

MISE EN ŒUVRE ET DÉVELOPPEMENT DU PROJET SE.D.RI.PORT

« Solutions innovantes – T 2.1.1 »

Table des matières

PARTIE 1	3
1. Introduction	3
2. Recherche des technologies disponibles	3
2.1 Appareils laser	3
2.1 Appareils à ultrasons	4
2.2 Techniques	4
2.2.1 Appareils	5
3. Comparaison et choix de la technologie	8
3.1 Laser aéroporté	8
3.1.1 Le système	9
3.1.2 Potentiel et limites	11
3.2 Échosondeur monofaisceau	13
3.3 Échosondeur multifaisceaux	16
4. Choix technologique final	21
PARTIE 2	23
1. Introduction	23
2. Étude des systèmes disponibles	23
2.1 Systèmes pour bateaux	23
2.1.1 Teledyne SeaBat T20	24
2.1.2 Kongsberg GeoSwath 4	27
2.2 Systèmes intégrés dans un drone aquatique	31

3. Premières expériences : Kongsberg GeoSwath 4	33
3.1 Échosondeur GS4	34
3.1.1 La technologie	34
3.2 : Station d'accueil	36
3.3 Récepteur GPS	36
3.4 Mètre de colonne d'eau	37
3.5 Logiciel d'acquisition et de traitement	38
3.6 L'expérimentation	40
3.7 Enregistrement des données	42
3.8 Observations finales	45
4. Activités en cours et futures	45

PARTIE 1

1. Introduction

Ce document a pour but de présenter les activités de recherche et d'analyse visant à identifier et évaluer les technologies modernes adoptées pour les relevés hydrographiques, afin de pouvoir sélectionner celle qui convient le mieux au développement du projet SE.D.RI.PORT. Après la présentation générale des technologies pouvant être adoptées dans le cadre du projet et de leurs caractéristiques présentant un intérêt, le document tirera les premières conclusions quant à l'orientation à suivre pour développer un système à même de satisfaire aux exigences nécessaires pour ce contexte spécifique.

2. Recherche des technologies disponibles

En tant que première étape de la phase de recherche, il a été important d'obtenir un aperçu complet des technologies disponibles pour l'analyse des fonds marins (et non marins). Les résultats de cette recherche ont montré que, dans presque tous les cas, le choix se porte sur les deux principales solutions qui suivent :

- **Appareils laser**
- **Appareils à ultrasons**

Les deux technologies ont des avantages et des inconvénients l'une par rapport à l'autre ; ci-après, les caractéristiques de chacune seront présentées, en mettant plus particulièrement l'accent sur celles qui peuvent influencer de manière positive ou négative sur le choix final.

2.1 Appareils laser

Au cours des dernières années, la communauté hydrographique internationale a été de plus en plus attentive au développement de techniques de télédétection terrestre appliquées aux relevés côtiers : parmi celles-ci, figurent les relevés par laser aéroporté, à savoir l'utilisation d'un appareil volant (en général, un drone) qui, en survolant la zone au-dessus du fond à analyser, en acquiert les données par le biais

d'ondes laser. Sur des eaux peu troubles, cette technologie s'est avérée nettement plus avantageuse que les techniques plus classiques qui utilisent des bateaux, aussi bien en termes de coûts que de réduction des risques liés à la navigation dans des eaux potentiellement basses et peu connues.



Les capteurs bathymétriques basés sur cette technologie peuvent être simplifiés en quatre composants principaux :

- le récepteur GPS pour la position de l'appareil volant
- la plateforme inertielle (IMU) pour le roulis, le pas et le lacet
- le scanner laser qui émet le signal
- le capteur qui lit le signal de retour

En connaissant la position et l'orientation de tous ces composants, il est possible d'effectuer des mesures précises qui sont ensuite enregistrées par le système. Certains de ces capteurs peuvent mesurer plus de 100 000 points par seconde, renvoyant plus de 10 points par mètre carré en eau peu profonde.

2.1 Appareils à ultrasons

La deuxième catégorie de techniques de mesure de la bathymétrie utilise la technologie des ultrasons, grâce à l'utilisation de bateaux équipés d'échosondeurs.

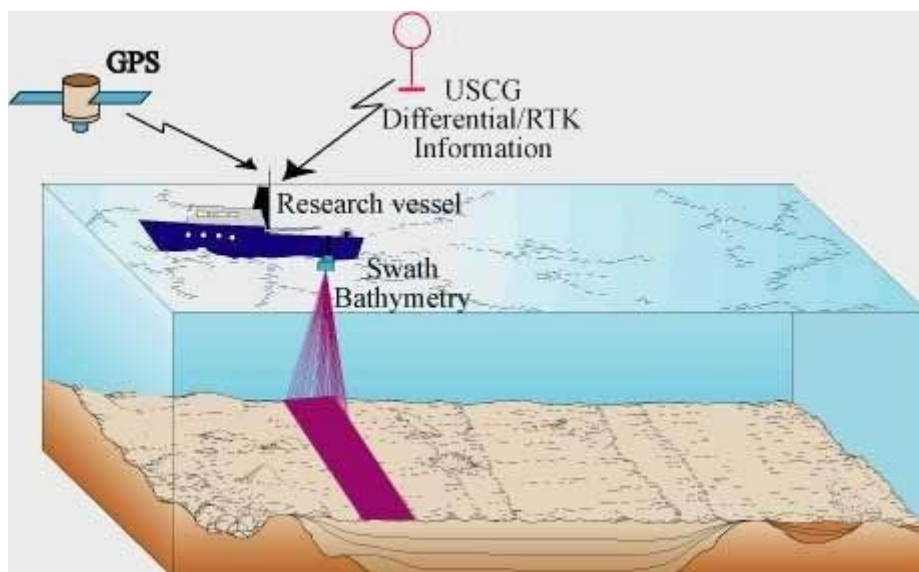
2.2 Techniques

Les sections d'échosondage sont parcourues avec un bateau qui se déplace à une vitesse faible et constante le long de routes préalablement identifiées. Pour ce type de relevés, on utilise généralement de petits bateaux à faible tirant d'eau, en ce qu'ils doivent s'approcher le plus possible de la rive.

Pour le relevé bathymétrique, on utilise un système d'acquisition de données automatique et numérique, avec positionnement du bateau en temps réel à l'aide de

la technologie GPS, et correction des coordonnées via un modem radio. Ce système permet de procéder au relevé des lignes sans aucun alignement et d'obtenir une correction instantanée de la profondeur.

Le GPS embarqué transmet en temps réel, à des fréquences très élevées, les coordonnées au logiciel de navigation.



L'opérateur sur le bateau dirige le navire en suivant les instructions sur l'écran de l'ordinateur, sur lequel est également affiché le tracé qui représente la ligne théorique sur laquelle effectuer les relevés et la position en temps réel du bateau.

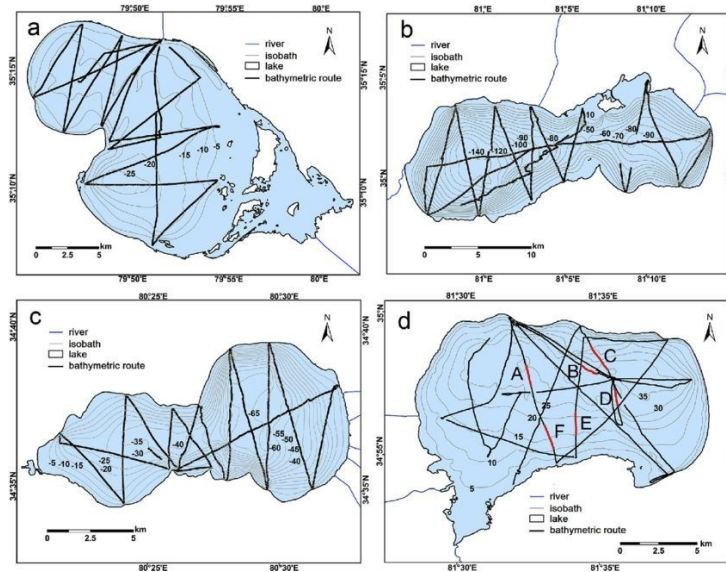
Une fois le navire aligné avec la section sur laquelle effectuer les relevés, l'opérateur suit, de la manière la plus précise possible, la ligne de projet affichée, commençant l'acquisition des données. Le système affiche également les déviations, la vitesse en nœuds, l'angle de braquage, la distance depuis le début et depuis la fin de la route, le numéro de l'événement et d'autres valeurs utiles au relevé.

2.2.1 Appareils

On distingue deux types d'échosondeurs pour ce type de relevé : les **échosondeurs monofaisceau (SBES)** et les **échosondeurs multifaisceaux (MBES)**.

Les relevés bathymétriques côtiers au moyen d'un échosondeur à **monofaisceau** sont effectués en suivant les lignes de profil tracées selon le projet, qui sont

généralement perpendiculaires à la côte, complétées par d'autres routes perpendiculaires aux routes précédentes, utiles pour l'activité de contrôle.

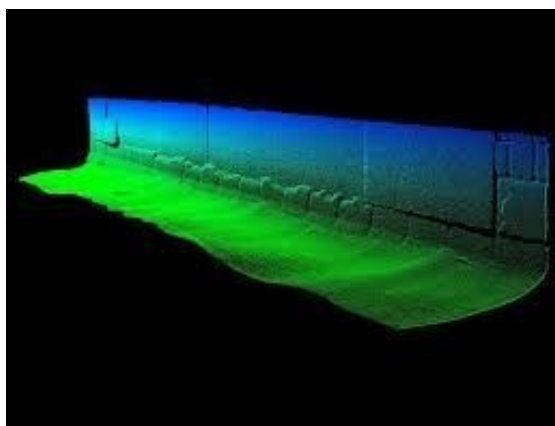
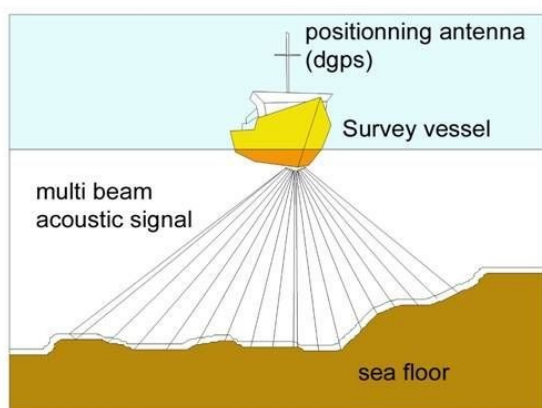


Cette procédure s'avère nécessaire lorsque le faisceau d'ultrasons émis par cet appareil est très étroit et qu'une seule impulsion ne permet donc pas de couvrir une très grande surface.

Les relevés au moyen d'un échosondeur monofaisceau, en particulier dans les fonds sableux, n'ont pas toujours besoin d'une exactitude centimétrique sur la position. Les instruments DGPS de précision submétrique sont souvent suffisants pour obtenir d'excellents résultats.

La technologie **multifaisceaux** est très sophistiquée et capable de fournir des niveaux très élevés en termes de quantité et qualité en ce qui concerne les informations générées.

Avec cet instrument, on passe d'une acquisition par points uniques (monofaisceau) le long de la route de navigation (échosondeur classique) à une acquisition continue qui utilise un grand nombre de faisceaux en même temps, couvrant une bande latérale du fond égale à au moins deux - quatre fois la profondeur analysée.



La résolution est très élevée et permet d'identifier des structures du fond, même de petites dimensions, et d'en suivre la continuité.

Dans ce cas également, la navigation est assistée par un GPS de précision en mode RTK. En outre, pour garantir l'exactitude potentielle de l'instrument, il est nécessaire de se doter de capteurs de mouvement pour la compensation du roulis et du tangage, ainsi que d'une boussole gyroscopique de haute précision pour corriger la direction. Des étalonnages appropriés permettent également de corriger les données acquises. En plus de permettre un gain de temps considérable sur de grandes surfaces, ce type d'acquisition permet de connaître, de manière plus précise, la morphologie réelle du fond marin avec ses profondeurs bathymétriques, ces dernières étant obtenues par des mesures directes et non pas par interpolation (comme c'est le cas des données générées par l'échosondeur monofaisceau).

En général, les relevés prévoient une couverture totale de la zone examinée, laquelle est assurée par un balayage le long de lignes parallèles qui prévoient un chevauchement des données des différents balayages.

Pour des applications spécial, le transducteur multifaisceaux peut être incliné latéralement, de manière à permettre de relever le fond mais aussi les quais portuaires et le talus des ouvrages de défense, du pied ce ceux-ci du même jusqu'à presque la surface de l'eau (sonar latéral).

Le relevé au moyen de l'échosondeur multifaisceaux, qui comporte évidemment un coût plus élevé, est utilisé lorsque l'on souhaite obtenir des détails précis sur le fond marin ou lorsqu'il est nécessaire de couvrir la totalité du fond marin afin de calculer avec une plus grande précision les variations volumétriques du dépôt sédimentaire

3. Comparaison et choix de la technologie

Sur la base de ce qui précède, il est désormais possible d'analyser la solution qui convient le mieux aux finalités de ce projet en fonction des paramètres de faisabilité, des coûts, du respect des exigences et des problèmes en termes de routine et maintenance des systèmes.

3.1 Laser aéroporté

La bathymétrie laser aéroportée (ALB, de l'anglais Airborne Laser Bathymetry), une technique de télédétection pour la collecte de données dans des eaux peu profondes utilisant une lumière laser, s'est rapidement imposée ces dernières années. Bien que la principale application de l'ALB à l'état de la technique consiste à examiner les masses d'eaux intérieures (rivières, lacs), cette technologie est tout de même capable d'effectuer des mesures en milieu côtier. Cela a été possible en raison de deux facteurs principaux : l'augmentation de la fréquence de mesure a conduit à une densité d'échantillonnage beaucoup plus élevée (plusieurs dizaines de points par m²), tandis que le rétrécissement du diamètre du faisceau laser a entraîné une plus grande précision, atteignant environ 0,5 mètres à une hauteur de vol de 500 m contre les 2-5 mètres d'il y a quelques années. Ces paramètres ont permis de collecter des données, y compris dans des zones étroites et critiques, telles que des petits canaux ou baies. L'un des principaux avantages de l'ALB est la couverture de la zone avec une densité de points qui est forte et homogène, quelle que soit la profondeur réelle de l'eau (dans les limites, bien évidemment, des profondeurs modestes telles que celles du littoral), un résultat que seuls les échosondeurs à ultrasons étaient à même d'atteindre. Un autre avantage réside dans la possibilité d'effectuer des mesures sans avoir à rester effectivement en contact avec l'eau et à devoir déployer un navire pour la collecte de données, un aspect très important dans le cas de zones à haute sensibilité écologique. Cependant, la résolution du laser est incontestablement limitée par un diamètre minimum du faisceau en dessous duquel il risque d'être néfaste pour les yeux en cas de roulis/tangage ou, parfois même à cause d'une réverbération partielle sur l'eau, un problème qui peut quoi qu'il en soit être évité grâce à l'utilisation de faisceaux plus étroits avec des impulsions sans danger pour les yeux.

Pendant de nombreuses années, l'un des problèmes fondamentaux de ce mode opératoire a été le coût élevé lié au transport du dispositif sur un appareil volant (des hélicoptères étaient souvent utilisés), et c'est en effet l'avènement de drones faciles à manœuvrer à distance qui a été le principal catalyseur qui a fait en sorte que cette

technologie soit beaucoup plus utilisée qu'auparavant.

3.1.1 Le système

Le système ALB comprend généralement 3 éléments principaux : le capteur laser, un appareil de navigation qui intègre à la fois un système de mesure inertielle (IMU) pour la détection des roulis et tangages lors de l'inspection et un système de navigation par satellite (GNSS), et bien sûr un drone pour transporter l'instrumentation au-dessus des zones à inspecter.

Capteur laser

Le capteur laser fonctionne sur la base du mécanisme de réflexion et détermine la distance depuis le fond en fonction du temps mis par l'impulsion laser pour revenir après avoir été émise.

Ce capteur est généralement basé sur un mécanisme optique biaxial avec une distance maximum de 5 cm entre l'axe de transmission et l'axe de réception.

Le transmetteur est un laser à impulsions courtes fonctionnant à environ 530 nm avec une fréquence d'impulsions de 4 kHz. Le récepteur est quant à lui constitué d'un panneau avec une ouverture de 3,5 cm

Pour éviter toute perte de données liée à la transmission sans fil, il est presque toujours préférable d'adopter un dispositif de stockage interne capable de stocker toutes les informations sur les formes d'ondes relatives à chaque impulsion ; il s'agit d'une grande quantité de données mais la légère augmentation des coûts est plus que justifiée par la robustesse de la solution, ce qui évite dans presque tous les cas d'avoir à effectuer à nouveau les mesures en raison d'une perte de données.

Afin de réduire la charge de calcul dans la phase de post-traitement (qui, dans tous les cas, doit être effectuée), le laser est généralement incliné de 7 à 8°, de sorte que le signal réfléchi revienne au capteur dans la position dans laquelle il s'est déplacé entre-temps.

