

Cartographie de l'Île des Morts par un robot sous-marin équipé d'un sonar sectoriel

Vincent Drevelle

ENSTA Bretagne, Ocean Sensing and Mapping
Lab-STICC, IHSEV

Journées Travail Sous-marin, 15-16 janvier 2014, ONERA Toulouse



Motivation

Tour de l'Île des Morts.

- Utiliser en mer notre AUV pour une mission autonome.
- Acquérir un jeu de données sonar en suivi de berge.
- Tester une méthode de cartographie 3D sur les données recueillies.



Merci à Simon Rohou, Fabrice Le Bars, Benoit Zerr, Luc Jaulin, Jordan Ninin, et aux étudiants de l'ENSTA Bretagne pour leur participation à la réalisation des manipulations.

Sommaire

- 1 Cartographie
 - Le problème étudié
 - Formulation ensembliste
- 2 Expérience
 - L'Île des Morts
 - Mission de navigation autonome
- 3 Résultats
 - Prétraitement des données
 - Cartographie par intervalles

Lignes directrices

1 Cartographie

- Le problème étudié
- Formulation ensembliste

2 Expérience

- L'Île des Morts
- Mission de navigation autonome

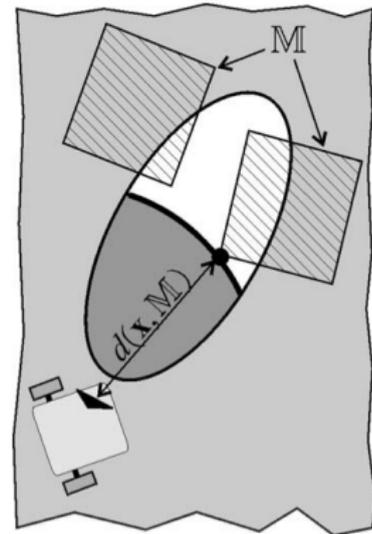
3 Résultats

- Prétraitement des données
- Cartographie par intervalles

Cartographie

$$z(t) = d(\mathbf{x}(t), \mathbf{M})$$

- $t \in [t]$ est le temps
- $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$ est le vecteur d'état du robot
- d est la fonction de cartographie
- $\mathbf{M} \in \mathcal{C}(\mathbb{R}^q)$ est la carte
- z est une mesure extéroceptive (ex. télémètre)



(Luc Jaulin, 2011)

Lignes directrices

1 Cartographie

- Le problème étudié
- Formulation ensembliste

2 Expérience

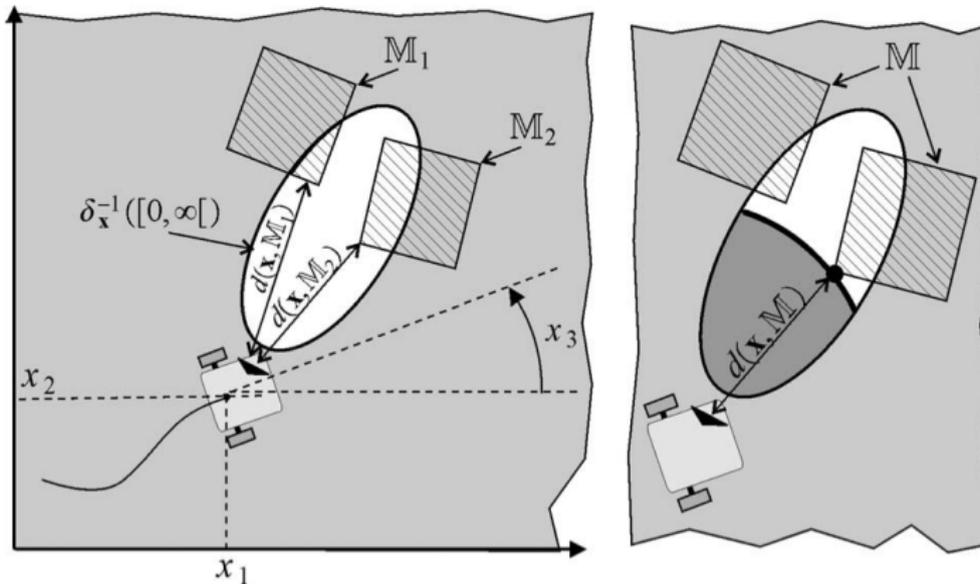
- L'Île des Morts
- Mission de navigation autonome

