



RECHERCHE D'OBJETS ARCHÉOLOGIQUES À PARTIR DE DONNÉES MULTICAPTEUR

SEA TECH WEEK 2018

08 OCTOBRE 2018

ISABELLE LEBLOND
ISABELLE DELUMEAU
ROZENN DESMARE



Plan

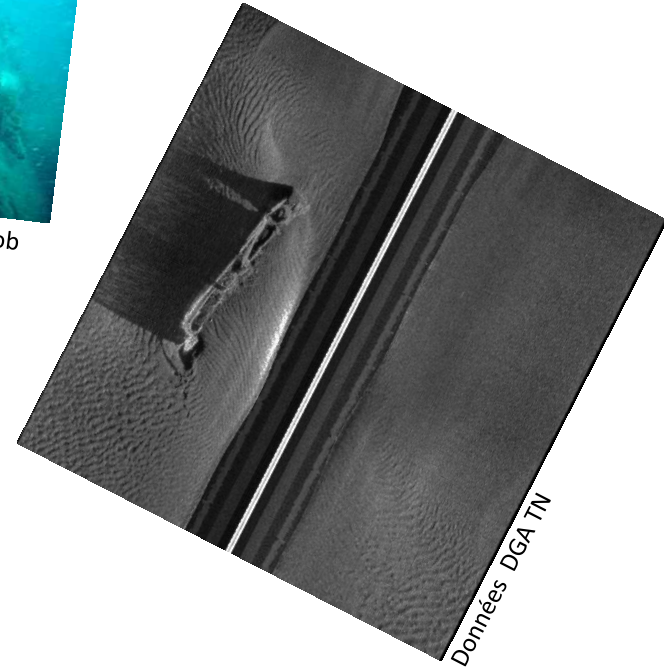
- Contexte de la recherche d'objets sous la mer
 - Capteurs utilisables
 - Avantages / inconvénients des uns et des autres
 - Utilité du multicapteur
- Expérimentation du 11/07/2018 sur le boatbot
- 1ères exploitations des résultats
 - Mise en forme des données magnétiques en fonction des données sonar
 - Outils d'aide à l'utilisateur
 - Décomposition en ondelettes du signal magnétique
 - Extraction de données pertinentes
 - Exemples de résultats
 - Détection d'un câble sous-marin
 - Fausse détection due à la houle
 - Détections non élucidées au sonar
- Conclusions et perspectives

Contexte : données utilisables

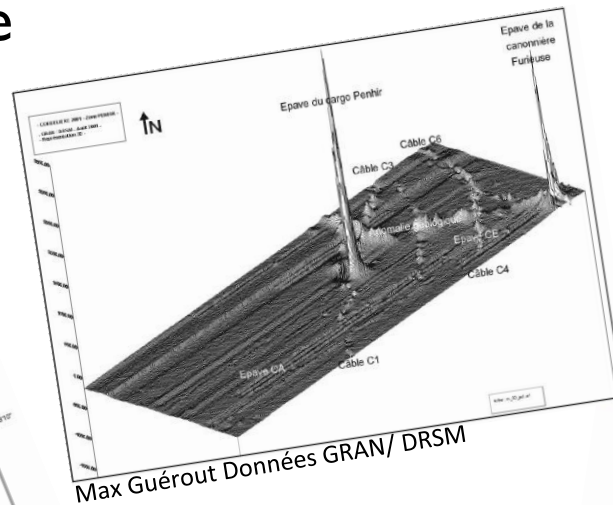
- Vidéo / photographie
- Sonar latéral
- Sondeur multifaisceau
- Sondeur de sédiments
- Magnétomètre
- ...



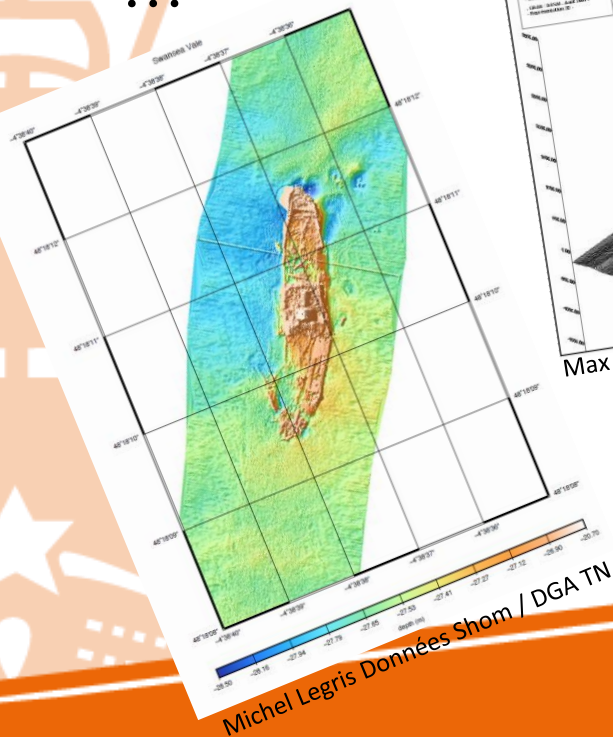
Nicolas Job



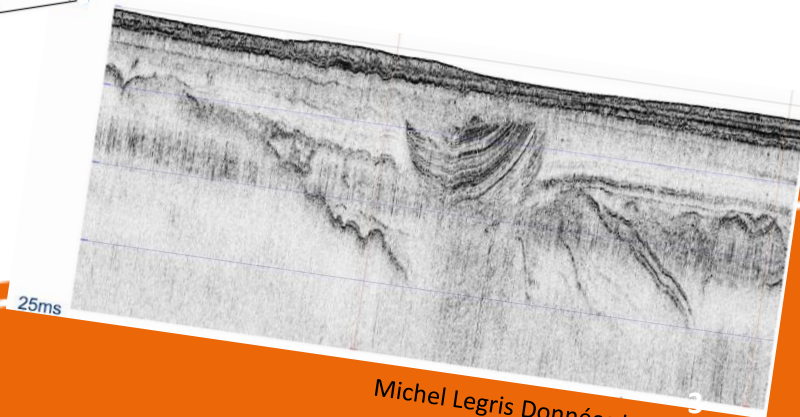
Données DGA TN



Max Guérout Données GRAN/ DRSM



Michel Legris Données Shom / DGA TN



25ms

Michel Legris Données IxBlue

Contexte : avantages des uns et des autres

- Vidéo / photographie
 - Avantages :
 - Visualisation aisée des objets en surface
 - Inconvénients :
 - Pas de pénétration dans le sédiment
 - Distance de vue limitée
- Sonar latéral
 - Avantages :
 - “Visualisation” des objets présents sur le fond marin
 - Bonne couverture spatiale (fauchée 100 m ou plus)
 - Résolution assez fine (de l'ordre de qq cm)
 - Inconvénients :
 - Pas (peu) de pénétration dans le sédiment
 - Interprétation parfois trompeuse

