



---

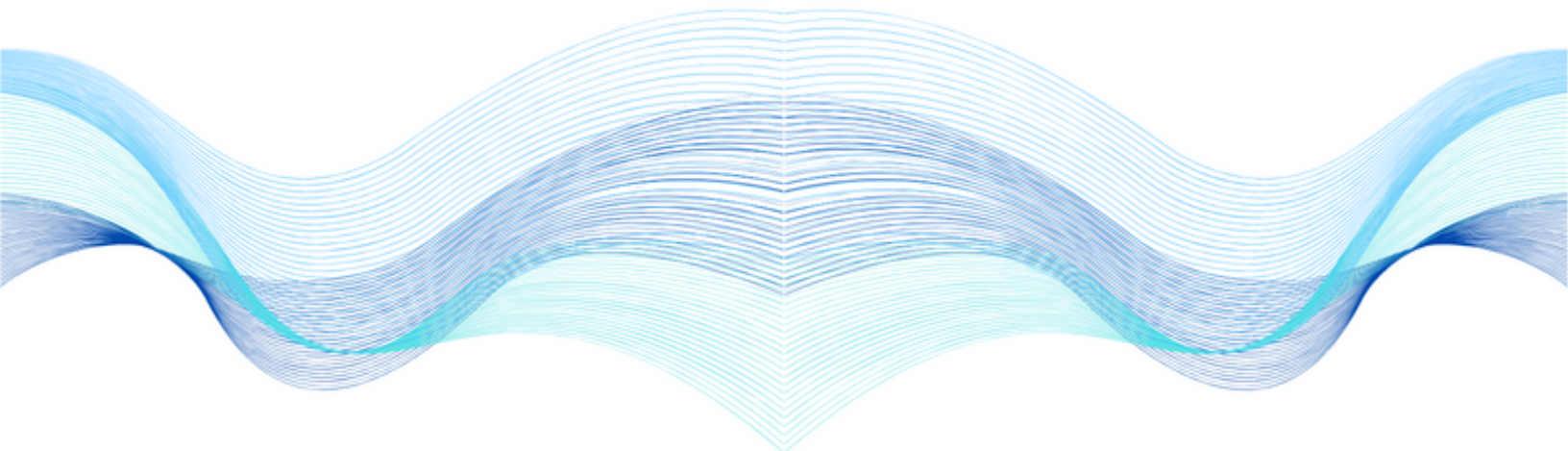
# Cahier des Charges : Implémentation d'un capteur optique en « HighBlue »

---

Stage de fin d'étude  
Mars 2025 à Août 2025

Matthieu JUNG

Julie Patris, Hervé Glotin, Valentin Gies, Iván Hinojosa, Franck Malige,  
Lyudmyla Yushchenko



# Table des matières

<b>Historique des Versions</b>	<b>2</b>
<b>1 Object</b>	<b>3</b>
1.1 Objectif du document . . . . .	3
1.2 Conventions et définitions . . . . .	3
1.3 Analyse de l'existant . . . . .	3
1.4 Public cible et lecture recommandée . . . . .	3
1.5 Portée du projet . . . . .	4
<b>2 Cahier des charges fonctionnel (CdcF)</b>	<b>5</b>
2.1 Analyse du cycle de vie . . . . .	5
2.2 Éléments du milieu extérieur (EME) . . . . .	5
2.3 Situation de vie, utilisation . . . . .	6
2.3.1 Diagramme APTE . . . . .	6
2.3.2 Diagramme inter-acteurs . . . . .	6
<b>3 Analyse Fonctionnelle Technique (AFT)</b>	<b>9</b>
<b>4 Mode de défaillance</b>	<b>21</b>
<b>5 Planning et suivi de projet</b>	<b>22</b>
<b>Références</b>	<b>23</b>
<b>Table des Figures et Tableaux</b>	<b>23</b>

## Historique des Versions

Version	Date	Auteur(s)	Modifications
1.0	10.03.2025	M. JUNG	Cahier des charges fonctionnel
2.0	19.03.2025	M. JUNG	Analyse fonctionnelle Technique
3.0	19.03.2025	M. JUNG	Versión en español
4.0	17.03.2025		Finale Version

# 1 Object

## 1.1 Objectif du document

Ce projet vise à compléter les enregistrements hydrophones de notre outil d'enregistrement sous-marin "Qualilife HighBlue" ancré et utilisé pour effectuer des relevés bioacoustique. Due a une convergence évolutive, certaines espèces, comme des dauphins et des marsouins émettent des clicks NBHF dans le même spectre de fréquence, il est difficile de les distinguer uniquement par l'audio comme évoquer dans (Patris 2023, [1] et Reyes Reyes 2018, [2]). L'écosystème marin du Chili est considéré comme l'un des plus riche, dans le cadre de l'étude des espèces endémique s'y trouvant, l'ajout d'un capteur optique sous-marin permettra d'améliorer l'identification des espèces grâce à une analyse visuelle, soit manuellement, soit via IA, et donc par conséquent de relier l'audio a des individus et des comportements.

## 1.2 Conventions et définitions

Ce document suit les conventions suivantes :

- Les termes techniques et acronymes spécifiques au projet sont définis dans le glossaire ci-dessous.
- Les références aux sources bibliographiques sont indiquées sous la forme (Auteur, année) et détaillées dans la section des références.

