

**IRSN**INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# Mise au point d'un système de prélèvement pour la validation de modèles de dispersion marine en trois dimensions (projet DISVER).

Rapport DEI/SECRE n° 08-053

*P. Bailly du Bois (DEI/SECRE/LRC)*

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT  
ET DE L'INTERVENTION

Service d'Étude sur le Comportement des Radionucléides dans les Ecosystèmes



Systeme de management  
de la qualite IRSN certifie

---

---

## HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Auteur	Pages ou paragraphes modifiés	Description ou commentaires
1	17/11/2008	P. Bailly du Bois	Version initiale	

---

---

## LISTE DE DIFFUSION

Nom	Organisme
CHAMPION Didier	IRSN/DEI
GARIEL Jean-Christophe	IRSN/DEI
BOULAUD Denis	IRSN/DEI
GAY Didier	IRSN/DEI/SARG
GARNIER-LAPLACE Jacqueline	IRSN/DEI/SECRE
DUBIAU Philippe	IRSN/DEI/SESUC
PERES Jean-Marc	IRSN/DEI/SESURE
LADSOUS David	IRSN/DEI/SIAR
ROBE Marie-Christine	IRSN/DEI/STEME
CALMON Philippe	IRSN/DEI/SECRE/LME
GILBIN Rodolphe	IRSN/DEI/SECRE/LRE
BOUST Dominique	IRSN/DEI/SECRE/LRC
MASSON Michel	IRSN/DEI/SECRE/LRC

## RESUME

Le projet DISVER a pour objectif la validation, par des mesures in-situ, de modèles hydrodynamiques de dispersion en mer en trois dimensions. L'acquisition de données en profondeur utilisables pour cette validation représente un défi scientifique et technique.

Toute la chaîne d'acquisition - traitement - exploitation des données a été adaptée à l'objectif fixé. Il a été nécessaire de développer des outils spécifiques pour pouvoir prélever des échantillons en profondeur à haute fréquence, le navire faisant route :

- Le DYNALEST, un lest dépresseur permettant de prélever jusqu'à 50 mètres de profondeur, le navire restant manœuvrant à 10 nœuds (5 m/s) ;
- Une ligne de prélèvement permettant d'échantillonner 10 profondeurs simultanément
- Une table de prélèvement automatique permettant le prélèvement de plus de 1200 échantillons à l'heure et de les conditionner pour la mesure.

Ces matériels ont été testés en mer dans des conditions opérationnelles pour le prélèvement d'échantillons destinés à la validation de modèles 3D.

L'ensemble du système de prélèvement est opérationnel, il sera mis en œuvre lors de la campagne de validation programmée en 2009.

---

---

## ABSTRACT

DISVER project aims to validate, by in-situ measurements, three dimensions hydrodynamic models for simulation of dispersion at sea. In-depth data acquisition usable for this validation represents a scientific and technical challenge.

All the chain of acquisition - treatment - exploitation of the data was adapted to the objective. It was necessary to develop specific tools to be able to take high frequency in-depth samples, the ship travelling:

- DYNALEST, a depressor ballast allowing to sample up to 50 meters of depth, the ship remaining operating at 10 knots (5 m/s);
- An in-depth line allowing to sample 10 depths simultaneously;
- An automatic sampling table allowing to collect more than 1200 samples per hour and to prepare them for measurement.

These materials were tested at sea under operational conditions of sampling encountered in the validation of 3D models.

The whole sampling system is operational; it will be implemented during the validation campaign planned in 2009.

---

---

## MOTS-CLES

Modèle, mer, 3D, prélèvement, profondeur, lest.

---

---

## TABLE DES MATIERES

<b>1 INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
1.1 Etat de l'art	2
1.2 Compétences et savoir-faire de l'IRSN	3
<b>2 SITE ATELIER</b>	<b>3</b>
<b>3 MODELE 5</b>	
<b>4 TRACEUR</b>	<b>5</b>
<b>5 ECHANTILLONNAGE</b>	<b>6</b>
5.1 Stratégie	6
5.2 Exemples de résultats attendus	7
<b>6 CONSTRUCTION DE LA LIGNE DE PRELEVEMENT</b>	<b>9</b>
6.1 Caractéristiques de la ligne de prélèvement	12
<b>7 DEVELOPPEMENT ET CONSTRUCTION DU DYNALEST</b>	<b>12</b>
7.1 Cahier des charges	12
7.2 Matériel existant	13
7.3 Mise au point	13
7.4 Construction	16
7.5 Essais en bassin	18
7.6 Essais en mer	19
7.6.1 CAMPAGNE DIVSER08	19
7.6.1.1 MISE EN PLACE ET D'EFFICACITE DU DYNALEST SEUL	19
7.6.1.2 DYNALEST ASSOCIE A LA LIGNE DE PRELEVEMENT,	19
7.6.1.3 CONDITIONS DE REJET ET DE PRELEVEMENT REELLES.	20
7.6.2 RECONSTRUCTION DU DYNALEST	21
7.6.3 CAMPAGNE DIVSER1008	21
<b>8 PRELEVEMENT A HAUTE FREQUENCE</b>	<b>24</b>
<b>9 PRELEVEMENT ASSISTE PAR LA SIMULATION</b>	<b>27</b>
<b>10 BATHYMETRIE A HAUTE RESOLUTION</b>	<b>28</b>
<b>11 CONCLUSION</b>	<b>30</b>
<b>12 REMERCIEMENTS</b>	<b>31</b>
<b>13 LISTE DES FIGURES</b>	<b>32</b>
<b>14 LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>32</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>33</b>

# **1 INTRODUCTION**

L'évaluation de l'impact de rejets de substances polluantes en milieu marin, que ce soit en situation normale ou accidentelle, est indispensable en Manche : une part importante du commerce mondial y transite et de nombreux émissaires de rejet industriels y aboutissent.

Les modèles hydrodynamiques de dispersion sont maintenant capables de simuler les courants et la dilution des substances dissoutes pour des conditions réalistes de marée, de rejets et de vents. Lorsqu'ils ont pu être validés par des données de terrain, ils permettent de prévoir les conséquences de rejets chroniques ou accidentels à grande échelle.

L'IRSN-LRC dispose, avec les mesures *in-situ* de radiotraceurs solubles, d'outils uniques pour valider les modèles hydrodynamiques de dispersion en mer. La zone atelier du Cap de La Hague qui a fait ses preuves pour la validation de modèles en deux dimensions peut être également utilisée pour valider des modèles tridimensionnels.

Ce document présente la définition et la mise au point d'un système de prélèvement et de mesure pour la validation de modèles de dispersion marine en trois dimensions (projet DISVER : DISpersion VERTicale). L'acquisition de telles données représente un défi scientifique et technique.

La validation en trois dimensions nécessite des données d'expérimentation adaptées aux caractéristiques et à la précision des modèles testés. L'intérêt des données d'expérimentation résultera de leur qualité et de leur originalité. Cela implique la mise au point de matériels et méthodes spécifiques, à la limite de ce qui est techniquement possible.

Les données acquises en profondeur dans le panache de rejet permettront de progresser sur plusieurs domaines :

- Connaissance des paramètres de la dispersion entre 50 mètres et un kilomètre d'un émissaire.
- Connaissance des effets tridimensionnels durant les 24 heures suivant un rejet.
- Concentrations maximales et moyennes mesurées en fonction de la distance du point de rejet.
- Connaissance de la diffusion associée à la turbulence près du fond.

La confrontation des données de terrain aux résultats de simulation permettra de valider un modèle 3D. Il sera utilisé de différentes manières :

- Différents modes de fonctionnement du modèle seront testés avec des stratifications régulières ou variables, ainsi que différents modes de calcul de la turbulence.
- Une fois validé, le modèle permettra de déterminer les paramètres de la dilution de rejets liquides à courte distance, pour des situations réalistes de rejet et de marée.
- En complément des modèles à deux dimensions, il existera des outils complémentaires permettant de simuler la dispersion de rejets solubles depuis les minutes suivant un rejet jusqu'à plusieurs jours, semaines, mois et années, avec des incertitudes connues.

## **1.1 ETAT DE L'ART**

En Manche, le principal moteur des courants à court terme est la marée. Ce phénomène est prévisible et les mouvements des masses d'eaux peuvent être calculés depuis les grandes échelles (centaines de kilomètres) jusqu'aux plus petites (dizaines de mètres). En plus de la simulation des courants de marée, les modèles hydrodynamiques de dispersion permettent de simuler la dispersion de substances chimiques dans l'environnement proche d'un émissaire. Ces modèles nécessitent une validation par des données de terrain afin d'ajuster certains paramètres – frottement sur le fond, frottement du vent sur la mer –, et de quantifier leur représentativité. Cette validation a pu être réalisée en Manche pour les échelles de temps allant de l'heure

jusqu'à l'année suivant un rejet. Elle n'a pas été faite lorsque le panache n'est pas homogène sur la verticale. Ce domaine ne peut être représenté que par des modèles de dispersion en trois dimensions.

Les modèles 2D simulent l'hydrodynamique en réalisant une intégration verticale des vitesses et des concentrations en traceur. Cette simplification est suffisante pour représenter la dispersion lorsque les conditions suivantes sont toutes remplies :

- Densité du rejet proche de celle de l'eau de mer ;
- Concentrations en rejet homogènes sur la verticale ;
- Absence de gradient bathymétrique important ;
- Absence de stratification thermique ou haline de la masse d'eau.

Ces critères sont généralement remplis en Manche à plus d'un kilomètre d'un émissaire et plus d'une heure après un rejet.

Il n'existe pas actuellement d'outil validé permettant de représenter la dispersion entre une minute et une heure après un rejet. Les campagnes DISPRO ont montré qu'une validation en deux dimensions était possible dans l'environnement proche de l'émissaire de rejet de l'usine AREVA-NC. Le même type d'approche est envisageable pour des modèles 3D, mais avec la contrainte supplémentaire de devoir prélever des échantillons en profondeur dans les conditions de courant très fort du Raz Blanchard.

Le projet DISVER a pour objectif de valider des modèles 3D simulant la dispersion de rejets liquides durant les minutes et les heures suivant un rejet, en mesurant la stratification du panache depuis le fond jusqu'à la surface.

La démarche entreprise dans le cadre du projet DISPRO va se prolonger pour l'étude du panache dans les tous premiers instants suivants un rejet (une ou deux heures ou bien un mille marin). Les données nécessaires à la validation d'un modèle de dispersion en champ proche seront acquises sur la hauteur de la colonne d'eau, ces données permettront de valider qualitativement et quantitativement un modèle de dispersion tridimensionnel.

## 1.2 COMPETENCES ET SAVOIR-FAIRE DE L'IRSN

Les actions de validation de modèles hydrodynamiques à l'aide des mesures de radiotraceurs ont débuté en 1996 au LRC ; elles résultent de collaborations avec l'IFREMER et de demandes de l'industriel AREVA-NC. Les radionucléides artificiels utilisés comme traceurs solubles ont permis d'atteindre un niveau de précision exceptionnel pour des modèles de dispersion dans l'environnement marin. En moyenne, les écarts constatés entre les concentrations mesurées et simulées par les modèles sont inférieurs à 50 %, que ce soit pour la dispersion à court terme dans le champ proche d'un émissaire (jours, dizaines de kilomètres) ou à long terme (mois, années, 1000 kilomètres).

## 2 SITE ATELIER

Plusieurs critères justifient l'étude de la zone des rejets de l'usine de retraitement de combustibles usés de La Hague :

- La région du Cap de La Hague associe des courants particulièrement forts, des côtes découpées avec de nombreuses baies faisant voisiner des courants violents avec des zones calmes, des gradients bathymétriques importants.
- Un modèle validé dans cette zone devrait pouvoir être appliqué partout en Manche.
- De nombreuses données ont été acquises dans le passé : marquages à l'aide de rhodamine et suivi de la dispersion durant plusieurs jours ; suivis de bouées dérivantes. Elles permettent d'établir une première base de validation.
- Les rejets de l'installation de La Hague sont parfaitement connus, rejet par rejet, depuis 1982 ; ils constituent la principale source des radionucléides artificiels pour la Manche, supérieurs de deux ordres de grandeur aux autres sources pour le tritium. Le "bruit de fond" des eaux atlantiques arrivant en Manche varie de 0,1 à 0,3 Bq/L, il a des origines naturelles et artificielles (retombées des essais

- nucléaires atmosphériques, eaux de la Mer d'Irlande et du chenal de Bristol marquées par des rejets industriels britanniques). Les autres sources de tritium pour la Manche sont les eaux de la Seine (3 à 9 Bq/m<sup>3</sup>) et les rejets des centrales nucléaires côtières (Paluel, Penly, Gravelines, Dungeness), environ 100 fois plus faibles que ceux de La Hague.
- Le marquage induit par les rejets de l'usine de La Hague est net : les concentrations mesurées le long des côtes du cap de La Hague sont d'environ 10 Bq/L, elles résultent de la dilution à moyen terme des rejets chroniques de l'usine (mois) ; les concentrations attendues en profondeur dans le panache de l'émissaire sont supérieures à 100 Bq/L pour chaque rejet tritié.
  - Le projet DISPRO (2002 - 2006 ; Figure 1, Figure 2) a permis de valider des modèles d'advection et de dispersion par des données de terrain dans l'environnement proche d'un émissaire de rejet pour le court terme (de l'heure à la semaine) et les petites distances (de 100 m à 30 km). 14 450 mesures de tritium ont été acquises dans ce but ainsi que de nombreuses mesures physiques (courantométrie, hauteur d'eau, bathymétrie). Cette base de données permet de calculer les incertitudes des modèles, elle sera ré-exploitée pour valider le modèle tridimensionnel.
  - Bien qu'elle soit complexe, la région du Cap de La Hague est maintenant l'une des mieux connues du point de l'hydrodynamique et de la dispersion.