Contexte : avantages des uns et des autres

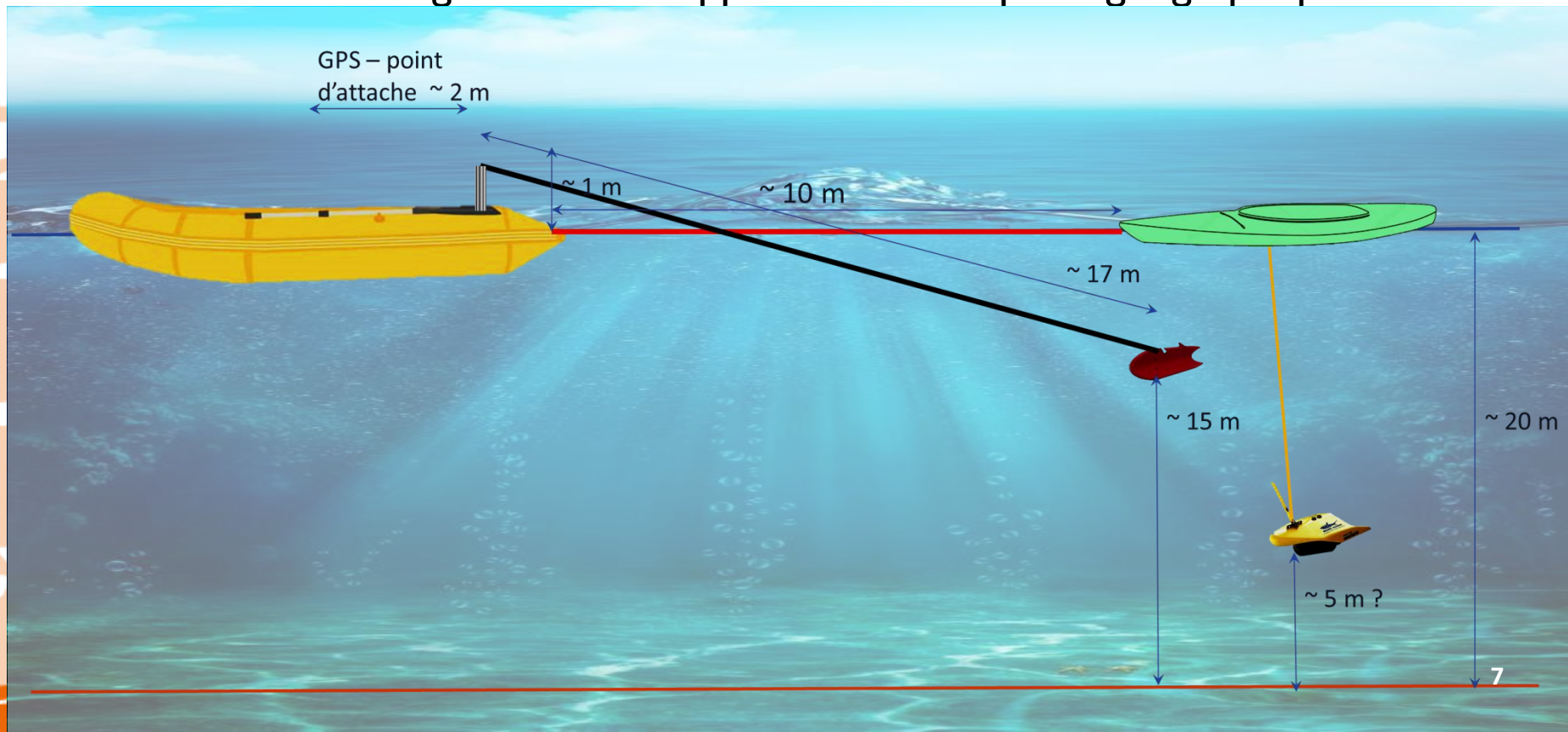
- Sondeur multifaisceau
 - Avantages :
 - Visualisation de la bathymétrie
 - Bonne couverture spatiale
 - Résolution assez fine mais en retrait par rapport au sonar latéral (de l'ordre de la dizaine de cm)
 - Inconvénients :
 - Pas (peu) de pénétration dans le sédiment
 - Interprétation moins aisée qu'au sonar latéral surtout pour de petits objets
- Sondeur de sédiments
 - Avantages :
 - Pénétration dans le sédiment
 - Inconvénients :
 - Peu de couverture spatiale
 - Interprétation souvent difficile
 - Résolution moyenne (de l'ordre du m)
- Magnétomètre
 - Avantages :
 - “Visualisation” des objets (ferro)magnétiques
 - Pénétration dans le sédiment
 - Inconvénients :
 - Interprétation non aisée (difficile de donner la forme de l'anomalie)
 - Décroissance du signal en $1/R^3$

Contexte : intérêt du multicapteur

- Vidéo / photographie
 - Utiliser un système où l'interprétation est aisée pour nos yeux
- Sonar latéral
 - Utiliser la “visualisation” résolue et sur une grande étendue
- Sondeur multifaisceau
 - Utiliser les informations de hauteur
- Sondeur de sédiments
 - Utiliser la capacité de “voir” sous le sédiment
- Magnétomètre
 - Utiliser la capacité de détection des objets magnétiques
- Tout en s'affranchissant...
 - De la faible couverture de la vidéo
 - De l'incapacité à voir sous le sédiment
 - De la faible résolution
 - De la difficulté d'interprétation
 - ...

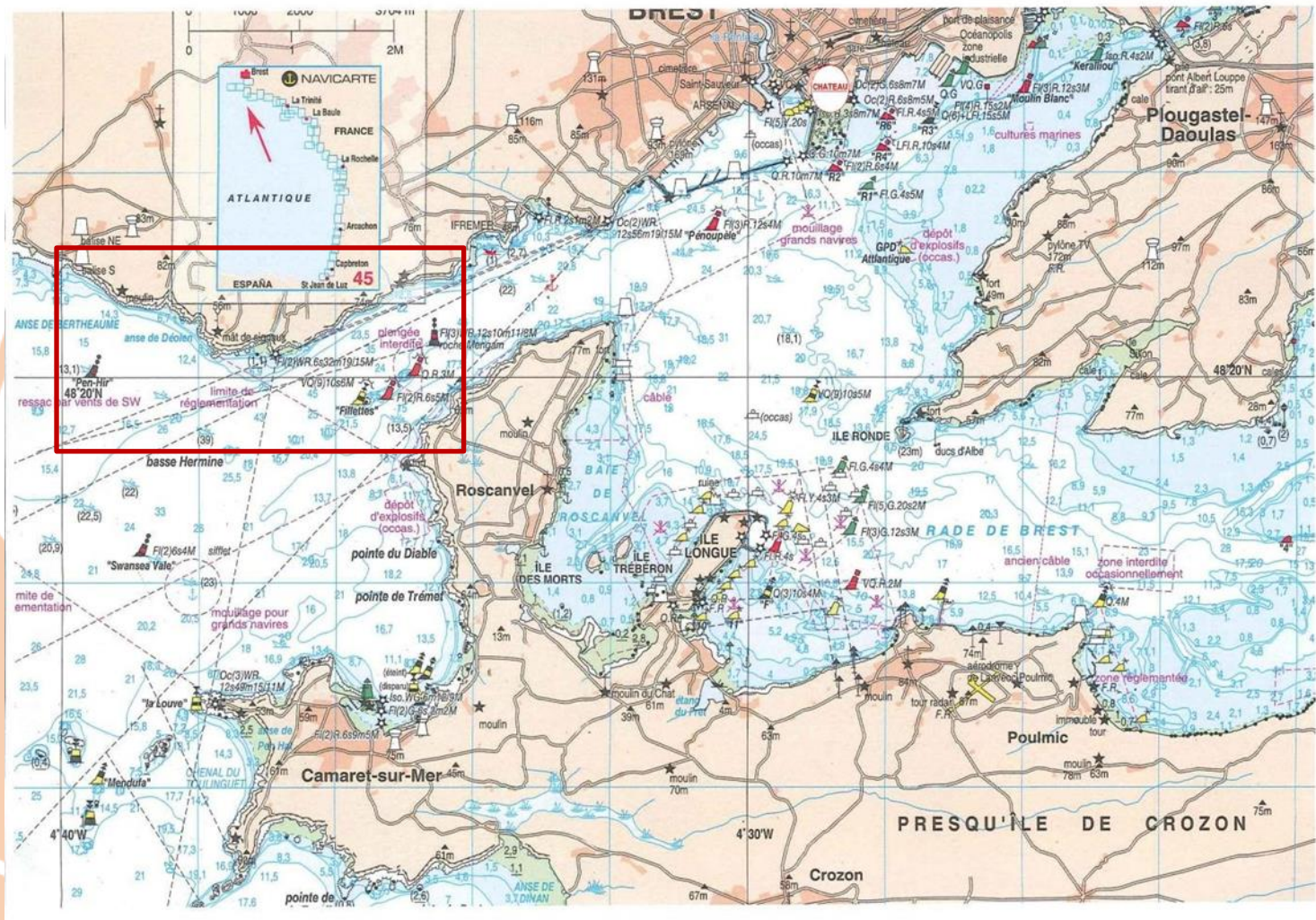
Expérimentation du 11/07/2018 sur le boatbot

- Capteurs utilisés
 - Sonar latéral : starfish 990F (900 kHz)
 - Magnétomètre : magnétomètre vectoriel fixé sur poisson
- Montage effectué
 - Sonar et magnétomètre supposé au même point géographique