Système de navigation

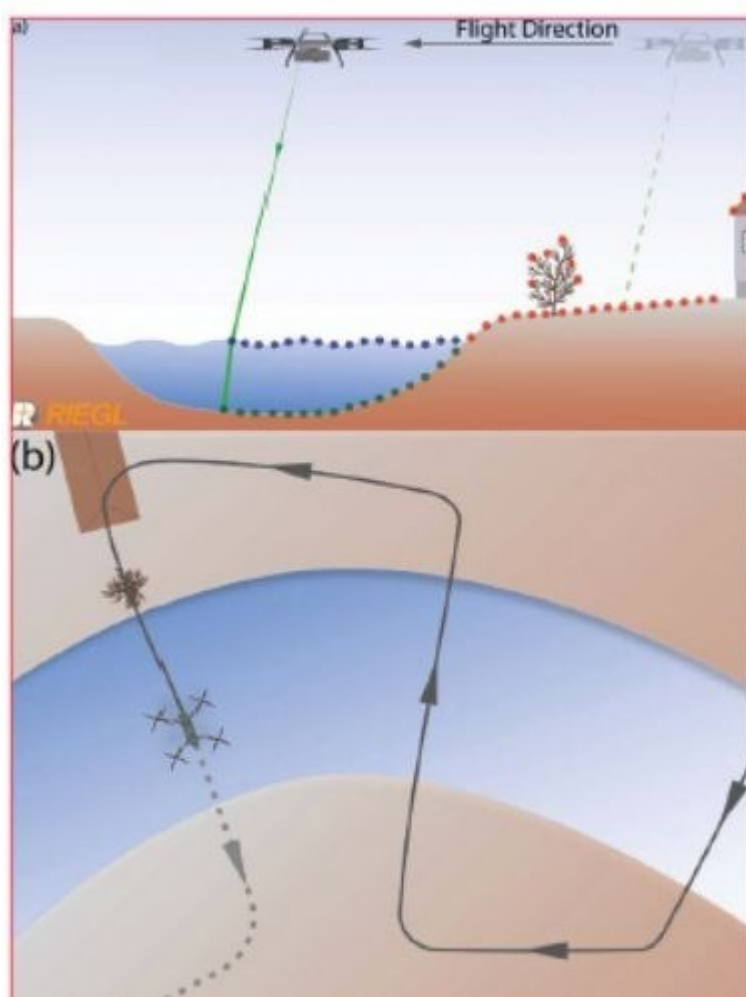
Le système de mesure inertielle doit être monté aussi près que possible du capteur laser afin d'évaluer avec précision ses déplacements, tandis que le système par satellite dispose généralement d'une antenne placée au-dessus de l'appareil volant, précisément au-dessus du capteur. Le navigateur est utilisé pour déterminer et

surveiller à tout moment la trajectoire et l'orientation du drone, afin

- a. d'apporter d'éventuelles corrections lors de l'inspection et
- b. d'intégrer ces informations avec les données collectées par le capteur laser pour créer un nuage de points géoréférencé

Appareil volant

Le drone utilisé pour les inspections possède en général une capacité d'environ 25 kg pour éviter tout risque, tandis que l'autonomie doit être évaluée en fonction de l'ampleur de la mesure à effectuer. Si nécessaire, il est possible d'échelonner le balayage en plusieurs sessions afin de pouvoir recharger le drone.



3.1.2 Potentiel et limites

Les expériences et analyses récentes sur la technologie fondée sur les lasers aéroportés ont souligné la considérable validité de la solution, mais également certaines limites qui n'ont pas encore été éliminées.

Il ne fait aucun doute que ce système est potentiellement révolutionnaire, permettant des inspections rapides et non invasives ; l'introduction des drones comme moyen de

transport a grandement facilité son utilisation, et l'évolution technologique des capteurs a conduit à une réduction drastique de l'écart par rapport aux systèmes traditionnels basés sur des échosondeurs. De nombreuses expériences et articles scientifiques à ce sujet affirment atteindre facilement une précision centimétrique avec une marge d'erreur par rapport au sonar de 3 à 5 cm. L'annexe A présente une expérience de collecte de données bathymétriques réalisée par l'Université de Stuttgart en 2017 qui montre des résultats importants en termes de précision et d'utilisabilité des données.

L'un des principaux inconvénients de ce système de mesure par rapport aux systèmes de balayage plus traditionnels est le manque de données redondantes en ce qu'il n'y a aucun chevauchement de zone entre les différentes impulsions. La redondance est un facteur important car elle est utilisée pour effectuer en temps réel un étalonnage du dispositif, ainsi qu'une meilleure analyse des erreurs sur la base du principe que la différence entre les deux mesures sur la zone chevauchée doit être nulle.

Une autre limite qui pose actuellement problème est que le positionnement est uniquement pris en charge par le système GPS à bord de l'appareil volant, alors que sur les bateaux, il est généralement bon d'avoir des données sur l'exactitude de la position à l'aide d'un radar et/ou de références satellites au sol.

Enfin mais pas des moindres : le problème lié à la sécurité en milieu portuaire : s'agissant d'une zone densément peuplée, tant en termes de personnes que de bateaux, il est nécessaire que le drone soit piloté par des mains expertes et que l'appareil volant offre des certitudes en termes de fiabilité.

En conclusion, cette technologie prend pied de plus en plus rapidement dans le domaine des mesures hydrographiques, générant même de bons résultats. Cependant, les faisceaux laser sont (pour l'instant) plus adaptés aux relevés en eaux calmes et peu troubles comme celles des lacs, en ce que leur signal est gravement affecté en présence d'une eau agitée (éventualité plus que fréquente, en particulier dans les zones portuaires), et la précision peut elle aussi être affectée par la vitesse de l'eau que le faisceau doit traverser.

Un autre obstacle est représenté par le fait que, pour ce type de mesure, il serait nécessaire d'avoir recours à un opérateur capable de piloter le drone avec une certaine précision, une condition assez difficile à remplir.

3.2 Échosondeur monofaisceau

La technologie monofaisceau est certainement l'une des techniques les plus utilisées dans l'histoire pour l'inspection des fonds marins et lacustres, en raison de son faible coût et de la simplicité d'installation et d'étalonnage du sonar et des appareils auxiliaires (GPS et accéléromètres).

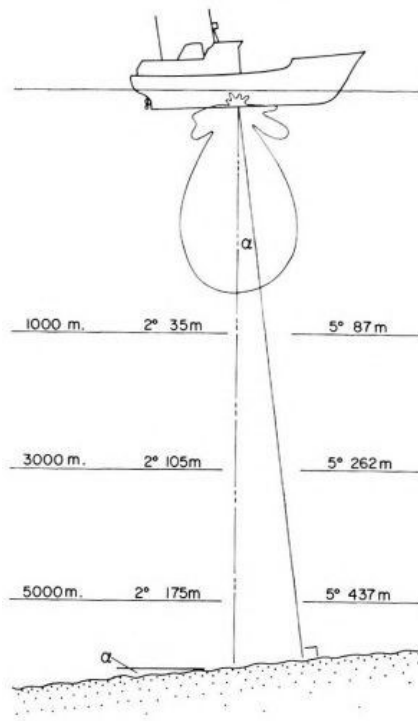
Le sonar monofaisceau mesure le temps d'aller et retour d'un signal acoustique entre son transmetteur/récepteur, appelé transducteur qui remplit la fonction de transmetteur et récepteur à des moments différents, et une cible qui est presque toujours le fond marin.

Le pouvoir de résolution d'une onde acoustique, comprise comme la distance minimum entre deux cibles (objets à réflexion acoustique) bien visibles de manière distincte, correspond à l'ordre de grandeur de la longueur d'onde. Il est donc important de choisir la fréquence de travail en fonction des dimensions des objets à détecter : pour obtenir une résolution plus élevée du fond, il est nécessaire d'utiliser des appareils à même de générer des signaux avec des longueurs d'onde élevées, un critère qui se répercute sur la dimension de l'appareil et sur la puissance nécessaire pour générer de telles ondes.

Un autre facteur important pour le pouvoir de résolution est la largeur du faisceau d'onde émis par le sonar. Un faisceau conique étroit est idéal pour des fonds bas et uniformes, un faisceau large tend à fournir une information moyenne sur la zone éclairée.

Le signal réfléchi par un fond incliné ne peut pas être capté par le récepteur qui est également le transmetteur (à faisceau étroit).

Le sonar à faisceau large risque quant à lui de capter des échos latéraux dus à des cibles non importantes.



La cooperazione al cuore del Mediterraneo

La coopération au cœur de la Méditerranée

Cependant, tel que montré à la figure ci-dessus, le sonar à monofaisceau présente une contre-indication pour l'exploration de fonds moyens-larges : l'impossibilité de couvrir une surface raisonnable à chaque impulsion : comme on peut le voir, à une profondeur de 1000 mètres, le faisceau atteint une largeur d'environ 50 mètres qui, lorsqu'immergé à une profondeur plus cohérente avec le milieu portuaire (20 cm max.) se traduit par un balayage de 10 cm maximum par impulsion, ce qui oblige à programmer des routes très denses, faisant perdre encore plus de temps.

Comme mentionné précédemment, l'installation et l'étalonnage de ce type d'instruments est assez simple et repose sur une technique appelée **étalonnage à barre fixe** qui consiste simplement à placer une barre sous le sonar à une distance connue, de manière à la comparer avec celle détectée par le sonar et éventuellement étalonner à nouveau le dispositif.

En pesant le pour et le contre de cette solution, on s'aperçoit qu'elle présente des limites qui la rendent moins optimale pour le cas qui nous intéresse pour deux raisons principales : la première concerne la précision requise lors de l'exploration, car la collecte de données par un monofaisceau repose sur un système d'interpolation de points et non sur un balayage continu, ce qui pourrait représenter un problème dans une zone portuaire au fond très irrégulier et nécessitant ces informations pour éviter le risque d'être heurté par des navires au tirant élevé qui s'approchent de la côte ; La seconde raison concerne la surface de la zone à explorer : ses grandes dimensions font qu'il faudrait d'abord effectuer une planification minutieuse et précise des routes que le pilote à bord du bateau équipé devra ensuite suivre avec attention, mais surtout, la couverture de l'ensemble de la zone portuaire demanderait vraisemblablement plusieurs semaines.

3.3 Échosondeur multifaisceaux



Figure 5 : Sonar multifaisceaux avec capteurs de mouvement et de vitesse du son déjà intégrés

Bien que leur installation soit facile et peu onéreuse, en plus d'être faciles à utiliser, les systèmes monofaisceau présentent un certain nombre de limites critiques qui les rendent inadaptés aux travaux d'inspection bathymétrique à grande échelle. Ces limites ont été la principale cause à l'origine du développement de systèmes plus complexes basés sur l'échosondage multifaisceaux (MBES).

L'exploration du fond marin à l'aide d'échosondeurs multifaisceaux (MBES) est une pratique qui gagne du terrain depuis quelques années. Avant leur apparition, le coût de ces instruments et leur utilisation difficile faisaient qu'ils ne pouvaient être utilisés que par des entreprises spécialisées dans le secteur, à même d'amortir les coûts d'instrumentation et de création du savoir-faire.

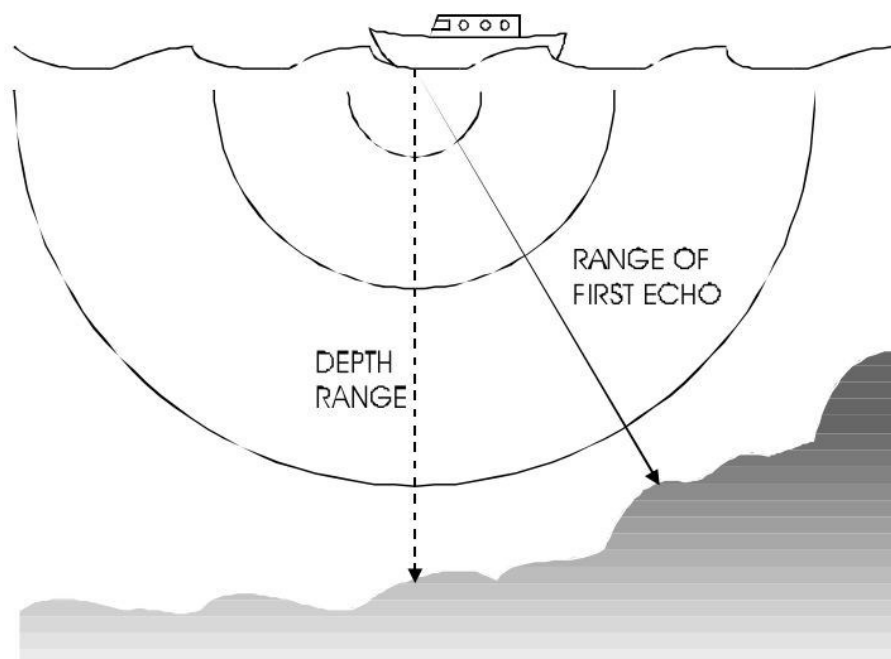
Ces derniers temps, cette instrumentation a toutefois été progressivement rendue plus accessible à un plus grand nombre d'utilisateurs, grâce à la réduction des coûts (toujours supérieurs aux solutions basées sur des monofaisceaux) et surtout grâce au fait que l'installation et l'utilisation du système ont été grandement simplifiés.

En effet, le marché propose désormais des dispositifs intégrant déjà tous les capteurs auxiliaires nécessaires à une bonne collecte de données, accompagnés de logiciels capables d'effectuer un post-traitement de celles-ci, qui peuvent ensuite être exploitées pour créer des cartes bathymétriques complètes.

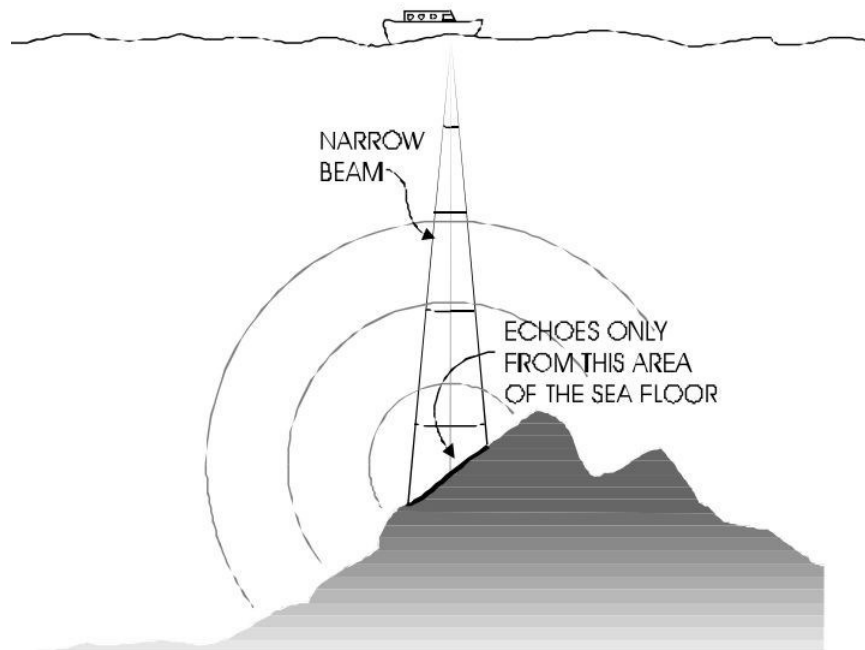
Les levés bathymétriques à grande échelle ont pour but de produire des mesures de profondeur précises sur un grand nombre de points aussi proches que possible les uns des autres, afin de créer un nuage de données pouvant être utilisé en vue d'une analyse hydrogéographique ; afin que cette activité soit la plus efficace possible, il faut être en présence de deux exigences que le monofaisceau n'est pas à même de satisfaire : produire des mesures précises de points bien définis sur le fond marin en termes de longitude et de latitude et le faire dans un délai raisonnablement court.

Positionnement bien défini

De par sa construction, un capteur à monofaisceau calcule la profondeur du fond en fonction du temps écoulé entre l'envoi d'un signal et son retour, et prend bien évidemment en compte la première impulsion qui revient, c'est-à-dire celle réfléchie à partir du point le plus proche du fond. Si, pour un fond idéalement plat, cela signifie effectivement mesurer le fond exactement sous le sonar, on ne peut en dire autant pour un scénario plus réaliste dans lequel le fond présente de grandes irrégularités ; on risque ainsi de relever la distance par rapport à un point qui n'est pas celui perpendiculaire au dispositif.



Toujours dans le domaine des relevés avec monofaisceaux, ce problème a été en partie résolu grâce à l'utilisation de l' **échosondage à faisceau étroit**, qui en effet rétrécit le faisceau émis et empêche la réflexion du signal depuis des points éloignés de l'axe perpendiculaire effectif.



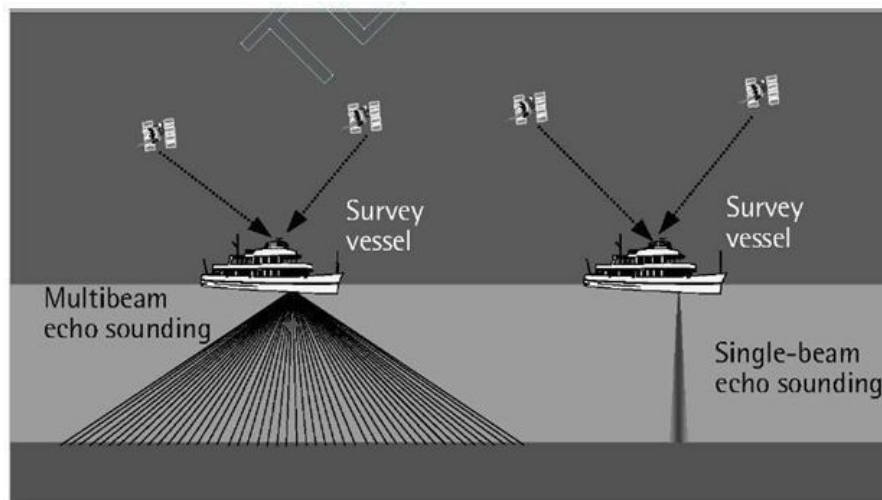
Cependant, cette solution pose le problème de la susceptibilité à la mobilité de la mer : les vagues provoquent un mouvement oscillant pouvant amener le faisceau dans une position oblique avec pour effet de mesurer des points inappropriés.