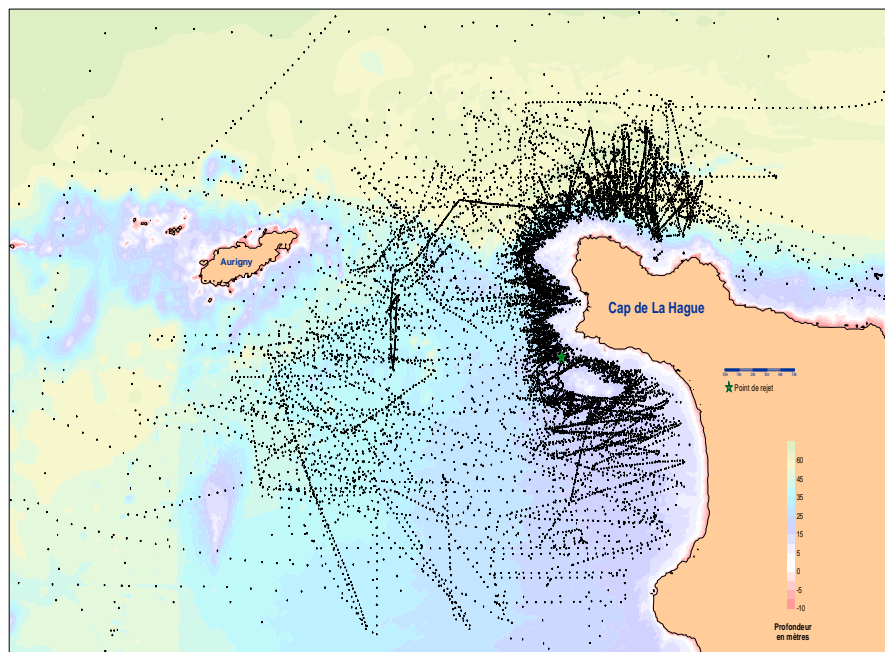
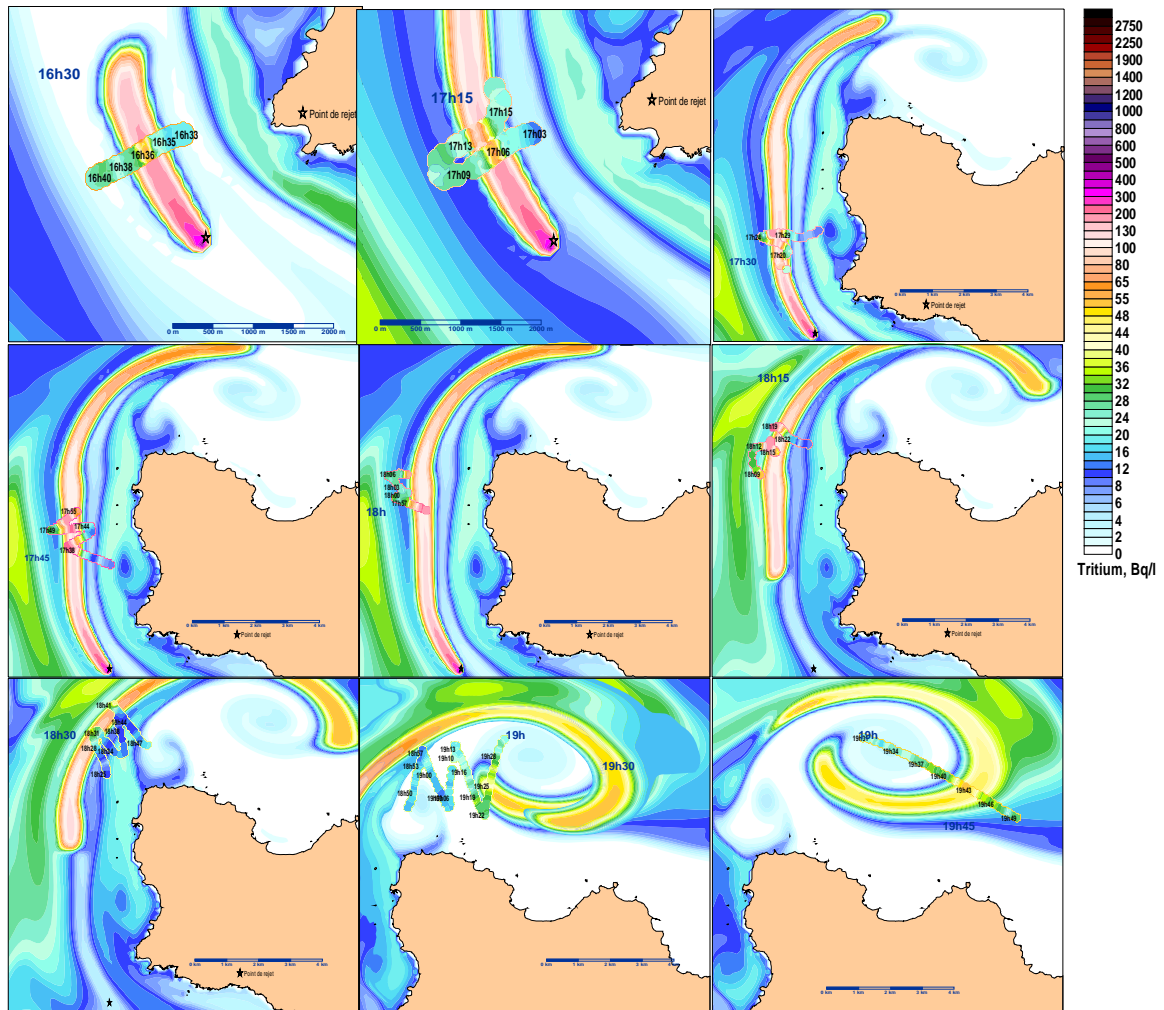


Figure 1 Localisation des échantillons prélevés durant les campagnes DISPRO



Résultats du 12/06/03 de 16h à 20h.

Taches de couleur : résultats de mesure ; arrière plan : simulation

Figure 2 Exemple de comparaison modèle / mesures effectuée dans le cadre du projet DISPRO

### 3 MODELE

Pour représenter fidèlement la dispersion entre quelques dizaines de mètres et un kilomètre, un modèle d'emprise adaptée doit être développé. Il aura une résolution horizontale inférieure à 30 mètres et une résolution verticale de quelques mètres.

Les mesures courantologiques effectuées durant les campagnes DISPRO ont montré que les courants locaux étaient très variables du fait des variations bathymétriques locales. Cette influence est exacerbée en trois dimensions. Il est nécessaire d'acquérir de nouvelles données pour représenter la bathymétrie avec une précision compatible avec la résolution horizontale retenue. En plus des moyens du LRC, des moyens de mesures bathymétriques externes ont été sollicités.

La précision atteinte devrait permettre de représenter l'influence des tourbillons locaux et de la rugosité du fond sur la diffusion à court terme.

### 4 TRACEUR

Le tritium a été utilisé comme traceur pour la validation en trois dimensions ; la technique de prélèvement et de mesure a été éprouvée durant le projet DISPRO.

Le tritium rejeté par l'installation de La Hague, parfaitement conservatif dans l'eau de mer sous la forme HTO, est simple à échantillonner (remplissage de flacons de 50 mL) et à mesurer (mesure par scintillation liquide). Il est possible d'acquérir rapidement un grand nombre de mesures *in situ*.



Un protocole spécifique a été mis au point pour le projet DISPRO : mesure par scintillation liquide durant 50 minutes suivie d'exploitation optimisée et automatisée des spectres. Le LRC a une capacité de traitement d'environ 5000 échantillons par an.

## **5 ECHANTILLONNAGE**

### **5.1 STRATEGIE**

Les campagnes DISPRO ont montré qu'une validation de la dispersion à l'aide de mesures de radiotraceurs était possible en deux dimensions dans l'environnement proche de l'émissaire et dans le raz Blanchard où les courants peuvent être particulièrement intenses, jusqu'à 5 m/s.

Une approche similaire est envisagée pour valider un modèle 3D, avec la contrainte supplémentaire de devoir prélever des échantillons en profondeur.

La validation d'un modèle en trois dimensions nécessite de déterminer l'étendue spatiale et les concentrations en tritium dans le panache sur toute la colonne d'eau, entre le moment où il est émis et le moment où il est homogène sur la verticale. La recherche du positionnement et de l'étendue du panache des rejets guidera la stratégie d'échantillonnage. Des séries de radiales traversant le panache de rejet devront préciser sa position et son étalement horizontal et vertical.

Les campagnes DISPRO ont montré que l'homogénéité du panache est obtenue une heure après le rejet. La largeur caractéristique du panache est alors d'environ 100 mètres, sa longueur varie de 1 km à 10 km selon les courants. En tenant compte d'une vitesse de déplacement du navire de 5 nœuds, une fréquence d'échantillonnage de 30 secondes permet d'échantillonner tous les 77 mètres. La localisation précise du panache pourra nécessiter d'échantillonner à plus haute fréquence ou avec une vitesse de déplacement plus faible du navire. Il faut préciser que la vitesse indiquée ici est la vitesse perpendiculairement à l'axe du panache. Avec le courant de 6 nœuds observé généralement à proximité de l'émissaire, ce déplacement latéral suppose un déplacement du bateau par rapport à la masse d'eau de près de 8 nœuds. C'est cette vitesse qui devra être supportée par le système de prélèvement, avec des changements de direction fréquents.

Lors des campagnes DISPRO les prélèvements étaient faits en surface, le navire faisant route. Il n'y avait aucune gêne pour effectuer les manoeuvres. Il n'en sera pas de même avec des prélèvements en profondeur.

Plusieurs techniques sont envisageables :

1. Prélèvements en profondeur effectués habituellement à l'aide de bouteilles immergées, en parallèle sur une rosette télécommandée, ou en série sur une ligne. Cette technique nécessite l'arrêt du navire en station pendant le temps nécessaire à la manoeuvre (15 minutes pour le positionnement en station, 15 minutes pour le prélèvement). Elle n'est pas envisageable pour l'objectif fixé en raison de la dérive du bateau durant le prélèvement, du danger lié à la proximité de récifs et de la fréquence d'échantillonnage insuffisante ;
2. Prélèvements par tuyau immergé descendu à différentes profondeurs. Cette technique permettrait de maintenir une certaine maniabilité au navire, par contre les différents niveaux ne peuvent pas être échantillonnés simultanément ;
3. Prélèvements à l'aide d'une batterie de tuyaux immergés à une profondeur fixe, chaque tuyau étant associé à un niveau prédéterminé. Plusieurs pompes assurent le pompage simultané sur tous les tuyaux. Cette technique présente l'avantage de pouvoir échantillonner en continu et à plusieurs profondeurs en même temps, le navire faisant route en réalisant des radiales transverses au panache du rejet.

La troisième technique permet a priori de répondre aux besoins du projet. Elle nécessite de maintenir la ligne de prélèvement à la profondeur souhaitée dans des conditions opérationnelles pour le projet DISVER. Il n'existe pas actuellement de système adapté à ces conditions et appareillage spécifique doit être développé. Il sera décrit dans la suite du document (Chapitres 6 et 7).

A proximité de l'émissaire de rejet d'AREVA-NC, les profondeurs varient de 20 à 35 mètres. Pour représenter correctement la distribution verticale du panache, il est envisagé de prélever à dix niveaux simultanément, soit tous les 2 à 3 mètres. Avec une fréquence d'échantillonnage de 30 secondes, il faut alors assurer le prélèvement de 1200 échantillons à l'heure. De tels flux rendent le prélèvement manuel difficile à gérer. Un système de prélèvement automatique a également été développé pour assurer cette tâche (Chapitres 8).

## 5.2 EXEMPLES DE RESULTATS ATTENDUS

A titre de démonstration, le modèle DISPRO a été activé en trois dimensions avec une stratification verticale de dix couches. La simulation réalisée n'a fait l'objet d'aucune validation et la résolution horizontale est insuffisante pour représenter fidèlement la dispersion tridimensionnelle du rejet immédiatement après son émission. Elle n'a qu'une valeur indicative des tendances représentatives des phénomènes tridimensionnels. La Figure 3 montre la dispersion progressive du panache depuis le fond jusqu'à la surface, les Figure 4, Figure 5 et Figure 6 montrent l'influence des variations bathymétriques sur les courants et la dilution du panache au fond (profondeur de 30 m près du point de rejet et de 100 m au nord du Cap de La Hague. Cette zone pourra être étudiée dans un deuxième temps.

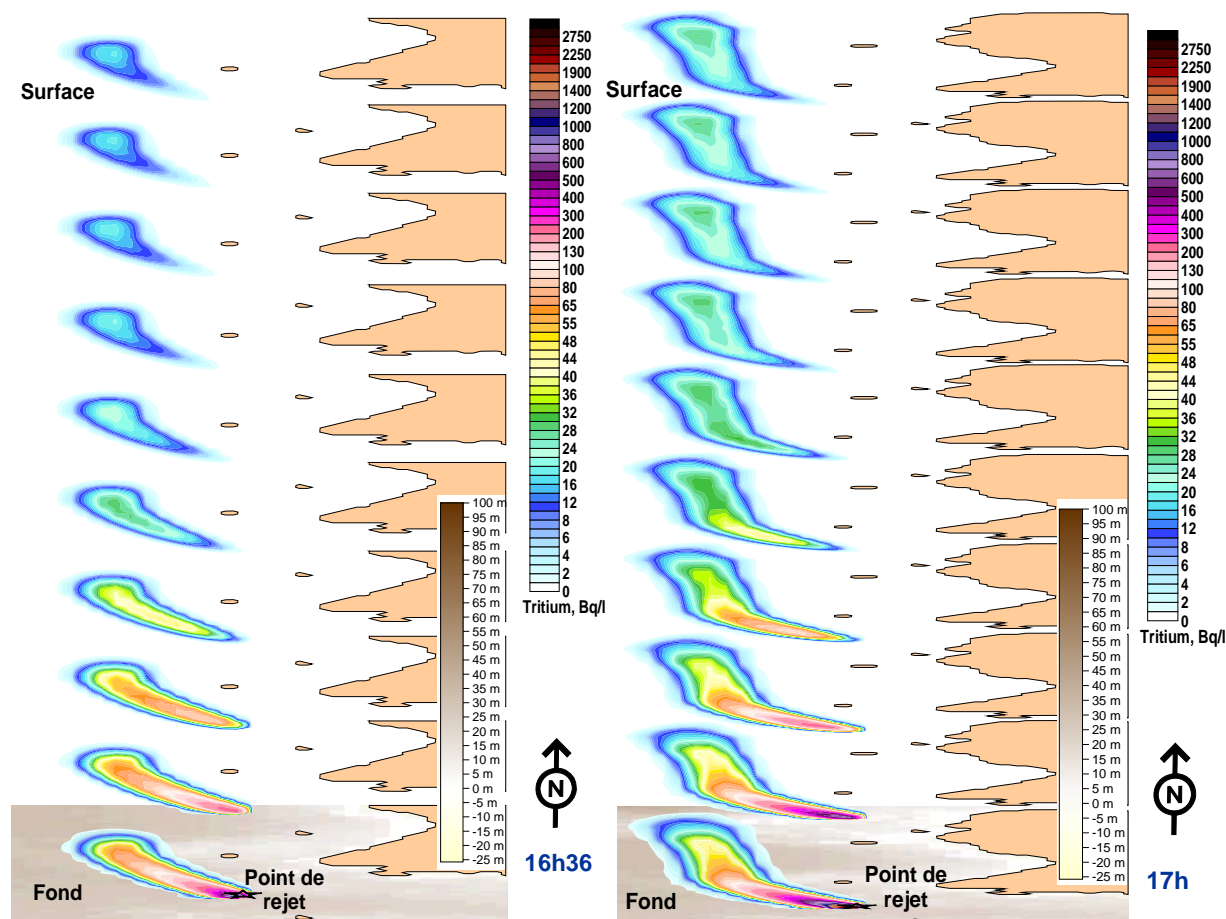


Figure 3 Simulation en trois dimensions de la dispersion du rejet de La Hague, 26 et 50 minutes après le début du rejet.