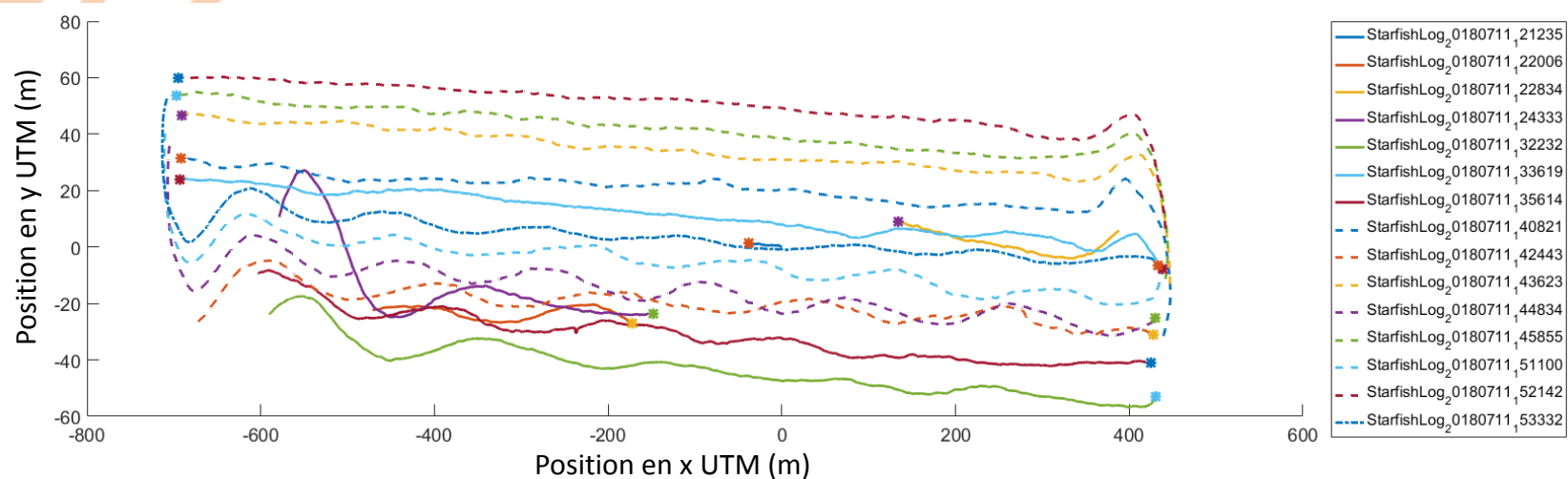
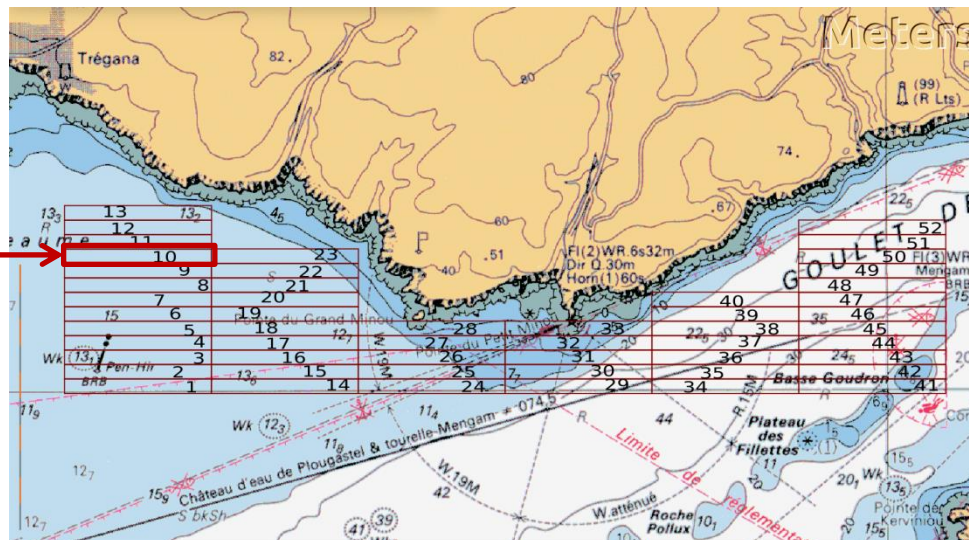
Expérimentation du 11/07/2018 sur le boatbot

- Zone explorée



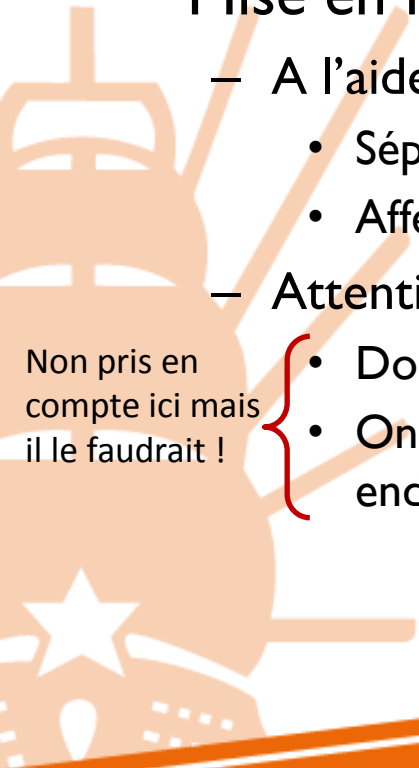
Expérimentation du 11/07/2018 sur le boatbot

- Zone explorée



Traitement des données du 11/07/2018

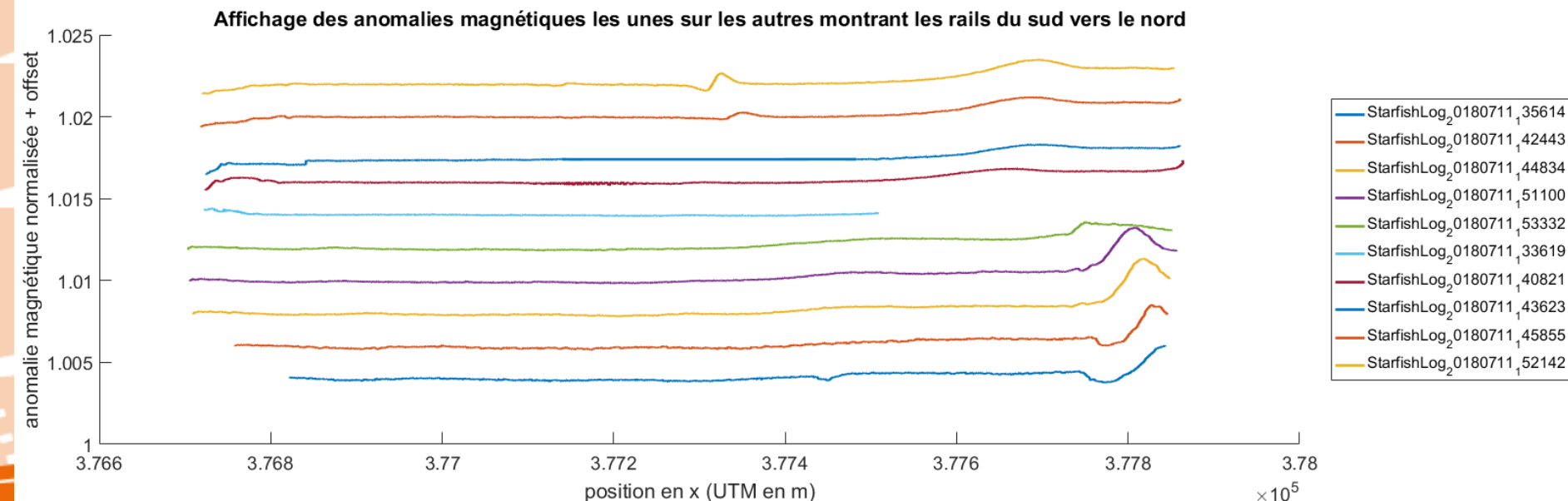
- Données enregistrées
 - Briques de 1 km x 100 m parcourues par 11 rails de 1 km espacés de 10 m
 - Sonar : 1 fichier par rail
 - Magnétomètre : données enregistrées en continu
- Mise en forme des données du magnétomètre
 - A l'aide des dates des données sonar et magnétomètre :
 - Séparation des données magnétomètre en rails similaires à ceux du sonar
 - Affectation des données lat/lon venant du sonar
 - Attention ! On suppose les données bien datées et géoréférencées
 - Données sonar bien datées (GPS) mais pas les données magnétomètre
 - On peut supposer le sonar et le magnétomètre quasiment au même endroit, mais à ~15 m derrière la position GPS



Non pris en
compte ici mais
il le faudrait !

Traitement des données du 11/07/2018

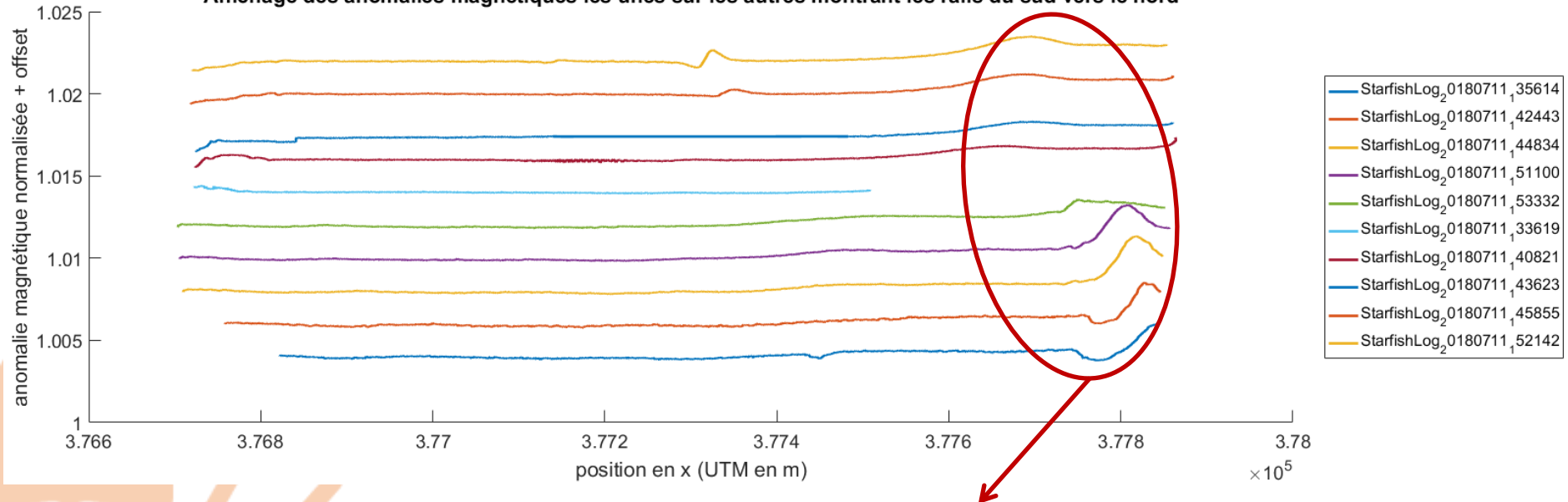
- Mise en forme des données du magnétomètre
 - Création d'une pseudo-image permettant de visualiser spatialement les différents rails
 - Supposant les rails orientés est-ouest, affichage de chaque rail sous forme de graphe en fonction de la position en longitude
 - Chaque graphe est normalisé et affecté d'un offset permettant de montrer les rails du nord au sud
- ⇒ Permet de visualiser spatialement les anomalies magnétiques, qu'elles soient fortes ou faibles



