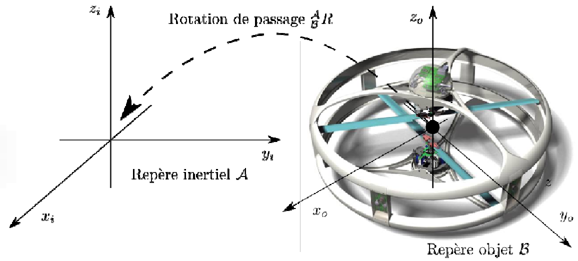
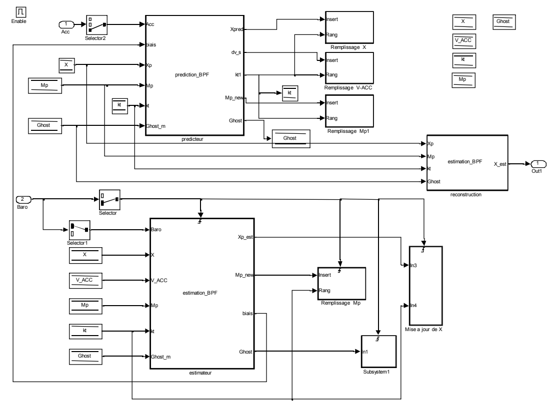
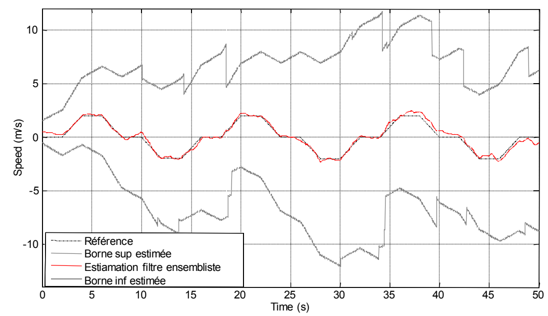
Fusion ensembliste accéléromètres-baromètre pour l'estimation de l'altitude d'un drone miniature

Sommaire

- Présentation du projet drone HORUS
- Fusion ensembliste
  - Calcul par intervalles
  - Propagation de contraintes
  - Filtrage particulaire par pavés
  - Modèle d'altitude
  - Résultats de simulation
  - Autre







Travaux développés dans le cadre du projet ANR SCUAV

Partenaires : I3S, CEA-List, INRIA Sophia, INRIA Rennes,
Bertin Technologies, HeuDiaSyC

HeuDiaSyC :
Développement d'observateurs, fusion de données

Un intervalle de réels, noté $[x]$, est défini comme étant un sous-ensemble fermé et connecté de $\mathbb{R}$.

$[0; 4]$; $\{-1\}$; $[6;+\infty[$ sont des exemples d'intervalles

$[2; 3[$; $[2; 3]\cup[4; 7]$ ne le sont pas.

Un produit cartésien de n intervalles est un pavé de $\mathbb{R}^n$

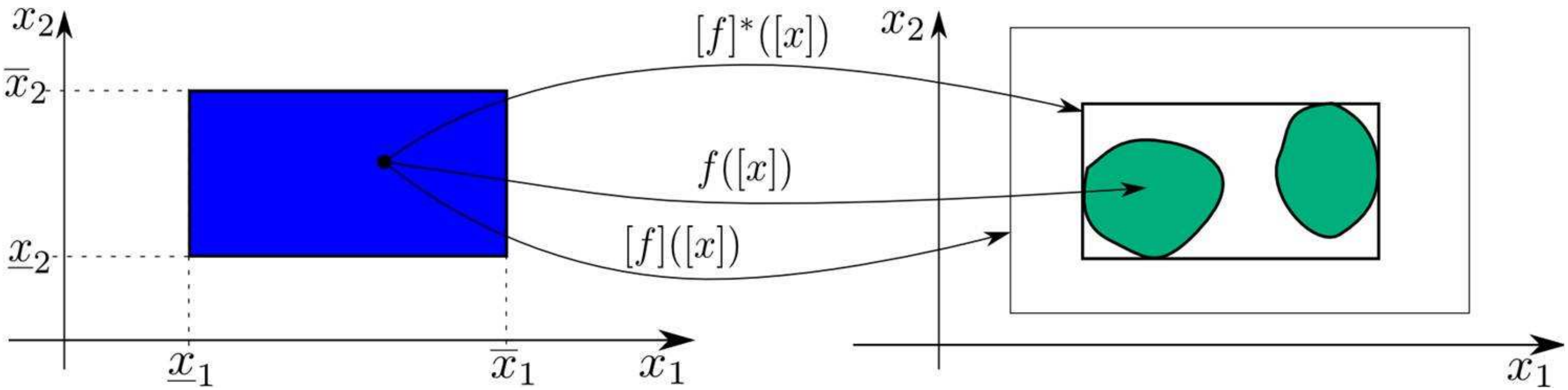
$$[\mathbf{x}] = [x_1] \times [x_2] \times [x_3] \times \ldots \times [x_n]$$

