

Rapport de projet initial – ROBO3

Année scolaire 2023-2024

"NEMO, l'explorateur sous-marin"

**Etudiants : DE SUE Léo,
ROSSIGNOL Victor**

Table des matières

Introduction :	3
Chapitre 1 : Design :	4
I.1 Structures envisagées :	4
Nécessités de la structure :	4
I.2 Résistance de la Structure :	5
I.2.1: Etanchéité de la structure :	5
I.2.2 Matériaux préconisés :	6
I.3 Calcul de flottabilité :	6
I.3.1: Estimation de la masse :	7
Chapitre 2 : La Chaîne d'Information :	8
II/1. Cahier des charges :	8
II/2. Acquérir :	8
II/3. Traitement des données :	12
Chapitre 3 : Motorisation :	13
III. 1 Caractéristiques :	13
III.2 Moteurs :	13
III.2.1: Etanchéification de la motorisation :	13
III.2.2 : Positionnement moteur :	14
III.3 : Etude des batteries :	15
Résumé :	16
Planning à venir :	17
Bibliographie :	18

Introduction :

Les océans abritent certains des écosystèmes les plus divers et les plus dynamiques de la planète. Parmi ces merveilles sous-marines, les récifs coralliens se distinguent comme l'une des plus remarquables et des plus délicates. Ces villes sous-marines, formées au fil des millénaires, servent d'habitat à un grand nombre d'espèces marines, protègent les côtes de l'érosion et contribuent de manière significative à l'économie mondiale grâce à la pêche et au tourisme. Cependant, l'existence même de ces écosystèmes envoûtants est aujourd'hui gravement menacée.

En effet, l'augmentation de la température de l'eau dans les mers entraîne la détérioration des récifs coralliens. Les coraux sont des créatures vivantes qui ont besoin de conditions très strictes pour vivre correctement, en fonction de la température, du pH et de la lumière. En raison du réchauffement climatique, les coraux commencent à blanchir, ce qui signifie qu'ils ne vivent plus dans de bonnes conditions et qu'ils meurent. Ils laissent d'autres écosystèmes, tout comme certains poissons, sans protection ni nourriture.

Nous avons pensé que l'intervention d'un sous-marin automatisé serait l'alternative parfaite pour le suivi de ces récifs. Il serait capable d'effectuer une longue batterie de tests simultanément, tout en se déplaçant de manière autonome dans l'environnement. Il serait les yeux et les oreilles de l'homme et nous permettrait d'intervenir plus rapidement. C'est pourquoi nous avons décidé de concevoir le robot aquatique NEMO, bien sûr électrique et respectueux de l'environnement.

Lors de la conception, notre objectif principal sera bien évidemment de rendre les déplacements de notre robot totalement autonomes, ainsi que :

- De rendre notre structure totalement étanche et aérodynamique.
- Nous devons également pouvoir relever de nombreuses mesures de l'écosystème grâce à des capteurs.
- Une communication des informations devra être faite entre la machine et l'utilisateur.
- La consommation d'énergie devra être la plus économique possible.

Vous trouverez ci-dessous les réflexions que nous avons eues, ainsi que les solutions finales pour lesquelles nous avons opté, afin de mener à bien notre projet : « NEMO, l'explorateur sous-marin ».

Chapitre 1 : Design :

Dans un premier temps nous aborderons la description de la structure envisagée, de sa dimension, des matériaux utilisés, des méthodes d'étanchéification et de l'estimation de la masse en vue de gérer la flottabilité.

I.1 Structures envisagées :

Nécessités de la structure :

- Être étanche.
- Résister à une certaine pression.
- Composants électroniques facile d'accès.
- Équilibre pour gérer la flottaison.

La première étape dans le but de la création de notre robot subaquatique a été de choisir la forme de structure adaptée à notre projet.

1.Structure monohélice :

Initialement nous avons envisagé de modéliser notre robot sous-marin avec une forme de torpille comme ci-dessous. Ce modèle comporte une hélice à l'arrière uniquement, il est dirigé par un gouvernail actionné par un moteur annexe. La profondeur à laquelle ce type de robot évolue est gérée par un ballast fonctionnant à eau ou à l'aide de gaz. L'inconvénient de ce type de structure est dans un premier temps sa difficulté de contrôle, le gouvernail étant le seul acteur agissant sur la direction, le moteur étant fixe. De plus au vu des dimensions de notre robot les ballastes seraient une perte de place considérable et une complexité supplémentaire non nécessaires au vu des solutions trouvées dans la suite.



