mondiale



- A la mi-juillet, les deux engins télécommandés Thales ont également passé le test à 4000 m de profondeur avec succès.
- Dès leur arrivée sur place jusqu'au 24 août, les quatre engins télécommandés ont travaillé pour un total de 1096 heures au cours desquelles deux d'entre eux ont également travaillé en simultanée pendant 252 heures, ce qui correspond à plus de 27 heures de travail journalier en continu.
- Le développement de tels engins, leur capacité à travailler et les statistiques concernant leur durée d'utilisation, montrent clairement les progrès technologiques significatifs que cette opération nécessite.



- Les engins télécommandés ont entrepris comme premières tâches d'inspecter, de nettoyer et de préparer les fuites à un futur colmatage.
- Par la suite, les travaux de colmatage ont commencé pour les 11 fuites qui ont été décelées à l'avant et les 4 autres fuites qui ont été découvertes sur la partie arrière de l'épave du Prestige. Différentes méthodes de colmatage ont été utilisées (ex : bouchons de colmatage, sacs de sable, mousse synthétique, résines et sacs en plastique) pour une opération dont la durée totale était de 11 jours.
- A ce jour, les fuites restantes sont minimales voire quasi-inexistantes vu que le taux d'écoulement total du fuel est inférieur à 10 kg/jour à l'avant comme à l'arrière du pétrolier (avant ces opérations, le fuel s'écoulait de ces fuites à la vitesse de 700 kg/jour). L'épave étant dorénavant scellée, l'étape suivante peut commencer. Nous considérons cela comme un fait important pour le futur.

- Les outils élaborés par différentes compagnies ont été testés en utilisant un fuel synthétique conçu pour avoir les mêmes caractéristiques lorsqu'il est soumis aux conditions en surface que le fuel du Prestige lorsque celui-ci est soumis aux conditions présentes dans les fonds marins. Ce fuel synthétique a été conçu au centre technologique de Repsol YPF à Móstoles, Madrid
- Repsol YPF a décidé d'adapter l'outil Neutron Thermique utilisé pour identifier le pétrole lors des explorations d'hydrocarbures servant à déterminer les niveaux de fuel dans les citernes. Un système spécial de protection et de contrôle de la flottabilité de l'outil a également été conçu.
- Cet outil émet des neutrons thermiques qui pénètrent le blindage de la coque, perdant de l'énergie lorsqu'ils se déplacent à travers le fluide en émettant une radiation gamma d'intensité variable qui dépend de la nature du fluide. Cette méthode permet la détermination de la proportion Carbone/Oxygène, qui est très élevée pour les hydrocarbures et très faible dans l'eau.
- Un revêtement a été utilisé pour faciliter la mesure du niveau de fuel dans les citernes centrales. L'enveloppe a été introduite par les engins télécommandés à travers les brèches Butterworth choisies. Par la suite, l'outil Neutron a été descendu à travers l'enveloppe, pour définir le contact fuel/eau, comme cela se fait dans les puits de pétrole.

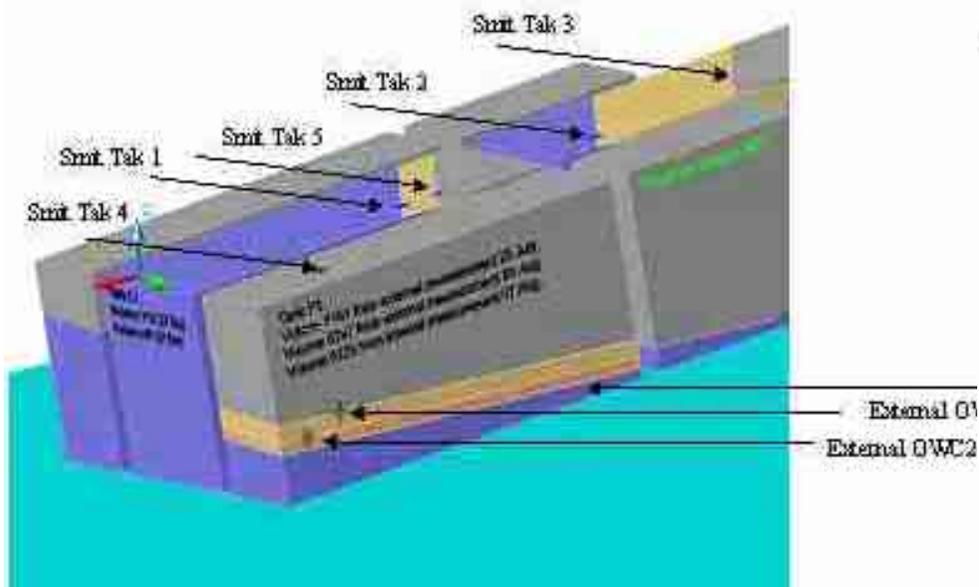
## **Mesure du niveau de fuel dans les citernes (2)**



