



Analyse par intervalles pour la localisation et la cartographie simultanées; Application à la robotique sous-marine

Fabrice LE BARS

■ Thèse

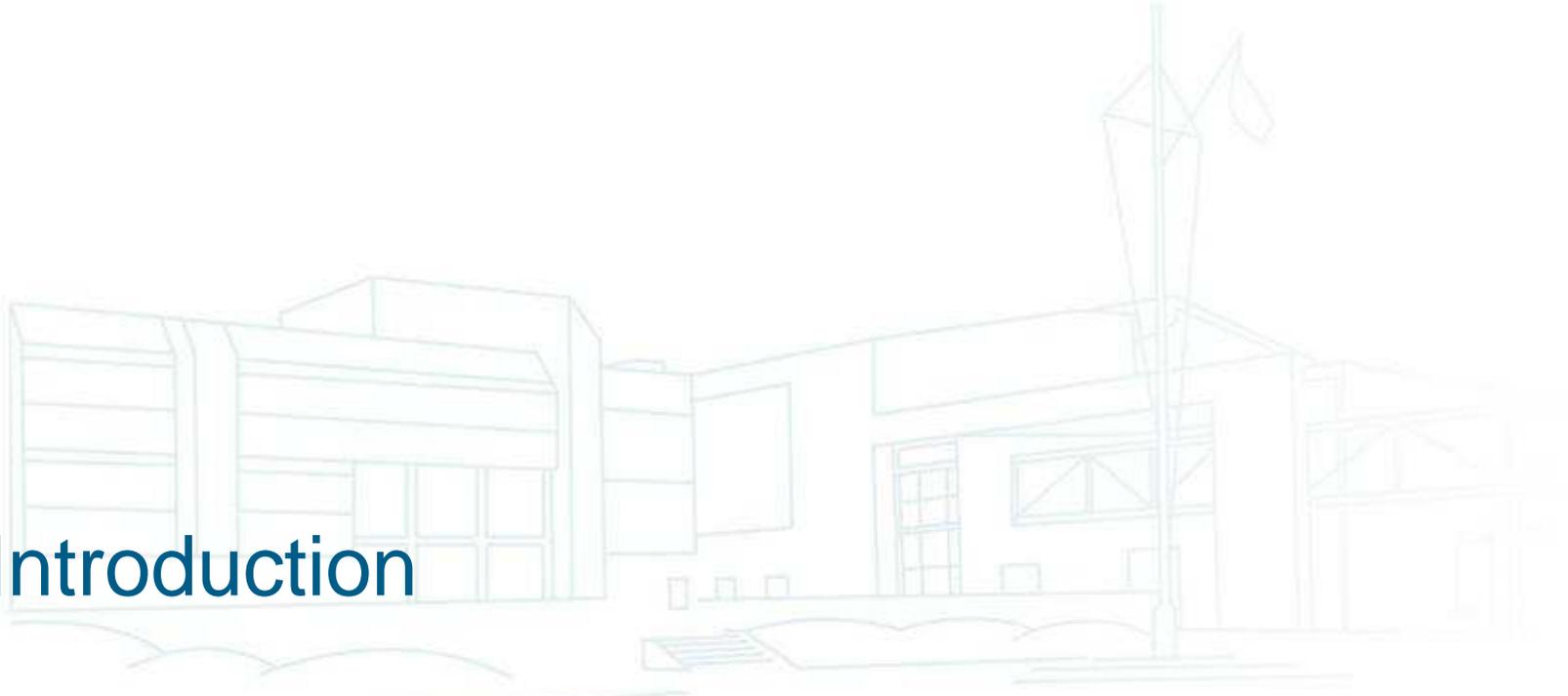
- Financée par la DGA
- Administrée par le CNRS
- Préparée à l'ENSTA Bretagne, dans l'équipe OSM du Pôle STIC
- Ecole doctorale SICMA (UBO)



Plan



- Introduction
- Sous-marins et données fugaces
- Problème du SLAM
- Calcul par intervalles
- Tubes
- SLAM sous-marin et données fugaces
- Autres travaux
- Conclusion et perspectives



Introduction

Introduction

- Contexte :
 - SLAM offline appliqué aux robots sous-marins
 - Amers immobiles et ponctuels
 - Sans données aberrantes
- Outils :
 - Calcul par intervalles et propagation de contraintes

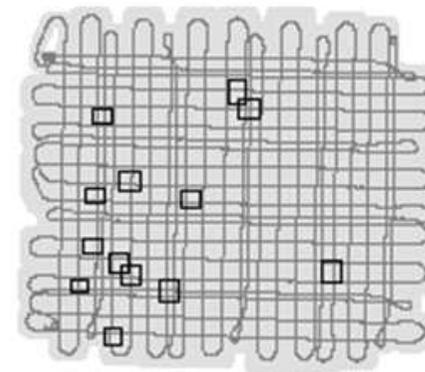
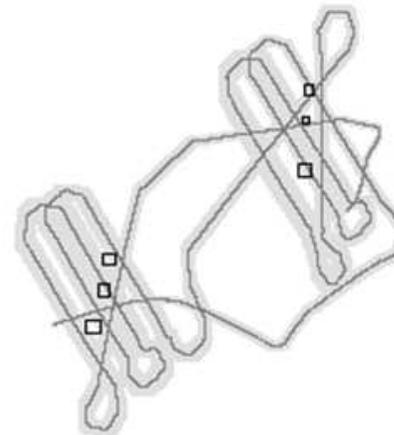




Sous-marins et données fugaces

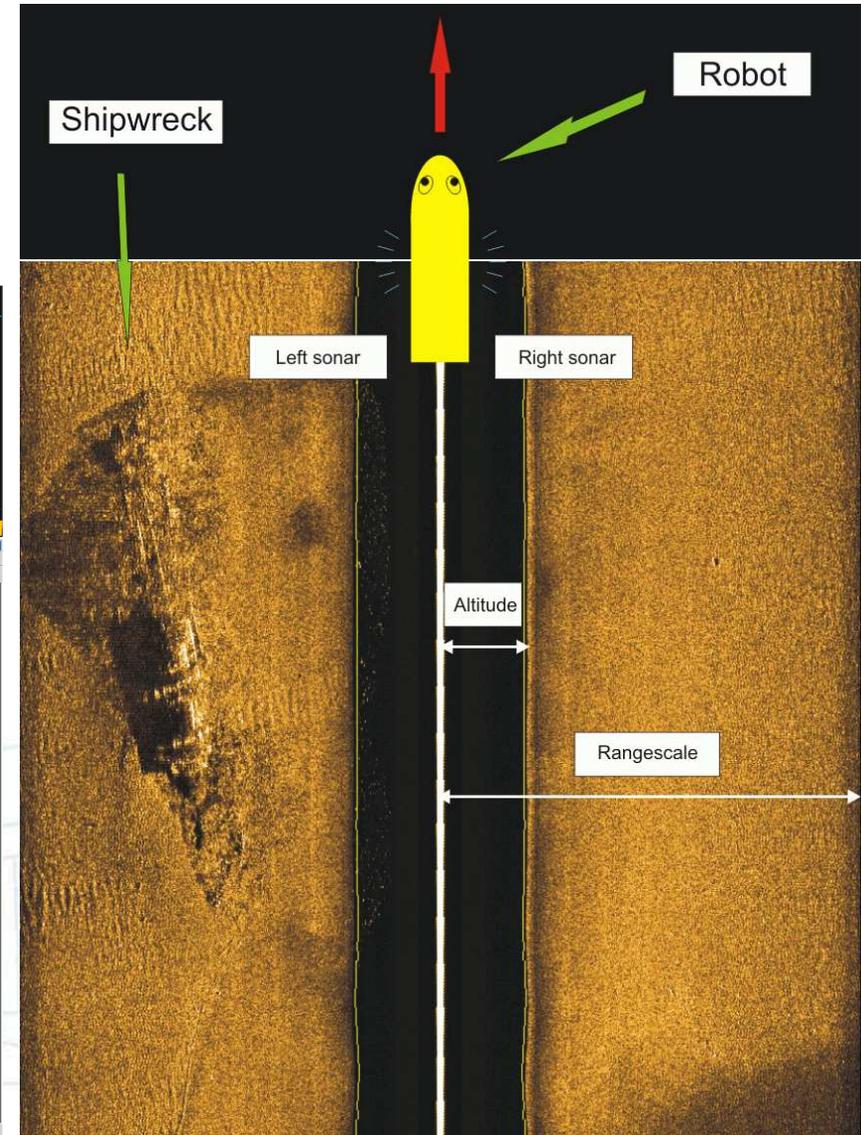
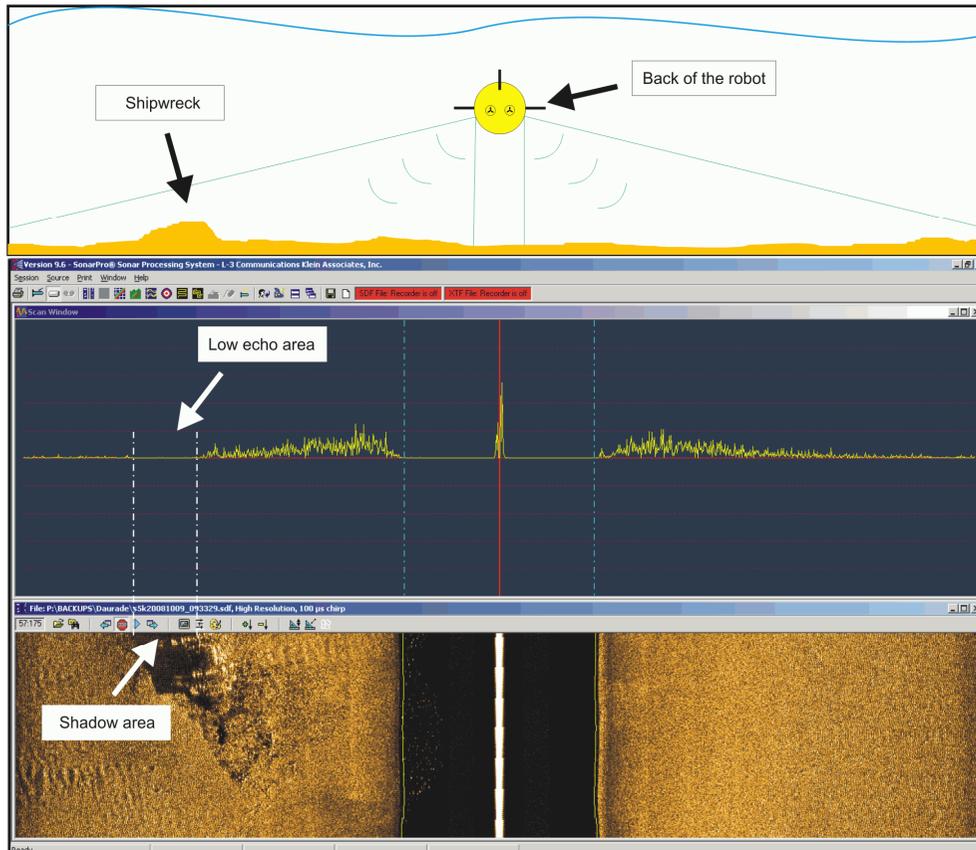
Sous-marins et données fugaces

- Expériences avec la Daurade et le Redermor



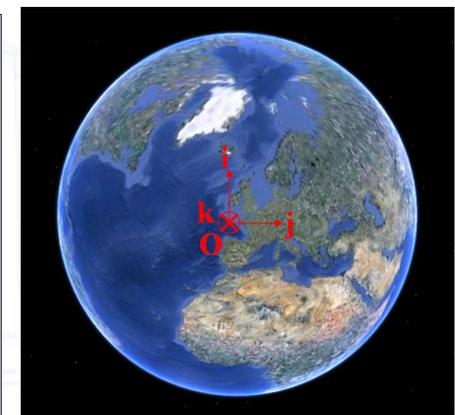
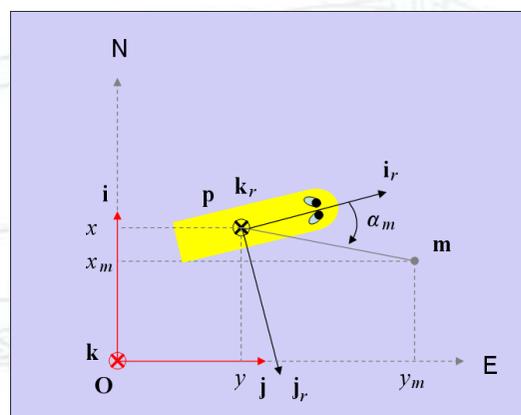
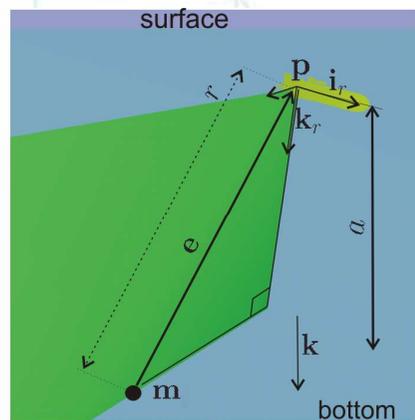
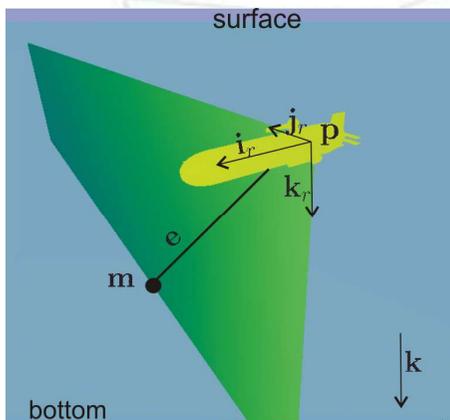
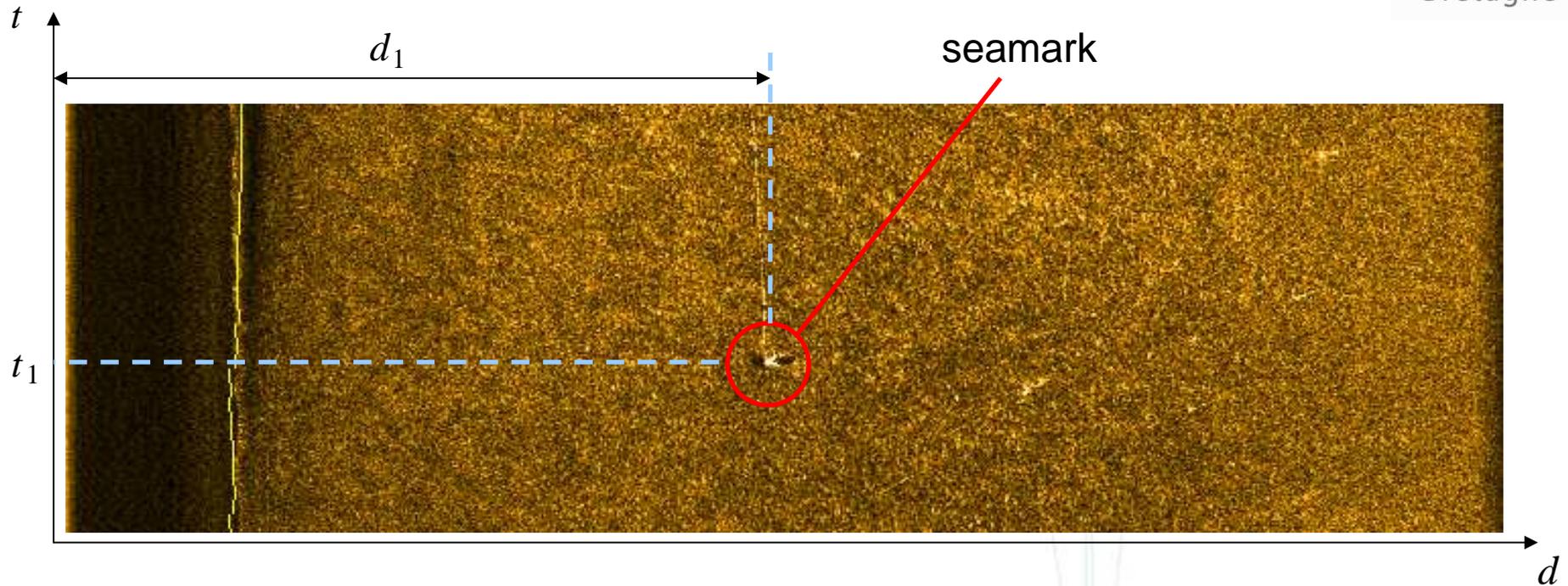
Sous-marins et données fugaces

- Waterfall
 - Image de sonar latéral



Analyse par intervalles pour la localisation et la cartographie simultanées;
Application à la robotique sous-marine

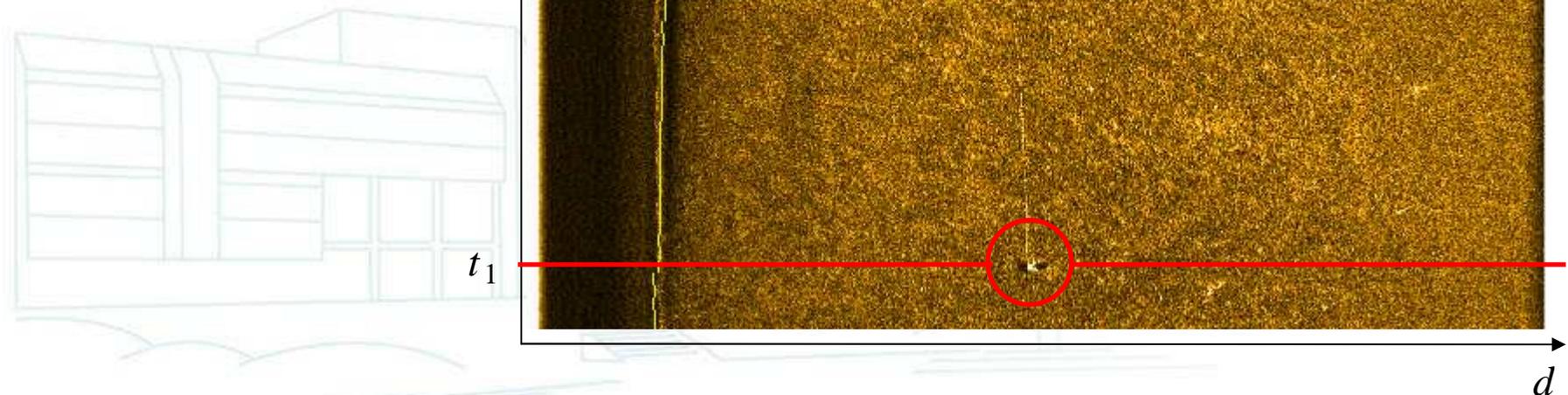
Sous-marins et données fugaces



Analyse par intervalles pour la localisation et la cartographie simultanées;
Application à la robotique sous-marine

Sous-marins et données fugaces

- Waterfall
 - Sur une waterfall, il est difficile de distinguer un amer d'un autre

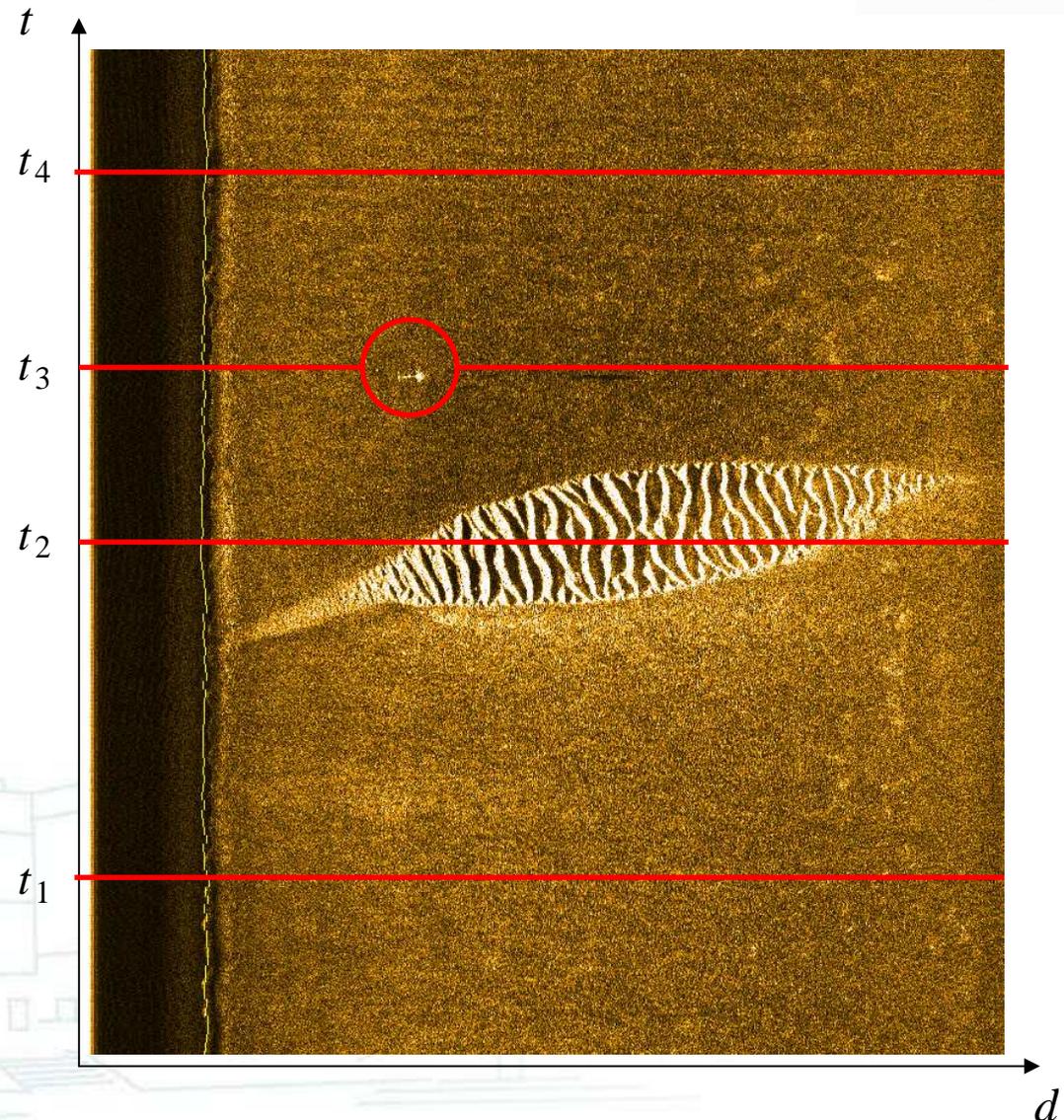


Sous-marins et données fugaces

■ Waterfall

● Hypothèses:

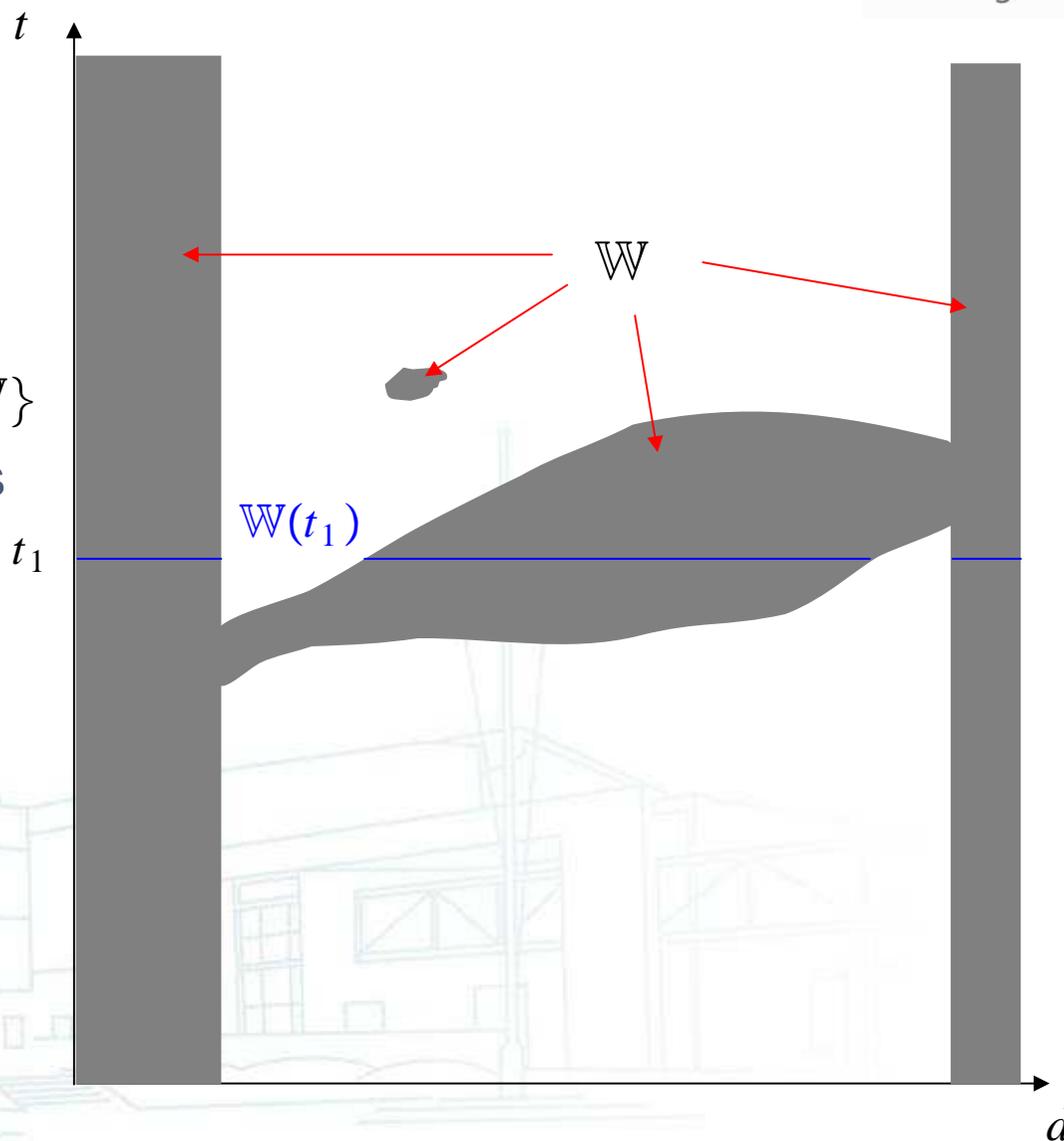
- Sur une waterfall, on ne détecte pas d'amers, on obtient des zones où on est sûr qu'il n'y a pas d'amers (hypothèse ensembliste)
- Quand il y a un amer, il est vu à un moment très précis (fugace)