Figure n°1 : AUV torpille de l'entreprise HUGIN.

2. Structure bi-hélices :

Notre étude s'est ensuite portée sur un modèle disposant de deux hélices disposées sur chaque face du robot, voir ci-dessous. Celui-ci est toujours géré par un système de ballast. Pour les mêmes raisons que la structure précédente nous ne choisirons pas cette structure pour un gain de place pour les composants électroniques.



Figure n°2 : robot d'un groupe d'étudiants de l'ECAM.

3. Structure retenue :

Après nos recherches nous avons fait le choix d'opter pour un robot à 6 hélices dont 4 permettant de diriger le robot et 2 permettant de gérer la profondeur. En effet ce type de structure permet une meilleure stabilité du robot et un contrôle "simplifié" malgré le nombre de moteurs et donc d'hélices à gérer qui se porte désormais au nombre de 6. En effet la structure est certes moins aérodynamique que les deux abordées précédemment et oppose donc plus de résistance au fluide lorsque celui-ci est immergé or cet aspect n'est pas un point négatif. Certes les dimensions et la forme de notre robot sont des facteurs diminuant fortement la vitesse de celui-ci mais notre but étant la reconnaissance et la captation de données vidéo, la stabilité et le contrôle du robot sont primordiaux devant la vitesse de celui-ci.



Figure n°3 : Modèle d'inspiration de chez RobotShop.

I.2 Résistance de la Structure :

I.2.1: Etanchéité de la structure :

Deux options se sont proposées à nous lors de nos recherches sur l'étanchéification d'un compartiment ce qui peut sembler anodin est pourtant un vrai casse-tête. En effet notre compartiment doit rester facile d'accès pour pouvoir agir sur les composants électroniques sans entièrement démonter ou détruire le robot.

1ère approche : Sur la base de la réalisation des étudiants de l'ECAM une structure entièrement réalisée en impressions 3D semblait une bonne idée puisque dans un

premier temps cela nous laisse un choix entier sur le design et sur la taille nécessaire des compartiments à allouer à chaque composant. Or l'un des inconvénients est justement la gestion de l'étanchéité de la structure puisque le PLA OU PETG reste poreux et ne sont donc pas étanches risquant donc d'endommager les composants internes. La solution à ce problème est de recouvrir la partie extérieure de la structure d'un vernis ou dans le cas échéant de résine époxy permettant de d'isoler le plastique de l'eau. L'inconvénient de cette technique est la difficulté d'accès aux composants une fois la résine appliquée et le poids non négligeable que rajoute cette couche.

2ème approche : Après de plus amples recherches nous sommes tombés sur une entreprise Blue Robots vendant leurs robots aquatiques à des particulier et détaillant l'entière construction de celui-ci. Dans leur cas les composants électroniques étaient retenus dans un tube en plexiglass. L'avantage, le plexiglass est déjà étanche et moins sujet à la déformation. Ne laissant plus que les extrémités à étanchéifier.

Étanchéification des extrémités : Joints de type Joints à lèvres.



Figure n°4 : schémas de montage explicatif de chez RobotShop.

I.2.2 Matériaux préconisés :

Notre robot ayant pour mission principale d'évoluer sous l'eau, certains matériaux sont donc incompatibles avec ce milieu comme le bois sujet à la déformation voire la déchirure par suite d'une exposition prolongée à l'humidité. Tout comme certains métaux comme l'acier sujet à la corrosion.

Matériaux retenus : plexiglass, plastique, aluminium.

Matériaux	Oxydation	Porosité	Poids	Coût
Aluminium	lente	Presque aucune	Léger	Elevé
Bois	Très rapide	Porosité désordonnée	Lourd	Peu élevé
Plastique	Très lente	Peu poreux (dépend du type de plastique)	Léger	Très peu élevé

I.3 Calcul de flottabilité :

Un des aspects importants lors de la réalisation de robots aquatiques est de déterminer si notre réalisation va couler ou flotter. Dans le cas général le meilleur compromis est de faire en sorte que le robot soit à la limite de flottabilité.

Pour cela le Poids du robot doit se trouver être légèrement inférieur à la résultante de la poussée d'Archimède s'appliquant sur la structure.

I.3.1: Estimation de la masse :

Structure	Capteurs	Moteurs	ESC	Cartes	Batteries	Composants elec	Poids total	
2.3 kg	300g	6x250g	600g	200g	600g	500g	~6/7 kg	

Calcul du poids du robot : $7 \times 9,81 = 68,67 \text{ N}$

Les dimensions du robot restant pour l'instant approximatives on restera sur une hauteur de 30cm et une largeur 30cm et pour simplifier l'étude on supposera que la structure est un cube plein.