Temps nécessaire au relevé bathymétrique

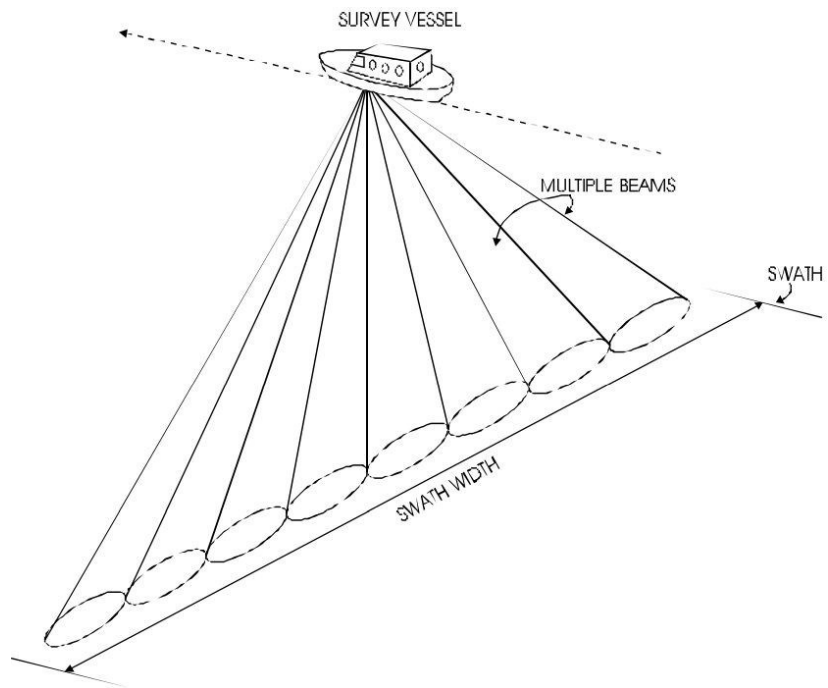
Pour éviter d'utiliser trop longtemps des ressources technologiques et humaines coûteuses, le relevé bathymétrique doit durer le moins longtemps possible. Comme indiqué précédemment, le monofaisceau ne parvient pas à couvrir une surface suffisamment large pour permettre au bateau sur lequel il est monté de parcourir des routes aux mailles larges et/ou à des vitesses raisonnablement élevées.

Le MBES présente un fonctionnement similaire à son homologue, le monofaisceau, à la différence qu'il est capable d'envoyer simultanément plusieurs faisceaux avec des angles différents et parvient ainsi à couvrir une surface beaucoup plus grande en un seul passage, en plus d'effectuer un balayage des quais ou d'autres éléments

verticaux ou presque verticaux.



En effet, le travail effectué par un seul échosondeur à faisceau étroit est effectué plusieurs fois sur plusieurs zones en même temps. Ces points du fond sont ensuite rassemblés de manière à cartographier une zone continue du fond. Dans le jargon technique, cette zone est appelée « fauchée » (swath), et la dimension de cette fauchée, appelée « swath width », peut être mesurée en termes de largeur absolue ou d'angle d'ouverture.



Cela simplifie considérablement les opérations d'exploration puisqu'une simple fauchée d'un appareil multifaisceaux est à même de couvrir la surface couverte par 100 impulsions d'un monofaisceau.

Comparée aux instruments monofaisceau, cette solution présente toutefois des inconvénients : le premier est de nature économique, puisqu'une technologie aussi supérieure présente un coût proportionnel à celle-ci ; mais il est également vrai que les entreprises du secteur hydrographique ont commencé à mettre sur le marché des produits au budget beaucoup plus réduit, ce qui rend ces systèmes de plus en plus avantageux compte tenu du rapport performances/prix.

Sur le plan technique, le plus grand obstacle est représenté par le fait que ces systèmes, très complexes, nécessitent un entretien plus important ainsi que des procédures simples de

4. Choix technologique final

Compte tenu de toutes les caractéristiques des différentes technologies actuellement disponibles, il est clair que les solutions basées sur des lasers ou échosonars monofaisceau présentent des limites en milieu portuaire, notamment compte tenu de l'objectif de ce projet, à savoir la mise en sécurité des embarcadères par un monitoring et, éventuellement des dragages du fond, qui ne peuvent être ignorés ; outre les limites techniques, ces solutions nécessiteraient d'avoir recours à des opérateurs dotés d'un savoir-faire spécifique qui ne peut être garanti dans le cadre de ce projet.

Bien que plus onéreuse et complexe que les deux autres solutions, l'utilisation de dispositifs sonar multifaisceaux offre des avantages qui justifient l'effort. L'annexe B présente un rapport intéressant sur une expérience réalisée en Norvège dans le cadre du projet MAREANO visant à démontrer la faisabilité d'un levé bathymétrique à l'aide de la technologie monofaisceau. Dans la conclusion finale, on apprend qu'elle est clairement désavantageuse en termes de temps et de ressources utilisées, lesquelles ont nécessairement un impact sur le coût des opérations et réduisent la différence de coût globale par rapport à un système multifaisceaux. Autrement dit, le système multifaisceaux implique un coût initial considérable qui est toutefois amorti au cours des opérations, ce qui les simplifie considérablement.

C'est pourquoi le choix du projet ne peut reposer que sur la solution basée sur le sonar

multifaisceaux, la seule capable de fournir des informations appropriées sur l'état du fond et qui ne présente aucun obstacle à son adoption.

PARTIE 2

1. Introduction

Ce document fait suite au livrable précédent qui avait pour but de présenter l'état de l'art relatif aux technologies utilisées pour le monitoring de l'ensablement des ports. Le document précédent souligne que certains systèmes, même s'ils présentent des avantages indéniables, présentent des problèmes qui ne peuvent être ignorés dans le cadre du projet SE.D.RI.PORT ; nous en avons donc conclu que la technologie la plus appropriée est celle basée sur le sonar multifaisceaux.

Ce document a pour objectif de décrire les phases de recherche de l'instrumentation et une première expérience réalisée avec l'un des systèmes trouvés.

2. Étude des systèmes disponibles

Après avoir identifié la technologie qui nous intéresse, nous avons contacté des sociétés spécialisées dans le secteur hydrogéologique afin d'identifier les systèmes existants compatibles avec le choix effectué.

Plus précisément, nous avons contacté les sociétés **Kongsberg s.r.l.** et **Codevintec s.r.l.** qui nous ont toutes deux proposé deux types de solutions qui sont, à ce jour, les plus utilisées pour les balayages bathymétriques du fond marin : les systèmes multifaisceaux à installer sur des bateaux et drones aquatiques avec système de détection intégré

2.1 Systèmes pour bateaux

Les systèmes proposés par les deux sociétés sont très similaires et reposent sur une solution intégrant un sonar qui doit être connecté à une unité à même de recevoir non seulement les données du sonar, mais également celles de tous les capteurs auxiliaires (capteurs de mouvement, GPS, etc.) avant de les agréger et de les envoyer à un ordinateur portable ordinaire sur lequel a été installé un logiciel de traitement des données.

Les produits proposés sont le *Kongsberg GeoSwath4*^[1] et le *Teledyne SeaBat T20*^[2] (distribué par Codevintec).

<https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/AA3FAF5EEADC6020C125762B0050914C?OpenDocument>

<http://www.teledynemarine.com/seabat-t20-p>



2.1.1 Teledyne SeaBat T20

Le Teledyne SeaBat T20 est un système bathymétrique multifaisceaux distribué en Italie par Codevintec et produit par ERSON, la division maritime de Teledyne.

Depuis près de 30 ans, RESON est l'un des fournisseurs les plus célèbres et les plus appréciés en ce qui concerne les technologies sonar avancées, qu'il s'agisse de monofaisceaux et multifaisceaux, pour les mesures hydrographiques à haute résolution.

La gamme de produits T20-P est conçue sur la base de la technologie évolutive dernière génération, à même d'évoluer et d'intégrer, dans le temps, de nouveaux services au fur et à mesure qu'augmentent les besoins de l'utilisateur. Le T20 est une excellente solution aussi bien pour les petites plateformes d'inspection que pour les grands bateaux, grâce à la grande portabilité avec laquelle il a été conçu, qui lui permet de couvrir une large éventail d'utilisations et d'applications. Les principales caractéristiques de ce dispositif sont la possibilité de configurer la densité des faisceaux, la détection de la colonne d'eau et le balayage intelligent qui permet

La cooperazione al cuore del Mediterraneo

La coopération au cœur de la Méditerranée

d'économiser de l'électricité et de gagner du temps, en présence de fonds qui ont tendance à être plats et uniformes.

Ce produit a été conçu pour être utilisé même dans des conditions extrêmes, comme en cas de mer agitée et de pluie, même sur des bateaux très petits et ouverts, où le risque d'être rempli d'eau est très élevé : en effet, le système est certifié IP54.



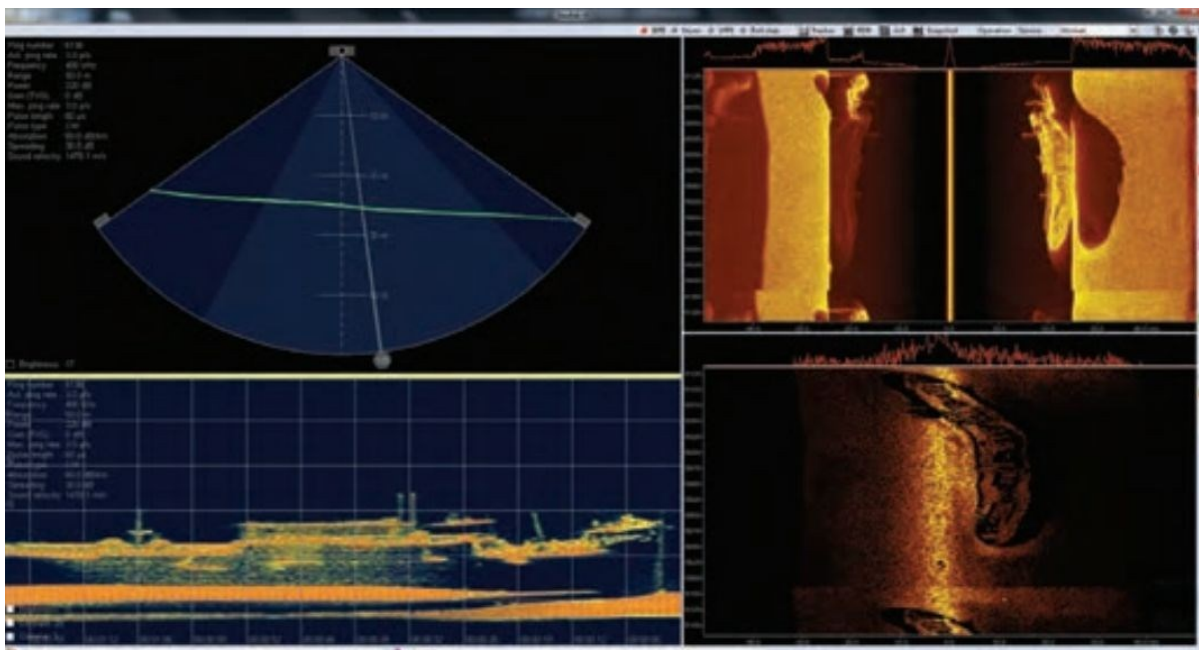
Une autre caractéristique importante de ce système, qui le différencie des autres de sa catégorie, est la possibilité d'acquérir, de traiter et de marquer en interne des informations sur les données du capteur, en épargnant cette opération au logiciel de post-traitement.

Cette caractéristique se traduit par une étude du fond très optimisée en termes de temps, puisqu'il est possible de personnaliser les préférences et le type d'acquisition sans que cela n'affecte (ou très peu) les performances, ce qui en fait un instrument extrêmement polyvalent et adapté à de nombreux domaines d'application. En outre, la phase de post-traitement est elle aussi grandement simplifiée, en ce qu'elle permet de se concentrer sur l'exploitation des données plutôt que sur leur traitement.

Le Teledyne T20 est également capable d'effectuer un type de balayage « rétrodiffusé », visant à caractériser le fond en créant une image de tout ce qui s'y

trouve. C'est pourquoi il convient également aux recherches écologiques environnementales afin d'identifier aussi bien la faune qui habite dans ces eaux que la présence d'objets qui pourraient se trouver au fond. À cette effet, ce produit a été équipé d'une fonction spécifique visant à identifier des conduites et des câbles sous-marins, et permettant ainsi de repérer d'éventuelles défaillances susceptibles de provoquer des dysfonctionnements dans les services.

L'interface logicielle a été développée de manière à être assez immédiate, tout en permettant de contrôler tous les paramètres de l'exploration effectuée. Le mode *multi-*



vue permet de contrôler, en même temps, aussi bien les données bathymétriques que les données de la colonne d'eau et de la rétrodiffusion, permettant ainsi de tout contrôler.

Ci-dessous, un résumé des caractéristiques techniques du T20 :

- Possibilité d'ajuster l'angle du transducteur à 1°x1°
- Imperméabilité (IP54)
- Alimentation électrique à 24 Vcc ou 100-230 Vca
- Fauchée configurable jusqu'à 165°
- Possibilité de définir jusqu'à 512 faisceaux
- Fréquence d'onde réglable de 200 à 400 kHz
- Production simultanée de bathymétries, rétrodiffusions et balayages latéraux

2.1.2 Kongsberg GeoSwath 4

Kongsberg Maritime est un géant international pour ce qui est des explorations et des communications maritimes. Le produit analysé, le GeoSwath4, est un système à l'avant-garde, doté de la technologie la plus avancée pour l'étude des fonds marins.

GeoSwath 4 est un système sonar pour la bathymétrie de larges fauchées, capable d'acquérir simultanément tant les données bathymétriques que les données de balayage latéral, c'est-à-dire les données sur les éléments verticaux tels que les quais ou les soutiens de ponts.

Conçu comme un système à deux transducteurs, il peut atteindre un angle de vue de plus de 240°, ce qui permet de couvrir, en une seule fauchée, une zone qui équivaut à 12 fois la profondeur de l'eau.

L'instrument GS4 convient aux explorations d'eaux peu profondes. Il existe en trois versions différentes qui varient en fonction de la fréquence des ondes sonar envoyées : les versions à 125, 250 et 500 kHz permettent respectivement de mesurer des eaux jusqu'à 200, 100 et 50 mètres. Le système peut être installé sur des bateaux dédiés ou peut être monté temporairement sur tout type de bateau, sur des attelages pouvant être installés à l'arrière, à l'avant, sur le côté ou sur la coque.

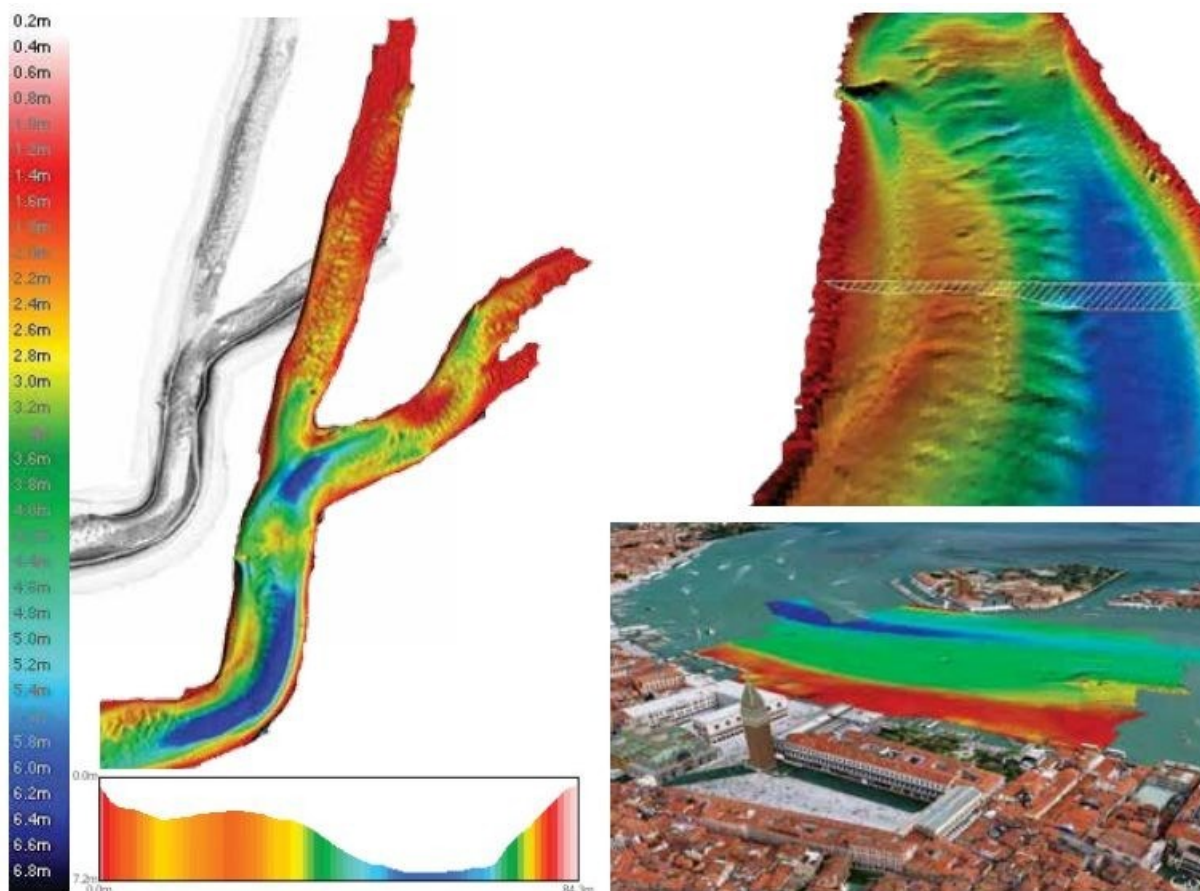
La version standard comprend un sonar à deux faces et une unité de pont dédiée à la collecte et à la transmission de données vers un ordinateur portable sur lequel a été installé le logiciel GeoSwath.