3 Résultats

- Prétraitement des données
- Cartographie par intervalles

Formulation ensembliste

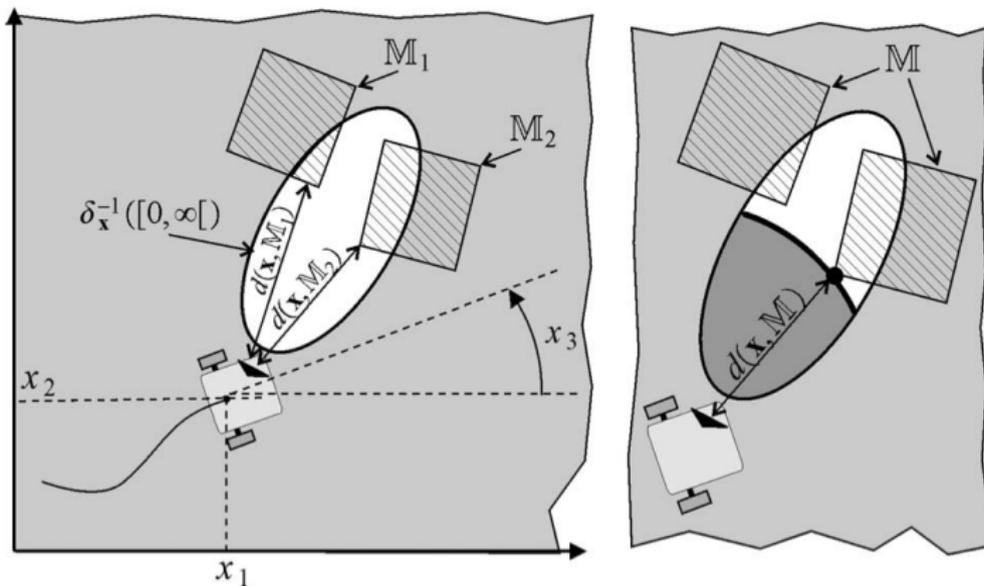
- Zone de couverture : $\mathbb{V}(\mathbf{x}) = \{\mathbf{a}, d(\mathbf{x}, \{\mathbf{a}\}) < \infty\}$



(Luc Jaulin, 2011)

Formulation ensembliste

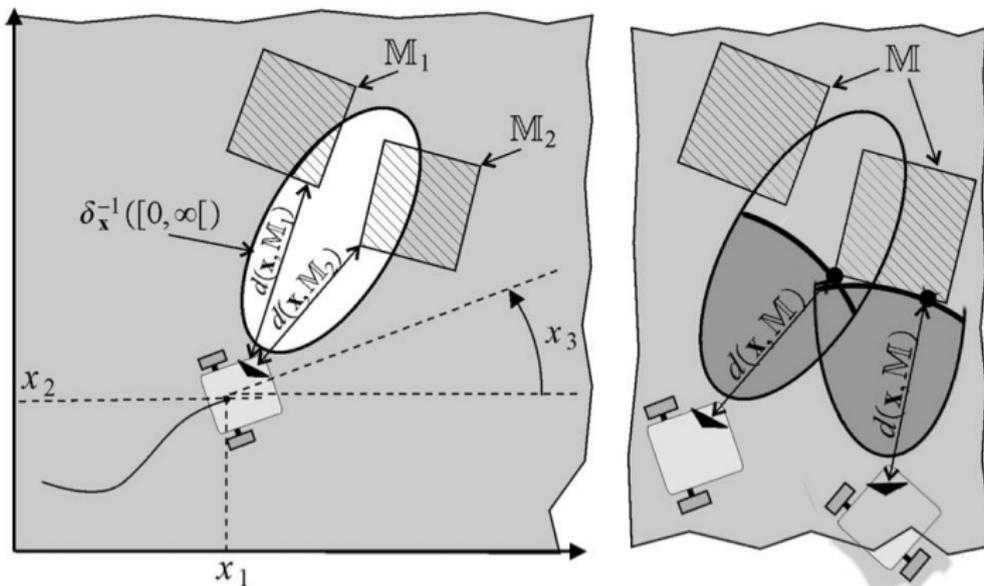
- On mesure z . La zone « creusée » est $\mathbb{C}(\mathbf{x}, z) = \{\mathbf{a}, d(\mathbf{x}, \{\mathbf{a}\}) < z\}$