Sous-marins et données fugaces

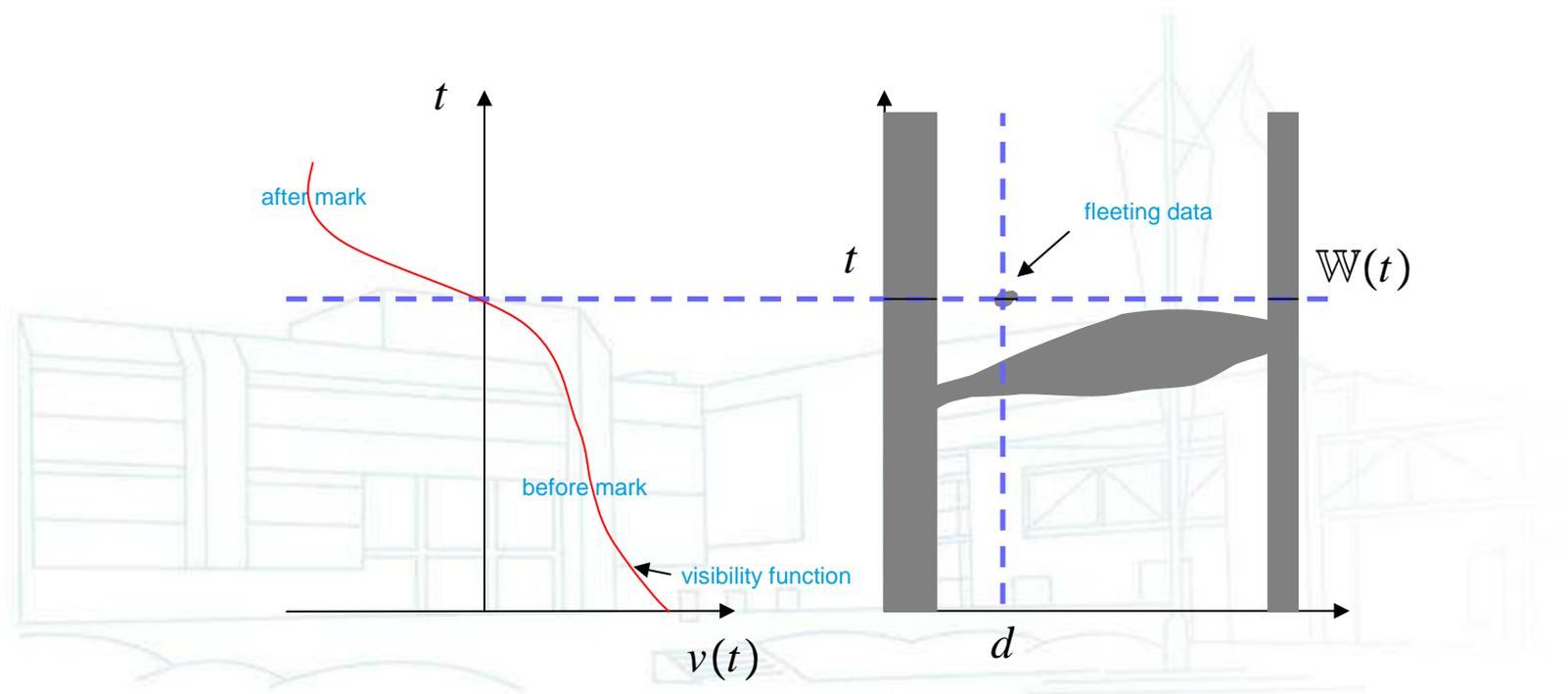
- Waterfall

- $\mathbb{W} \subset \mathbb{R} \times \mathbb{R}$
- $\mathbb{W}(t)$
 $= \{d, \exists t \in \mathbb{R}, (t, d) \in \mathbb{W}\}$
- \mathbb{W} contient les données fugaces



Sous-marins et données fugaces

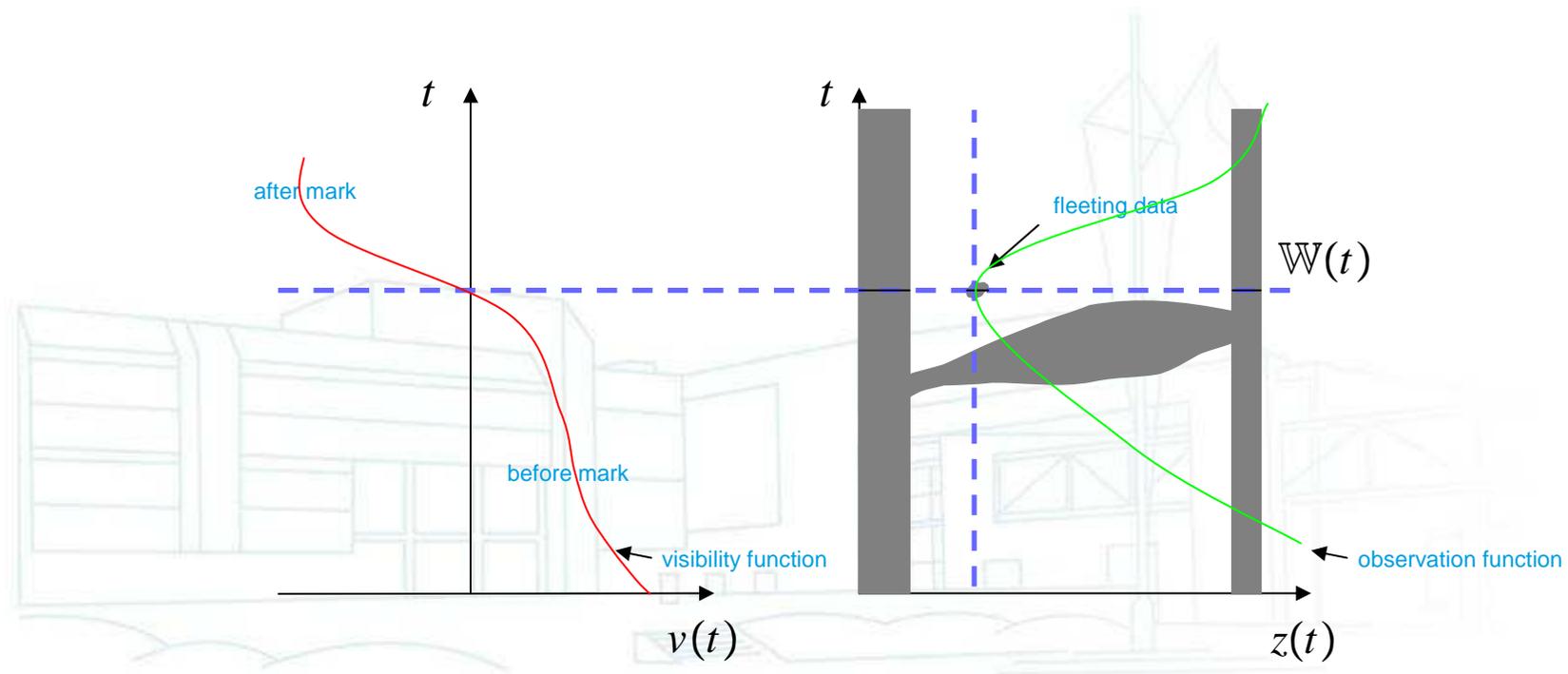
- Une *donnée fugace* est une paire (t, d) telle que $v(t) = 0$



Sous-marins et données fugaces

- Dans le cas d'une image sonar

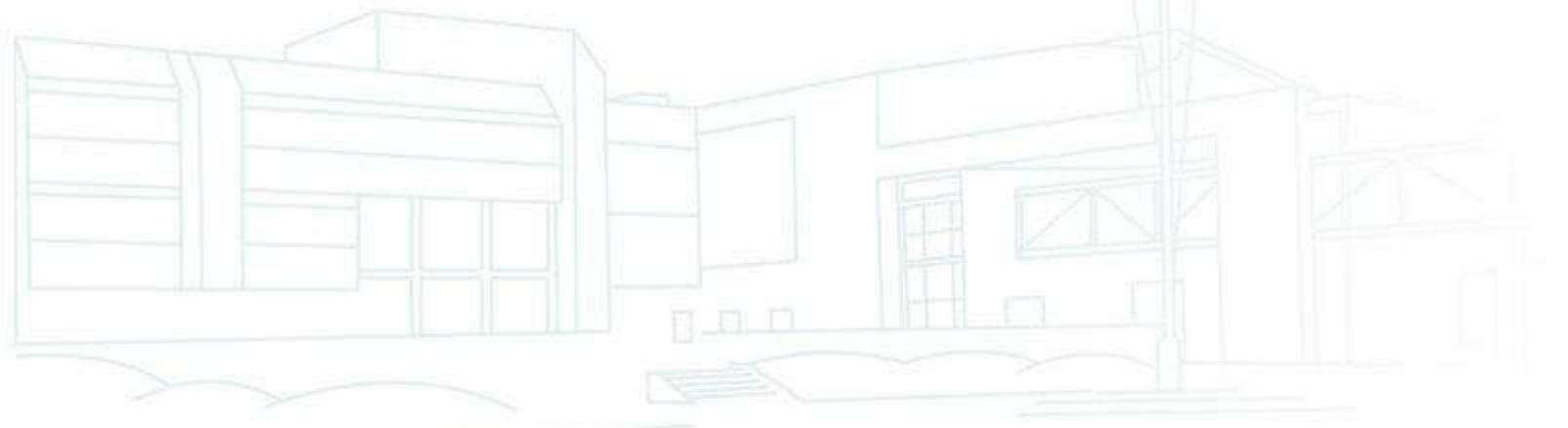
$$v(t) = 0 \Rightarrow z(t) \in \mathbb{W}(t)$$



Problème du SLAM

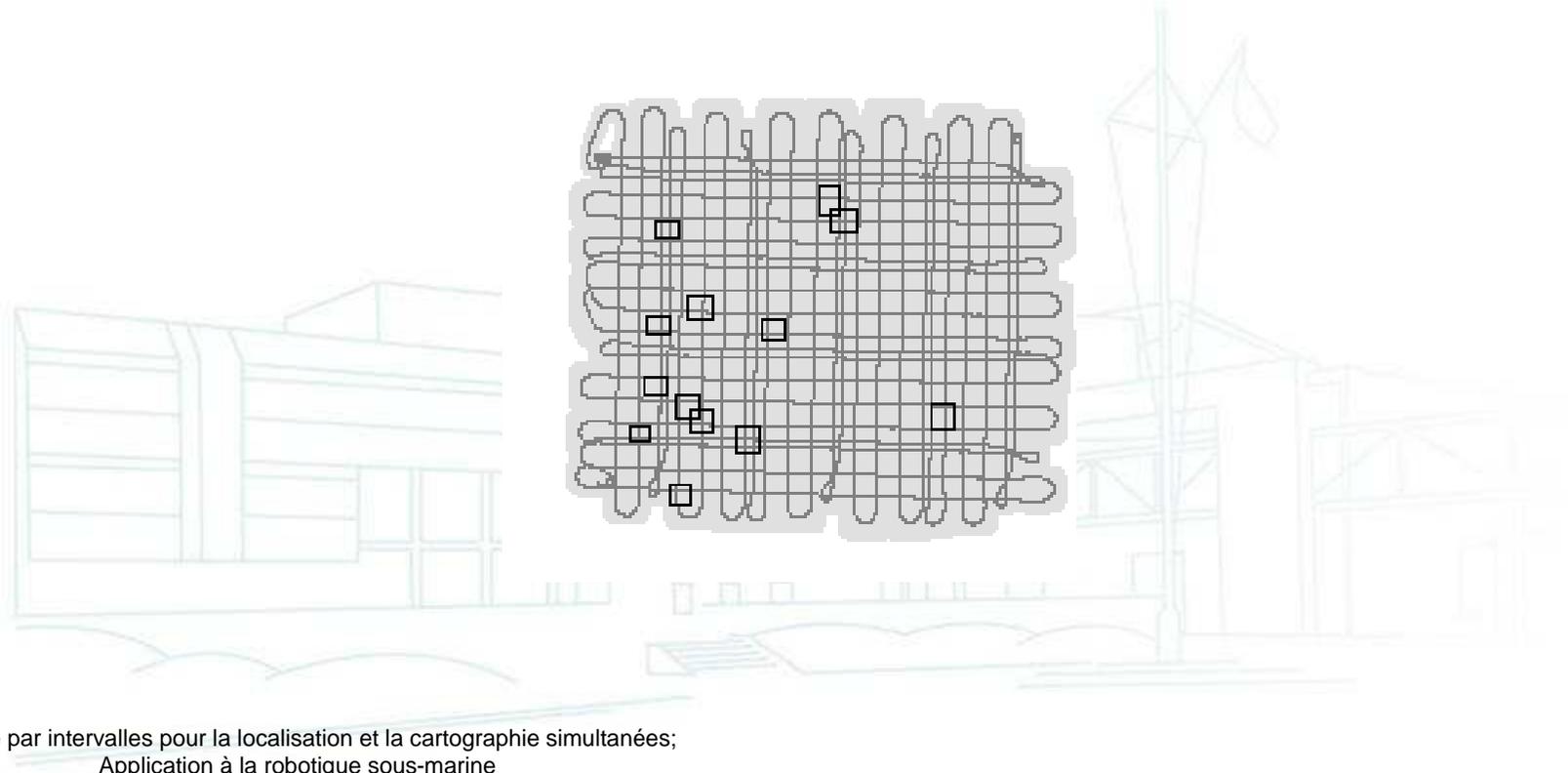
Problème du SLAM

- SLAM = Simultaneous Localization And Mapping
- Dans notre contexte on connaît ou le robot mesure :
 - Sa position initiale et finale (GPS en surface)
 - Son modèle de déplacement (équations d'état)
 - Ses données de navigation (profondeur, orientation, vitesse)
 - Ses données de télédétection (images sonar)



Problème du SLAM

- Idée du SLAM :
 - Localiser des amers (points de repère) à partir de sa propre position
 - Utiliser la position de ces amers pour se localiser



Problème du SLAM

■ Formalisation basique

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) \quad (\text{équation d'évolution})$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{g}(\mathbf{x}(t)) \quad (\text{équation des mesures indépendantes de la waterfall})$$

$$\mathbf{z}_i(t) = \mathbf{h}(\mathbf{x}(t), \mathbf{m}_i) \quad (\text{équations des détections d'amers})$$

- $\mathbf{y}(t)$ est mesuré pour certains t
- $\mathbf{u}(t)$ est mesuré pour tout t
- $\mathbf{z}_i(t)$ est mesuré pour certains t



Problème du SLAM

■ Représentations de l'incertitude :

● Probabilistes

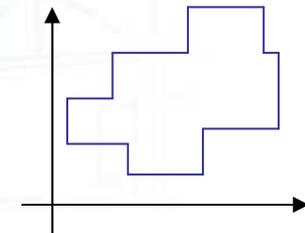
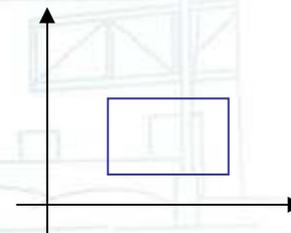
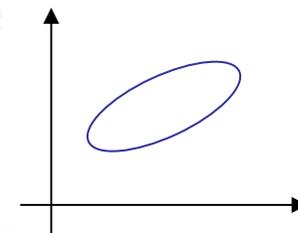
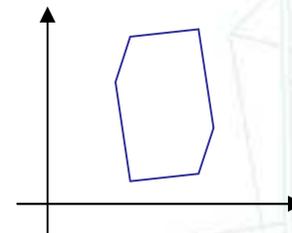
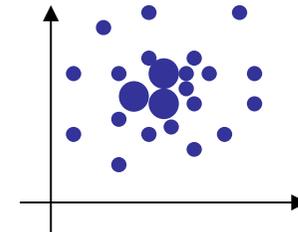
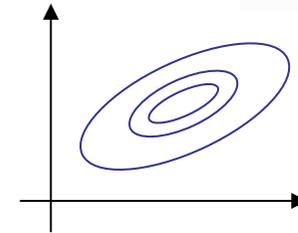
- Gaussiennes
- Particules

=> On cherche une densité de probabilité

● Ensemblistes

- Zonotopes
- Ellipsoïdes
- Intervalles

=> On cherche à englober toutes les solutions possibles

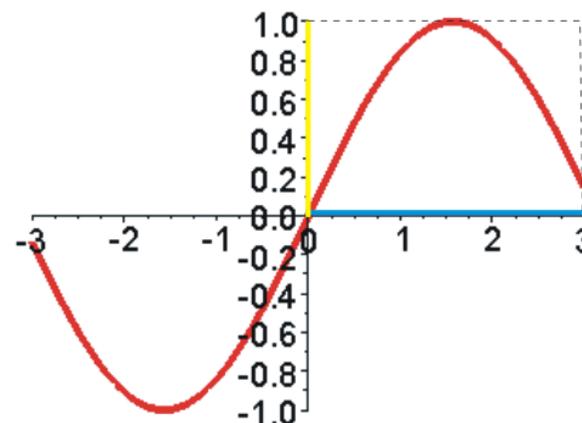




Calcul par intervalles

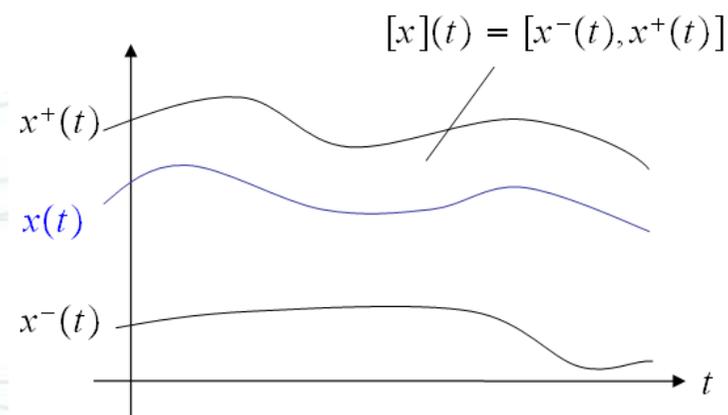
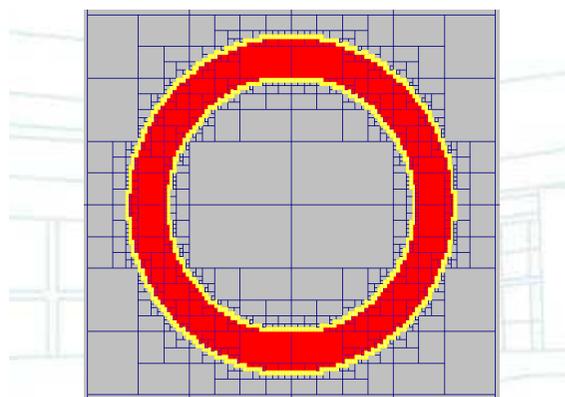
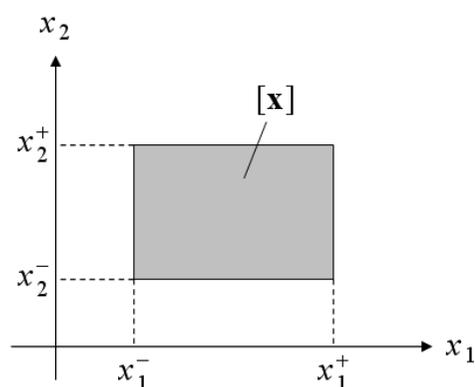
Calcul par intervalles

- $[-\infty, 2]$, $[-1, 4]$, $[-\infty, \infty]$ sont des exemples d'intervalles
- Opérations $\diamond \in \{+, -, *, /\}$
 - $[x^-, x^+] \diamond [y^-, y^+] =$ plus petit intervalle contenant l'ensemble des valeurs possibles pour $x \diamond y$
 - $[-1, 4] + [2, 3] = [1, 7]$
 - $[-1, 4] * [2, 3] = [-3, 12]$
 - $[-1, 4]/[2, 3] = [-1/2, 2]$
- Multiplication par un nombre, intersection, union
 - $2[-1, 4] = [-2, 8]$
 - $[-1, 3] \cap [2, 4] = [2, 3]$
 - $[-1, 2] \sqcup [3, 4] = [-1, 4]$
- Image par une fonction
 - $\sin([0, \pi]) = [0, 1]$



Calcul par intervalles

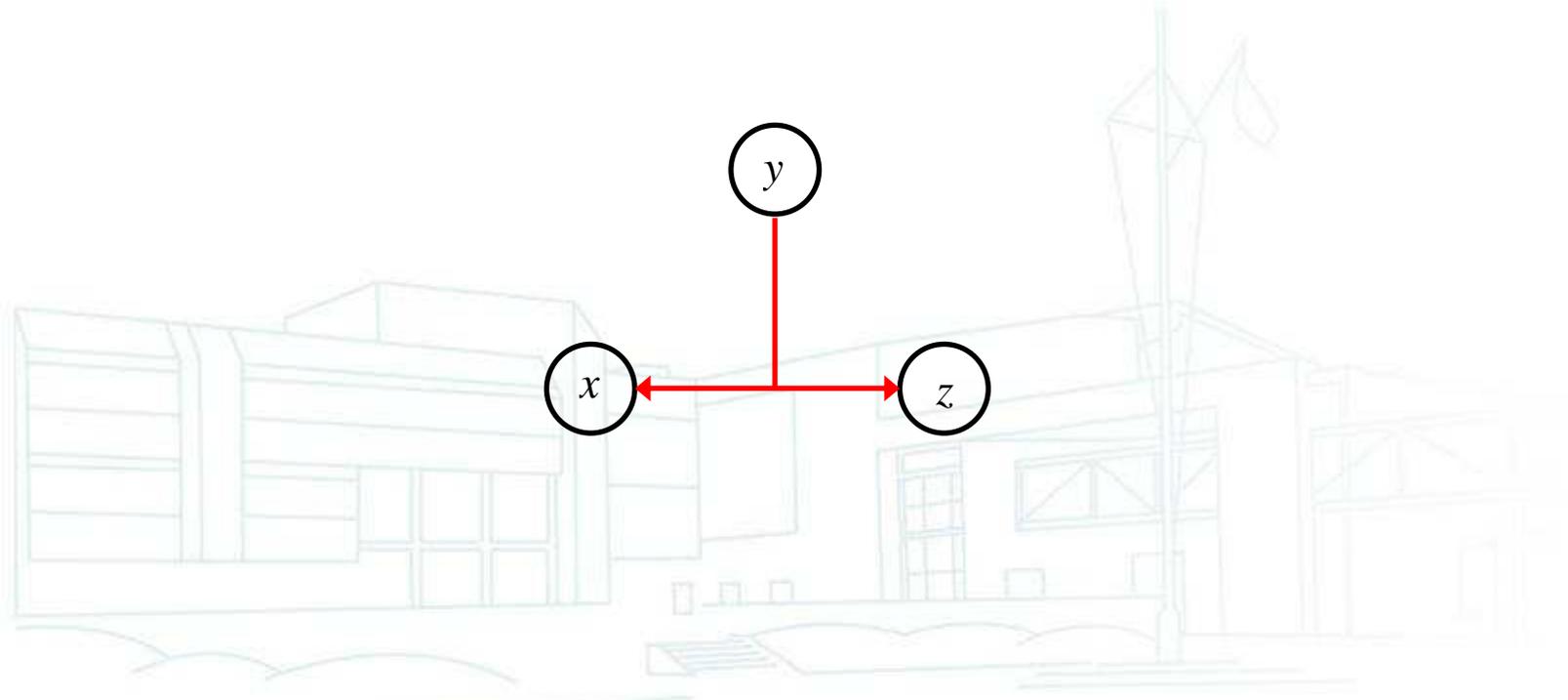
- On peut généraliser le concept d'intervalles de réels
 - Intervalles de vecteurs (pavés)
 - Intervalles d'ensembles
 - Intervalles de fonctions (tubes)
 - Tout autre ensemble ayant une structure de treillis



Calcul par intervalles

■ Contraction

- Si $z^2 = \exp(x) + y$ et $x \in [1, 4], y \in [3.1, 3.2], z \in [4, 7]$, alors
 - $x = \ln(z^2 - y) \Rightarrow x \in [x] \cap \ln([z]^2 - [y]) = [2.5, 3.9]$

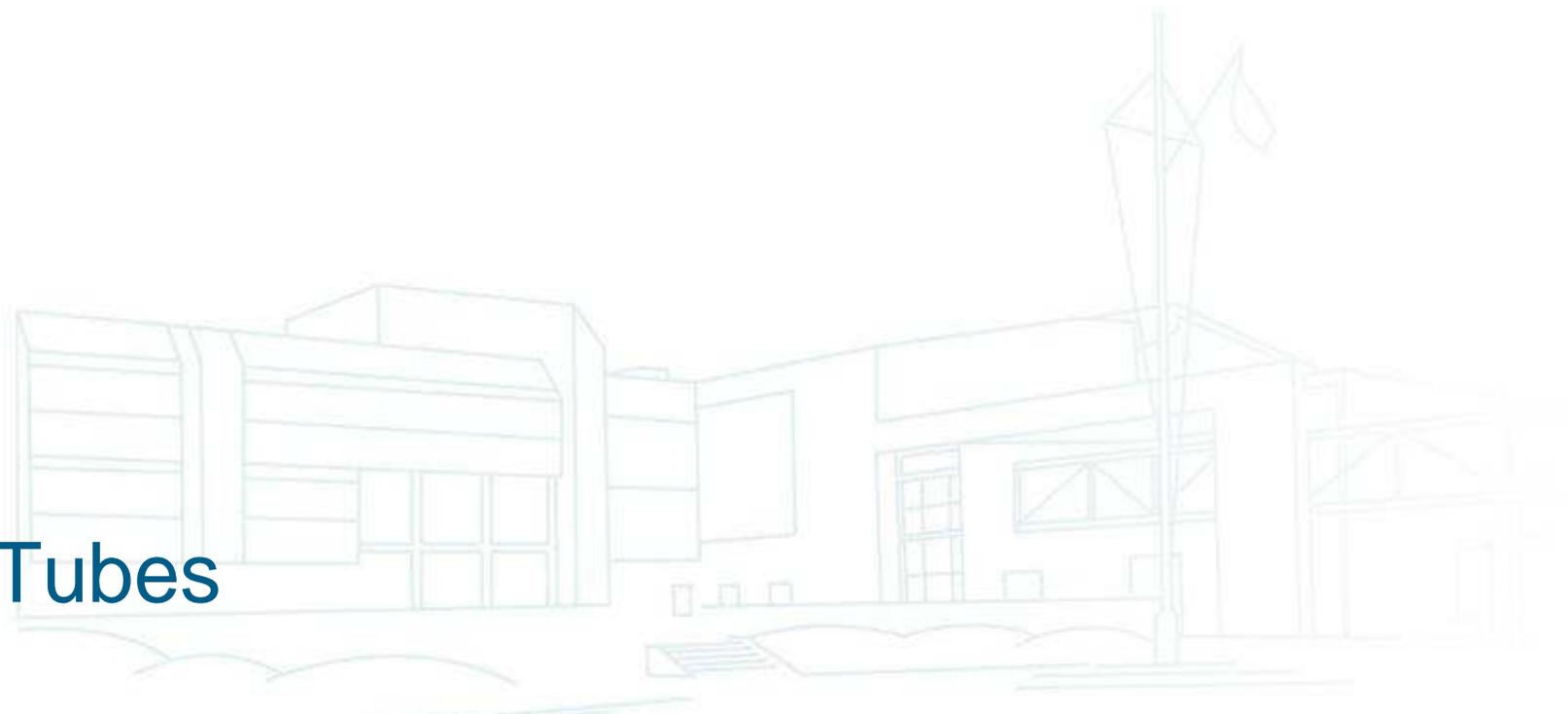


Calcul par intervalles

- Contraction et propagation
 - On appelle *contracteur* un opérateur réduisant les domaines des variables
 - Une *propagation* est un appel répété aux contracteurs
 - On répète les contractions jusqu'à un point fixe