Ce logiciel permet la normalisation des données et la génération d'images bidimensionnelles et tridimensionnelles d'une manière simple et presque entièrement automatique. Il permet également d'exporter les données sous différents formats afin de pouvoir choisir le plus approprié au système de géoréférencement qui les exploitera.

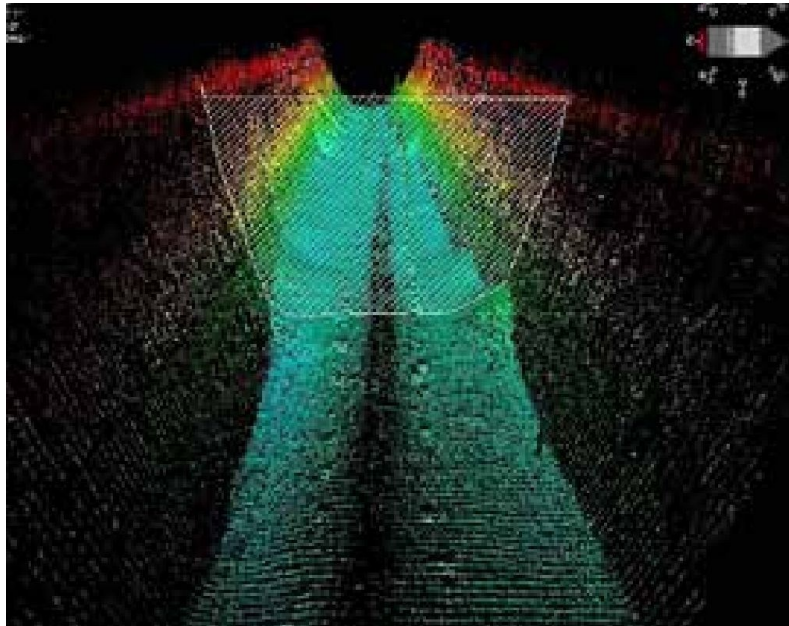
La largeur de la fauchée allant jusqu'à 12 fois la profondeur de l'eau fait du GeoSwath4 un outil plus qu'approprié aux levés en eaux peu profondes (comme les eaux portuaires). Il est généralement utilisé pour les utilisations suivantes :

- Levés hydrographiques
- Inspection d'infrastructures sous-marines
- Détection et cartographie d'objets et de débris
- Mesures détaillées pour le dragage et les constructions
- Études environnementales et cartographie de l'habitat
- Cartographie de ports, baies, canaux, lacs et fleuves
- Évaluations environnementales

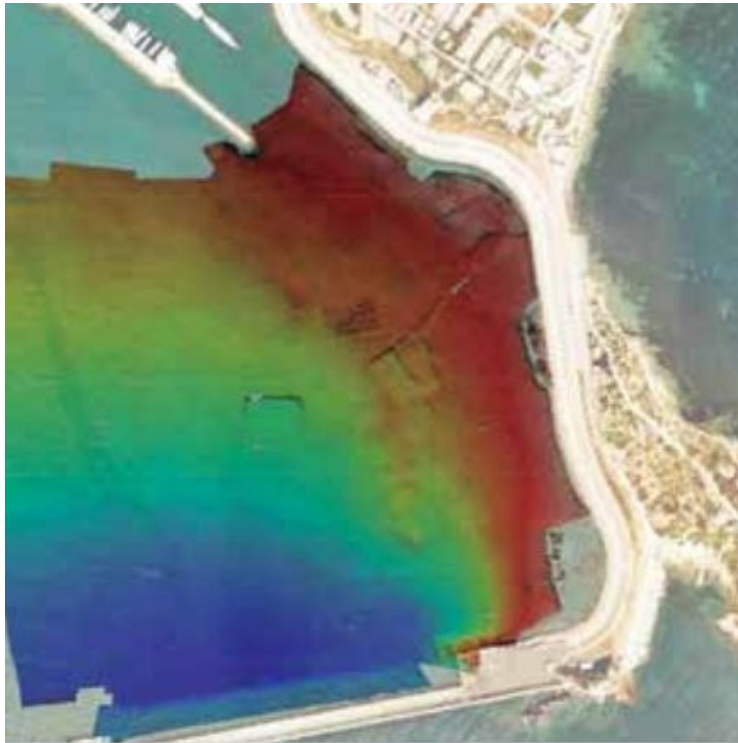
L'image ci-dessous est un exemple d'application du GS4 dans la lagune de Venise. Les lagunes constituent des milieux particulièrement difficiles à inspecter en raison d'eaux extrêmement basses (pouvant même être inférieures à 1 mètre) et de la présence de canaux très étroits.



Un autre exemple d'utilisation du système est celui du balayage du canal de Fremont, Seattle. L'angle de vue de 240° a permis d'inspecter le fond et ses limites latérales en un seul passage, bien que le canal présente une largeur de 40 mètres :



En milieu portuaire, citons l'exemple du levé effectué dans le port d'Ibiza en vue de la pratique des dragages :



La cooperazione al cuore del Mediterraneo

La coopération au cœur de la Méditerranée

Le tableau suivant résume les caractéristiques techniques du GeoSwath4 :

	125 kHz	250 kHz	500 kHz
Max water depth below transducers	200 m	100 m	50 m
Max swath width	780 m	390 m	190 m
Max coverage	up to 12 x water depth		
Depth resolution	6 mm	3 mm	1.5 mm
Two way beam width (horizontal)	0.85°	0.75°	0.5°
Transmit pulse length	128 µs to 896 µs	64 µs to 448 µs	32 µs to 224 µs
Max swath update rate	30 per second (range dependant)		

2.2 Systèmes intégrés dans un drone aquatique

Cette solution pourrait s'avérer très intéressante pour plusieurs raisons, tout d'abord pour la simplicité de configuration (presque inexistante) du système : en effet, contrairement aux systèmes installables, aucun capteur ne doit être étalonné, notamment en ce qui concerne la sensibilité et la position des autres, alors que dans le premier cas cet aspect doit faire l'objet d'une attention particulière. Deuxièmement, ce sont des appareils extrêmement compacts et légers, faciles à transporter, même à l'arrière d'un petit pick-up, qui ne nécessitent pas l'utilisation d'un bateau spécialement prévu à cet effet.

Cette solution présente toutefois un problème majeur, à savoir la possibilité réelle de déployer un drone dans une zone portuaire : une telle présence dans une zone remplie d'autres bateaux pourrait en effet poser des problèmes de sécurité, sans parler du signal (canal radio 2,4 GHz) qui pourrait être perturbé par d'autres réseaux sans fil actifs, voire par l'obstacle physique représenté par les bateaux amarrés.

2.2.1

Un exemple de ce type de système est représenté par le *Codevitec Seafloor-Echoboat*^[3].

³ <http://www.codevintec.it/echoboat-asv-it>



L'EchoBoat est une plateforme portable, qui peut être commandée à distance, conçue pour les missions de balayage hydrographique. Cet appareil peut être utilisé pour de nombreuses applications et notamment :

- Exploration de ports
- Exploration de lacs
- Exploration de fleuves
- Cartographie de la faune et de la flore aquatique
- Analyse de l'état de pollution des eaux
- Détection de mines (usage militaire)

Le système de commande à distance permet de commander le système jusqu'à 2 km de distance grâce à la télécommande à un signal de puissance élevée et une autonomie jusqu'à 8 heures d'utilisation ininterrompue à une vitesse de 3 nœuds avec une seule charge de batterie.

La fonction *AutoNav* permet également de programmer l'EchoBoat de manière à ce

qu'il se déplace en toute autonomie sur des routes prédéfinies tout en étant bien évidemment possible de le surveiller à distance via un système de télémétrie et de géolocalisation, avec la possibilité, si nécessaire, d'ajuster la route ou d'autres paramètres.

Bien que fourni en tant que système compact et autonome, l'EchoBoat peut être personnalisé à la demande : il est possible de modifier les capteurs et d'autres caractéristiques, voire demander à ce qu'il soit prédisposé pour l'utilisation de capteurs que l'utilisateur posséderait.

EchoBoat est également compatible avec de nombreux logiciels commerciaux d'acquisition tels que HYPACK, HYDROpro, QINSY et PDS2000.

Caractéristiques techniques :

- Dimensions du véhicule : 1,8 m x 0,9 m
- Vitesse maximum : 10 nœuds
- Alimentation : Batteries lithium-polymère 2x16 V
- Durée d'autonomie de la batterie : jusqu'à 8 heures
- Charge maximum : 70 kg
- Moteur : 2 propulseurs sans balai
- Poids : 31 kg
- Matériel : acier inoxydable
- Télécommande : Futaba 2,4 GHz avec antenne omnidirectionnelle
- Rayon d'action : 2 km
- GPS : RTK, GNSS, DGPS, indiqué par l'utilisateur
- Échosondeur : multifaisceaux, double fréquence, balayage latéral

3. Premières expériences : Kongsberg GeoSwath 4

Si l'applicabilité d'un système basé sur un drone aquatique est toujours en cours d'analyse, en ce qui concerne les systèmes à installer sur bateau, nous avons eu l'occasion de tester le **Kongsberg GeoSwath4**, après avoir contacté la filiale Kongsberg de Rome qui nous a loué le dispositif pendant une semaine.

Ce système se compose de 5 éléments principaux :

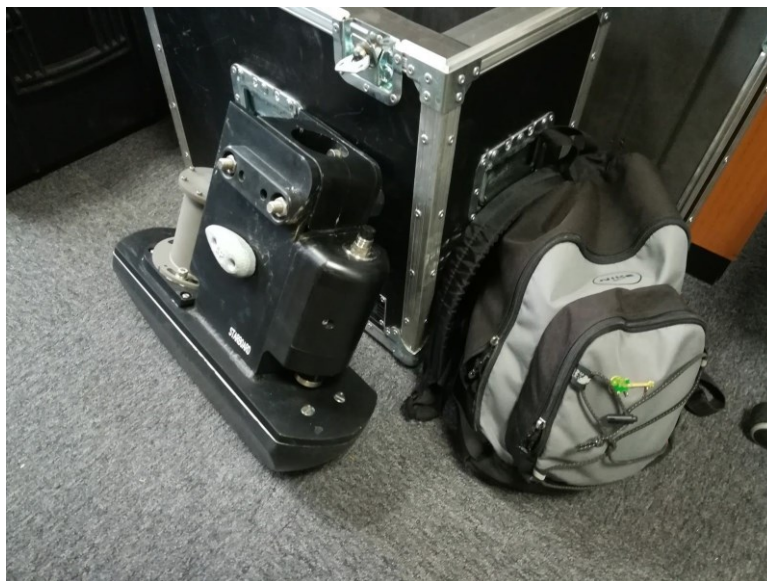
- Échosondeur
- Station d'accueil
- Récepteur GPS

- Mètre de colonne d'eau
- Logiciel GS4

3.1 Échosondeur GS4

L'échosondeur GS4 est un appareil relativement compact et léger (taille maximum 30 cm environ, pour un poids de 15 kg) qui intègre déjà les capteurs de mouvement pour la détection du roulis, du tangage et de la vitesse de l'eau qui influe inévitablement sur le comportement des ondes envoyées par l'appareil. Ces capteurs sont équipés de connecteurs imperméables qui se connectent à la station d'accueil.

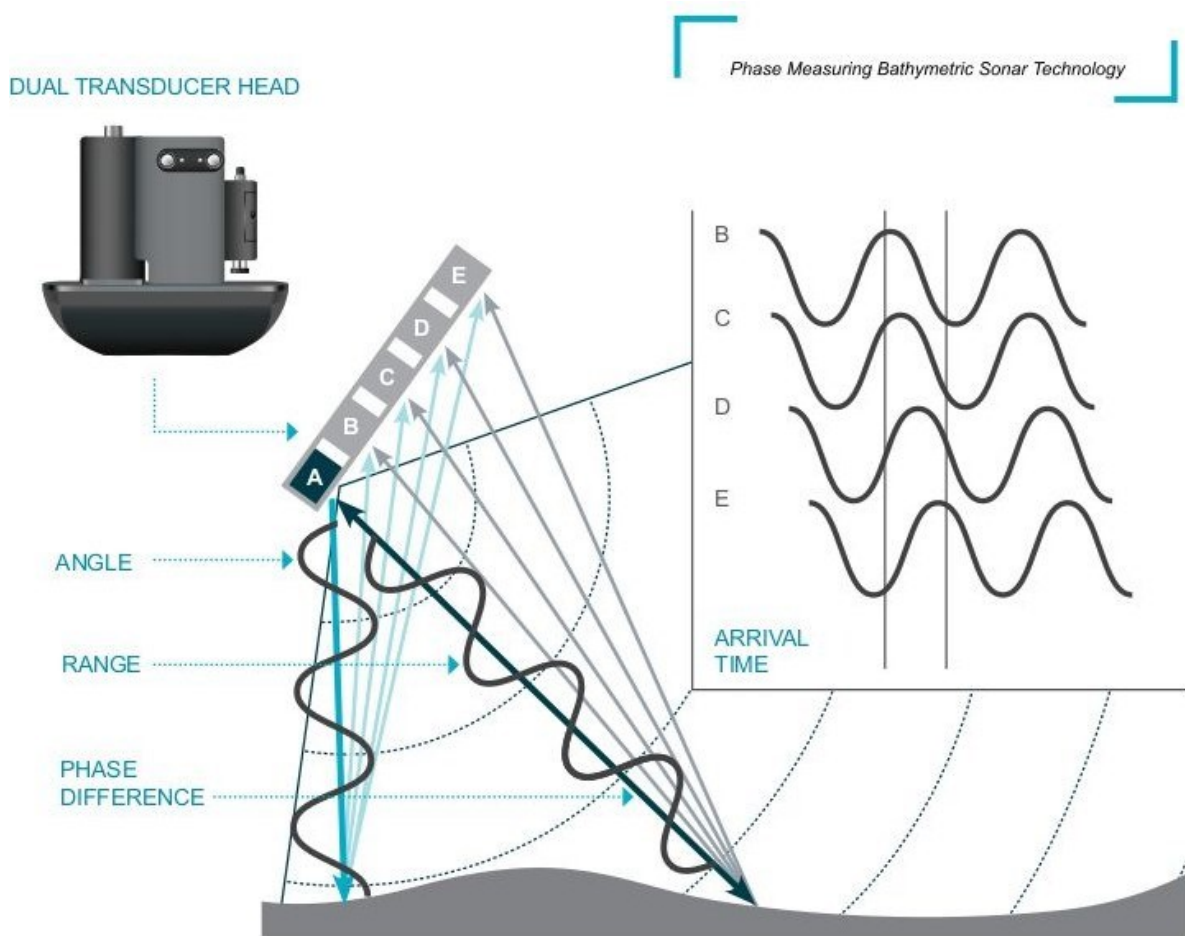
La version qui nous a été fournie est la version à 500 KHz, qui permet de balayer le fond jusqu'à 50 m de profondeur. Cette profondeur est amplement suffisante pour un premier test, mais il faudra voir s'il ne sera pas nécessaire d'obtenir la version à 250 kHz, légèrement plus encombrante et lourde, mais avec une marge de sécurité plus importante en ce qui concerne les mesures.



3.1.1 La technologie

Le dispositif est un système sonar de mesure bathymétrique basé sur la mesure de la phase. Il peut acquérir simultanément des données bathymétriques et de balayage latéral grâce à la configuration à deux transducteurs qui lui permet d'offrir un angle de vue de 240° avec pour effet de couvrir une zone équivalente à 12 fois la profondeur de l'eau.

Chaque transducteur dispose de 5 étriers en céramique, un pour la transmission et 4 pour la réception. Une fois la transmission effectuée, l'un des étriers de réception enregistre l'amplitude du signal réfléchi par le fond et l'utilise pour générer des données numériques y compris à l'aide des informations reçues des trois autres étriers ; en particulier, la phase du signal reçu par ces derniers permet de déterminer l'angle à partir duquel provient le signal. Chaque ping est capable de collecter des milliers de données distance-angle, assurant ainsi une très grande densité d'informations brutes.



Ce mécanisme permet d'obtenir une précision et une résolution extrêmement élevées (0,03° pour l'angle et une précision millimétrique pour la profondeur).

3.2: Station d'accueil

La station d'accueil se présente comme une sorte de gros commutateur, avec 6 entrées série et deux autres entrées spécifiques pour pour l'échosondeur. Cela permet éventuellement d'agrandir le système avec un bon nombre de capteurs et d'entrées auxiliaires. Il possède également un port Ethernet pour se connecter au PC sur lequel a été installé le logiciel de traitement.



3.3 Récepteur GPS

Le module GPS dont est équipé le système est un *Hemisphere V113*, fréquemment utilisé dans le domaine des levés hydrographiques en raison de sa grande précision et de sa facilité d'utilisation.