(Luc Jaulin, 2011)

Formulation ensembliste

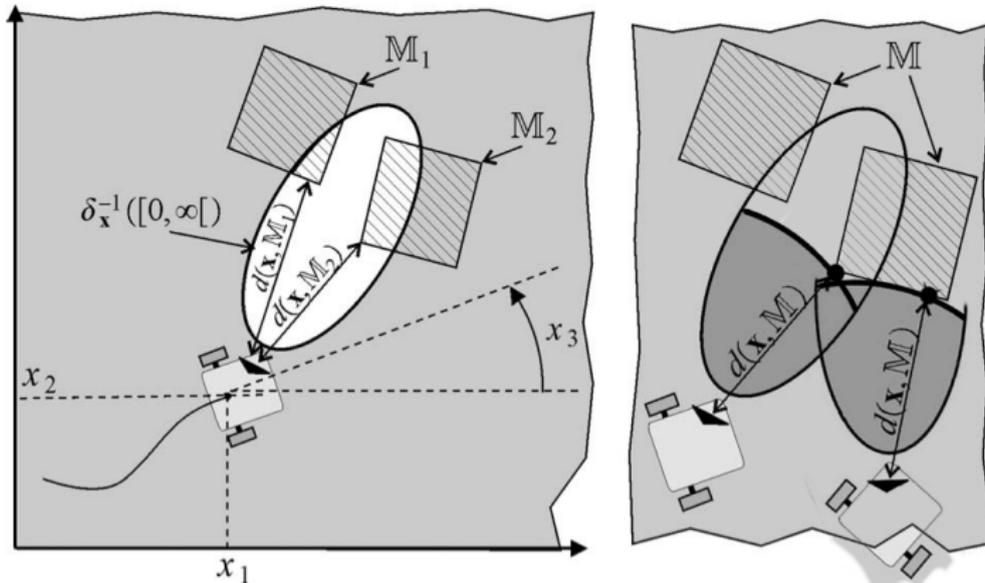
- L'espace « creusé » est $\mathbb{D} = \bigcup_{t \in [t]} \mathbb{C}(\mathbf{x}(t), z(t))$



(Luc Jaulin, 2011)

Formulation ensembliste

- Carte \mathbb{M} , disjointe de l'espace creusé $\mathbb{M} \cap \mathbb{D} = \emptyset$