### Définitions

- NBHF (Narrow-Band High-Frequency clicks) : Clicks de haute fréquence émis par certains cétacés comme les marsouins et certains dauphins.
- Qualilife HighBlue (QHB) : Carte électronique d'enregistrement audio
- Caméra 360° sous-marine : Système optique capable de capturer des images et vidéos panoramiques sous l'eau à différentes profondeurs.
- DC : Courant continu
- AC : Courant alternatif
- Lowpower : Conçu pour avoir une faible consommation énergétique
- UWOS : UnderWater optic sensor

## 1.3 Analyse de l'existant

Aujourd'hui sur la bouée d'enregistrement, aucun capteur optique n'est présent. On note cependant la présence de deux hydrophones.

## 1.4 Public cible et lecture recommandée

Ce document est destiné à plusieurs catégories de lecteurs :

- Équipe d'ingénierie : Concepteurs, développeurs et intégrateurs du système caméra.
- Biologistes : Utilisateurs finaux exploitant les données pour l'analyse bioacoustique et comportementale.
- Spécialistes en intelligence artificielle : Développeurs d'algorithmes de reconnaissance d'espèces via l'analyse d'images et d'audio.
- Partenaires techniques et industriels : Fabricants et fournisseurs impliqués dans le développement matériel et logiciel du système.

## 1.5 Portée du projet

Ce projet vise à concevoir et développer un système de module de capture optique adaptatif, modulable sous-marin lowpower, capable de fonctionner en milieu subaquatique pendant de longues périodes en autonomie et donc aussi dans différentes configurations.

Principaux objectifs :

- Acquisition optique complémentaire aux enregistrements acoustiques.
- Conception robuste et étanche : Résistance aux conditions extrêmes (pression, salinité, température, courant).
- Optimisation énergétique : Système lowpower permettant une autonomie prolongée.
- Stockage : Enregistrement local des vidéos.
- Traitement avancé des données : Compatibilité avec un post-processing.

Exclusions du projet :

Le projet ne comprend pas la mise en place d'un réseau de transmission temps réel longue portée, Ni le développement d'un algorithme IA complet pour l'identification des espèces est hors du périmètre initial (mais le système doit être compatible avec une future intégration).

## 2 Cahier des charges fonctionnel (CdcF)

### 2.1 Analyse du cycle de vie

Le cycle de vie d'un module UWOS sous-marine low-power suit plusieurs étapes, depuis sa conception jusqu'à son recyclage en fin de vie.

- Phase de conception et développement
- Phase de fabrication
- Phase de transport
- Phase d'exploitation et d'utilisation
- Fin de vie et recyclage

Dans notre cas il est possible qu'au vu de la temporalité (moins de 3 mois de R&D) de ce projet les phases de conception, fabrication et d'exploitation soit un peu confondu. En effet il est probable que la solution reste à l'état de prototype durant ce projet.

### 2.2 Éléments du milieu extérieur (EME)

L'environnement sous-marin impose des contraintes physiques et chimiques qui influencent la conception. (Pression, corrosion, salinité, visibilité...)

Les éléments du milieu extérieur sont les éléments constitutif de l'environnement de notre système optique, qui sont en interaction avec celui-ci. On retiendra les EME suivantes :

- Système d'enregistrement existant
- Utilisateur
- Réglementation et norme
- Environnement sous-marin (*cf ci-dessus*)

Dans les diagrammes dans la partie suivante, l'EME *Système existant* sera divisé en plusieurs sous-partie pour une meilleure visibilité.

## 2.3 Situation de vie, utilisation

### 2.3.1 Diagramme APTE

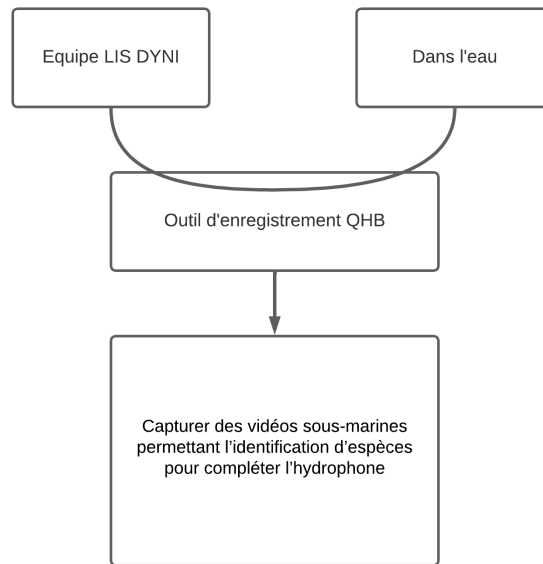


FIGURE 3 – Diagramme APTE

Le diagramme "bête à corne" permet de visualiser de manière claire et concise les différents éléments du système et leur relation les uns avec les autres. Et donc de comprendre qui utilisera notre projet, comment et pour quelles raisons. Cependant il faut lui adjoindre un autre diagramme plus complet qui lui détaillera les différentes fonctions de notre système.

### 2.3.2 Diagramme inter-acteurs

Ce deuxième diagramme permet de définir les fonctions que doit remplir notre système. Ainsi on peut déjà dégager en amont les objectifs principaux. L'objectif premier de ce projet est donc d'agrémenter l'outil d'enregistrement en lui ajoutant un capteur visuel. On peut y définir des objectifs suivants :

- Capturer des informations visuelles
- Permettre l'identification des espèces jusqu'à une certaine distance
- Assurer un enregistrement autonome et synchronisé avec l'audio
- Garantir une autonomie de 2 à 4 jours.