Cet appareil est équipé de la technologie GLONASS pour une capacité de localisation, de détection de la direction hautes performances, y compris en présence de conditions atmosphériques non idéales, lorsque le ciel est couvert et que le signal satellite est faible. Le boîtier est certifié IP69K afin de pouvoir être utilisé même par temps de pluie ou de mer agitée et contient deux dipôles croisés à multi-trajets, espacés de 50 cm, offrant lors de la détection de la direction, une précision de l'ordre de $0,3^\circ$ et une erreur de positionnement inférieure à 30 cm.

Une autre caractéristique fondamentale est la compatibilité avec les spécifications NMEA 0183 et NMEA 2000, les deux formats de données géolocalisées les plus utilisés par les logiciels d'analyse hydrographique.

Il est également équipé de capteurs de mouvement (gyroscopes, accéléromètres). Même si ces derniers sont redondants par rapport à ceux déjà installés dans le bathymètre, il est possible de les utiliser comme sources d'informations supplémentaires en cas de mesures peu nettes.

3.4 Mètre de colonne d'eau

Le paramètre communément appelé « colonne d'eau » désigne un ensemble de valeurs physiques, chimiques et biologiques qui influent inévitablement sur le comportement des ondes sonores dans l'eau. C'est pourquoi, avant de procéder à l'exploration, il est nécessaire de mesurer ces valeurs qui serviront à normaliser les données acquises lors du post-traitement. Un appareil spécial a été fourni pour effectuer cette mesure.



3.5 Logiciel d'acquisition et de traitement

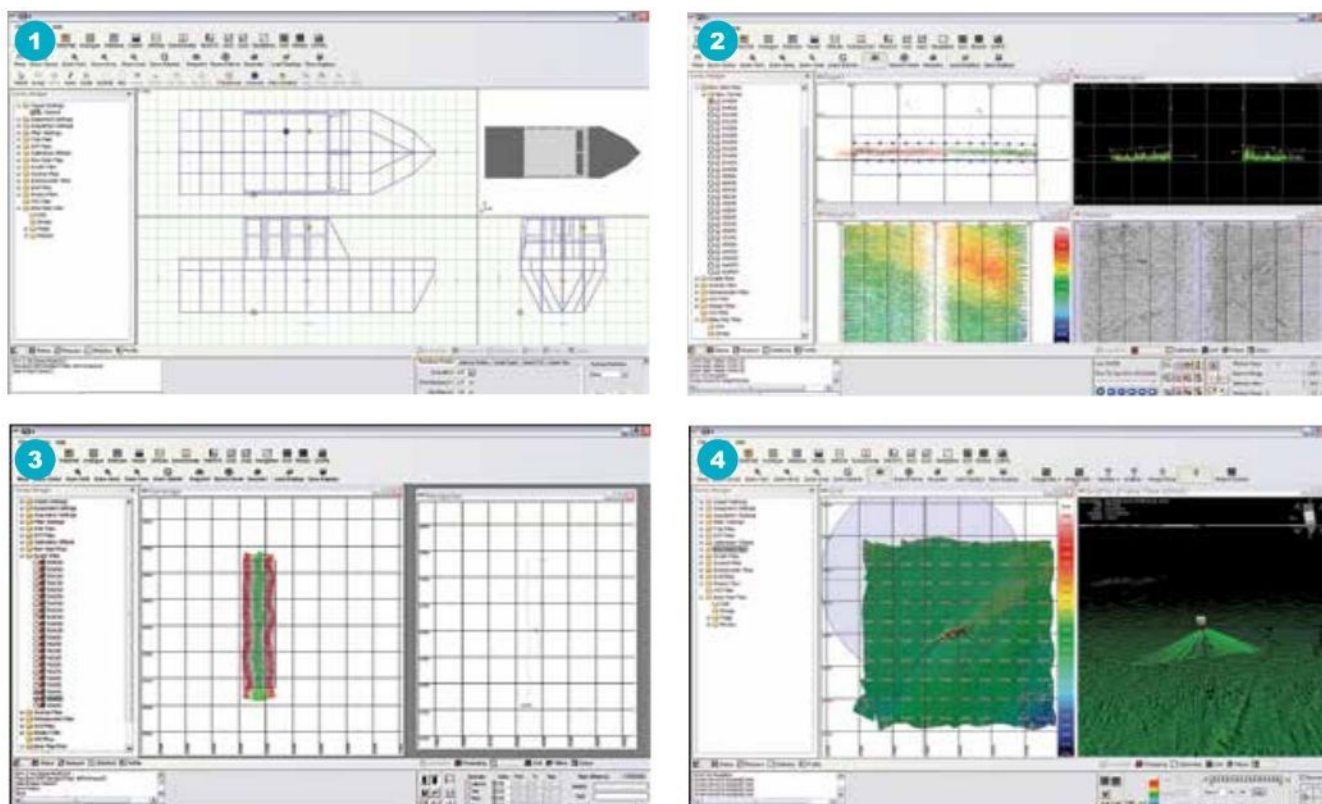
Le logiciel GeoSwath Plus, installé sur Windows XP, fournit une solution complète orientée vers le projet, qui comprend le contrôle, l'acquisition, l'enregistrement et la gestion des données du sonar et des données complémentaires, l'étalonnage, le traitement des données pas-à-pas, la représentation sur grille des données de bathymétrie, la constitution d'une mosaïque des données de balayage latéral et l'affichage 3D des données.

Le logiciel GeoSwath Plus est fourni avec le système et constitue un progiciel complet pour l'acquisition de données, l'étalonnage du système, le traitement des données et la génération de modèles numériques du terrain et de mosaïques pour le balayage latéral.

Le contrôle de la qualité et de l'affichage des données constituent un autre élément clé du progiciel.

Geoswath peut être connecté via Ethernet et utilisé par des logiciels hydrographiques tiers.

Les données peuvent être exportées dans la plupart des formats standard afin de pouvoir être traitées, visualisées et intégrées à de nombreux flux de process appartenant à différents domaines. Parmi ces processus, figure également le Generic Sensor Format, utilisé pour les algorithmes de traitement de type CUBE.



La figure ci-dessus montre certaines fonctionnalités du logiciel :

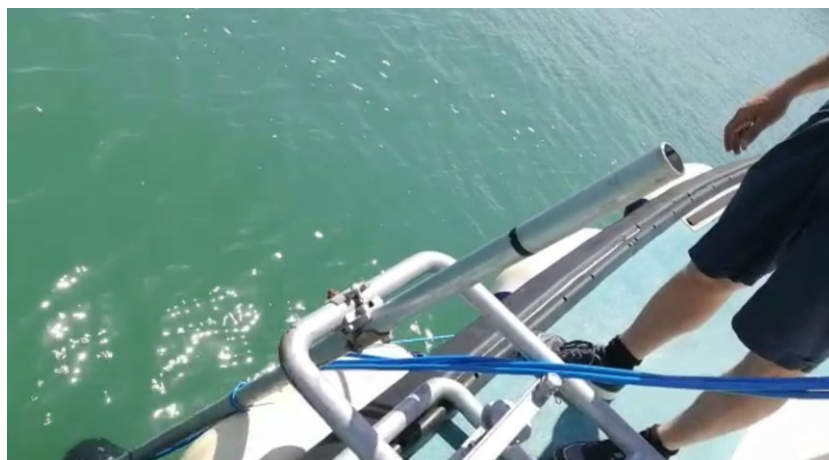
1. **Configuration du système** : une interface graphique permet de configurer correctement les paramètres relatifs au bathymètre ainsi qu'aux capteurs auxiliaires
2. **Traitement des données** : un ensemble de filtres spécifiques permet de supprimer les données impures et le bruit avant de transmettre les données au processus de cartographie
3. **Étalonnage du système** : Un système intelligent d'analyse de la zone sous-jacente simplifie l'étalonnage du système
4. **Affichage des données** : un ensemble d'outils d'affichage des données permet de représenter, sous forme graphique, les données bathymétriques et celles du balayage latéral, y compris en 3D

3.6 L'expérimentation

Le système a été testé la semaine du 23 au 27 avril ; cette expérimentation a vu la participation de M. Francesco Bisconti du CNIT avec la collaboration du corps des Pilotes du port de Livourne, tout en sachant que le premier jour a été utilisé pour se rendre au siège de Kongsberg à Rome avec un véhicule de location pour récupérer le système et l'amener sur le site de l'expérimentation (**Annexe A**).

La deuxième journée a été consacrée à l'installation du système, à bord du bateau pilote fourni par le corps des pilotes qui ont passé toute la journée sur le bateau et à l'atelier afin de préparer une structure de support suffisamment sûre à même de s'adapter aux crochets présents sur la pilotine.

L'installation latérale créée est montrée sur la photo ci-dessous :



Lors de l'installation du bathymètre, le système d'acquisition a également été prédisposé en vue d'un premier test. Malheureusement, la pilotine ne disposait pas d'une prise de 220 Vca pour l'alimentation du système.

Comme première solution, nous avons tenté d'acheter un inverseur permettant d'utiliser la seule source d'alimentation présente sur le bateau, à savoir une alimentation de 24 Vcc. Bien que la conversion ait réussi, l'inverseur n'a pas été en mesure de fournir une puissance suffisante (limitée à 150 W) pour alimenter le système. Nous en avons conclu qu'il aurait été nécessaire de disposer d'un groupe électrogène diesel.

Les deux jours suivants ont été consacrés à la configuration du système. S'agissant d'un système inconnu, il a été nécessaire de passer beaucoup de temps pour le comprendre, en examinant attentivement les manuels fournis avec les équipements

énumérés à l'**Annexe B** et en contactant fréquemment le service clientèle de Kongsberg situé au Royaume-Uni ; de ce point de vue, nous avons pu constater un niveau élevé de compétence et disponibilité du personnel.

Le 27 avril, il a enfin été possible de mener une expérimentation sur le terrain. M. Bisconti, avec le soutien de deux membres du corps des pilotes, a procédé à un balayage du pourtour de la jetée Mediceo à Livourne, une zone qui représente bien l'état moyen du fond du port de Livourne et qui présente des problèmes tels que des hauts-fonds et des surfaces verticales (quais).



Comme on peut le voir sur les images, le bathymètre n'était pas parfaitement perpendiculaire à la surface de l'eau et il n'a pas non plus été possible de positionner le GPS précisément au-dessus du capteur (il a donc été nécessaire de définir un offset sur la position en phase de post-traitement).

Néanmoins, le système a très bien réagi, parvenant à reconnaître et gérer un positionnement non optimal, ce qui montre que les capteurs de mouvement installés sur le bathymètre sont d'excellente qualité : l'échantillon prélevé (**Annexe C**) a en effet été comparé à un ensemble de données fournies il y a quelques mois au corps des pilotes et les résultats montrent une forte cohérence avec l'état réel du fond.

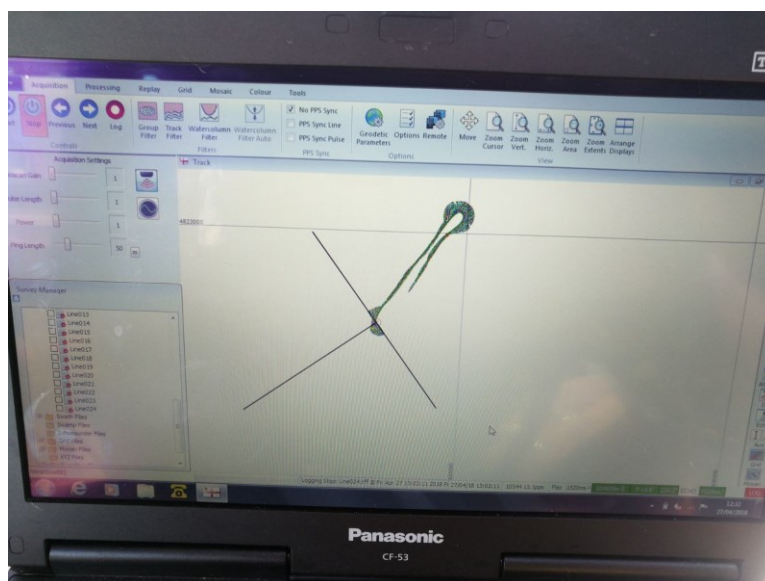
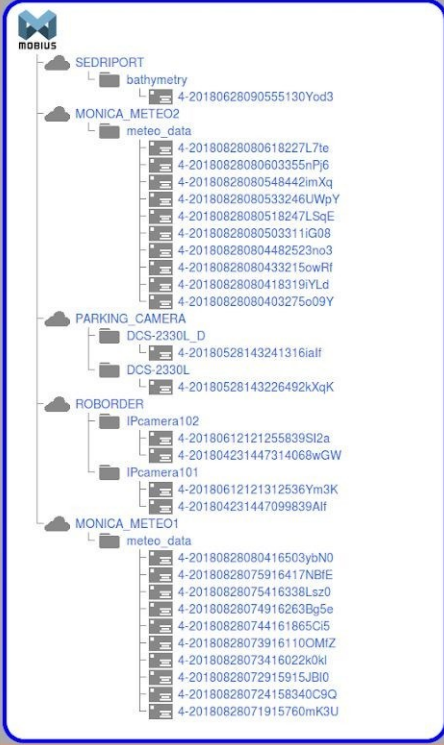


Figure 10 : représentation graphique de l'échantillon de points collectés pendant le test

3.7 Enregistrement des données

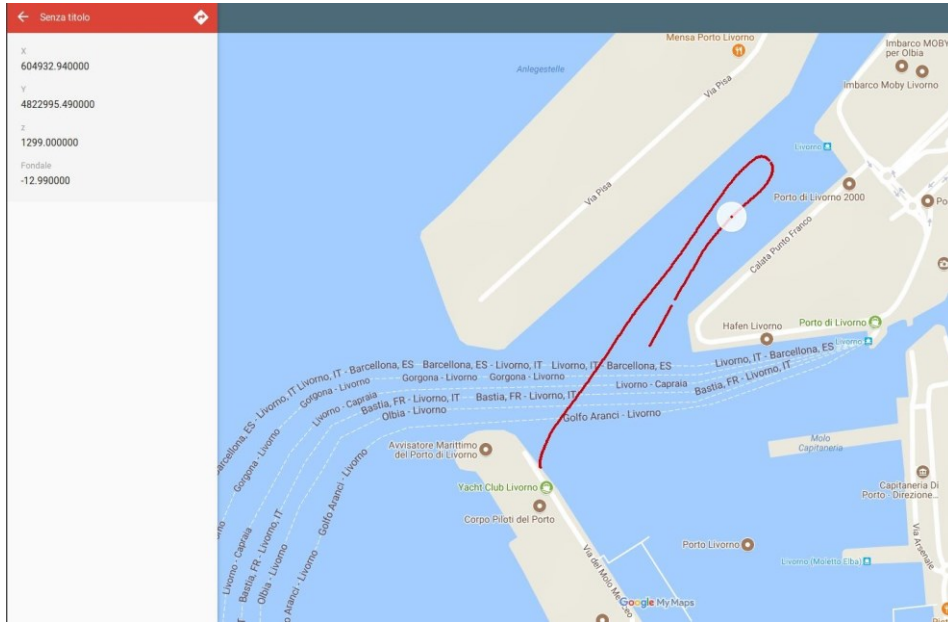
L'expérience s'est terminée par l'exportation des données du logiciel de traitement de Kongsberg afin qu'elles puissent être utilisées dans le système d'information du port ; il a notamment été créé un programme à même d'utiliser ces données afin de créer une ressource conforme aux standards oneM2M, puis de télécharger les informations sur la plateforme oneM2M de MONI.C.A.