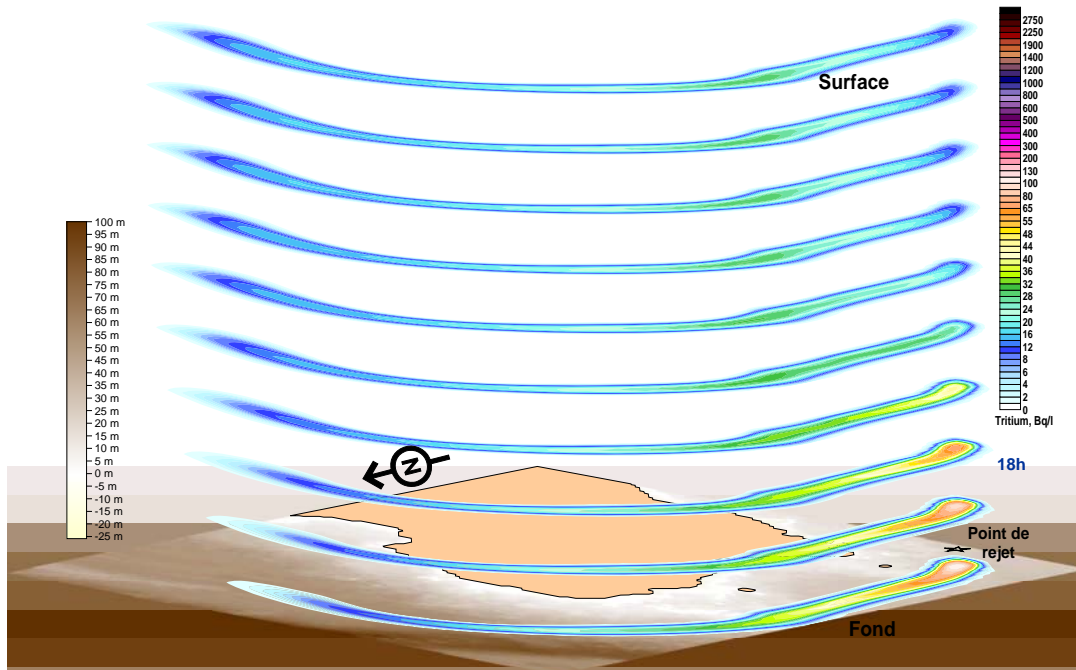


Figure 4 Simulation en trois dimensions de la dispersion du rejet de La Hague, 1h50 après le début du rejet.

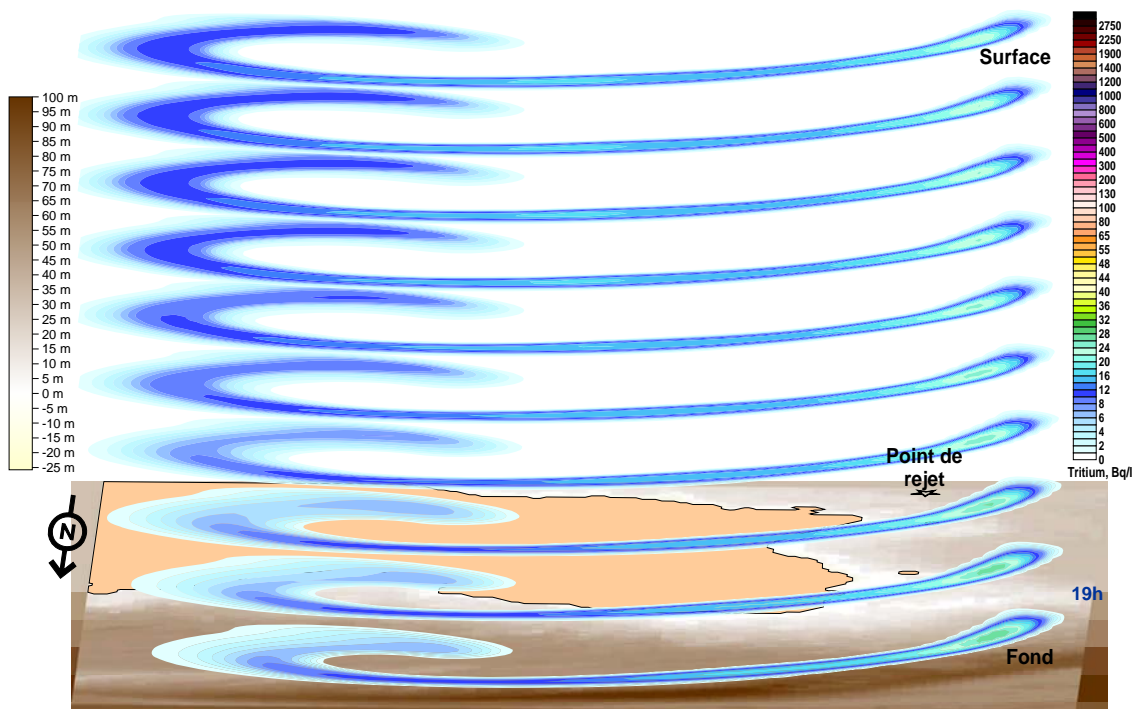


Figure 5 Simulation en trois dimensions de la dispersion du rejet de La Hague, 2h50 après le début du rejet.

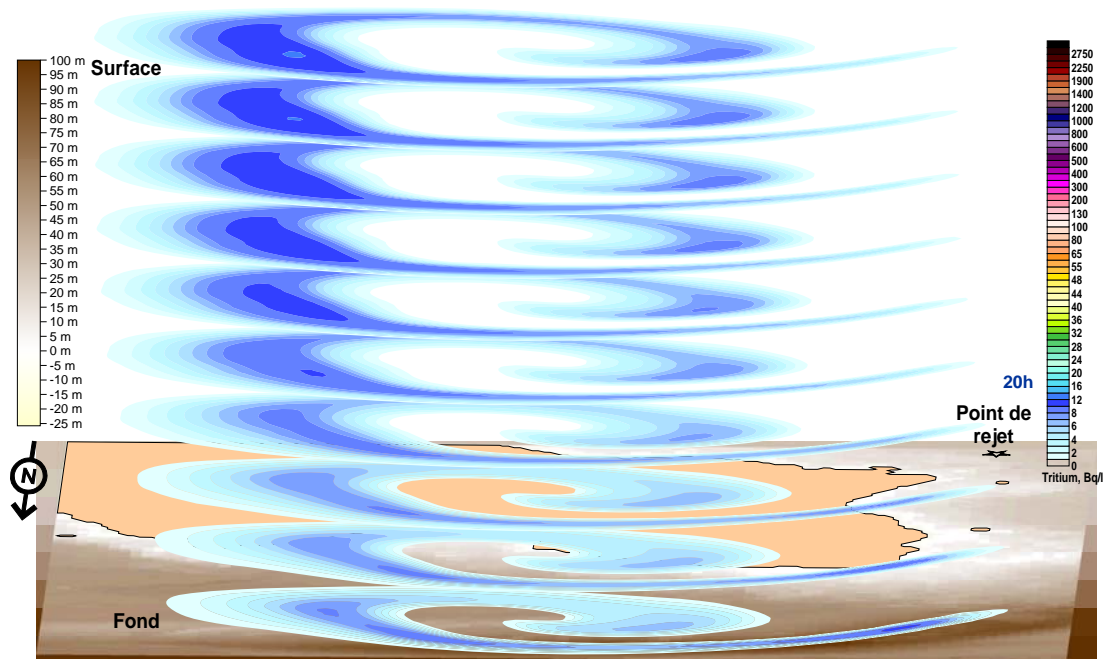


Figure 6 Simulation en trois dimensions de la dispersion du rejet de La Hague, 3h50 après le début du rejet

## 6 CONSTRUCTION DE LA LIGNE DE PRELEVEMENT

La ligne de prélèvement doit assurer plusieurs fonctions simultanément :

1. Immerger des tuyaux à la profondeur voulue pour échantillonner la masse d'eau traversée (20 à 30 mètres à proximité de l'émissaire de AREVA-NC, plus de 50 mètres au nord du Cap de La Hague) ;
2. Avoir un diamètre hydraulique le plus faible possible pour limiter la traînée ;
3. Avoir un diamètre hydraulique suffisant pour prélever des volumes de 20 ml toutes les 30 secondes avec une bonne séparation entre les échantillons ;
4. Supporter les efforts mécaniques transversaux associés au déplacement par rapport à l'eau ;
5. Supporter le poids du lest qui la maintient immergée ;
6. Supporter les capteurs enregistrant la profondeur d'immersion ;
7. Transmettre en temps réel les mesures de profondeur sous le lest ;
8. Etre facile à déployer et à relever à partir d'un navire océanographique.

Le compromis entre les points 2 et 3 détermine le dimensionnement des tuyaux. Un débit de 200 mL/mn paraît raisonnable pour garantir un temps de prélèvement suffisamment court pour avoir le temps de passer d'un échantillon à l'autre et limiter les mélanges entre deux échantillons du fait du transit dans le tuyau. Avec 200 mL/mn, 80 mL séparent deux échantillons de 20 mL séparés de 30 secondes.

Des calculs réalisés avec le logiciel Mecaflex® ont permis de réaliser un premier dimensionnement des tuyaux. Ces calculs ont été complétés par des expérimentations en laboratoire. Une section interne de 4 mm a été retenue, elle autorise un débit de 200 mL/mn avec un tuyau de 100 mètres et une perte de charge de 0,7 bar, accessible avec une pompe péristaltique.

Des tuyaux en polyuréthane de section 4 x 6mm ont été retenus comme un meilleur compromis de résistance, souplesse, transparence et maniabilité. Ils peuvent être raccordés par des raccords instantanés robustes.

L'accouplement de dix tuyaux, du câble du sondeur ( $\varnothing$  6mm) et du câble porteur de tuyaux (inox  $\varnothing$  8mm) aboutit à une section moyenne de 20 mm. Pour des raisons mécaniques et pour limiter la traînée (Figure 7), les tuyaux doivent être assemblés solidement et enveloppés dans une gaine. Le calcul de la traînée effectué avec Mecaflex® pour un tuyau cylindrique aboutit à une portance de 300 Kg.f pour une longueur immergée de 50

mètres, un angle de  $30^\circ$  et une vitesse de 5 m/s ( $\approx 10$  nœuds). C'est cette force que devra compenser le lest dynamique (cf. chapitre 7).

Des essais ont été réalisés en enveloppant les tuyaux dans une gaine avec des franges pour limiter la traînée et stabiliser l'écoulement. Cette technique avait fait ses preuves à l'IFREMER pour stabiliser des lignes immergées. Les essais réalisés en bassin et en mer n'ont pas été concluants ; la gaine augmente la traînée de la ligne de 50 à 100% (Figure 8, Figure 11).

Pour simplifier la mise en œuvre, les essais ont été réalisés en enroulant simplement les tuyaux avec de l'adhésif, sans optimiser le profil de la gaine (Figure 9). Ce profil pourrait être éventuellement amélioré en lui donnant une forme ovoïde pour améliorer l'hydrodynamisme.

La mise en œuvre à bord du navire océanographique impose de pouvoir enrouler le câble sur un treuil. Il est exclu d'enrouler directement les tuyaux sur celui-ci, les tuyaux seraient écrasés par les efforts de traction. La solution retenue a été d'accoupler à la ligne de prélèvement un câble porteur qui reprend les efforts de traînée tous les 2,5 mètres et la traction du lest vers le bas. Ce câble porteur avait été dimensionné dans un premier temps avec 8 mm de section (inox, rupture à trois tonnes). Suite à la rupture de ce câble lors de la campagne de juin 2008 (chapitre 7.6.1.3), il a été remplacé par un câble en acier de 14 mm de section (rupture à 9 tonnes). Ce câble est gréé avec des anneaux fixés régulièrement qui permettent de fixer la ligne de prélèvement avec des mousquetons rapides (Figure 9, Figure 10). La portance de ce câble est estimée à 200 Kg.f Newtons ( $L = 50$  mètres,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $V = 5$  m/s). Du fait du positionnement de la ligne de prélèvement derrière le câble porteur, il est vraisemblable que la traînée totale des deux câbles est plus faible que la somme des deux traînées.

Une fois immergée, la ligne de prélèvement n'a pas une immersion linéaire en fonction de la longueur filée. Bien que le profil de cette immersion puisse être calculé a priori, des profondimètres enregistreurs sont fixés régulièrement le long de la ligne pour connaître la profondeur réelle des prélèvements (Figure 13, Figure 14). La fréquence d'acquisition a été fixée à une seconde ; la précision est inférieure à 10 cm.