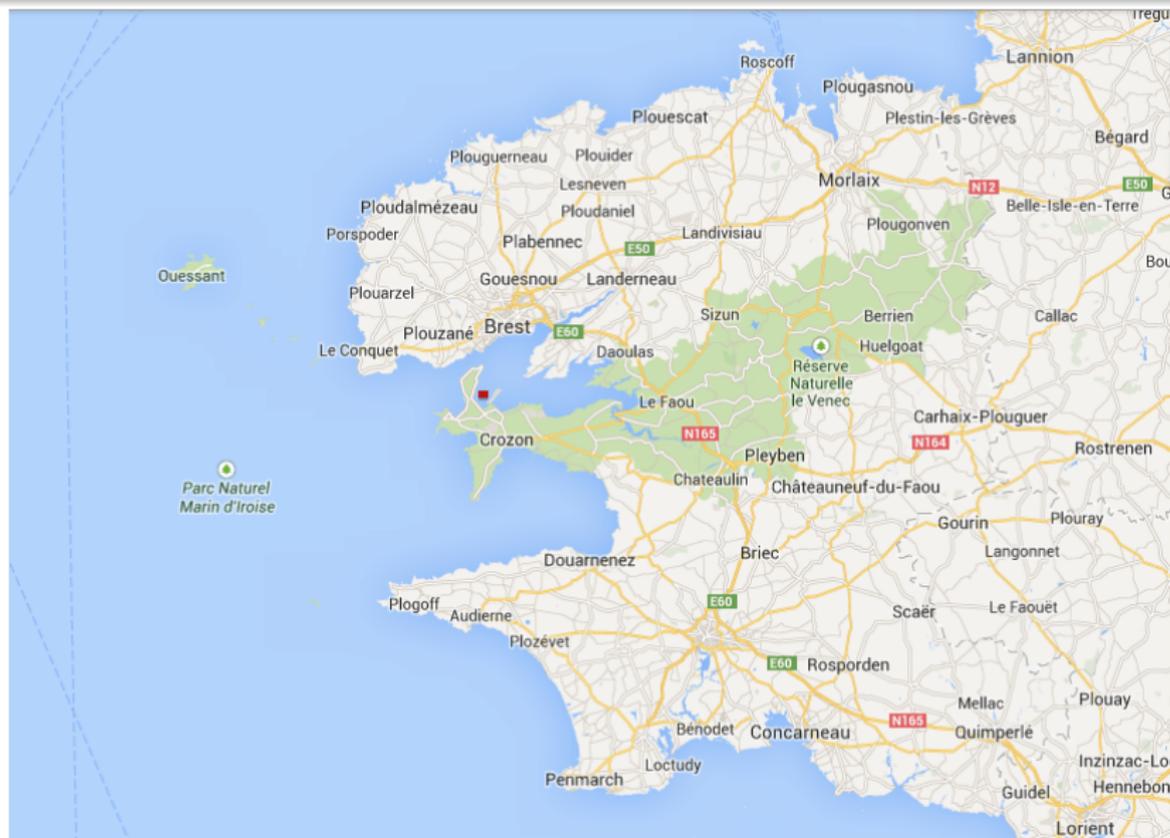
(Luc Jaulin, 2011)

Formulation ensembliste

- Zone de couverture
 - $\mathbb{V}(\mathbf{x}) = \{\mathbf{a}, d(\mathbf{x}, \{\mathbf{a}\}) < \infty\}$
- On mesure une distance z : zone « creusée »
 - $\mathbb{C}(\mathbf{x}, z) = \{\mathbf{a}, d(\mathbf{x}, \{\mathbf{a}\}) < z\}$
- Espace « creusé »
 - $\mathbb{D} = \bigcup_{t \in [t]} \mathbb{C}(\mathbf{x}(t), z(t))$
- Espace libre
 - $\mathbb{F} \supseteq \mathbb{D}$
- Carte
 - $\mathbb{M} = \bar{\mathbb{F}}$
 - $\mathbb{M} \cap \mathbb{D} = \emptyset$

Lignes directrices

- 1 Cartographie
 - Le problème étudié
 - Formulation ensembliste
- 2 Expérience
 - L'île des Morts
 - Mission de navigation autonome
- 3 Résultats
 - Prétraitement des données
 - Cartographie par intervalles







L'île des Morts



En Baie de Roscanvel (rade de Brest). Environ 300 m de diamètre.

L'île des Morts



Cote variée : naturelle (rochers) et artificielle (quai).

