

# Projet UE 2.2

## Treuillage sonar remorqué



INSTITUT  
POLYTECHNIQUE  
DE PARIS



**Élèves** Thomas FERRER  
Ewen PINSARD  
Elouan STASSEN  
Lancelot RAMIS

### **Encadrants :**

Jean-François GUILLEMETTE  
Irvin PROBST

ENSTA Bretagne  
Institut Polytechnique de Paris

3 juin 2025

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Analyse du cahier des charges</b>	<b>3</b>
2.1	Objectifs fonctionnels . . . . .	3
2.2	Contraintes techniques . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Etude théorique</b>	<b>4</b>
3.1	Modélisation du système . . . . .	4
3.1.1	Démarche . . . . .	4
3.1.2	Données paramètres et hypothèses de travail . . . . .	4
3.1.3	Modélisation des efforts hydrodynamiques . . . . .	5
3.1.4	Résultats et Validation du modèle . . . . .	7
3.2	Estimation de la position du sonar . . . . .	8
3.3	Choix techniques et conception . . . . .	8
3.3.1	Architecture retenue . . . . .	8
3.3.2	Choix des composants . . . . .	9
3.3.3	Calculs associés . . . . .	9
3.4	Simulation et validation . . . . .	9
3.4.1	Hypothèses de simulation . . . . .	9
3.4.2	Résultats obtenus . . . . .	9
3.4.3	Analyse critique . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>10</b>
.1	Annexe 1 : Données techniques . . . . .	10
.2	Annexe 2 : Codes ou algorithmes utilisés . . . . .	10

# Chapitre 1

## Introduction

Les sonars latéraux sont largement utilisés pour détecter la présence d'objets posés sur les fonds marins. Ils sont montés sur des « poissons » remorqués, immergés à faible distance du fond afin de bénéficier d'une bonne rasance. Ce mode de détection permet de repérer les objets par leur « ombre acoustique », formée par la réflexion des ondes sonores sur ces derniers.

Cependant, plusieurs défis techniques doivent être relevés pour une mise en œuvre efficace. L'un des principaux est le positionnement du sonar : les données recueillies sont géo-référencées à partir de la position GPS du navire, alors que le sonar est décalé horizontalement vers l'arrière. Il est donc nécessaire d'estimer cette distance, appelée « layback », pour corriger le positionnement. Cela peut être réalisé soit expérimentalement, soit par modélisation de la déformée du câble de remorquage.

Par ailleurs, la mise à l'eau du sonar repose actuellement sur un touret manuel, peu pratique à utiliser. L'objectif du projet est donc double : modéliser la déformée du câble pour estimer le layback, et concevoir un support pour un treuil motorisé, permettant de faciliter et d'automatiser la mise à la mer du sonar.

# Chapitre 2

## Analyse du cahier des charges

### 2.1 Objectifs fonctionnels

Les objectifs principaux du projet sont les suivants :

- Permettre la mise à l'eau et la récupération du sonar grâce à un treuil motorisé ;
- Estimer la déformée du câble afin de corriger le positionnement géographique des mesures du sonar (calcul du layback) ;
- Étudier les efforts mécaniques subis par le câble et le point d'ancrage ;
- Concevoir une structure de support pour le treuil adaptée à l'environnement du navire « Méлитé » ;
- Proposer une solution éventuellement évolutive vers un système automatique de régulation de profondeur du sonar.

### 2.2 Contraintes techniques

Le cahier des charges impose plusieurs contraintes à respecter :

- Le treuil doit permettre l'enroulement homogène de 50 m de câble électroporteur ;
- Il doit supporter une tension en pointe d'au moins 1500 N, voire 2000 N en cas d'accrochage du sonar ;
- La structure de support devra être compatible avec les platines latérales présentes sur la plage arrière de la « Méлитé » ;
- Le support devra être suffisamment robuste et ne pas interférer avec les autres équipements du navire ;
- Le projet doit être mené en mode collaboratif, avec une démarche rigoureuse de conception (analyse fonctionnelle, modélisation, maquette numérique, choix des matériaux).

Une tâche complémentaire optionnelle consiste à concevoir un système de trancannage pour assurer un enroulement optimal du câble :contentReference[oaicite :1]index=1.