Figure 7 Traction de dix tuyaux sans carénage, canal d'essais de Brest



Figure 8 Traction de dix tuyaux avec carénage, canal d'essais de Brest



Figure 9 Ligne de prélèvement avec mousqueton de fixation et raccords-pompes



Figure 10 Fixation des tuyaux sur le câble porteur

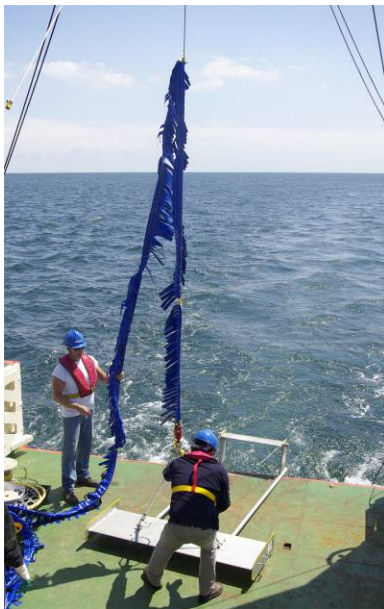


Figure 11 Mise en place du DYNALEST avec jupe sur la ligne

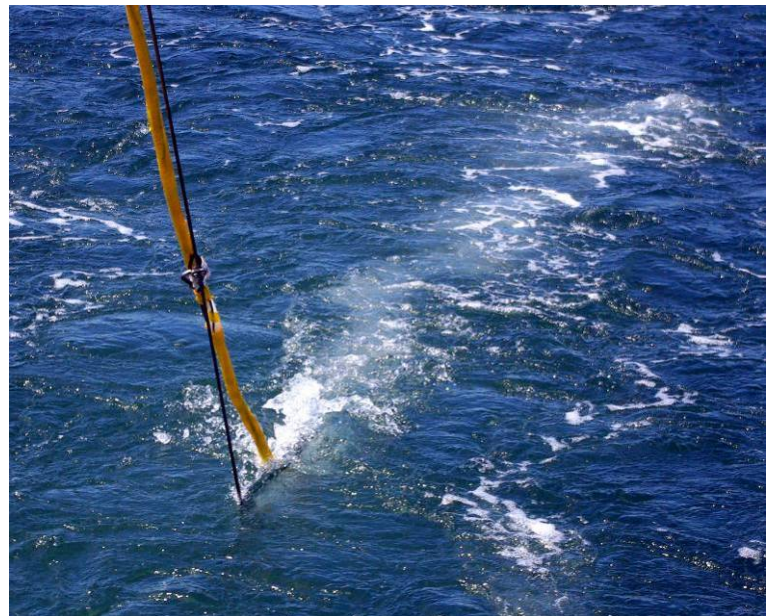


Figure 12 Traction de dix tuyaux gainés par de l'adhésif, avec le câble porteur, campagne DISVER08



Figure 13 Mise en place d'un profondimètre



Figure 14 Ligne de prélèvement avec profondimètre

## 6.1 CARACTERISTIQUES DE LA LIGNE DE PRELEVEMENT

- Câble porteur
  - o 70 mètres acier galvanisé de 14 mm, charge de rupture de 9 tonnes ;
  - o Anneaux de fixation tous les 2,5 m (maillons de chaîne), fixés par serres câbles.
- Ligne de prélèvement
  - o Câble inox de 8 mm, charge de rupture de 3 tonnes ;
  - o Tuyaux polyuréthane de section 4 x 6mm, 1 à 10 débouchant tous les 2,5 m ;
  - o Capteurs de pression tous les 7,5 m (marégraphes NKE SP2T30) ;
  - o Câble de données sondeur (Ø 6 mm) ;
  - o Mousquetons rapides tous les 2,5 m (Ø 8mm, rupture 1 T)
  - o Enveloppe en adhésif souple continue ;
  - o Raccords tuyaux et débitmètres ;
  - o Manille et émerillon.

## 7 DEVELOPPEMENT ET CONSTRUCTION DU DYNALEST

Le défi à relever consiste à maintenir la ligne de prélèvement à la profondeur voulue avec une vitesse de déplacement du navire de 4 à 10 nœuds (2,5 - 5 m/s) et dans des conditions de manœuvre normales. L'option retenue consiste à utiliser un lest dépresseur. Ce type de lest utilise la vitesse de déplacement du navire pour créer une portance vers le bas, augmentant avec la vitesse. Cette portance augmente en parallèle avec la traînée du câble qui doit être maintenu immergé. Il en résulte que les efforts sont proportionnés aux besoins et que l'engin est moins lourd à manipuler qu'un lest passif.

### 7.1 CAHIER DES CHARGES

- Profondeur de prélèvement : 20 à 50 mètres ;
- Diamètre hydraulique moyen de la ligne de prélèvement de 20 mm, cela qui implique pour une ligne de 50 mètres :
  - o Un angle de la ligne avec la verticale inférieur à 30° ;
  - o Une portance ligne + câble porteur de 500 Kg.f à 10 nœuds ;
  - o Une portance du lest supérieure à 900 Kg.f à 10 nœuds.
- Manutention et mise en œuvre par deux ou trois personnes (poids inférieur à 100 kg) ;
- Rapport portance / traînée supérieure à 50 (finesse) ;
- Manoeuvrabilité en route ;
- Sécurité (déploiement, navigation) ;
- Coût inférieur à 10K€ ;

La finesse représente l'efficacité du lest dépresseur.



Par exemple une finesse de 5 indique que 20 % de la portance du lest sera utilisée pour compenser sa traînée, la longueur de ligne immergée en sera réduite d'autant. L'angle de la ligne avec la verticale sera alors de 11° avec le lest près de la surface.

L'angle du câble avec la verticale doit rester aussi faible que possible. Pour des angles supérieurs à 30°, la portance du câble devient très pénalisante.

## 7.2 MATERIEL EXISTANT

Le Tableau 1 présente les systèmes existants qui ont pu être inventoriés. Les caractéristiques précises ne sont généralement pas communiquées ; elles ont été déduites des documents fournis.

Il s'avère qu'aucun des systèmes existant ne répond entièrement au cahier des charges. En particulier pour la finesse, le coût et le poids. Il est possible que d'autres systèmes existent, mais ils ne font pas l'objet d'une commercialisation large.

Ce constat a amené au développement d'un système spécifique pour les campagnes DISVER : le DYNALEST (LEST DYNAmique).

Fabriquant / revendeur	Type	Portance à 10 noeuds	Poids air	Finesse	Largeur	Prix
ANHYDRE	V-FIN 850	1160 Kg.f	195 Kg	5	2,17 m	> 15 k€
EIVA	ScanFish		50 Kg	≈ 10	1,60 m	> 15 k€
IFREMER	Prototype	≈ 1000 Kg.f	200 Kg	4 - 9	1 m	disponible
Plomb profilé	Lest passif	1000 Kg	1100 Kg	500	0,30 m	> 10 k€

*Tableau 1 Caractéristiques des lests dépresseurs existants*

## 7.3 MISE AU POINT

Le principe retenu est d'utiliser un plan porteur de dimensions adaptées à la portance recherchée.

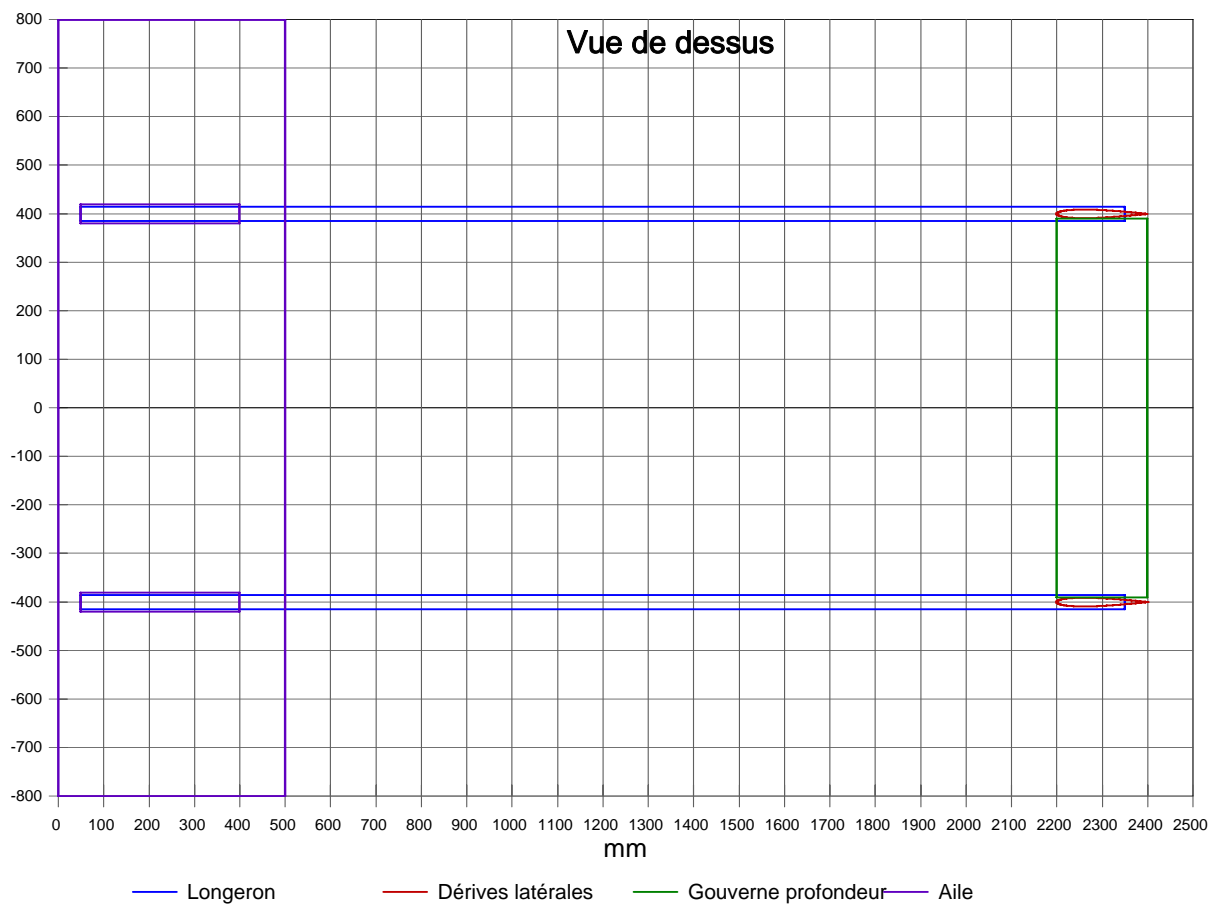
Des recherches ont été effectuées afin de choisir le profil et les dimensions de l'engin. La plupart des données disponibles concernent des systèmes utilisés dans l'air, ou dans l'eau avec des profils symétriques. Du fait que la portance du lest ne s'exerce que dans un sens, un profil dissymétrique est mieux adapté. De nombreux profils sont disponibles en libre accès sur Internet, il existe également un éditeur de profils du type NACA, qui permet de définir n'importe quel profil de ce type. En utilisant cet éditeur et le code X foil, intégré à Mécaflux®, il a été possible de calculer les polaires de différents profils et d'en sélectionner un adapté à l'objectif. Ce choix s'est fait sur des critères de robustesse afin de retenir un profil de portance et de finesse maximum, sans risquer des instabilités et des décrochements pour les vitesses et les incidences opérationnelles. Le risque de cavitation a été rejeté, celui-ci n'apparaissant que pour des vitesses d'écoulement supérieures à 15 nœuds.

Caractéristiques retenues (plans Figure 15 et Figure 16):

- Profil porteur et empennage pour le réglage de l'incidence
- Matériau : aluminium ; poids : 80 kg
- Largeur : 1,6 m longueur : 2,2 m
- Profondeur de travail : 20 à 50 mètres
- Coût : 5700 € (sociétés Naudin, ESIM)
- Aile :
  - o Profil NACA 459 (Figure 17)
  - o Largeur 1,6 m
  - o Corde 0,5 m
- Ailerons (2) :



- Profil NACA 009 (Figure 18)
- Largeur 0,4 m
- Corde 0,2 m
- Gouverne de profondeur :
  - Profil NACA 459 (Figure 17)
  - Largeur 0,8 m
  - Corde 0,2 m
- Structure :
  - Deux ronds de 50 mm
  - Longueur 2,35 m
  - Profilés aux extrémités
- Performances théoriques à 5,1 m/s (10 nœuds) et une incidence de 7° :
  - Portance : 1235 Kg.f
  - Traînée : 15 Kg.f
  - Finesse (P/T) : 81



*Figure 15 Plan du DYNALÉST, vue de dessus*

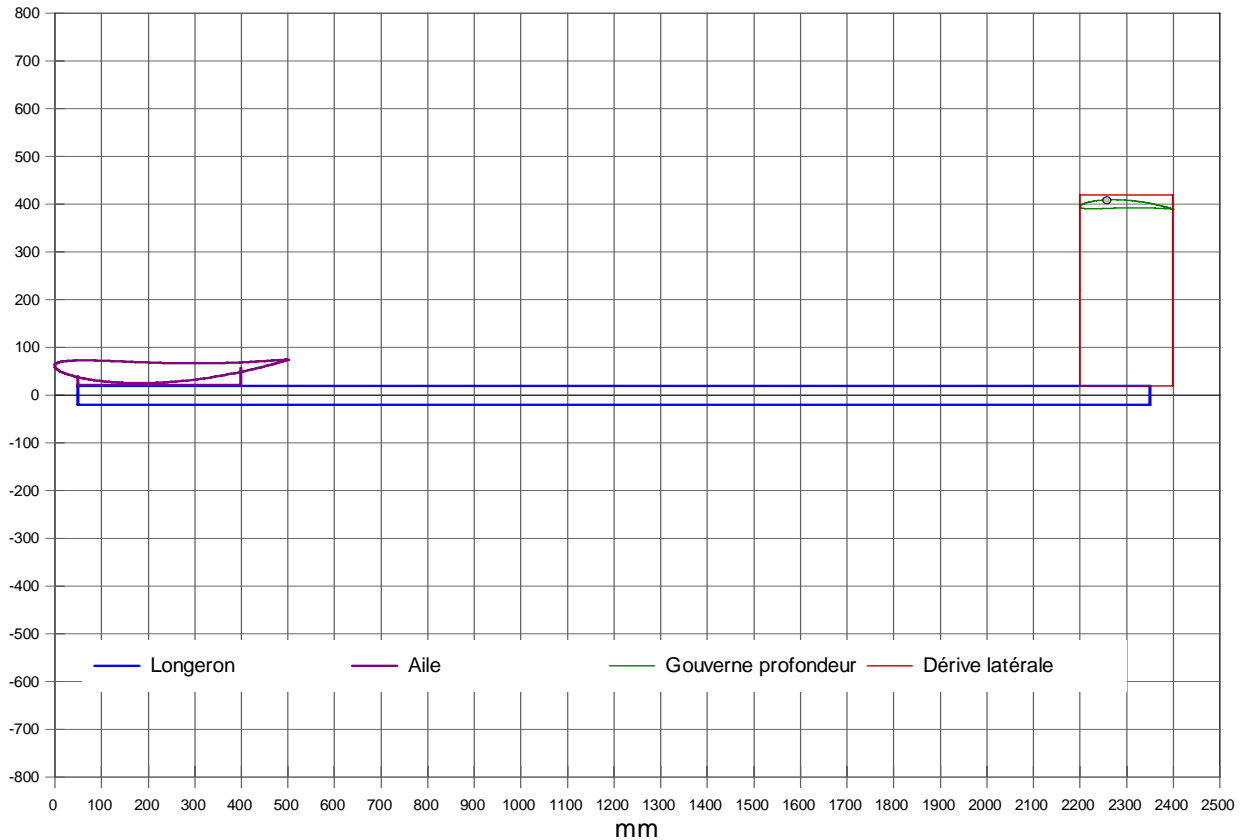


Figure 16 Plan du DYNALÉST, vue de côté

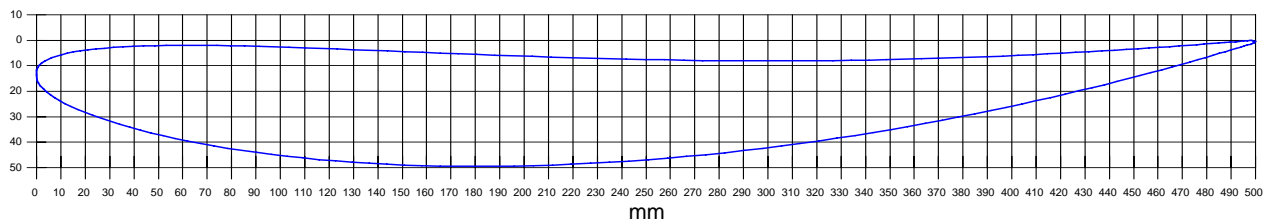


Figure 17 Profil Naca459 : aile et gouverne de profondeur

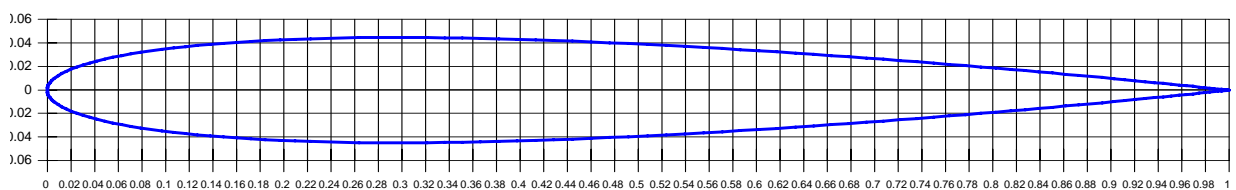


Figure 18 Profil symétrique Naca009: dérives latérales

L'orientation de l'aile vis à vis de l'écoulement est réglable au moyen de la gouverne de profondeur. Celle-ci est située à 1,7 m de l'aile, elle peut tourner autour d'un axe longitudinal et impose un couple de rotation réglable à l'aide d'une potence située sous la gouverne (Figure 19).