Les opérations arithmétiques sur les réels et celles entres les ensembles de $\mathbb{R}^n$ sont définies

Calcul par intervalles

Fonctions et fonctions d'inclusion

Il est possible de définir l'image $f([\mathbf{x}])$ de $[\mathbf{x}]$ par f

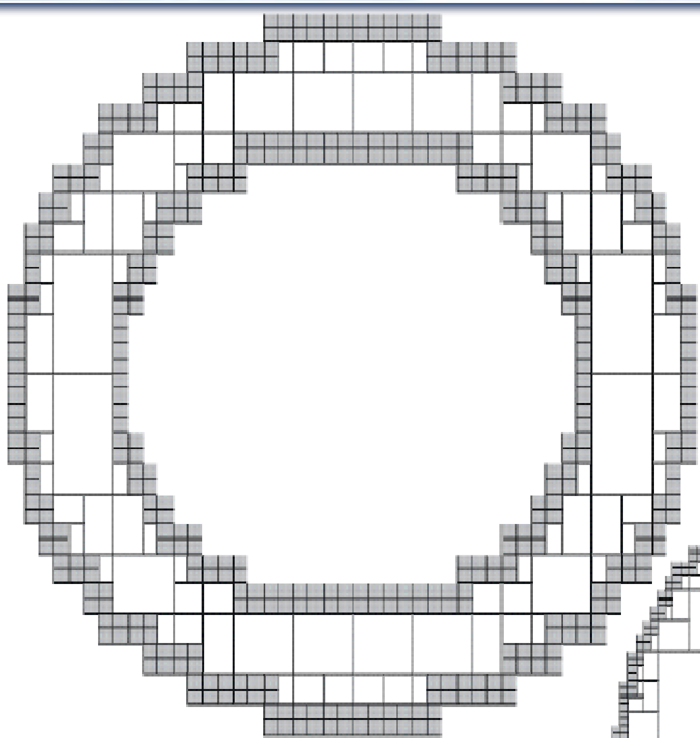


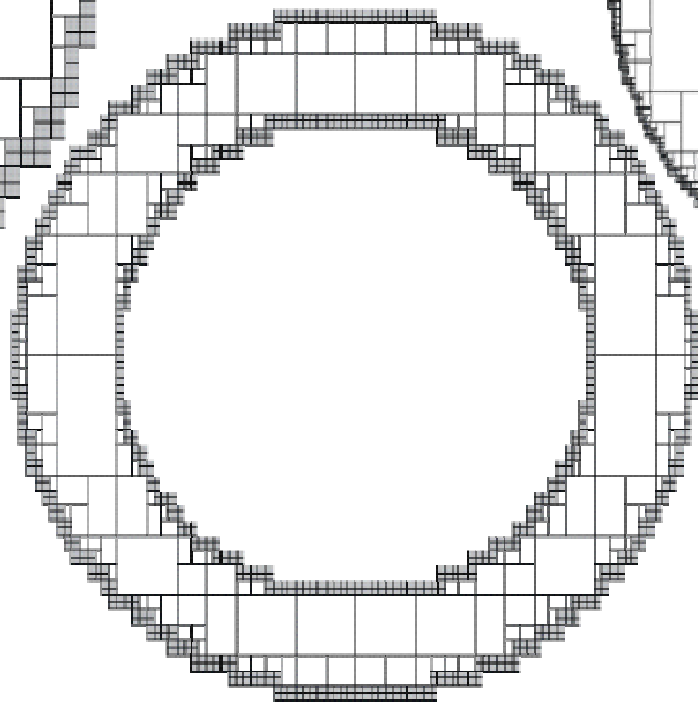
L'utilisation d'un pavé pour représenter l'ensemble des solutions introduit du pessimisme :