On calcule dès lors la résultante de la poussée d'Archimède grâce à la formule suivante :

Force de poussée (N) = Volume (m^3) \times Densité de l'eau (kg/m^3) \times Gravité (m/s^2).

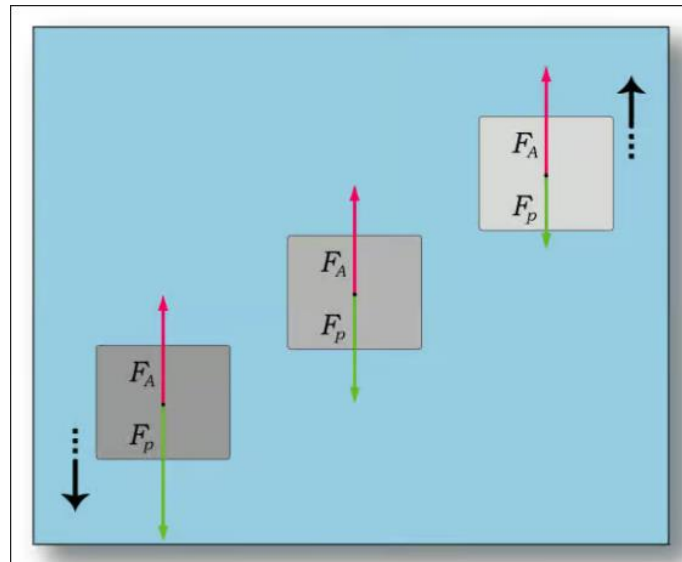


Figure n°5 : illustration poussée d'Archimède.

Ce qui donne $0,027 \times 1025 \times 9,81 = 271,49 \text{ N}$

Bien sur le chiffre obtenu est supérieur à la réalité. Notre but sera donc de prévoir un emplacement réservé à des ballasts pour rapprocher au plus le poids du Robot de la valeur nominal de la force de poussée.

En clair aux environs de 10kg de ballast serait à prévoir pour arriver à la limite de ce seuil de flottabilité. Le meilleur moyen de gérer ceci sera grâce à l'expérience.

Chapitre 2 : La Chaîne d'Information :

La chaîne d'information a pour but principal de permettre à la machine de traiter des données fournies par une multitude de capteurs, la plupart avec des fonctionnalités différentes. C'est grâce à cette chaîne que le système autonome va prendre une décision et retourner les informations à l'utilisateur.

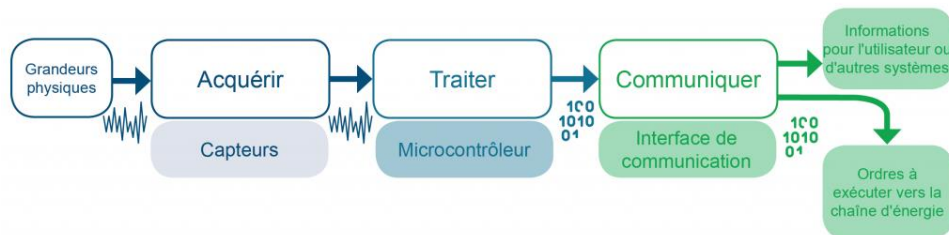


Figure n°1 : schéma d'une chaîne d'information.

II/1. Cahier des charges :

Le robot devra globalement :

- Se déplacer de manière autonome.
- Prendre une décision s'il rencontre un obstacle.
- Retransmettre en direct une image à l'utilisateur.
- Réaliser une cartographie des fonds marins.
- Prendre certaines mesures pour renseigner l'utilisateur sur l'environnement.

II/2. Acquérir :

Nous réaliserons l'acquisition de nos données nécessaires pour notre robot à l'aide des composants ci-dessous :

Un sonar :

Les capteurs de distance à ultrasons utilisent le principe de l'écho pour déterminer la distance à laquelle se trouve un objet :

- Un court signal sonore est envoyé (inaudible car dans le domaine des ultrasons – environ 40kHz) ;
- Le son est réfléchi par une surface et repart en direction du capteur : c'est l'écho ;
- Une fois revenue à son point de départ, l'onde sonore est détectée par le capteur.