/Mobius/SEDRIPORT/bathymetry/4-20180628090555130Yod3



Attribute	Value																																																										
parentID	SyMunHx-zX																																																										
resourceType	4																																																										
creationTime	2018-06-28 11:05:55+02:00																																																										
resourceID	rJfsgH7fIm																																																										
resourceName	4-20180628090555130Yod3																																																										
lastModifiedTime	2018-04-28 11:05:55+02:00																																																										
expirationTime	2020-04-28 11:05:55+02:00																																																										
stateTag	1																																																										
contentSize	15																																																										
creator	SEDRIPORT.bathymetry																																																										
	<table border="1"> <tr> <td>StartTime</td> <td colspan="3">27/04/2018 12:51:58.722</td> </tr> <tr> <td>EndTime</td> <td colspan="3">27/04/2018 13:07:10.969</td> </tr> <tr> <td>System</td> <td colspan="3">UTM</td> </tr> <tr> <td>Zone</td> <td colspan="3">32T</td> </tr> <tr> <td></td> <td> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Northing</th> <th>Easting</th> <th>z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4823068.20</td><td>604979.21</td><td>-13.45</td></tr> <tr><td>4823068.98</td><td>604978.59</td><td>-13.63</td></tr> <tr><td>4823069.59</td><td>604977.82</td><td>-13.48</td></tr> <tr><td>4823070.18</td><td>604977.02</td><td>-13.35</td></tr> <tr><td>4823070.82</td><td>604976.26</td><td>-13.68</td></tr> <tr><td>4823071.34</td><td>604975.44</td><td>-13.85</td></tr> <tr><td>4823071.67</td><td>604974.55</td><td>-13.46</td></tr> <tr><td>4823072.06</td><td>604973.69</td><td>-13.80</td></tr> <tr><td>4823072.43</td><td>604972.83</td><td>-13.96</td></tr> <tr><td>4823072.61</td><td>604971.91</td><td>-13.80</td></tr> <tr><td>4823072.72</td><td>604971.02</td><td>-13.63</td></tr> <tr><td>4823072.88</td><td>604970.14</td><td>-13.81</td></tr> </tbody> </table> </td> <td></td> </tr> </table>	StartTime	27/04/2018 12:51:58.722			EndTime	27/04/2018 13:07:10.969			System	UTM			Zone	32T				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Northing</th> <th>Easting</th> <th>z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4823068.20</td><td>604979.21</td><td>-13.45</td></tr> <tr><td>4823068.98</td><td>604978.59</td><td>-13.63</td></tr> <tr><td>4823069.59</td><td>604977.82</td><td>-13.48</td></tr> <tr><td>4823070.18</td><td>604977.02</td><td>-13.35</td></tr> <tr><td>4823070.82</td><td>604976.26</td><td>-13.68</td></tr> <tr><td>4823071.34</td><td>604975.44</td><td>-13.85</td></tr> <tr><td>4823071.67</td><td>604974.55</td><td>-13.46</td></tr> <tr><td>4823072.06</td><td>604973.69</td><td>-13.80</td></tr> <tr><td>4823072.43</td><td>604972.83</td><td>-13.96</td></tr> <tr><td>4823072.61</td><td>604971.91</td><td>-13.80</td></tr> <tr><td>4823072.72</td><td>604971.02</td><td>-13.63</td></tr> <tr><td>4823072.88</td><td>604970.14</td><td>-13.81</td></tr> </tbody> </table>	Northing	Easting	z	4823068.20	604979.21	-13.45	4823068.98	604978.59	-13.63	4823069.59	604977.82	-13.48	4823070.18	604977.02	-13.35	4823070.82	604976.26	-13.68	4823071.34	604975.44	-13.85	4823071.67	604974.55	-13.46	4823072.06	604973.69	-13.80	4823072.43	604972.83	-13.96	4823072.61	604971.91	-13.80	4823072.72	604971.02	-13.63	4823072.88	604970.14	-13.81	
StartTime	27/04/2018 12:51:58.722																																																										
EndTime	27/04/2018 13:07:10.969																																																										
System	UTM																																																										
Zone	32T																																																										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Northing</th> <th>Easting</th> <th>z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4823068.20</td><td>604979.21</td><td>-13.45</td></tr> <tr><td>4823068.98</td><td>604978.59</td><td>-13.63</td></tr> <tr><td>4823069.59</td><td>604977.82</td><td>-13.48</td></tr> <tr><td>4823070.18</td><td>604977.02</td><td>-13.35</td></tr> <tr><td>4823070.82</td><td>604976.26</td><td>-13.68</td></tr> <tr><td>4823071.34</td><td>604975.44</td><td>-13.85</td></tr> <tr><td>4823071.67</td><td>604974.55</td><td>-13.46</td></tr> <tr><td>4823072.06</td><td>604973.69</td><td>-13.80</td></tr> <tr><td>4823072.43</td><td>604972.83</td><td>-13.96</td></tr> <tr><td>4823072.61</td><td>604971.91</td><td>-13.80</td></tr> <tr><td>4823072.72</td><td>604971.02</td><td>-13.63</td></tr> <tr><td>4823072.88</td><td>604970.14</td><td>-13.81</td></tr> </tbody> </table>	Northing	Easting	z	4823068.20	604979.21	-13.45	4823068.98	604978.59	-13.63	4823069.59	604977.82	-13.48	4823070.18	604977.02	-13.35	4823070.82	604976.26	-13.68	4823071.34	604975.44	-13.85	4823071.67	604974.55	-13.46	4823072.06	604973.69	-13.80	4823072.43	604972.83	-13.96	4823072.61	604971.91	-13.80	4823072.72	604971.02	-13.63	4823072.88	604970.14	-13.81																			
Northing	Easting	z																																																									
4823068.20	604979.21	-13.45																																																									
4823068.98	604978.59	-13.63																																																									
4823069.59	604977.82	-13.48																																																									
4823070.18	604977.02	-13.35																																																									
4823070.82	604976.26	-13.68																																																									
4823071.34	604975.44	-13.85																																																									
4823071.67	604974.55	-13.46																																																									
4823072.06	604973.69	-13.80																																																									
4823072.43	604972.83	-13.96																																																									
4823072.61	604971.91	-13.80																																																									
4823072.72	604971.02	-13.63																																																									
4823072.88	604970.14	-13.81																																																									

En outre, afin d'illustrer la route suivie lors de l'expérimentation, les points centraux du cône de balayage du bathymètre ont été reportés sur un système d'information géographique provisoire, en attendant de pouvoir utiliser le SIG de manière définitive.



La cooperazione al cuore del Mediterraneo

La coopération au cœur de la Méditerranée

3.8 Observations finales

L'expérience a été globalement positive ; le système a été décidément à la hauteur des attentes. Le potentiel est énorme et dans le cas où il serait décidé de l'adopter, il pourrait également s'avérer utile dans le cadre d'autres projets tels que l'analyse biologique de l'eau. Mais il ne faut pas sous-estimer le travail nécessaire à l'installation et encore moins celui nécessaire à la compréhension du système pour parvenir à l'utiliser ; s'il sera décidé d'utiliser un bateau ad hoc pour les balayages bathymétriques, cela constituera un effort d'une seule fois qu'il vaut la peine de prendre en compte pour pouvoir disposer de cet appareil.

4. Activités en cours et futures

Au moment de la rédaction de ce document, les données collectées lors de l'essai sont en cours de traitement afin d'extrapoler, outre les données brutes destinées à être enregistrées sur la plateforme OneM2M du port, une représentation 3D du fond marin et surtout des informations pouvant être interprétées par un système SIG, puis utilisées aux fins du projet SE.D.RI.PORT

Cette étape sera suivie d'une phase ultérieure au cours de laquelle il sera décidé soit de tester d'autres solutions soit d'adopter celle-ci. Dans le premier cas, les recherches et les tests se poursuivront, tandis que dans le second cas, il faudra planifier une configuration ad hoc pour le système, afin de permettre une session de test plus complète que la dernière, à la fois en termes qualitatifs et quantitatifs, et démontrer ainsi la conformité de la solution avec les exigences du projet.

LA MISE EN ŒUVRE ET LE DÉVELOPPEMENT DU PROJET DE SE.D.RI.PORT

"Rapport sur l'expérimentation des systèmes innovants – T2.1.2".

Index

1. Introduction	2
2. Expérimentation sur le port de Piombino	2
2.1 Surface d'enquête	2
2.2 Méthodes de collecte des données	3
2.2.1 Filtres sur la colonne d'eau	4
2.2.2 Planification des lignes d'enquête	5
2.2.3 Largeur de balayage	8
2.3 Résultats de l'expérience	9
3. Développement d'une solution innovante	10
3.1 Solution innovante: l'architecture	10
3.2 Solution innovante: l'indexation sur OneM2M	11
Le standard OneM2M	11
L'utilisation de OneM2M dans le système SE.D.RI.PORT	14
3.3 Solution innovante : historisation sur une base de données noSQL	15
Conception d'un modèle de données sur base de données NoSQL (MongoDB) pour la gestion des processus d'analyse des données	16
Modèle de données brutes	18
3.4 Le logiciel utilisateur	20
3.4.1. Le choix de Java	20
3.4.2. La structure du logiciel	20
4. Conclusions	22

1. Introduction

Ce document est axé sur la présentation d'un système d'information destiné à faciliter et à normaliser la collecte de données bathymétriques, leur gestion et leur diffusion, ainsi qu'à préparer la mise en œuvre de la modélisation automatique des fonds marins. Dans le prochain chapitre, cependant, sera d'abord documentée une deuxième expérience, cette fois-ci à Piombino, qui a permis de tester des paramètres et des fonctionnalités différents de l'expérience de Livourne, a donné lieu à la compréhension de ce qui peut être la configuration optimale pour le système de détection et la conception du système de gestion également basé sur ces paramètres.

2. Expérimentation sur le port de Piombino

Le 6 décembre 2018, le même système de levé bathymétrique qui avait été utilisé pour l'expérience de Livourne et qui avait été documenté dans les produits livrables précédents, le Kongsberg GS4, a été amené à Piombino. Par rapport à la première expérience, cependant, le temps nécessaire pour mettre en place le système et comprendre son fonctionnement a été considérablement réduit, et nous avons donc pu nous concentrer davantage sur l'acquisition de données significatives en termes de quantité et de caractéristiques, plutôt que sur l'étude de la fonctionnalité de l'instrument lui-même.

2.1 Surface d'enquête

Le port de Piombino a représenté un banc d'essai extrêmement intéressant pour la collecte de données, puisqu'il a récemment subi une importante série d'interventions visant à modifier sa conformation, et que le fond marin est donc encore en phase de décantation. En ce sens, il a été décidé d'étudier le bassin d'entrée du port à la suite de ces interventions, qui est toujours en évolution.

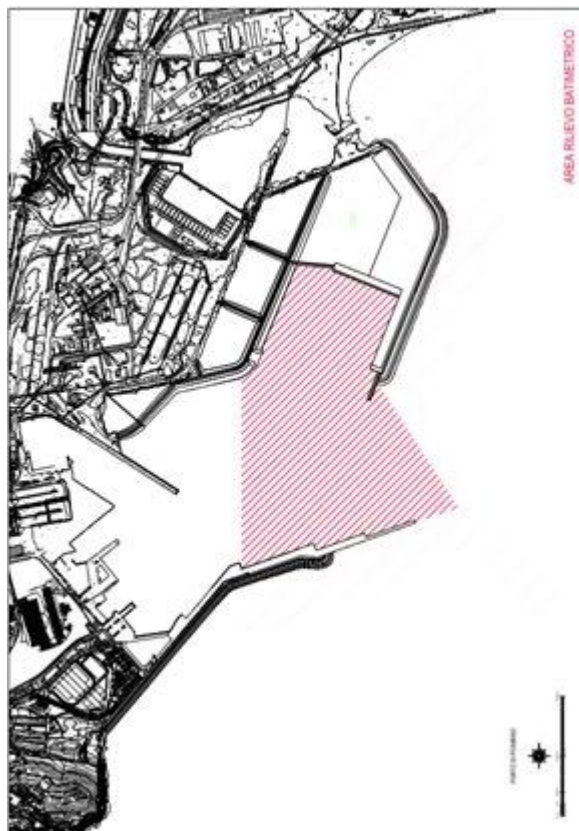


Fig.1 – la zone d'intervention sur le port de Piombino

2.2 Méthodes de collecte des données

Comme indiqué précédemment, au cours de cette expérience, différents paramètres et fonctionnalités du système fourni par Kongsberg ont été testés, afin de vérifier d'autres potentialités et l'adaptabilité au contexte.

2.2.1 Filtres sur la colonne d'eau

La première intervention effectuée sur les options d'acquisition a consisté à insérer des filtres pour examiner l'état de la colonne d'eau : au début de l'enquête, en effet, un dispositif capable de détecter deux paramètres fondamentaux qui affectent le trajet du signal ultrasonore vers le fond de la mer et sur le chemin du retour au bathymètre a été utilisé :

- La résistance de l'eau à la propagation des signaux, liée aux propriétés physiques/chimiques du bassin spécifique

Le profil de la vitesse du son dans l'eau, qui dépend de la direction et de la vitesse des courants au moment des mesures et qui est également responsable des variations de la propagation du signal.

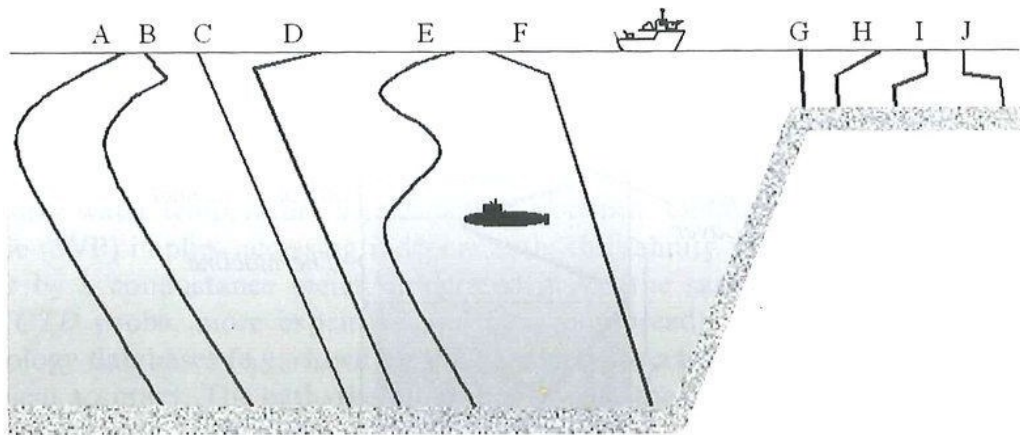


Fig.2 - Différents trajets des ondes sonores dans l'eau en fonction des courants marins

Ces paramètres ont été mesurés à l'aide d'un instrument auxiliaire fourni avec le système, et ont été saisis dans le logiciel d'acquisition à l'aide des commandes appropriées.



Fig.3 - Section de l'interface GS4 avec les instruments de correction de la colonne d'eau

Bien sûr, ces paramètres ont également été pris en compte lors de la première expérience, mais en utilisant le mode "automatique" présent dans le logiciel qui, au lieu d'utiliser des instruments spéciaux, dérive les informations à l'aide des capteurs intégrés, ce qui garantit une estimation moins précise.

2.2.2 Planification des lignes d'enquête

Une autre caractéristique testée et exploitée au cours de l'enquête est la planification des lignes d'enquête, c'est-à-dire la route que le navire aurait dû suivre pour assurer la couverture de la zone d'intérêt.

L'interface pour la planification est très simple, même si elle nécessite évidemment d'identifier a priori les coordonnées des sommets du périmètre à sonder.

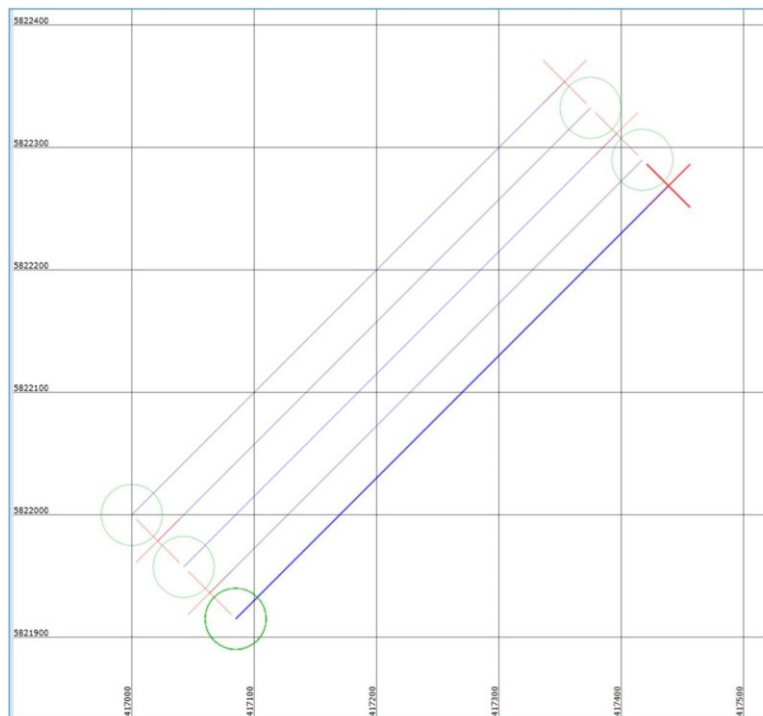


Fig.4 - Outil de planification des lignes d'enquête

À ce stade, il est possible de laisser le système préparer les lignes à suivre pour sonner la zone ou préparer des lignes personnalisées.

Le système, avec l'aide du GPS, réalisera quelle est la ligne sur laquelle vous travaillez à ce moment, et pourra vous avertir au cas où l'itinéraire s'en écarte et pourra vous avertir au cas où l'itinéraire s'en écarte et se rendre compte quand on arrive en fin de ligne afin de sauvegarder les données partielles dans un fichier de ligne créé ad hoc.

Ce mécanisme permet d'effectuer des inspections séparées dans le temps mais reliées entre elles, de sorte qu'il est également possible de gérer de manière simple des enquêtes sur des bassins étendus qui ne peuvent être couverts entièrement en une seule session.

Validation des lignes manuels

Le risque de la planification manuelle des lignes est celui de se retrouver dans des zones non couvertes (ou non redondantes, condition fondamentale pour une mesure valable). C'est pourquoi le logiciel GS4 propose un outil de validation de ligne qui permet de vérifier que tout a été dessiné correctement.

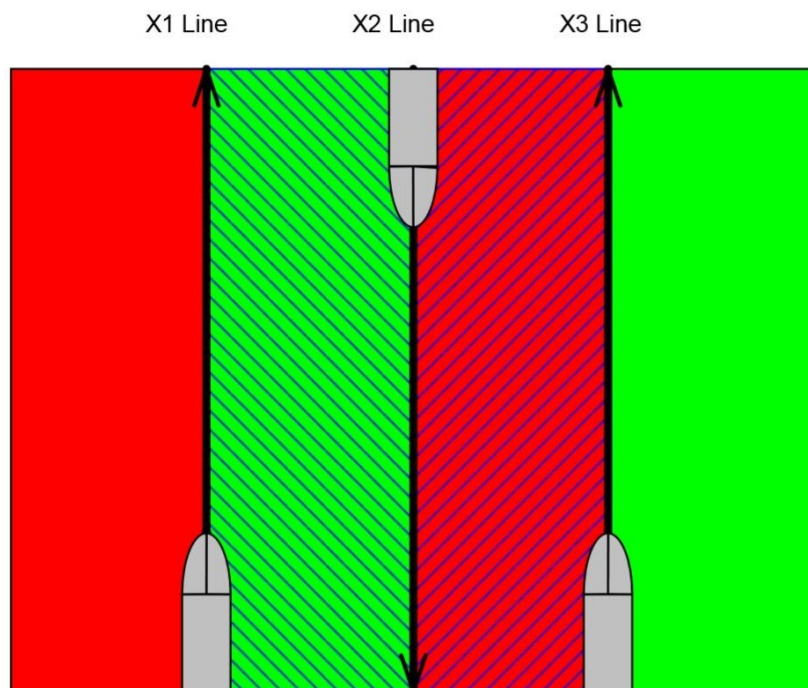


Fig.5 – Outil de validation des lignes survey

L'image, bien qu'illustrative, montre clairement à quel point il est simple de vérifier les zones non couvertes ou insuffisamment redondantes et de calibrer les lignes en conséquence.