Le fonctionnement du DYNALÉST a été testé à l'aide d'une maquette au 1/6ème. Réalisée en PVC, elle a permis de valider la géométrie, le comportement dynamique et les modes de fixation du système (Figure 20).

La Figure 21 indique les caractéristiques de portance théorique du DYNALÉST.

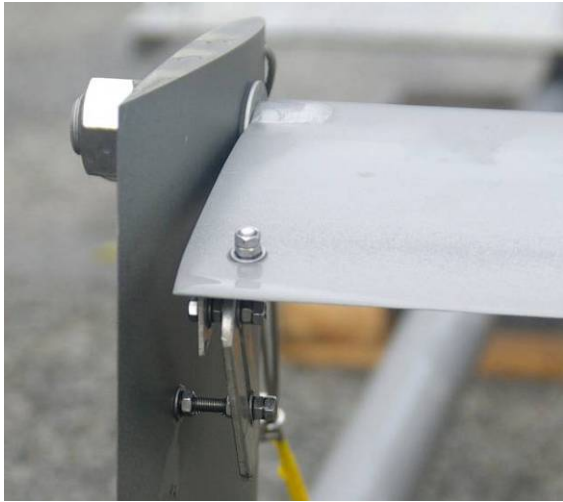


Figure 19 Réglage de la gouverne de profondeur.

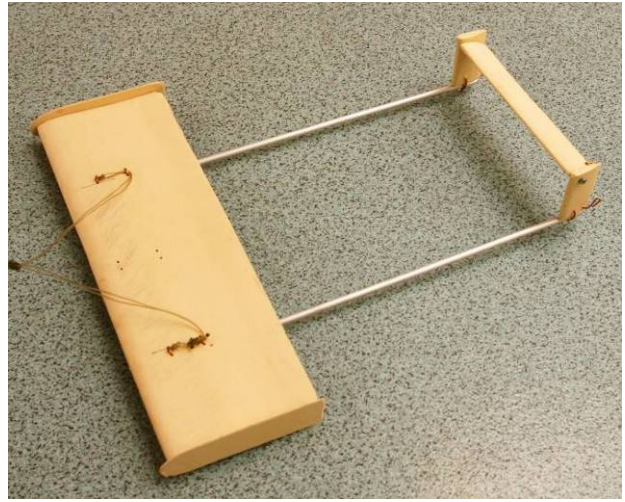


Figure 20 Maquette au 1/6<sup>ème</sup> utilisée pour la conception et les tests du DYNALEST.

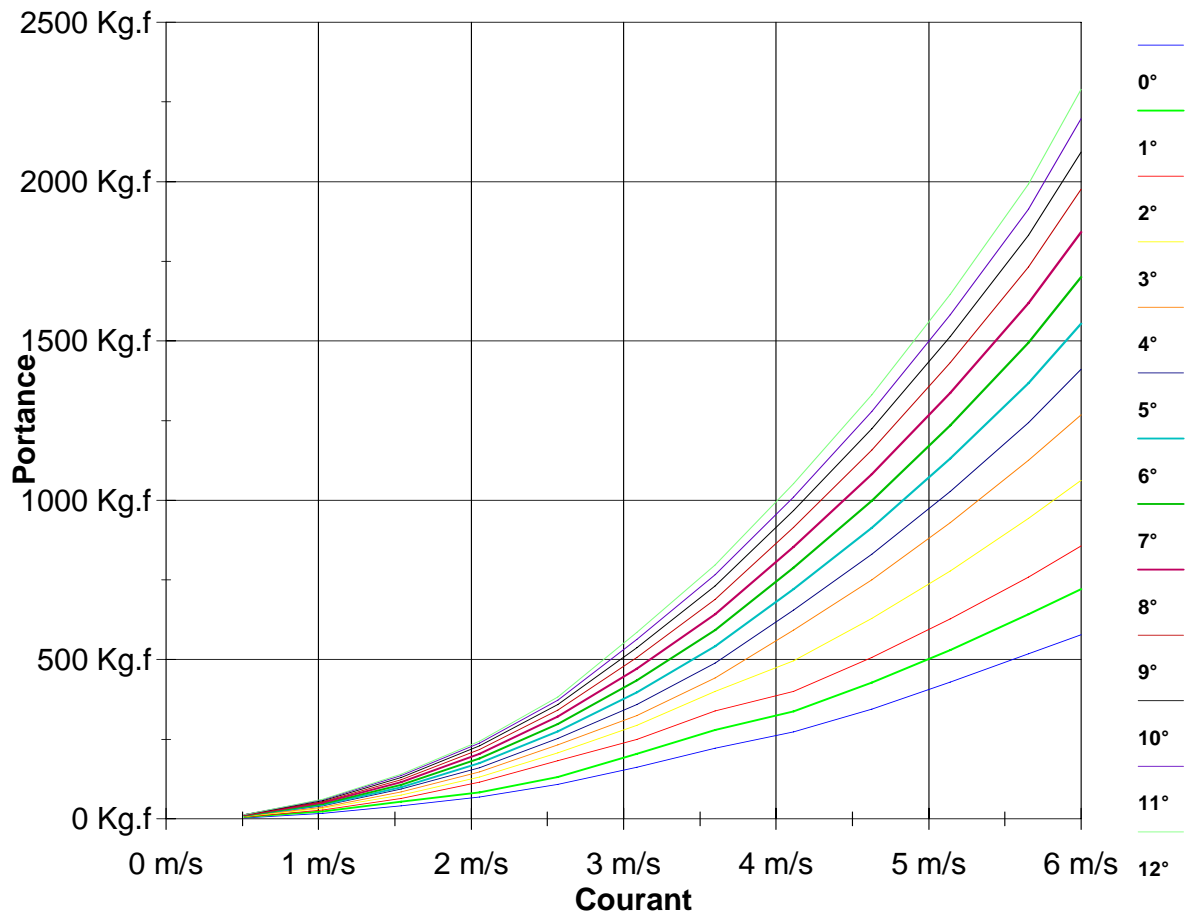


Figure 21 Portance théorique du DYNALEST en fonction de l'angle d'incidence de l'aile (calcul X Foil)

## 7.4 CONSTRUCTION

Le matériau utilisé pour la fabrication de l'aile doit avoir une densité supérieure à celle de l'eau de mer, mais pas trop élevée pour qu'elle reste transportable à la main. Il devait être suffisamment rigide pour supporter les efforts de portance, facile à mettre en forme, résistant à l'immersion et aux chocs. Le choix a porté sur l'aluminium massif qui satisfaisait à toutes ces exigences pour le coût le plus faible. La principale contrainte était de pouvoir trouver une entreprise pour réaliser la découpe numérique du profil.

La société ESIM localisée à Carentan a pu réaliser ce travail, en sous-traitance avec la société NAUDIN située à Cherbourg-Octeville qui a effectué l'assemblage. La Figure 22 présente les plans de découpe fournis à ESIM ; la Figure 23 montre la découpe numérique, la Figure 24, l'assemblage chez NAUDIN.

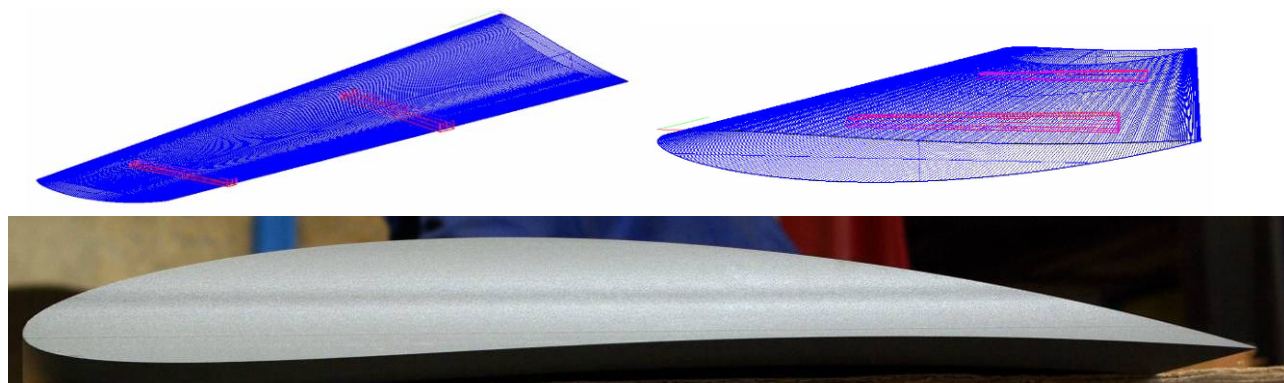


Figure 22 Plans de découpage 3D et profil final : profil NACA459



Figure 23 Découpe numérique



Figure 24 Assemblage premier DYNALEST



## 7.5 ESSAIS EN BASSIN

Des essais ont été réalisés dans le bassin de traction du centre IFREMER de Brest. Ce bassin dispose d'un portique mobile pouvant se déplacer jusqu'à 3m/s au-dessus d'un bassin de 2,5 mètres de large. Ce bassin a permis de réaliser des tests de déploiement, de stabilité, de portance et de traînée sur :

- le DYNALEST (Figure 25, Figure 26) ;
- le lest dépresseur de l'IFREMER (Tableau 1) ;
- la ligne de prélèvement avec et sans jupe (Figure 7, Figure 8).

La Figure 27 présente les résultats de portance, qui évolue de manière similaire aux valeurs théoriques et correspondent à un angle d'incidence de 4°. Il faut tenir compte du fait que la longueur du bassin ne permet pas d'avoir une réelle stabilisation du système (accélération - décélération en 50 mètres). Les valeurs de portance mesurées ne sont qu'indicatives.

Les essais ont montré la très grande stabilité du DYNALEST après sa mise en position. Le point et le système de fixation ont pu être validés ainsi que le réglage de profondeur.



Figure 25 Mise en place dans le bassin



Figure 26 Essai à 3 m/s

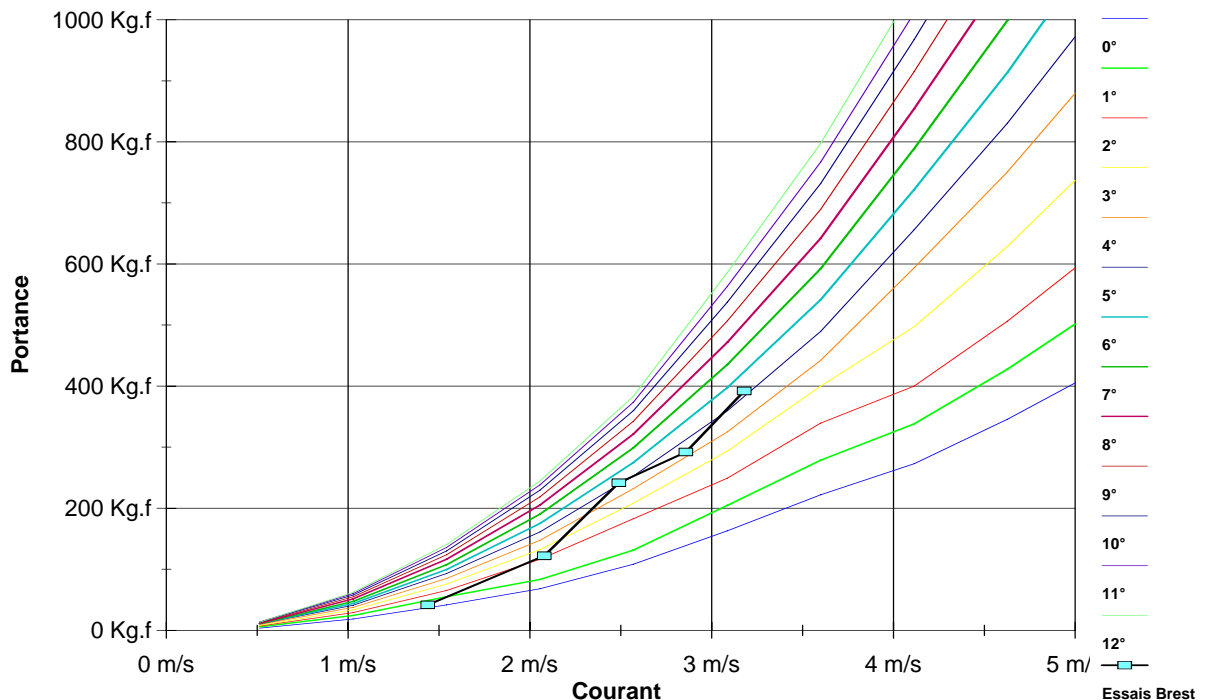


Figure 27 Portance mesurée lors des essais en bassin

## 7.6 ESSAIS EN MER

### 7.6.1 CAMPAGNE DIVER08

La campagne DIVER08 a été réalisée à bord du Côtes de la Manche durant 3 jours, du 16 au 18 juin 2008 (Figure 28). Elle avait pour but de tester la faisabilité technique de l'ensemble du système de prélèvement en profondeur.