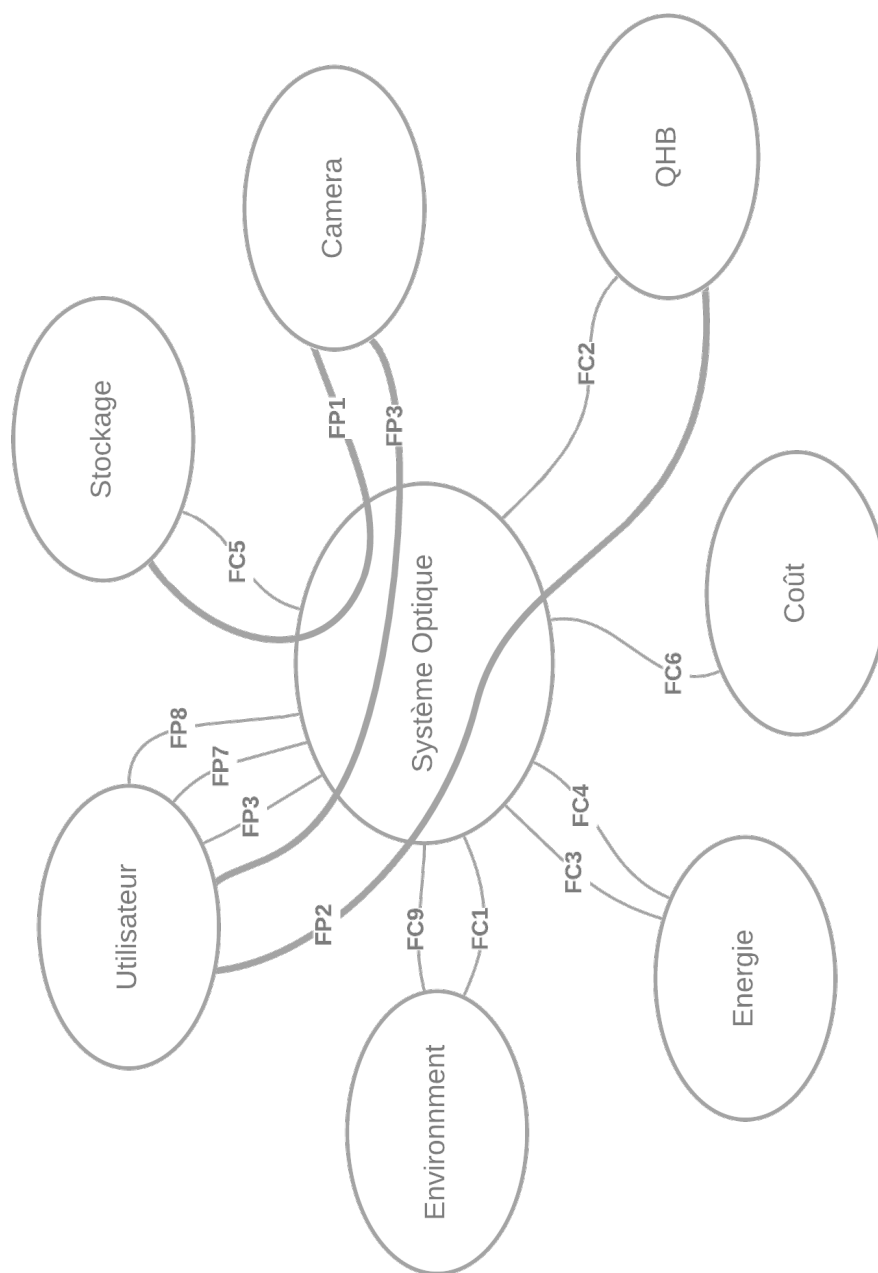


FIGURE 4 – Diagramme PIEUVRE

Voila le tableau des fonctions principales et fonctions contraintes associés au digramme pieuvre :



Fonctions		Critères d'acceptation	Niveaux d'acceptation		FLEXIBILITE	
					Classe	Limites
		Fonctions principales				
FP1	Capturer des vidéos sous-marines	<ul style="list-style-type: none"> <li>Résolution d'image</li> <li>Frame Rate</li> <li>Stocker les vidéos</li> <li>Filmer en grand angle</li> <li>Sensibilité à la lumière</li> <li>Filmer en continu sur des périodes de plusieurs heures</li> <li>Synchro</li> <li>Adapter la sensibilité capteur</li> <li>Gestion des modes REC / SLEEP</li> <li>Etat</li> <li>Moyen d'information</li> </ul>	Full HD	F0	HD	
			24 fps	F0	15 fps	
			H.264	F0	lisible en post-processing	
			objectif 180°	F0	120°	
			0.01 Lux	F0	0.5 Lux	
			12h	F1	6h	
FP2	Déclenchement des vidéos		1ms	F0	100ms	
			Avec luxmètre	F0		
			--	F0	--	
FP3	Informier l'utilisateur de l'état de l'enregistrement		Rec / pas Rec	F0		
			Visuel : LED	F2	--	
		Fonctions secondaires				
FC1	Résistance mécanique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eclanche</li> <li>Chocs</li> <li>Température d'utilisation</li> <li>Résistance à la corrosion</li> <li>Masse</li> <li>Taille</li> <li>Type et Niveau d'énergie</li> <li>Orientation module</li> <li>connectique</li> <li>Consommation</li> <li>Gestion des mode REC et Veille</li> <li>Alimenter par batterie</li> <li>Tout enregistrer</li> <li>Ne pas chauffer</li> <li>Ne doit pas dépasser le budget</li> <li>Facilement ouvrable</li> <li>Récupération des données</li> <li>Transportable et manipulable par des plongeurs</li> <li>Système fiable</li> <li>Ne dois pas déranger l'environnement</li> </ul>	40m - IP68 ou plus	F0	30m	
			Chute 1m	F0		
			-10° to 40°	F0	0° to 30°	
			Acrylique ou Inox	F0		
FC2	S'interfacer avec l'existant		<1kg	F1	<1.5kg	
			depend of sensor	F1		
			5V sur D alkaline	F0		
			5 choix d'orientation	F1	3 choix	
			1 sortie étanche min	F0		
			<10W	F1	±20 %	
FC3	Autonomie			F0		
FC4	Batterie		Li-Ion ou D Alkaline	F1		
FC5	Stockage		512Go to 1To / V30	F1	512Go / V30	
				F2		
FC6	Coût		1 000€	F2		1 000€
FC7	Maintenance		CAO	F2		
FC8	Exploitation		Donnée formaté	F0		
				F1		
			Eviter la corruption des données	F0		
FC9	Être furtif		Ne pas emettre de lumière. son...	F2		