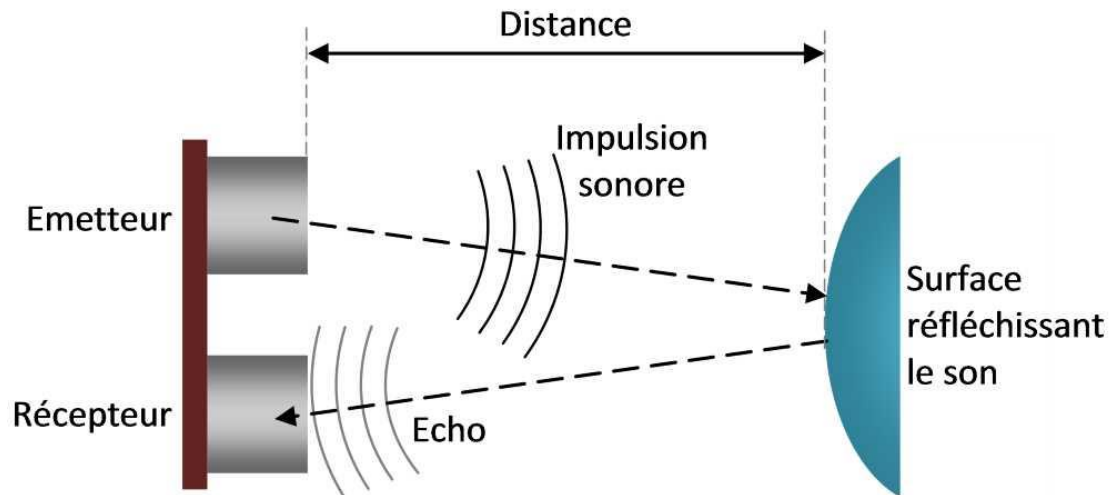


Figure n°2 : illustration d'un sonar.

Notre sonar étanche, grâce aux données récupérées, servira à construire une reconstitution 3D de l'environnement souhaité.

Avantages	Peu coûteux	Détecte tous types de surfaces	Se programme facilement avec Arduino
Inconvénients	Contraintes de températures	Contraintes de pression	Peu efficace sur longue distance

Centrale inertielle :

La stabilité est un problème qui se pose souvent en mer. En effet la météo, les courants, ou bien des poissons peuvent modifier ou bien faire dériver notre sous-marin autonome. C'est pour ceci qu'une centrale inertielle va nous permettre de conserver la trajectoire initiale.

Une centrale inertielle, Inertial Measurement Unit (IMU) en anglais, est un capteur capable d'estimer la position d'un objet mobile grâce à ses mouvements. L'IMU que nous favorisons serait le MPU-6050, équipé d'un accéléromètre 3 axes ainsi que d'un gyromètre 3 axes.

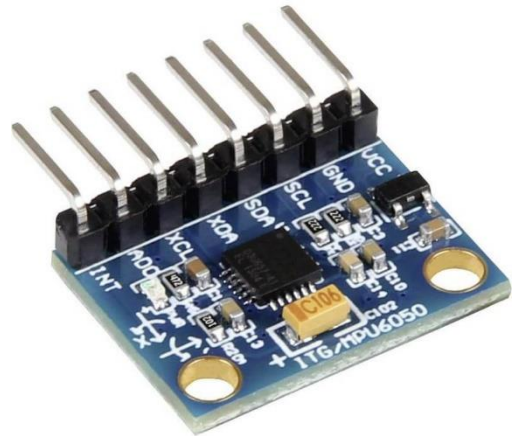


Figure n°3 : MPU-6050 Arduino.

Cette IMU permet de connaître les angles d'orientation d'un robot en intégrant les vitesses de rotations suivant les 3 axes détectés grâce au gyromètre. De plus, il possède un algorithme de fusion des valeurs de l'accéléromètre et du gyromètre, ce qui permet d'avoir des résultats plus fiables !

Bien évidemment notre AUV sera équipé d'une caméra, d'un modèle quelconque, placée à l'intérieur de la bulle en plexiglass.

Pouvant fonctionner de nuit comme de jour, Nemo sera muni de lumières.



Lumière leds :

Afin de fournir à l'utilisateur une image nette, des faisceaux leds sont la solution envisageable car peu coûteux en énergie et performants.

Figure n°4 : éclairage d'un AUV.

Un capteur de pression :

Les composants électroniques ou mécaniques, peuvent être sensibles à la pression des fonds marins, c'est pour ceci que ce capteur Arduino nous permettra de connaître,

après une batterie de tests, la limite à ne pas dépasser. Si celle-ci est proche l'AUV prévient l'utilisateur et cesse de descendre.