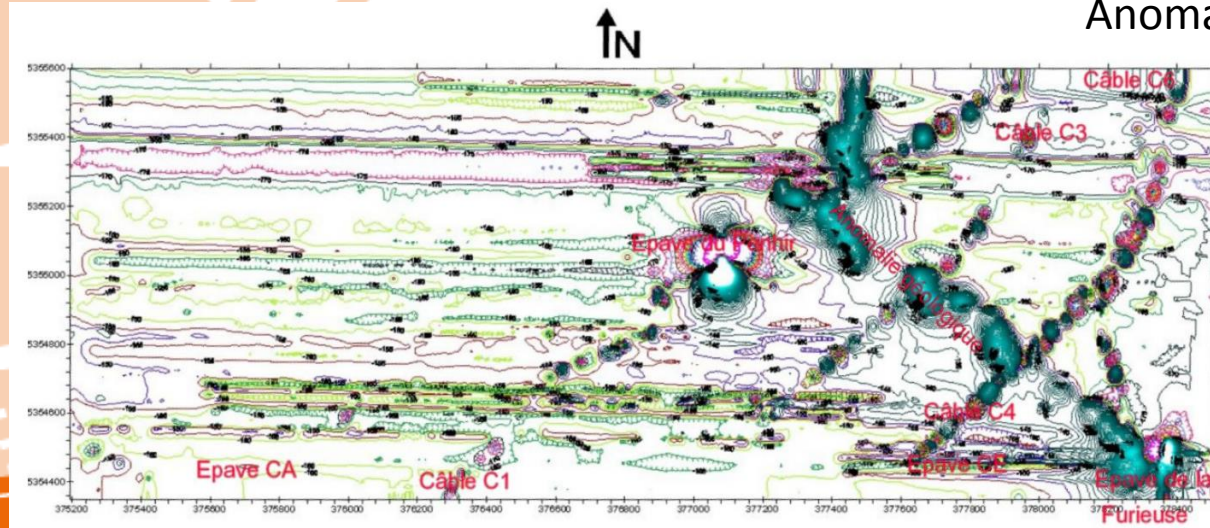
Traitement des données du 11/07/2018

- Analyse globale des données magnétiques

Affichage des anomalies magnétiques les unes sur les autres montrant les rails du sud vers le nord



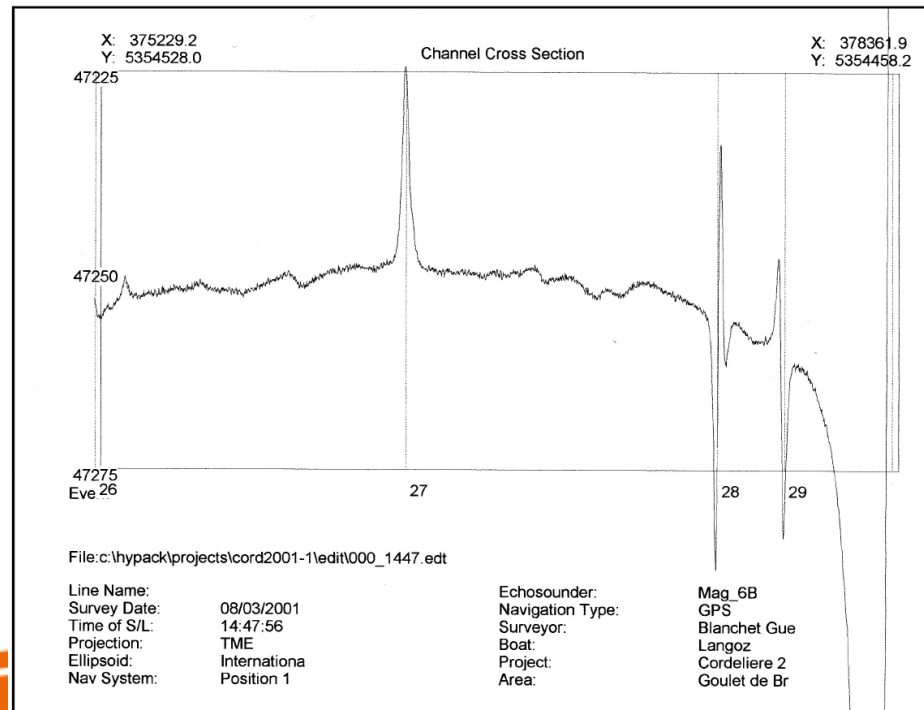
Anomalie géologique ?



Travaux précédents de
Max Guérout

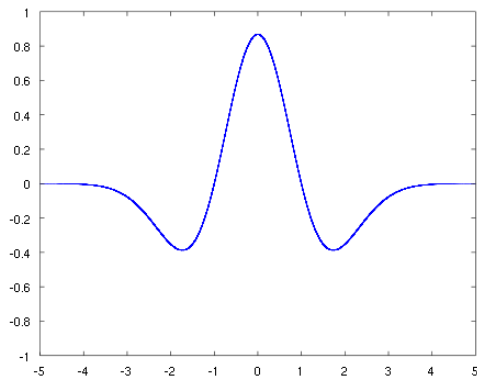
Traitement des données du 11/07/2018

- Analyse locale des données magnétiques
 - Constatation :
 - Les anomalies sont souvent sous forme de signal positif, négatif ou bipolaire (Max Guérout)
 - Les anomalies ont une amplitude plus ou moins importante en fonction de leur masse ferreuse et de leur éloignement au capteur
- ⇒ Une analyse par décomposition en ondelettes peut être adaptée

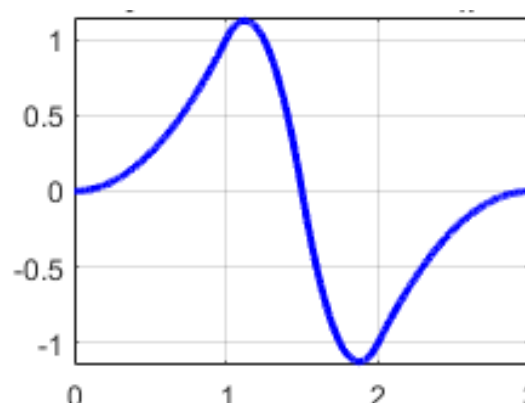


Traitement des données du 11/07/2018

- Analyse locale des données magnétiques : décomposition en ondelettes
 - Rappel : une décomposition en ondelettes permet une analyse multiéchelle d'un signal en “comparant” ce signal avec une forme déterminée (fonction d'ondelette) et ce à des échelles de plus en plus grossières
 - Fonctions d'ondelettes adaptées ici :
 - Chapeau mexicain ← Utilisée dans un 1^{er} temps
 - Ondelette asymétrique type biorthogonale