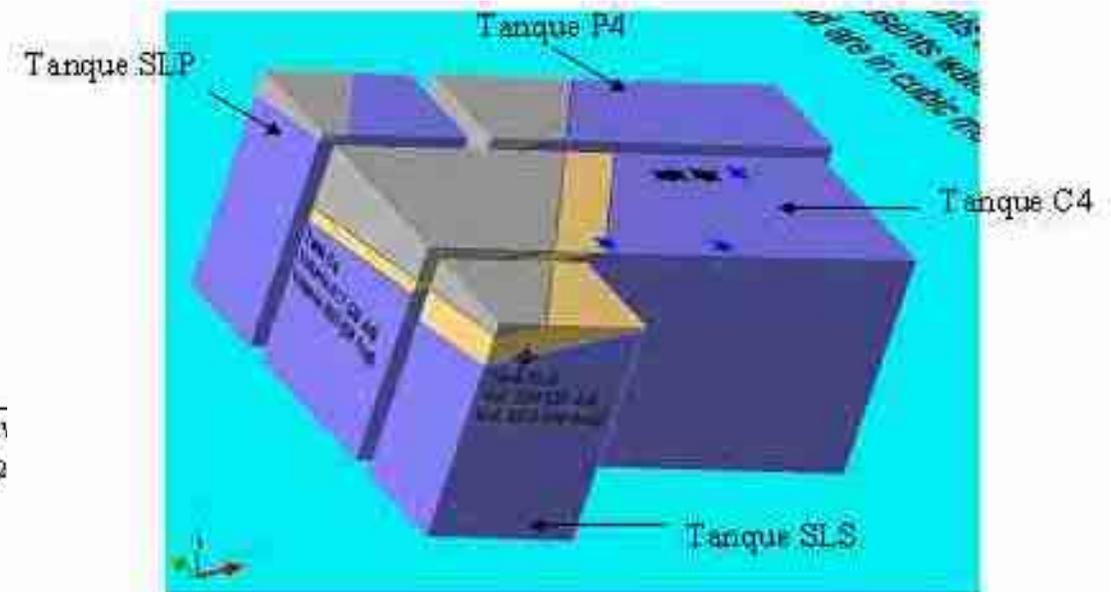
- **Plus de 30 déterminations de niveaux ont été effectuées sur une période de 9 jours.**
- **Seules 700 tonnes de fuel ont pu être retrouvées dans la partie arrière du navire.**
- **Il a été établi qu'une quantité de 13 000 tonnes de fuel se trouvait encore dans les citernes latérales bâbord et tribord à l'avant du pétrolier. Aucune trace de fuel n'a été décelée dans les citernes centrales.**
- **Bien que les valeurs finales seront obtenues à partir de calculs réalisés d'après un modèle tri-dimensionnel de l'épave, on estime que les chiffres précédemment cités ont une exactitude de +/- 10%.**
- **C'est la première fois que les volumes et les niveaux de fluides ont pu être mesurés dans les citernes d'un pétrolier qui a sombré dans les profondeurs océaniques. Une fois encore, cette opération représente une découverte technologique capitale pour l'étude d'accidents similaires.**

