



# Rapport de stage S10

Développement et validation d'un logiciel de simulation de ligne de mouillage

01 septembre 2013 – 21 février 2014

Auteur : Arnaud Le Fur

Responsable de stage : Thierry Terre, Laboratoire de Physique des Océans

Professeur responsable : Delphine Toquet

Signature



## **Remerciements**

Je remercie M. Thierry Terre pour le temps qu'il m'a consacré et pour m'avoir permis de découvrir toutes les facettes de l'océanographie physique.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble du groupe technique du LPO pour leur accueil au sein de l'équipe, leur disponibilité durant le stage et pour l'aide qu'ils ont pu m'apporter.

# Table des matières

1. Introduction.....	7
1.1 Le contexte.....	8
1.2 Présentation de l'IFREMER.....	9
1.3 Le centre Bretagne.....	10
1.4 Le Laboratoire de Physique des Océans.....	11
1.5 Le groupe technique du LPO.....	13
2. Logiciel de simulation de mouillage.....	13
2.1 Introduction.....	13
2.1.1 Définition d'un mouillage.....	13
2.1.2 Objectifs du logiciel.....	15
2.2 Études préliminaires.....	16
2.2.1 Étude comparative des logiciels existants.....	16
2.2.2 Spécifications fonctionnelles.....	22
2.3 Fonctionnement du logiciel.....	24
2.3.1 Architecture.....	24
2.3.2 Modèle mathématique.....	28
2.4 Utilisation du logiciel .....	34
2.4.1 Présentation de la bibliothèque.....	34
2.4.2 Création du mouillage.....	35
2.4.3 Définition des contraintes environnementales.....	39
2.4.4 Exploitation des résultats.....	40
2.5 Bilan.....	41
3. Activités parallèles.....	42
3.1 Rencontre des Technologies Marines.....	42
3.2 Campagne océanographique VAD .....	43
3.2.1 Présentation.....	43
3.2.2 Objectifs.....	44
3.2.3 Déroulement.....	45
4. Conclusion.....	49

# Index des illustrations

Implantation IFREMER (Rapport d'activité 2012).....	9
Organigramme du centre Bretagne (Rapport d'activité 2012).....	10
Organigramme du LPO (site internet).....	11
Exemples d'instruments utilisés au LPO.....	12
Mouillage campagne ASPEX .....	15
Python et ses différent packages.....	24
Structure générale du programme.....	24
Diagramme de fonctionnement.....	25
Fonctionnement de Mooring_window.py.....	26
Forces de traînées.....	28
Vecteur vitesse de courant.....	28
Bilan des forces.....	29
Algorithme de calcul.....	30
Chute du lest.....	32
Bibliothèque.....	34
Création d'un nouveau mouillage.....	35
Fenêtre de création de mouillage.....	35
Ajout des éléments.....	36
Choix de la longueur d'un câble.....	36
Clampage d'un instrument.....	37
Demande de confirmation.....	37
Choix de la profondeur de l'instrument.....	38
L'instrument est clampée sur le câble.....	38
Mouillage en Dyneema, destiné à la campagne VAD.....	39
Choix de la profondeur du lest.....	39
Définition du profil de courant.....	40
Fenêtre de simulation.....	40
Techmar 2013.....	42
L'Europe.....	43
Carte marine méditerranéenne.....	44
Bouée de tête FSAB 1000.....	45
Courantomètre Aanderaa RCM-8 et boule Benthos.....	46
Lest de une tonne.....	46
Deux largueurs acoustiques.....	46
Chassis ASFAR équipé d'un Provor.....	47
Mis à l'eau du VMP.....	48

# Glossaire

- LPO : Laboratoire de Physique des Océans.
- IRD : Institut de Recherche pour le Développement.
- SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.
- INSU : Institut National des Sciences de l'Univers.
- EPIC : Établissement Public à caractère Industriel et Commercial.
- CTD : Conductivity Temperature Depth, désigne un appareil de mesure conductivité, température et profondeur.
- Glider : Planeur sous-marin mesurant la CTD.
- Scanfish : Remorqué par un navire, ce dispositif effectue des profils CTD en faisant varier sa profondeur.
- VMP : Vertical MicroProfiler est un profileur microstructure.
- ASFAR : Dispositif autonome développé au LPO permettant le déploiement un à un et sur datation de 4 profileurs.
- Bathysonde : Appareil effectuant un profil vertical de CTD, il contient également des bouteilles de prélèvements permettant d'étalonner ses capteurs.
- ADCP : Acoustic Doppler Current Profiler, mesure la valeur du courant en utilisant l'effet Doppler.
- ARGOS : Le système Argos est un système mondial de localisation et de collecte de données géopositionnées par satellite.
- Interpolation : Opération mathématique permettant de construire une courbe à partir d'un nombre fini de données.
- Clamper : Fixer un appareil sur un support (barre, câble, ...).
- Dyneema : Marque d'un type de fibres polyéthylènes haute performance (HMPE).

# **1. Introduction**

Dans le cadre de ma cinquième année d'études à l'École Nationale d'Ingénieurs de Brest, j'effectue mon stage de type "Ingénieur" au sein du centre Bretagne de l'IFREMER situé à Brest, au Laboratoire de Physique des Océans (LPO).

L'objectif de ce stage de fin d'études est de mettre en application les connaissances et méthodes de travail acquises durant les neuf semestres de formation afin de mettre en œuvre des solutions efficaces répondant aux problématiques liées à l'océanographie.

Le travail qui m'a été demandé est le développement d'un nouveau logiciel de simulation de mouillage permettant de fédérer la communauté (LPO, IRD, SHOM, INSU) autour d'un logiciel commun. Cela a consisté dans un premier temps à se familiariser avec le domaine des mouillages, à utiliser les logiciels existants et à rencontrer les personnes concernées afin de dégager les spécifications fonctionnelles du futur logiciel. J'ai pu ensuite me concentrer sur le développement du projet et la validation de ses résultats.

Dans ce rapport, je vais tout d'abord présenter l'IFREMER le groupe technique du LPO et les problématiques auxquelles il répond. Ensuite, je définirai ce qu'est une ligne de mouillage instrumentée, son intérêt scientifique et l'importance d'un logiciel de simulation associé. Puis, j'expliquerai le fonctionnement, l'utilisation du logiciel et l'exploitation de ses résultats. Enfin, j'exposerai les activités que j'ai pu effectuer en parallèle du développement du logiciel et je terminerai par ce que m'a apporté ce stage, aussi bien d'un point de vue humain, que pour mon projet professionnel.

## **1.1 Le contexte**

Si les grands navigateurs et conquérants ont permis de connaître précisément l'étendue des océans, leur conquête est cependant loin d'être achevée. Explorer le milieu marin de la côte au large, de la surface au plancher océanique, comprendre les mécanismes qui régissent son fonctionnement ainsi que la vie qu'il abrite sont les clés d'une exploitation durable et l'enjeu des sciences marines.

Or, la mer est par définition difficile d'accès, et ne peut être explorée et surveillée que par des infrastructures adaptées. Elle se caractérise par une physique particulière et un fort hydrodynamisme qui contrôlent ses cycles chimiques, biogéochimiques et biologiques. Elle constitue un milieu géologique unique, dont les dorsales actives sont les piliers de la formation géologique des continents et dont les écosystèmes sont à l'origine de la vie sur Terre.

Le milieu marin requiert ainsi d'être étudié à toutes les échelles, du local au planétaire, dans le cadre d'une approche globale pluridisciplinaire afin de combler le déficit de connaissances accumulé par rapport aux milieux terrestres. À l'échelle internationale comme européenne, l'océan est au centre de nombreux programme de recherche. Parmi eux : les prédictions du changement climatique et de ses impacts, l'océanographie opérationnelle, l'observation et la surveillance des écosystèmes, l'incidence des activités anthropiques dans la zone cotière, ainsi que les outils de planification spatiale pour la gestion du plateau continental et des aires marines protégées.

Ces réalités sont aujourd'hui autant de défis que les hommes du XXI<sup>e</sup> siècle vont devoir surmonter s'ils veulent favoriser la voie du progrès dans le respect du développement durable.

## 1.2 Présentation de l'IFREMER

L’Institut Français de Recherche pour l’Exploitation de la MER est né en 1984 de la fusion de deux organismes, le CNEXO (Centre National pour l’EXploitation des Océans) et l’ISTPM (Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes). Établissement public à caractère industriel et commercial, l’IFREMER est placé sous la tutelle conjointe :

- Du ministère de l’Enseignement Supérieur et de la Recherche.
- Du ministère de l’Agriculture
- Du ministère de l’Écologie, du Développement durable et de l’Énergie

Cet institut a été créé dans le but de confier à un seul établissement public de recherche la mission de développer un ensemble d’actions de grande ampleur afin de mieux exploiter les ressources de la mer. L’étendue de ses domaines d’activités est donc très vaste, l’objectif principal étant de mettre en place des outils d’observation et d’expérimentation de plus en plus performants.

Ceux-ci vont permettre d’une part de mieux connaître et de mettre en valeur les océans et leurs ressources et d’autre part améliorer les méthodes de surveillance, de prévision et de protection du milieu marin dans le but de favoriser le développement durable des activités maritimes.

L’IFREMER est présent dans vingt-six implantations réparties sur tout le littoral métropolitain et d’outre-mer. Il est structuré en cinq centres (Manche - mer du Nord, Bretagne, Atlantique, Méditerranée et Pacifique), vingt-et-une stations et laboratoires et gère la flotte océanographique hauturière française (Genavir) pour l’ensemble de la communauté scientifique.



Illustration 1: Implantation IFREMER (Rapport d’activité 2012)

## **IFREMER en quelques chiffres.**

**Création :** 1984

**Siège :** Issy-les-Moulineaux

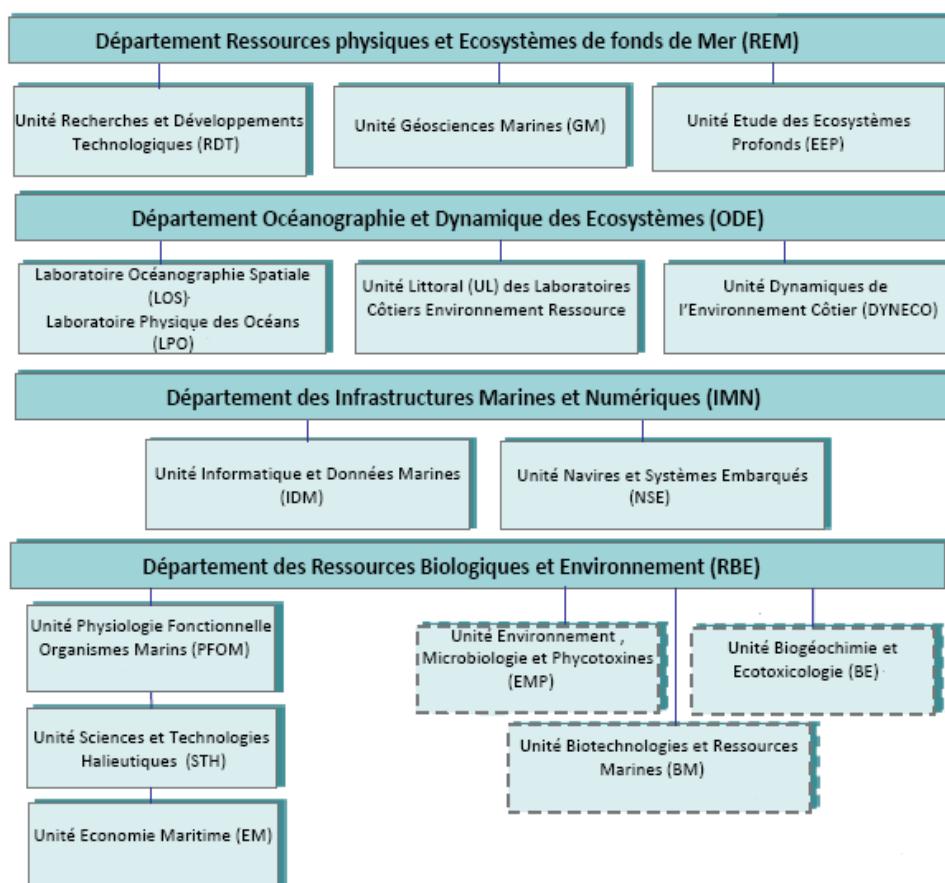
**Statut :** E.P.I.C

**Effectif :** 1 528 salariés IFREMER et 334 salariés de l'armateur Genavir

**Budget :** 210 millions d'euros (hors opérations internes)

### **1.3 Le centre Bretagne**

Situé à l'entrée de la rade de Brest, ce site est le plus grand centre d'IFREMER en taille (45 000 m<sup>2</sup>) et en personnel (610 salariés), il gère et anime les équipes basées en Bretagne. Ses activités sont réparties en quatre départements de recherche, dont les unités regroupent chacune des équipes de corps de métiers différents.



*Illustration 2: Organigramme du centre Bretagne (Rapport d'activité 2012)*

Le centre Bretagne accueille également dans le cadre de conventions plusieurs organismes de recherche : la direction de l'IPEV (Institut Polaire Français Paul-Émile Victor), le centre de Bretagne de l'IRD, le laboratoire de Pathologies des poissons de l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments), la composante océan de la Division Technique de l'INSU-CNRS.

Ce centre est doté de moyens d'expérimentations uniques (moyens d'élevage aquacole, bassin à houle, caissons hyperbares, centre de calcul et de données marines). Il mène ses programmes de recherche en partenariat avec des organismes nationaux, européens et internationaux. Au niveau régional, il contribue activement à la coopération avec les industriels et organismes de recherche à travers le Pôle de Compétitivité « Mer », et est associé à l'Euro pôle Mer.

## 1.4 Le Laboratoire de Physique des Océans

Le Laboratoire de Physique des Océans (LPO) est une UMR (Unité Mixte de Recherche) sous la tutelle de quatre instituts : IFREMER, UBO, CNRS et IRD. Il est un des sept laboratoires qui constituent l'Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM). Le laboratoire comporte trois équipes de recherche et une composante de soutien à la recherche.