Lignes directrices

1 Cartographie

- Le problème étudié
- Formulation ensembliste

2 Expérience

- L'Île des Morts
- Mission de navigation autonome

3 Résultats

- Prétraitement des données
- Cartographie par intervalles

L'AUV Vici



L'AUV Vici



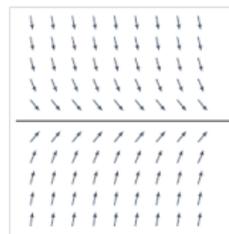
ROV/AUV Ciscrea équipé d'un caisson d'autonomie (PC compact sous Linux, Middleware MOOS pour la commande et l'enregistrement des données)

- Sonar rotatif Tritech Micron
- Capteur de pression
- Échosondeur Tritech Micron
- Deux caméras
- Centrale inertielle très bas coût
- Modem acoustique Tritech Micron

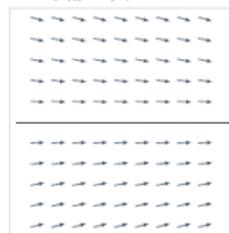
Bouée GPS pour la localisation et la communication (Ubiquiti Bullet)

Navigation autonome

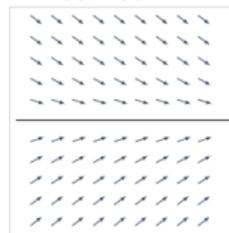
- Middleware MOOS
- Waypoints saisis sur carte
- Algorithme de suivi de lignes par champ de vecteurs.
 - position donnée par le GPS de la bouée
 - cap donné par la boussole
- Régulation en cap et profondeur
- Évitement du fond (échosondeur)



a) $\gamma_{\infty} = \pi/2, r = 0.5$.



e) $\gamma_{\infty} = \pi/4, r = 5$.



c) $\gamma_{\infty} = \pi/4, r = 0.5$.