2.2.3 Largeur de balayage

Un autre paramètre sur lequel nous avons essayé d'intervenir, et qui en fait a également affecté la planification des lignes, est la largeur du balayage généré par le multifaisceau.

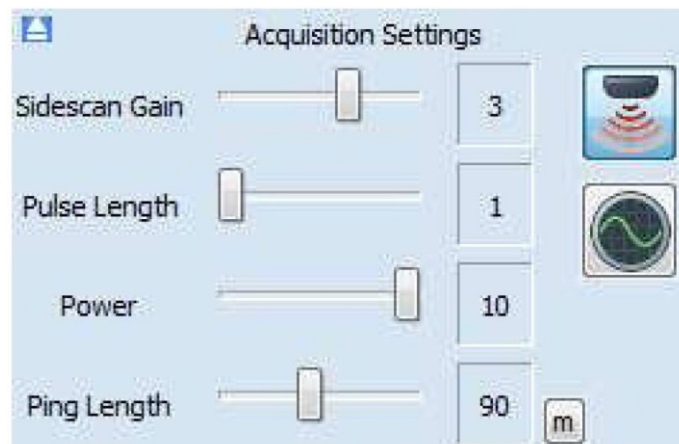


Fig.6 – Calibration du signal du sondeur

En agissant sur les paramètres de puissance, de gain et de longueur d'onde du sondeur, vous pouvez modifier l'amplitude du signal émis, ce qui vous permet de couvrir une plus grande zone du fond en un seul passage.

Le calibrage de ces paramètres est empirique et dépend des caractéristiques du fond marin analysé, et doit viser à maximiser la zone balayée sans affecter la qualité des données recueillies.

Dans le cas de Piombino, 3 largeurs de balayage ont été testées : 25, 50 et 100 mètres.

Finalement, le balayage de 100 m s'est avéré inadapté aux fonds marins de Piombino qui, probablement en raison de travaux récents, présentent encore des irrégularités qui provoquent des anomalies dans le comportement des ondes sonores lorsqu'elles sont poussées "à la limite". L'enquête finale a donc été réalisée en fixant la valeur du balayage à 50m.

La qualité des données collectées est vérifiée en temps réel, afin de pouvoir les corriger immédiatement si nécessaire, et est affichée à l'écran grâce à la fonction d'enregistrement.

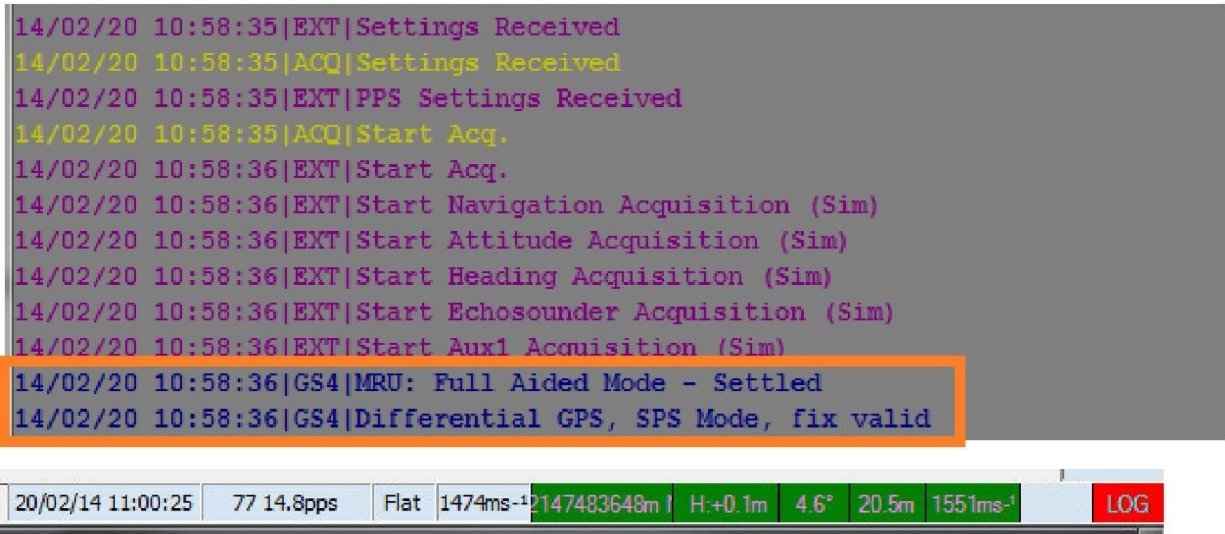


Fig.7 - Système d'enregistrement et de contrôle de la qualité en temps réel

2.3 Résultats de l'expérience

Une fois la campagne d'acquisition terminée, les données ont été soumises à une phase de post-traitement, la même que celle utilisée lors de l'expérience de Livourne, pour la normalisation des informations acquises par les capteurs auxiliaires.

Une fois le résultat final obtenu, une comparaison a été faite avec les mesures officielles fournies directement par l'autorité portuaire de Piombino. On peut donc observer une forte cohérence avec les données officielles, compte tenu de la transformation rapide que subissent les fonds marins suite aux travaux réalisés.

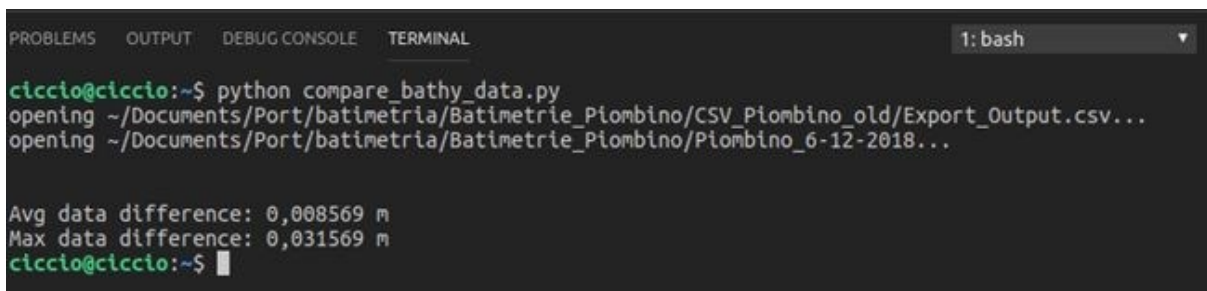


Fig.8 - Résultat de la comparaison entre les données bathymétriques officielles et celles acquises lors de l'expérience

3. Développement d'une solution innovante

Les expériences menées jusqu'à présent ont été propédeutiques pour vérifier la faisabilité des relevés bathymétriques à l'aide d'instruments pouvant être acquis, installés et utilisés par une entité telle que l'autorité portuaire ; pour tirer parti des données obtenues lors de ces relevés, il est toutefois nécessaire de disposer d'un système d'information qui facilite la sauvegarde, l'indexation et l'utilisation des données.

Ce système constitue le produit final de la phase de conception d'un système innovant du projet SE.D.RI.PORT, et sa réalisation et sa mise en œuvre seront illustrées dans la suite de ce document : tout d'abord l'architecture de la solution choisie pour la gestion du flux de données sera illustrée, et ensuite le logiciel qui doit être mis à la disposition de l'utilisateur final tant pour introduire de nouvelles données dans le système que pour prendre ces données et les utiliser à des fins de surveillance, de navigation ou d'étude sera présenté.

3.1 Solution innovante: l'architecture

L'architecture du système proposé doit pouvoir permettre la gestion des fichiers issus des différentes campagnes de collecte de données comme un tout, et non comme des entités indépendantes les unes des autres. Ce paradigme est en mesure de simplifier considérablement les opérations d'étude, d'observation et de prévision de l'état des fonds marins au fil du temps.

Le système est essentiellement composé de trois éléments, qui constituent la "plate-forme" de gestion des données, et de deux acteurs qui sont censés être, d'une part, l'utilisateur qui utilise la plate-forme pour télécharger les données nouvellement collectées et, d'autre part, l'utilisateur qui l'utilise plutôt pour obtenir les données disponibles et les utiliser à ses propres fins.

Les trois composantes qui composent la plate-forme sont le système d'indexation, le système d'historisation des données et le logiciel côté utilisateur qui, par le biais d'une interface utilisateur, exposera les fonctionnalités de la plate-forme aux deux principaux acteurs.

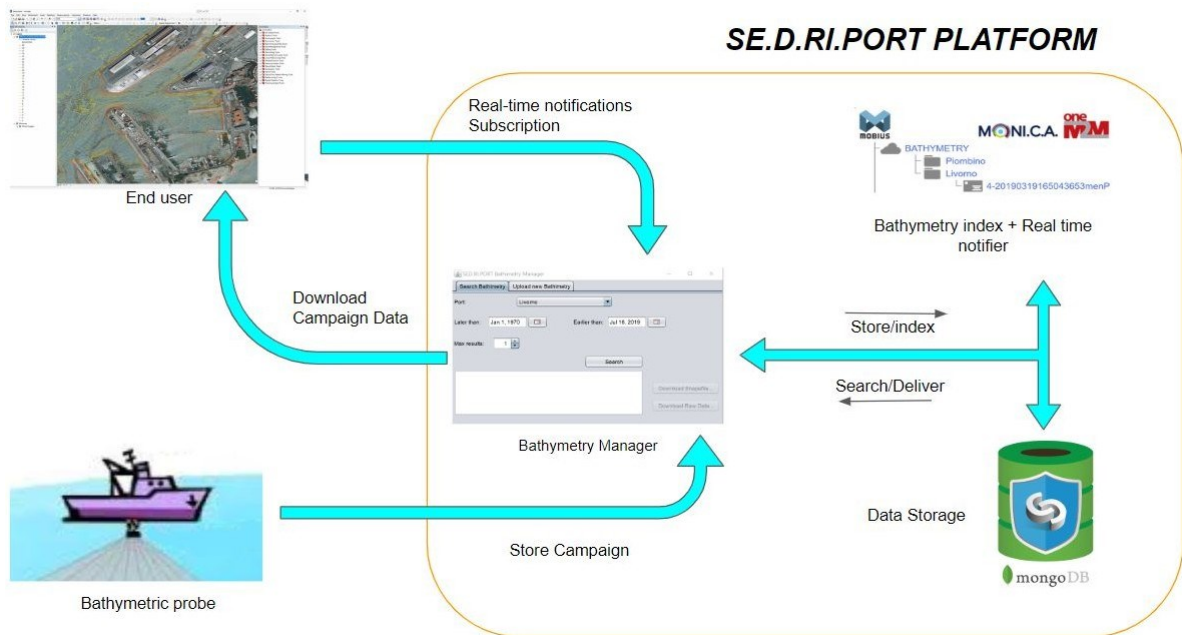


Fig.9 – Architecture de la solution proposée

3.2 Solution innovante: l'indexation sur OneM2M

Le standard OneM2M

OneM2M est avant tout un cadre d'interfonctionnement entre les services et les déploiements de différentes technologies.

Depuis les débuts de l'ETSI (Institut européen des normes de télécommunications), il a été reconnu qu'une multitude de solutions M2M/IT continueront d'exister pour des raisons d'optimisation patrimoniale et sectorielle, sans parler de la sectorialité des différentes entreprises concernées. Cela a été vrai pour les solutions propriétaires et standard (par exemple, les STI).

À cet égard, le défi n'est pas tant du côté du protocole que de la manière de partager l'information, également au niveau sémantique, entre différentes solutions et secteurs. Tout cela s'accompagne d'une possibilité d'utilisation native des API spécifiques de oneM2M, dans le but de réduire la fragmentation là où c'est possible et au moment opportun.

La cooperazione al cuore del Mediterraneo

La coopération au cœur de la Méditerranée

En outre, dans le but de prendre en charge au moins en principe tous les services IdO/M2M, le système devait nécessairement être flexible et prendre en charge différents modèles de déploiement et d'activité, en gérant différents degrés de complexité des services ainsi que les éventuelles limitations des dispositifs et des passerelles.

Le résultat est une plate-forme distribuée, capable de répartir la complexité au niveau des appareils, des passerelles et des serveurs centraux, ainsi que de la concentrer dans le réseau dans le cas d'appareils ou de passerelles contraints.

Le système présente quelques choix technologiques, tels que

- l'utilisation d'un système d'identification des éléments basé sur l'URI ;
Adressage basé sur l'URL ;
l'utilisation de l'IP (quelle que soit sa version, IPv4 ou IPv6) au moins dans la partie longue distance, en laissant la liberté dans les parties réseau de la zone ;
le choix d'un style REST pour l'API, où tous les aspects du monde réel sont modélisés à travers le concept de ressource.

Il s'agit simplement de choix de mise en œuvre et ne représentent pas les aspects les plus caractéristiques d'unM2M.

Les profondes particularités de oneM2M, en plus de la flexibilité de déploiement déjà mentionnée et de l'orientation vers l'interfonctionnement avec d'autres technologies, sont liées à certaines fonctionnalités spécifiques, parmi les principales :

- **Stocker et partager** : le mécanisme de communication utilise un paradigme de communication qui est basé sur le partage de l'information sans nécessairement la consommer. L'origine de ce choix est liée à la nécessité de créer une certaine persistance de l'information dans le système pour permettre son utilisation par plusieurs applications, pas nécessairement toujours connectées et à la nécessité de faciliter la traduction le cas échéant dans la sémantique spécifique utilisée par les différentes applications. Un des effets secondaires est qu'il n'est pas nécessaire de s'adresser à la (ou aux) demande(s) cible(s), les informations seront en fait envoyées par un mécanisme de notification aux demandes qui l'ont demandé. La persistance requise est liée au type d'informations et donc à l'usage que les demandes prévoient d'en faire. Le système oneM2M est capable de maintenir des informations et des séries chronologiques, basées sur des bases de données dédiées ou intégrées à

celles utilisées pour tout service de cloud computing.

- Séparation entre sécurité et vie privée : toutes les communications entre les éléments du système sont évidemment protégées, en réutilisant les mécanismes existants et/ou en exploitant la sécurité offerte par le réseau sous-jacent (par exemple sur les routes cellulaires). La vie privée est au contraire garantie par la plate-forme elle-même, qui ne permet l'accès à chaque information qu'aux personnes explicitement autorisées à le faire. Le mécanisme consiste à associer à chaque élément d'information des politiques qui définissent essentiellement qui peut lire, écrire, supprimer et modifier l'information, y compris certaines conditions facultatives (heure de la journée, lieu géographique, rôle, etc.). Les applications qui contrôlent chaque élément d'information décident de la manière de modifier ces politiques en étendant et en restreignant l'accès de manière dynamique. Les politiques elles-mêmes sont soumises à un mécanisme similaire, de sorte que l'autorisation de lire ou de manipuler l'information peut être donnée dynamiquement directement par les applications et que ces droits peuvent également être confiés à des applications autres que celle qui a généré l'information. Il n'y a pas de concept direct de "propriété" de l'information, le système suit qui crée l'information et qui a reçu l'autorisation de la lire et de la manipuler. Le résultat est un mécanisme léger et très souple qui prend en charge divers modes d'accès, capable de modéliser différents modèles de propriété et de contrôle de l'accès aux données, ce qui permet de limiter le coût de la gestion de la confidentialité des informations relatives aux choses et aux personnes et de les gérer de manière intégrée.

- Réutilisation et indépendance par rapport aux fonctionnalités du réseau : le système oneM2M permet d'une part de rendre les applications indépendantes des réseaux de communication utilisés, d'autre part de les tenir pleinement informées, afin de réutiliser pleinement leurs capacités et leurs fonctionnalités. Voici quelques exemples pertinents :

- la réutilisation des services de gestion des terminaux avec intégration aux systèmes de gestion basés sur OMA Lightweight M2M, OMA DM et BBF ;
- la capacité d'oneM2M à agir comme SCEF (Service Capability Exposure Function) des réseaux 3GPP vers le monde applicatif ;
- l'intégration avec les services de localisation ;
- intégration avec les systèmes de gestion des abonnements, tant au

- niveau du service que du terminal ;
- l'intégration avec les systèmes de tarification.

En même temps, il est capable de reproduire ces fonctionnalités au niveau de la plate-forme, au cas où le réseau sous-jacent ne les rendrait pas disponibles. En fait, l'exigence minimale est de disposer d'une connectivité IP entre les éléments de la plate-forme et de toute connectivité générique de réseau local dans le cas de dispositifs sous contrainte.

L'utilisation de OneM2M dans le système SE.D.RI.PORT

C'est précisément en raison des caractéristiques qui viennent d'être décrites que la norme OneM2M était idéale pour conserver les informations relatives aux données bathymétriques. Au départ, l'idée de conserver les données directement dans le serveur OneM2M a été envisagée, mais compte tenu de la taille des fichiers issus des campagnes d'enquête, cela aurait créé des problèmes tant au niveau des serveurs que, surtout, pour permettre le système de notifications en temps réel sur la présence de nouvelles données.