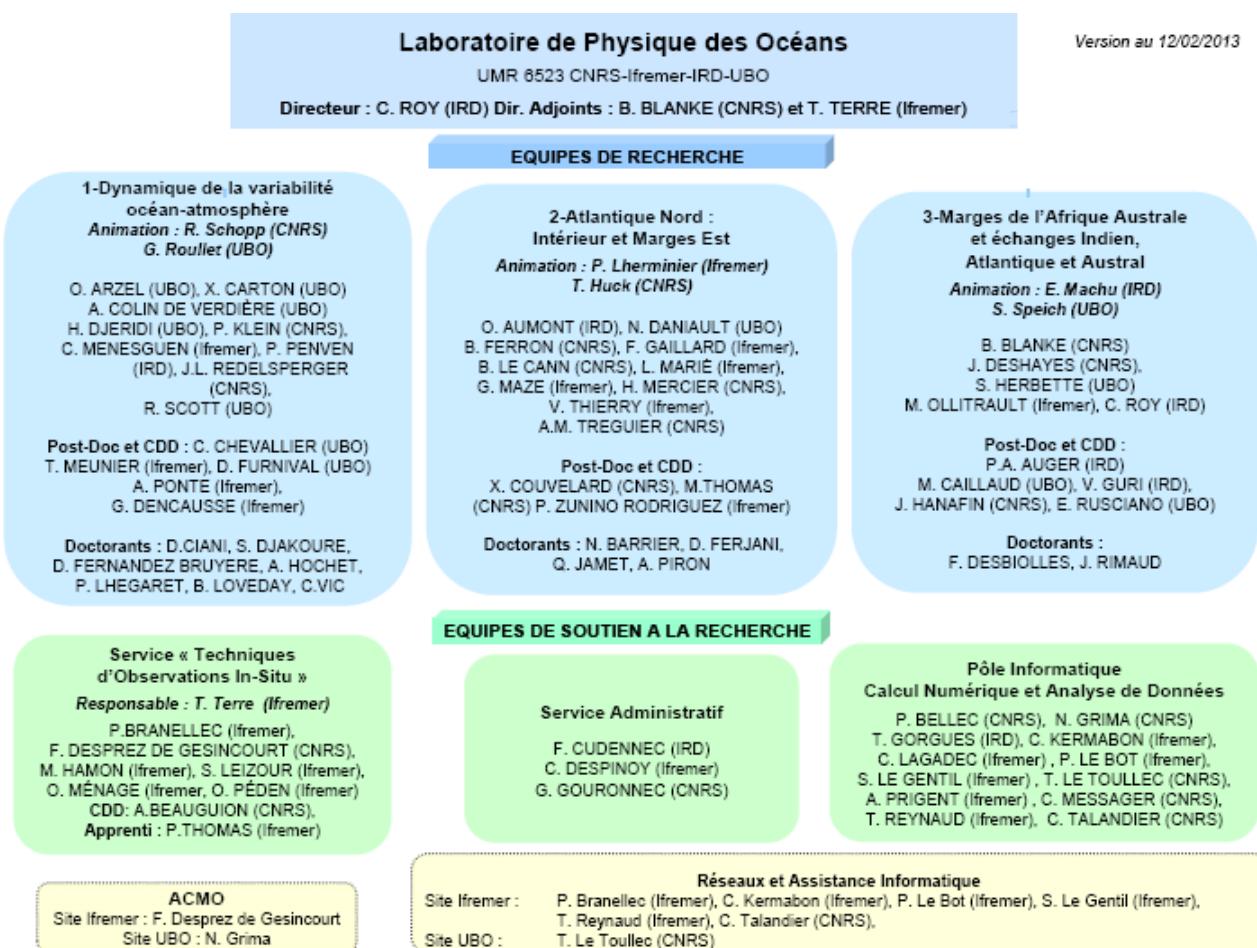


Illustration 3: Organigramme du LPO (site internet)

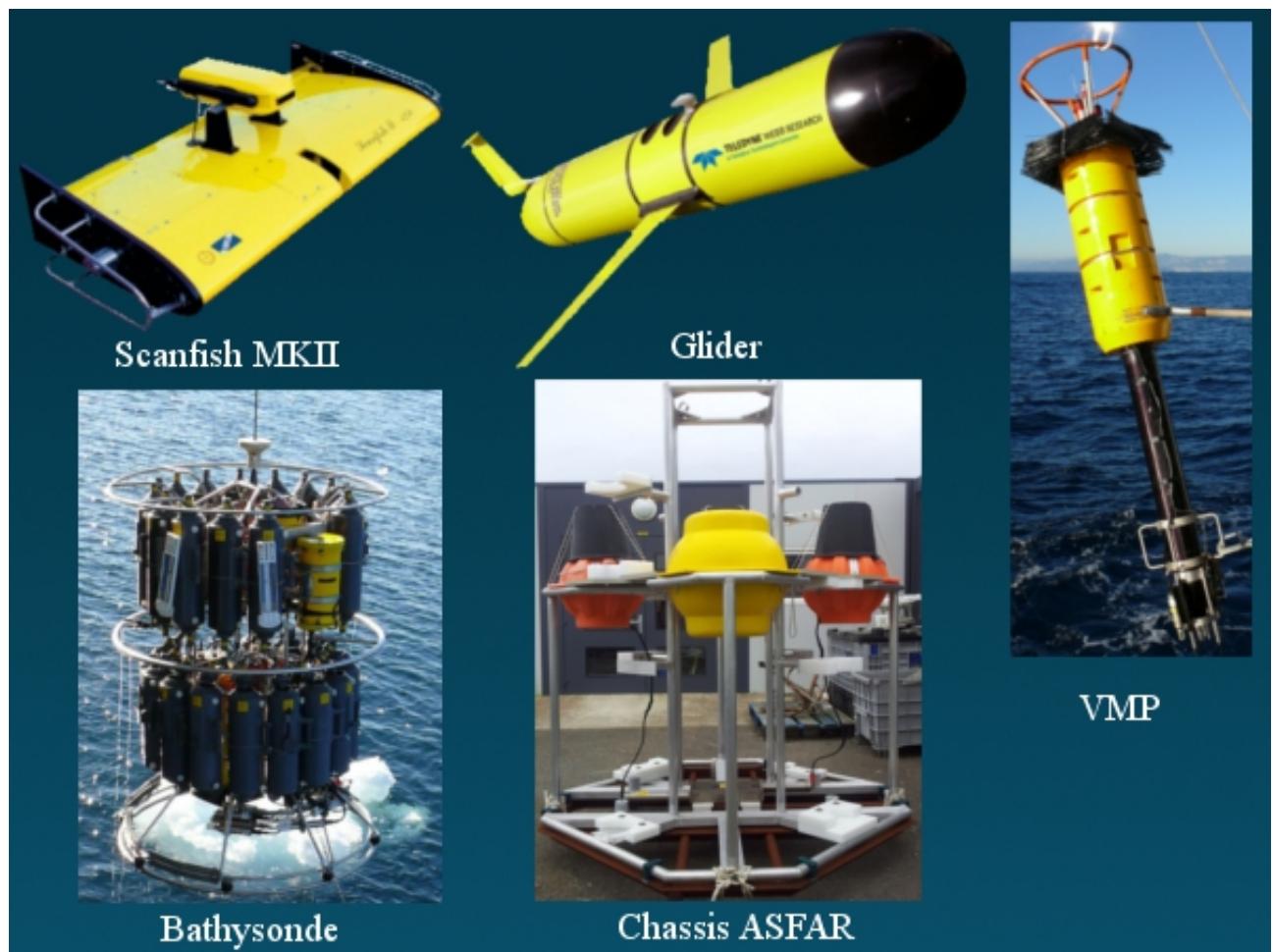
En tant qu'unité de recherche, le LPO développe et participe à des programmes de recherche en Océanographie qui contribuent au développement des connaissances sur la dynamique des océans à différentes échelles de temps et d'espace.

Elle étudie également les relations de l'océan avec d'autres entités du système terrestre comme l'atmosphère, les glaces et les organismes vivants.

Les trois thèmes principaux de recherche du laboratoire sont :

- Les mécanismes de la dynamique océanique de la sub-méso échelle à l'échelle des bassins
- Les changements climatiques : rôle de l'océan et impacts de la circulation thermohaline
- La compréhension des échanges « hauturier - côtier »

Il possède et développe des dispositifs uniques en France pour la réalisation de campagnes d'océanographie physique.



*Illustration 4: Exemples d'instruments utilisés au LPO*

Ces instruments à la pointe de la technologie permettent de mesurer les principaux constituants physiques des océans comme : le vecteur vitesse du courant, la conductivité, la température, ou la pression des masses d'eau. Ces grandeurs permettent ensuite d'obtenir des informations sur la salinité et la densité de cette eau. L'objectif est de définir et de comprendre la physique des océans et ainsi pouvoir prédire les changements climatiques et l'évolution des courants marins.

## **1.5 Le groupe technique du LPO**

Le groupe technique est l'équipe centrale du soutien à la recherche, son rôle est de mettre à disposition des projets scientifiques, les techniques de mesure et leur mise en œuvre lors des campagnes ainsi que la validation et la qualification des données. L'équipe est sans cesse en phase d'acquisition de compétences, que ce soit dans la création, l'utilisation ou la maintenance de nouveaux dispositifs. Une partie importante du personnel technique du laboratoire est dédiée aux mesures in-situ en océan profond , elles peuvent être réalisées depuis un navire, par des appareils autonomes, par des mouillages ou châssis instrumentés.

## **2. Logiciel de simulation de mouillage**

### **2.1 Introduction**

Afin d'observer des comportements saisonniers où des phénomènes ponctuels, les scientifiques ont besoin de séries temporelles suffisamment longues. Une des solutions adaptées est la conception de mouillages instrumentés. Ceux-ci permettent de disposer des instruments plusieurs mois, voire plusieurs années à des points et des profondeurs clés.

#### **2.1.1 Définition d'un mouillage**

Un mouillage filaire est une ligne instrumentée qui est structurée de haut en bas de la manière suivante. Tout d'abord, elle se compose d'une flottabilité de tête, celle-ci peut se trouver au niveau de la surface ou en immersion dans le cas de mouillages sub-surfaces. Ceux-ci sont souvent favorisés car moins exposés aux avaries causés par l'homme ou la biosphère, c'est pourquoi vous exposerai donc uniquement les mouillages sub-surfaces.

La flottabilité de tête dispose d'une balise satellitaire ARGOS qui a deux fonctions :

- Localiser précisément le mouillage lors de la récupération, car bien qu'on connaisse la position du bateau à la mise à l'eau, la ligne dérive lors de sa descente et de sa remontée.
- En cas d'avarie et de remontée inopinée, la balise prévient le scientifique par mail et émet sa position.

Elle peut également accueillir des instruments de mesure (ADCP, CTD).

La flottabilité de la bouée de tête est la plus importante du mouillage, elle assure une tension sur toute la longueur du mouillage. Elle peut porter plusieurs centaines de kilos.

Ensuite, le mouillage est structuré par étages instrumentés, celui-ci est composé :

- d'une flottabilité
- d'un ou plusieurs instruments

Les étages sont reliés entre-eux par des câbles qui viennent positionner les instruments à la bonne profondeur.

Le dernier étage est quant à lui composé :

- d'une flottabilité
- de deux largueurs acoustiques (ceux-ci sont doublés par sécurité pour assurer un largage même en cas de dysfonctionnement d'un des deux largueurs)

Ces largueurs acoustiques sont commandés depuis le bateau à partir d'une valise et d'un émetteur immergé à quelques mètres de profondeur. Lors de la récupération du mouillage, on vient entrer les codes de largage avec la valise, le signal correspondant (12 kHz) est transmis à l'émetteur. Quand celui-ci est détecté par le largueur, cela provoque une rotation du crochet retenant le lest et par conséquent la remontée du mouillage.

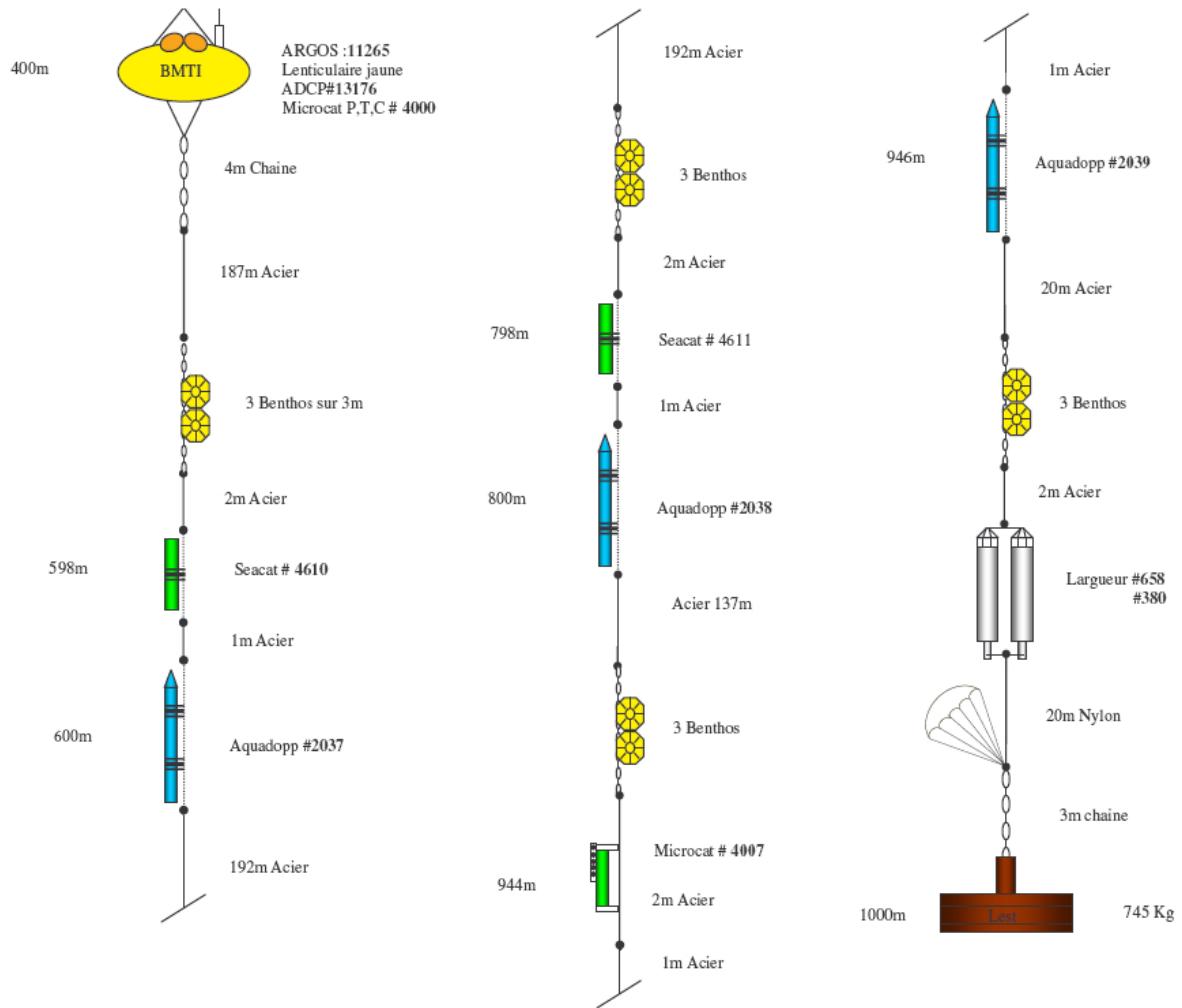
Enfin, le dernier élément constitutif d'un mouillage est le lest, son dimensionnement doit être réalisé correctement :

- Il doit être suffisamment lourd pour immerger le mouillage
- Les tensions induites par la chute du lest à la mise à l'eau ne doivent pas dépasser la charge de rupture des éléments du mouillage

Sur l'ensemble de la ligne sont présents des éléments d'accastillage nécessaire à l'assemblage des éléments entre eux (manilles, anneaux, chaînes).

Voici ci-dessous un exemple de mouillage filaire déployé par le LPO en 2011, dans le golfe de Gascogne lors la campagne ASPEX.

C'est un mouillage de sub-surface plutôt court (600m), qui dispose de quatre étages d'instrumentation (-400m, -600m, -800m, -946m), chaque étage étant constitué par un ADC(Aquadopp), et un appareil de CTD (Seacat, Microcat).



*Illustration 5: Mouillage campagne ASPEX*

## 2.1.2 Objectifs du logiciel

Les éléments constituant un mouillage ainsi que les opérations de mise à l'eau et de récupération sont très onéreux, il est donc indispensable de minimiser les risques de pertes d'instruments et donc des données. C'est pourquoi, il existe des logiciels d'aide à la conception qui permettent de simuler le comportement des mouillages dans certaines conditions. Ceux-ci proposent un certain nombre d'outils permettant à l'utilisateur de vérifier que le dimensionnement de son mouillage est acceptable.