### 3 Analyse Fonctionnelle Technique (AFT)

Dans ce projet nous ne formaliserons pas le système par un SADT ou un FAST classique par manque de temps. Ainsi comme nous voulons adopter une stratégie de pensée en "Système", nous allons décrire l'architecture de chaque partie par un système de tables qui ressemble néanmoins à un SADT. Nous allons donc y décrire l'architecture de chaque partie, sous-partie et leurs interactions. Cette partie constitue le début de la phase de design de notre solution.

<div><div>LIS</div><div>LABORATOIRE D'INFORMATIQUE &amp; SYSTÈMES</div></div>		REFERENCE	REFERENCE	VERSION	FICHIER	PAGE
		TITRE	ARCHITECTURE TECHNIQUE SYSTÈME	V1		1/11
					SECTEUR D'ACTIVITÉ	UWOS - QHB

ENVIRONNEMENT


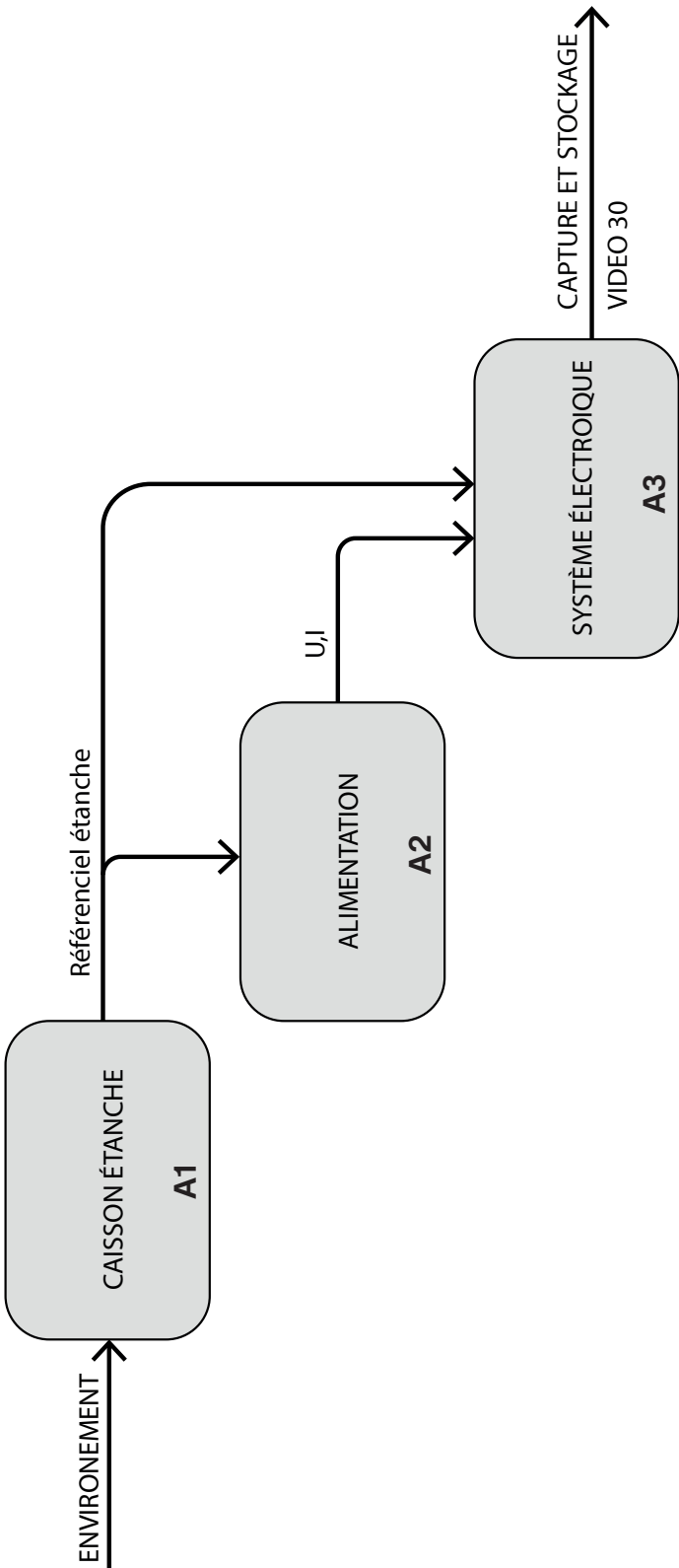
Système existant QHB


Interface mécanique

ENVIRONNEMENT

Nouveau Système UWOS A0


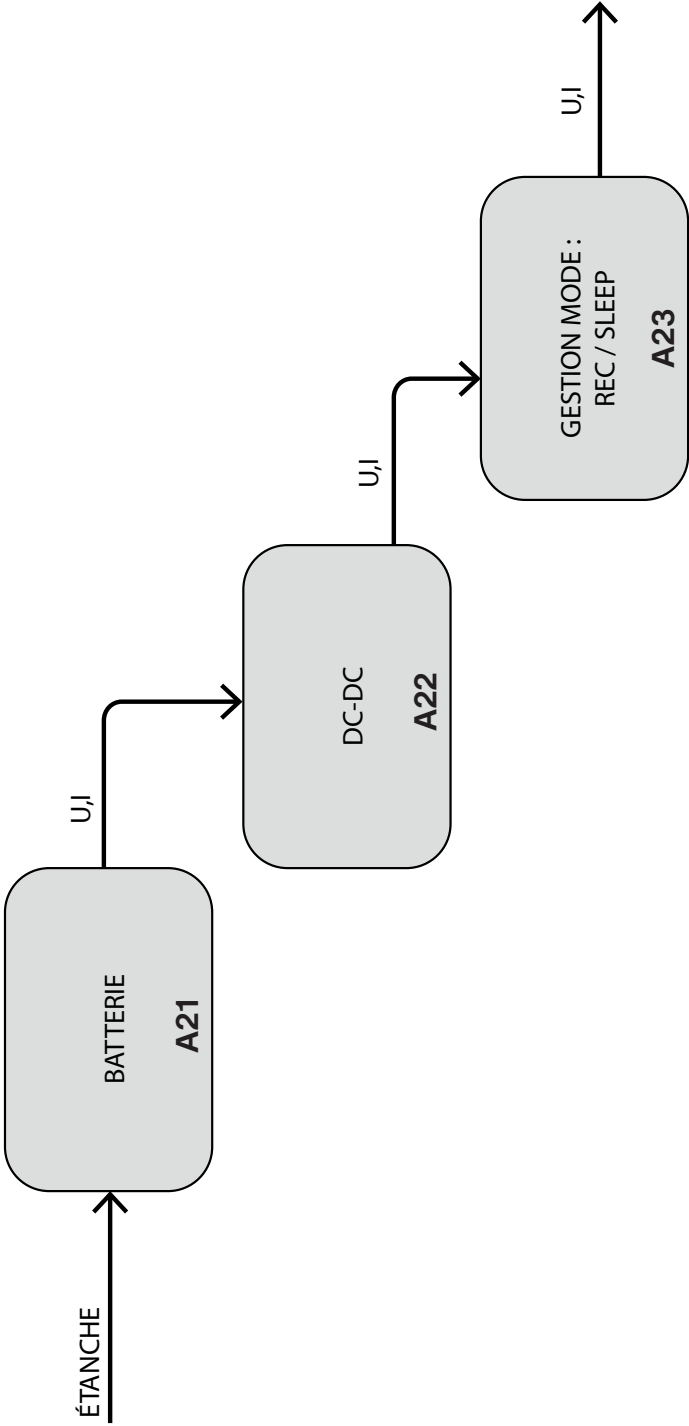
Vidéo + Audio


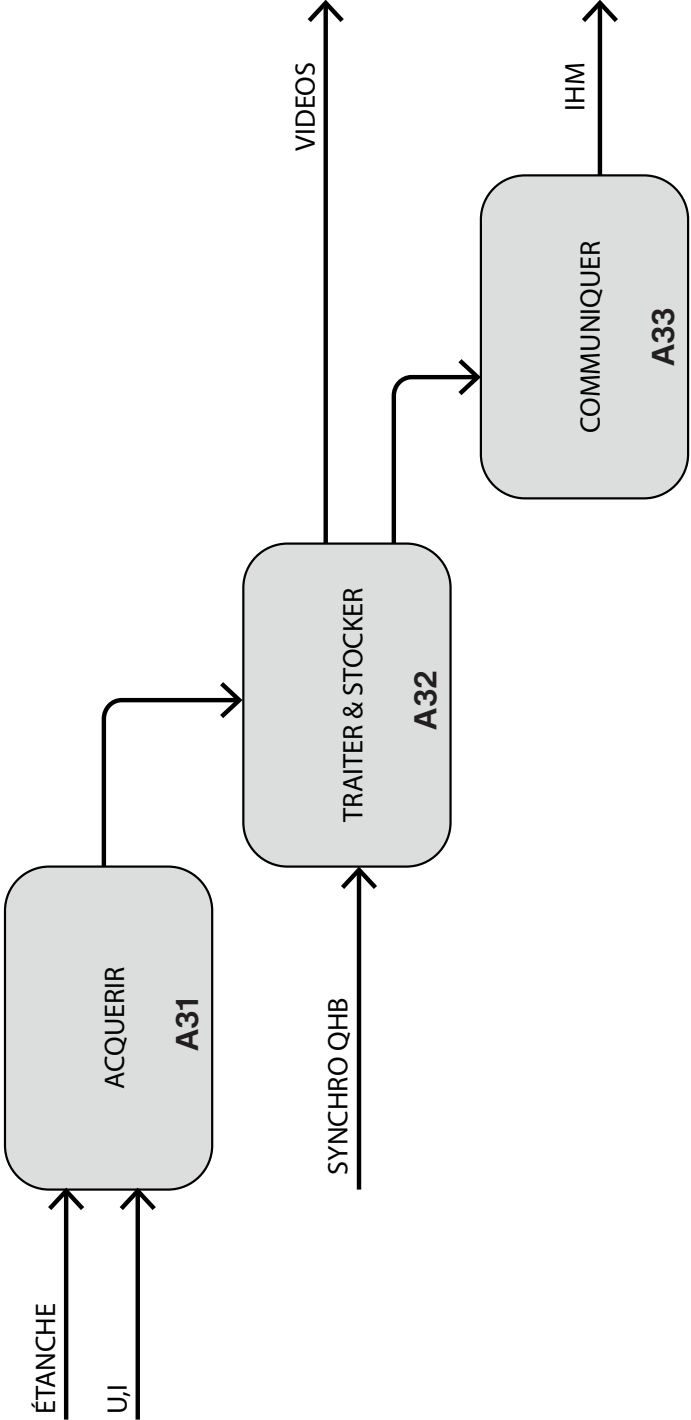
	<p>REFERENCE</p> <p><b>REFERENCE</b></p>	<p>VERSION</p> <p><b>V1</b></p>	<p>FICHIER</p>	<p>PAGE</p> <p><b>2/11</b></p>