Dans tous les cas, les garanties de sécurité et le paradigme "Store&Share" sur lequel la norme est basée garantissent que les données sont conservées en toute sécurité et que les utilisateurs sont autorisés non seulement par un mécanisme générique "autorisez/ne permettez pas", mais que chaque ensemble de données a un ensemble spécifique d'autorisations. Par exemple, il est possible de s'assurer que chaque autorité portuaire n'a accès qu'aux données concernant ses ports, même si toute la bathymétrie est stockée sur le même serveur.



Attribute	Value
parentID	B1zUSbAGJ4
resourceType	4
creationTime	2019-04-16 11:05:08+02:00
resourceID	Hkf6TqfX5E
resourceName	4-201904160905088582KmP
lastModifiedTime	2019-04-16 11:05:08+02:00
expirationTime	2021-04-16 11:05:08+02:00
stateTag	12
contentSize	15
contentInfo	None
creator	SEDRIPORT:bathymetry
content	raw_data https://owncloud.labtclivorno.it/remote.php/webdav/NoES/PROJECTS/Gramas/Livorno/xyz_livorno.txt
	Shapefile https://owncloud.labtclivorno.it/remote.php/webdav/NoES/PROJECTS/Gramas/Livorno/Elaborazioni_Livorno/180227_Livourne_Iso1m_WGS84.shp

Fig.10 - Données d'indexation de l'interface web de la plate-forme OM2M

3.3 Solution innovante : historisation sur une base de données noSQL

Pour l'historisation des données brutes, le système utilisera l'API REST pour l'historisation sur MongoDB. Comme nous l'avons déjà précisé, la norme OneM2M est utile dans les cas où un appareil fournit des données ou des commandes en ligne auxquelles il est utile d'accéder à distance en temps réel. L'accès aux données brute

Conception d'un modèle de données sur base de données NoSQL (MongoDB) pour la gestion des processus d'analyse des données

Les données brutes résultant des campagnes de collecte de données bathymétriques seront stockées dans la base de données NoSQL MongoDB. MongoDB stocke les données et permet un accès différent de celui généralement prévu dans les bases de données relationnelles. Les données ne sont pas structurées en termes d'enregistrements et de tableaux, mais en termes de documents et de collections. Chaque document contient les informations relatives à une entité et consiste en un objet JSON valide. Tous les documents représentant des entités du même type sont généralement regroupés dans un recueil. La structure interne du document peut prendre la forme d'une arborescence d'objets avec la même complexité que tout objet JSON peut atteindre. Il peut donc inclure des données primitives (valeurs entières, valeurs en virgule flottante, chaînes de caractères, etc.), des listes d'objets et des tableaux associatifs. Le mode de fonctionnement par défaut de MongoDB n'exige pas que la structure interne des documents d'une collection soit tenue de respecter un schéma (base de données sans schéma). Cependant, vous pouvez modifier ce mode de fonctionnement pour imposer la validation par rapport à un schéma prédéfini. Une fois que vous avez établi les contraintes qui doivent être respectées par tous les documents d'une collection, MongoDB applique des validations à toutes les données qui doivent être insérées ou mises à jour avant d'effectuer des insertions et des modifications de documents. Appliquer une validation aux documents d'une collection est une bonne pratique et est préférable dans tous les cas sauf dans les cas suivants :

1. les documents de collecte comportent des champs personnalisés ;
2. les documents de la collection sont équipés de champs qui, même s'ils portent le même nom, peuvent présenter des différences de type (types non uniformes).

Il est donc établi que les collections seront dotées de schémas de validation opportuns.

Pour rendre compte de la conception des modèles des données stockées dans MongoDB, nous avons choisi d'utiliser le formalisme du diagramme de classes du langage UML. La conception d'une base de données NoSQL ne suit pas les mêmes règles que les bases de données relationnelles. En particulier, les relations entre les entités concernées peuvent être représentées de différentes manières et le choix spécifique dépend de considérations sur les requêtes nécessaires à l'application, sur

leurs performances et sur certaines bonnes pratiques. Dans les paragraphes suivants contenant les modèles de données, les choix individuels de relations de données seront justifiés.

Modèle de données brutes

En examinant les données brutes des expériences de Livourne et de Piombino, nous pouvons voir que l'ensemble de données avec lequel nous allons travailler consiste en un fichier texte qui contient une recherche de profondeur pour un point spécifique de chaque ligne. Par exemple :

10.551748662 42.9319491735 -14.97

Les deux premières valeurs représentent la longitude et la latitude du point de relevé ; la troisième valeur représente la profondeur en mètres détectée par la sonde ;

L'extraction de données brutes ne se fait généralement pas par rapport à des détections individuelles, mais concerne des zones entières. Cette considération peut être utilisée pour guider la conception du modèle de données dans MongoDB afin d'obtenir une bonne performance de lecture. Considérons, en outre, que dans l'échantillon de données reçu le pas des enquêtes est de 1 cent millièrme de degré de longitude et de latitude qui correspondent respectivement à 0,8 mètres de longitude et 1,1 mètres de latitude (en considérant la latitude du port de Livourne égale à 42,55 degrés). Afin d'avoir un accès en lecture aux données avec une performance adéquate, il peut être approprié de stocker les données ponctuelles des enquêtes dans des "cadres" de taille fixe. L'architecture de référence pour l'organisation des données brutes peut être de ce type:

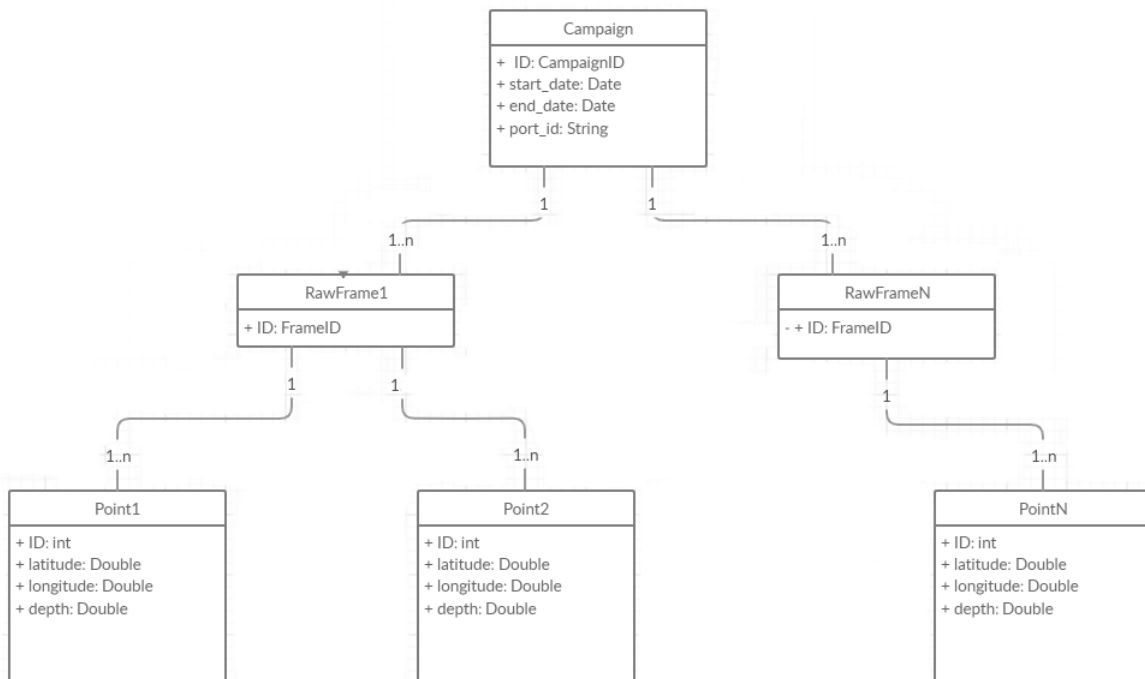


Fig.11 - Organisation de référence pour la base de données

Le dictionnaire des données représentées dans le modèle est donné ci-dessous ;

- **Campaign** - collection de documents décrivant les campagnes de collecte de données bathymétriques. Chaque document de cette collection contient les dates de début et de fin de la campagne, une description textuelle de la campagne et une référence au port où la campagne a été menée.
- **RawFrame** - collecte de bases de données d'enquête. Chaque document de cette collection représente une agrégation spatiale de certaines enquêtes réalisées pour la même campagne. Plus précisément, chaque document contient les données brutes ponctuelles recueillies dans la zone délimitée par la "frame_box" correspondante. Ces documents peuvent être utilisés pour récupérer en masse les données brutes d'une certaine campagne.
- **Point** - représente une étude de la profondeur du fond marin effectuée en un point.

3.4 Le logiciel utilisateur

Afin de permettre aux utilisateurs de s'interfacer avec cette architecture, un logiciel basé sur Java a été développé qui, grâce à une interface utilisateur extrêmement intuitive, permet de rechercher dans le système l'historique des enquêtes réalisées et de les télécharger.

L'autre fonctionnalité offerte par le logiciel est celle d'accéder à la plateforme OneM2M/mongoDB pour insérer les données récupérées d'une campagne d'enquête de manière transparente (donc sans avoir besoin d'une expertise spécifique).

3.4.1. Le choix de Java

La plate-forme Java est une plate-forme logicielle, développée sur la base des spécifications et des implémentations de Sun Microsystems, acquise en janvier 2010 par Oracle Corporation, qui est l'environnement d'exécution nécessaire à l'exécution de programmes écrits en langage Java. Cette plate-forme a la caractéristique de permettre d'écrire et d'exécuter des applications indépendamment du matériel d'exécution, qui est donc virtualisé par la plate-forme elle-même, rendant ainsi le langage Java et les programmes connexes portables sur différentes plates-formes matérielles (les applications Java s'exécutent sur différentes plates-formes matérielles (par exemple, ordinateur, TV, téléphone mobile, carte à puce, etc...)).

L'utilisation de java vise donc à permettre l'exécution du logiciel sur le plus grand nombre d'appareils possible, minimisant ainsi les exigences du système sur lequel il doit être exécuté.

3.4.2. La structure du logiciel

Le logiciel se compose principalement de 4 éléments :

- **Module HTTPTransfer** : ce module s'occupe du transfert de fichiers vers et depuis le serveur, c'est-à-dire lorsque la sauvegarde de nouvelles mesures est demandée ou lorsque la récupération de données de mesures déjà stockées est demandée, par le biais du protocole réseau HTTP.
- **Module FTPTransfer** : ce module vous permet d'effectuer les mêmes opérations que le précédent, à la différence que le transfert s'effectue via le protocole FTP. La raison pour laquelle on a choisi de gérer le transfert par deux protocoles différents est liée à

la différence de performance (en faveur de HTTP) et de fiabilité (en faveur de HTTP). Le système décide à chaque fois quel est le meilleur protocole à utiliser en fonction des conditions du réseau.

- Module OneM2MHandler : ce module traite de l'organisation de l'index au sein de la plateforme OneM2M, et est appelé dans deux situations :
 - Lorsque de nouvelles données sont enregistrées dans la base de données
 - Lorsqu'une recherche est effectuée sur les données actuelles
- Module SedriportGUI : c'est le module qui crée et affiche l'interface utilisateur (GUI) avec laquelle vous devrez interagir pour utiliser les fonctionnalités de la plate-forme. C'est le seul module qui est présenté à l'utilisateur et qui se compose de deux sections distinctes : une pour la recherche et le téléchargement de la bathymétrie et une pour le chargement de nouveaux relevés.

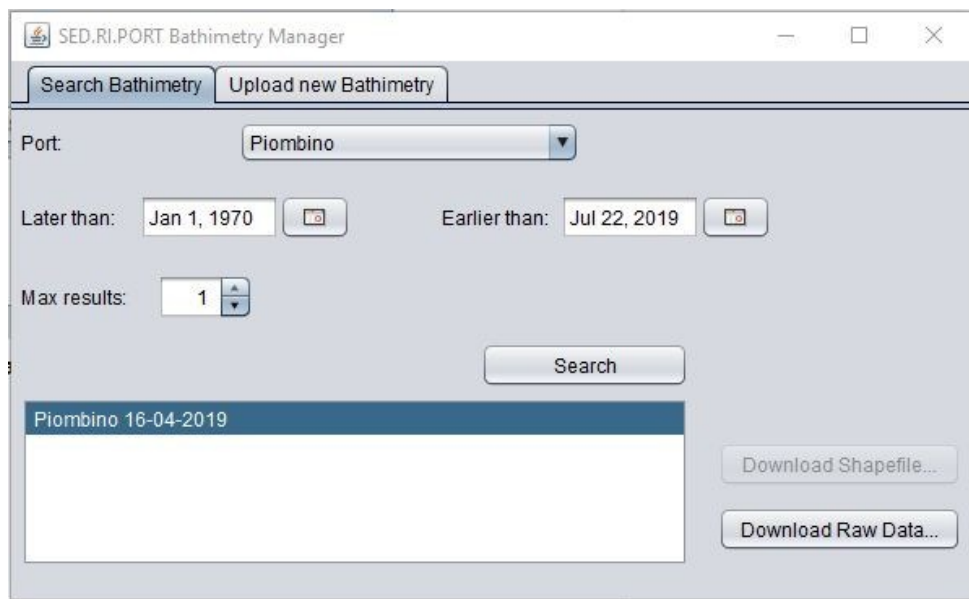


Fig.12 - Interface de recherche et de téléchargement

La section consacrée à la recherche et au téléchargement se présente avec la possibilité de rechercher des données bathymétriques à partir du lieu d'intérêt, de la date de la campagne (pertinente selon l'usage que vous voulez en faire), et du nombre maximum de résultats à afficher. Une fois les résultats de la recherche obtenus, il est possible de sélectionner celui qui vous intéresse et de télécharger les données correspondantes sur votre propre ordinateur.

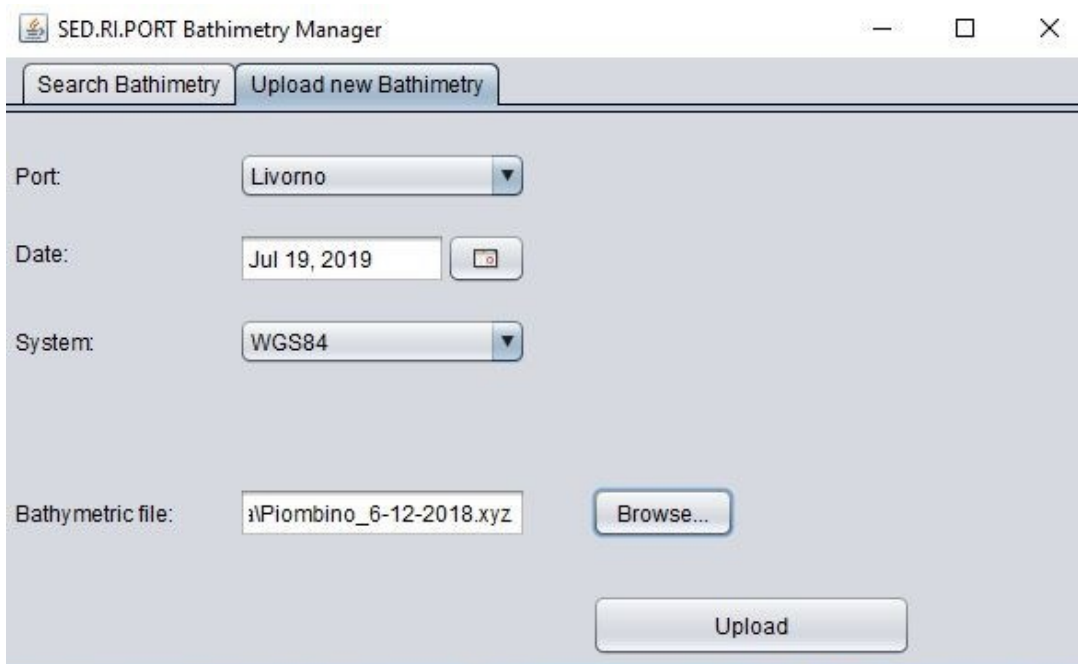


Fig.13 - Interface pour le chargement de nouvelles données

La section relative au téléchargement des données est tout aussi simple et permet de préciser le lieu et la date de réalisation de la campagne, le système de géoréférencement utilisé et, bien sûr, le fichier contenant les données collectées qui doit être téléchargé sur le serveur.

4. Conclusions

L'architecture proposée pour la gestion des données bathymétriques représente une solution innovante par rapport à la manière dont les ports gèrent traditionnellement ces informations ; en effet, il arrive souvent que ces informations soient sauvegardées sur un ordinateur local, ou un système qui n'est pas accessible de l'extérieur sauf par une intervention humaine.

Ce système propose une solution automatique et omniprésente pour la distribution et la concrétisation des données bathymétriques à toute personne qui en a l'autorisation, sans encourir de retards, de temps morts ou de procédures bureaucratiques plus ou moins complexes.

L'architecture proposée est également remarquablement évolutive car elle a été conçue pour fonctionner avec de grandes quantités de données provenant d'un grand nombre de ports, et est prête à accueillir des fonctionnalités supplémentaires sur lesquelles on travaille toutefois dans le cadre d'un projet parallèle, comme les capacités de notification en temps réel aux ports de compétence, ou encore la transformation immédiate et automatique des données bathymétriques brutes en "shapefiles", c'est-à-dire des fichiers qui représentent le modèle du fond marin déjà interpolés et directement importables par le logiciel principal de surveillance, de rendu et d'analyse.