Bien sûr, il incombe toujours à l'utilisateur de décider de s'accorder une marge de sécurité plus ou moins grande vis à vis des résultats théoriques.

## 2.2 Études préliminaires

Avant de se lancer dans le développement du logiciel, j'ai pu avoir le temps de me familiariser avec le domaine des mouillages. Durant ma première semaine de stage, j'ai aidé à l'élaboration d'une ligne de mouillage mise à l'eau le 28 novembre durant la campagne océanographique VAD. Cela m'a permis de bien saisir comment sont constitués les mouillages, de connaître les différents types de câbles, d'accastillages et d'avoir une première idée de la méthode employée lors de la mise à l'eau.

J'ai ensuite pu me concentrer sur la partie plus théorique, en utilisant les logiciels existants et en comprenant leur fonctionnement.

### 2.2.1 Étude comparative des logiciels existants

Il y a principalement deux logiciels utilisés par la communauté, tout deux développés en Matlab Runmoor et Mooring Design and Dynamics (MDD).

Leur utilisation m'a permis de comparer et de dégager les points positifs et négatifs de chacun sur des aspects que j'ai jugé important pour un logiciel de mouillage .

- L'Interface Homme Machine (IHM) :

L'IHM est la manière dont l'utilisateur interagit avec le logiciel

<b>Runmoor</b>	Ne possède pas d'IHM. L'utilisateur manipule des fichiers textes qui sont chargés au démarrage de la simulation.
<b>MDD</b>	Fonctionne avec une IHM, un menu propose toutes les options utiles à l'utilisateur(sauvegarde, chargement, définir courants etc ...).

Une IHM paraît indispensable, MDD est clairement en avance même si son interface est encore minimaliste.

- Définition de la ligne :

Avant de simuler, l'utilisateur doit créer et est amené à modifier sa ligne de mouillage.

Il faut donc qu'il puisse ajouter, intercaler et supprimer des éléments

Runmoor	Chaque ligne du fichier d'input correspond à un élément, il faut donc ajouter, insérer ou supprimer des lignes. Cela devient rapidement illisible et source d'erreurs. Les éléments sont identifiés par un numéro se trouvant dans la bibliothèque elle même décrite dans un autre fichier texte.
MDD	Via l'interface on a deux menus défilants, un qui nous permet de choisir le type d'élément que l'on souhaite ajouter et l'autre concerne l'élément lui-même. On peut visualiser dans la console Matlab, l'état d'avancement de notre ligne sous forme de liste. Pour insérer ou supprimer, on doit préciser à quelle position se situe l'élément, on doit donc consulter la console et repérer son rang dans la liste.

Dans les deux cas, on doit donc sans cesse faire l'aller retour entre plusieurs fenêtres, cela devient rapidement très fastidieux.

- Bibliothèque des éléments :

Celle-ci permet de caractériser et de classer les éléments, c'est un point très important du logiciel car les résultats de la simulation dépendent des champs renseignés par l'utilisateur dans cette bibliothèque.

Runmoor	Elle est décrite dans un fichier texte. Chaque caractéristique d'un élément est décrite par une ligne Devient très illisible, et la recherche est très délicate.
MDD	On accède à la bibliothèque depuis le menu principal, on peut ensuite consulter les éléments, qui sont classés en différents types. On peut également en ajouter en remplissant les champs correspondant aux différentes caractéristiques.

La bibliothèque de MDD est beaucoup plus claire : les éléments sont plus accessibles.

Les caractéristiques décrivant les éléments sont semblables sauf pour la traînée : deux coefficients de traînée pour Runmoor contre un pour MDD.

- Définitions des courants :

C'est la manière dont est défini le profil de courant, c'est également un point important car celui-ci va influencer directement l'inclinaison de la ligne.

<b>Runmoor</b>	On définit le profil par des couples de valeurs ( profondeur, vitesse du courant ). Pour avoir des valeurs de courants sur toute la colonne d'eau, le logiciel réalise une interpolation polynomiale.
<b>MDD</b>	On définit le profil par des couples de valeurs ( profondeur, vitesse du courant ). Pour avoir des valeurs de courants sur toute la colonne d'eau, le logiciel réalise une interpolation linéaire.

Les deux logiciels n'appliquent pas les mêmes courant avec les mêmes données d'entrée.

Avec MDD, on peut visualiser le profil lors de la simulation.

- Gestion immersion :

On peut définir la position des éléments du mouillage de deux façons : soit par immersion par rapport à la surface , soit par hauteur à partir du fond.

<b>Runmoor</b>	Les éléments sont définis par immersion.
<b>MDD</b>	Les éléments par hauteur à partir du fond.

Les deux solutions se valent, le logiciel doit donc être capable de laisser l'utilisateur choisir sa convention.

- Élément clampé :

Cela donne la possibilité à l'utilisateur de venir fixer un élément sur un autre, en effet un instrument est rarement mis directement sur la ligne, il est fixé sur un support ou un câble.

<b>Runmoor</b>	Impossible de clamer un élément sur un autre.
<b>MDD</b>	Possibilité de clamer un instrument sur sa ligne.

MDD permet une description plus fidèle de la ligne de mouillage.

- Tensions exercées sur les éléments :

Le calcul des tensions appliquées aux éléments est primordial car celles-ci ne doivent pas dépasser leurs charge de rupture. Il y a deux type tensions :

- ➔ Les tensions maximales appliquées aux éléments lors de la chute du lest
- ➔ Les tensions appliquées lorsque le mouillage est en place.

	<b>Tensions maximales</b>	<b>Tensions régime permanent</b>
<b>Runmoor</b>	✓	✓
<b>MDD</b>	✗	✓

- Calcul du lest :

Le calcul du lest est également un point fondamental, il doit être suffisamment lourd pour permettre au mouillage de s'immerger, mais ne doit pas entraîner une rupture de la ligne à la mise à l'eau

<b>Runmoor</b>	Calcul du poids minimum et avertit l'utilisateur en cas de tensions maximales trop proches de la charge de rupture.
<b>MDD</b>	Calcul du poids minimum.

Runmoor permet de déduire un intervalle de tolérance pour le poids du lest.

- Calcul des inclinaisons, subductions et rayon d'évitement :

Le logiciel doit permettre de mettre en évidence l'inclinaison de ligne induite par le courant et la subduction qui en résulte. En effet, lorsque la ligne se penche, la profondeur des instruments va être modifiée car les câbles ne sont plus totalement à la verticale. Le rayon d'évitement est la distance par rapport à la verticale du lest. De plus, si l'inclinaison dépasse un seuil, certains instruments ne sont plus capables de mesurer correctement.

	<b>Angle d'inclinaison</b>	<b>Subduction</b>	<b>Rayon d'évitement</b>
<b>Runmoor</b>	✓	✓	✓
<b>MDD</b>	✓	✓	✓

- Allongement des câbles :

A cause des fortes tensions appliquées sur les câbles, ceux-ci vont subir un allongement plus ou moins important selon les caractéristiques des matériaux. Ils vont donc également modifier la profondeur des instruments.

<b>Runmoor</b>	On peut définir autant de matériaux que l'on souhaite, ainsi que les équations de calcul des allongements.
<b>MDD</b>	Les calculs sont bien effectués mais les matériaux sont pré-définies, on n'a pas accès aux caractéristiques de ceux-ci, ni la possibilité d'ajouter de nouveaux.

Runmoor est plus souple et évolutif dans ce domaine.

- Sauvegarde à la rupture :

En cas de rupture de la ligne, la partie supérieure remonte. Ce calcul permet de visualiser la flottabilité restante. Si le mouillage est idéal, il doit pouvoir remonter après largage peu importe l'endroit où la ligne est sectionnée.

<b>Runmoor</b>	✓
<b>MDD</b>	✗

MDD ne propose pas ce type de calculs.

- Exportation des résultats :

Une fois la simulation effectuée, il est important de pouvoir sauvegarder les résultats.

Avoir une présentation ordonnée et formalisée des résultats est indispensable.

<b>Runmoor</b>	Génération automatique d'un rapport avec tous les résultats utiles issues de la simulation du mouillage.
<b>MDD</b>	Les résultats sont affichés dans la console Matlab.

Pour conclure, j'ai pu résumer l'ensemble de ces points clés dans un tableau et juger quelle est la meilleure solution à adopter pour chaque aspect.

	<b>Runmoor</b>	<b>MDD</b>
<b>IHM</b>		
<b>Définition de la ligne</b>		
<b>Bibliothèque</b>		
<b>Définitions des courants</b>		
<b>Convention position des éléments</b>		
<b>Élément clampé</b>		
<b>Calcul des Tensions</b>		
<b>Calcul des inclinaisons, subductions et rayon d'évitement</b>		
<b>Calcul du lest</b>		
<b>Allongement des câbles</b>		
<b>Sauvegarde à la rupture</b>		
<b>Exportation des résultats</b>		

A la lecture de ce tableau, on comprend pourquoi aucun logiciel ne fait l'unanimité.

En effet, chacun a ses qualités et ses défauts, l'idée directrice du développement du nouveau logiciel sera donc de se servir de l'expérience de ceux-ci afin de proposer des solutions pertinentes et convaincantes.

## **2.2.2 Spécifications fonctionnelles**

Afin de discuter des modalités du nouveau logiciel, plusieurs réunions ont été organisées avec les différents acteurs concernées par la simulation de mouillage.

Nous avons abordé chaque aspect, chacun exprimant son retour d'expérience et ainsi établir point par point les spécifications fonctionnelles en essayant de satisfaire le plus grand monde.

### 2.2.2.1 Architecture :

Le logiciel sera programmé en langage objet en Python, pour une question de portabilité et de gratuité de licences. L'application disposera d'une IHM, d'une barre des menus et d'une barre d'outils pour un accès direct à certaines fonctionnalités.

Dans sa version finale, il fonctionnera sous forme compilée via un exécutable.

### 2.2.2.2 Configuration :

Le logiciel possédera une interface de configuration permettant à l'utilisateur de choisir :

- ➔ ses unités de travail et d'affichage ( SI ou autres)
- ➔ la manière de définir la profondeur des éléments du mouillage (en immersion ou hauteur par rapport au fond).

### 2.2.2.3 Création et édition de la bibliothèque :

L'utilisateur pourra importer sa bibliothèque personnalisée à partir d'un fichier Excel normalisé :

Chaque feuille correspondra à un type d'élément. Cela permet d'externaliser totalement la base de données du logiciel, l'idée est de favoriser les échanges dans la communauté et de se rapprocher à terme d'une base de donnée commune.

L'ajout de nouveaux matériaux est également possible ainsi que les données et équations nécessaires aux calculs des allongements.

### 2.2.2.4 Création et édition de la ligne :

L'interface doit permettre de :

- ➔ sauvegarder et charger son mouillage
- ➔ ajouter, insérer, supprimer et clamer facilement des éléments sur la ligne
- ➔ préciser la profondeur de l'instrument
- ➔ créer des super-éléments (ensemble de sous-éléments)
- ➔ vérifier la continuité de la ligne (existence d'une liaison entre deux éléments)

#### 2.2.2.5 Définition des contraintes environnementales :

Elle seront définies dans une fenêtre ou l'utilisateur pourra :

- ➔ entrer à quelle profondeur se trouve le fond
- ➔ définir et visualiser un profil de courant

#### 2.2.2.6 Résolution numérique du système :

Les calculs des efforts seront réalisés en statique.

L'application proposera le calcul :

- ➔ d'un intervalle de tolérance pour le poids du lest
- ➔ des allongements des câbles
- ➔ de la tension maximale à la mise à l'eau, avertir l'utilisateur si elle est trop proche de la charge de rupture
- ➔ de la sauvegarde à la rupture
- ➔ des longueurs des câbles, permettant de positionner les instruments à la bonne profondeur

#### 2.2.2.7 Affichage des résultats :

La simulation permettra d'afficher :

- ➔ une représentation 2D de la ligne, de la sauvegarde à la rupture, des tensions
- ➔ un schéma représentant la ligne de mouillage

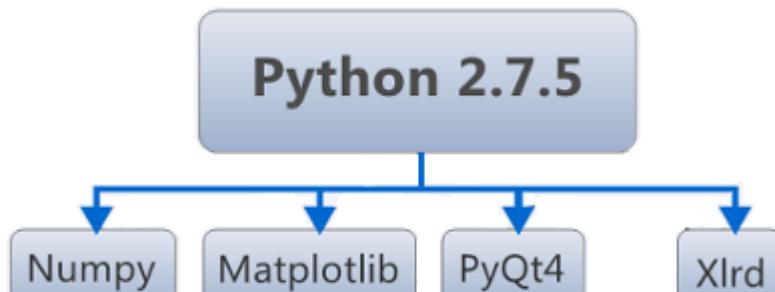
#### 2.2.2.8 Création d'un rapport formalisé

L'application doit être capable d'exporter les données de la simulation vers un traitement de texte contenant :

- ➔ les différents graphiques
- ➔ toutes les informations générales sur le mouillage (dimensionnement du lest, subduction totale, allongement totale)
- ➔ un tableau comportant les grandeurs calculées pour chaque élément ( profondeur, tension, inclinaison, rayon d'évitement ...)
- ➔ un inventaire décomptant le nombre et longueurs des éléments d'accastillage (câble, chaîne, manille, anneau, ...)

## 2.3 Fonctionnement du logiciel

Le programme est développé sous Python 2.7.5, l'installation de quelques modules supplémentaires a été nécessaire.



*Illustration 6: Python et ses différents packages*

Numpy est destinée à manipuler des matrices ou tableaux multidimensionnels ainsi que des fonctions mathématiques opérant sur ces tableaux.

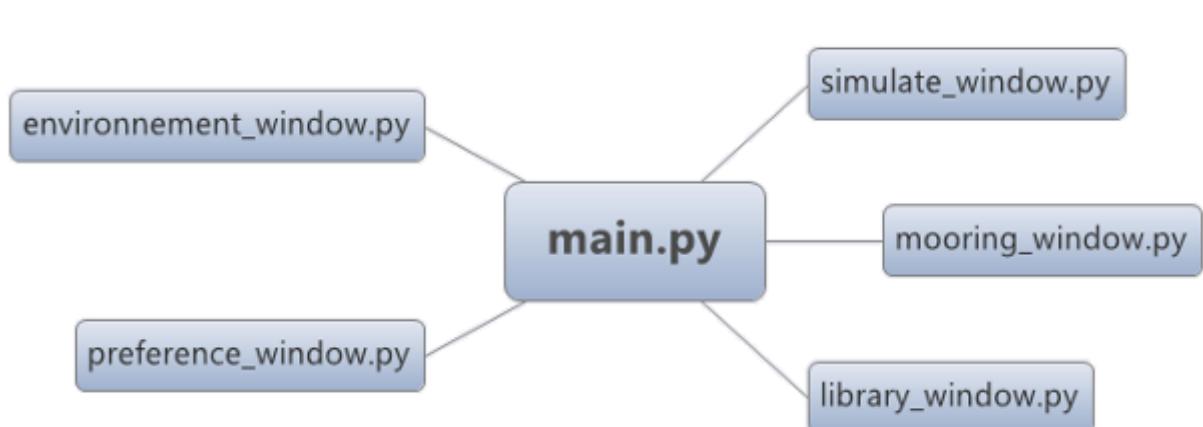
Matplotlib permet de tracer toutes sortes de graphiques, utilisé de concert avec Numpy, il devient un outil scientifique complet pour Python.