	<p>TITRE</p> <p><b>ARCHITECTURE TECHNIQUE SYSTÈME</b></p>		<p>SECTEUR D'ACTIVITÉ</p> <p><b>UWOS - QHB</b></p>	
<div data-bbox="521 235 1206 1816">  <pre> graph LR     ENV[ENVIRONNEMENT] --&gt; A1[CAISSON ÉTANCHE A1]     A1 -- "Référénciel étanche" --&gt; A2[ALIMENTATION A2]     A1 --&gt; A3[SYSTÈME ÉLECTROIQUE A3]     A2 -- "U,I" --&gt; A3     A3 -- "CAPTURE ET STOCKAGE VIDEO 30" --&gt; OUT[ ]                     </pre> <p>The diagram illustrates the technical architecture of the system. It features three main functional blocks: A1 (CAISSON ÉTANCHE), A2 (ALIMENTATION), and A3 (SYSTÈME ÉLECTROIQUE). The process begins with the ENVIRONNEMENT (Environment) providing input to A1. A1 then provides a 'Référénciel étanche' (Water-tight reference) to A2. Both A1 and A2 supply inputs to A3, with A2 specifically providing 'U,I' (Voltage/Current). Finally, A3 performs 'CAPTURE ET STOCKAGE VIDEO 30' (30-second video capture and storage), with an output arrow pointing to the right.</p> </div>				
<p>SECTION</p> <p><b>A0</b></p>	<p>SECTION PARENT</p> <p><b>A-0</b></p>	<p>NOM DE LA SECTION</p> <p><b>SYSTÈME - détaillé</b></p>		