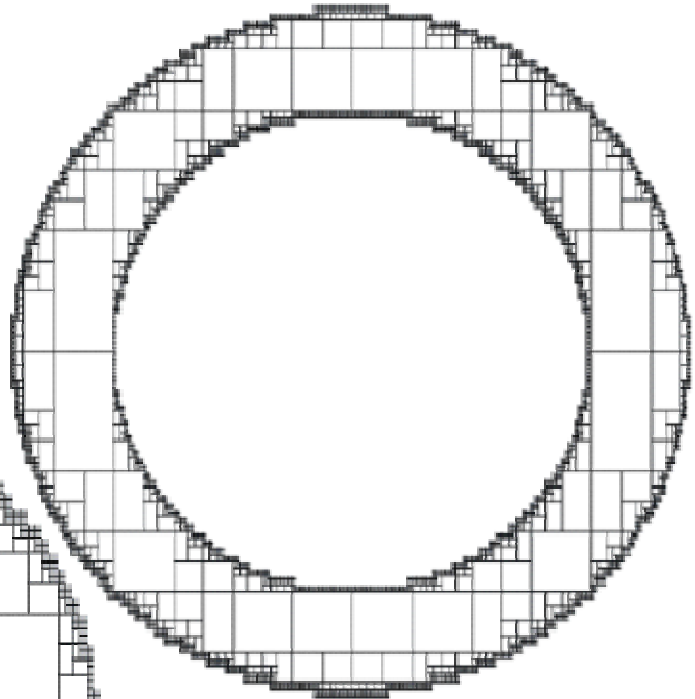
- propagation de contraintes
- bissection

Calcul par intervalles

Sous-pavage







Langage QUIMPER

Reproduction d'images tirées de « interval contractors and their applications », Luc Jaulin, école JN-MACS, mars 2009

Définition 1

Soit $\mathbb{IR}^n$ l'ensemble des intervalles de $\mathbb{R}^n$

Soit $\mathbb{X}$ l'ensemble solution recherché.

L'opérateur $\mathcal{C}_{\mathbb{X}} : \mathbb{IR}^n \to \mathbb{IR}^n$ est un contracteur pour le sous-ensemble $\mathbb{X}$ de $\mathbb{R}^n$ s'il satisfait :

$$\forall [x] \in \mathbb{IR}^n, \begin{cases} \mathcal{C}_{\mathbb{X}}([x]) \subset [x] & \text{(contractance)} \\ \mathcal{C}_{\mathbb{X}}([x]) \cap \mathbb{X} = [x] \cap \mathbb{X} & \text{(complétude)} \end{cases}$$

Définition 2 (contrainte)
Une relation f une relation liant un certain nombre de variables x_i d'un vecteur x de $\mathbb{R}^n$, sous la forme d'une équation du type

$$f(x_1; \ldots; x_n) = 0,$$

est appelée une contrainte.

Définition 3 (projection de contrainte).
Projeter une contrainte revient à calculer le plus petit intervalle $\mathbb{S}$ qui contient toutes les valeurs consistantes pour cette contrainte.

Propagation de contraintes

Exemple

$$x \in [1,5]\,,\, y \in [2,4]\,,\, z \in [6,10]$$
$$z = x+y$$

$$z = x+y \;\Rightarrow [6,10] \cap ([1,5] + [2,4]\,) = [6,10] \cap [3,9] = \boxed{[6,9]}$$
$$x = z - y \;\Rightarrow\; [1,5] \cap ([6,9] + [2,4]\,) = [1,5] \cap [2,7] \;\; = \boxed{[2,5]}$$
$$y = z - x \;\Rightarrow\; [2,4] \cap ([6,9] + [2,5]\,) = [2,4] \cap [1,7] \;\; = [2,4]$$