Les tests suivants ont été réalisés :

- Tests de portance
- Tests de manoeuvrabilité
- Tests de prélèvement
- Tests d'immersion (jusqu'à 50 mètres)
- Test opérationnel (rejet réel, prélèvements réels)

Le dernier test n'a pas abouti suite à la perte du système.

La campagne s'est déroulée en trois phases :

1. Tests de mise en place et d'efficacité du DYNALEST seul, sous contrôle du la poulie tensiomètre du bord.
2. DYNALEST associé à la ligne de prélèvement, pompage en faisant route.
3. Test dans des conditions de rejet réelles.

#### 7.6.1.1 Mise en place et d'efficacité du dynalest seul

Le DYNALEST a été testé jusqu'à 7 nœuds en ligne droite, jusqu'à 5 nœuds avec des changements de cap rapides sous le contrôle du la poulie tensiomètre du bord. Des fluctuations importantes de la tension du câble ont été mesurées (jusqu'à 2 tonnes). Il s'est avéré que la grande stabilité du DYNALEST constituait un handicap lors des changement de cap : le lest avait tendance à poursuivre sa route en ligne droite, ce qui entraînait d'importantes surtensions en fin de virage. C'est pourquoi les tests n'ont pas été effectués pour des vitesses supérieures. Les tensions moyennes mesurées étaient égales ou supérieures à celles attendues, suffisantes pour maintenir la ligne immergée jusqu'à 70 mètres de profondeur.

#### 7.6.1.2 DYNALEST associé à la ligne de prélèvement,

La mise en place de la ligne de prélèvement ne permet pas d'utiliser la poulie tensiomètres, il s'ensuit que lors de la deuxième et troisième phase, la tension du câble n'était pas connue.

Ce test a permis de valider le maintien de la ligne immergée à la profondeur voulue en faisant route avec le système de pompage. Les débits mesurés étaient conformes à ceux attendus.

La ligne de prélèvement a été opérationnelle après avoir renforcé les mousquetons de fixation. Ceux mis en place à l'origine, censés supporter 200 kg de traction, ayant rompu. Ils ont été remplacés par des mousquetons de conception différente pouvant supporter 1000 kg de traction.

Le système de mesure de la profondeur destiné à suivre en temps réel la distance lest-fond a bien fonctionné (Figure 29).



Figure 28 N/O Côtes de La Manche (CNRS/INSU)

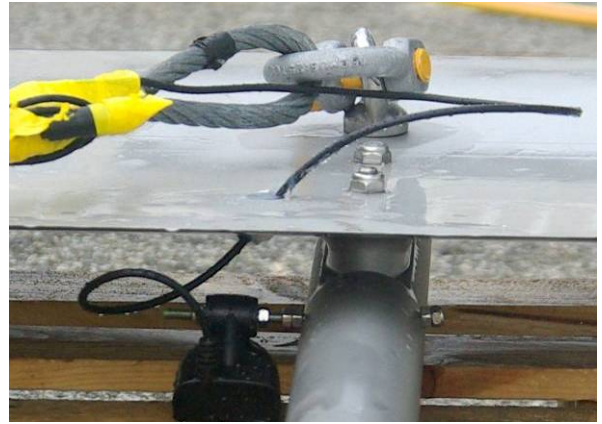


Figure 29 Sondeur fixé sous l'aile

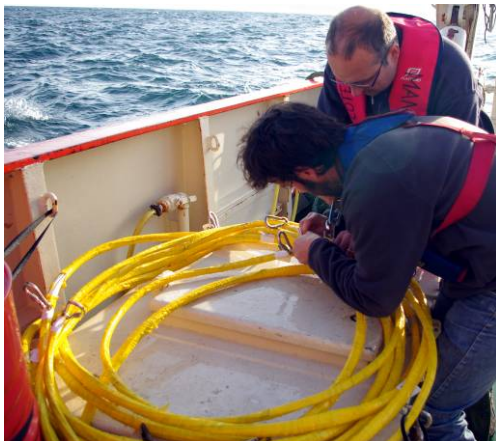


Figure 30 Campagne DISVER08, préparation et mise à l'eau de la ligne et du DYNALEST

### 7.6.1.3 Conditions de rejet et de prélèvement réelles.

Le Dynalest a été déployé à un km de l'émissaire lors du démarrage du rejet. La manœuvre qui a suivi pour positionner le bateau dans l'axe du panache s'est effectuée dans des conditions qui n'avaient pas été testées lors de la première phase : virage à 90° avec une vitesse supérieure à 7 nœuds. Il s'en est suivi la rupture du câble de traction (rupture à trois tonnes) et la perte de la ligne et du DYNALEST.

La société CERES, spécialisée dans la récupération d'épaves, a été sollicitée pour récupérer le DYNALEST en juillet 2008. Les conditions de courant et la structure du fond ont exclu toute possibilité de récupération du système.



### 7.6.2 RECONSTRUCTION DU DYNALEST

Le principe de fonctionnement du DYNALEST ayant été validé, il a été décidé de reconstruire un lest pratiquement identique. L'objectif des modifications était de disposer d'un matériel utilisable quelles que soient les conditions de manœuvre du navire. Le commandant pouvant alors se concentrer sur le positionnement du navire pour optimiser les prélèvements.

Le premier DYNALEST possédait des ailerons sur les côtés de l'aile (« winglets »), pour améliorer la stabilité et limiter les tourbillons aux bords néfastes pour la portance. Ces ailerons ont été supprimés pour faciliter les mouvements latéraux lors des virages.

La patte d'oie de fixation a été abaissée de manière à augmenter la composante de traction latérale lors des virages et faciliter le glissement de l'aile sur le côté.

Ces modifications ont été testées en laboratoire à l'aide de la maquette (Figure 31).

La section du câble de traction a été portée de 8 à 14 mm (rupture à 9 tonnes).



Figure 31 Tests de manœuvrabilité de la maquette en laboratoire

### 7.6.3 CAMPAGNE DIVSER1008

Une campagne du Côtes de la Manche étant programmée en octobre 2008 pour les enseignements de l'Institut de la Mer de Cherbourg (INTECHMER). Le LRC a sollicité l'INTECHMER pour disposer de deux jours pour tester le nouveau système, si possible dans des conditions de rejet réel. L'INTECHMER a répondu très favorablement à cette demande.

Le 15 octobre, le nouveau DYNALEST a pu être testé jusqu'à 10 nœuds, dans des conditions de manœuvre contraignantes (Figure 32).

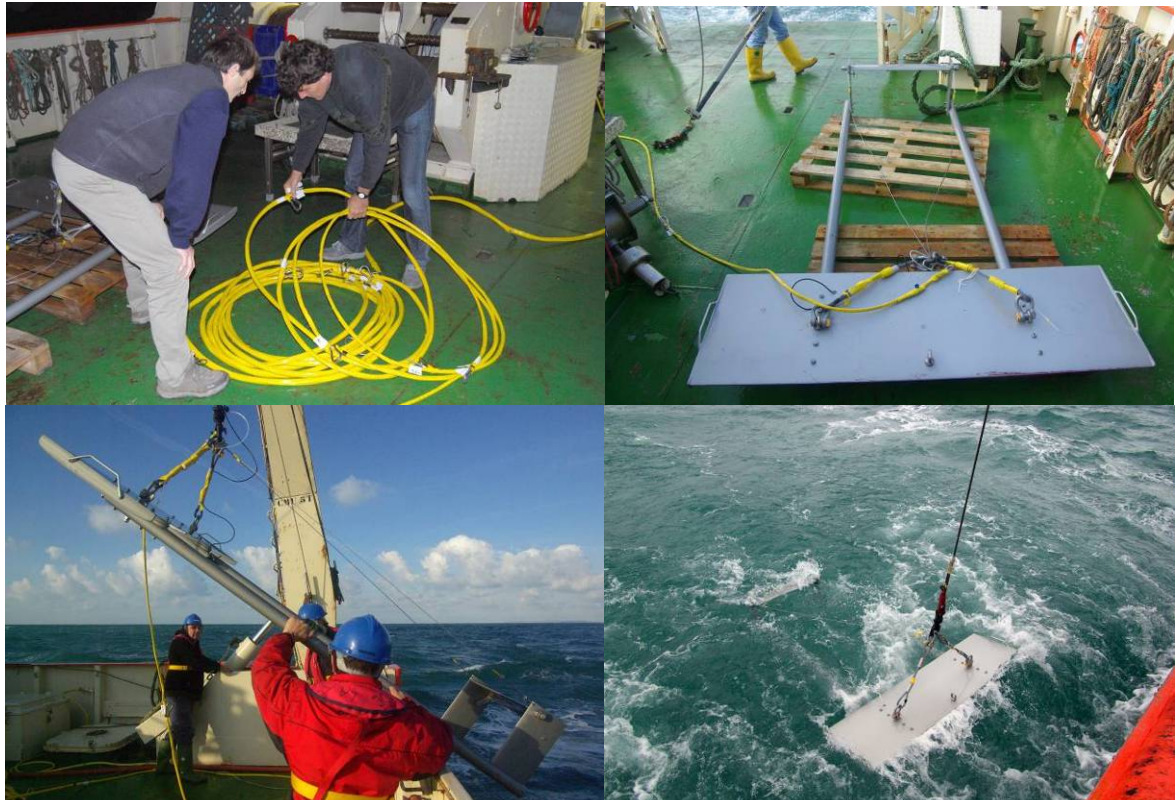
Le Tableau 2 synthétise les résultats obtenus. Le DYNALEST s'est montré manoeuvrant jusqu'à 9 nœuds, à 10 nœuds seuls des virages en douceur ont été testés, comme ils sont généralement effectués à cette allure. Une inclinaison systématique du câble sur babord a été constatée avec un angle d'environ 20°. Lors du test opérationnel, la longueur de la patte d'oie a été raccourcie de 4 mm sur le côté babord de l'aile. Cette modification a suffi à ramener le câble de traction dans l'axe du navire.

Avec une longueur filée de 20 mètres, la traction instantanée mesurée sur le câble varie de pratiquement 100% autour de la valeur moyenne. Les pics mesurés atteignent 3 tonnes, ce qui justifie l'augmentation de la section du câble de traction. La torsion des anneaux de fixation observée après les essais témoigne des efforts supportés par la structure (Figure 33).



Avec une longueur filée de 50 mètres, les variations de tension du câble s'atténuent et le comportement du DYNALEST est plus régulier. L'écart entre les pics de tension et la moyenne devient généralement inférieure à 50 %.

La Figure 34 présente la comparaison entre la portance calculée et mesurée après diminution de l'angle d'incidence. La portance mesurée se situe dans la limite haute de ce qui avait été calculé, elle correspondrait à une incidence théorique de l'aile de 7 à 8°. La portance moyenne à 10 nœuds de 1500 kg.f permet d'envisager des profondeurs de prélèvement supérieures à 50 mètres. Un angle d'incidence plus élevé a montré plus d'instabilités et un décrochage de l'aile lors d'un virage à 8 nœuds.



*Figure 32 Campagne DISVER1008, préparation et mise à l'eau du DYNALEST*

Vitesse bateau (nœuds)	Angle de barre (°)	Direction barre	Angle latéral du câble (°)	Tension moyenne (kg)	Tension max (kg)	Longueur câble (m)
4.6	0		30	600	1500	20
4.6	0		30	510	1200	20
5	40	Droite	35	800	2000	20
6	40	Gauche	20	500	1100	20
6	40	Droite	25	600	1500	20
6	15	Droite	20	600	1200	20
6	15	Gauche	20	600	1100	20
7	15	Gauche	30	1100	2200	20
7.6	10	Gauche	30	1100	2000	20
7.6	10	Droite	20	1100	2000	20
7.8	15	Droite	20	1100	2300	20
7.9	0		20	1000	2000	20
8	40	Gauche	Décrochage	1000	2300	20
<b>Diminution de l'angle d'incidence</b>						
5.5	0		10	400	800	20
7	0		20	700	1400	20
7.7	0		20	900	2000	20
8	0		20	900	2000	20
8.3	0		25	1100	2300	20
9	0		25	1300	2500	20
9.4	10	Gauche	30	1400	2700	20
9	5	Droite		1300	2900	20
9	10	Gauche	50	1300	2400	20
9.6	0		25	1400	2800	20
9.9	0		20	1500	3000	20
9.7	0		20	1500	3000	20
9.9	0		25	1500	3000	20
9.8	5	Droite	20	1400	2600	20
10	5	Gauche	40	1600	3000	20
<b>Augmentation de la longueur filée</b>						
6	0		10	500		50
7.3	0		15	600	800	50
7	10	Droite	10	600	1000	50
7	10	Gauche	20	700	1000	50
8	0		20	800	1300	50