PyQt4 permet de développer des interfaces graphiques très complexes, c'est un portage de Qt qui est à la base destiné au C++.

Enfin Xlrd permet de lire et d'importer un fichier Excel

### 2.3.1 Architecture

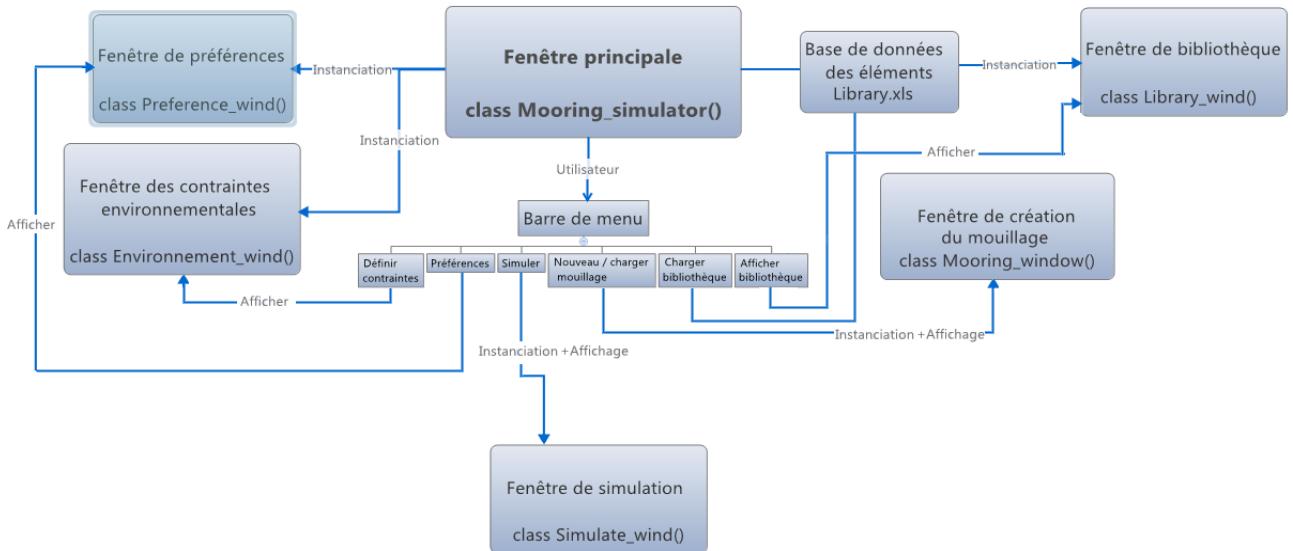
Le programme est structuré à partir de six fichiers python, chacun décrivant un type de fenêtre.



*Illustration 7: Structure générale du programme*

A chaque type de fenêtre correspond une classe, avec ses attributs et méthodes associés.

Le diagramme ci-dessous explique le fonctionnement général du logiciel.



*Illustration 8: Diagramme de fonctionnement*

Au démarrage du logiciel, les fenêtre de préférence et des contraintes environnementales sont créées et ne pourront pas être supprimées par l'utilisateur, lorsque celui-ci demande leur fermeture, elles deviennent invisibles, mais les objets correspondant à ces fenêtres ne sont pas détruits.

En effet, ces fenêtres sont uniques et ont été conçues, pour être totalement modifiables, une seule instanciation suffit donc au fonctionnement normal du programme.

La fenêtre de bibliothèque est également créée au démarrage, celle-ci correspond au fichier xls par défaut. Cela a été fait par souci de confort pour l'utilisateur pour éviter qu'il ait à préciser à chaque démarrage le chemin de sa bibliothèque.

Cette fenêtre est supprimée et instanciée de nombreuses fois. En effet, à chaque fois que l'utilisateur l'actualise, une nouvelle instance de **Library\_wind()** est créée et tous ses champs sont attribués dynamiquement.

A chaque feuille du fichier Excel va correspondre une classe, et à chaque colonne de chaque feuille correspond un attribut. Dans cette nouvelle instance va être créée autant d'objet que d'éléments décrits dans le classeur Excel. Il ne reste plus qu'a créer un tableau pour chaque classe et disposer les attributs de chaque objet colonne par colonne.

La fenêtre de création du mouillage est instanciée chaque fois que l'utilisateur charge ou crée un mouillage. Le chargement consiste à créer une instance de **Mooring\_window()** et à assigner tous les attributs stockés dans le fichier de sauvegarde. L'utilisateur peut ainsi créer et manipuler autant de mouillage qu'il souhaite et pourra passer de l'un à l'autre à l'aide d'onglets.

La fenêtre de simulation du mouillage est instanciée autant de fois que l'utilisateur le décide s'il a rempli toutes les conditions permettant de simuler.

Je vais maintenant expliquer plus en détail le fonctionnement de la fenêtre de création du mouillage, qui est la fenêtre centrale du logiciel.

Celle-ci est divisé en deux parties :

- A gauche se situe l'espace de travail, où est affiché le mouillage en cours de création, il est défini par la classe **Mooring widget()**
- A droite se situe la bibliothèque, avec un onglet pour chaque type d'élément, chaque onglet est une instance de la classe **Object List()**. Les éléments sont représentés sous forme d'icônes.

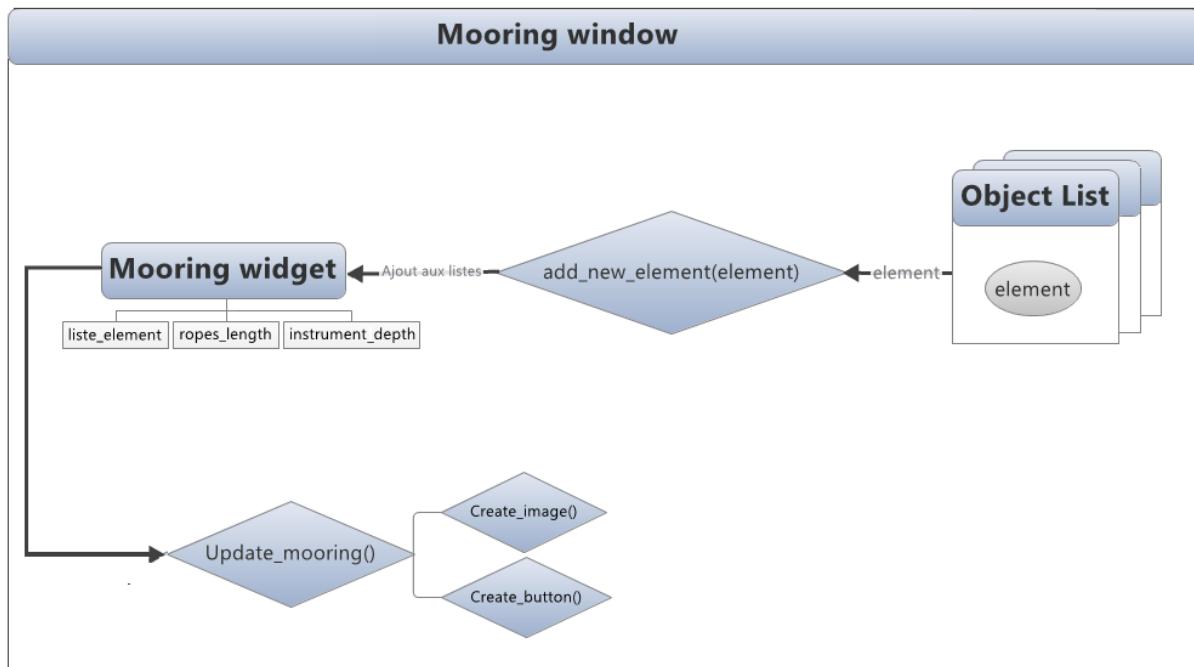


Illustration 9: Fonctionnement de *Mooring\_window.py*

Lorsque l'utilisateur double clique sur l'icône correspondant à l'élément qu'il veut ajouter, celui -ci est passé en argument de la fonction *add\_new\_element()*, qui va l'ajouter dans la liste *liste\_element* de la classe **Mooring widget**. Selon le type de l'élément d'autres listes sont susceptibles d'être modifiées (*ropes\_length*, *instrument\_depth*). La fonction *Update\_mooring()* va traduire l'état de ces listes en chargeant l'image de chaque élément et en les juxtaposant de haut en bas, représentant ainsi la ligne de mouillage. Les boutons d'insertion et de suppression sont également ajoutés rendant la ligne facilement modifiable.

## 2.3.2 Modèle mathématique

### 2.3.2.1 Calcul des efforts

Lorsqu'un corps est immergé dans l'eau, il est soumis à trois forces :

- Son poids qui est dû à la pesanteur sur sa masse.
- La poussée d'Archimède qui est égale au poids du volume d'eau déplacé par le corps.
- Les forces de traînées induites par un courant.

Les deux premières sont souvent résumées en une seule force : le poids dans l'eau.

$$P_{eau} = m \cdot g \cdot \left(1 - \frac{\rho_{eau}}{\rho_{materiel}}\right)$$

Les forces de traînées induites par un vecteur vitesse de courant horizontal  $\vec{V}$  sont les suivantes :

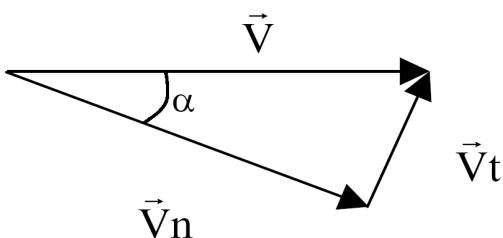


Illustration 11: Vecteur vitesse de courant

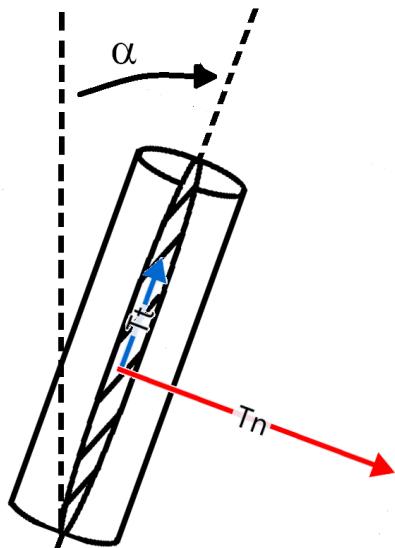


Illustration 10: Forces de traînées

Avec  $V_n = V \cdot \cos(\alpha)$

$$T_n = \frac{1}{2} \cdot \rho_{eau} \cdot C_n \cdot S \cdot (V_n)^2$$

$$V_t = V \cdot \sin(\alpha)$$

$$T_t = \frac{1}{2} \cdot \rho_{eau} \cdot C_t \cdot S \cdot (V_t)^2$$

- $\rho_{eau}$  : masse volumique de l'eau ( $\text{kg.m}^{-3}$ )
- $C_n$  : coefficients de traînée normal (sans dimension)
- $C_t$  : coefficients de traînée tangentielle (sans dimension)
- $S$  : surface d'action du courant ( $\text{m}^2$ )

Pour un segment quelconque du mouillage, dans l'hypothèse où le mouillage s'incline d'un angle  $\alpha$ ,

On a donc le bilan des forces suivant :

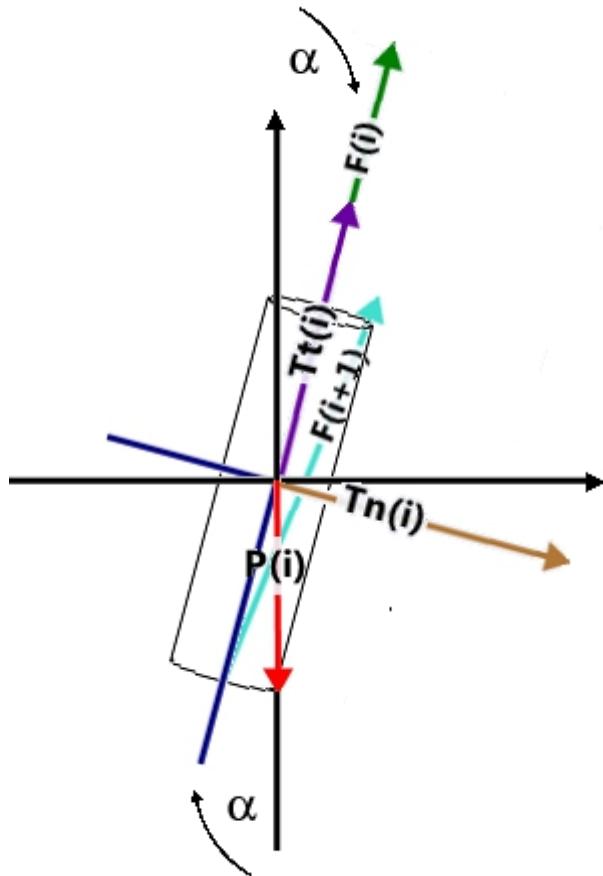


Illustration 12: Bilan des forces

$F(i)$  : Tension exercée par les éléments supérieurs.

$Tt(i)$  : Traînée tangentielle

$Tn(i)$  : Traînée normale

$P(i)$  : Portance ou poids dans l'eau de l'élément

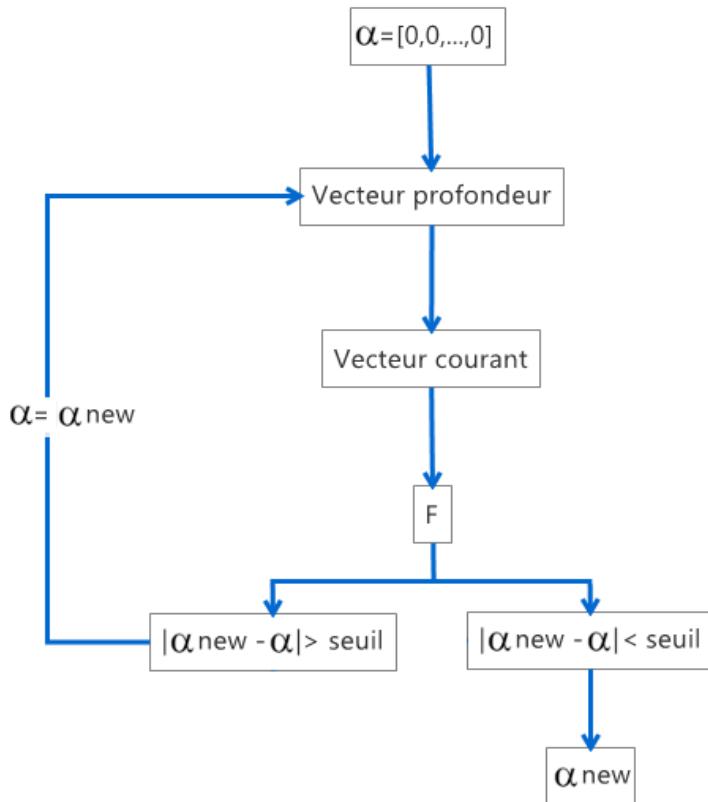
$F(i+1)$  : Résultante des forces sous le segment

En projetant selon les axes X et Y on obtient les deux équations suivantes

$$F_x(i+1) = T_n \cdot \cos(\alpha) + T_t \cdot \sin(\alpha) + F(i) \cdot \sin(\alpha)$$

$$F_y(i+1) = T_t \cdot \cos(\alpha) - T_n \cdot \sin(\alpha) + F(i) \cdot \cos(\alpha) + P(i)$$

Pour résoudre ces équations en tout point de la ligne, on utilise cet algorithme :



*Illustration 13: Algorithme de calcul*

On part d'un vecteur  $\alpha$  correspondant à l'inclinaison de chaque élément.