Mission



Mission



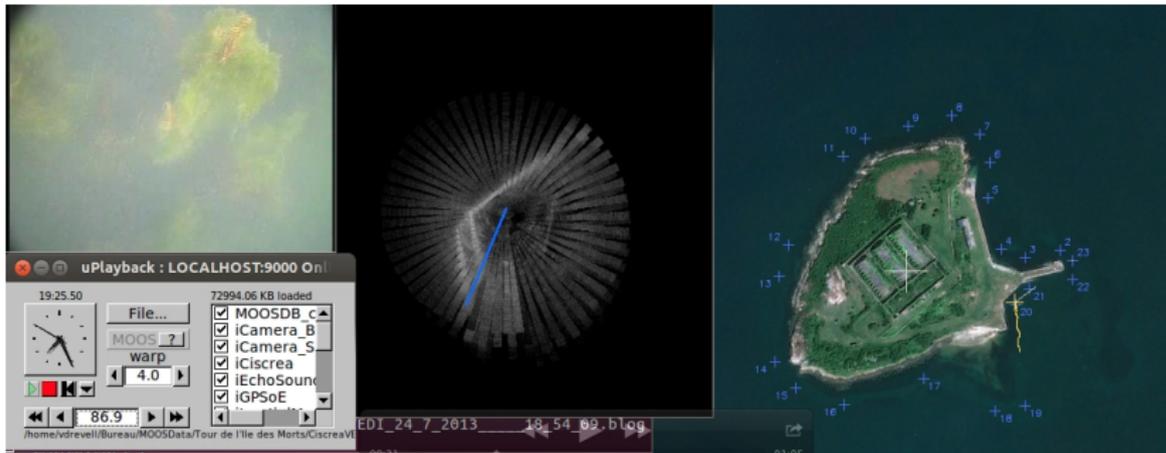
Mission



24 juillet 2013

- Tour de l'île effectué en 1 h.
- 1200 m parcourus.
- Entre 0,6 et 0,95 noeuds

Mission

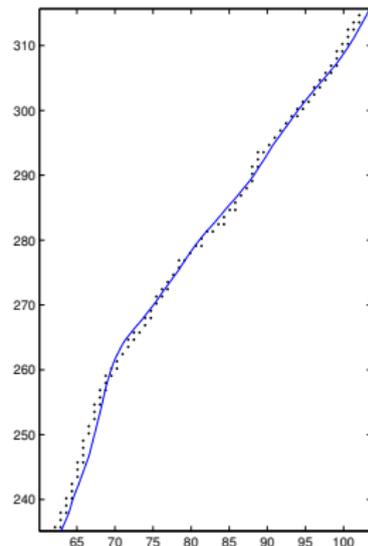


Lignes directrices

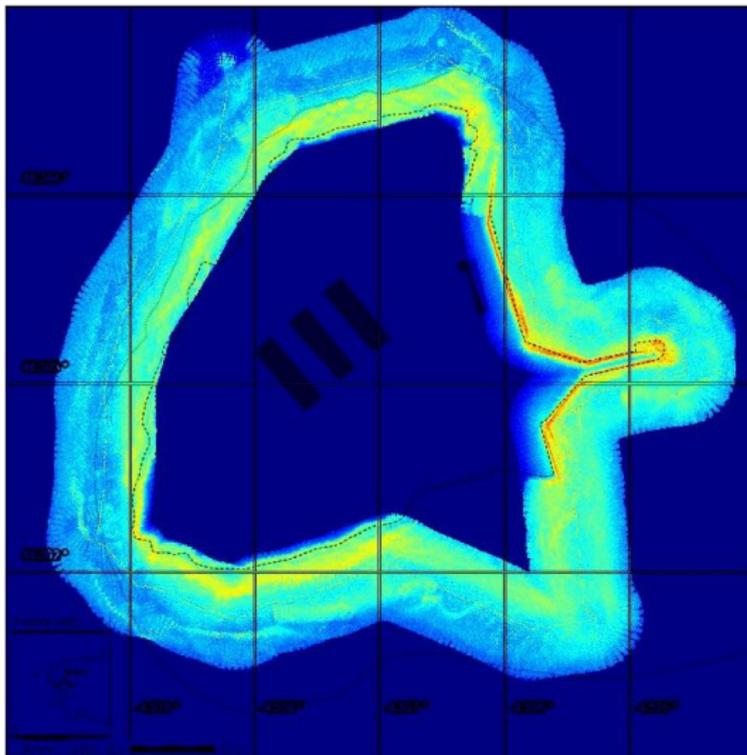
- 1 Cartographie
 - Le problème étudié
 - Formulation ensembliste
- 2 Expérience
 - L'Île des Morts
 - Mission de navigation autonome
- 3 Résultats
 - Prétraitement des données
 - Cartographie par intervalles

Lissage de la trajectoire

Le nombre de décimales fournies par le GPS dans les trames NMEA donne une résolution métrique. De plus, la bouée est trainée par le sous-marin. Afin d'améliorer la cartographie, la trajectoire a été lissée, en utilisant le cap de la boussole.



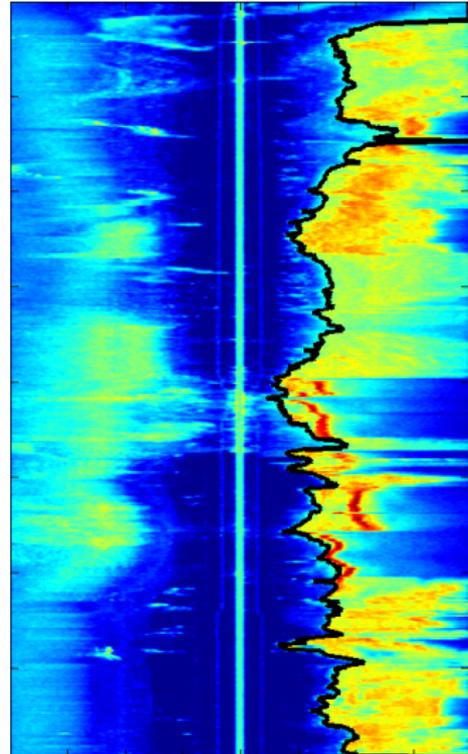
Cartographie 2D avec les données Sonar



- Sonar rotatif
 - 50 mesures par tour
 - Portée 30 m
- Carte du max d'intensité reçue
- Différence quais (est) / rochers (ouest)

Seuillage des données sonar

La méthode ensembliste présentée prend la distance au premier obstacle comme entrée. Les données sonar contiennent toute l'information de la colonne d'eau. Un seuil est appliqué afin de déterminer la distance au premier obstacle.