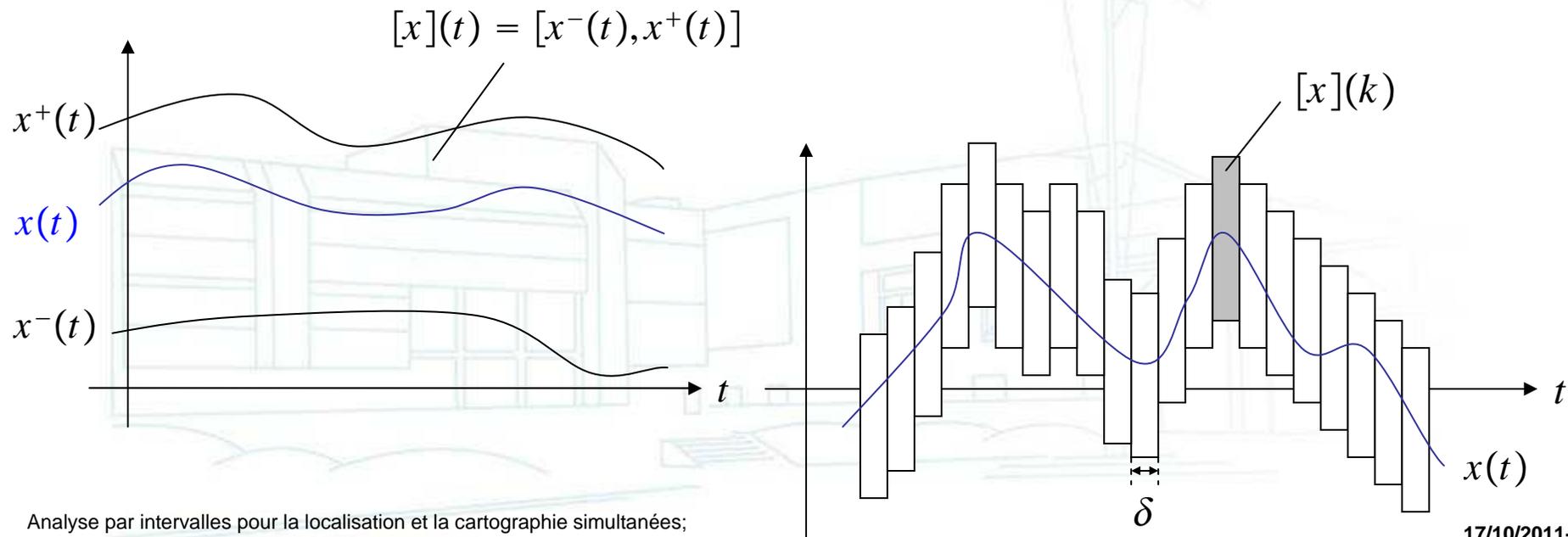
Tubes



Tubes

- Tubes

- *Trajectoire* : fonction de \mathbb{R} dans \mathbb{R}^n
- *Tube* : intervalle de fonctions



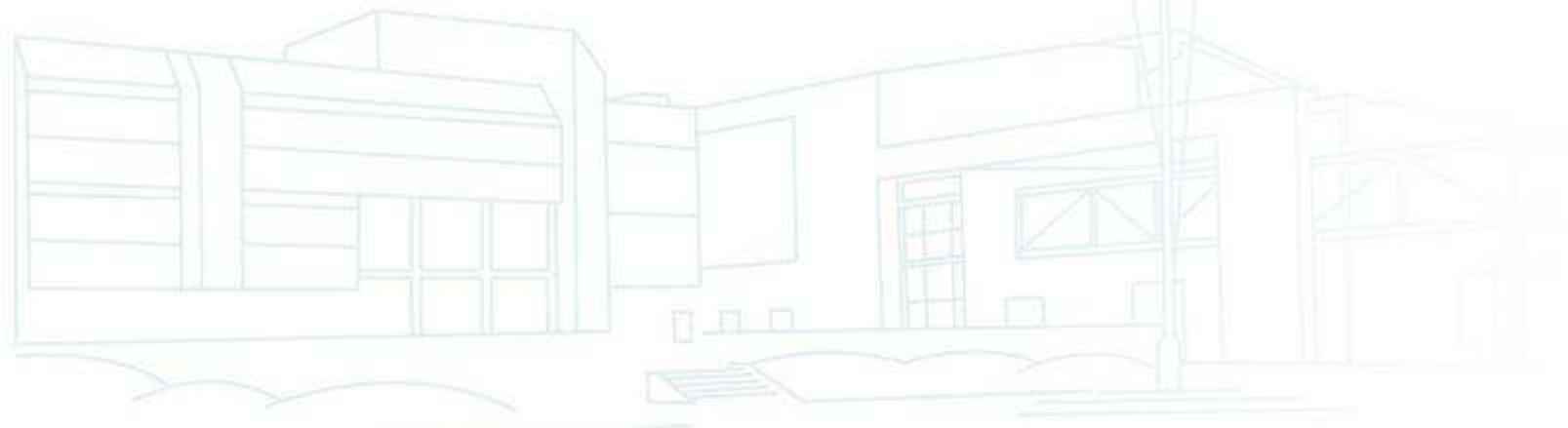
- Arithmétique des tubes

- Addition, multiplication...
- Intégrale

$$\int_{t_0}^t [\mathbf{x}](\tau) d\tau = \left[\int_{t_0}^t \mathbf{x}^-(\tau) d\tau, \int_{t_0}^t \mathbf{x}^+(\tau) d\tau \right]$$

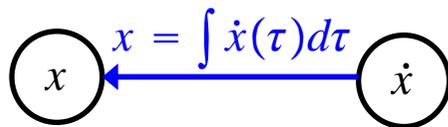
- On a

$$\mathbf{x}(t) \in [\mathbf{x}](t) \Rightarrow \int_{t_0}^t \mathbf{x}(\tau) d\tau \in \int_{t_0}^t [\mathbf{x}](\tau) d\tau$$

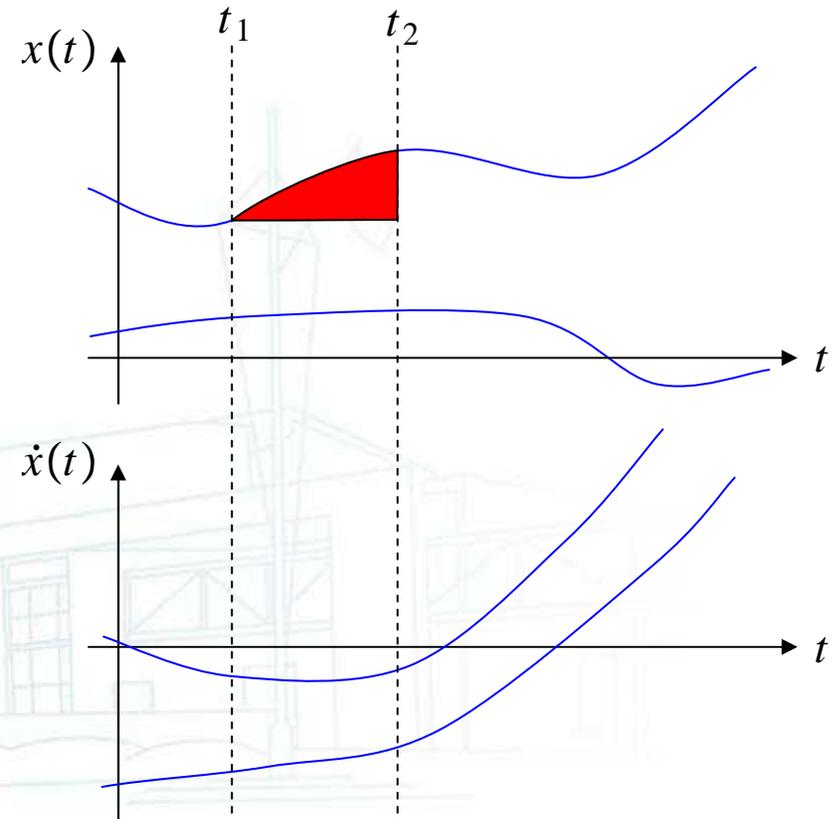


Tubes

- Contracteurs de tubes
 - Contrainte intégrale : $x = \int \dot{x}(\tau) d\tau$

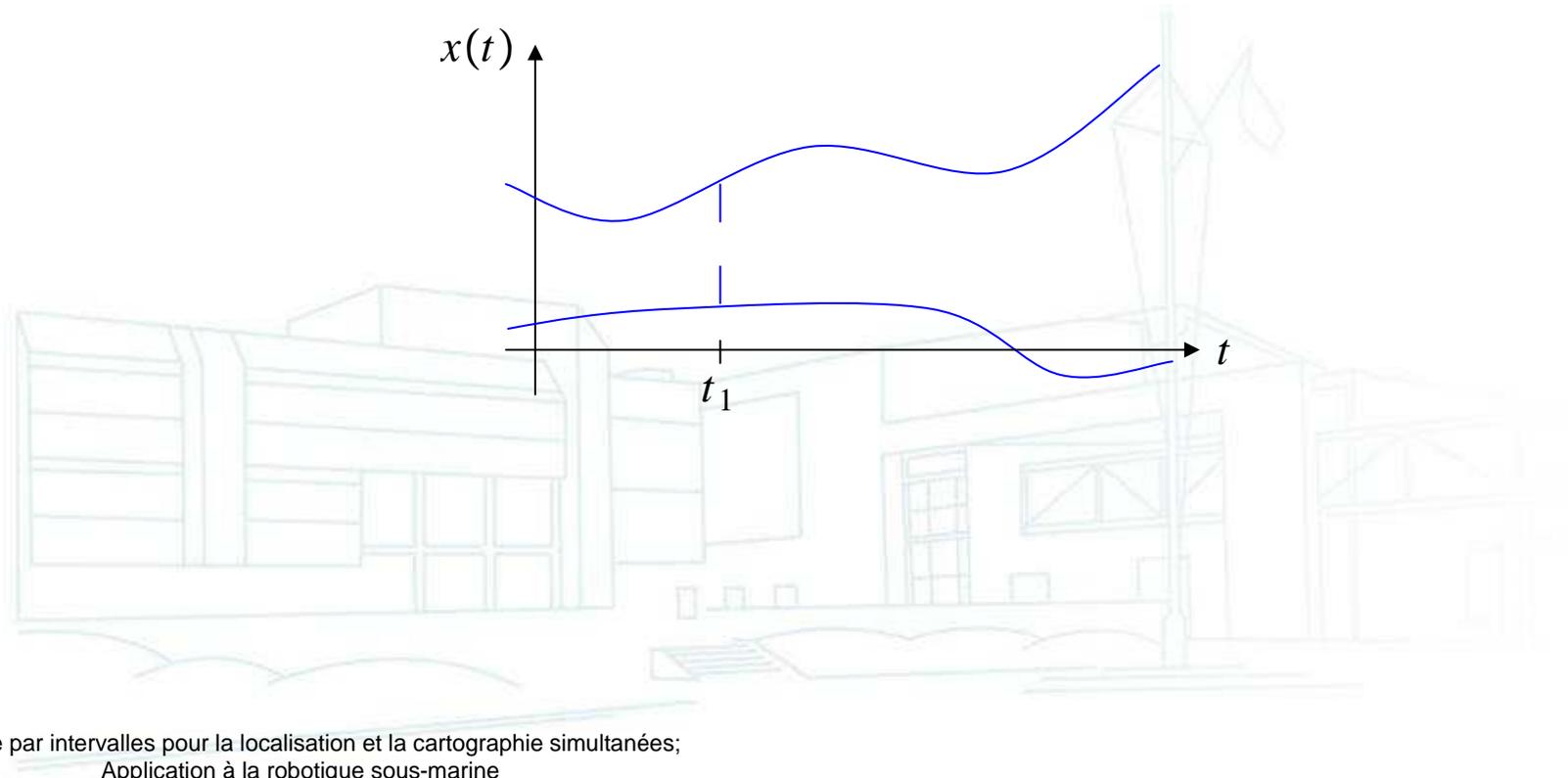


$$[x](t) = [x](t) \cap \left([x](t_1) + \int_{t_1}^t [\dot{x}](\tau) d\tau \right)$$



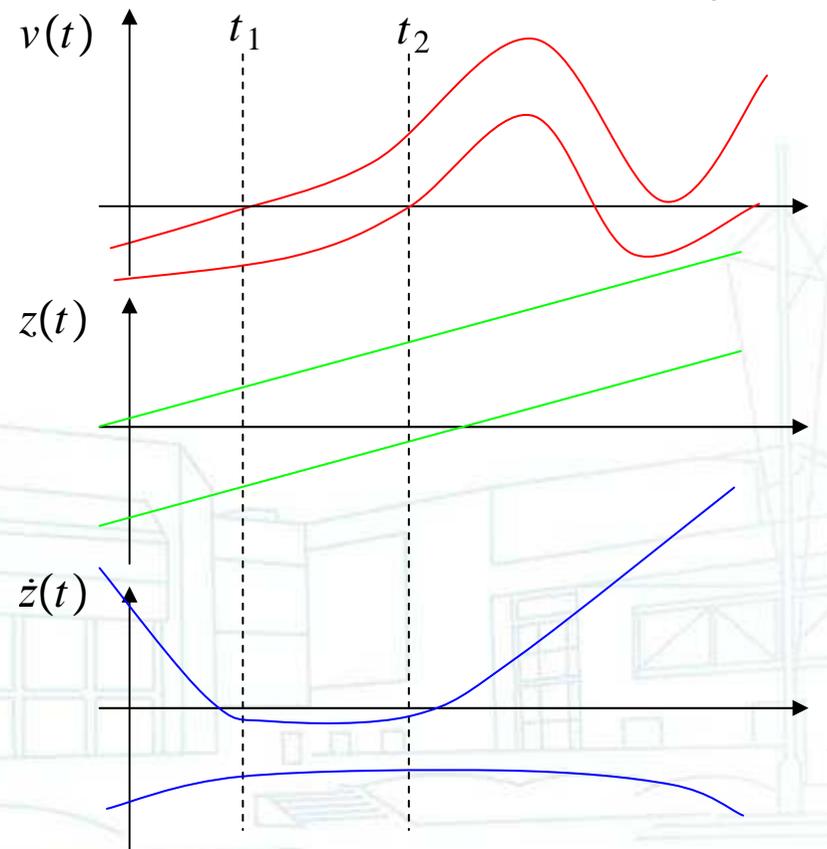
Tubes

- Contracteurs de tubes
 - Contraction ponctuelle de tube



- Contracteurs de tubes

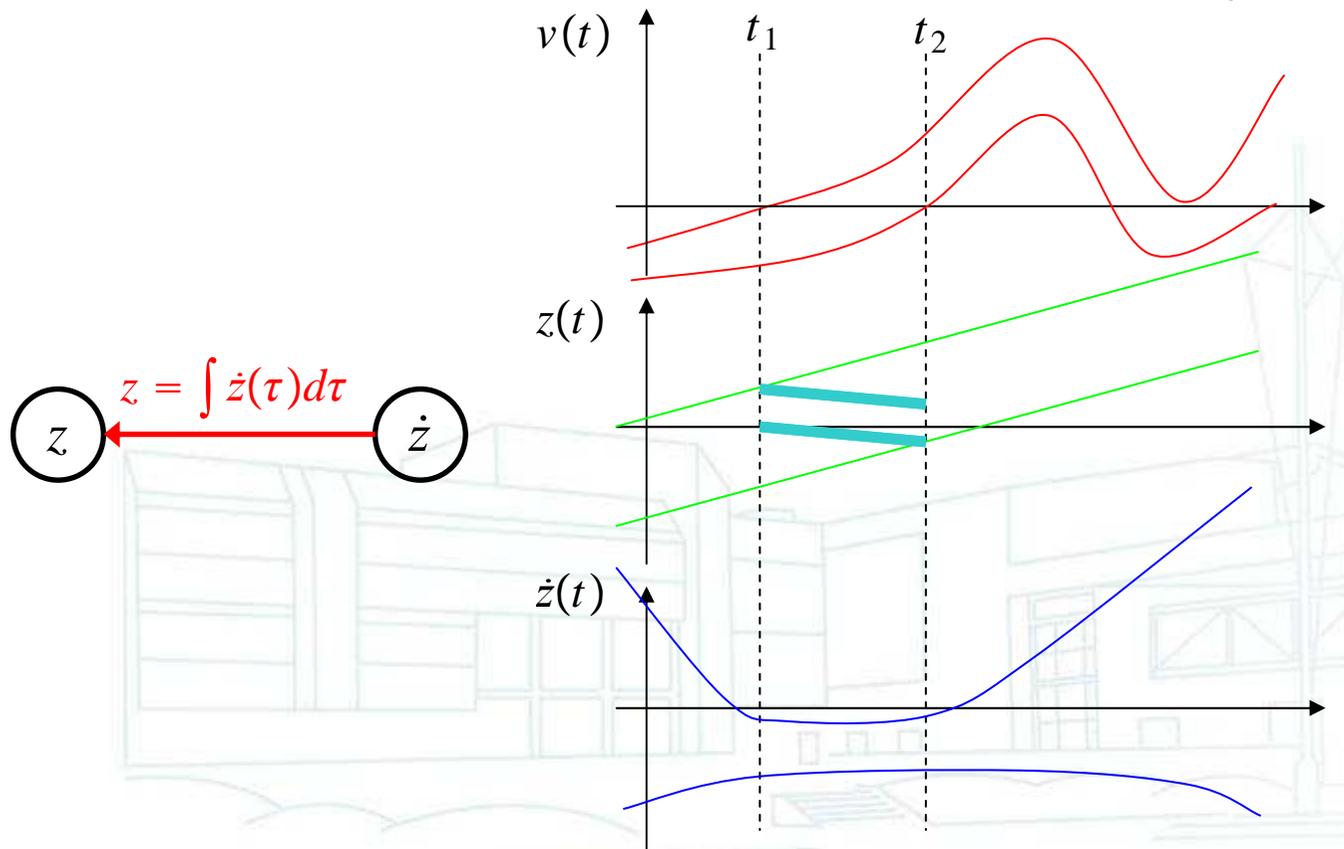
- Contraintes $v(t) = 0 \Rightarrow z(t) < 0$ et $z(t) = \int^t \dot{z}(\tau) d\tau$



Tubes

- Contracteurs de tubes

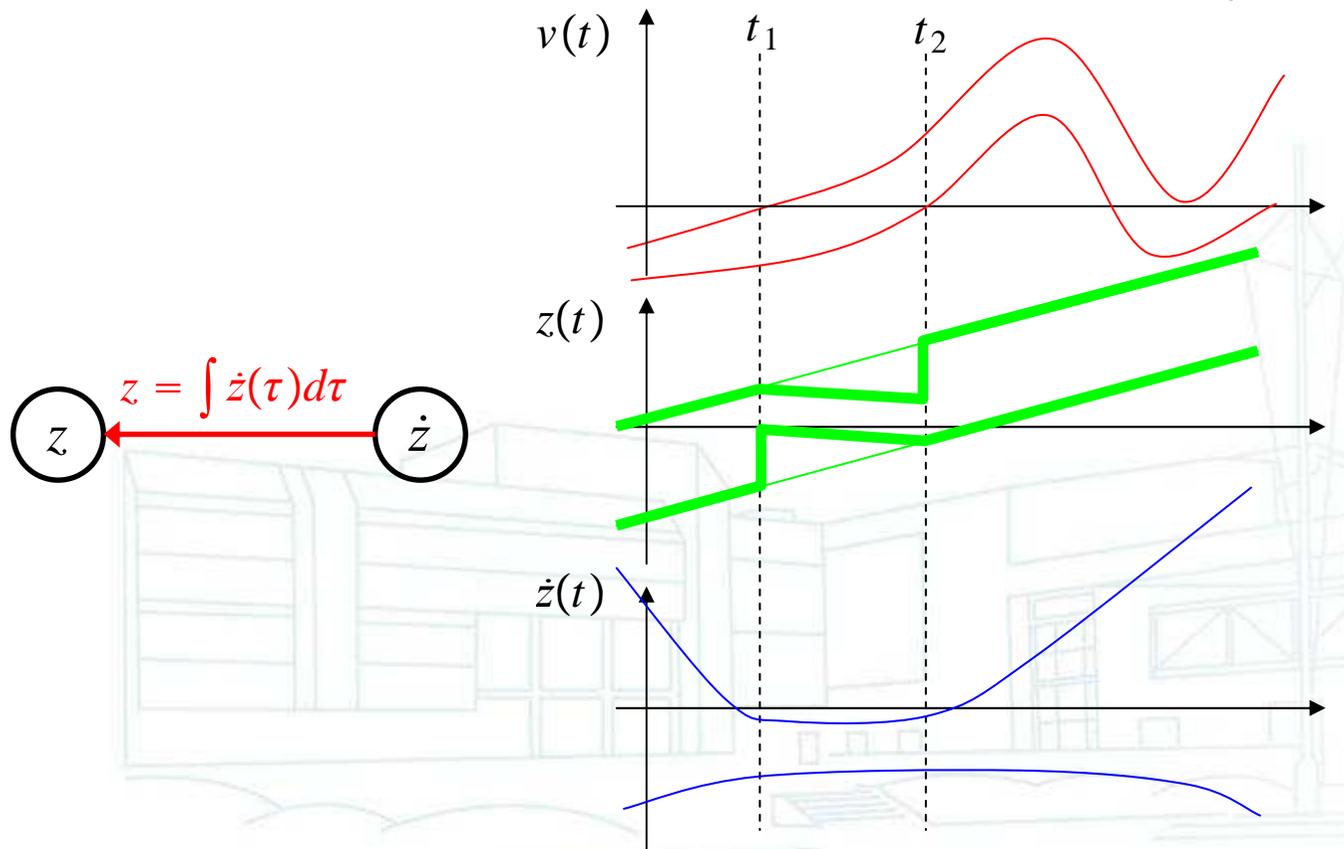
- Contraintes $v(t) = 0 \Rightarrow z(t) < 0$ et $z(t) = \int^t \dot{z}(\tau) d\tau$



Tubes

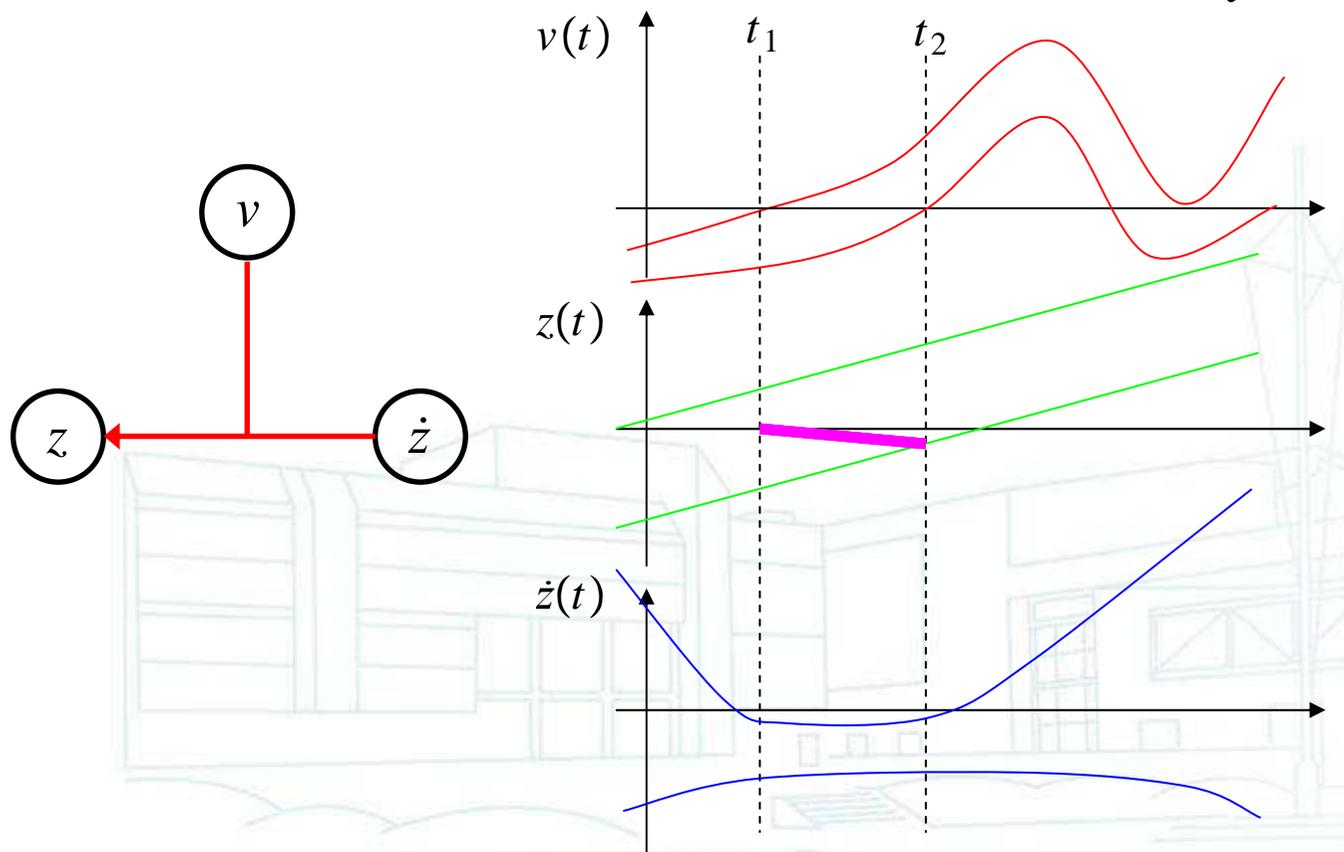
- Contracteurs de tubes

- Contraintes $v(t) = 0 \Rightarrow z(t) < 0$ et $z(t) = \int^t \dot{z}(\tau) d\tau$