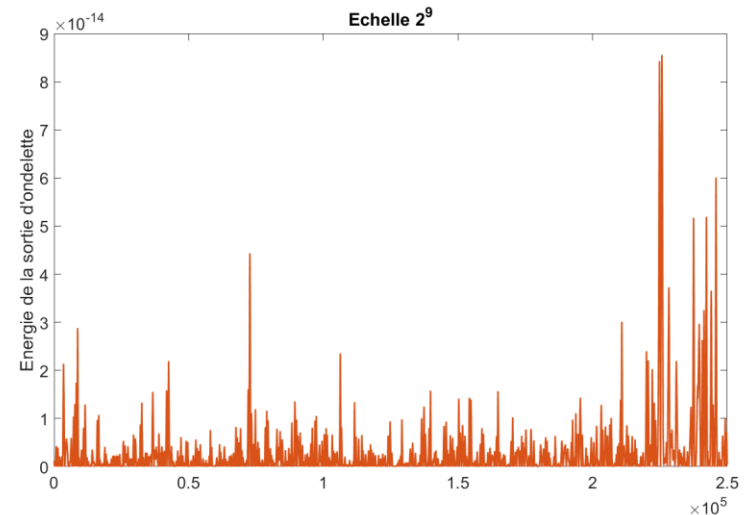
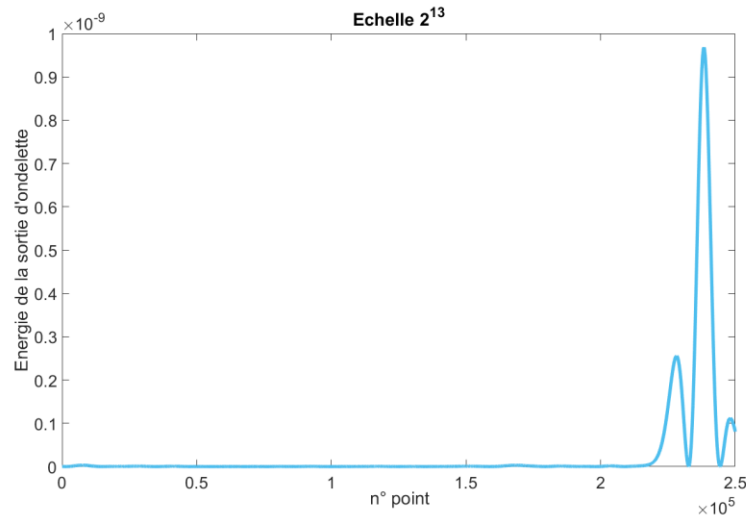
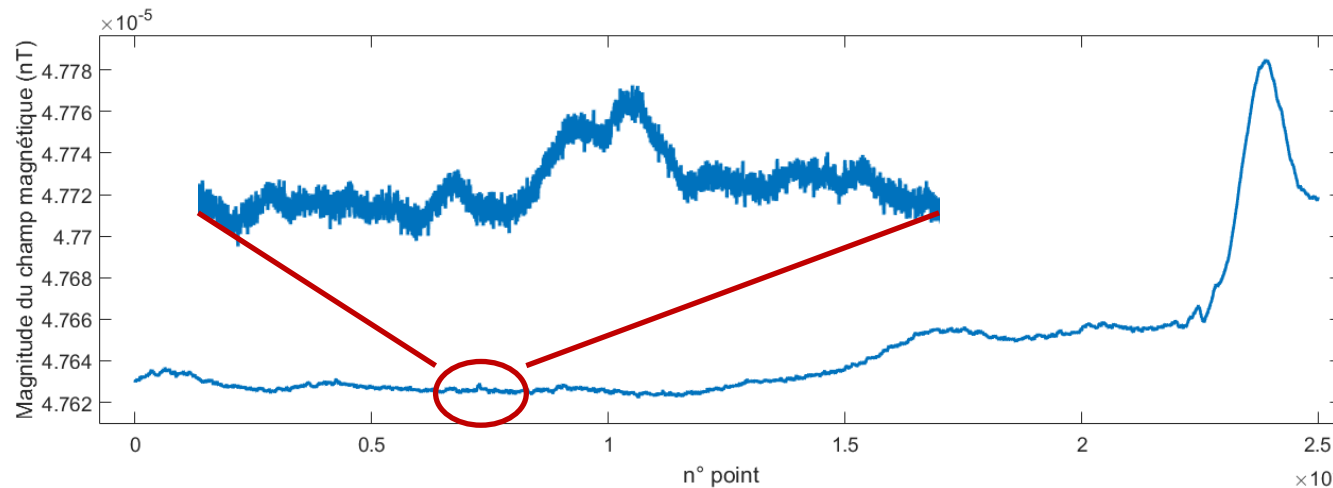
Ondelette chapeau mexicain



Ondelette biorthogonale

Traitement des données du 11/07/2018

- Décomposition en ondelettes chapeau mexicain
 - Décomposition sur les ondelettes sur des échelles en puissance de 2
 - Exemple de résultat sur une grosse et une petite anomalie

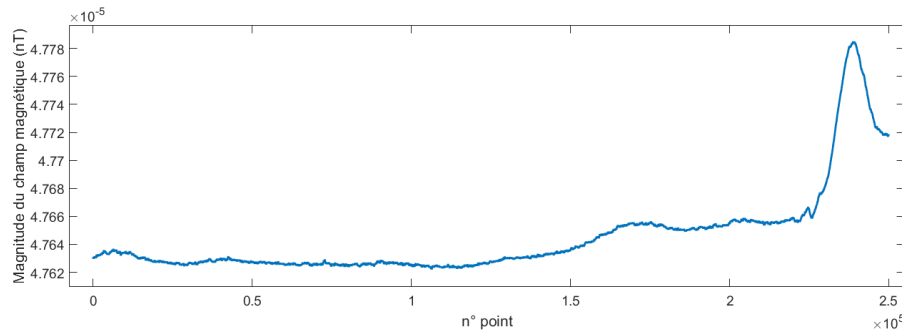


Mise en place d'un outil d'aide à l'utilisateur

- Utilisation des décompositions en ondelettes
 - Repérage des sorties d'ondelettes intéressantes
 - Amplitudes fortes à l'échelle considérée
 - Et/ou persistance sur plusieurs échelles
 - Et/ou largeur importante
 - Vérification sur le signal d'origine que cela est compatible avec une anomalie magnétique
 - Pointage sur le graphe de la zone de début et fin de l'anomalie et exportation dans l'espace de travail des abscisses de début et fin
 - Enregistrements des données utiles à l'utilisateur, par exemple :
 - Image sonar correspondant à la zone
 - Graphe des anomalies
 - Positions géographiques
 - Longueur estimée de l'anomalie
 - ...

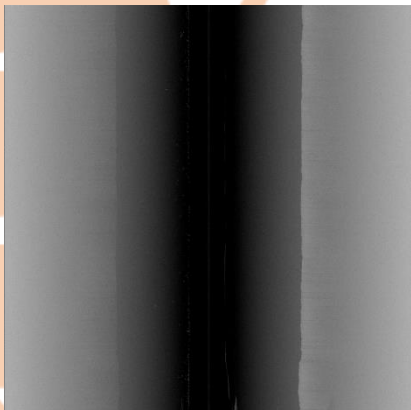
Mise en place d'un outil d'aide à l'utilisateur

- Exemple
 - Données proposées à l'utilisateur

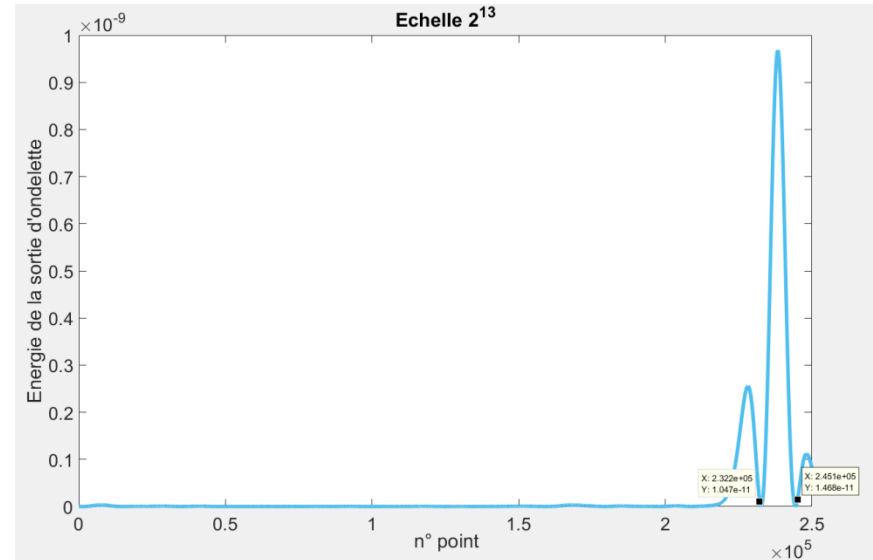
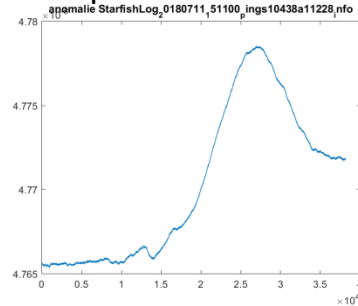