Lignes directrices

- 1 Cartographie
 - Le problème étudié
 - Formulation ensembliste
- 2 Expérience
 - L'Île des Morts
 - Mission de navigation autonome
- 3 Résultats
 - Prétraitement des données
 - Cartographie par intervalles

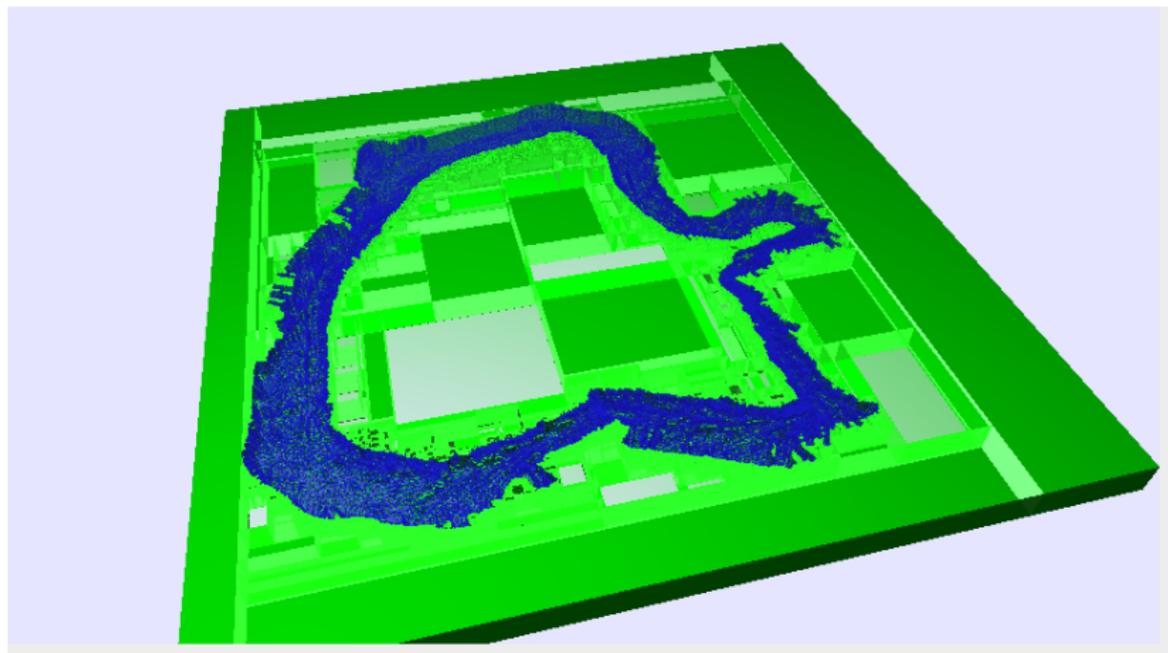
Résolution du problème

- Le calcul de l'espace creusé \mathbb{D} est un problème d'inversion ensembliste :

$$\mathbb{D} = \left\{ \mathbf{a}, \min_{t \in [t]} d(\mathbf{x}(t), \{\mathbf{a}\}) - z(t) < 0 \right\}$$

- On calcule \mathbb{D} à l'aide d'une méthode d'inversion ensembliste par intervalles
- Algorithme SIVIA (Set Inversion Via Interval Analysis), avec des contracteurs pour l'espace creusé et son complémentaire.
- Utilisation de la bibliothèque IBEX 2.0 (calcul garanti, programmation par contracteurs)

Résultat : vue 3D de l'espace non-creusé



Résumé

- Réalisation du tour de l'île des Morts en autonomie (localisation par bouée GPS).
- Acquisition d'un jeu de données sonar, avec différents types de berges.
- Utilisation d'un algorithme de cartographie par intervalles sur des données réelles.
- Perspectives
 - Publication du jeu de données
 - Tour de l'île sans GPS en 2014 (au retour des beaux jours)
 - Test avec le sonar balayant dans un plan vertical ou oblique (cartographie des berges)