- Contracteurs de tubes

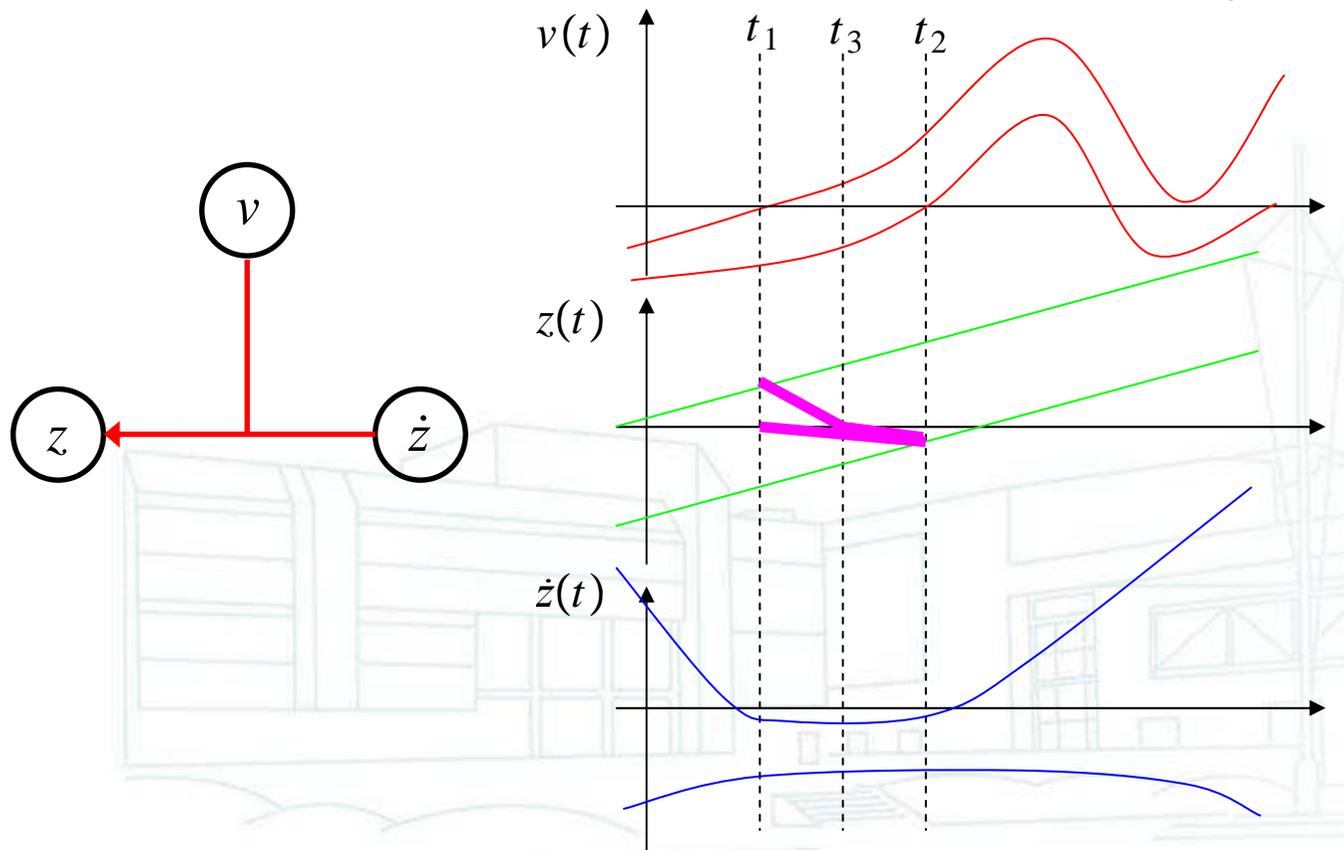
- Contraintes $v(t) = 0 \Rightarrow z(t) < 0$ et $z(t) = \int^t \dot{z}(\tau) d\tau$



Tubes

- Contracteurs de tubes

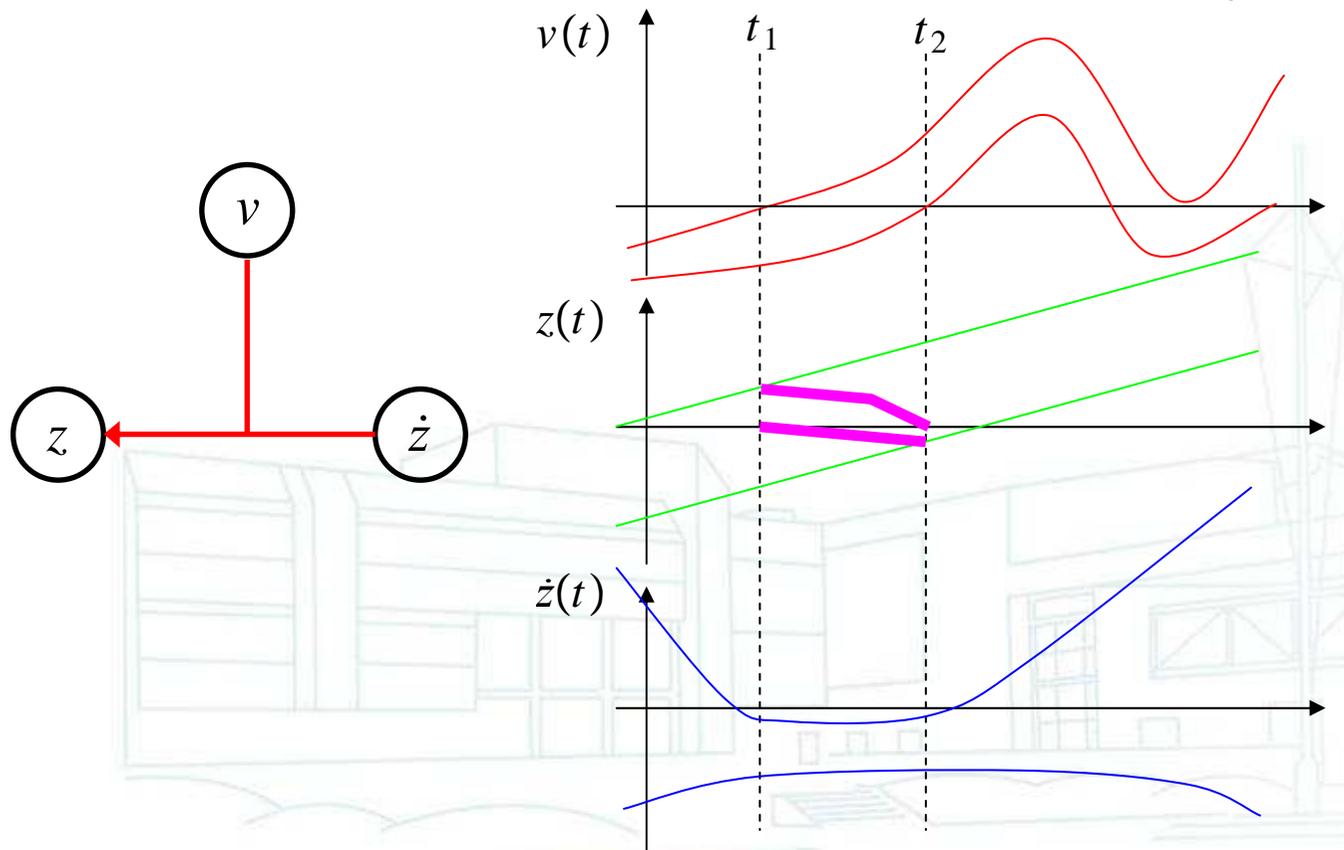
- Contraintes $v(t) = 0 \Rightarrow z(t) < 0$ et $z(t) = \int^t \dot{z}(\tau) d\tau$



Tubes

- Contracteurs de tubes

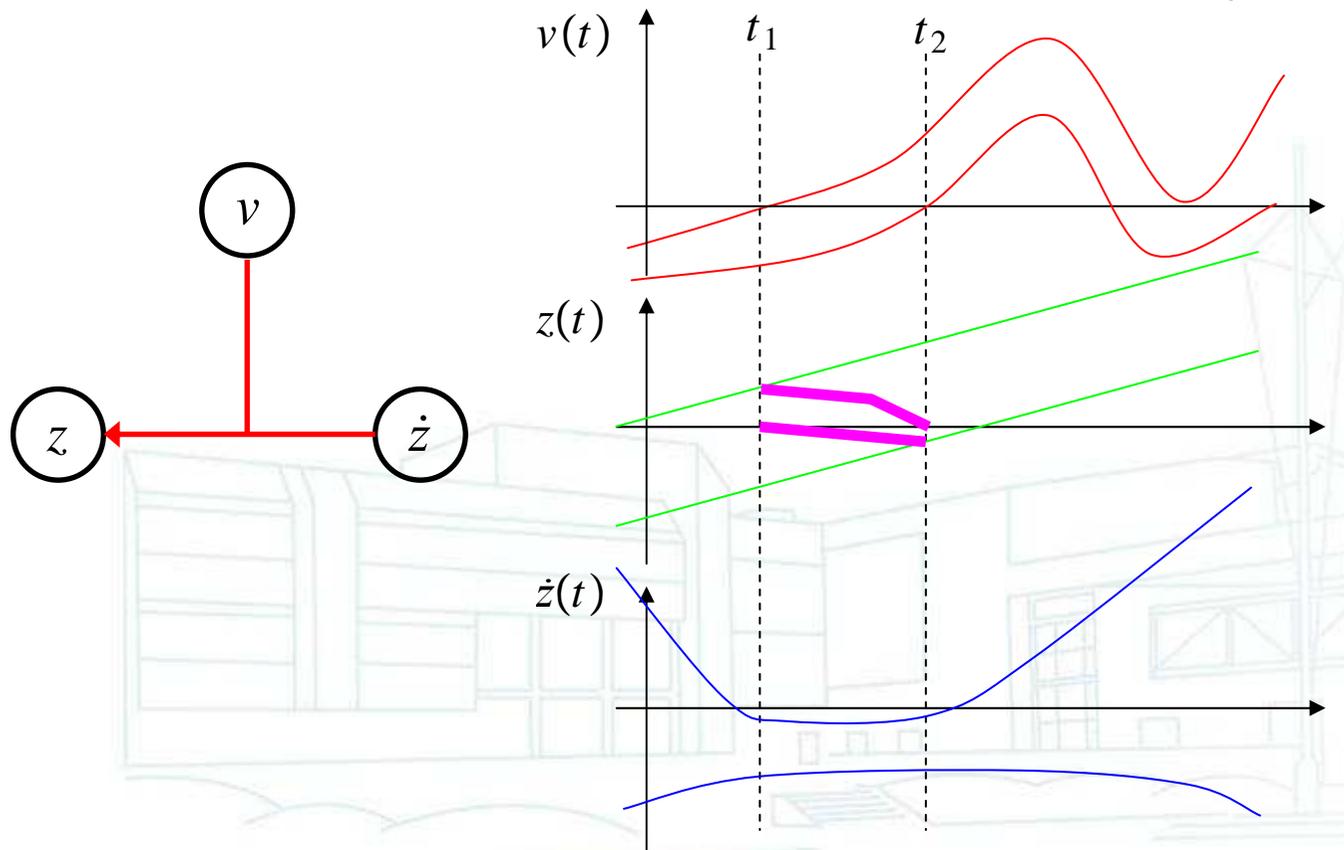
- Contraintes $v(t) = 0 \Rightarrow z(t) < 0$ et $z(t) = \int^t \dot{z}(\tau) d\tau$



Tubes

- Contracteurs de tubes

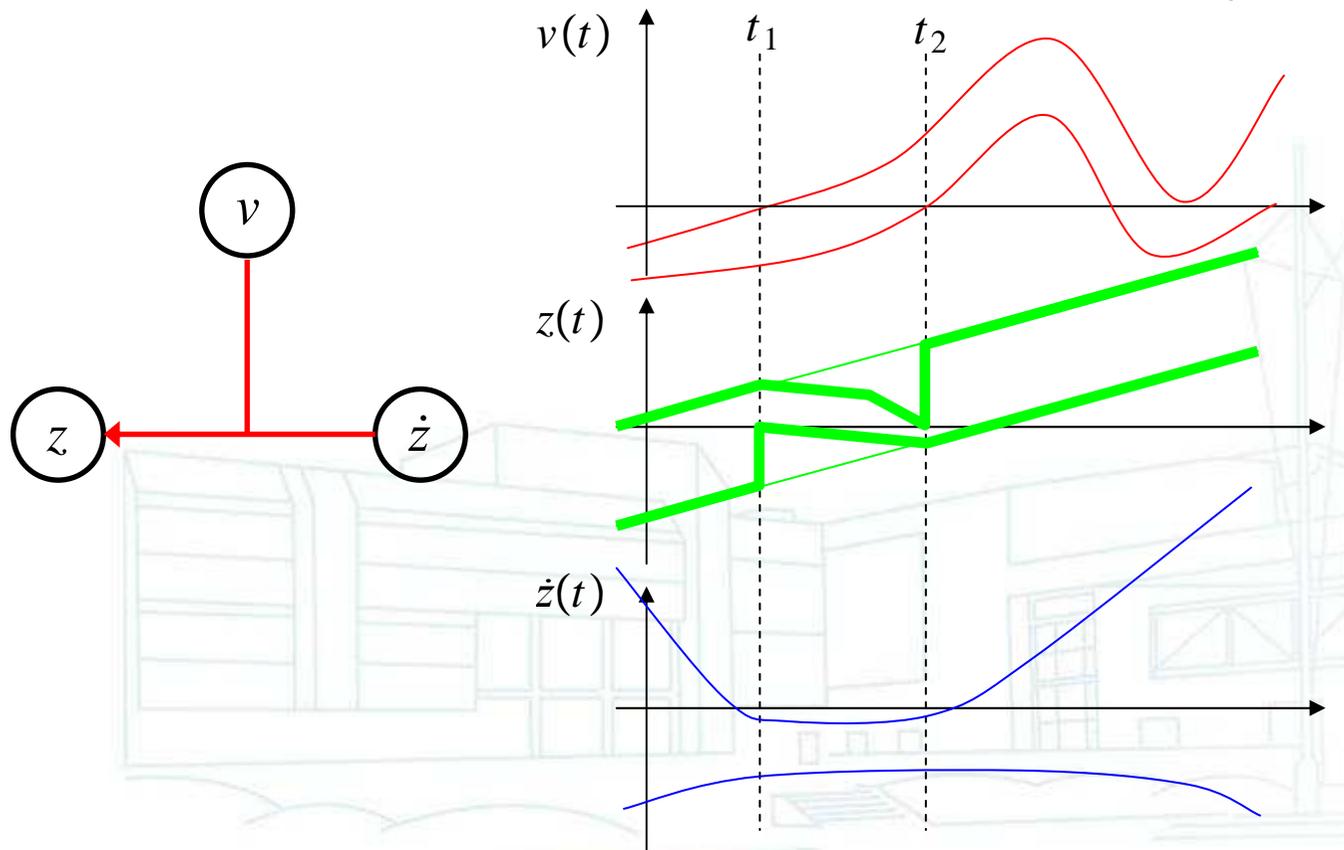
- Contraintes $v(t) = 0 \Rightarrow z(t) < 0$ et $z(t) = \int^t \dot{z}(\tau) d\tau$



Tubes

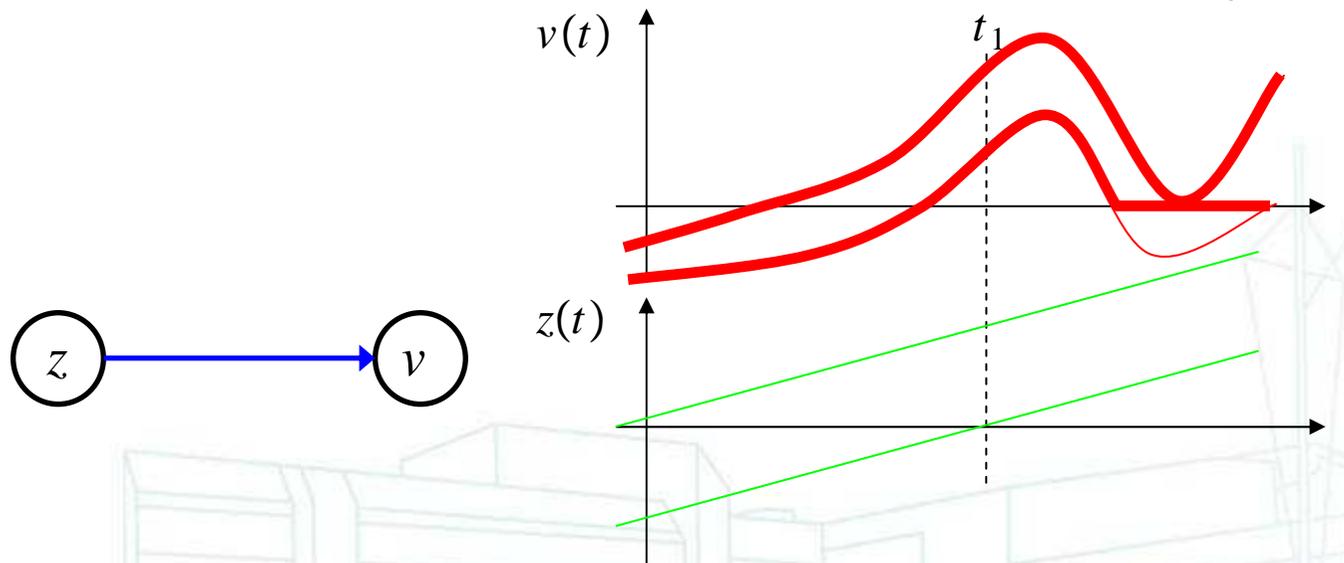
- Contracteurs de tubes

- Contraintes $v(t) = 0 \Rightarrow z(t) < 0$ et $z(t) = \int^t \dot{z}(\tau) d\tau$



- Contracteurs de tubes

- Contraintes $v(t) = 0 \Rightarrow z(t) < 0$ et $z(t) = \int^t \dot{z}(\tau) d\tau$



■ Contracteurs de tubes

- Condition de visibilité d'un amer sur une image sonar

$$v(t) = 0 \Rightarrow z(t) \in \mathbb{W}(t)$$

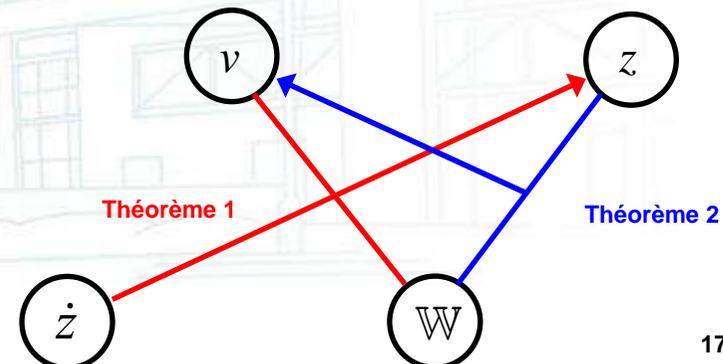
$$z(t) = \int^t \dot{z}(\tau) d\tau$$

- Théorème 1

$$0 \in v([t]) \Rightarrow \forall t \in \mathbb{R}, z(t) \in \bigcup_{\tau \in [t]} \left((\mathbb{W}(\tau) \cap [z](\tau)) + \int_{\tau}^t [\dot{z}](\alpha) d\alpha \right)$$

- Théorème 2

$$\forall t \in [t], [z](t) \cap \mathbb{W}(t) = \emptyset \Rightarrow 0 \notin v([t])$$

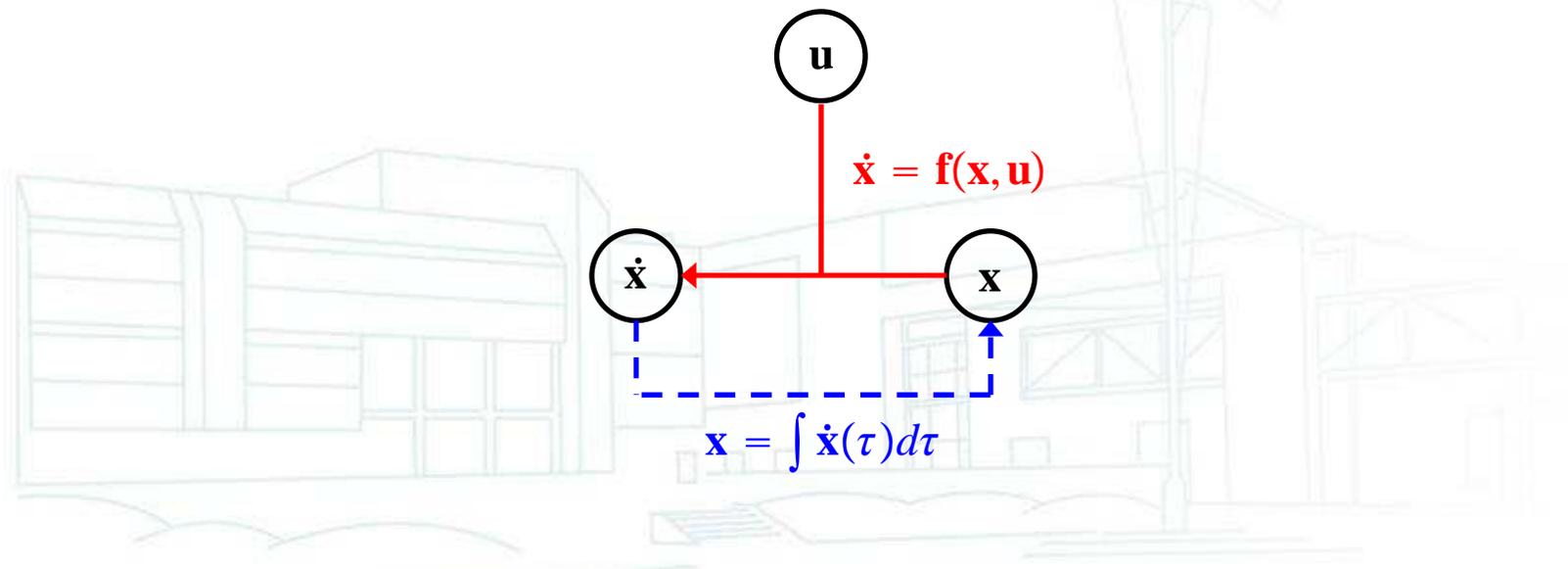


Tubes

- Contracteurs de tubes

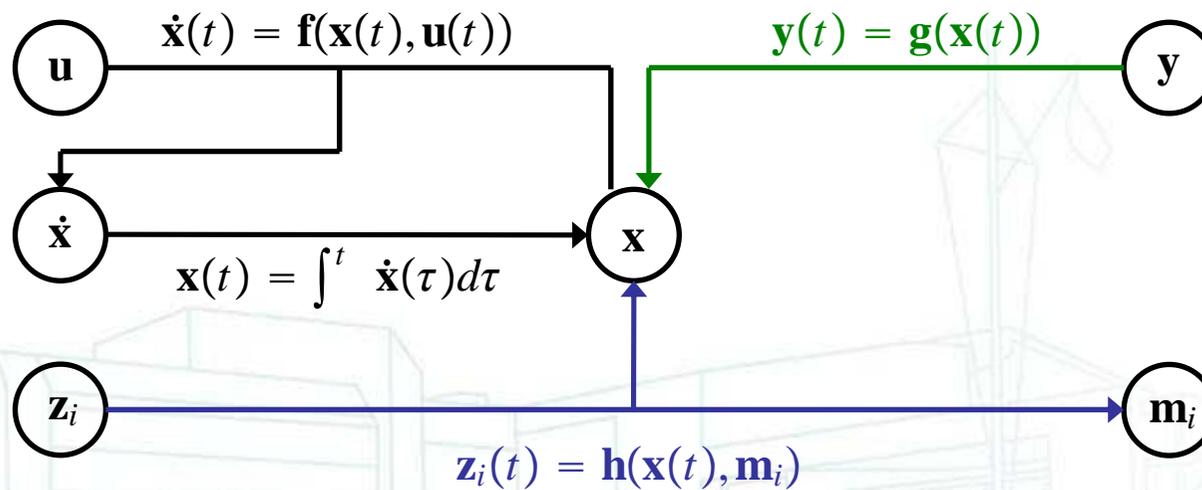
- Contrainte de type $\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t))$

- Décomposition :
$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \\ \mathbf{x} = \int \dot{\mathbf{x}}(\tau) d\tau \end{cases}$$



Tubes

- Contracteurs de tubes
 - SLAM “basique”