- Données enregistrées

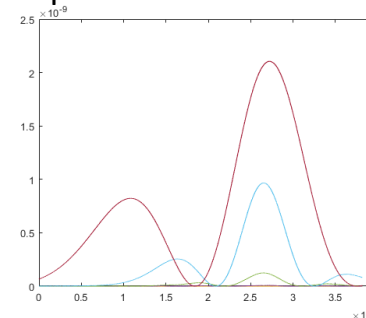
Image SSS locale



Graphe de l'anomalie



Graphe des sorties d'ondelettes



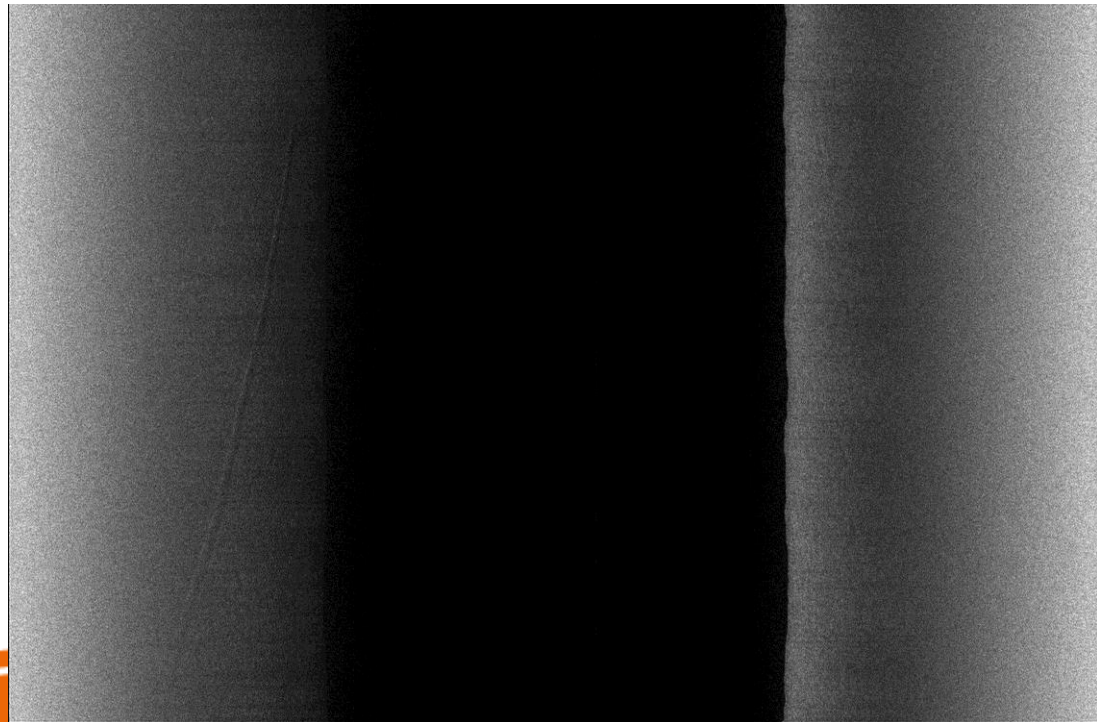
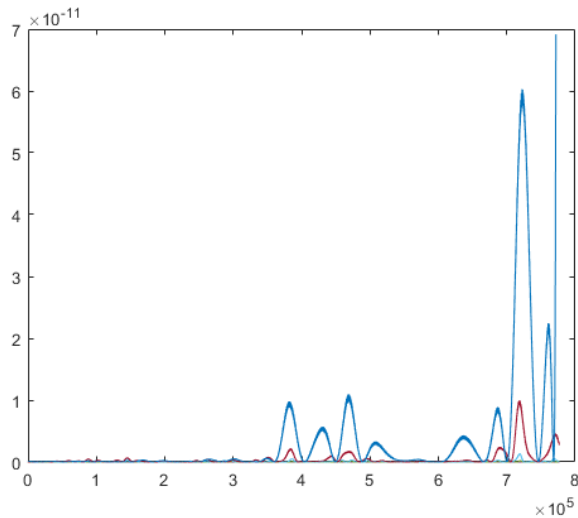
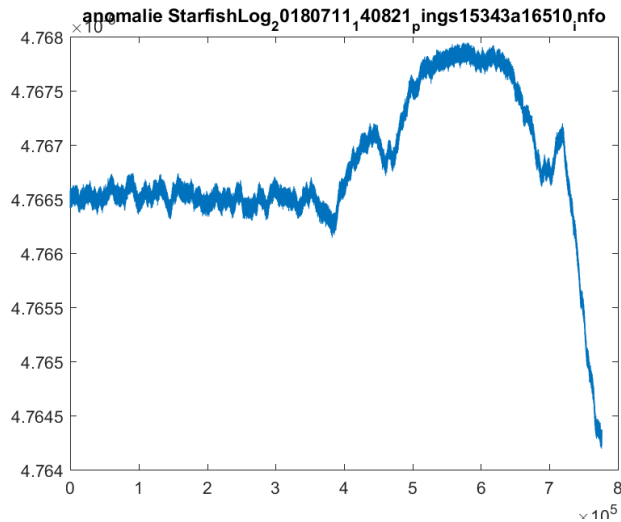
+ fichier Matlab regroupant les différentes données autour des points considérés

Fichier de données regroupant les principales informations

latitude début	48.3408791787584
longitude début	-4.66243302630021
latitude fin	48.3408841611016
longitude fin	-4.66355558719402
longueur de l'anomalie(m)	83.2022326103078
longueur de câble filé estimé (m)	15
sens de déplacement est -> ouest	-1

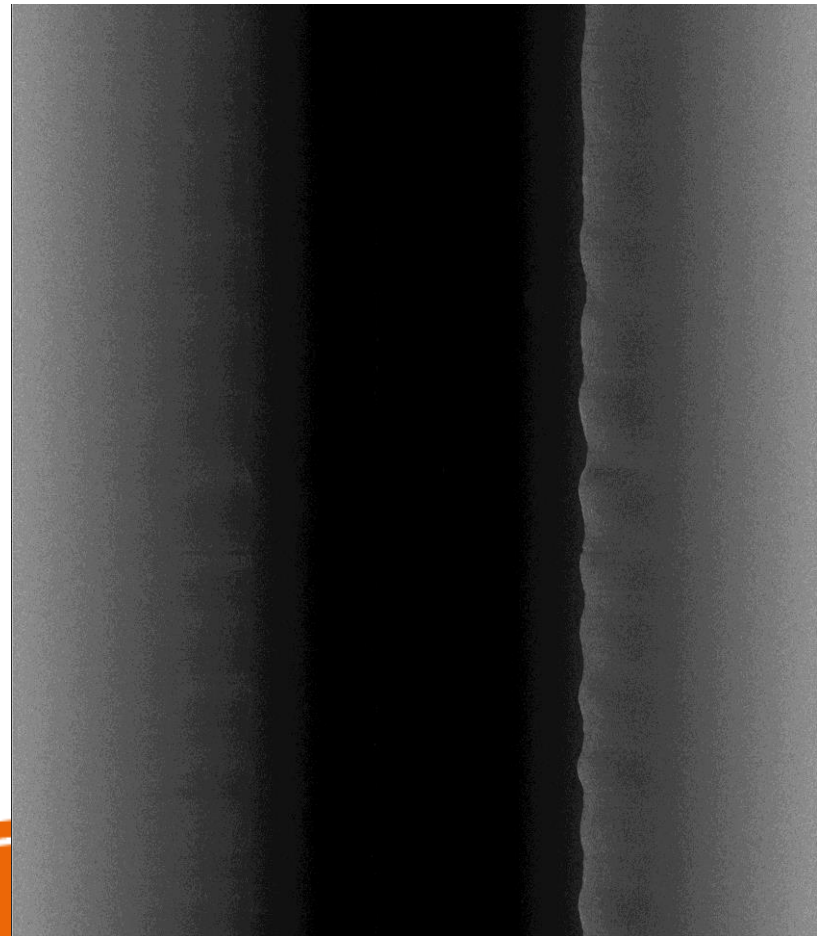
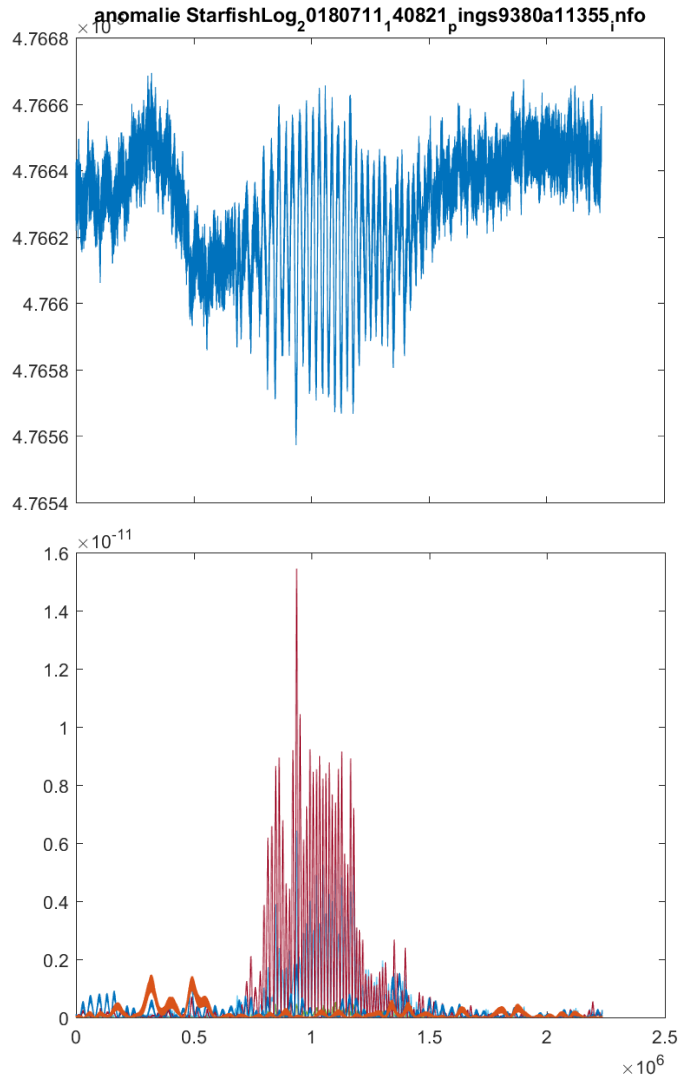
Exemple d'anomalies détectées