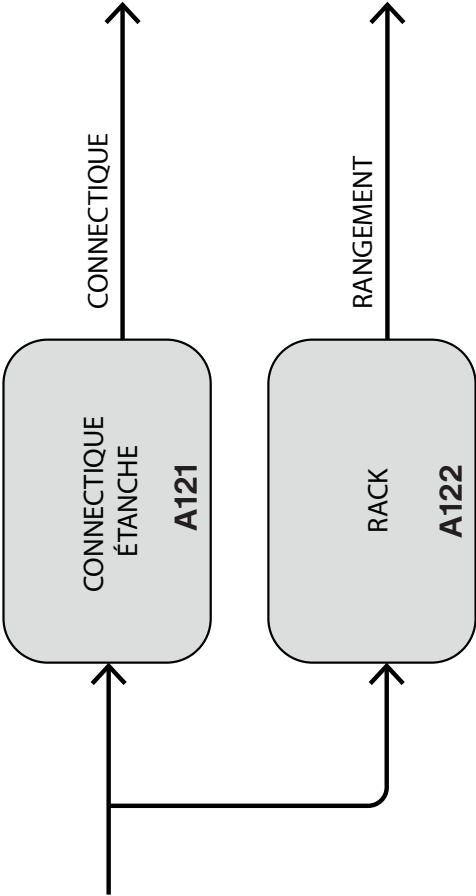
<div>  </div>	<div>REFERENCE</div> <div>REFERENCE</div>	<div>VERSION</div> <div>V1</div>	<div>FICHIER</div>	<div>PAGE</div> <div>3/11</div>
<div>TITRE</div> <div>ARCHITECTURE TECHNIQUE SYSTÈME</div>	<div>SECTEUR D'ACTIVITÉ</div> <div>UWOS - QHB</div>			
<div>SECTION</div> <div>A1</div>	<div>SECTION PARENT</div> <div>A0</div>	<div>NOM DE LA SECTION</div> <div>Caisson étanche</div>		

```


graph TD
    ENVIRONNEMENT -- JOINT --> DOME_A11[DOME A11]
    DOME_A11 -- JOINT --> CYLINDRE_A12[CYLINDRE A12]
    CYLINDRE_A12 -- JOINT --> INTERFACE_A13[INTERFACE A13]
    CYLINDRE_A12 -- JOINT --> CONNECTIQUE[CONNECTIQUE]
    INTERFACE_A13 -- JOINT --> CAISSON_ETANCHE[CAISSON ÉTANCHE]
  
```

<div>  </div>	<div> <div>REFERENCE</div> <div>REFERENCE</div> </div>	<div> <div>VERSION</div> <div>V1</div> </div>	<div> <div>FICHIER</div> </div>	<div> <div>PAGE</div> <div>5/11</div> </div>
<div> <div>TITRE</div> <div>ARCHITECTURE TECHNIQUE SYSTÈME</div> </div>	<div> <div>SECTEUR D'ACTIVITÉ</div> <div>UWOS - QHB</div> </div>	<div>  </div>		
<div> <div>SECTION</div> <div>A2</div> </div>	<div> <div>SECTION PARENT</div> <div>A0</div> </div>	<div> <div>NOM DE LA SECTION</div> <div>Bloc alimentation</div> </div>		