Définition 4

Soit un système de *m* contraintes $\mathcal{C} = \{f_1 \,; f_2 \,; \ldots; f_m\}$
liant les variables $\mathcal{V} = \{x_1 \,; x_2 \,; \ldots; x_n\}$
Domaines $\mathcal{D} = \{[x_1] \,; [x_2] \,; \ldots; [x_n]\}$.
Résoudre un CSP : partant de $\mathcal{D}$ et de $\mathcal{C}$, déterminer un domaine $\mathcal{D}'$ aussi réduit que possible qui contient l'ensemble des valeurs de $\mathcal{V}$ consistantes en respectant l'ensemble des contraintes

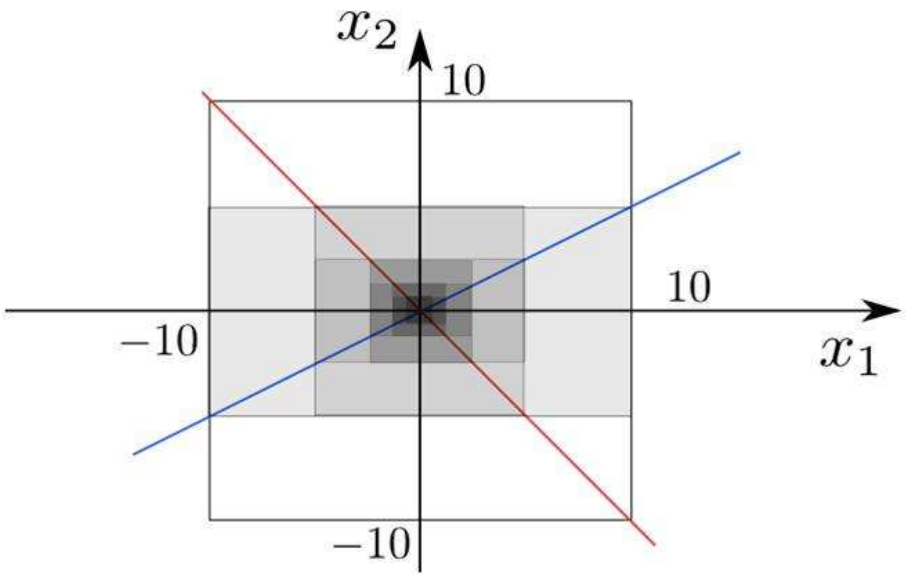
$$\mathcal{S} = \{\mathbf{x} \in [\mathbf{x}] \mid \mathbf{f}(\mathbf{x}) = 0\}$$

Il ne s'agit pas forcément d'un pavé, mais on peut s'en approcher par une collection de pavés.