# Modèle 3-D des mesures de niveaux de fuel dans les citernes

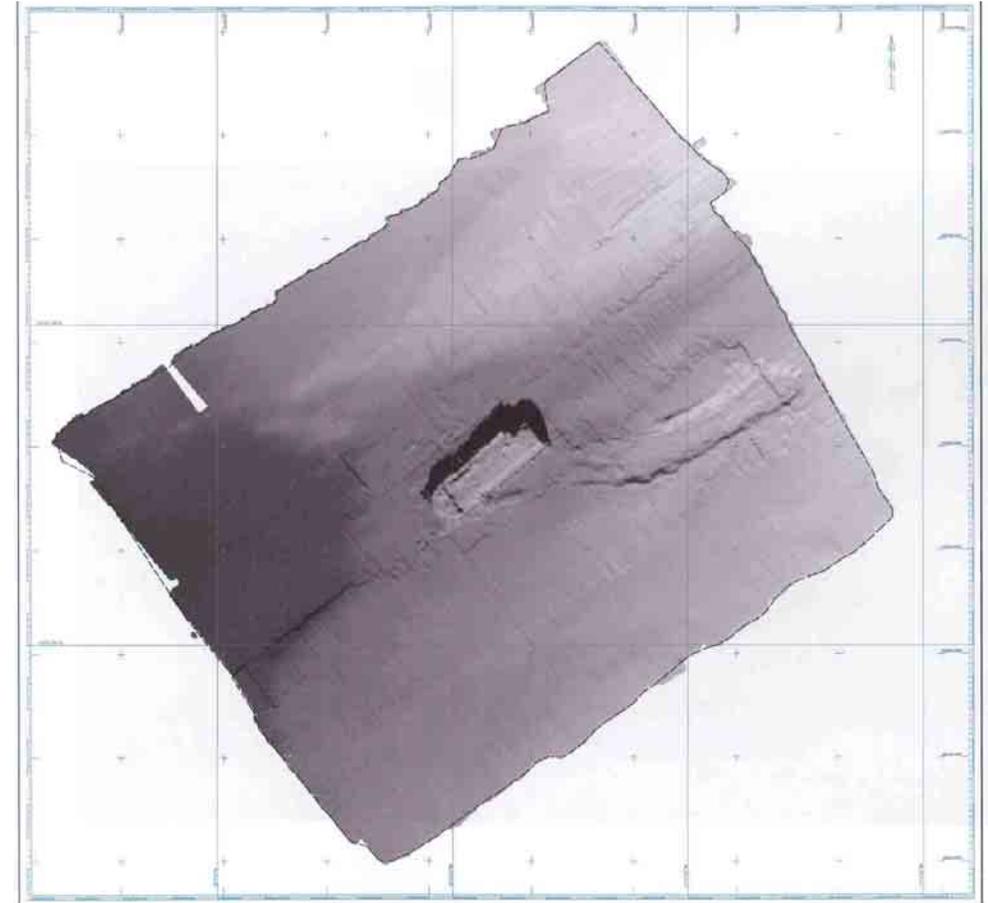
## PARTIE AVANT



## PARTIE ARRIERE



- L'acquisition de données pour la partie avant du pétrolier ont été obtenues en utilisant un sondeur multi-faisceaux.
- L'engin télécommandé "survole" les fonds marins à 10-15 mètres, obtenant ainsi des images à haute résolution dans une zone mesurant à peu près 600x600m.
- D'après les images obtenues, les traces laissées par les deux parties de l'épave, des points d'impact avec le fond marin aux endroits où elles reposent désormais, sont clairement visibles.
- Cette étude permet de préparer des modèles 3D de l'épave d'une plus grande précision, qui serviront pour des travaux futurs.