- Câble sous-marin
 - Anomalie explicable avec l'image sonar $\Rightarrow$ pas besoin d'aller prospecter



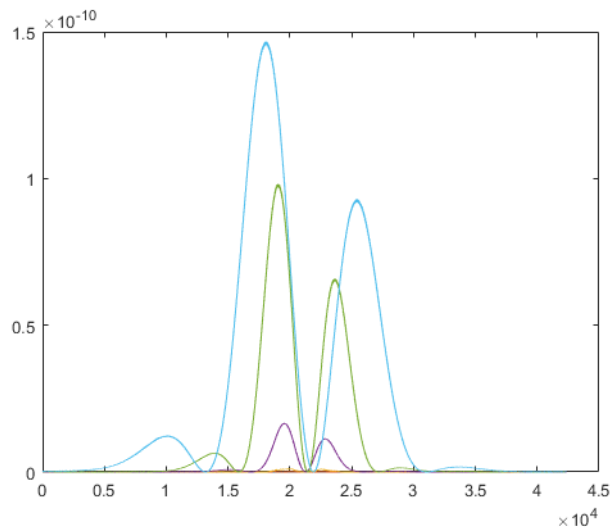
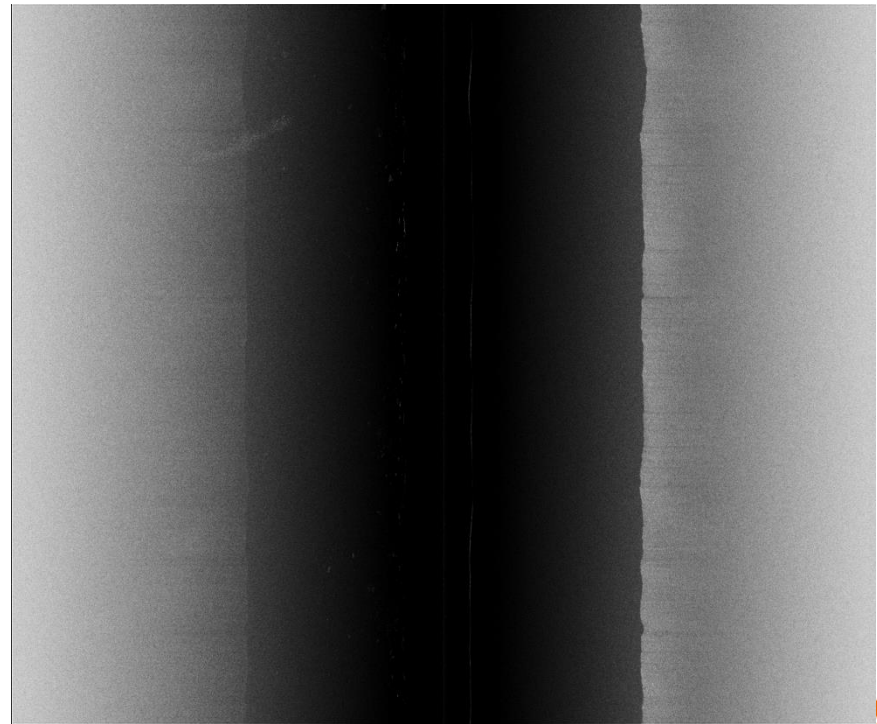
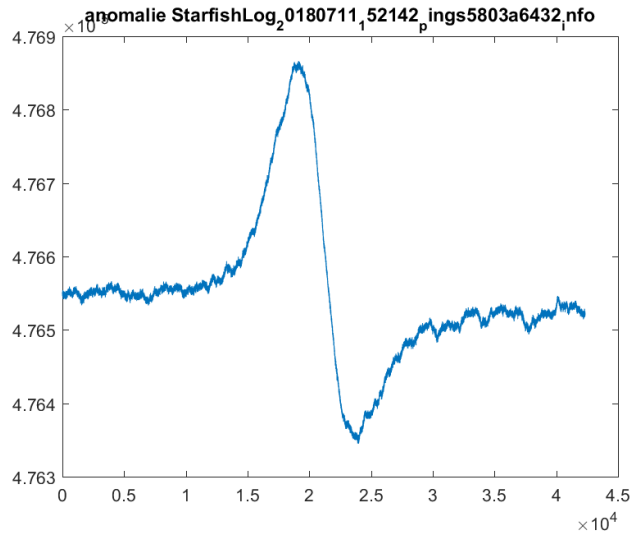
Exemple d'anomalies détectées

- Houle
 - Vagues visibles au même moment $\Rightarrow$ anomalie expliquée



Exemple d'anomalies détectées

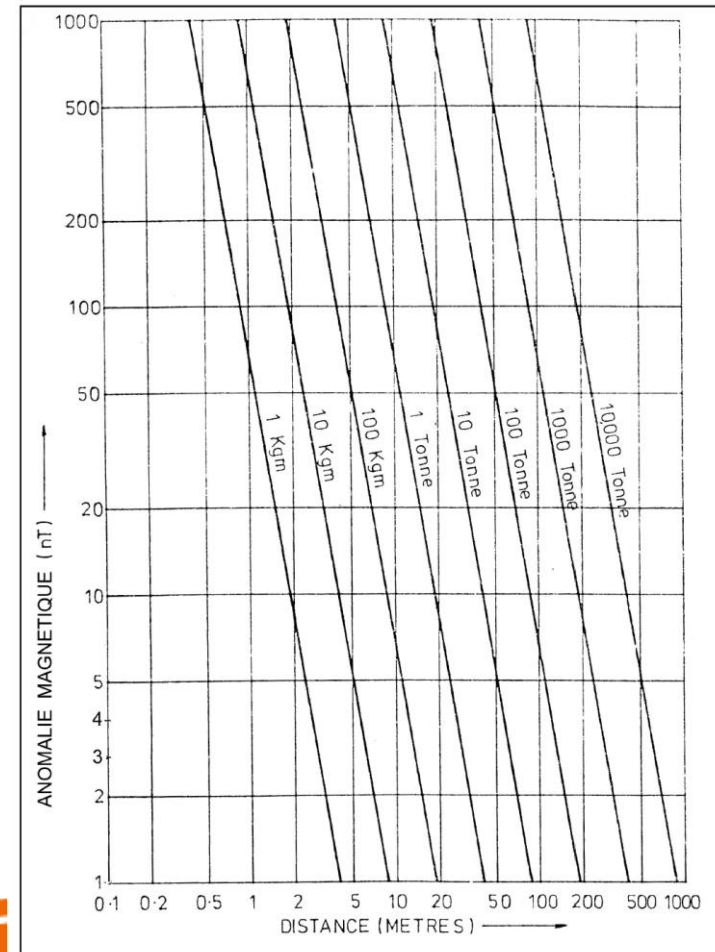
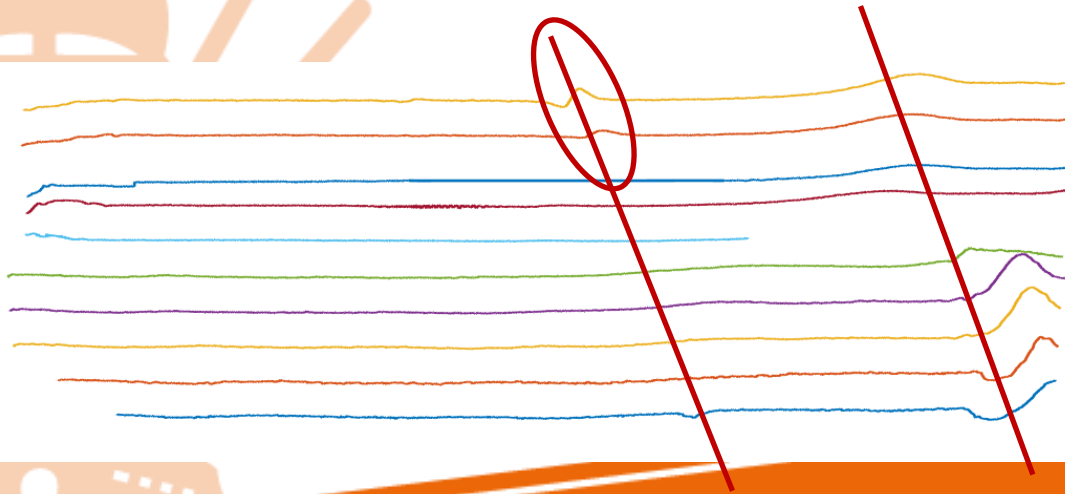
- Anomalie non expliquée au sonar
 - Anomalie type bipolaire de 58 m de long de +/- 28 nT