Au départ, on considère la ligne verticale, les angles sont donc tous égaux à 0.

On calcule ensuite, le vecteur profondeur qui correspond à l'immersion de chaque élément

$Vecteur_{depth}(nb_{element}) = profondeur\ fond$  On calcule ce vecteur par itération en partant de la fin pour avoir l'immersion de la tête de mouillage en première position .

$$i = nb_{element} - 1 \rightarrow 0$$

$$Vecteur_{depth}(i) = Vecteur_{depth}(i+1) + L(i) \cdot \cos(\alpha(i)) \quad L(i) : \text{longueur de l'élément } i$$

On cherche ensuite les valeurs du courant correspondant à la profondeur de chaque élément.

Puis on calcule  $F_x(0)$  et  $F_y(0)$ . En effet, la tête de mouillage ne subit pas de tension par un élément supérieur, on a donc :

$$F_x(0) = T_n(0) \cdot \cos(\alpha(0)) + T_t(0) \cdot \sin(\alpha(0))$$

$$F_y(0) = T_t(0) \cdot \cos(\alpha(0)) - T_n(0) \cdot \sin(\alpha(0)) + P(0)$$

On peut donc maintenant calculer  $F_x$  et  $F_y$  par itération jusqu'au dernier élément.

$$F_x(i+1) = T_n(i) \cdot \cos(\alpha(i)) + T_t(i) \cdot \sin(\alpha(i)) + F(i) \cdot \sin(\alpha(i))$$

$$F_y(i+1) = T_t(i) \cdot \cos(\alpha(i)) - T_n(i) \cdot \sin(\alpha(i)) + F(i) \cdot \cos(\alpha(i)) + P(i)$$

Enfin on calcule  $F(i) = \sqrt{(F_x(i)^2 + F_y(i)^2)}$

$$\alpha_{new} = \arctan\left(\frac{F_x(i)}{F_y(i)}\right)$$

on compare ensuite  $\alpha_{new}$  et  $\alpha$  :

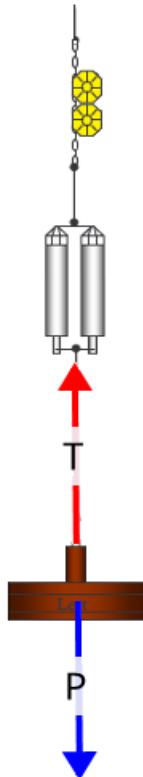
- soit  $\alpha_{new} \approx \alpha$  donc le système est stable
- soit on réinjecte la valeur  $\alpha_{new}$  et on recommence jusqu'à obtenir une stabilité du système

Une fois que le vecteur  $F$  est calculé et que l'inclinaison de la ligne est connue, on peut déduire d'autres grandeurs utiles :

- La subduction :  $Subduction(i) = \sum_{i=nb\ element}^{i=0} L(i) \cdot (1 - \cos \alpha(i))$
- Le rayon d'évitement  $R_{evitement}(i) = \sum_{i=nb\ element}^{i=0} L(i) \cdot (\sin \alpha(i))$
- Les allongements, dont les équations seront implémentées plus tard dans le logiciel

### 2.3.2.2 Calcul des efforts maximum à la mise à l'eau :

Pour dimensionner le lest, on a besoin de calculer les tensions exercées par celui-ci lors de la mise à l'eau. En effet, c'est lors de la chute libre du lest que les tensions sont maximales et qu'elles risquent de s'approcher de la charge de rupture des câbles.



*Illustration 14: Chute du lest*

Lors de cette chute libre, deux forces s'opposent :

- P : le poids dans l'eau du lest
- T : la tension exercé par les éléments supérieurs

$$\text{or } T = \sum_0^{i=nbelement} F(i) + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (V_{chute})^2 \cdot \sum_0^{i=nbelement} C_t(i) \cdot S(i)$$

- F(i) : la flottabilité des éléments supérieurs
- C<sub>t</sub>(i) : coefficient de traînée tangentielle
- S(i) : Surface de contact normale à l'axe de la chute

On peut écrire cette formule sous la forme simplifiée  $T = a \cdot V_{chute}^2 + b$

Selon le Principe Fondamental de la Dynamique :  $m \cdot \ddot{x} = \sum \vec{F}_{ext}$

on a donc  $m \cdot \ddot{x} = m \cdot g - (a \cdot (\dot{x})^2 + b)$

$$\ddot{x} + \alpha \cdot (\dot{x})^2 - \beta = 0 \quad \text{avec} \quad \alpha = \frac{a}{m} \quad \beta = g - \frac{b}{m}$$

En résout cette équation numériquement grâce à la méthode d'Euler :

$$\dot{x}_{n+1} = (\beta - \alpha \cdot \dot{x}_n^2) \cdot \Delta T + \dot{x}_n$$

$$\dot{x}(t \rightarrow \infty) = v_{limite} = \sqrt{\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)} \quad \text{ou } v_{limite} \text{ est la vitesse atteinte en régime permanent}$$

Avec  $v_{limite}$ , on peut maintenant calculer la tension exercée sur l'élément i, lorsque la vitesse de chute est maximale

$$T_{max}(i) = \sum_{k=0}^{k=i} F(k) + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_{limite})^2 \cdot \sum_{k=0}^{k=i} C_t(k) \cdot S(k)$$

## 2.4 Utilisation du logiciel

Je vais maintenant présenter l'interface homme machine du logiciel, son ergonomie et comment l'utilisateur interagit avec elle.

### 2.4.1 Présentation de la bibliothèque

Avant de commencer la conception de son mouillage, l'utilisateur doit s'assurer d'avoir une bibliothèque cohérente et exhaustive. Celle-ci est accessible en lecture et en écriture via un fichier Excel. Il peut également la consulter directement à partir du logiciel grâce à la barre de menu.

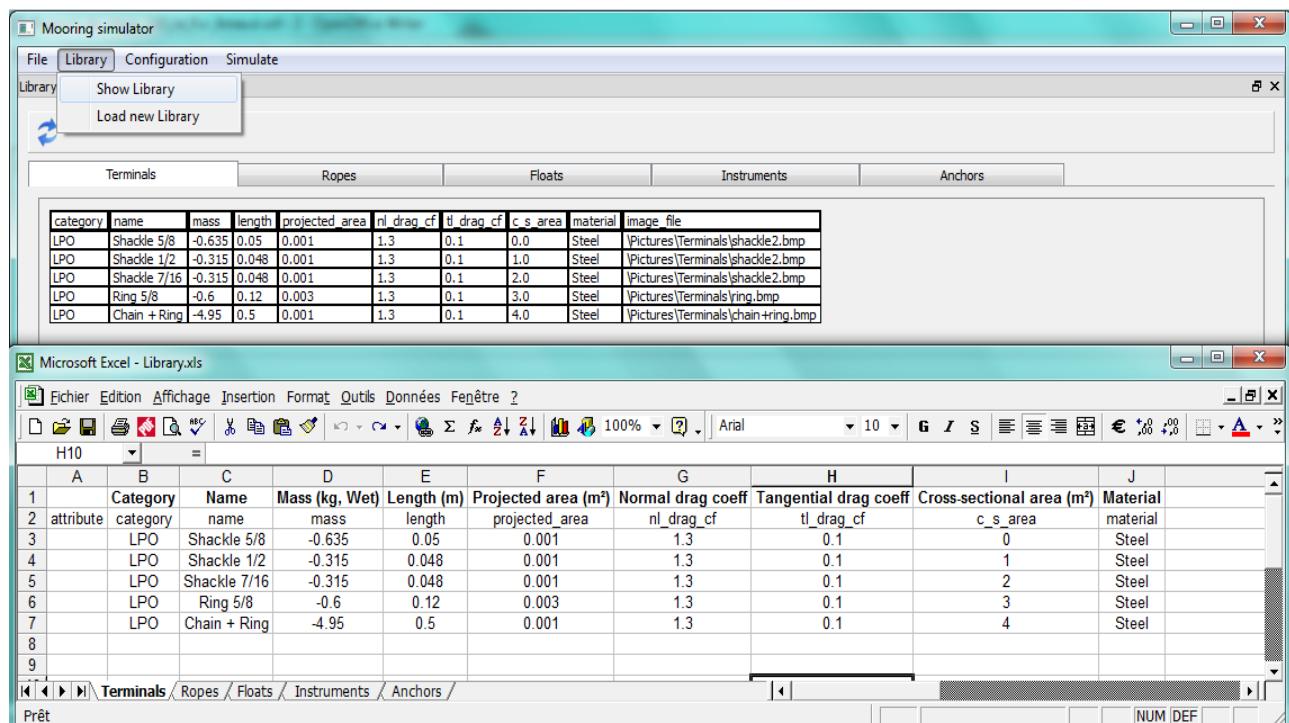


Illustration 15: Bibliothèque

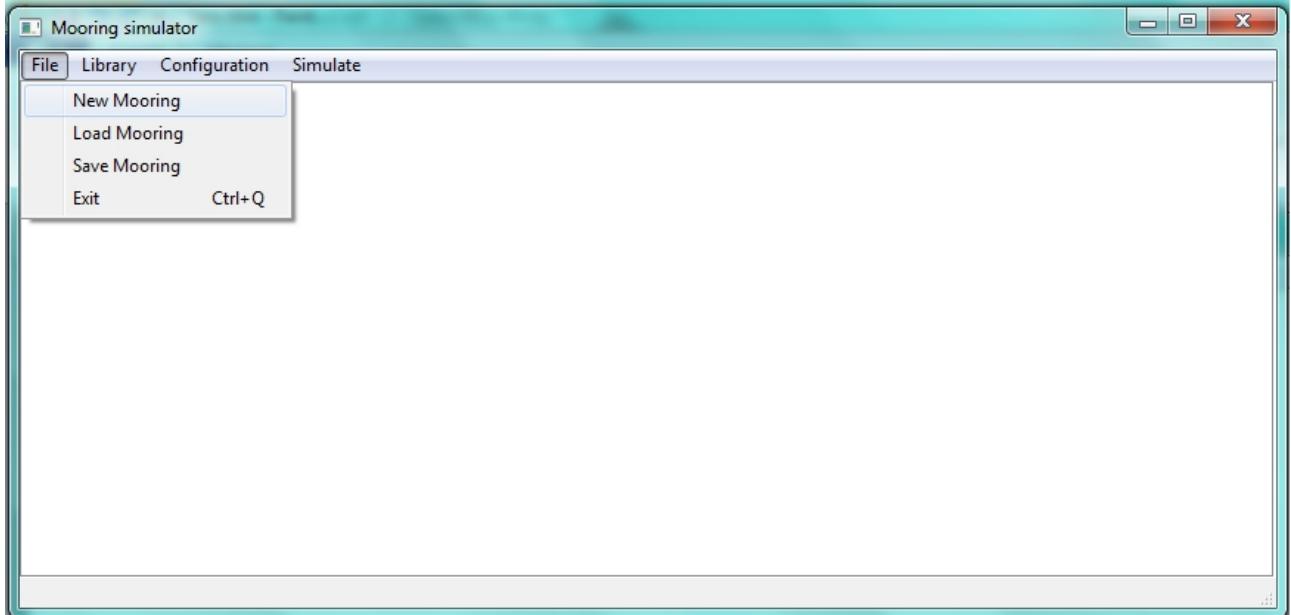
A chaque feuille du fichier Excel correspond un type d'élément, ici **Terminals** (Terminaison).

Chaque élément est décrit par des attributs spécifiques à son type.

Dans le logiciel, on accède aux différents types via des onglets, un bouton permet également d'actualiser la base de données, au cas où l'utilisateur a fait des modifications dans le fichier Excel.

## 2.4.2 Création du mouillage

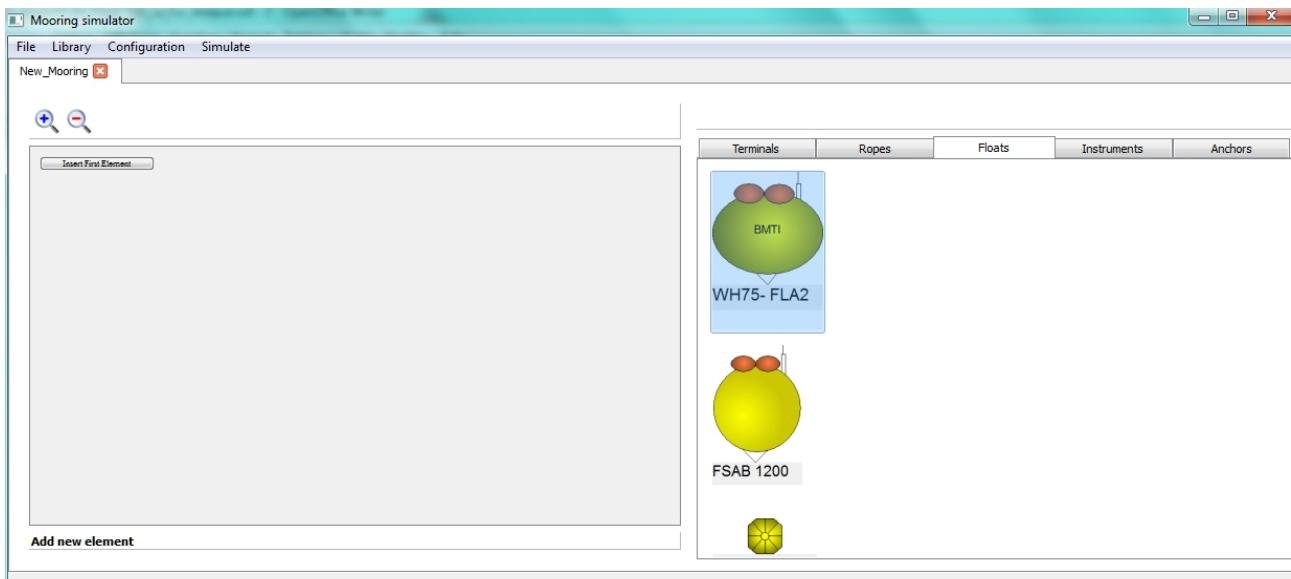
Pour créer, charger ou sauvegarder une nouvelle ligne de mouillage, on utilise le menu déroulant **File** via la barre de menu.