- Les données relatives à la consistance du sol ont été relevées autour de la partie avant de l'épave au moyen d'un appareil de contrôle de la pénétration du noyau, situé sur l'endroit prévu pour les colonnes de la "Marquise". Des forages géologiques supérieurs à 10 mètres de profondeur ont révélé de fines couches d'argile reposant sur un amas de sable consolidé.
- Trois tests de pénétration du sol supplémentaires ont été effectués autour du périmètre de la partie arrière de l'épave, révélant ainsi une couche de sable de 0,3 à 1,3m recouvrant un fond rocheux très dur.



# Acquisition des données concernant les études géo-techniques (2)



- De plus, 4 sédiments dénoyautés et 7 autres de type conventionnel (certains entre 11 et 13 mètres de profondeur), ont été pris autour de la partie avant de l'épave.
- Une étude géotechnique basée sur ces données, sur la bathymétrie et sur les informations sismiques est en cours de réalisation pour évaluer les conditions requises pour une installation éventuelle de la "Marquise".
- L'étude géotechnique menée à une telle profondeur a été couronnée de succès.



- Les engins télécommandés ont prélevé bon nombre d'échantillons du fuel, de l'eau et du fond marin pour procéder à une étude du milieu
- L'étude de ces échantillons permettra d'évaluer la viabilité de bactéries pouvant servir à l'élimination du fuel qui pourrait rester collé aux parois des citernes de l'épave, une fois l'extraction terminée



- La foreuse, l'assemblage des soupapes ainsi que les sacs navettes ont fait l'objet de nombreux tests en pleine mer. Quelques modifications ont été apportées durant cette étape pour obtenir un réglage plus précis du comportement de ces prototypes
- Une fois cela terminé, une importante batterie de tests a été effectuée en mer
- Au cours du mois de septembre, la foreuse et la soupape d'extraction ont été testées à des profondeurs de 150m, 1500m et même de 3800m, c'est à dire juste au dessus de l'épave du Prestige
- De plus, quelques modifications ont été apportées pour améliorer le fonctionnement du système dans des conditions extrêmes jamais expérimentées jusqu'à présent
- Enfin, durant la nuit du 30 septembre, la foreuse et la soupape d'extraction ont été installées sur le pont de la citerne P1 située à l'avant du Prestige
- Les six boulons d'ancrage et la découpeuse de 700 mm ont fonctionné comme prévu, puis la soupape d'extraction a été laissée en position fermée en attendant les tests d'extraction
- Encore une fois, cette opération fut une grande première pour le projet



- Les sacs navettes ont également été testés en eaux peu profondes, par la suite ils ont été modifiés puis testés de nouveau
- Au mois de septembre, de plus amples tests ont été pratiqués à Vigo (Galice) à partir de la barge Enterprise pour régler les opérations de récupération et d'arrimage
- Bien que des sacs de cette taille ou bien de dimensions supérieures aient été utilisés pour le transport en surface de fluides, ils seront pour la première fois utilisés pour extraire le fuel restant dans l'épave d'un pétrolier

- Pour charger les sacs navettes en mer et les transporter jusqu'à El Ferrol, l'Enterprise, un navire submersible qui a été modifié pour une manipulation plus sûre des sacs navettes, a été engagé par Dockwise.



## Caractéristiques principales:

- Type de navire: *Barge semi-submersible*
- Longueur: 158m
- Largeur: 29m
- Tirant d'eau: 4.5m
- Tirant d'eau en cas de submersion: 11.0m
- Niveau de l'eau au dessus du pont en cas de submersion : 5.7m

- Des modifications et des tests sont pratiqués à Rotterdam et Vigo pour améliorer la capacité de fixation lors de l'arrimage des sacs navettes.
- La barge Enterprise est désormais prête à naviguer