# Chapitre 3

## Etude théorique

### 3.1 Modélisation du système

Pour recueillir des données du sonar, il est nécessaire d'en connaître sa position. En effet, si le bateau tracteur peut être géolocaliser par GPS, ce n'est pas le cas du sonar car les ondes électromagnétiques ne traversent pas l'eau.

Une solution envisageable est d'estimer la déformée du câble à partir des efforts subis par le système. On pourra alors, estimer le layback du sonar.

#### 3.1.1 Démarche

- Déterminer les efforts sur le bout du câble en isolant le sonar.
- Discrétiser le câble en  $n$  éléments indéformables
- Déterminer de proche en proche l'inclinaison de l'élément suivant
- Itération sur les tous les éléments restants
- Estimation du layback

#### 3.1.2 Données paramètres et hypothèses de travail

Hypothèses :

- Câble pesant, flottant et non élastique
- Angle du premier élément de câble dans l'axe de la résultante sonar  $\leftrightarrow$  câble
- Câble orienté selon son effort

Données d'entrées :

- Vitesse du bateau : 4 nœuds soit 2,05 m/s
- Diamètre du câble : 6,3 mm
- Longueur du câble : 50 m
- Mer(à 15 °C) :
- Masse Volumique : 1025 kg/m<sup>3</sup>
- Viscosité dynamique :  $1,22 \times 10^{-3}$  Pa·s

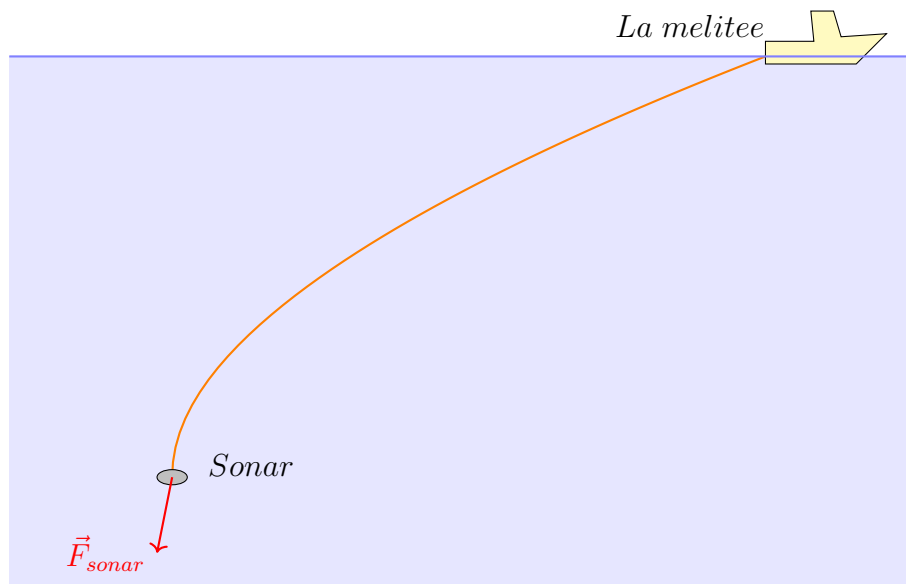


FIGURE 3.1 – Vue générale : bateau, câble déformé et sonar

### 3.1.3 Modélisation des efforts hydrodynamiques

Pour chaque élément de câble, on cherche à définir l'angle suivant à partir des données déjà connues. On découpe alors deux parties :

- L'initialisation, avec les efforts du sonar et une estimation de l'angle de la première section de câble
- La récurrence, on calcul l'angle de la section suivante en connaissant celui de la section actuelle et celui de l'effort de la section précédente.

#### Isolement du sonar

L'initialisation dans un premier temps est plutôt évidente, on connaît les efforts du sonar sur le câble et donc les efforts du câble sur le sonar par principe d'action réciproque. Dans le référentiel terrestre supposé galiléen, nous supposons le sonar en translation rectiligne uniforme. On considère la force de pesanteur et la poussée d'archimède (ces deux sont représentés par  $\vec{P}$ ), les frottements visqueux du sonar dans l'eau  $\vec{f}_{frot}$ , ainsi que la force du câble sur le sonar  $\vec{F}_{cable}$

Dimension du sonar :