*Illustration 16:Création d'un nouveau mouillage*

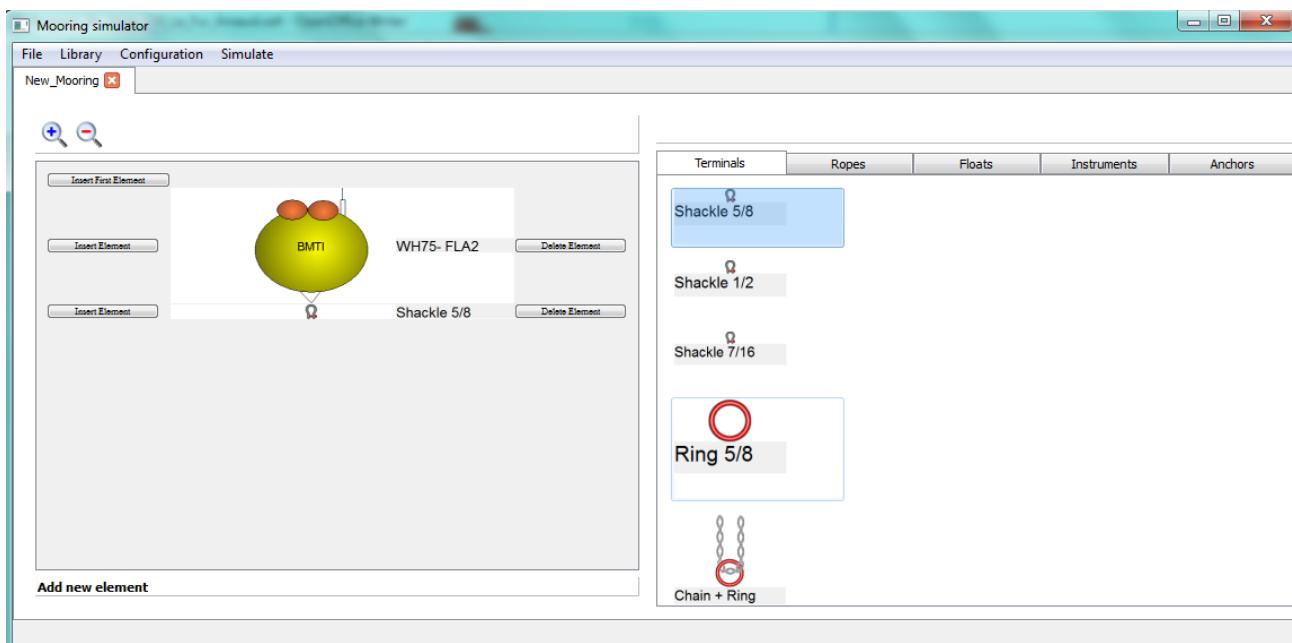
On obtient ainsi la fenêtre suivante, l'utilisateur a à sa disposition :

- Un espace de travail à gauche qui va contenir le mouillage
- Les éléments sous forme d'icône à droite



*Illustration 17: Fenêtre de création de mouillage*

L'utilisateur peut maintenant double cliquer sur les éléments qu'il souhaite ajouter au mouillage. Ceux-ci vont s'ajouter les uns après les autres dans la partie gauche de l'écran.



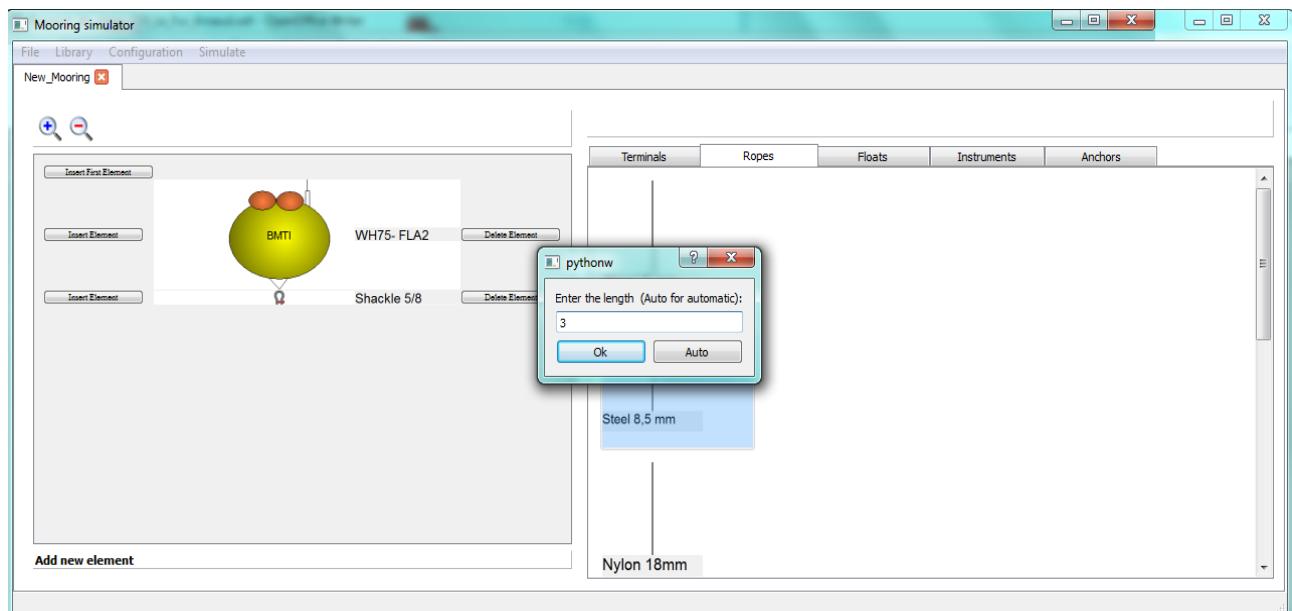
*Illustration 18: Ajout des éléments*

On remarque également qu'à chaque élément ajouté correspond :

- Un bouton **Insert Element** qui permet d'insérer juste en dessous le prochain élément choisi.
- Un bouton **Delete Element** qui va supprimer l'élément correspondant et remonter les éléments inférieurs.

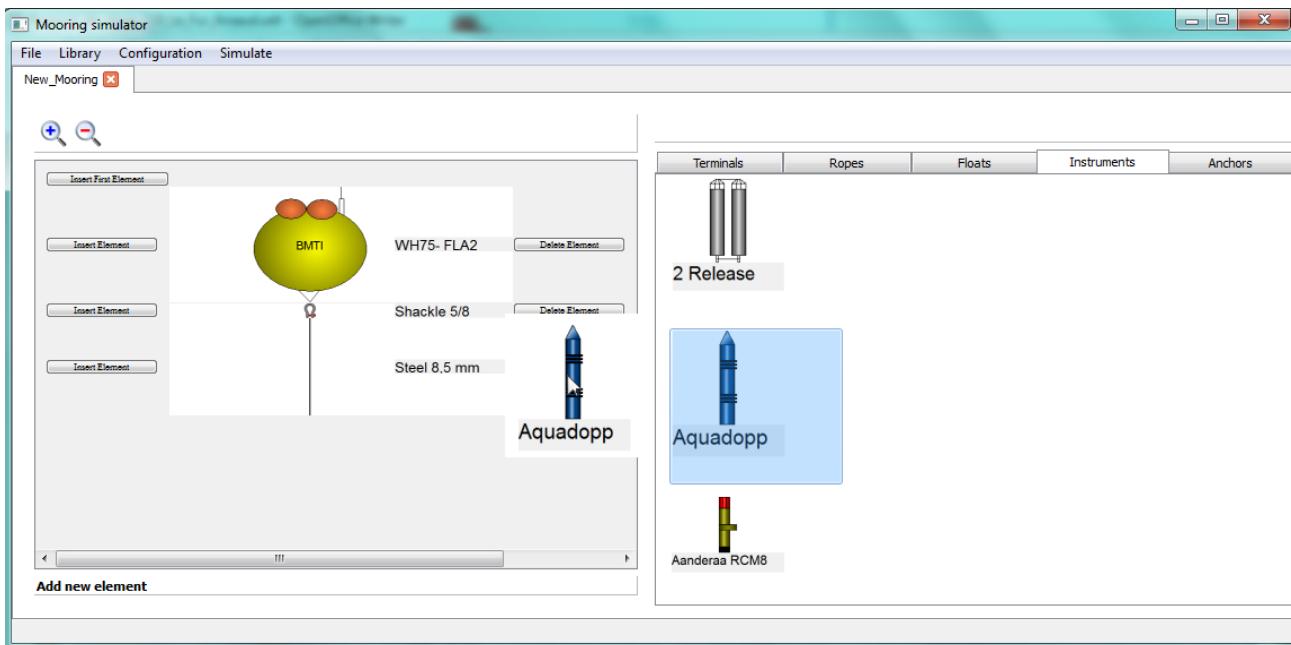
Lorsque l'utilisateur double clique sur un câble, une boîte de dialogue apparaît demandant :

- Entrer la longueur du cable manuellement
- Choisir cette longueur en mode automatique



*Illustration 19: Choix de la longueur d'un câble*

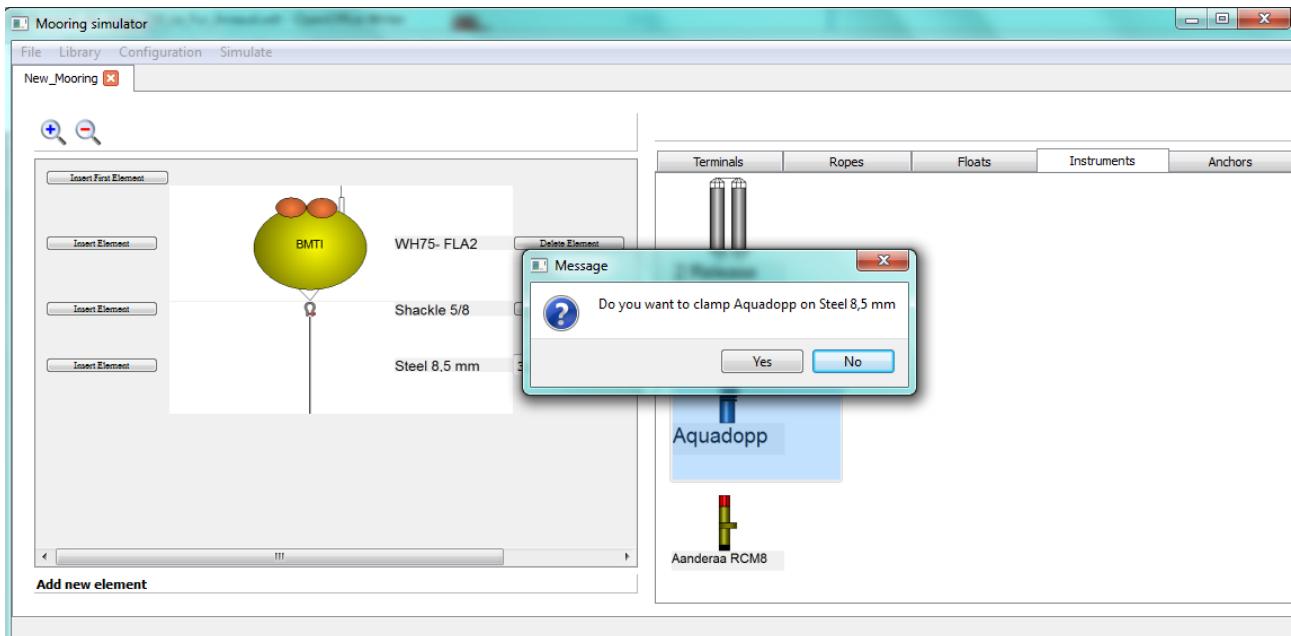
le logiciel calculera par la suite les longueurs définies en automatique permettant de fixer les instruments à la profondeur choisie par l'utilisateur.



*Illustration 20: Clamping d'un instrument*

On peut également clamer des instruments : l'utilisateur doit cliquer sur celui-ci, le glisser dans la partie gauche puis le déposer sur l'élément cible.

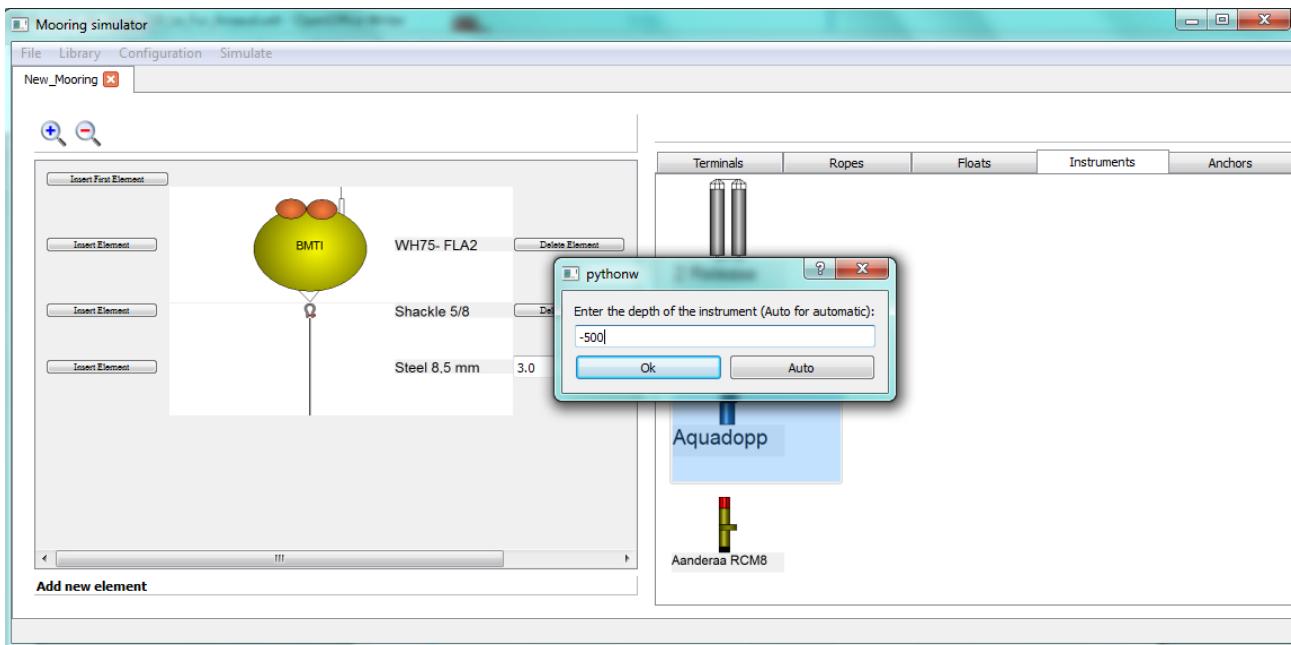
Une boîte de dialogue apparaît permettant à l'utilisateur de valider le clamping



*Illustration 21: Demande de confirmation*

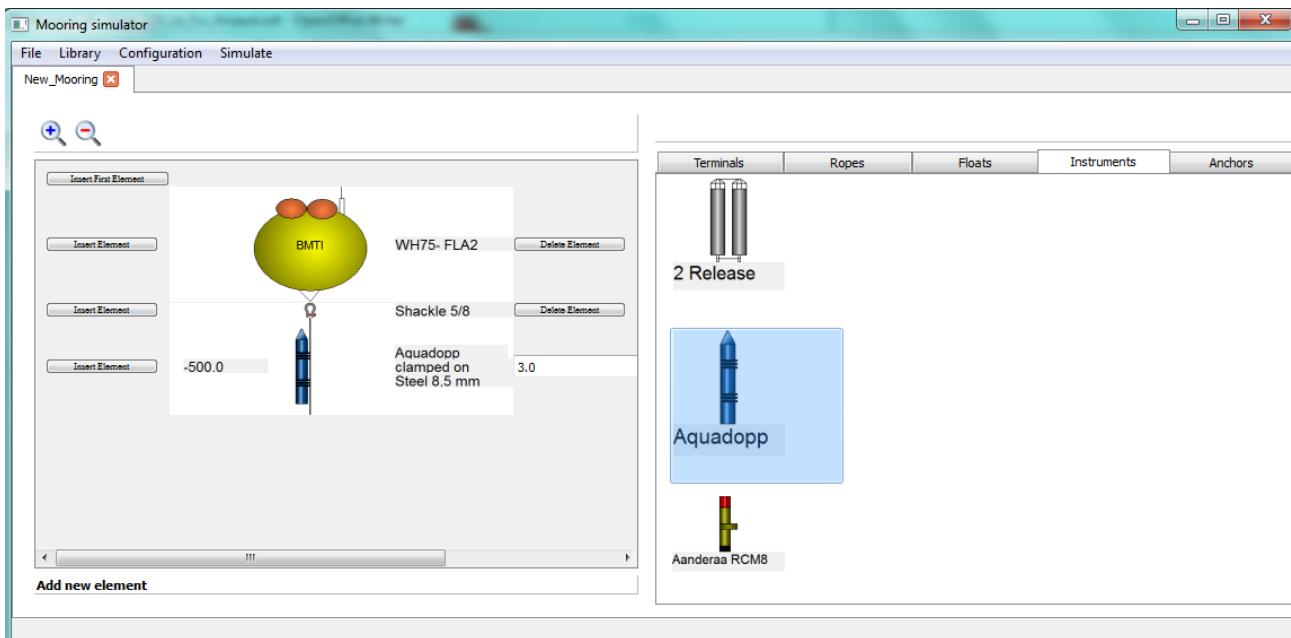
Si celui-ci confirme son choix, une nouvelle boîte de dialogue apparaît.