**Modifications apportées concernant la manipulation et l'arrimage des sacs navettes**

- Les sacs contenant le fuel seront déposés dans les cales de radoub d'Izar situés à El Ferrol, où des fonds spéciaux, semblables à ceux construits sur l'Enterprise, ont été aménagés pour les recevoir.
- Une fois déchargé, le fuel sera transporté par camion-citernes jusqu'à la raffinerie Repsol YPF de La Corogne, où une citerne équipée d'appareils de chauffage a été spécialement préparée pour sa réception et son traitement.
- Repsol YPF a élaboré une étude d'identification complète de tous les risques ainsi qu'un plan de secours concernant la récupération, le transport et l'évacuation du fuel contenu dans les sacs.
- A partir du moment où la coque du Prestige sera découpée jusqu'à la fin du déchargement du fuel au port, une opération de sécurisation du site et de protection du milieu sera mise en place et assurée au moyen de remorqueurs et d'équipements anti-marée noire.

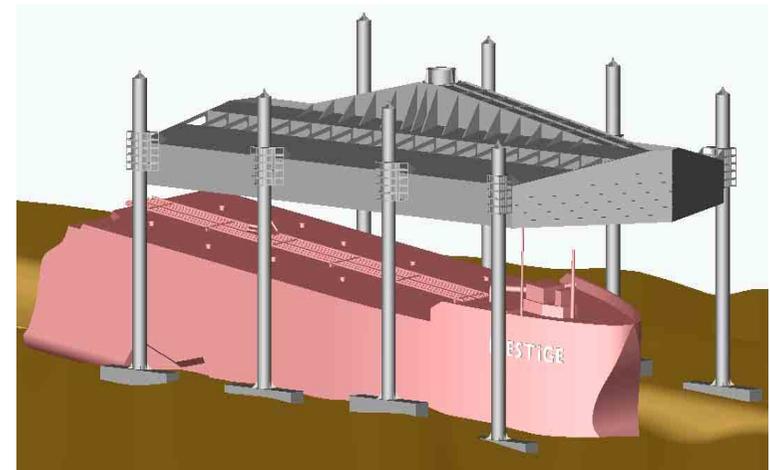
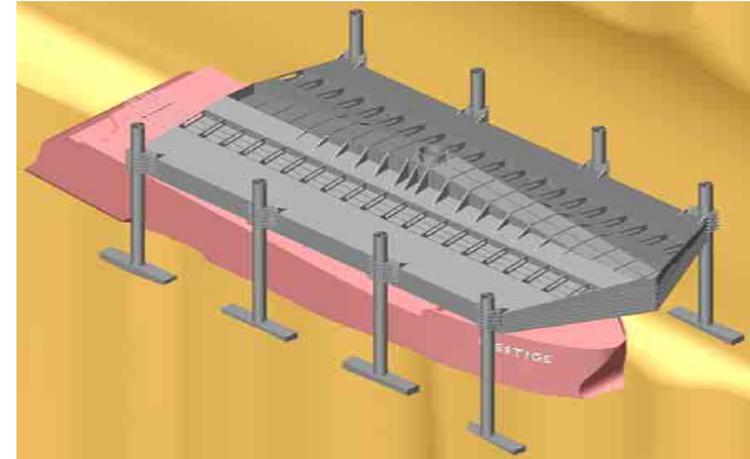
## *5. Confinement au moyen d'une marquise*

*(Dans l'éventualité d'un échec du processus  
d'extraction)*

**Repsol YPF a rassemblé les bases du projet concernant l'étude conceptuelle, l'ingénierie et l'installation de la viabilité de la marquise. Les caractéristiques principales du projet sont les suivantes :**