Ce capteur de pression fonctionne grâce à la détection analogique de la résistance. Lorsque la pression extérieure agit sur le capteur, la résistance et donc la tension du signal analogique changent.

- Sensibilité élevée
- flexible
- étanche
- Pas d'interférence électromagnétique ou de décharge statique
- Valeur de tension analogique

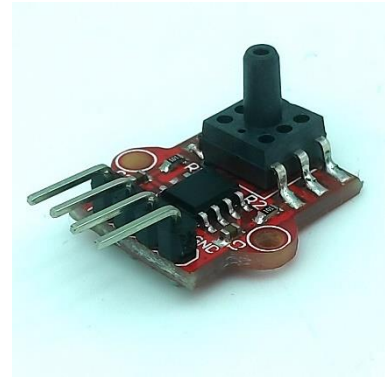


Figure n°5 : capteur pression.

Une sonde pH :

L'utilisation du robot pouvant être multiple par la suite, nous avons trouvé intéressant d'intégrer à notre projet une sonde pH.

Elle permettra de mesurer un pH entre 0 et 14 à une température comprise entre 0 et +60 °C. Le modèle de sonde étudié délivre une tension analogique en fonction du pH.

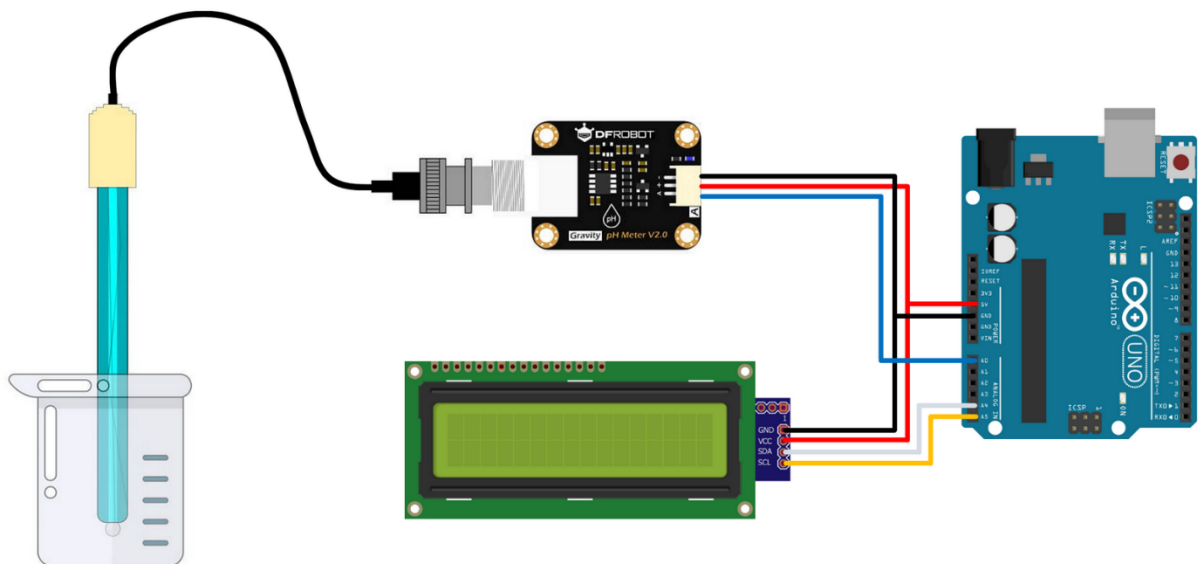


Figure n°6 : schéma de mise en place d'un système de sonde.

II/3. Traitement des données :

Comme énoncé ci-dessus ces capteurs reçoivent des données qui sont ensuite traitées pour pouvoir les transmettre à l'utilisateur. Pour ceci nous avons fait le choix d'utiliser deux cartes :

La Arduino Mega :

La carte Arduino Mega 2560, bien qu'elle soit un peu moins connue, est la grande sœur, plus rapide, de la carte Uno. La carte Arduino Mega 2560, dont les capacités équivalent à quatre cartes Uno combinées, comporte un microcontrôleur et elle est construite autour du puissant microprocesseur ATmega2560.

Cette carte sera le cerveau principal de notre robot, elle permettra la liaison entre les différents éléments.