	REFERENCE	REFERENCE	VERSION	FICHIER	PAGE
	TITRE	ARCHITECTURE TECHNIQUE SYSTÈME	V1	SECTEUR D'ACTIVITÉ	8/11
					UWOS - QHB
		 <pre> graph TD     ETANCHE --&gt; A31[ACQUERIR A31]     UI --&gt; A31     A31 --&gt; A32[TRAITER &amp; STOCKER A32]     SYNCHRO_QHB[SYNCHRO QHB] --&gt; A32     A32 --&gt; A33[COMMUNIQUER A33]     A33 --&gt; IHM[IHM]     A32 --&gt; VIDEOS[VIDEOS]             </pre>			
SECTION	A3	SECTION PARENT	A0	NOM DE LA SECTION	Système électronique

<div>  <p>LIS LABORATOIRE D'INFORMATIQUE &amp; SYSTEMES</p> </div>	REFERENCE	REFERENCE	VERSION	FICHIER	PAGE
	TITRE	ARCHITECTURE TECHNIQUE SYSTEME	V1	SECTEUR D'ACTIVITE	4/11
<div>  </div>					
SECTION	A12	SECTION PARENT	A1	NOM DE LA SECTION	CYLINDRE ETANCHE




<div>  </div>	<div>REFERENCE</div> <div>REFERENCE</div>	<div>VERSION</div> <div>V1</div>	<div>FICHIER</div>	<div>PAGE</div> <div>6/11</div>
<div>TITRE</div> <div>ARCHITECTURE TECHNIQUE SYSTÈME</div>	<div>SECTEUR D'ACTIVITÉ</div> <div>UWOS - QHB</div>			
<div>SECTION</div> <div>A21</div>	<div>SECTION PARENT</div> <div>A2</div>	<div>NOM DE LA SECTION</div> <div>Batterie</div>		


```

graph LR
    ETANCHE[ÉTANCHE] --> A211[ACCU Li-ION A211]
    A211 -- "U,I" --> A212[BMS A212]
    A212 -- "U,I" --> OUT[U,I]
    
```

<div><div><div>LIS</div><div><div>LABORATOIRE</div><div>D'INFORMATIQUE</div><div>&amp; SYSTEMES</div></div></div></div>		REFERENCE		REFERENCE	VERSION		V1	FICHIER	PAGE	7/11	
TITRE		ARCHITECTURE TECHNIQUE SYSTÈME							SECTEUR D'ACTIVITÉ		UWOS - QHB
<div><div><div><div>MCU</div><div>A21</div></div><div><div>U,I</div><div></div></div></div><div><div><div>MOSFET</div><div>A22</div></div><div><div>U,I</div><div></div></div></div><div><div><div>U,I</div><div></div></div><div><div>U,I</div><div></div></div></div></div>											
SECTION	A23	SECTION PARENT			A2			NOM DE LA SECTION			Gestion sleep mode

	REFERENCE	REFERENCE	VERSION	FICHIER	PAGE
	TITRE	ARCHITECTURE TECHNIQUE SYSTÈME	V1	SECTEUR D'ACTIVITÉ	9/11
<p style="text-align: center;"><b>UWOS - QHB</b></p>					
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>ENVIRONNEMENT</p> <p>U,I</p> <p>↑</p> <p>↑</p> <p><b>CAPTEUR OPTIQUE 1</b></p> <p><b>A311</b></p> <p>MIPI-CS12</p> <p>↑</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>ENVIRONNEMENT</p> <p>U,I</p> <p>↑</p> <p>↑</p> <p><b>LUXMÈTRE</b></p> <p><b>A313</b></p> <p>UART</p> <p>↑</p> </div> </div>					
SECTION	SECTION PARENT	NOM DE LA SECTION			
<b>A31</b>	<b>A3</b>	<b>ACQUERIR</b>			

<div><div>LIS</div><div>LABORATOIRE D'INFORMATIQUE &amp; SYSTÈMES</div></div>		REFERENCE	REFERENCE	VERSION	V1	FICHIER	PAGE	10/11	
		TITRE	ARCHITECTURE TECHNIQUE SYSTÈME					SECTEUR D'ACTIVITÉ	UWOS - QHB
<div><div><div>SYNCHRO QHB</div><div>SENSORS</div></div><div><div>MCU/CPU/FPGA</div><div>A322</div></div><div><div>STOCKAGE</div><div>A323</div></div><div><div>ETATS</div><div>VIDEOS</div></div></div>									
SECTION	A32	SECTION PARENT			A3	NOM DE LA SECTION		TRAITER	

<div>  </div>	<div>REFERENCE</div> <div>REFERENCE</div>
--	---

## 4 Mode de défaillance

Il est important des le début du projet de prévoir ses mode de défaillance pour savoir comment on veut que le système réponde en cas de problème mécanique ou électronique. Voici donc un tableau des modes de défaillance de chaque fonction :