Celle-ci permet de définir la profondeur de l'instrument manuellement ou en mode automatique.



*Illustration 22: Choix de la profondeur de l'instrument*

Si l'utilisateur choisit de définir tout ses câbles en mode automatique, Il devra définir autant d'instruments en mode manuel et préciser leur profondeur. Dans le cas contraire, le logiciel se trouvera face à trop d'inconnues et sera incapable de calculer les longueurs des câbles automatiquement.



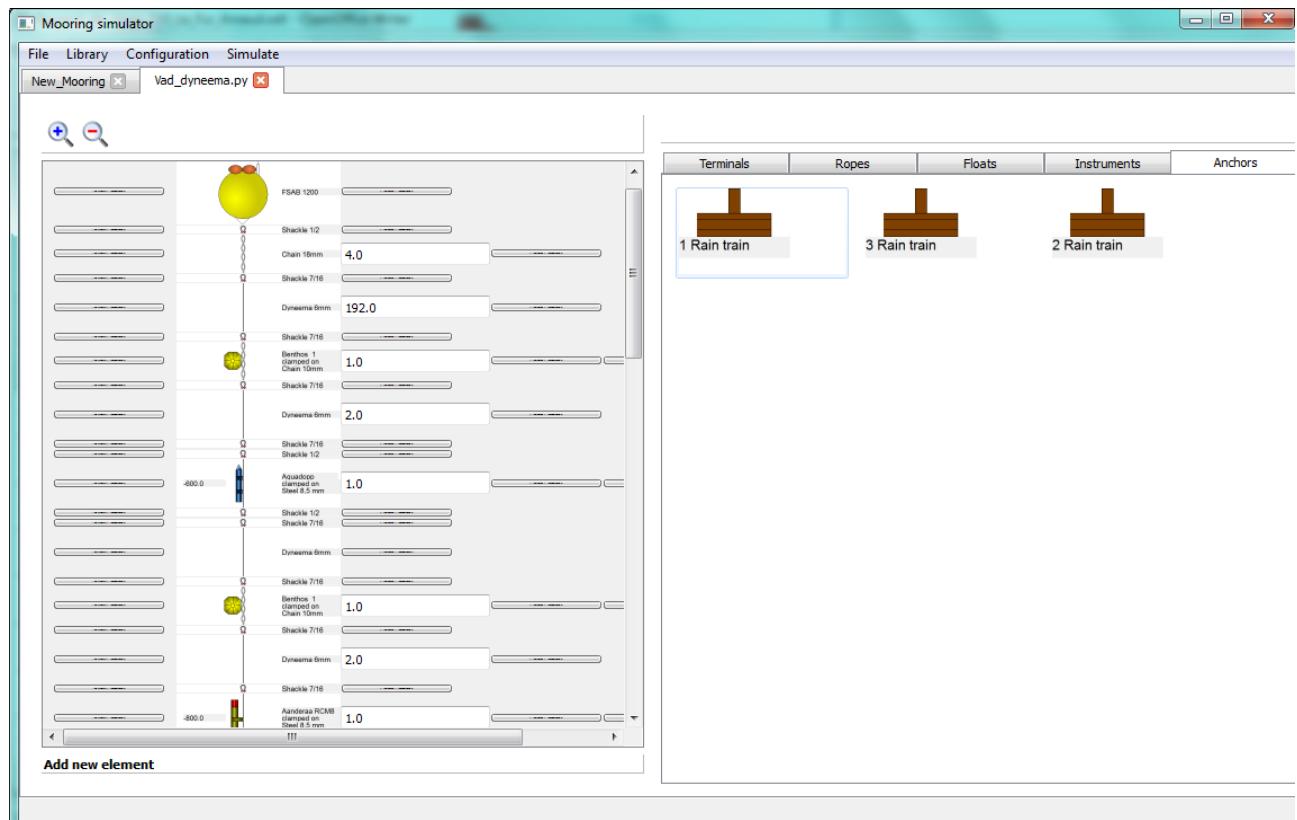
*Illustration 23:L'instrument est clampée sur le câble*

On peut ainsi visualiser la profondeur de l'instrument à gauche de celui-ci.

J'ai maintenant défini toutes les opérations utiles permettant de définir un mouillage complet.

Voici ci-dessous, un mouillage mis à l'eau lors de la campagne océanographique VAD.

On aperçoit ici uniquement la partie supérieure, le reste étant accessible à l'aide de la barre de défilement verticale. Cette ligne servira de support pour la suite du rapport.



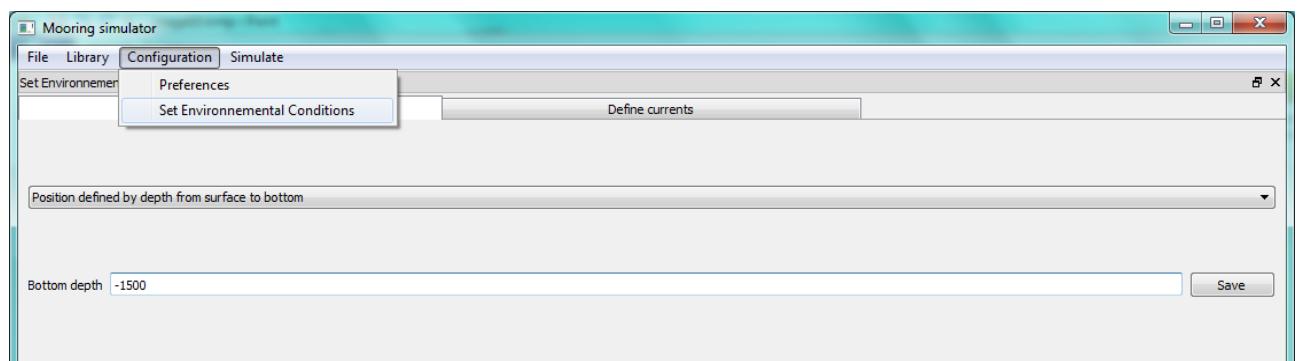
*Illustration 24:Mouillage en Dyneema, destiné à la campagne VAD*

#### 2.4.3 Définition des contraintes environnementales

Avant de pouvoir simuler la ligne de mouillage, il faut définir les contraintes environnementales dans lequel celui-ci est immergé.

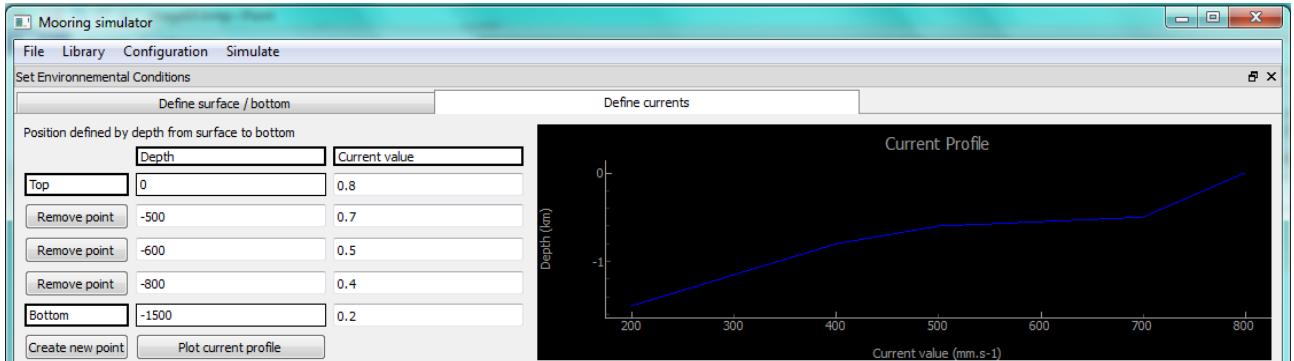
On accède à cette fenêtre grâce au menu **Configuration** via la barre de menu.

Celle-ci est composée de deux onglets :



*Illustration 25:Choix de la profondeur du lest*

Le premier permet de choisir comment sont définies les positions des éléments (immersion ou hauteur) et de définir la profondeur du fond. Ces paramètres sont sauvegardés grâce au bouton **Save**.



*Illustration 26:Définition du profil de courant*

Cet onglet permet de définir le profil du courant.

L'utilisateur définit autant de couples de valeurs ( profondeur, courant) qu'il souhaite, la continuité des valeurs du courant sera assurée par interpolation linéaire.

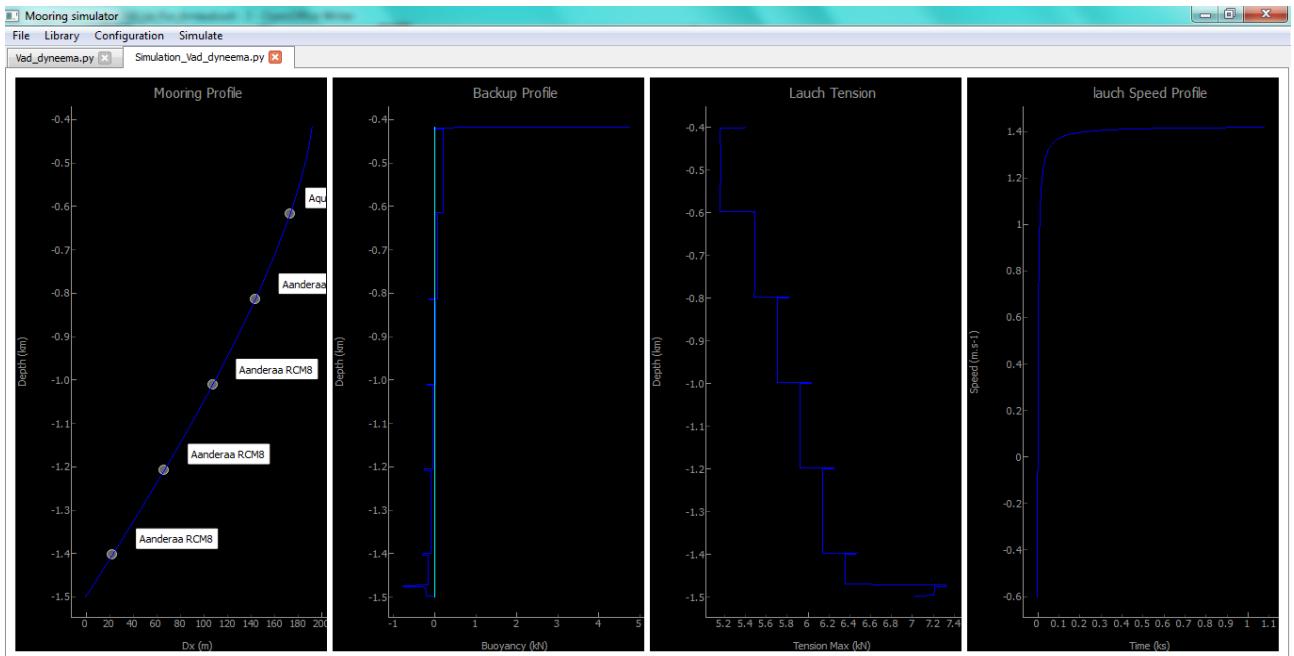
Le bouton **Plot current profile** permet de visualiser le profil ainsi calculé

Toutes les conditions permettant de simuler sont maintenant remplies.

#### 2.4.4 Exploitation des résultats

La fenêtre de simulation est accessible depuis le menu déroulant Simulate via la barre de menu

Celle-ci nous donne accès à quatre graphiques :



*Illustration 27:Fenêtre de simulation*

- **Mooring Profile** : Ce graphique montre le comportement de la ligne sous l'effet du courant. On observe en abscisse le rayon d'évitement  $dX$  et en ordonnée la profondeur. Les instruments sont schématisés par des points afin de mieux se repérer sur la ligne . On peut par exemple voir que le courantomètre Aanderaa RCM8 situé à -800m s'est décalé de 140m par rapport à la verticale.
- **Backup Profile** : Lorsqu'une ligne est sectionnée la partie supérieure remonte grâce à la bouée de tête. Ce graphique permet de visualiser en abscisse la flottabilité de la partie inférieure en fonction de la profondeur du sectionnement en ordonnée. La ligne correspondant au zéro de flottabilité est également tracée pour pouvoir se repérer. On peut voir par exemple que si la ligne est sectionnée au delà de -800m, elle n'aura pas suffisamment de flottabilité pour remonter en surface en cas de largage du lest. On récupérera donc uniquement la partie supérieure.
- **Launch Tension** : Ce graphique permet de visualiser les tensions subies par les éléments à la mise à l'eau du mouillage. On observe en abscisse les tensions (N) en fonction de la profondeur en ordonnée.
- **Launch speed** : Ce graphique permet de visualiser la variation de la vitesse de chute en fonction du temps, on peut ainsi lire la vitesse limite atteinte en régime permanent.

## 2.5 Bilan

Ayant rédigé ce rapport avant la fin de mon stage, certaines fonctionnalités n'ont pas encore été implémentées :

- Le calcul des allongements des câbles qui sera déduit des caractéristiques du matériau et des efforts appliqués à celui-ci.
- Le calcul d'un intervalle de tolérance pour le poids dans l'eau du lest afin d'aider l'utilisateur à le dimensionner.
- Générer automatiquement un rapport formalisé contenant toutes les données, graphiques, schémas liés à la simulation de la ligne de mouillage.

### **3. Activités parallèles**

Lors de mon stage, j'ai pu effectuer d'autres activités parallèlement au développement du logiciel, ce qui m'a permis de m'ouvrir à d'autres aspects des technologies marines et à rencontrer des personnes de tout horizon spécialisées dans le domaine maritime.

#### **3.1 Rencontre des Technologies Marines**

Du 12 au 15 novembre, j'ai participé à la quatrième rencontre des Technologies Marines à Bénodet. Cette école, organisée par le Réseau National Technologies Marines et la Direction Technique de l'INSU fait partie d'un plan d'accompagnement technologique et méthodologique des laboratoires. Elle s'adresse aux techniciens, ingénieurs, chercheurs et doctorants travaillant sur les technologies marines dans les établissements publics de recherche.

Le thème principal de cette édition était centré sur les capteurs environnementaux : Conception, qualification et mise en œuvre.

Des présentations de tout ordre ont été proposées, beaucoup de laboratoires et organismes étaient représentés (INSU, SHOM, IRD, IFREMER/RDT, LPO , LOCEAN, ...). Des entreprises concernées par la conception de capteurs (NKE, SBE) ont également pu présenter leurs projets. L'idée de ces écoles thématiques est de partager ses compétences, méthodes de travail et ainsi favoriser les échanges entre laboratoires.



*Illustration 28: Techmar 2013*

J'ai pu également présenter mon logiciel de mouillage (l'idée directrice, les spécifications, démonstration). Les premiers retours sont positifs, j'ai ressenti de l'attente autour de ce projet. Cela a redoublé ma motivation de rendre ce sujet de stage durable dans le temps.