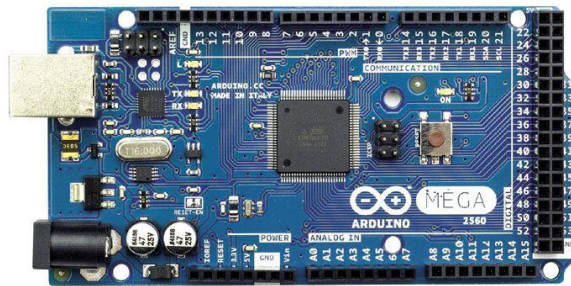


Figure n°7 : Carte Arduino Mega.

La Jetson Nano :



La Jetson Nano est un ordinateur compact et puissant qui permet de mettre en œuvre des réseaux de neurones multiples en parallèle dans des champs d'application comme la classification d'images, la détection d'objets, la segmentation ou la reconnaissance vocale.

C'est la solution idéale pour toutes nos fonctionnalités qui utiliseront l'intelligence artificielle telle la reconnaissance d'image.

Figure n°8 : Carte Jetson Nano.

Chapitre 3 : Motorisation :

III. 1 Caractéristiques :

Dans la mesure du bon fonctionnement de notre robot certaines contraintes sur ses possibilités de déplacements sont nécessaires :

- La possibilité d'effectuer une rotation sur lui-même à 360°.
- Déplacement vertical et horizontal.
- Vitesse nominale adaptative.

III.2 Moteurs :

Dans le but de choisir les moteurs adaptés à notre robot, nous avons étudié différents types de moteurs, classant leurs avantages et inconvénients.

Type of Motors :	DC Motors / MCC	Brushless	step
Cost	Price relatively cheap	Generally expensive	Price relatively cheap
efficiency	Loss due to friction	Great efficiency	Low in high speed
Lifetime	Low/Mid	High	Low/Mid
Speed control	Mid precision	High precision	Difficult in high speed
Position knowing	Relatively precise	No control	High precision

Dès lors, pour donner suite à nos besoins le moteur adapté à notre robot est de type brushless.

III.2.1: Etanchéification de la motorisation :

1ère solution :

Durant nos recherches sur les différents moyens de rendre un moteur étanche nous sommes dans un premier temps tombés sur cette technique :

Moteur brushless non étanche positionné dans un compartiment étanche. Ce compartiment à un fonctionnement relativement similaire au tube en plexiglass contenant notre partie électronique. Le seul problème reste tout de même l'étanchéification de l'arbre de transmissions qui assure la liaison entre le moteur et l'hélice extérieure.

2ème solution :

Moteur brushless achetés directement étanche avec hélice intégrée. Or un point désormais nécessaire à considérer est que le fonctionnement de ses moteurs nécessite un ESC.

Un régulateur électronique de vitesse (ESC) est un circuit électronique qui contrôle et régule la vitesse d'un moteur électrique. Il peut également assurer l'inversion du moteur et le freinage dynamique. Des régulateurs de vitesse électroniques miniatures sont utilisés dans les modèles radiocommandés à moteur électrique. Les véhicules électriques de grande taille sont également équipés de systèmes de contrôle de la vitesse de leurs moteurs d'entraînement.

Personnellement nous avons fait le choix pour notre robot de choisir des ESC bidirectionnels. En effet, notre robot a pour mission de se déplacer dans toutes directions. Pour ceci ces hélices doivent pouvoir fonctionner dans le sens horaire ainsi que dans le sens anti-horaire.

III.2.2 : Positionnement moteur :

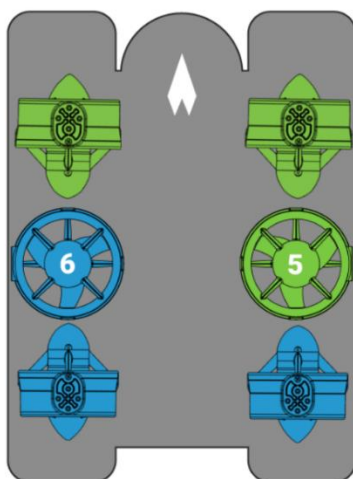
La dernière problématique reliant la structure et les moteurs a été de choisir le positionnement de nos moteurs.

Déplacements souhaités :

- Déplacement vertical : montée/descente
- Déplacement horizontal : avancé/reculé
- Rotation sur lui-même : 360° selon l'axe vertical

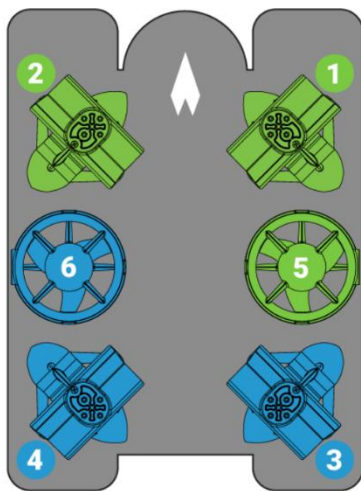
Notre structure comportant 6 moteurs : 2 moteurs seront alloués aux déplacements verticaux, 4 moteurs seront alloués aux déplacements horizontaux.