Fonction	Mode de défaillance	Phase de vie	Événement redouté (fonction)	Événement redouté (utilisateur)	Gravité	Mesure à prévoir
Acquisition optique	Absence de fonction	Exploitation	Aucune image capturée	Pas d'identification des espèces	1,00	Vérification des connexions, redémarrage automatique
	Fonction dégradée	Exploitation	Images floues ou bruitées	Mauvaise interprétation des données	0,60	Calibration automatique, algorithme de correction
Synchronisation Audio/Vidéo	Perte de fonction	Exploitation	Décalage temporel entre son et image	Analyse incohérente	0,80	Algorithme de synchronisation et buffer de correction
Stockage des données	Fonction intempestive	Exploitation	Écriture en boucle, perte de données	Données perdues	1,00	Vérification mémoire, mise en tampon redondante
	Perte de fonction	Exploitation	Aucun enregistrement sauvegardé	Analyse impossible	1,00	Redondance du stockage, tests périodiques
Alimentation électrique	Perte de fonction	Exploitation	Arrêt du capteur	Capteur inutilisable	0,60	MAJ du système
	Fonction dégradée	Exploitation	Faible autonomie	Temps de capture réduit	0,60	Optimisation de la gestion énergétique
Étanchéité	Fonction dégradée	Exploitation	Infiltration d'eau, court-circuit	Panne définitive	1	Test de pression, joints renforcés
Interface utilisateur	Absence de fonction	Exploitation	Aucune indication d'état	Mauvaise compréhension du statut	0,1	none
Système de fixation	Fonction intempestive (vibrations)	Transport/Installation	Mauvaise stabilité, angles incorrects	Mauvaise captation des images	0,33	Redondance fixation
	Perte de fonction	Exploitation	Mauvaise stabilité, angles incorrects	Analyse difficile	0,5	Redondance fixation
Résistance mécanique	Fonction dégradée	Exploitation	Déformation de la structure	Détérioration prématurée	0,33	Utilisation de matériaux renforcés
Résistance aux chocs	Fonction intempestive	Exploitation	Chute entraînant des dégâts internes	Dysfonctionnement prématuré	0,5	Tests de choc, mousse de protection
Gestion thermique	Fonction dégradée	Exploitation	Surchauffe	Risque de panne et de condensation	0,66	Dissipation thermique, optimisation énergétique
Gestion des modes REC / SLEEP	Fonction intempestive	Exploitation	Passage en mode veille inopiné	Perte d'enregistrement	0,66	Algorithme de gestion optimisé

## 5 Planning et suivi de projet

Afin d'estimer la durée accordée à chaque tâche on a réalisé un diagramme de GANTT en étant le plus exhaustif possible. On a donc bien un début de projet le 03/05/2025, une semaine d'interruption du 16/05 au 22/05. Semaine avant laquelle le prototype doit être validé.

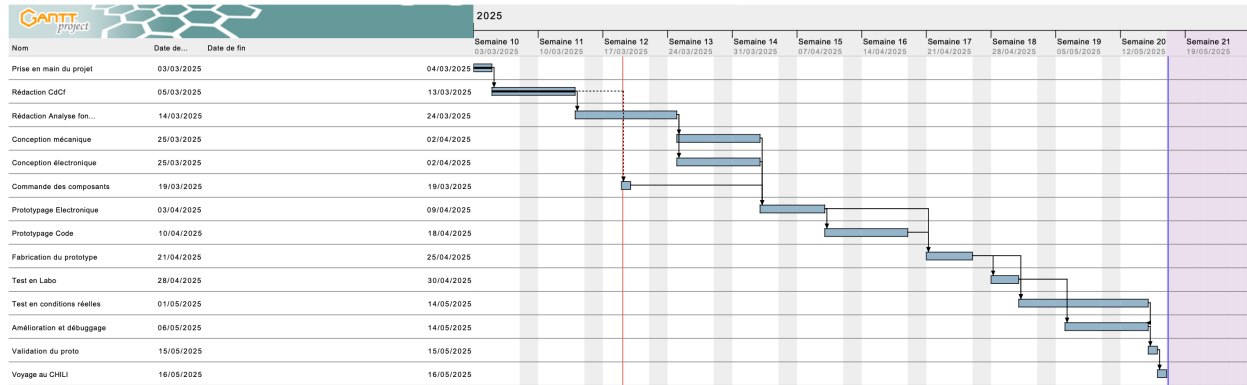


FIGURE 5 – Diagramme de Gantt

Nom	date de début	Date de fin
Prise en main du projet	04/03/2025	04/03/2025
Rédaction du CdC fonctionnel	05/03/2025	13/03/2025
Rédaction Analyse fonctionnelle Technique	14/03/2025	24/03/2025
Commande des composants	19/03/2025	19/03/2025
Conception Mécanique	25/03/2025	02/04/2025
Conception Électronique	25/03/2025	02/04/2025
Prototypage Électronique	04/04/2025	10/04/2025
Prototypage Code	11/04/2025	21/04/2025
Fabrication du Prototype	22/04/2025	28/04/2025
Test en Labo	29/04/2025	01/05/2025
Test en condition Réelle	02/05/2025	15/05/2025
Amélioration et débogage	07/05/2025	15/05/2025
Validation du proto	16/05/2025	16/05/2025

TABLE 2 – Tâches à réaliser durant les 3 premiers mois

## Références

- [1] Julie PATRIS et al. « Medium-term acoustic monitoring of small cetaceans in Patagonia, Chile ». In : *PeerJ* 133.2 (2023), p. 731. ISSN : 00014966. DOI : 10.7717/peerj.15292.
- [2] M. Vanesa Reyes REYES et al. « Clicks of wild Burmeister’s porpoises (*Phocoena spinipinnis*) in Tierra del Fuego, Argentina ». In : *Marine Mammal Science* XXX.XX (2018), p. 1070-1081. ISSN : XXX. DOI : 10.1111/mms.12489.

## Table des figures

3	Diagramme APTE . . . . .	6
4	Diagramme PIEUVRE . . . . .	7
5	Diagramme de Gantt . . . . .	22

## Liste des tableaux

2	Tâches à réaliser durant les 3 premiers mois . . . . .	22
---	--	----