## 3.2 Campagne océanographique VAD

### 3.2.1 Présentation

Cette campagne est une mission d'essai technologique qui a eu lieu du 27 au 03 décembre au large de Toulon.

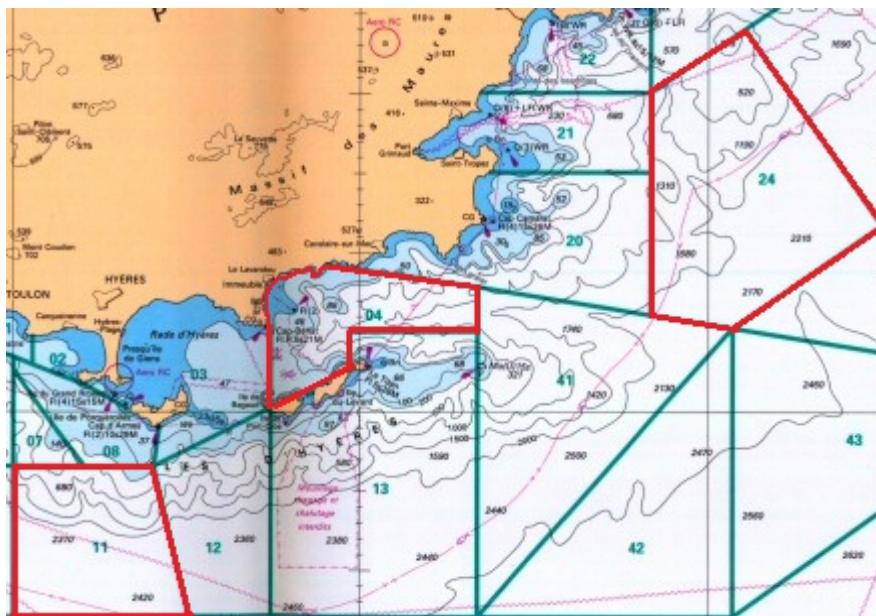
Elle s'est déroulée sur l'*Europe*, un catamaran de 30m destiné à la façade méditerranéenne



*Illustration 29: L'Europe*

La Méditerranée se prête bien à ce genre de campagne car elle propose des fonds jusqu'à 2000m relativement près des côtes. Pour atteindre cette profondeur en Atlantique, il faut dépasser le plateau continental, ce qui prend au minimum une journée bateau.

Le navire étant au mouillage à la Seyne-sur-Mer, les zones de travail accordées par la préfecture permettant d'effectuer les essais sont les zonex 11, 04 et 24.



*Illustration 30: Carte marine méditerranéenne*

### 3.2.2 Objectifs

#### 3.2.2.3 Déploiement d'un mouillage en Dyneema :

L'objectif de l'essai est de tester à la mer et pendant une durée de plusieurs mois, le comportement d'une ligne de mouillage entièrement réalisée avec du câble HPME type Dyneema. Si le résultat des essais se révèlent concluant, le LPO disposera d'un nouveau matériau permettant de réduire significativement les coûts en prévision de la mise à l'eau de sept mouillages pour le projet RREX ( Reykjanes Ride Experiment) qui aura lieu en 2015.

#### 3.2.2.2 Test du prototype ASFAR

L'objectif du projet ASFAR est le déploiement, un à un et sur datation, de 4 profileurs CTD type Arvor ou Provor. Un des intérêts de ce dispositif est de permettre d'obtenir des relevés sur une année complète dans des endroits difficiles d'accès à certaines périodes comme les pôles. Ce test a permis la qualification à la mer du prototype du système de largage.

#### 3.2.2.1 Réalisation de profils VMP :

Le VMP utilisé au LPO a montré des dysfonctionnements lors de son utilisation durant la campagne CATARINA en 2012. Plusieurs modifications ont été apportées et testées pour certaines d'entre elles en laboratoire. Ces profils ont permis une validation complète en mer.

### 3.2.3 Déroulement

Nous sommes arrivés à la Seyne-sur-mer le mercredi 27 novembre vers midi, ce qui nous a laissé l'après-midi pour charger sur le navire le nécessaire aux essais du lendemain.

Nous avons appareillé le jeudi matin à 7h pour la zonex 24, pour une arrivée sur zone vers 12h30



Illustration 31: Bouée de tête FSAB 1000

Le mouillage est mis à l'eau étage par étage, en commençant par la bouée de tête.

Une fois mis à l'eau, la bouée est en dérive derrière le navire et on déroule le tronçon de câble inférieur à l'aide d'un treuil. On peut ensuite passer à l'étape suivante, ci-dessous on peut voir un étage composé d'une boule benthos (flottabilité environ 25 kg), une élingue de 2m en dyneema et un courantomètre Aanderaa RCM-8. On vient relier avec une manille :

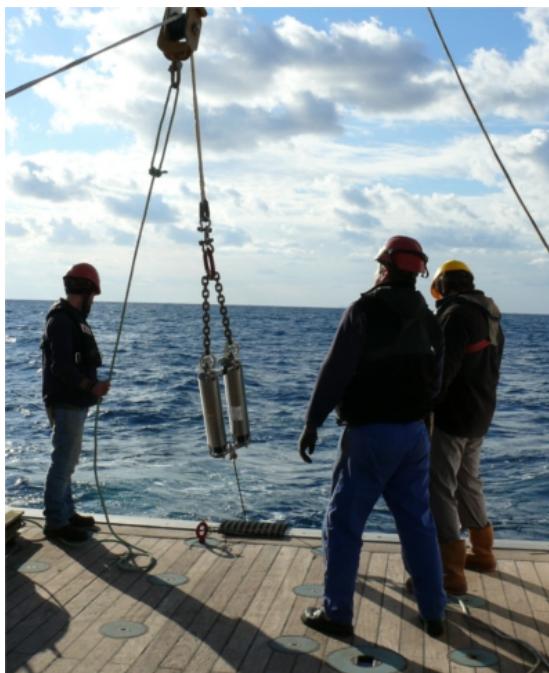
- la boule benthos au câble venant d'être déroulé
- l'élingue avec la boule benthos
- l'élingue avec le courantomètre RCM-8
- le courantomètre RCM-8 avec le futur tronçon de câble

On met ensuite cet étage à l'eau en passant par la poulie du portique pour éviter que les appareils traînent sur le pont puis on déroule le tronçon de câble suivant.



*Illustration 32: Courantomètre Aanderaa RCM-8 et boule Benthos*

On procède ainsi jusqu'au lest, on peut voir ci dessous la mise à l'eau des largueurs acoustiques et du lest. Celui-ci est donc mis à l'eau en dernier et entraîne avec lui la ligne étant en dérive dernière le navire.



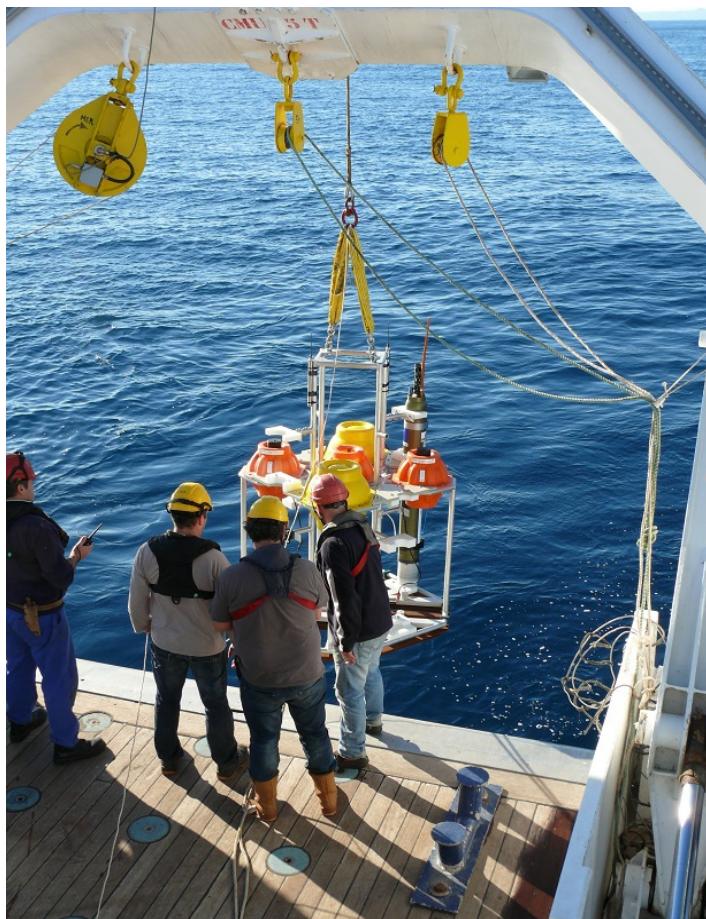
*Illustration 34: Deux largueurs acoustiques*



*Illustration 33: Lest de une tonne*

Le vendredi matin après avoir chargé et préparé le châssis ASFAR ainsi que le VMP, nous avons fait route vers la zonex 04.

Le châssis muni d'un flotteur Provor a été mis à l'eau vers 14h. Nous l'avons interrogé acoustiquement 15 minutes plus tard pour vérifier qu'il était bien au fond (profondeur 1000m).



*Illustration 35: Chassis ASFAR équipé d'un Provor*

Nous avons ensuite envoyé la commande acoustique de largage. Après 30 minutes, le châssis est remonté toujours muni du flotteur. En effet, pour ce test, le châssis a été programmé pour larguer le flotteur en surface car celui ne disposait pas de moyen de géolocalisation effectif. Environ 15 minutes plus tard, le flotteur a été libéré par le châssis. Ces premiers essais en mer du prototype ASFAR ont démontré que le comportement de la structure est satisfaisant en terme de flottabilité. Le largage du flotteur en surface s'est également correctement effectué.

Le reste de la campagne s'est ensuite concentrée sur la réalisation de profils VMP.

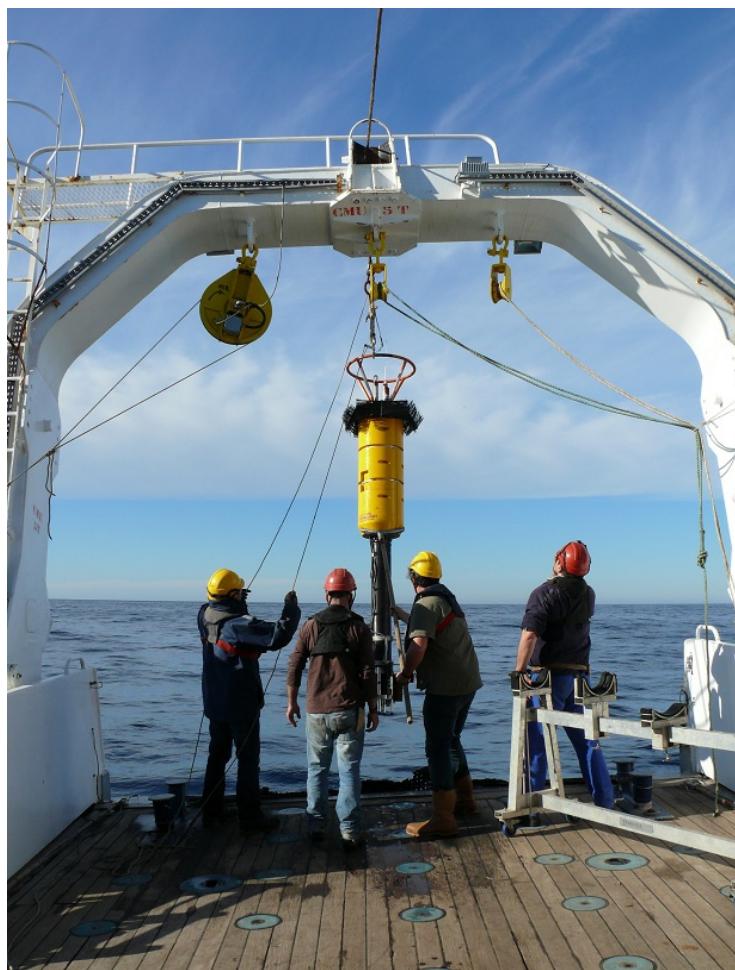
Le scientifique programme une profondeur limite et lance son cycle de mesure. Lorsque l'appareil est mis à l'eau, il va descendre, libérer son lest à la profondeur décidée et enfin remonter. Il ne reste

plus qu'à récupérer le dispositif et à extraire les données mesurées.

Nous avions sept types de profils à effectuer avec différentes configurations :

- Plusieurs tailles de lest
- Plusieurs mécanismes fixées sur le VMP afin d'évaluer l'affluence de la traînée sur la vitesse de chute.

Trois de ces profils ont été réalisés le vendredi, les conditions météos n'étant pas réunies nous avons du rester à quai le samedi. Les quatre profils restants ont pu être effectués le dimanche en zone X 11.



*Illustration 36: Mis à l'eau du VMP*

Grâce à des conditions météo favorables, les objectifs de la campagne ont tous été remplis. Il ne reste plus qu'à attendre la campagne DYNASFAR en mai 2014, pour vérifier que le mouillage test Dyneema est viable dans le temps .

## 4. Conclusion

Ce stage de fin d'études m'a permis de progresser dans plusieurs domaines.

Tout d'abord, afin de m'immerger dans de nouvelles disciplines liées à l'océanographie, j'ai effectué une recherche bibliographique que j'ai pu compléter en échangeant avec les personnes expérimentées dans ces sujets. A travers les multiples réunions que j'ai pu avoir avec les différents acteurs concernés par ce projet, j'ai dû être capable de comprendre et d'analyser leur retour d'expérience afin de trouver des solutions qui répondent aux attentes de chacun.

Grâce aux connaissances acquises à l'ENIB et à l'apprentissage de nouvelles techniques de programmation, j'ai pu répondre à ces problématiques et ainsi développer une application à part entière. Le cahier des charges étant sur certains points assez modulable, j'ai eu la possibilité de me montrer créatif et de faire des choix en autonomie.

Le logiciel devant simuler des phénomènes physiques, j'ai du être capable d'implémenter les équations conformes à la théorie ainsi qu'une méthode numérique pour les résoudre.

Enfin, j'ai eu l'opportunité d'observer la partie pratique en participant à une campagne océanographique. J'ai ainsi pu voir la complexité d'organisation et de mise en œuvre d'une mission scientifique. En effet, celle-ci est régie pas de nombreuses contraintes (humaines, financières, administratives, météorologiques, spatio-temporelles), le but étant de limiter la part d'aléatoire afin d'optimiser les chances de réussite d'une mission.

D'un point de vue personnel, ce stage a vraiment été enrichissant car j'ai pu rencontrer énormément de gens et avoir de nouvelles expériences. Cela m'a permis d'acquérir énormément de connaissances dans des disciplines que je connaissais peu comme l'océanographie. J'espère avoir l'opportunité de poursuivre dans cette voix et devenir ingénieur dans le domaine scientifique.

## Bibliographie

<http://wwz.ifremer.fr/L-institut>

<http://wwz.ifremer.fr/lpo>

Jean-Pierre GIRARDOT, *Techniques des mouillages utilisés en océanographie*, 2001

<http://canuck.seos.uvic.ca/rkd/mooring/moordyn.php>

<http://www.riverbankcomputing.co.uk/software/pyqt/intro>

<http://www.insu.cnrs.fr/organisation/direction-technique/division-projets/ecolets-thematiques-techniques>