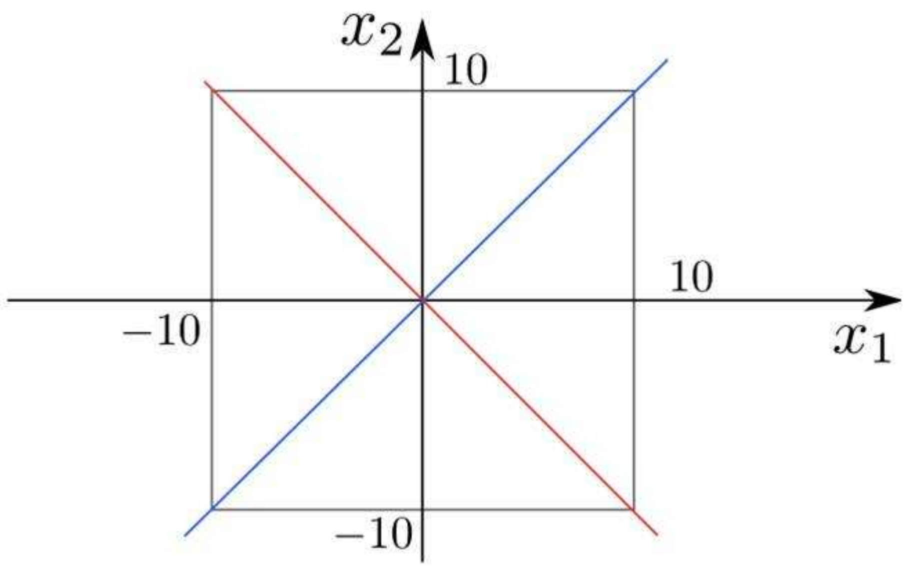
Propagation de contraintes

Consistance globale et consistance locale

$$\mathcal{H}_1 \begin{pmatrix} x_1 + x_2 = 0 \\ x_1 - 2x_2 = 0 \\ x_1 \in [10, 10] \\ x_2 \in [10, 10] \end{pmatrix} \qquad \mathcal{H}_2 \begin{pmatrix} x_1 + x_2 = 0 \\ x_1 - x_2 = 0 \\ x_1 \in [10, 10] \\ x_2 \in [10, 10] \end{pmatrix}$$



(a)



(b)

Propagation de contraintes

Contracteur de Waltz

SCUAV

- Décomposition de chaque contrainte en contraintes élémentaires binaires ou ternaires (un seul opérateur arithmétique par contrainte)

$$((((((([x] \cap \mathcal{C}_1) \cap \mathcal{C}_2) \cap \ldots) \cap \mathcal{C}_m) \cap \mathcal{C}_1) \cap \mathcal{C}_2) \ldots$$

- Intersections successives jusqu'à arrêt de la contraction

$\Rightarrow$ Contracteurs indépendants des non linéarités et localement consistants.

Soit la contrainte $z = x+\sin(y)$

$\Rightarrow$ deux contraintes : $z = x+a$

$a = \sin(y)$

a variable intermédiaire

$$
\begin{aligned}
[a] &= [a] \cap [\sin]([y]) \\
[z] &= [z] \cap ([x] + [a]) \\
&\dots
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
[x] &= [x] \cap ([z] - [a]) \\
[a] &= [a] \cap ([z] - [x]) \\
[y] &= [y] \cap [\arcsin]([a])
\end{aligned}
$$

Observateur

Filtrage particulaire

Considérons le système suivant :

$$x_{k+1} = f(x_k , u_k , v_k)$$
$$y_k = g(x_k , w_k)$$

Filtre à particules : filtre de type estimateur prédicteur utilisant des éléments ponctuels, réalisations de x_k fonction d'une génération aléatoire pour les bruits

Attribution de masses en fonction de la corrélation entre la positions prédites et l'estimée probable déduite de y_k.

Ré-échantillonnage périodique des particules

Remplacement d'un ensemble de particules ponctuelles par un pavé possédant une masse qui représente une approximation de la densité de probabilité d'avoir l'état contenu dans ce pavé.

Utilisation des fonctions naturelles pour la prédiction et l'estimation :