SLAM sous-marin avec données fugaces

SLAM avec données fugaces

- Nouvelle formalisation

Contraintes

Variables

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t))$$

$$\rightarrow \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, \mathbf{u}$$

$$\mathbf{x}(t) = \int^t \dot{\mathbf{x}}(\tau) d\tau$$

$$\rightarrow \mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{g}(\mathbf{x}(t))$$

$$\rightarrow \mathbf{y}, \mathbf{x}$$

$$\mathbf{z}_i(t) = \mathbf{h}(\mathbf{x}(t), \mathbf{m}_i)$$

$$\rightarrow \mathbf{z}_i, \mathbf{x}, \mathbf{m}_i$$

$$v_i(t) = \varphi(\mathbf{x}(t), \mathbf{m}_i)$$

$$\rightarrow v_i, \mathbf{x}, \mathbf{m}_i$$

$$v_i(t) = 0 \Rightarrow \mathbf{z}_i(t) \in \mathbb{W}(t)$$

$$\rightarrow v_i, \mathbf{z}_i, \mathbb{W}$$

$$\mathbf{z}_i(t) = \int^t \dot{\mathbf{z}}_i(\tau) d\tau$$

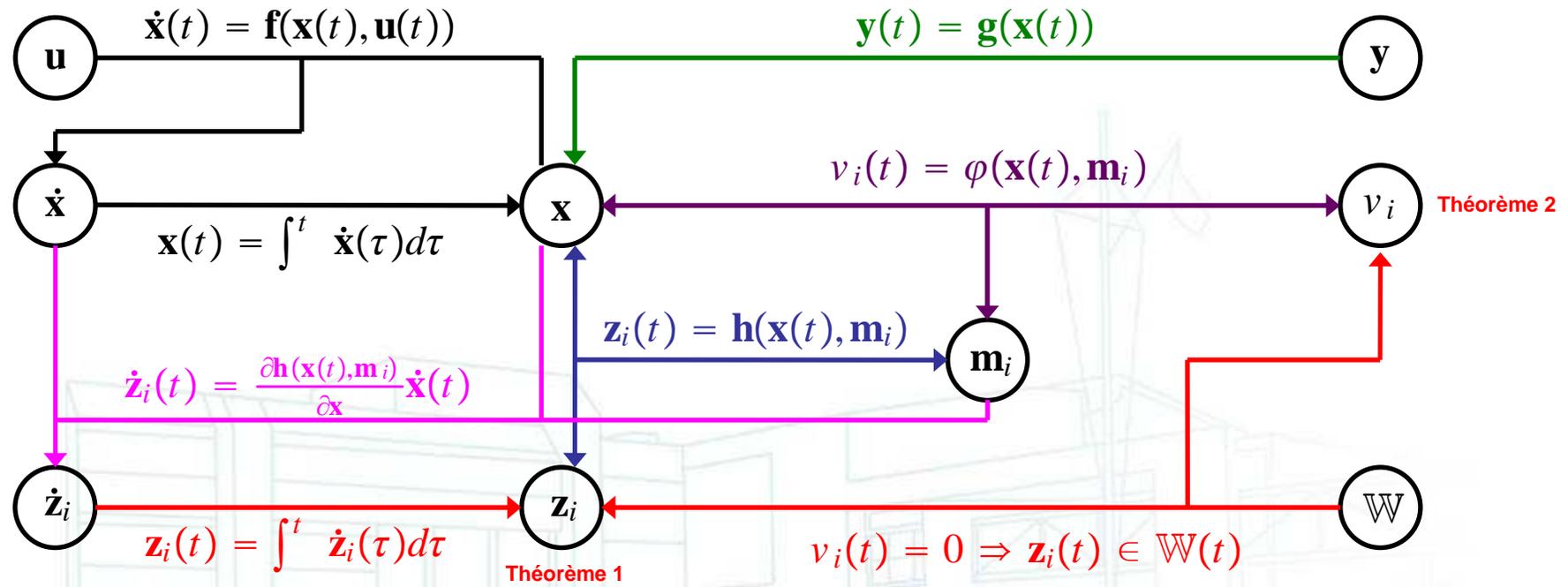
$$\rightarrow \mathbf{z}_i, \dot{\mathbf{z}}_i$$

$$\dot{\mathbf{z}}_i(t) = \frac{\partial \mathbf{h}(\mathbf{x}(t), \mathbf{m}_i)}{\partial \mathbf{x}} \dot{\mathbf{x}}(t)$$

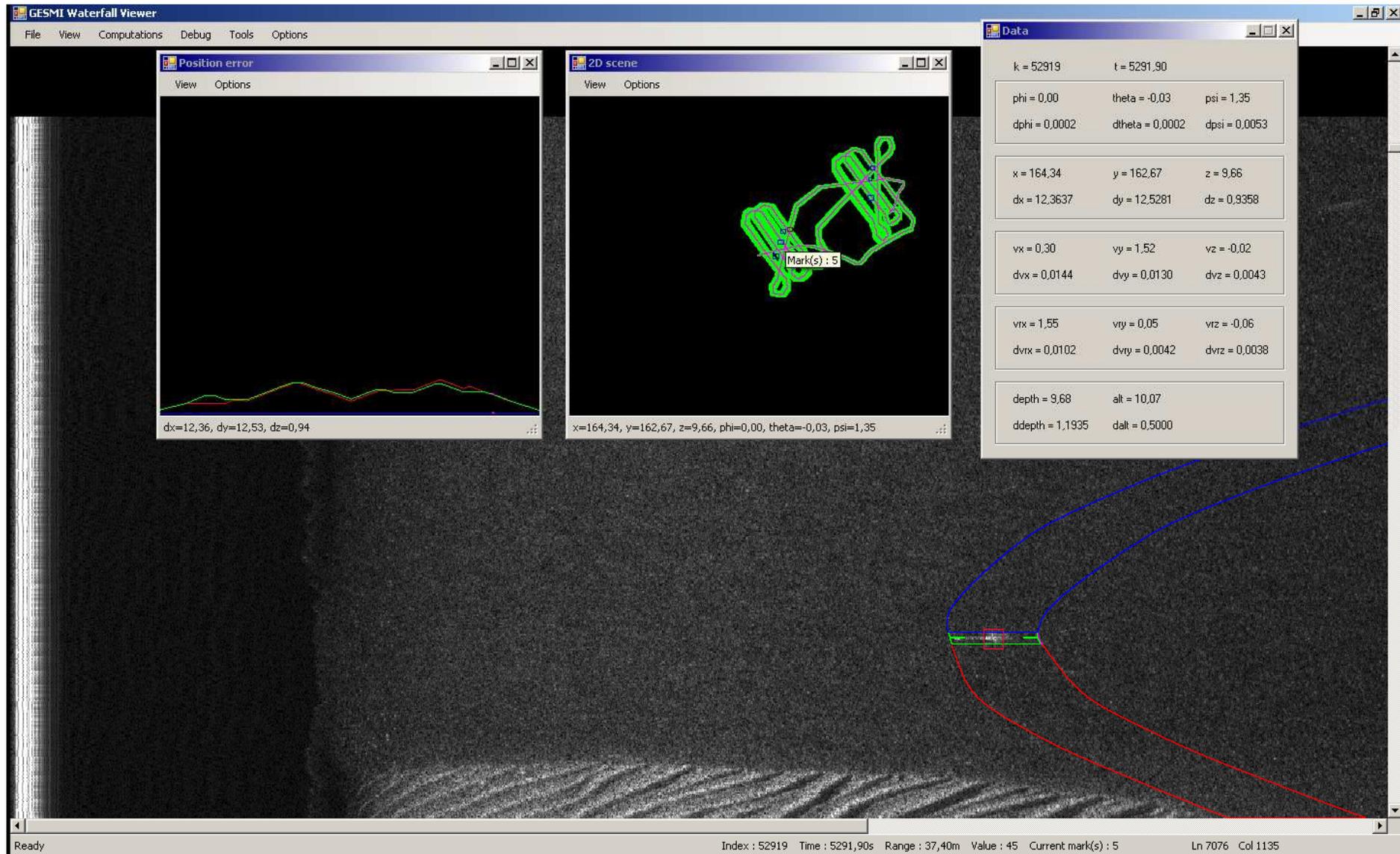
$$\rightarrow \dot{\mathbf{z}}_i, \mathbf{x}, \mathbf{m}_i, \dot{\mathbf{x}}$$

SLAM avec données fugaces

- Processus de contraction et propagation

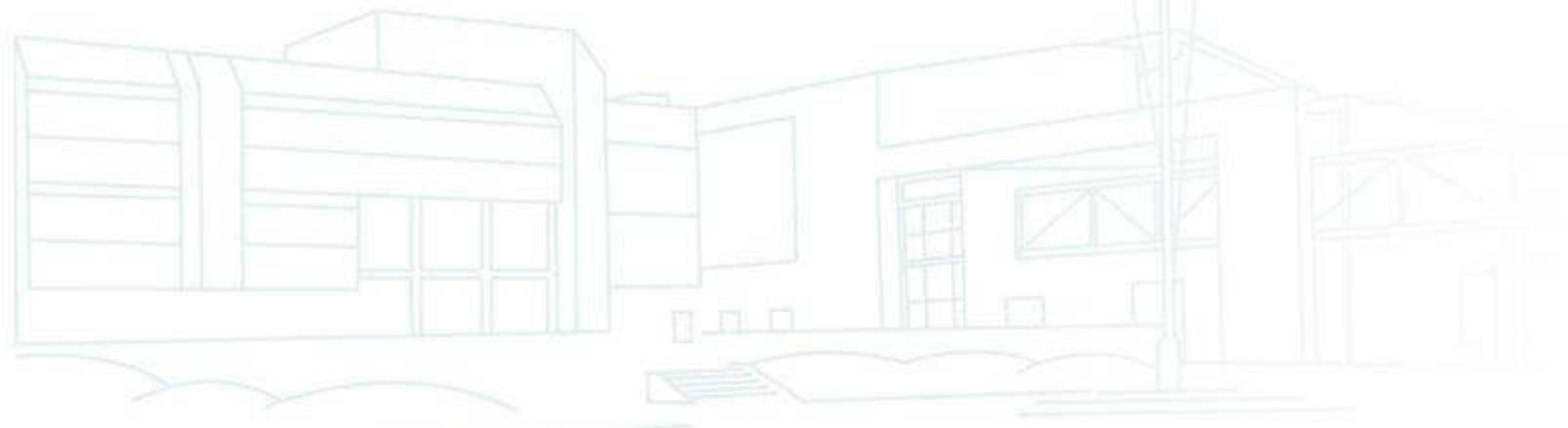
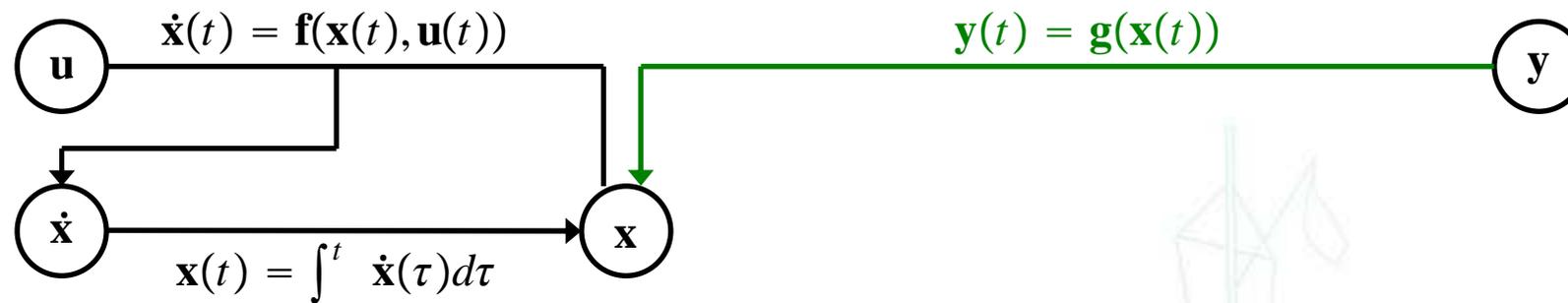


SLAM avec données fugaces

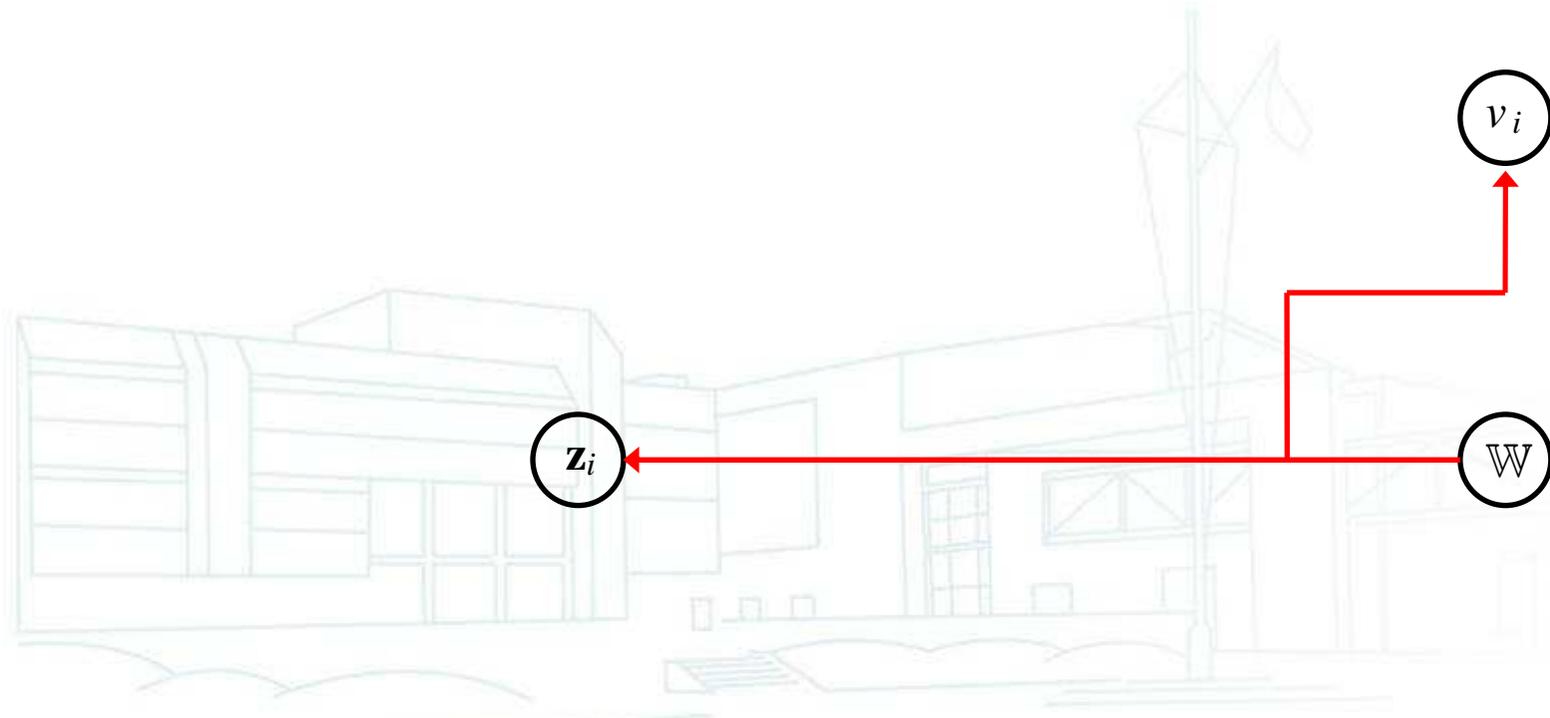


Analyse par intervalles pour la localisation et la cartographie simultanées;
Application à la robotique sous-marine