- Longueur : 830 m
- Diamètre : 60 m

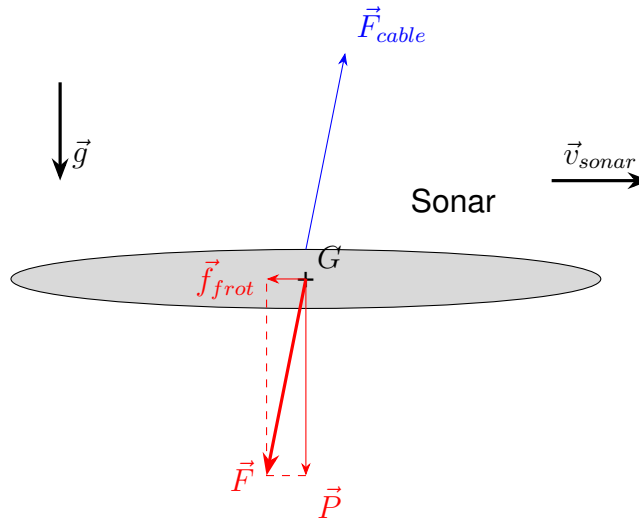


FIGURE 3.2 – Efforts appliqués sur le sonar

On en déduit l'équation suivante issue du principe fondamental de la statique

$$\vec{F}_{cable} + \vec{f}_{frot} + \vec{P} = \vec{0} \Leftrightarrow F_{cable} = -(\vec{f}_{frot} \cdot \vec{P})$$

Cette équation permet ainsi de déduire l'orientation de l'effort du câble sur le sonar. Attention, ici se joue une approximation importante, on sait que le câble sera orienté entre la verticale et la direction de son effort. En effet, son inclinaison dépend des efforts qui s'appliquent en ses extrémités mais aussi celles qui s'appliquent en son milieu (forces de trainée sur le câble). Ces efforts implique que le câble ne tire pas dans son axe mais bien avec un angle dépendant des frottements visqueux.

### Isolement du câble

projection sur la normal du câble :

$$-F_{nc} + \sin(\alpha_1) \times F_1 - \sin(\alpha_0) \times (F_0 - P_c) = 0$$

projection sur la tangente du câble :

$$\begin{aligned} -F_t + \cos(\alpha_1) \cdot F_1 - \cos(\alpha_0) \cdot (F_0 + P_c) &= 0 \\ \begin{cases} (\sin(\alpha_1) \cdot F_1)^2 = (F_n + \sin(\alpha_0) \cdot (F_0 - P_c))^2 \\ (\cos(\alpha_1) \cdot F_1)^2 = (F_n + \cos(\alpha_0) \cdot (F_0 + P_c))^2 \end{cases} \\ (\sin^2(\alpha_1) + \cos^2(\alpha_1)) \cdot F_1^2 &= (F_n + \sin(\alpha_0) \cdot (F_0 - P_c))^2 + (F_n + \cos(\alpha_0) \cdot (F_0 + P_c))^2 \\ \Rightarrow F_1 &= \sqrt{(F_n + \sin(\alpha_0) \cdot (F_0 - P_c))^2 + (F_n + \cos(\alpha_0) \cdot (F_0 + P_c))^2} \\ \alpha_1 &= \arcsin \left( -\frac{1}{F_1} \cdot (F_n + \sin(\alpha_0) \cdot (F_0 - P_c)) \right) \end{aligned}$$

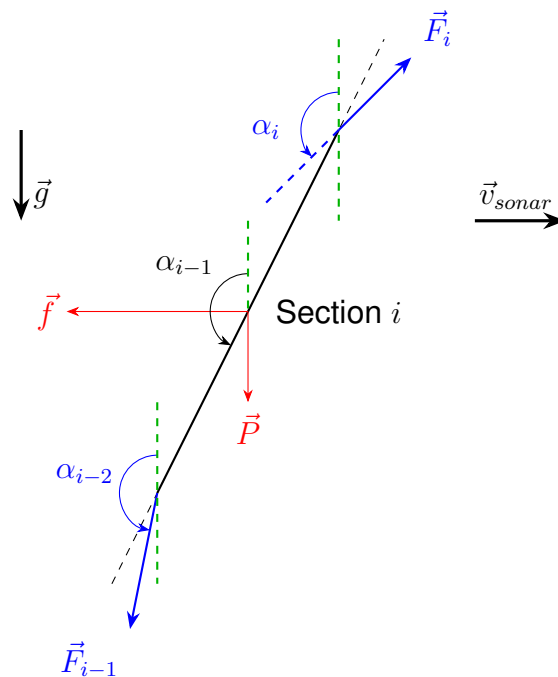


FIGURE 3.3 – Bilan des forces sur un segment du câble

### 3.1.4 Résultats et Validation du modèle

Grâce au code python disponible en annexe ( X ), nous avons obtenus ces résultats :  
 Layback (à 4 nœuds) : X m Profondeur (à 4 nœuds) : X m