Tableau 2 Mesures de tension effectuées durant la campagne DISVER1008



Figure 33 Torsion d'un anneau de fixation après les essais à la mer

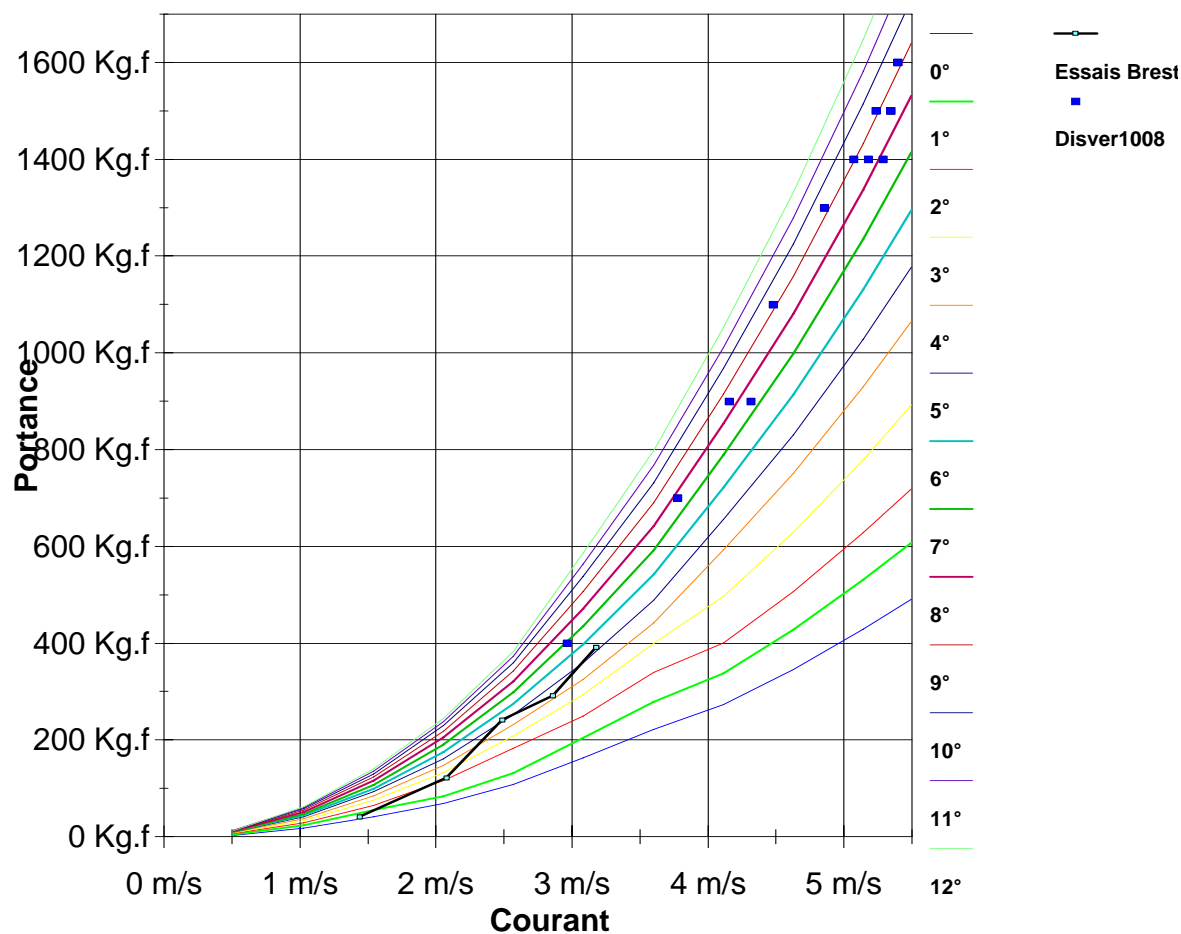


Figure 34 Portance calculée et mesurée en moyenne lors de la campagne DISVER08

Le 19 octobre, un test en conditions de rejet réelles a pu être réalisé à proximité de l'émissaire d'AREVA-NC. Les résultats obtenus le 15 octobre ont permis de concentrer les efforts sur la validation du système de prélèvement automatique. Le DYNALIST a fonctionné sans problèmes. Une surveillance de la distance lest - fond était réalisée en continu pour assurer une marge suffisante afin d'éviter la rencontre de l'engin avec le fond. Cette surveillance pourra être assouplie après l'acquisition d'une bathymétrie à haute résolution de la zone (campagne BATHAGUE programmée fin novembre 2008).

## 8 PRELEVEMENT A HAUTE FREQUENCE

La mesure du panache de rejet durant les minutes suivant un rejet impose une fréquence d'échantillonnage de 10 échantillons toutes les 30 secondes durant toute la durée d'émission d'un rejet, de une à trois heures. L'échantillonnage manuel à cette fréquence est particulièrement difficile à assurer dans les conditions de travail en mer (exiguïté, mouvements du navire). Les matériels de laboratoire existants dans le commerce sont inadaptés et d'un coût élevé (supérieur à 10 000€).

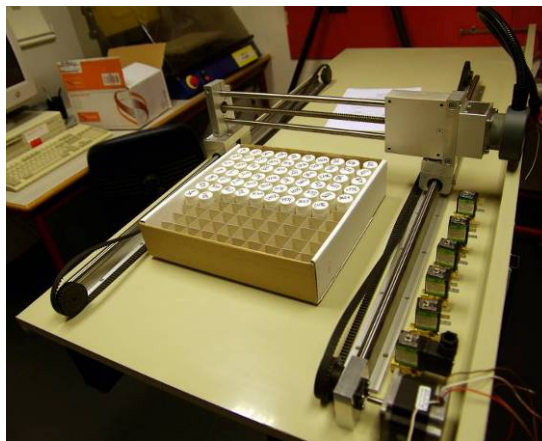
Le LRC s'est adressé au laboratoire d'électronique de l'Ecole d'Ingénieurs de Cherbourg (EIC) pour développer un matériel adapté aux besoins du projet DISVER. La conception de la table de prélèvement s'est faite en collaboration entre l'EIC et le LRC (Figure 35). La construction a été assurée par l'EIC, la programmation logicielle par le LRC.

La table de prélèvement a été conçue pour être polyvalente et répondre à plusieurs besoins du LRC.

Les principales caractéristiques sont les suivantes :

- Dimensions hors tout L=1500 mm l=640 mm h=300 mm
- Zone de travail utile L=1000 mm l=390 mm h=210 mm
- Déplacement en X et en Y (Z en option)
- Onze lignes de prélèvement commandées par électrovannes
- Coût (matériel + construction EIC) : 3000 €
- Configuration pour campagnes DISVER :
  - o Fréquence d'échantillonnage supérieure à 10 toutes les 30 secondes (10 voies en parallèle) ;
  - o Emplacement pour 2 boîtes de 100 flacons, le délai disponible pour changer les boîtes est de 5 minutes avec un échantillonnage toutes les 30 secondes
  - o Zone de vidange du circuit entre les prélèvements
  - o Déplacement en X uniquement pour l'échantillonnage, la répartition est effectuée par un peigne
  - o Déplacement en X et Y pour l'ajout du liquide scintillant (nécessaire à la mesure du tritium par scintillation liquide), la onzième voie est utilisée pour ne pas mélanger le liquide scintillant et l'eau de mer dans le circuit.

La Figure 36 décrit les principaux organes de la table de prélèvement, elle a été testée lors de la campagne DISVER1008 (Figure 37) et a fonctionné de manière satisfaisante. Le moteur de translation en X sera renforcé afin de garantir le déplacement quels que soient les mouvements du navire (action EIC en cours). Le logiciel de prélèvement enregistre automatiquement l'heure et la position du prélèvement.



*Figure 35 Conception de la table de prélèvement automatique*



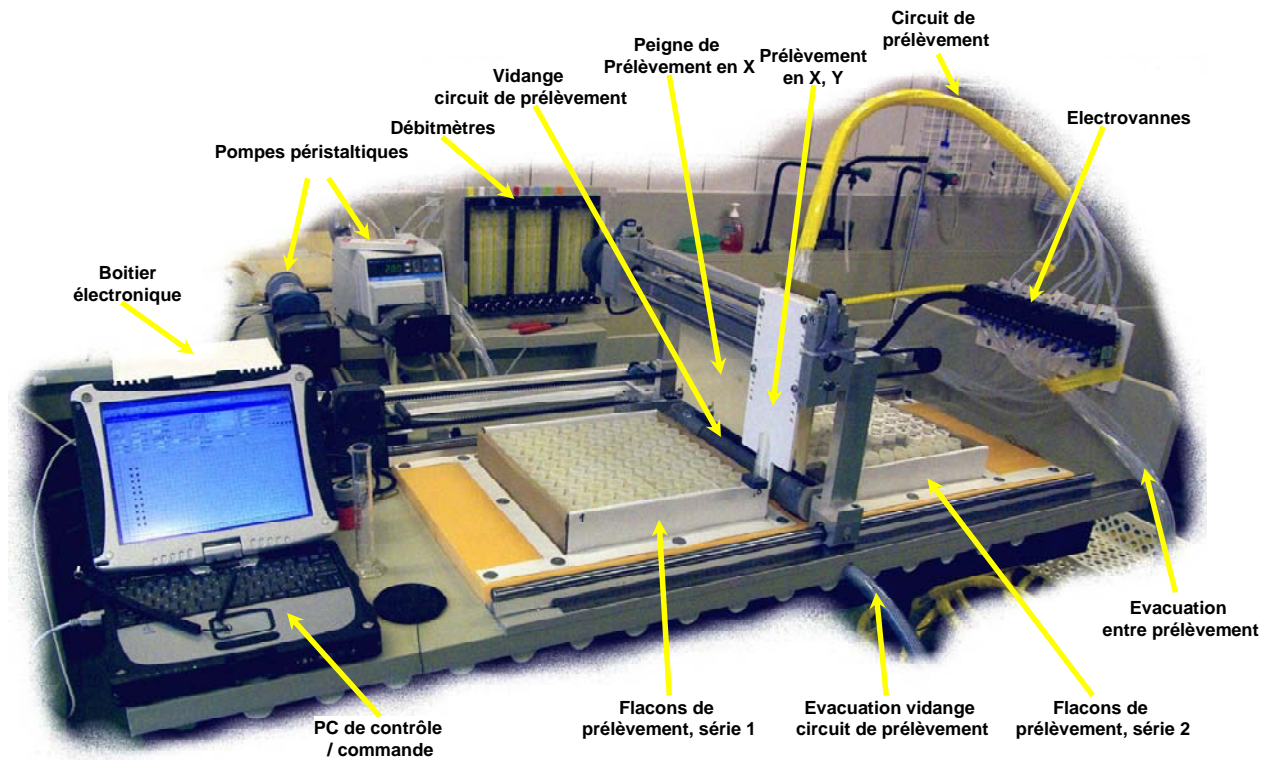


Figure 36 Description de la table de prélèvement



Figure 37 Prélèvements durant la campagne DISVER1008

La table permet d'assurer le remplissage de chaque flacon en liquide scintillant (Figure 38). Ce travail peut être effectué en mer durant la campagne. Seule la fermeture des flacons n'a été automatisée (Figure 39). Au retour de campagne les échantillons sont prêts à être mesurés.



Figure 38 Remplissage du liquide scintillant



Figure 39 Fermeture des flacons prêts pour la mesure

La table de prélèvement automatique est un outil polyvalent qui sera utilisé pour réaliser des échantillonnages automatiques à la côte ou pour des prélèvements atmosphériques.

La circulation des échantillons dans les dix lignes de prélèvement est assurée par trois pompes péristaltiques, chacune pouvant supporter jusqu'à quatre lignes de prélèvement. Le contrôle des volumes prélevés est assuré par des débitmètres situés en amont de la table de prélèvement (Figure 40).

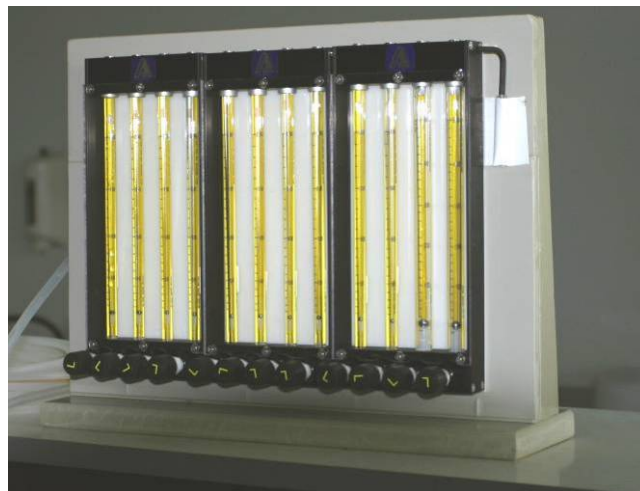


Figure 40 Débitmètres pour le contrôle des volumes prélevés

## **9 PRELEVEMENT ASSISTE PAR LA SIMULATION**

La réussite de l'échantillonnage in situ nécessite le positionnement exact du navire par rapport au panache rejeté. Ce positionnement a pu être optimisé durant le projet DISPRO. Il repose sur la simulation de la dispersion du rejet réel à l'aide d'un modèle de dispersion embarqué durant la campagne. Cela suppose une communication précise des conditions de rejet qui est assurée par les équipes de quart de l'usine AREVA-NC.

La route du bateau est tracée simultanément avec les résultats de simulation, de manière à contrôler le positionnement correct du navire durant les prélèvements (Figure 41).

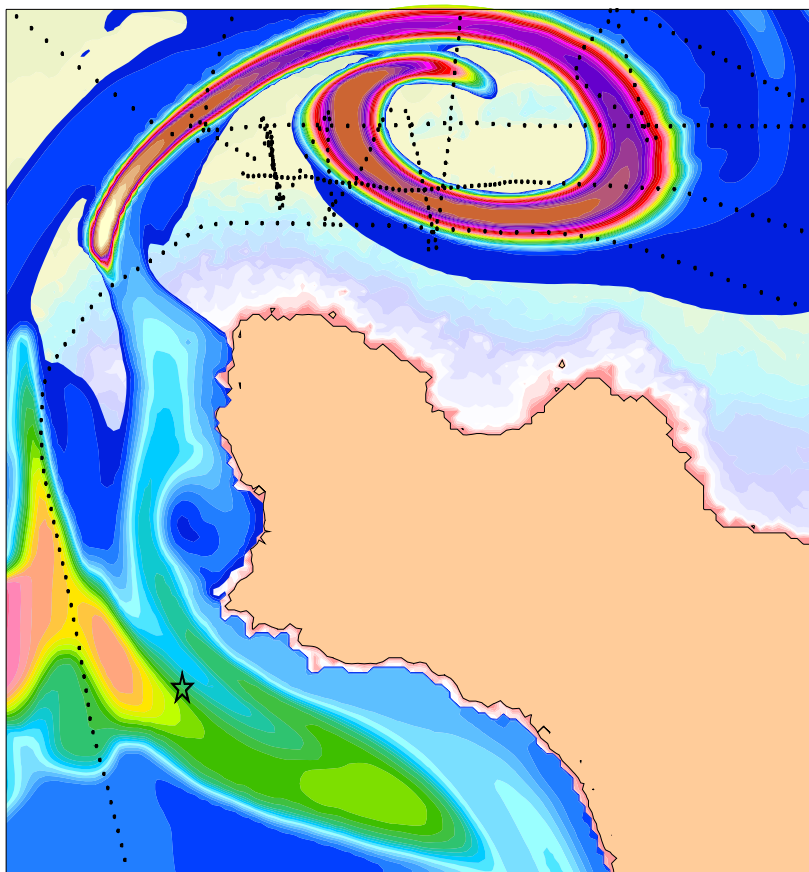


Figure 41 Tracé simultané de la route et des panaches simulés durant une campagne

## 10 BATHYMETRIE A HAUTE RESOLUTION

La résolution spatiale nécessaire à la simulation réaliste de la dispersion en trois dimensions à proximité d'un émissaire impose de connaître précisément la bathymétrie dans la zone étudiée. C'est particulièrement vrai lorsque cette zone est proche de la côte, que celle-ci est très découpée et qu'il existe de nombreux récifs, comme c'est le cas à proximité de l'émissaire en mer d'AREVA-NC.

Par ailleurs, les prélèvements en profondeur imposent aussi de bien connaître les variations bathymétriques pour s'approcher du fond sans risquer de le heurter.