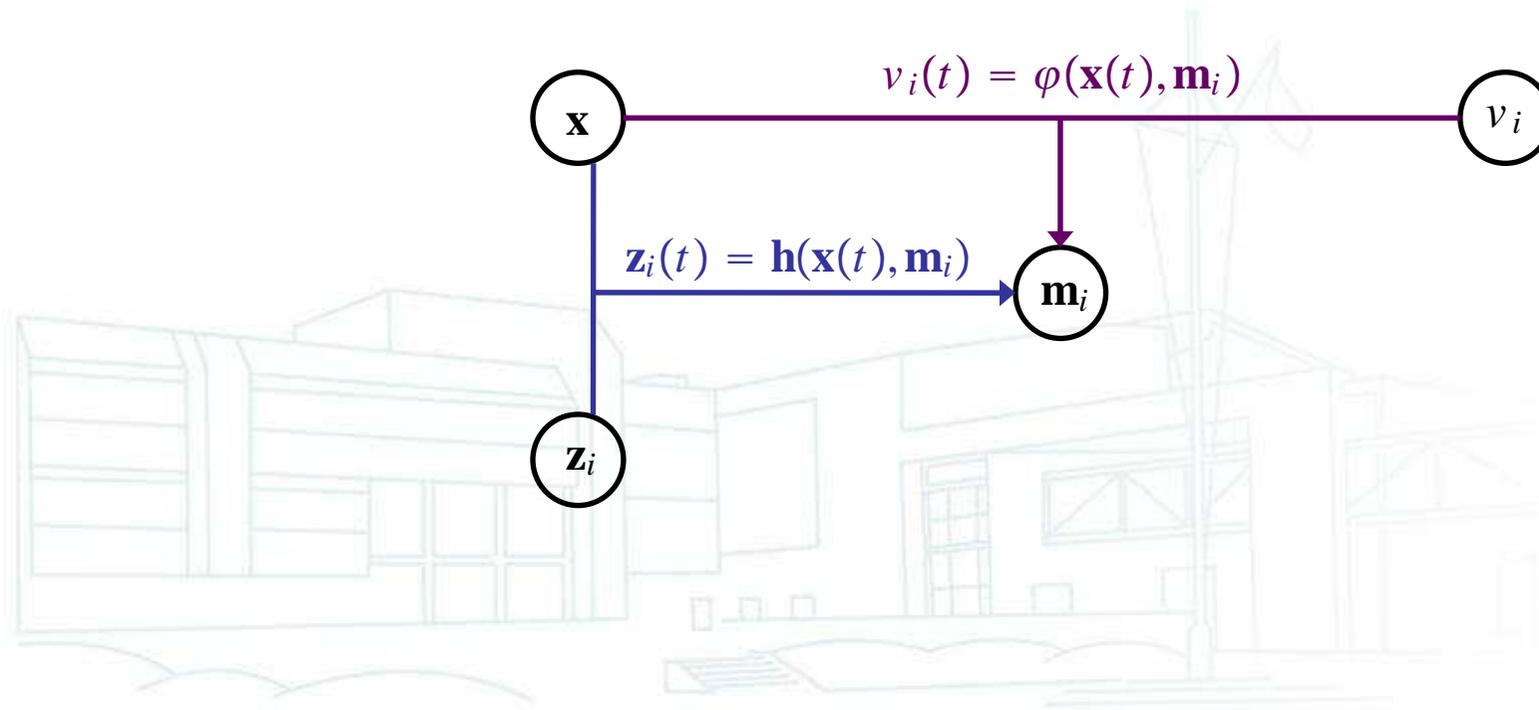
SLAM avec données fugaces



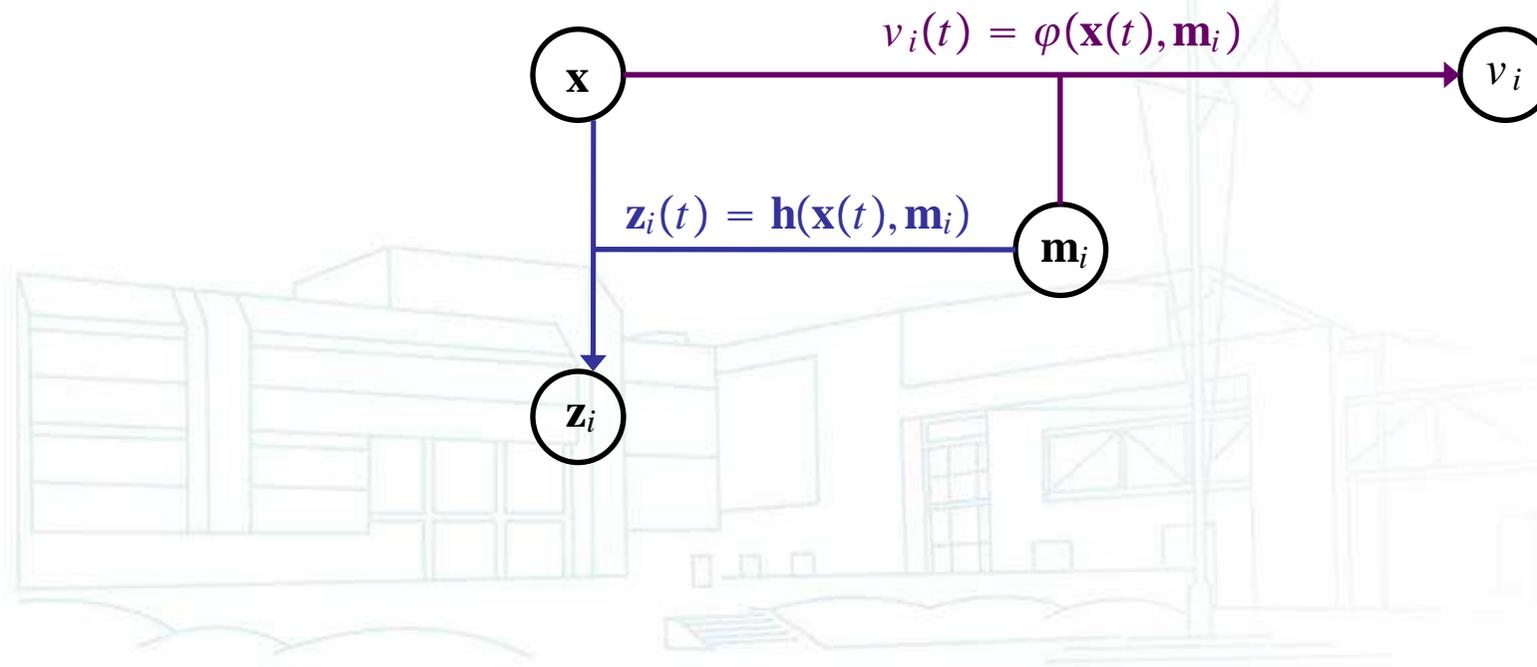
SLAM avec données fugaces



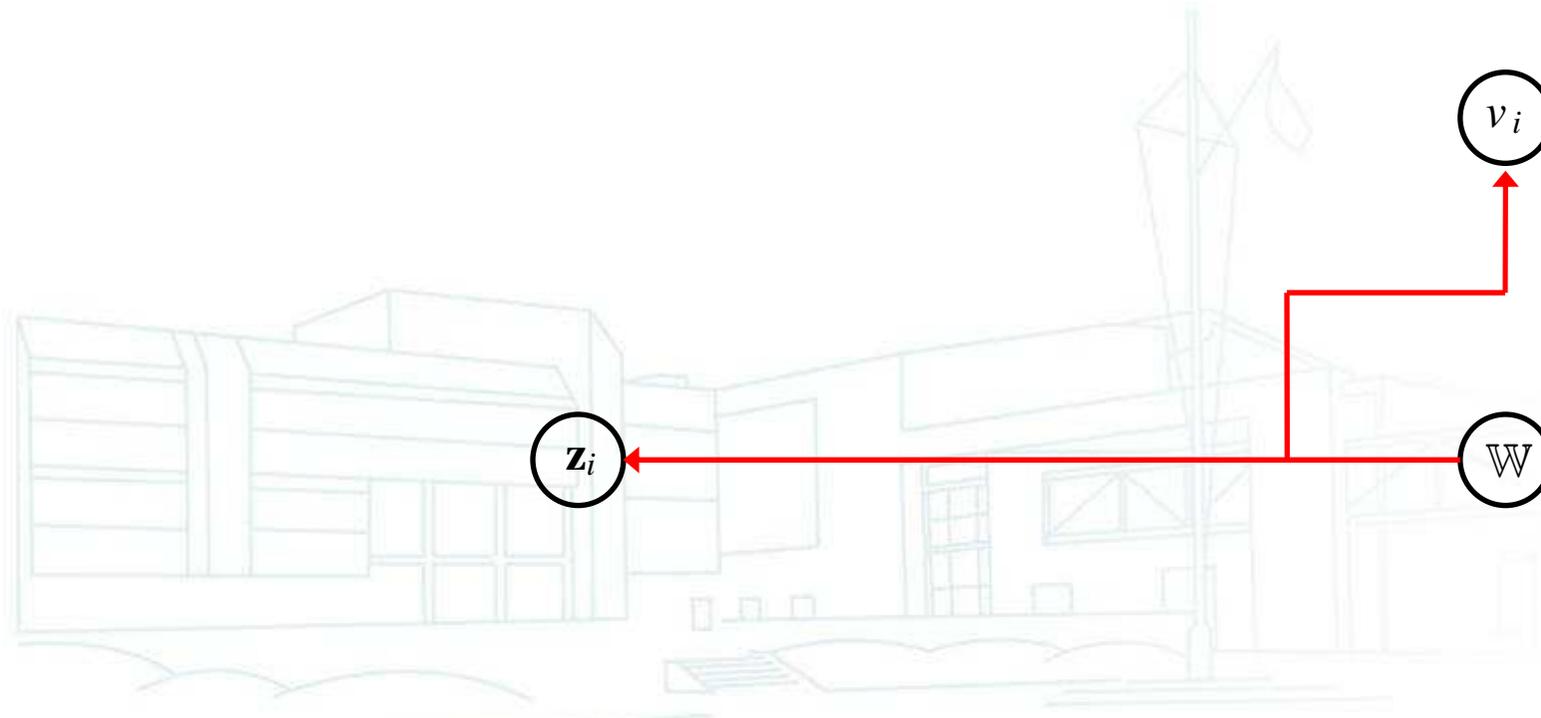
SLAM avec données fugaces



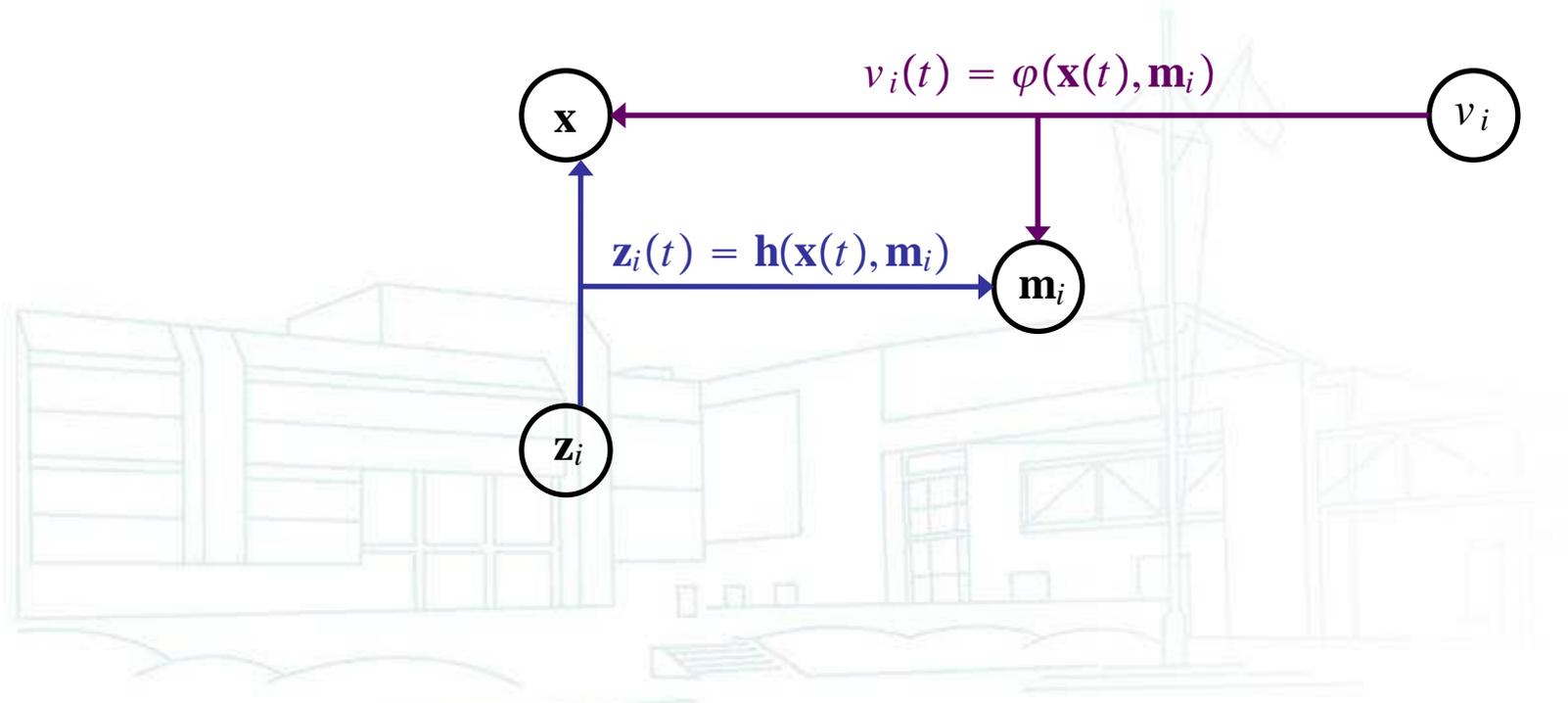
SLAM avec données fugaces



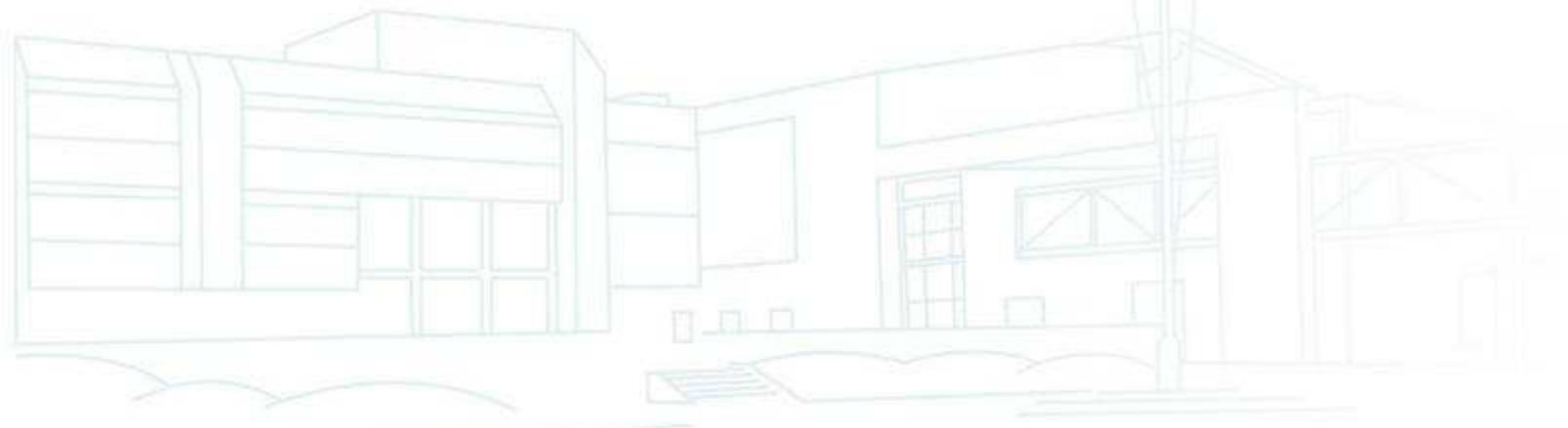
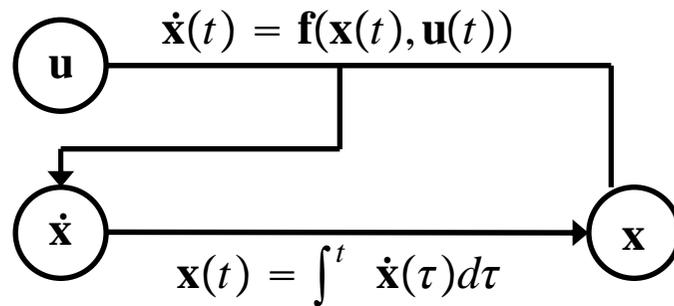
SLAM avec données fugaces

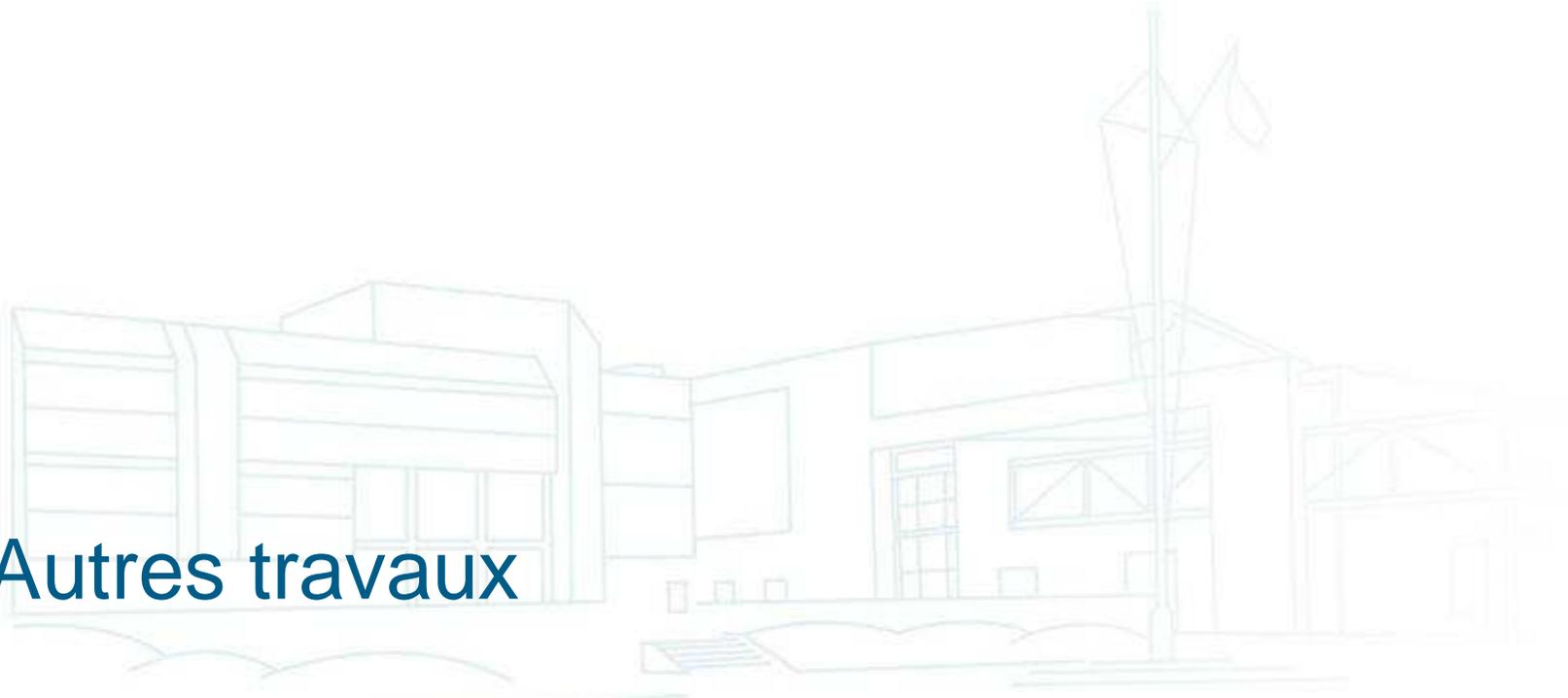


SLAM avec données fugaces



SLAM avec données fugaces

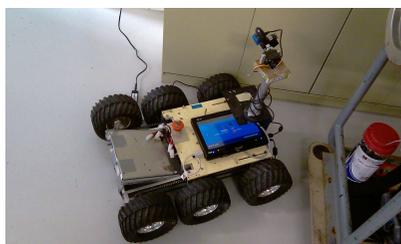
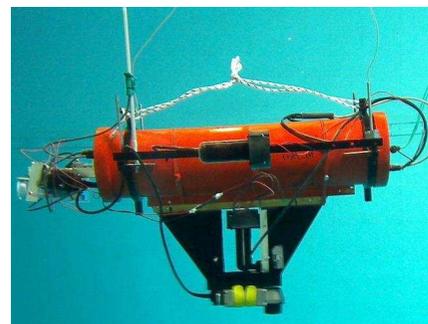




Autres travaux

Autres travaux

- Robots sous-marins SAUC'ISSE et SARDINE pour le concours SAUC-E
- Robot voilier VAIMOS de l'IFREMER
- Autres robots du club robotique de l'ENSTA Bretagne





Conclusion et perspectives

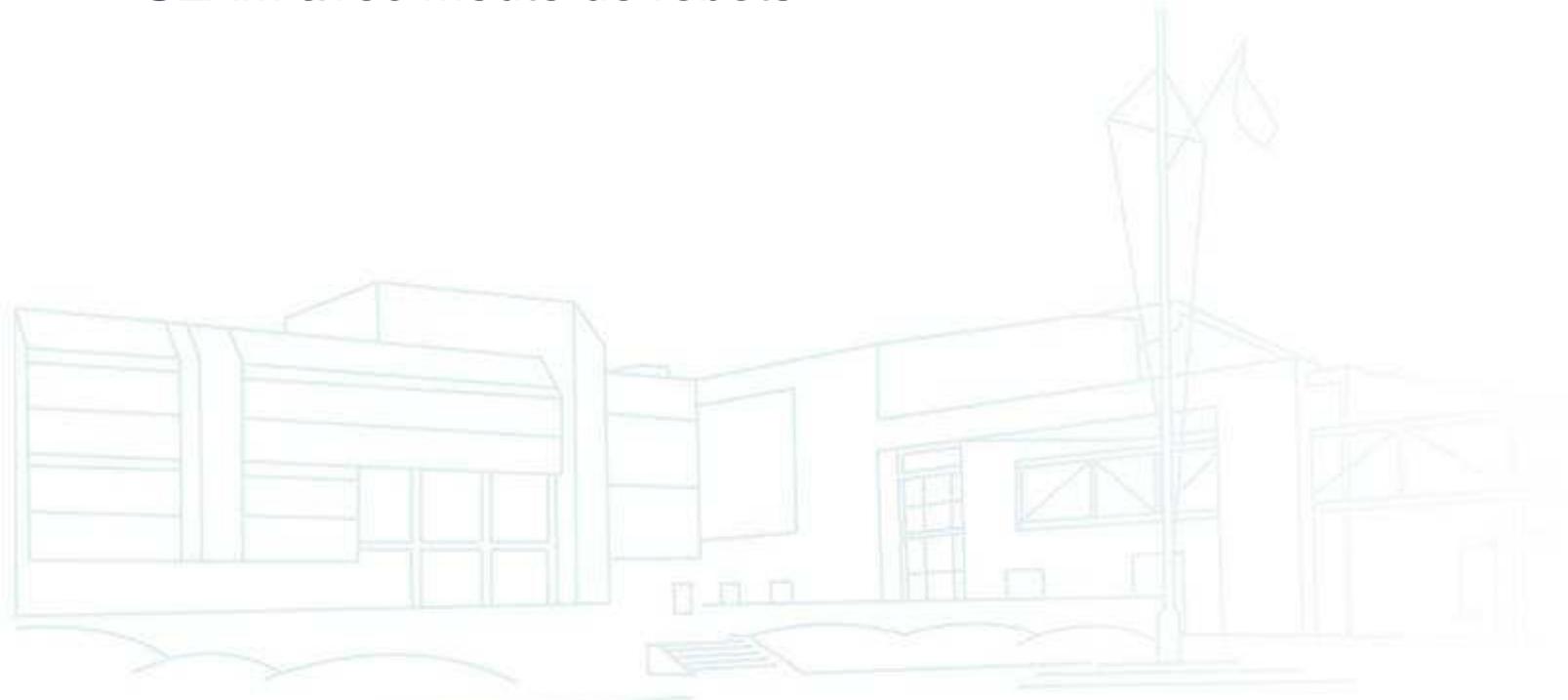
Conclusion et perspectives

- Contributions principales de la thèse :
 - Caractère fugace en SLAM sous-marin
 - Formalisme des tubes
 - Amélioration du logiciel GESMI, qui permet un traitement rapide et fiable d'un problème réel



Conclusion et perspectives

- Perspectives principales :
 - SLAM online temps réel par intervalles
 - Robustesse par rapport aux données aberrantes
 - SLAM avec meute de robots



Articles et conférences



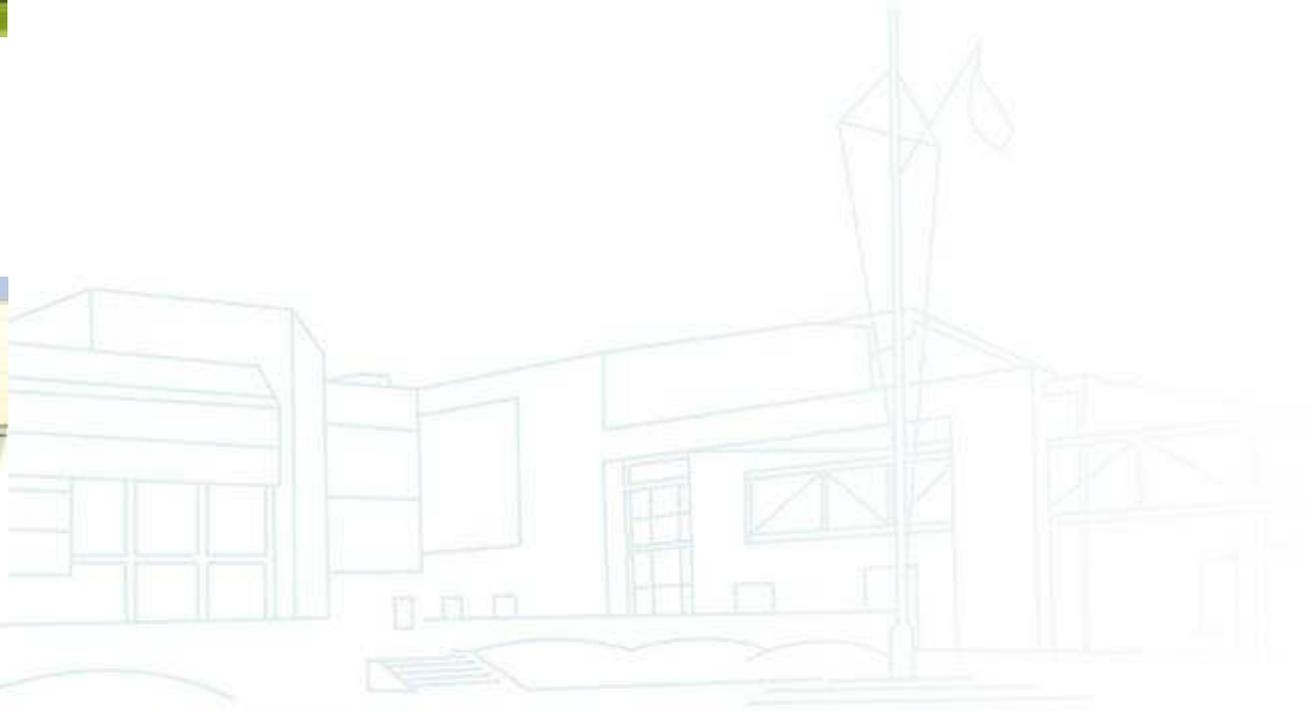
■ Articles de revue

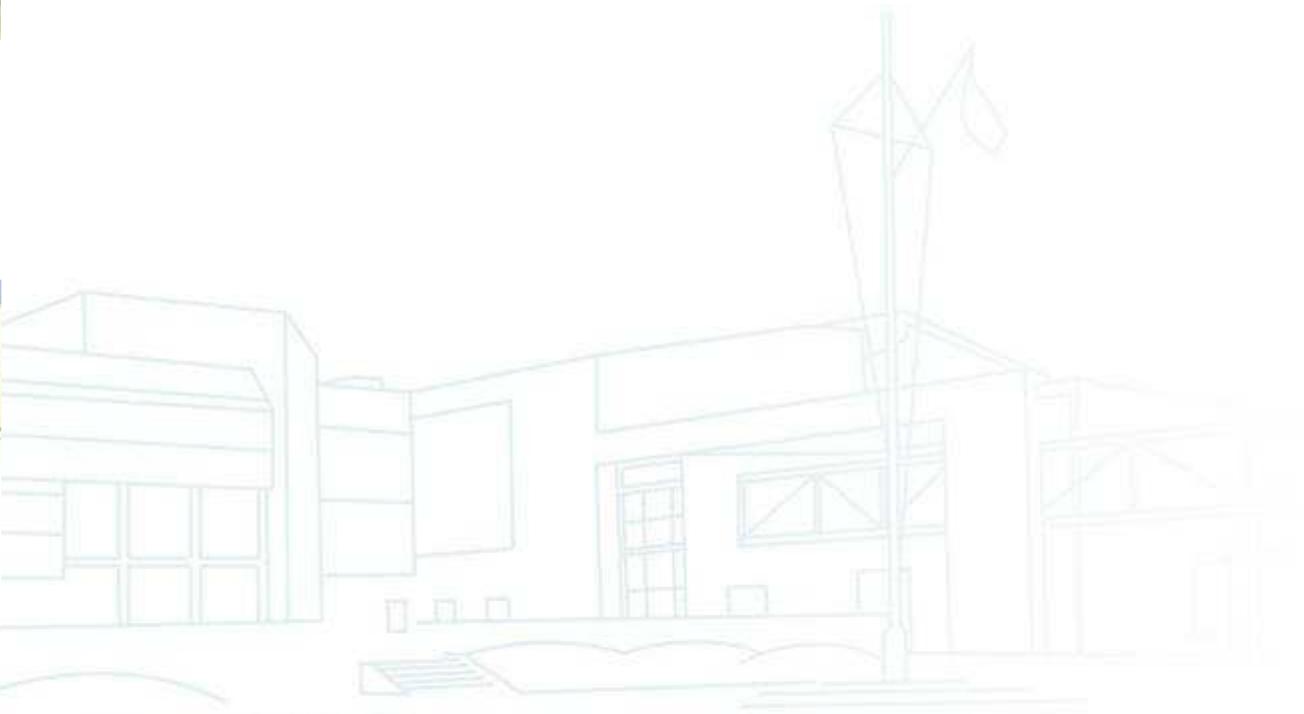
- F. Le Bars, J. Sliwka, O. Reynet, and L. Jaulin. Set-membership state estimation with fleeting data. Accepté par *Automatica*, 2011.
- F. Le Bars, J. Sliwka, and M. Sebela. Autonomous submarine robotic system. *Cybernetic Letters*, 2010.

■ Conférences

- F. Le Bars, J. Sliwka, O. Reynet, and L. Jaulin. SLAM with fleeting detections. *SWIM 2011*, Bourges, France, 2011.
- F. Le Bars and J. Sliwka. SAUC'ISSE et SARDINE, 2 robots sous-marins autonomes. *2ème conférence de l'association DAKODOC des doctorants de l'ED SICMA*, Brest, France, 2011.
- F. Le Bars and L. Jaulin. State estimation with fleeting data. *Journée MEA 2010*, Paris, France, 2010.
- F. Le Bars, J. Sliwka, and L. Jaulin. SAUC'ISSE, un robot sous-marin autonome. *Journées Démonstrateurs 2010*, Angers, France, 2010.
- F. Le Bars and J. Sliwka. Calcul par intervalles et robotique à l'ENSIETA. *Journées Jeunes Chercheurs en Robotique 2010*, Paris, France, 2010.
- F. Le Bars, A. Bertholom, J. Sliwka, and L. Jaulin. Interval SLAM for underwater robots – a new experiment. *NOLCOS 2010*, Bologne, Italie, 2010.
- F. Le Bars, A. Bertholom, J. Sliwka, and L. Jaulin. GESMI, an interval-based software for submarine SLAM. *SWIM 2010*, Nantes, France, 2010.
- F. Le Bars, J. Sliwka, and L. Jaulin. Ray tracing and stability analysis of parametric systems. *SWIM 2009*, Lausanne, Switzerland, 2009.
- F. Le Bars, J. Sliwka, and L. Jaulin. Analyse par intervalles pour le lancé de rayon et pour l'analyse de stabilité. *JD-JN-MACS 2009*, Angers, France, 2009.

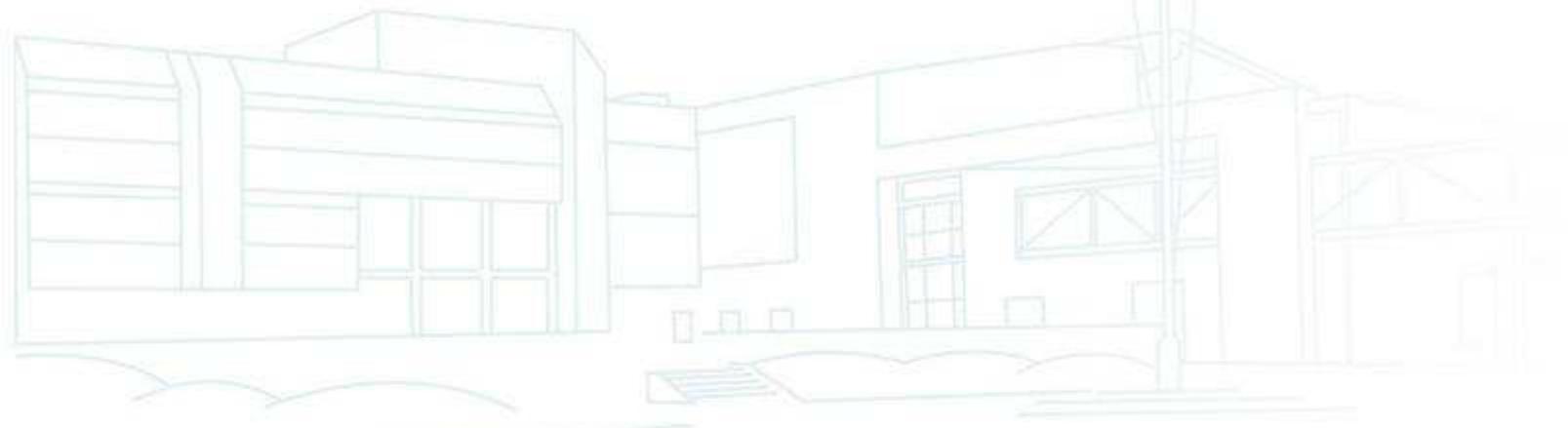
Questions?





Articles et conférences

- Article de revue principal
 - F. Le Bars, J. Sliwka, O. Reynet, and L. Jaulin. Set-membership state estimation with fleeting data. Accepté par *Automatica*, 2011.
- Conférence principale
 - F. Le Bars, A. Bertholom, J. Sliwka, and L. Jaulin. Interval SLAM for underwater robots – a new experiment. *NOLCOS 2010*, Bologne, Italie, 2010.



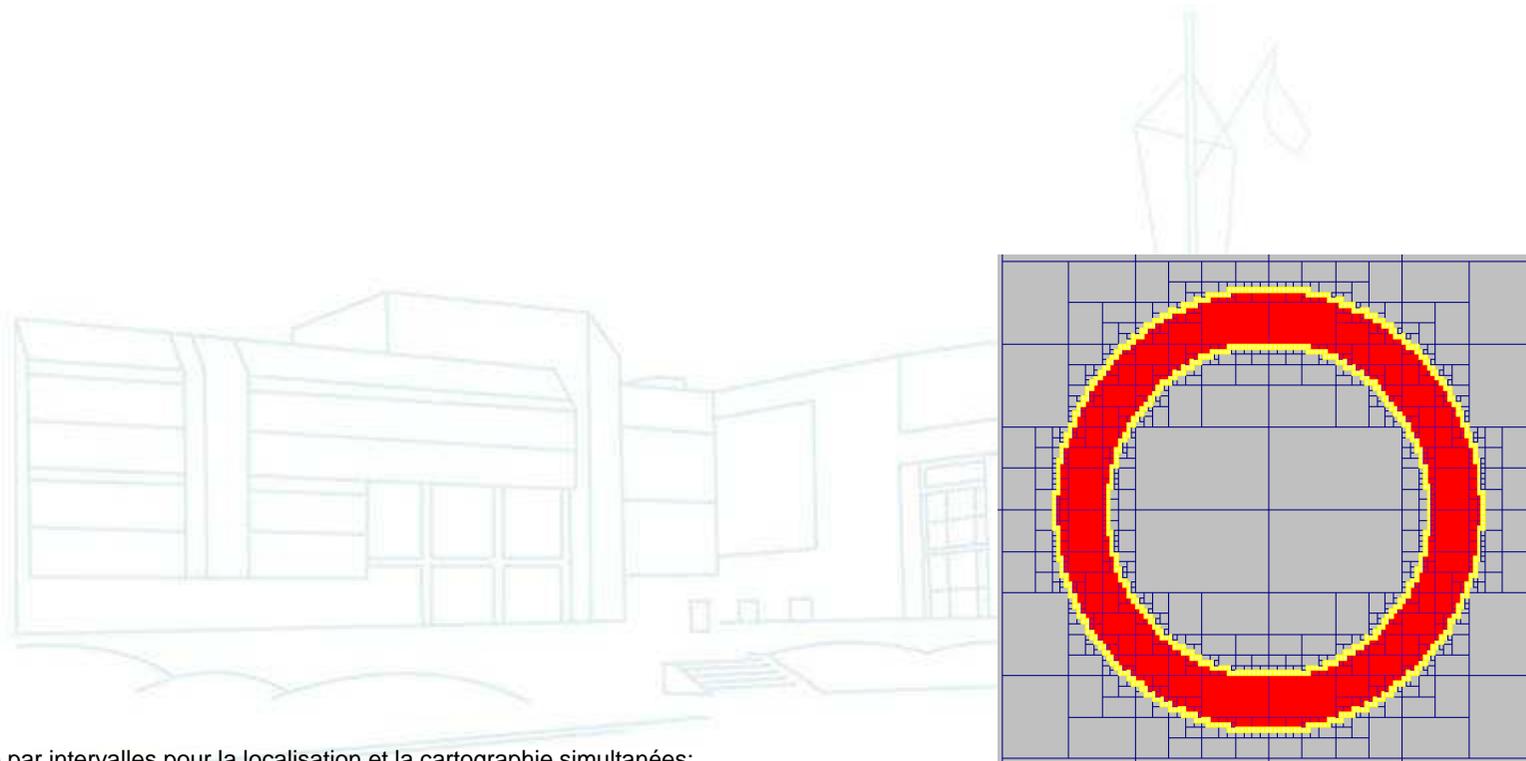
Calcul par intervalles

- CSP
 - Un CSP est constitué
 - d'un ensemble de variables
 - d'un ensemble de domaines censés contenir les variables
 - d'un ensemble de contraintes entre les variables



Calcul par intervalles

- D'autres techniques sont disponibles en plus (bisections...)