Exemple d'anomalies détectées

- Anomalie non expliquée au sonar
 - Peut-on estimer la masse de l'objet supposé ?
 - Pour une anomalie d'environ 30 nT et supposant qu'on est entre 7 et 10 m de la cible, cela donne une masse de fer entre 50 kg et 200 kg environ

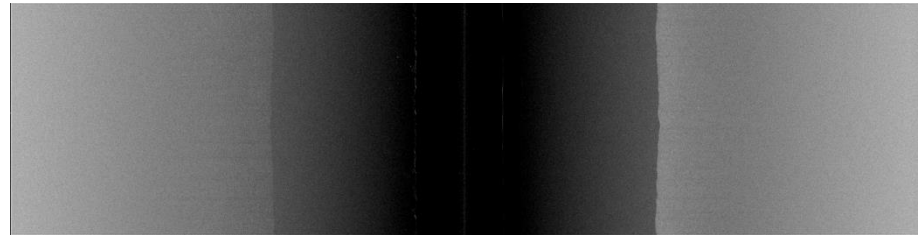
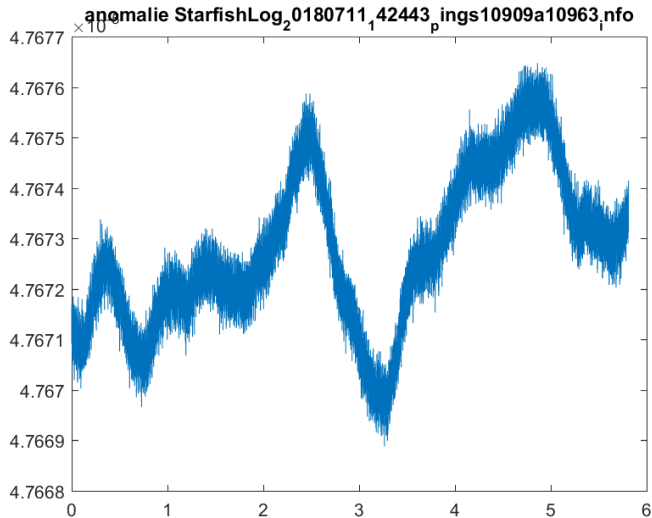
→ Objet de taille moyenne ou peu ferreux... Ou une faille géologique !



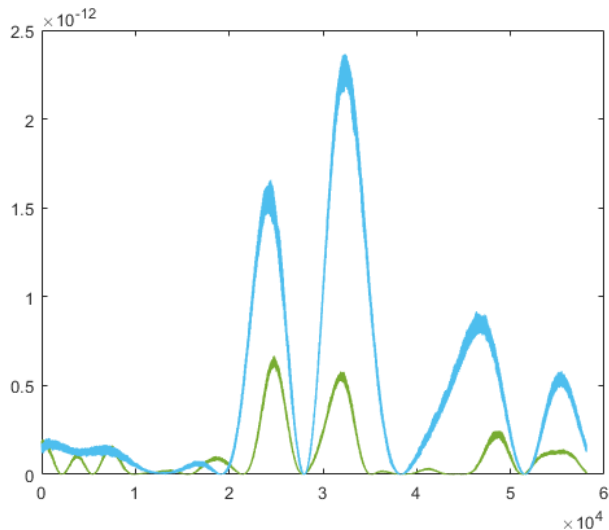
Abaque donnant la masse ferreuse d'un objet en fonction de la distance de détection et de la valeur de l'anomalie (Max Guérout)

Exemple d'anomalies détectées

- Autre anomalie non expliquée au sonar
 - Petite anomalie type bipolaire de 3,5 m de long de +/- 3 nT



En supposant qu'on est entre 7 et 10 m de la cible, cela donne une masse de fer entre 10 et 50 kg environ : petit objet de type petite ancre ?

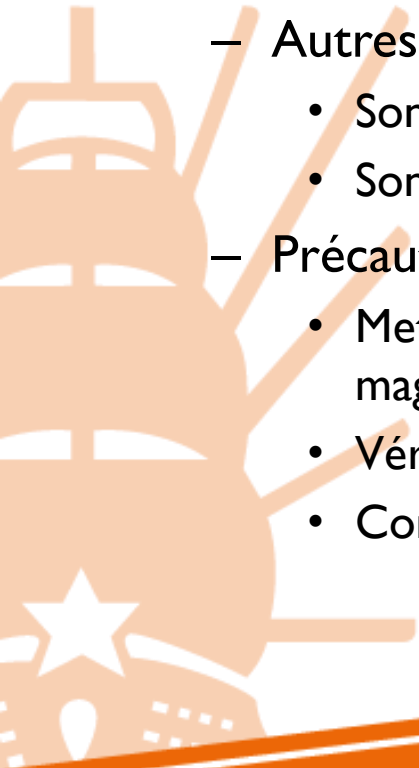


Conclusions et perspectives

- Bilan de l'expérimentation
 - But : vérifier la faisabilité d'utiliser l'information multicateur pour la recherche d'objets en milieu sous-marin
 - Sonar latéral et magnétomètre sur le même porteur
 - Approche utilisée ici : utiliser les informations de sonar latéral pour expliquer (ou non !) les anomalies magnétiques
 - Outils mis en place :
 - Mise en forme des données magnétomètre afin de les faire correspondre à chaque rail sonar
 - Mise sous forme de pseudo-image afin d'avoir une vision globale de la scène
 - ⇒ Permet de détecter des alignements sur les grandes anomalies
 - Algorithmes de traitement des données de type "aide à l'utilisateur" pour des visions plus locales
 - Décomposition en ondelettes "chapeau mexicain" afin de faire ressortir les anomalies magnétiques à plusieurs échelles
 - Pointage manuel des débuts et fins d'anomalies sur les graphes
 - Enregistrement automatique des informations permettant de mieux comprendre la scène : image sonar, image de l'anomalie, positions géographiques, etc.
 - ⇒ Permet de détecter les grandes et les petites anomalies magnétiques, et de tenter d'en comprendre l'origine (sonar)

Conclusions et perspectives

- Perspectives : instruments
 - Sonar latéral : trop haut par rapport au fond, dépresseur souhaitable
 - Magnétomètre :
 - Creuser l'utilisation possible d'un magnétomètre vectoriel pour une prospection "bas coût"
 - Connaître précisément son immersion
 - Autres instruments utiles :
 - Sondeur de sédiments
 - Sondeur multifaisceau
 - Précautions à prendre :
 - Mettre le plus d'instruments possibles au même endroit (sonar latéral et magnétomètre sur même poisson)
 - Vérifier la non influence du sonar sur le magnétomètre
 - Connaître précisément la position géographique des porteurs



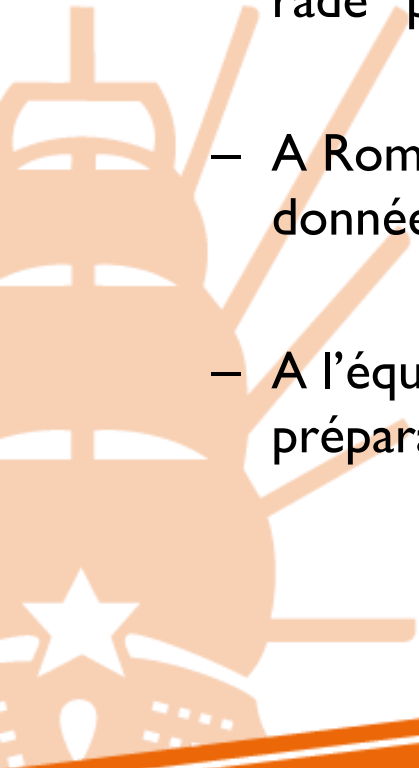
Conclusions et perspectives

- Perspectives : algorithmique
 - Automatiser les détections
 - Tester d'autres décompositions en ondelettes, permettant de discerner les différentes formes d'anomalies et de bien les localiser
 - Pour le futur...
 - Proposer aussi des détections automatisées sur les images sonar, permettant de discerner les objets manufacturés ou du moins leur présence / absence (algorithmes de segmentation / classification)
 - Intégrer l'analyse d'autres instruments
 - Sondeurs de sédiments : inhomogénéités dans les strates
 - Sondeurs multifaisceau : exploiter les informations de bathymétrie ou de hauteur d'objet



Merci pour votre attention !

- Un grand merci !
 - Au DRASSM pour avoir permis la réalisation de cette campagne
 - A l'ENSTA Bretagne pour avoir permis que les “étrangers du sud de la rade” puissent venir expérimenter sur le boatbot
 - A Romain Schwab pour les réponses patientes aux questions sur les données du magnétomètre
 - A l'équipe technique de l'IRENav (SEFER) pour nous avoir aidé à la préparation du sonar



Merci pour votre attention !

Questions?