Positionnements des moteurs envisagés :



Points positifs : vitesse élevée en ligne droite
Points négatifs : difficultés au niveau de l'orientation et de la rotation du robot.

Figure n°1 : 1er positionnement possible.



Points positifs : Déplacements latéraux et rotations simplifiées.
Points négatifs : Vitesse réduite en ligne droite.

Figure n°2 : 2^{ème} positionnement possible.

III.3 : Etude des batteries :

Dimensionnement des batteries :

Notre sous-marin disposant de 6 moteurs demandant chacun une tension nominale de 12V et d'une intensité de 20A, nous devons par la suite déterminer quel type de batteries et combien devons-nous en utiliser.

Caractéristiques nécessaires :

Batteries pouvant délivrer une tension nominale de 12V minimum.

- Capacité de 50Ah minimum pour éviter un nombre accru de batteries.
- Batteries compactes.

Après avoir déterminé les caractéristiques nécessaires des batteries à utiliser, il reste désormais à choisir le type de celle-ci, pour cela nous nous sommes rapportés au tableau suivant fourni par l'école de l'ENSTA :

Tableau indicatif de certains paramètres selon les types de batteries

Types de batteries	Li-Ion	Li-Po	NiMH	Pb
Paramètres				
Rapport taille/poids/énergie	Le meilleur	Très bon	Bon	Le moins bon
Rapport prix/énergie	Le plus cher	Cher	Intéressant	Le moins cher
Courant de décharge max	Limité, variable	Important	Moyen, variable	Important
Stabilité de la tension	Stable	Stable	Moyen	Peu stable
Milieu confiné lors de la décharge/recharge	OK	OK	OK	Dangereux
Volume variable, dégagement de chaleur ou de gaz	Chaleur	Volume variable et chaleur	Chaleur	Chaleur et gaz
Sensibilité aux variations de température	Importante	Moyenne	Moyenne	Peu sensible
Résistance à l'écrasement et aux chocs	Explosion / incendie immédiats	Explosion / incendie immédiats	Risque d'incendie si très excessif	Risque d'incendie si très excessif
Résistance aux surcharges ou décharges trop profondes	Très mauvaise (mais couramment fourni avec protection)	Mauvaise (mais à relativiser vu les courants supportés)	Limitée	Bonne résistance
Circuit de protection nécessaire	Indispensable	Fortement recommandé	Variable	Variable
Circuit de charge contrôlée nécessaire	Indispensable	Indispensable	Fortement recommandé	Variable
Simplicité d'utilisation et robustesse générale	Complexe, circuits de protection et charge requis, mais simple au final car elles sont toujours livrées avec ces circuits	Moyenne, mais des checkers (surveillance de la tension avec alarme) sont facilement utilisables	Intéressant	Le plus simple et le plus robuste

Figure n°3 : « Tableau indicatif de certains paramètres selon les types de batteries ».

Notre choix se portera donc sur 2 à 3 batteries Li-on de 12V avec une capacité de 50Ah.

Résumé :

En somme lors de ces 15 premiers jours de projet, nous avons essayé de rassembler toutes les étapes de confections de Nemo. Notre objectif a été de recenser toutes les solutions possibles et de choisir la plus optimale, en termes de design, d'électronique et de motorisation. Nos choix finaux sont donc de réaliser un robot sous-marin muni de 6 hélices, 2 pour la direction verticale et 4 pour l'horizontale. Tous nos corps électroniques seront à l'abri dans un tube en plexiglass totalement étanche, ces derniers seront pilotés par une carte Arduino Mega et une Jeston Nano. Quant à la motorisation, nos choix se sont portés vers des moteurs brushless étanches, munis chacun d'un ESC. Les moteurs auront deux positions possibles, chacune avec leurs avantages et inconvénients. Pour finir, tous nos composants seront assemblés entre eux grâce à un carénage PETG, conçu à l'aide d'un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (Fusion 360), et imprimé au FabLab de SophiaTech.

Planning à venir :

Nous avons prévu un planning approximatif des semaines à venir (jusqu'aux vacances de Noël), que nous ajusterons en fonction de notre avancée.