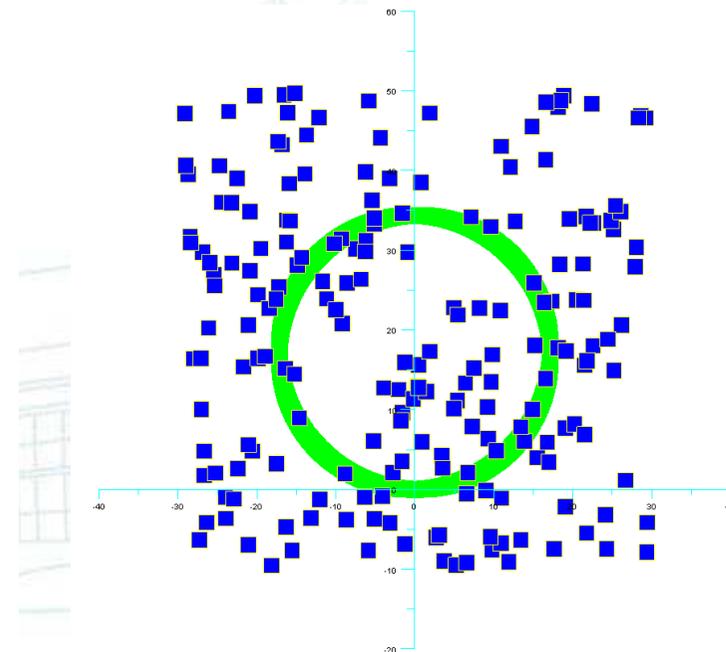
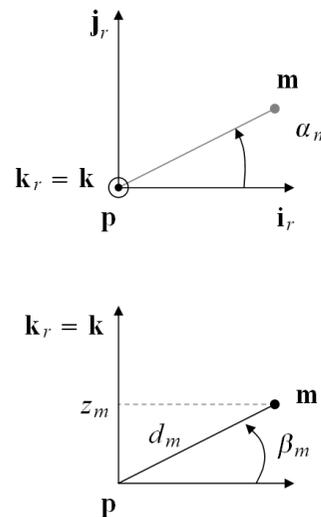
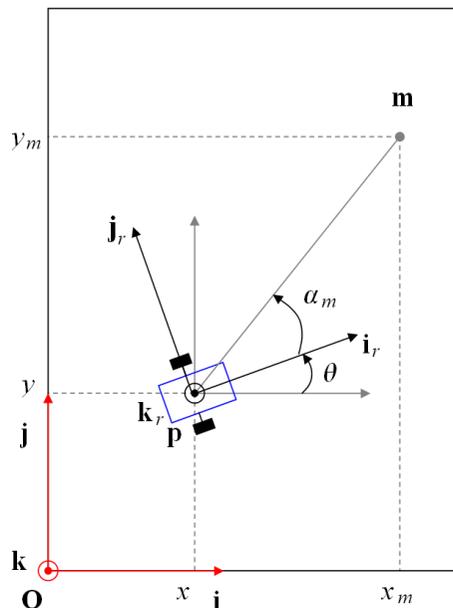
SLAM par intervalles

- Algorithme de résolution
 - Initialisation et prise en compte des mesures
 - Forward-backward: propagation dans le temps avec l'équation d'évolution
 - Prise en compte des détections d'amers



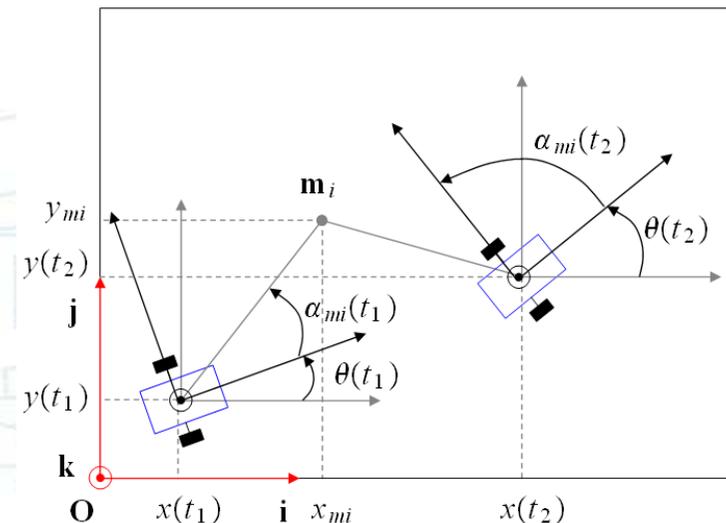
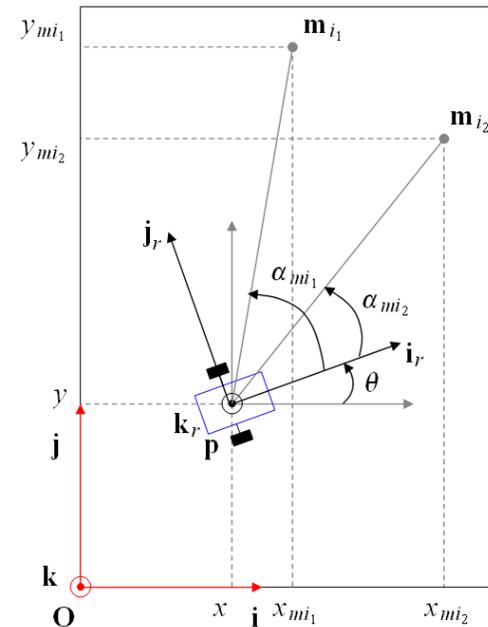
SLAM par intervalles

- Optimalité des résultats
 - Test de plusieurs méthodes (probabilistes et intervalles) sur le même jeu de données (voir thèse de Cyril JOLY)
 - Simulations traitées: un robot char muni d'odomètres et d'une caméra omnidirectionnelle se déplaçant dans un plan où se trouvent 200 amers ponctuels



SLAM par intervalles

- Optimalité des résultats
 - Algorithmes testés :
 1. Propagation de contraintes intervalles
 2. 1. avec l'ajout d'équations d'interdétections propres au problème
 3. 2. avec l'utilisation de l'algorithme 3BCID (bisections en tranches)
 4. 1. avec l'utilisation de l'algorithme STRANGLE (bisections complètes sur les positions des amers)
 5. SAM (Cyril JOLY)
 6. 1. avec optimisation de l'orientation des axes (Cyril JOLY)

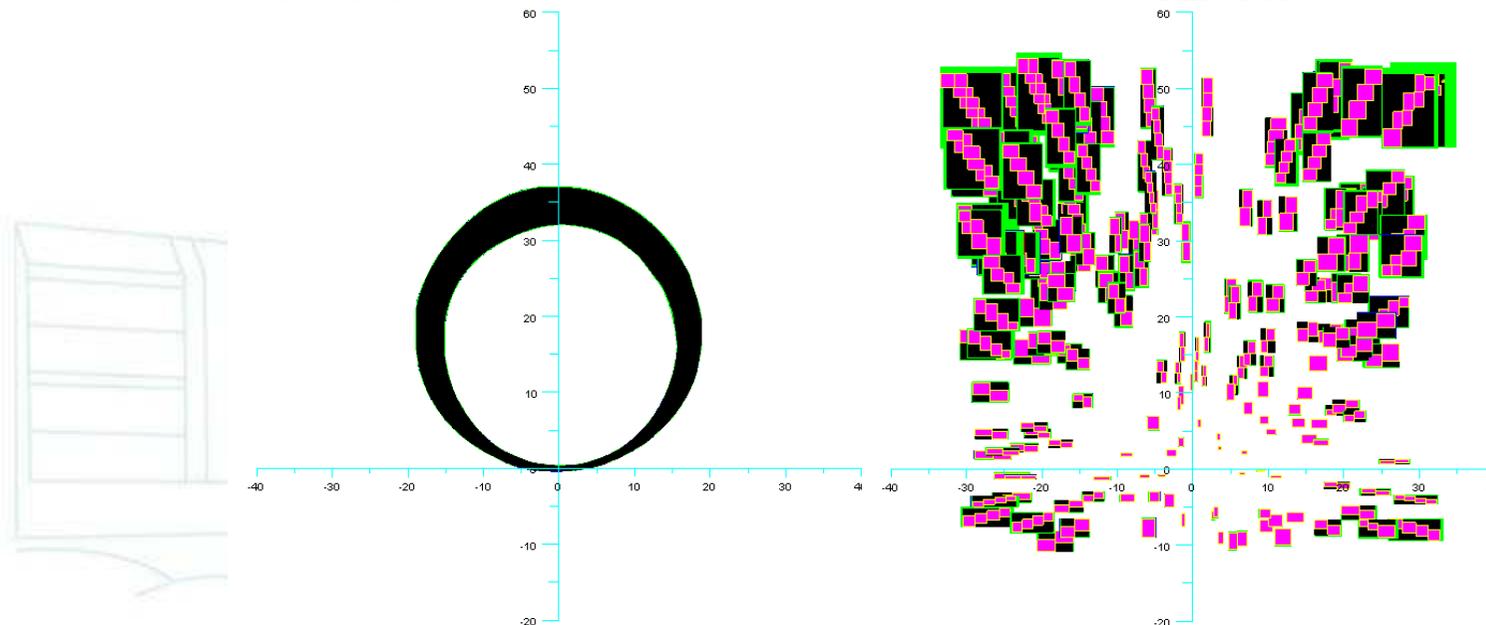


SLAM par intervalles

- Optimalité des résultats

- Résultats :

- Rajouter des équations propres au problème (interdétectons, orientation...) ou des bisections peut augmenter considérablement le temps de calcul sans pour autant améliorer notablement les résultats



■ CSP

- Les variables sont des trajectoires (fonctions temporelles) $\mathbf{x}(t)$, $\dot{\mathbf{x}}(t)$ et les vecteurs réels \mathbf{m}_i
- Les domaines sont des intervalles de trajectoires (tubes) $[\mathbf{x}](t)$, $[\dot{\mathbf{x}}](t)$ et les pavés $[\mathbf{m}_i]$
- Les contraintes sont :

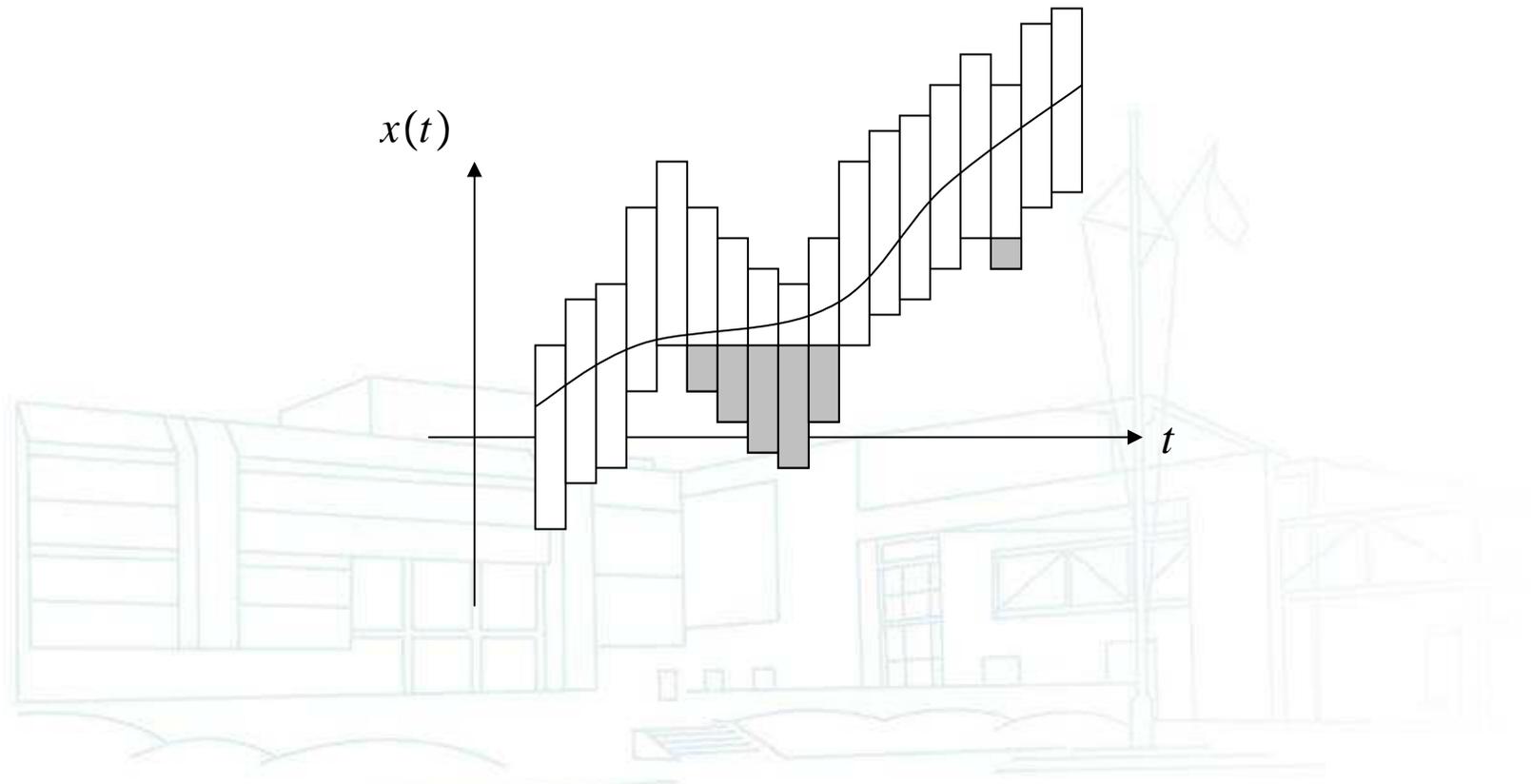
$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) \quad (\text{équation d'évolution})$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{g}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) \quad (\text{équation des mesures indépendantes de la waterfall})$$

$$\mathbf{z}_i(t) = \mathbf{h}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{m}_i) \quad (\text{équations des détections d'amers})$$

Tubes

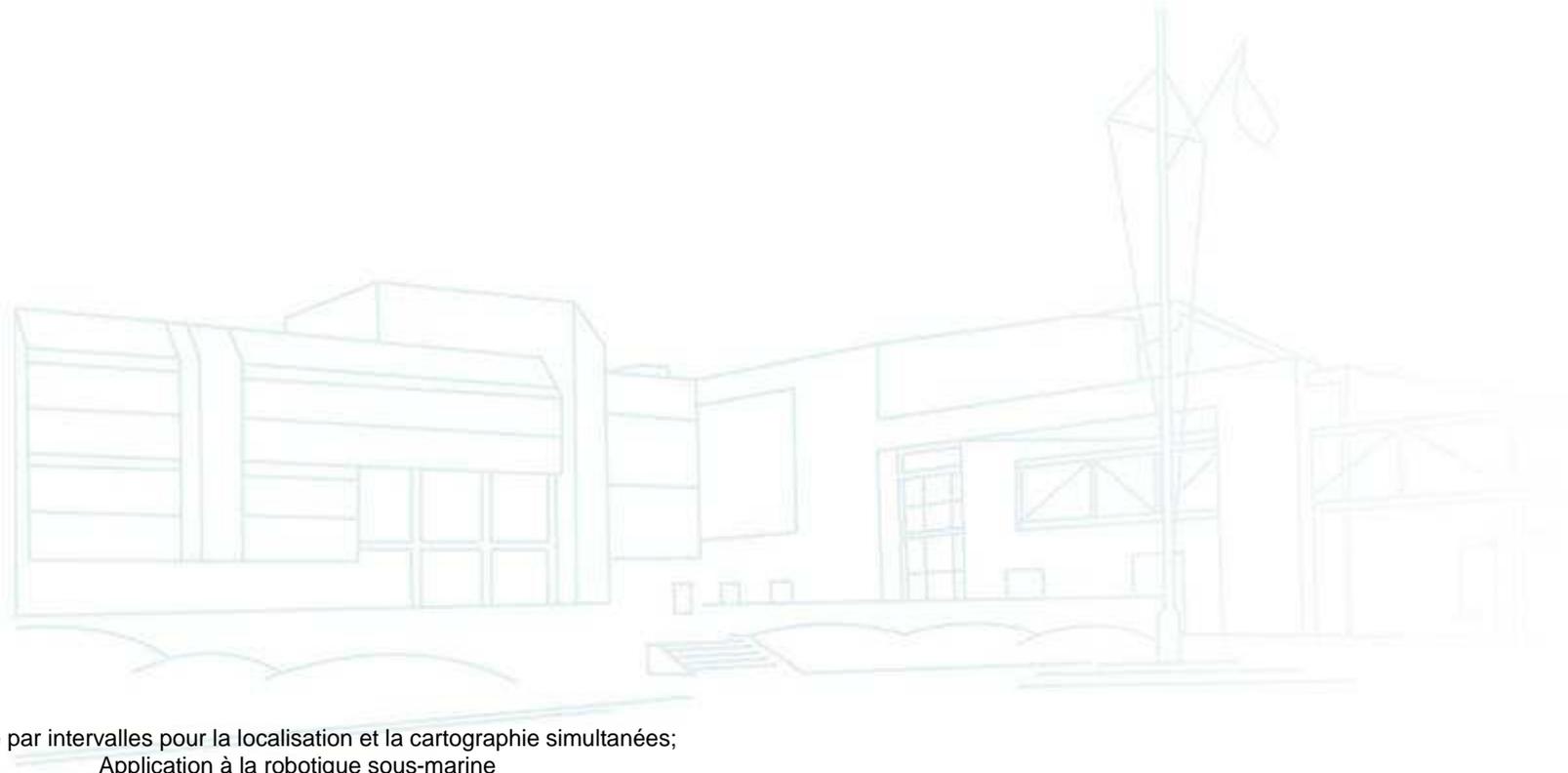
- Contractions avec des tubes
 - Contrainte de croissance



Tubes

- Contractions avec des tubes
 - Condition de visibilité d'un amer sur une image sonar

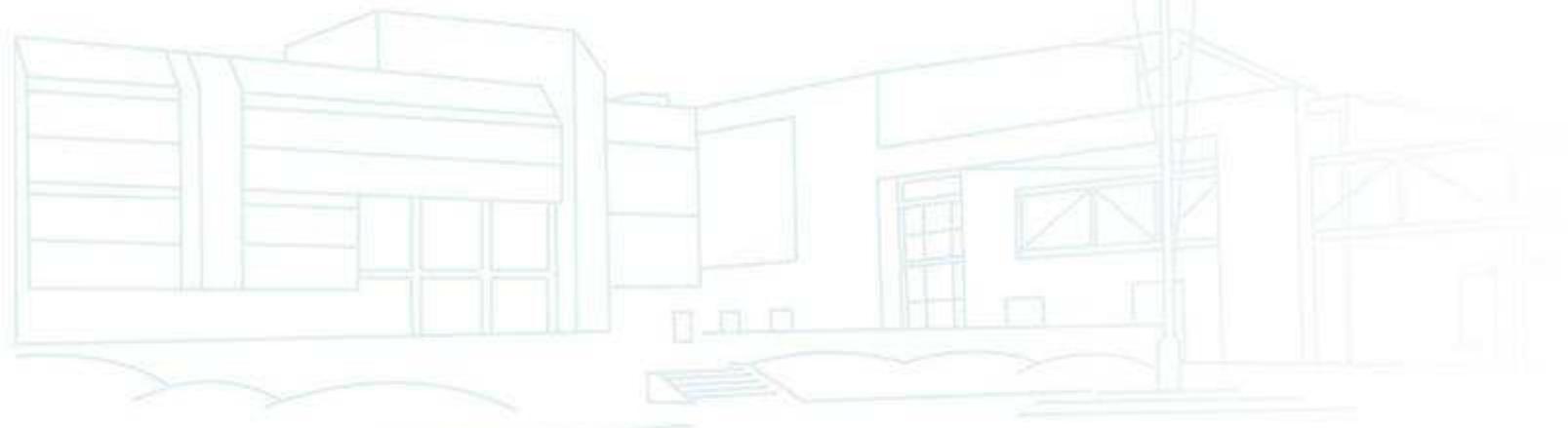
$$v(t) = 0 \Rightarrow z(t) \in \mathbb{W}(t)$$



- Contraction de la relation de visibilité
 - Problème : contracter les tubes $[v](t)$, $[z](t)$ par rapport à la relation :

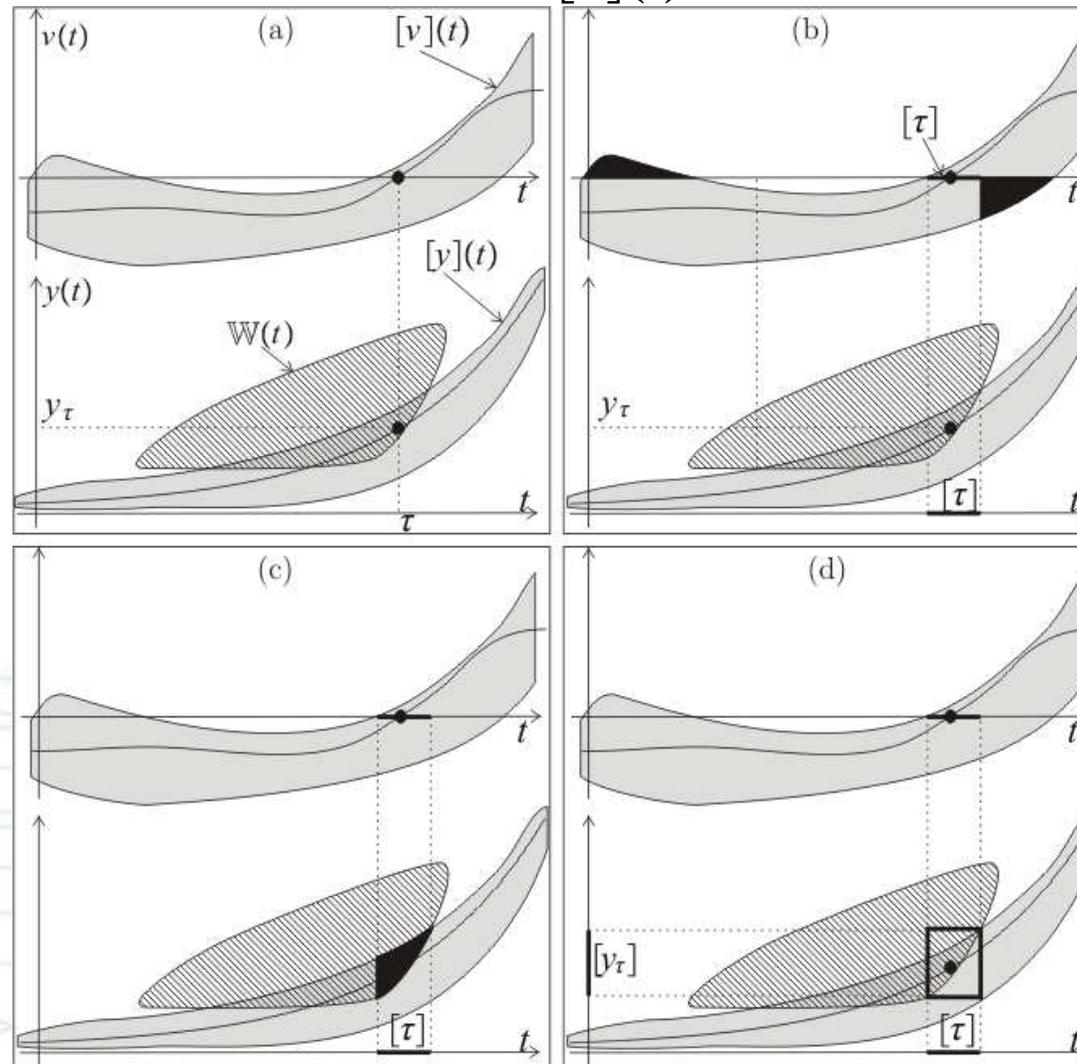
$$v(t) = 0 \Rightarrow z(t) \in \mathbb{W}(t)$$

- 2 théorèmes : un pour contracter $[v](t)$ et l'autre pour $[z](t)$



Contraction de la relation de visibilité

- Exemple 1 : contraction de $[v](t)$

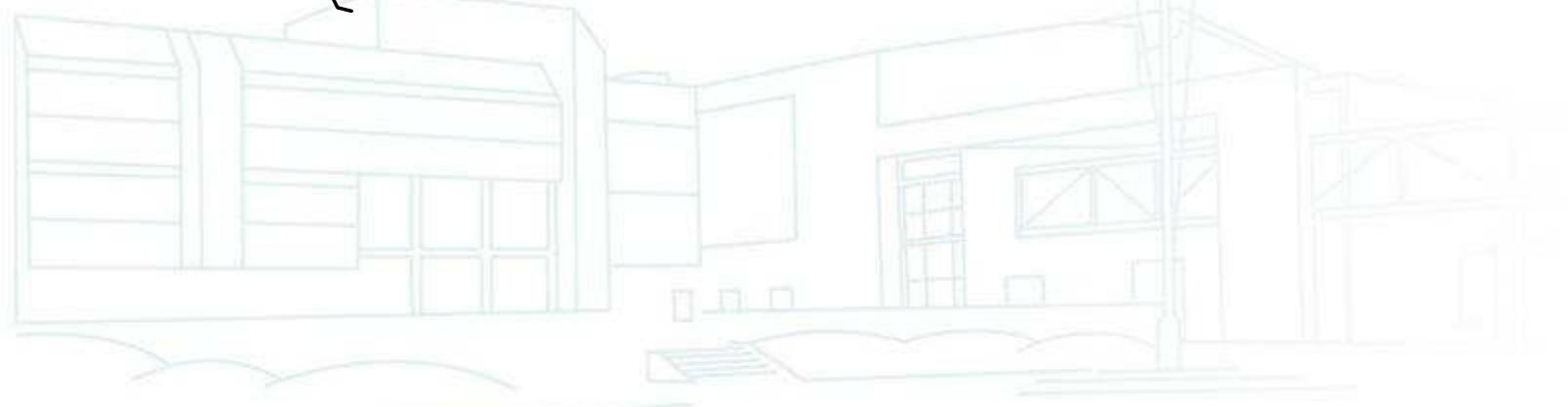


Contraction de la relation de visibilité

- Exemple 2 :