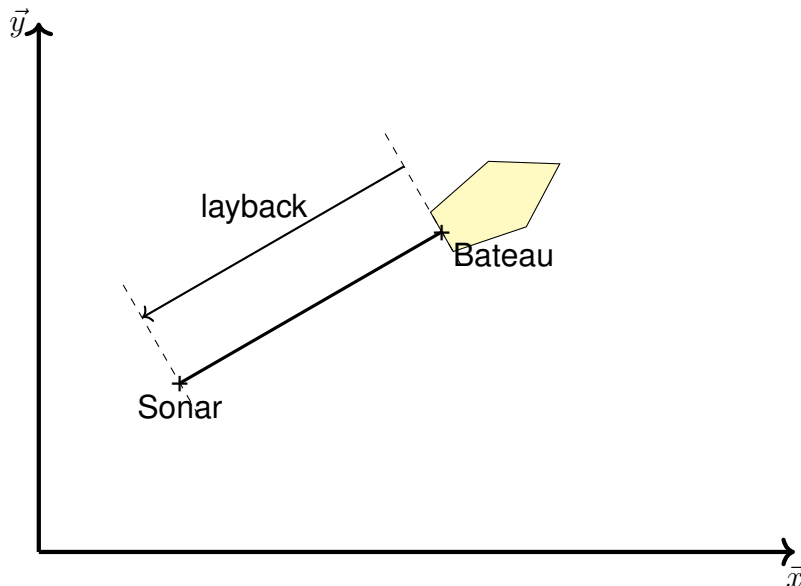
Si les ordres de grandeurs semblent être respectés, on constate tout de même une différences de plusieurs mètres, allant jusqu'à près de 20% dans les cas les plus critiques. De tel écart peuvent sembler être mineur mais sont en réalité important lorsqu'on parle de récif dans un port par exemple.

On peut alors supposer plusieurs sources d'erreurs ou d'écarts :

- Constantes d'entrée différentes et incertitude
- Calculs de trainées plus possibles



## 3.2 Estimation de la position du sonar



Une fois la valeur du *layback* estimée, on peut calculer la position réelle du sonar tracté. Cela permet d'associer précisément les données acoustiques enregistrées par le sonar aux bonnes coordonnées géographiques, ce qui est essentiel pour produire des cartes fiables et interprétables.

Pour effectuer cette estimation, plusieurs données de navigation du navire et les caractéristiques du câble sont nécessaires, notamment :

- Le **cap du navire** (ou direction), noté  $\theta$  (en radians ou degrés, à convertir selon le contexte)
- Les **coordonnées du navire** à l'instant considéré, notées  $x_{\text{navire}}$  et  $y_{\text{navire}}$  (en système cartésien ou géographique)
- La **valeur du layback**, notée  $L$ , qui représente la distance entre le sonar et le point de remorquage à la poupe du navire, selon la modélisation du câble

En supposant une ligne droite entre le navire et le sonar (modèle simplifié), les **coordonnées du sonar** peuvent être estimées par les équations suivantes :

$$x_{\text{sonar}} = x_{\text{navire}} - L \cdot \cos(\theta)$$

$$y_{\text{sonar}} = y_{\text{navire}} - L \cdot \sin(\theta)$$

Ce calcul permet de **géoréférencer correctement les données sonar**, ce qui est fondamental pour toute analyse bathymétrique, cartographique ou d'imagerie sous-marine.

## 3.3 Choix techniques et conception

### 3.3.1 Architecture retenue

### **3.3.2 Choix des composants**

### **3.3.3 Calculs associés**

## **3.4 Simulation et validation**

### **3.4.1 Hypothèses de simulation**

### **3.4.2 Résultats obtenus**

### **3.4.3 Analyse critique**

# **Chapitre 4**

## **Conclusion et perspectives**

**.1 Annexe 1 : Données techniques**

**.2 Annexe 2 : Codes ou algorithmes utilisés**

# Bibliographie

- [1] Titre du document, Auteur, Année.
- [2] Titre ou site, consulté le jj/mm/aaaa.