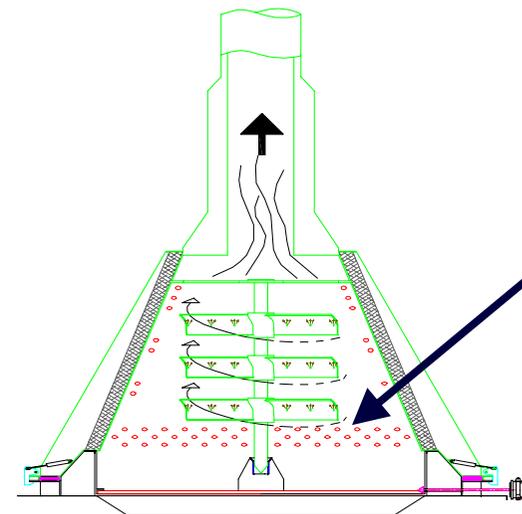
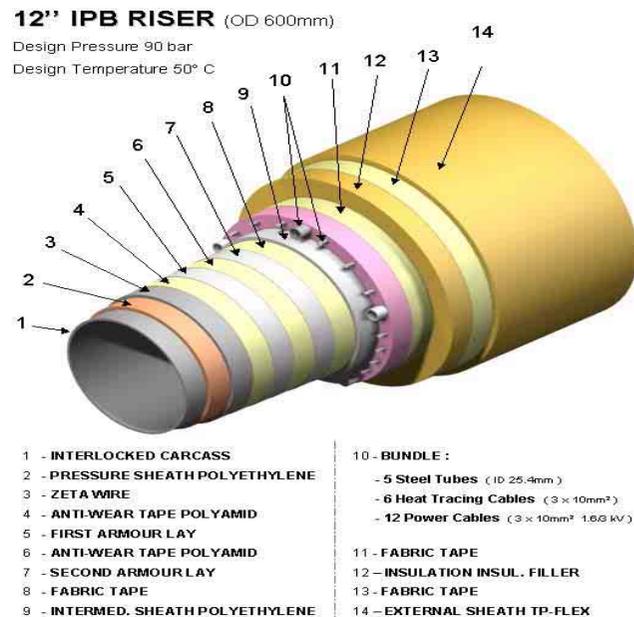
- **Conçu avec une chambre de récupération du fuel hébergeant les mécanismes nécessaires pour prêter assistance à l'extraction du fuel (mécanique, traçage électrique et injection de solvants).**
- **Libre accès des engins télécommandés à l'épave**
- **Opération réversible avec possibilité d'une récupération future.**
- **Structure rigide, avec couverture complète de l'épave. Durée de vie minimum de 50 ans.**
- **Capacité de rétention de tout le fuel restant dans l'épave.**
- **Une fois installée, elle doit avoir un poids supérieur que la flottabilité du fuel restant.**
- **Marquise en forme de V inversé pour faciliter la récupération du fuel emprisonné.**

- La conception de la “Marquise” a été optimisée d’après les mesures du fuel qui ont été obtenues :
- La longueur de la “Marquise” a été réduite de 120m à 103m car la citerne centrale de l’épave ne contient pas de fuel.
- Le volume de fuel à récupérer a donc été réduit de 38000 m<sup>3</sup> à 20000 m<sup>3</sup>, en tenant compte d’une marge de 30%.
- Le nombre de colonnes de support a été réduit de 10 à 8
- L’étude géotechnique des échantillons de sol prélevés, nécessaires à la conception des colonnes de maintien, a été réalisée au Royaume-Uni.
- Un modèle de “Marquise” (à l’échelle 1:5) a été construit au centre hydrodynamique de El Pardo pour des études concernant l’immersion et l’abaissement de la structure



## Le système d'extraction :

- Des études pratiquées à l'université de Huelva ont pour but de déterminer les propriétés d'un fuel contenant une concentration de 10, 20 et 30% de solvants et subissant un réchauffement allant de 20 à 50°C.
- Le projet optimum sera établi en fonction des solvants devant être utilisés, de la taille des unités de pompage et de la contremarche.



Résistance  
Electrique

Chambre d' extraction du fuel

### **Tableau des prévisions:**

- **Fin des travaux d'ingénierie: octobre 2003**
- **Appel d'offres, construction de la marquise : novembre 2003**
- **Installation de la marquise et ouverture des citernes : été 2004**
- **Extraction du fuel emprisonné dans la marquise : été 2005**

***6. Exécution du projet, programme  
(Phase I, jusqu'au 31/10/2003)***

# Exécution du projet, programme