- \mathbf{m} est en $(0,0)$
- La précision du télémètre est de ± 0.01 m, sa portée est de $[s] = [s^-, s^+] = [1, 10]$ m
- Les fonctions de visibilité h et d'observation g sont:

$$\begin{cases} h(\mathbf{x}) = x_1 \sin(x_3 + x_4) - x_2 \cos(x_3 + x_4) \\ g(\mathbf{x}) = -x_1 \cos(x_3 + x_4) - x_2 \sin(x_3 + x_4). \end{cases}$$



Contraction de la relation de visibilité

- Exemple 2 :

- On a :

$$\left(h(\mathbf{x}) = 0 \text{ and } g(\mathbf{x}) \in [s] \cap [-\infty, d] \right) \Rightarrow d = g(\mathbf{x})$$

qui peut s'écrire :

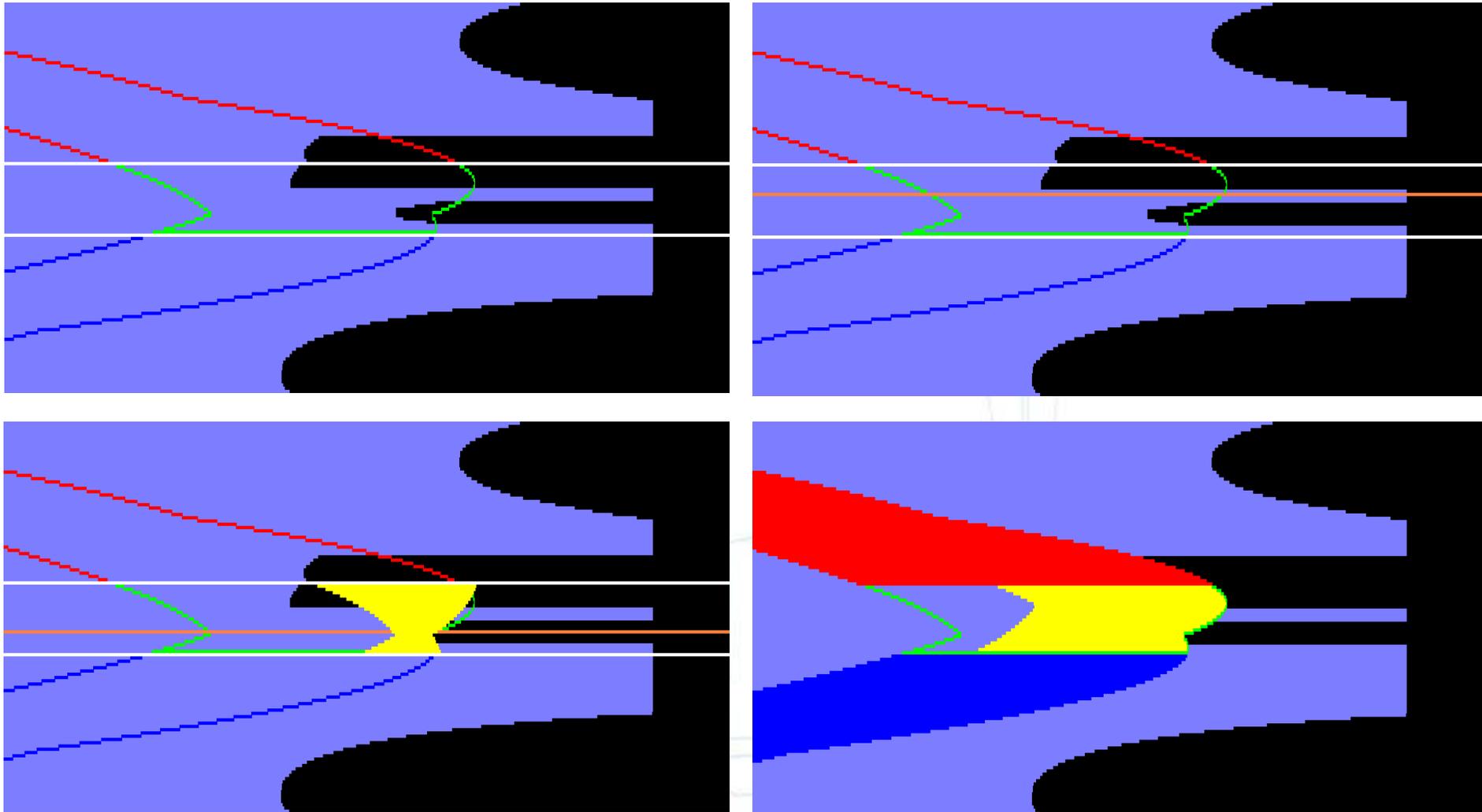
$$h(\mathbf{x}(t)) = 0 \Rightarrow g(\mathbf{x}(t)) \in \mathbb{W}(t)$$

avec :

$$\mathbb{W}(t) = [-\infty, s^-] \cup [s^+, \infty] \cup [d^-, \infty].$$

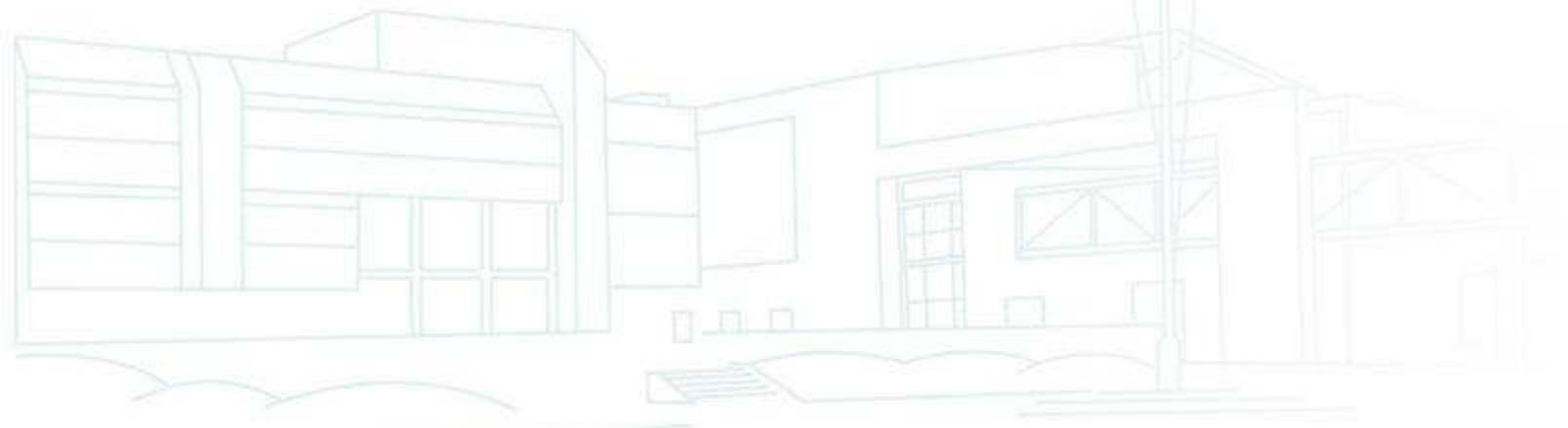
Contraction de la relation de visibilité

- Exemple 2 : contraction de $[z](t)$



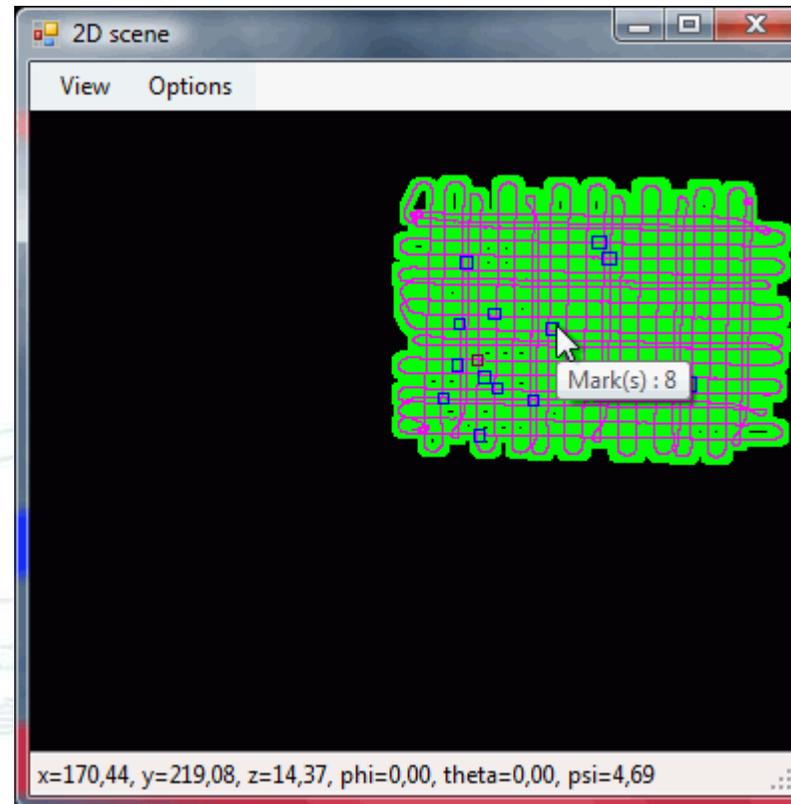
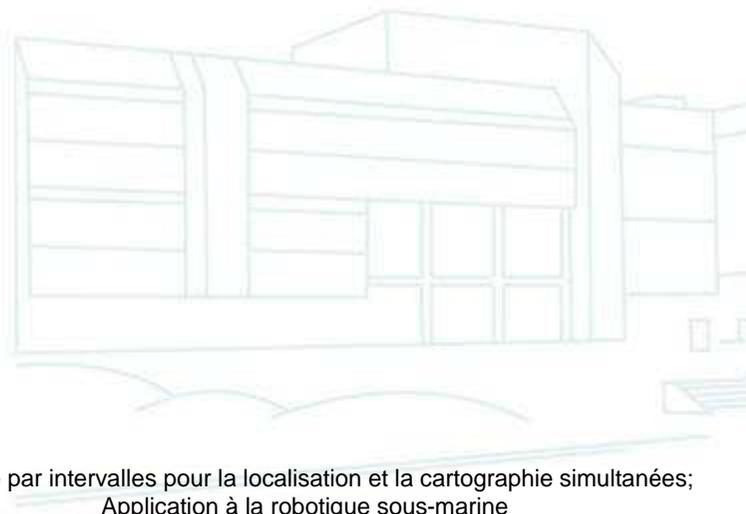
SLAM avec données fugaces

- GESMI, un logiciel utilisant le calcul par intervalles pour l'aide à la détection de mines sous-marines
 - Données à fournir :
 - Données de navigation du sous-marin (angles d'orientation, altitude, profondeur, vitesses, quelques positions GPS en surface)
 - 1 détection de chaque amer sur l'image sonar (distance)
 - Temps et erreur maximale pour chaque donnée



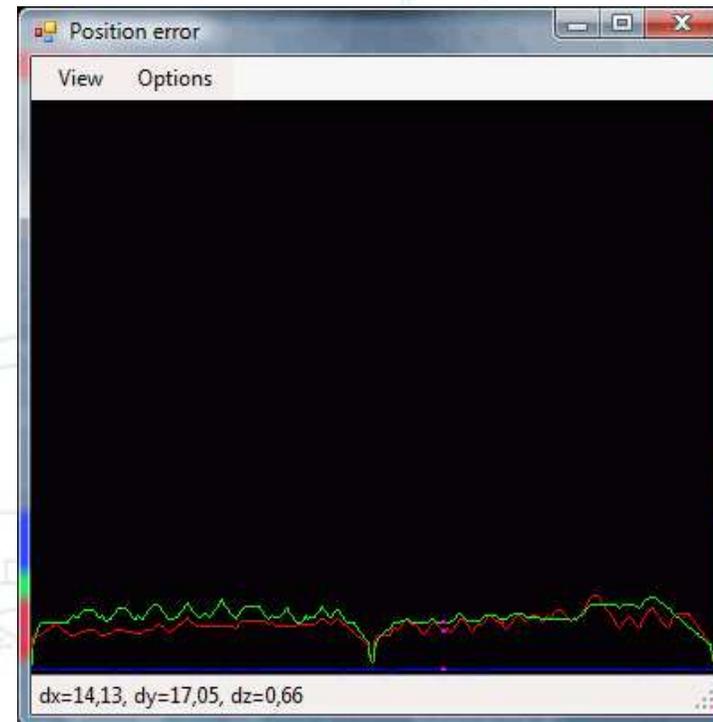
SLAM avec données fugaces

- GESMI, un logiciel utilisant le calcul par intervalles pour l'aide à la détection de mines sous-marines
 - Résultats retournés par GESMI :
 - Trajectoire
 - Position des mines



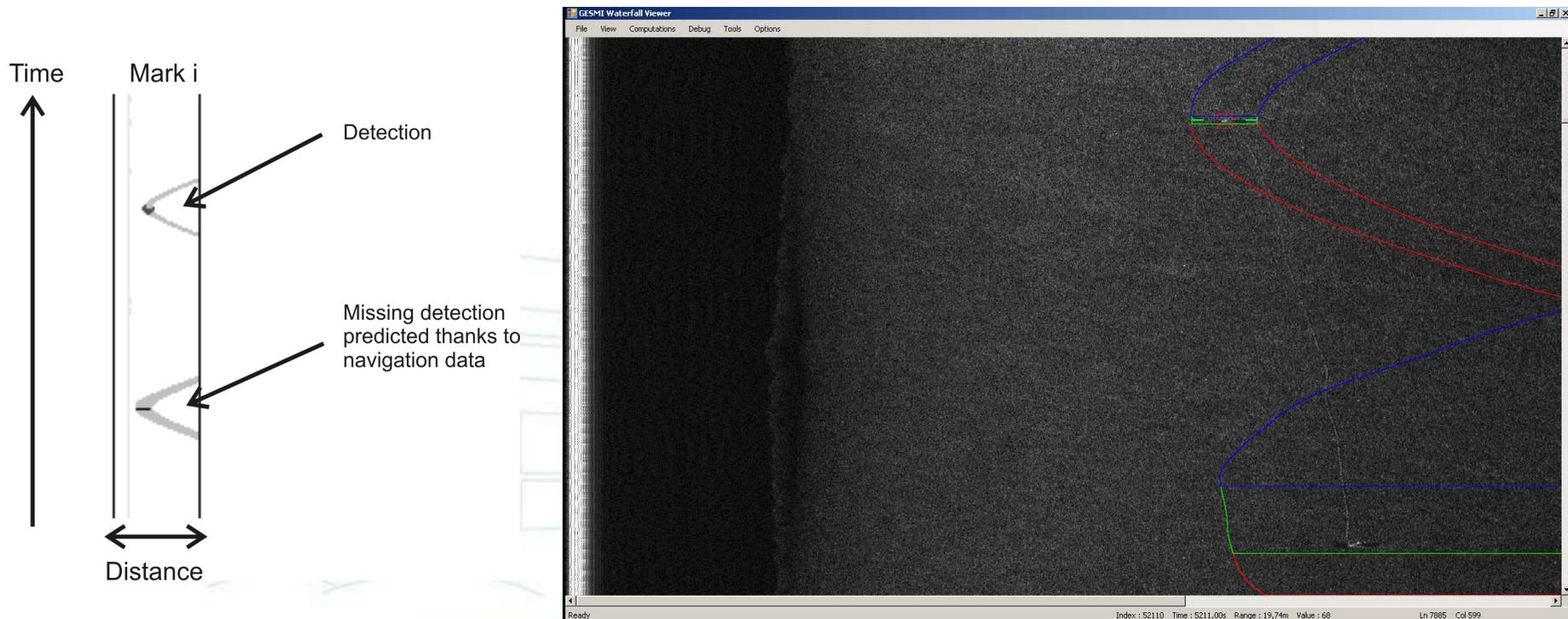
SLAM avec données fugaces

- GESMI, un logiciel utilisant le calcul par intervalles pour l'aide à la détection de mines sous-marines
 - Résultats retournés par GESMI :
 - Erreur d'estimation de position par rapport au temps

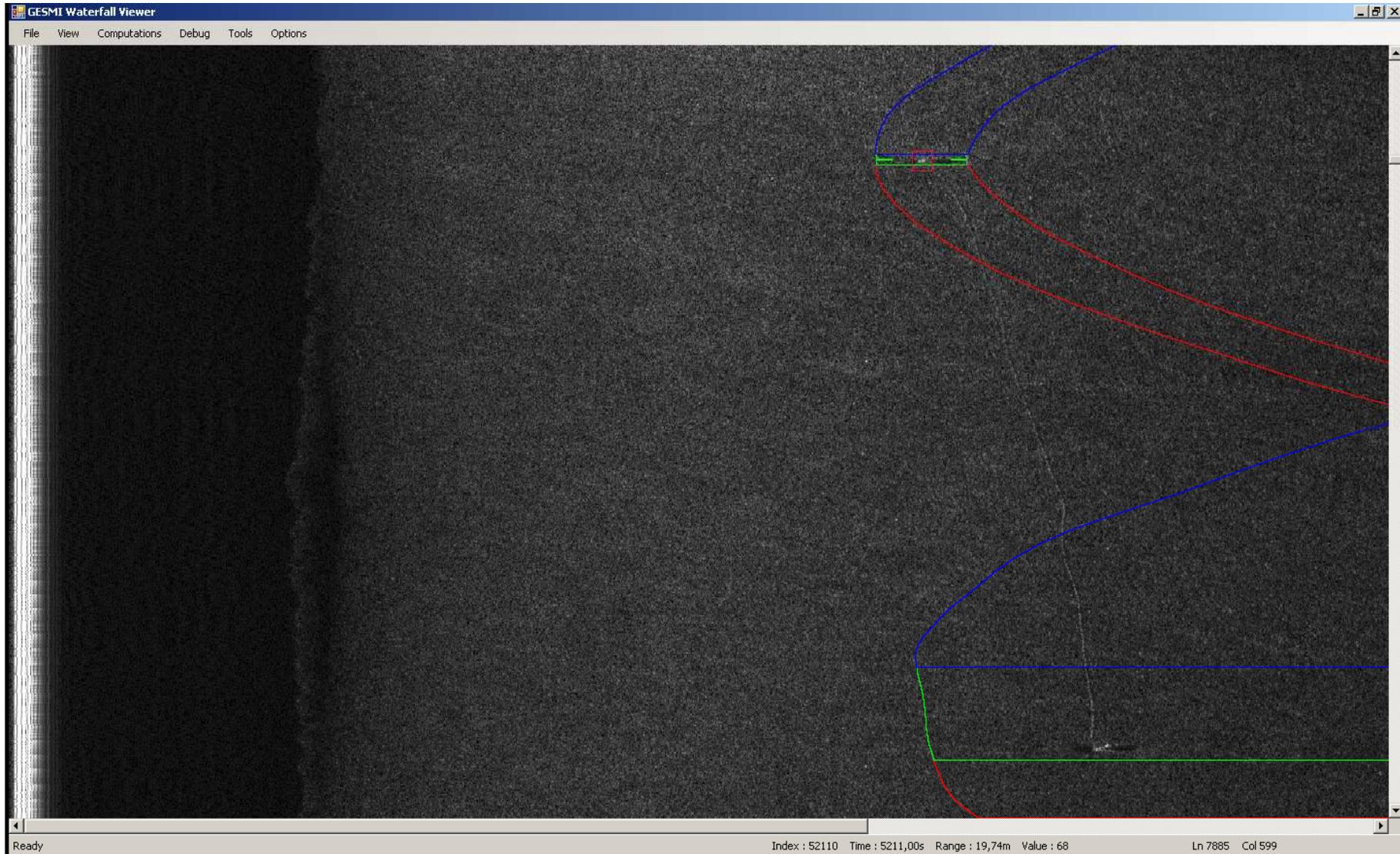


SLAM avec données fugaces

- GESMI, un logiciel utilisant le calcul par intervalles pour l'aide à la détection de mines sous-marines
 - Résultats retournés par GESMI :
 - Fonctions d'observation et de visibilité

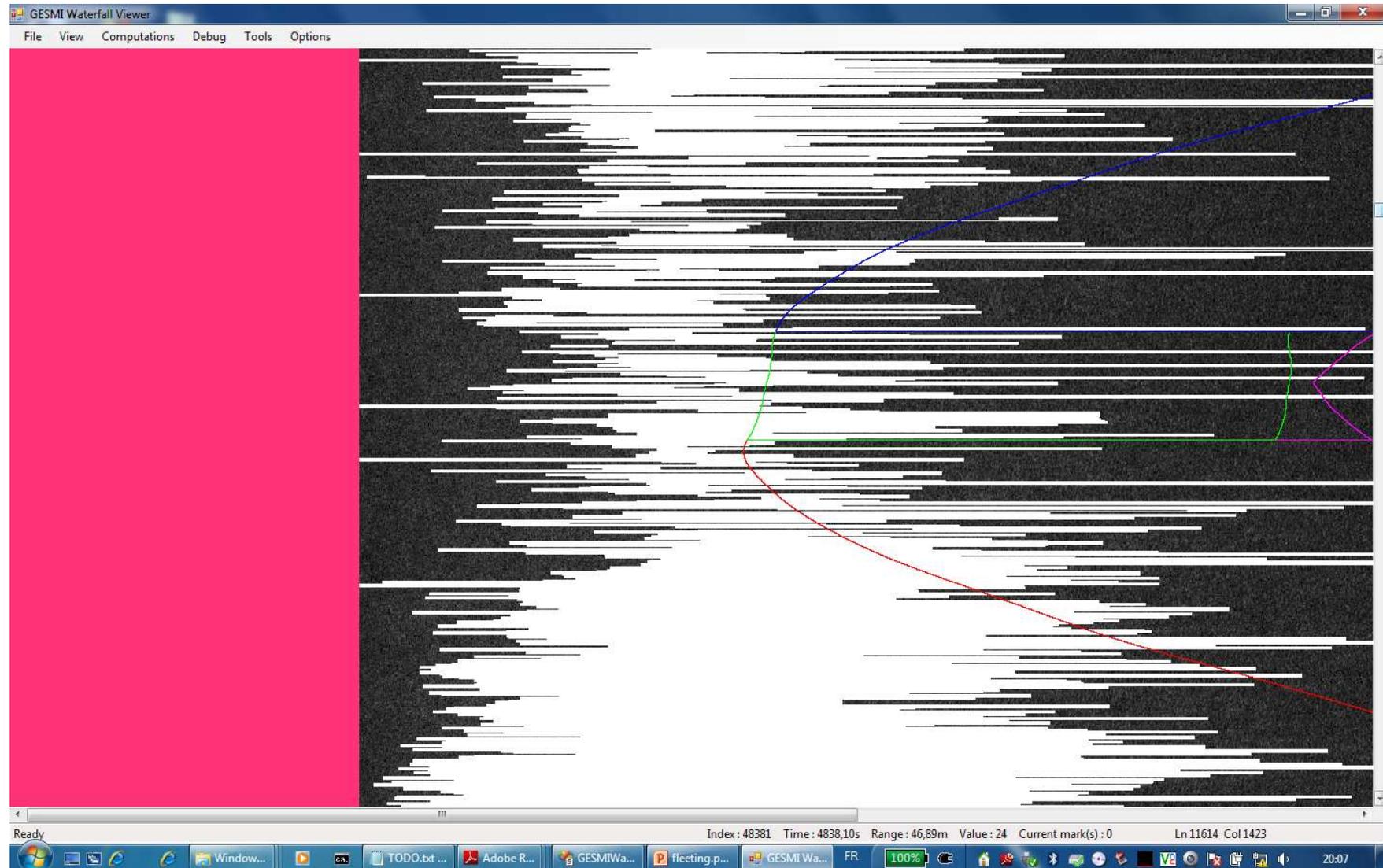


SLAM avec données fugaces



Analyse par intervalles pour la localisation et la cartographie simultanées;
Application à la robotique sous-marine

SLAM avec données fugaces



Analyse par intervalles pour la localisation et la cartographie simultanées;
Application à la robotique sous-marine

Plan



- **Introduction**
- Sous-marins et données fugaces
- Problème du SLAM
- Calcul par intervalles
- Tubes
- SLAM sous-marin et données fugaces
- Autres travaux
- Conclusion et perspectives

Plan



- Introduction
- **Sous-marins et données fugaces**
- Problème du SLAM
- Calcul par intervalles
- Tubes
- SLAM sous-marin et données fugaces
- Autres travaux
- Conclusion et perspectives

Plan



- Introduction
- Sous-marins et données fugaces
- **Problème du SLAM**
- Calcul par intervalles
- Tubes
- SLAM sous-marin et données fugaces
- Autres travaux
- Conclusion et perspectives

Plan



- Introduction
- Sous-marins et données fugaces
- Problème du SLAM
- **Calcul par intervalles**
- Tubes
- SLAM sous-marin et données fugaces
- Autres travaux
- Conclusion et perspectives

Plan



- Introduction
- Sous-marins et données fugaces
- Problème du SLAM
- Calcul par intervalles
- Tubes
- SLAM sous-marin et données fugaces
- Autres travaux
- Conclusion et perspectives

Plan



- Introduction
- Sous-marins et données fugaces
- Problème du SLAM
- Calcul par intervalles
- Tubes
- **SLAM sous-marin et données fugaces**
- Autres travaux
- Conclusion et perspectives

Plan



- Introduction
- Sous-marins et données fugaces
- Problème du SLAM
- Calcul par intervalles
- Tubes
- SLAM sous-marin et données fugaces
- **Autres travaux**
- Conclusion et perspectives

Plan



- Introduction
- Sous-marins et données fugaces
- Problème du SLAM
- Calcul par intervalles
- Tubes
- SLAM sous-marin et données fugaces
- Autres travaux
- **Conclusion et perspectives**