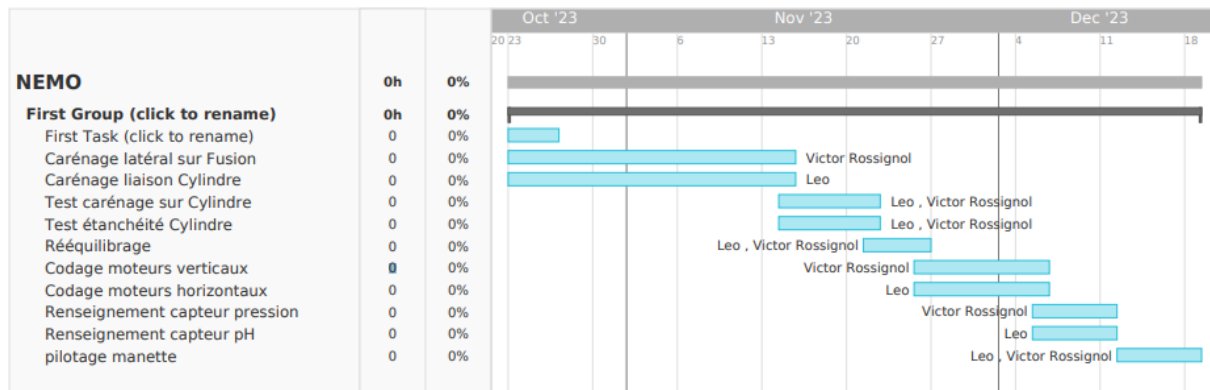


Figure n°4 : Gantt prévisionnel.

Bibliographie :

- *Autonomous Underwater Vehicle - AUV - HUGIN - Kongsberg Maritime*. (s. d.).
<https://www.kongsberg.com/maritime/products/marine-robotics/autonomous-underwater-vehicles/AUV-hugin/>
- Blue Robotics. (2023, 21 juillet). *BlueROV2 assembly and build instructions*.
<https://bluerobotics.com/learn/bluerov2-assembly/>
- *Bluefin Robotics Unmanned Underwater Vehicles - General Dynamics Mission Systems*. (s. d.).
<https://gdmissionsystems.com/underwater-vehicles/bluefin-robotics>
- RobotShop USA. (s. d.). *BlueROV2 Underwater Vehicle Kit W/150m tether & 4 Lights*.
<https://www.robotshop.com/products/bluerov2-underwater-vehicle-kit-150m-tether-4-lights>
- *Sonar utilisable dans l'eau*. (2020, 23 mars). Arduino Forum. <https://forum.arduino.cc/t/sonar-utilisable-dans-leau/643963/10>
- *Teledyne Gavia AUV (Autonomous Underwater Vehicles)*. (s. d.). <https://www.teledynemarine.com/gavia>
- Tronic, G. (s. d.-a). *Capteur de distance LIDAR SEN0413*. GO TRONIC. <https://www.gotronic.fr/art-capteur-de-distance-lidar-sen0413-34209.htm>
- Tronic, G. (s. d.-b). *Sonde PH + Interface SEN0161*. GO TRONIC. <https://www.gotronic.fr/art-sonde-ph-interface-sen0161-21552.htm>
- *Propulseur sous-marin AUV, moteur sans balais, hélice à 4 pales, pièces de bricolage pour ROV RC Bait TDPBoat, 12V, 24V, 20A, 30 200W* / AliExpress. (s. d.). aliexpress.com.
<https://fr.aliexpress.com/item/33032260919.html?sp>
- *Centrale inertielle MPU-6050 avec Arduino*. (s. d.). https://www.robot-maker.com/shop/blog/28_Decouverte-centrale-inertielle-MPU-6050.html
- Instructables. (2020). *Sous-marin télécommandé*. Instructables. <https://www.instructables.com/ECAM-Submarine/>
- Nibua. (2017, 20 février). *Sous-marin Nibua.-12-. Sous-marins modèles et réels*.
<http://sousmarin1rc.canalblog.com/archives/2017/01/11/34792479.html>
- Orangemarine. (s. d.). *Sonde TA 83/200 KHZ profondeur/température prise bleu - LOWRANCE*.
<https://www.orange-marine.com/sonde-lowrance/932-sonde-lowrance-ta-83-200-khz-profondeur-temperature-prise-bleu.html#tab2>
- RobotShop Europe. (s. d.). *Module Sonar imperméable avec sonde*.
<https://eu.robotshop.com/fr/products/weatherproof-ultrasonic-sensor-separate-probe>