Ces deux impératifs ont amené à demander les moyens à la mer de l'IFREMER pour réaliser une campagne de mesures bathymétriques dédiée au projet DISVER. L'Haliotis est un nouveau navire particulièrement adapté à ce type de travaux à proximité des côtes. Il est équipé d'un sonar latéral à haute résolution, optimisé pour les faibles profondeurs. 2008 est la première année de mise en service de ce navire, une campagne a été attribuée au LRC pour actualiser la bathymétrie autour du Cap de La Hague (campagne BATHAGUE). Cette campagne était programmée initialement en juin 2008 ; elle a été reportée du 24 novembre au 6 décembre 2008 (Figure 42).

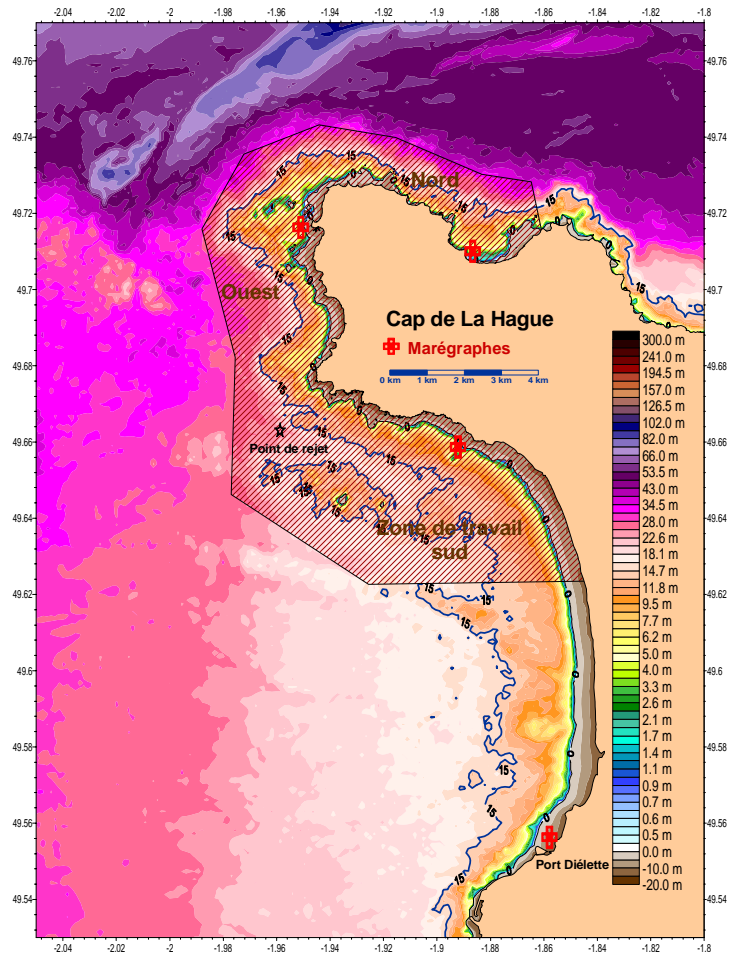


Figure 42 Campagne BATHAGUE, zones de travail



## **11 CONCLUSION**

Le projet DISVER a pour objectif la validation, par des mesures *in-situ*, de modèles de dispersion en mer en trois dimensions. L'acquisition de données en profondeur utilisables pour cette validation représente un défi scientifique et technique.

Toute la chaîne d'acquisition - traitement - exploitation des données a été adaptée à l'objectif fixé. Il a été nécessaire de développer des outils spécifiques pour pouvoir prélever des échantillons en profondeur à haute fréquence, le navire faisant route :

Le DYNALEST, un lest dépresseur permettant de prélever jusqu'à 50 mètres de profondeur, le navire restant manœuvrant à 10 nœuds ;

Une ligne de prélèvement permettant d'échantillonner 10 profondeurs simultanément

Une table de prélèvement automatique permettant le prélèvement de plus de 1200 échantillons à l'heure et de les conditionner pour la mesure.

Ces matériels ont été testés en mer dans des conditions opérationnelles pour le prélèvement d'échantillons destinés à la validation de modèles 3D. 1000 échantillons ont été prélevés en une heure durant la campagne de faisabilité d'octobre 2008 ; les mesures sont en cours.

L'ensemble du système de prélèvement est opérationnel, il sera mis en œuvre lors de la campagne de validation programmée en 2009.

## **12 REMERCIEMENTS**

Je tiens à remercier particulièrement les personnes et les équipes suivantes, sans lesquelles la mise au point du système n'aurait pu être réalisé :

- Les équipes de l'IFREMER- Brest pour la mise à disposition du bassin d'essais et leur participation à la campagne DISVER08 ;
- Les équipages du navire du CNRS/INSU « Côtes de la Manche » ainsi que les agents de l'IRSN/LRC et de l'IFREMER ;
- Les enseignants et les étudiants de l'Institut des Techniques de la Mer de Cherbourg, qui ont mis à disposition du temps bateau et participé à la validation du DYNALEST ;
- Les agents de AREVA NC qui ont communiqué les informations concernant les rejets 24 heures sur 24.

## 13 LISTE DES FIGURES

Figure 1	Localisation des échantillons prélevés durant les campagnes DISPRO	4
Figure 2	Exemple de comparaison modèle / mesures effectuée dans le cadre du projet DISPRO	5
Figure 3	Simulation en trois dimensions de la dispersion du rejet de La Hague, 26 et 50 minutes après le début du rejet.	7
Figure 4	Simulation en trois dimensions de la dispersion du rejet de La Hague, 1h50 après le début du rejet.	8
Figure 5	Simulation en trois dimensions de la dispersion du rejet de La Hague, 2h50 après le début du rejet.	8
Figure 6	Simulation en trois dimensions de la dispersion du rejet de La Hague, 3h50 après le début du rejet	9
Figure 7	Traction de dix tuyaux sans carénage, canal d'essais de Brest	11
Figure 8	Traction de dix tuyaux avec carénage, canal d'essais de Brest	11
Figure 9	Ligne de prélèvement avec mousqueton de fixation et raccords-pompes	11
Figure 10	Fixation des tuyaux sur le câble porteur	11
Figure 11	Mise en place du DYNALEST avec jupe sur la ligne	11
Figure 12	Traction de dix tuyaux gainés par de l'adhésif, avec le câble porteur, campagne DISVER08	11
Figure 13	Mise en place d'un profondimètre	12
Figure 14	Ligne de prélèvement avec profondimètre	12
Figure 15	Plan du DYNALEST, vue de dessus	14
Figure 16	Plan du DYNALEST, vue de côté	15
Figure 17	Profil Naca459 : aile et gouverne de profondeur	15
Figure 18	Profil symétrique Naca009: dérives latérales :	15
Figure 19	Réglage de la gouverne de profondeur.	16
Figure 20	Maquette au 1/6 <sup>ème</sup> utilisée pour la conception et les tests du DYNALEST.	16
Figure 21	Portance théorique du DYNALEST en fonction de l'angle d'incidence de l'aile (calcul X Foil)	16
Figure 22	Plans de découpage 3D et profil final : profil NACA459	17
Figure 23	Découpe numérique	17
Figure 24	Assemblage premier DYNALEST	17
Figure 26	Mise en place dans le bassin	18
Figure 28	Essai à 3 m/s	18
Figure 29	Portance mesurée lors des essais en bassin	18
Figure 30	N/O Côtes de La Manche (CNRS/INSU)	20
Figure 31	Sondeur fixé sous l'aile	20
Figure 32	Campagne DISVER08, préparation et mise à l'eau de la ligne et du DYNALEST	20
Figure 33	Tests de manœuvrabilité de la maquette en laboratoire	21
Figure 34	Campagne DISVER1008, préparation et mise à l'eau du DYNALEST	22
Figure 35	Torsion d'un anneau de fixation après les essais à la mer	23
Figure 36	Portance calculée et mesurée en moyenne lors de la campagne DISVER08	24
Figure 37	Conception de la table de prélèvement automatique	25
Figure 38	Description de la table de prélèvement	26
Figure 39	Prélèvements durant la campagne DISVER1008	26
Figure 40	Remplissage du liquide scintillant	27
Figure 41	Fermeture des flacons prêts pour la mesure	27
Figure 42	Débitmètres pour le contrôle des volumes prélevés	27
Figure 43	Tracé simultané de la route et des panaches simulés durant une campagne	28
Figure 44	Campagne BATHAGUE, zones de travail	29

## 14 LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Caractéristiques des lests dépresseurs existants	13
Tableau 2	Mesures de tension effectuées durant la campagne DISVER1008	23

## **BIBLIOGRAPHIE**

- R1 Bailly du Bois P., Rozet M., Thorat K., Salomon J.C., 1997. Improving knowledge of water-mass circulation in the English Channel using radioactive tracers.. Radioprotection - colloques, April 1997, Numéro spécial "Radionuclides in the Oceans", RADOC 96-97, Proceedings Part 1 "Inventories, behaviour and processes" Cherbourg-Octeville (France), 7-11 October, 1996. Edited by : P. Germain, J.C. Guary, P. Guéguéniat and H. Métivier 32(C2):63-69.
- R2 Bailly du Bois P., Rancillac F., 1998. Dispersion en milieu marin. Rapport. Comité Scientifique de l'IPSN Document "C", 16 juin 1998, 35p.
- R3 Bailly du Bois P., 1998. Radioactivité et dynamique des masses d'eaux en Manche - Mer du Nord. Rapport Scientifique et Technique de l'IPSN 1997, Mission communication IPSN pp. 132-137.
- R4 Bailly du Bois P., Maro D., Germain P., 1999. Le tritium dans l'environnement marin de la manche. Journée tritium SFRP, UICF, 19 octobre 1999 2p., 14 transp.
- R5 Bailly du Bois P., Guéguéniat P., 1999. Quantitative assessment of dissolved radiotracers in the English Channel : sources, average impact of la Hague reprocessing plant and conservative behaviour (1983, 1986, 1988 and 1994). Continental Shelf Research ; FluxManche II dedicated volume 19:1977-2002.
- R6 Bailly du Bois P., Crabol B., Germain P., Calmet D., 2001. Dispersion des produits chimiques susceptibles d'être émis dans l'environnement suite au naufrage du "levoli Sun". Rapport IRSN/DPRE/SERNAT/ 2001-14, 23 p.
- R7 Bailly du Bois P., 2001. Simulation de la dispersion en milieu marin lors de l'exercice INEX 2000 à Gravelines. Comité d'orientation des activités de l'IPSN concernant la crise (CORAC), compte rendu de la vingt-sixième réunion du 29 octobre 2001 IPSN/DPEA/SECRI / 2002-47, annexe 2, 11p.
- R8 Bailly du Bois P., Dumas F., 2002. Dissolved radionuclide measurements used for qualitative and quantitative calibration of hydrodynamic models in the English Channel and the North Sea ; validation of "TRANSMER" model. Proceedings of 34th International Liege Colloquium on Ocean Hydrodynamics, Tracer Methods in Geophysical Fluid Dynamics, Liege 6-10 May 2002 p. 7.
- R9 Bailly du Bois P., 2002. Modélisation de la dispersion de radionucléides dans l'environnement marin, le modèle TRANSMER Manche - Mer du Nord. Rapport Scientifique et Technique de l'IRSN 2002, Direction de la communication IRSN 194-200.
- R10 Bailly du Bois P., 2003. TRANSMER, modèle de simulation des transferts de radionucléides en milieu marin : choix des options, architecture, validation et fonctionnalités. Rapport IRSN/DPRE/SERNAT/ 2003-04 188 p.
- R11 Bailly du Bois P., 2004. Construction du fichier bathymétrique du modèle hydrodynamique DISPRO (dispersion d'effluents dans le champ proche d'un émissaire de rejet en mer).. Rapport IRSN/DEI/SECRE/ 2004-01 17 p.
- R12 Bailly du Bois P., Dumas F., 2004. Hydrodynamic modelling of short, medium and long-term dispersion in macro-tidal seas: validation by high-resolution radionuclide tracer measurements for improvement of operational tools. JCOMM Technical Report, OCEAN OPS 04 abstracts 10-14 mai 2004, p. 83.
- R13 Bailly du Bois P., Dumas F., 2004. Modélisation hydrodynamique de la dispersion à court terme dans une mer macrotidale : validation par des mesures à haute résolution de radiotraceurs solubles. VIII<sup>e</sup> Journées Nationales Génie Civil - Génie Côtier, Compiègne 7-9 septembre 2004 Session 1, p. 139-146.
- R14 Bailly du Bois P., Dumas F., 2004. TRANSMER, un modèle hydrodynamique rapide et précis pour la simulation à moyen et long terme des transferts de radionucléides en Manche et dans le sud de la Mer du Nord. VIII<sup>e</sup> Journées Nationales Génie Civil - Génie Côtier, Compiègne 7-9 septembre 2004 Session 1, p. 73-80.
- R15 Bailly du Bois P., Dumas F., 2005. Fast hydrodynamic model for of medium- and long-term dispersion in seawater in the English Channel and southern North Sea, qualitative and quantitative validation by radionuclide tracers. Ocean Modelling Vol 9/2 pp 169-210.
- R16 Bailly du Bois P., Dumas F., Solier L., 2005. Hydrodynamic modelling of short-term dispersion in a macro-tidal sea, validation by high-resolution radionuclide tracer measurements. Radioprotection, Proceedings ECORAD 2004 "The scientific basis for environment protection against radioactivity" Aix-en-Provence (France), 6-10 september, 2004. Edited by: J.C. Barescut, J.C. Gariel and J.M. Péres 40(1):563-568.
- R17 Bailly du Bois P., 2005. Modélisation hydrodynamique de la dispersion à court terme dans une mer macrotidale : validation par des mesures à haute résolution de radiotraceurs solubles. Colloque quadriennal du CIRMAT, Rouen, 6 et 7 décembre 2005 Résumé p.103.
- R18 Bailly du Bois P., 2005. Qualification du modèle de dispersion dans le champ proche de l'émissaire de rejet en mer de l'établissement COGEMA La Hague, DisPro V.1.. Rapport IRSN/DEI/SECRE 2005-59 66 p.
- R19 Bailly du Bois P., Dumas F., Solier L., 2005. TRANSMER, hydrodynamic model for medium- and long-term simulation of radionuclides transfers in the English Channel and southern North Sea. Radioprotection, Proceedings ECORAD 2004 "The scientific basis for environment protection against radioactivity" Aix-en-Provence (France), 6-10 september, 2004. Edited by: J.C. Barescut, J.C. Gariel and J.M. Péres 40(1):575-580.
- R20 Bailly du Bois P., 2006. Qualification du modèle de dispersion dans le champ proche de l'émissaire de rejet en mer de l'établissement AREVA-NC La Hague, mise à jour DISPRO V.2.. Rapport IRSN/DEI/SECRE 2006-46 26 p.