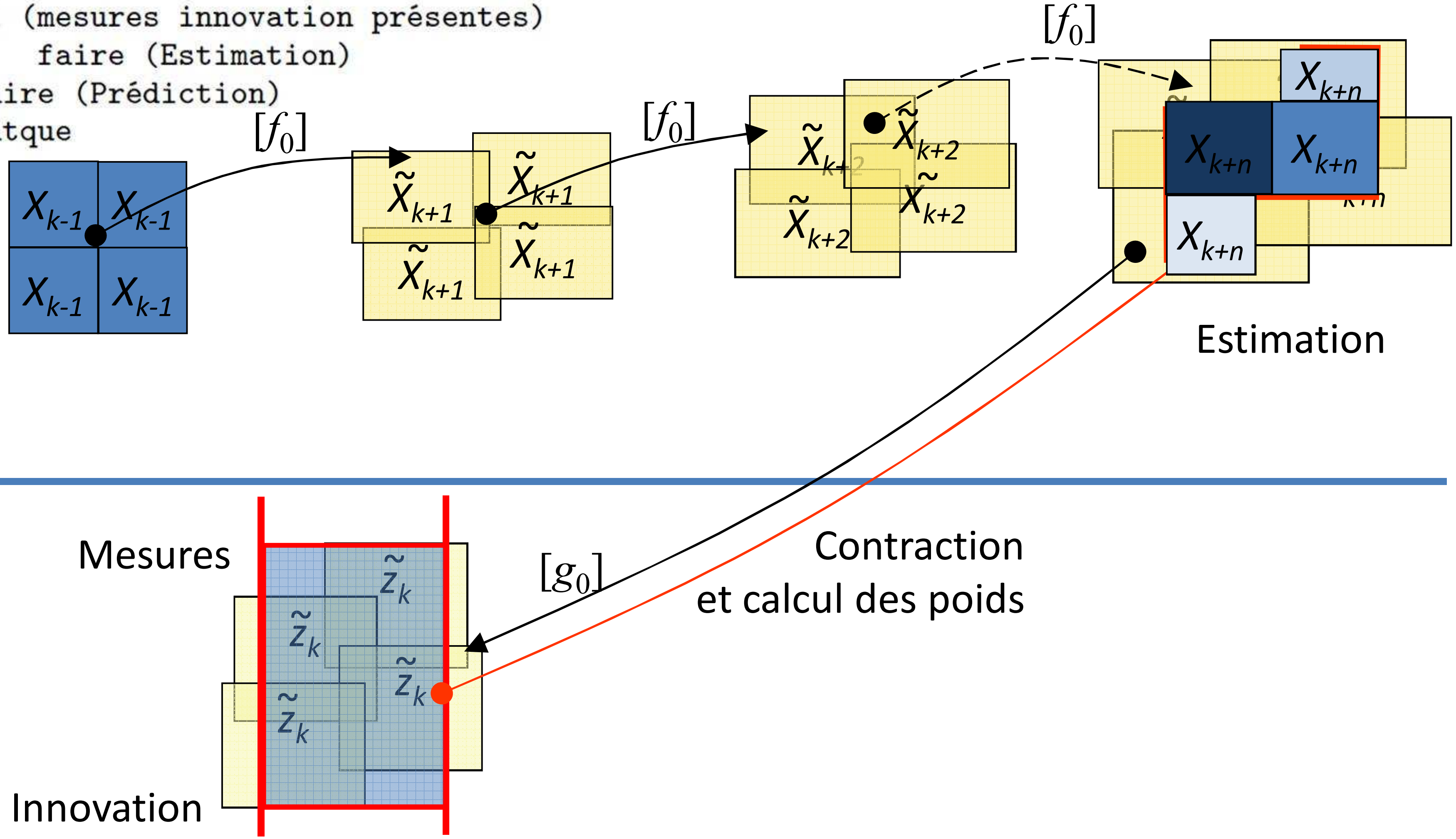
$$[f_0]\,([x_k]\,,\,[u_k])$$
$$[g_0]\,([x_k])$$

Problème : dégénérescence rapide des pavés (enveloppement)

Observateur

Principe


```
faire (initialisations)
faire tant que (nouveau pas de temps)
    Si (mesures innovation présentes)
        faire (Estimation)
    faire (Prédiction)
fintantque
```



Observateur

Prédicteur-estimateur

fonction Prédiction $([x_k]_1, [x_k]_2, [x_k]_3, \ldots [x_k]_p, [u_k], O_p)$

faire pour $i = 1 \ldots p$: $[x_{k+1}]_i = [f_0]([x_k]_i, [u_k])$

finfonction

fonction estimation $([x_k]_1, [x_k]_2, [x_k]_3, \ldots [x_k]_p, [y_k])$

faire pour chaque $[x_k]_i$ (prediction mesures) : $[z_k] = [g_0]([x_k]_i)$

faire (innovation) : $[r_k]_i = [y_k]_i \cap [z_k]_i$

faire pour $i = 1 \ldots p$ si $[r_k]_i \neq \emptyset$ (Waltz) :

$[x_k]_i^{csp} = \mathrm{CSP}([r_j]_i, [x_j]_i, [x_j]_i, [u_j], j = k - N, \ldots, k)$

faire (mise à jour masse) : $\omega_i^{csp} = \frac{\|[x_k]_i^{csp}\|}{\|[x_k]_i\|}\omega_i$

faire (repavage) : $[x_k]_i^{new} = \mathrm{repavage}([x_k]_i^{csp})$

faire pour $i = 1 \ldots p$ (propagation des masses) :

$\omega_i^{new} = \sum_{j=1}^{p} \left\| [x_k]_i^{new} \cap [x_k]_j^{csp} \right\| \omega_j^{csp}$

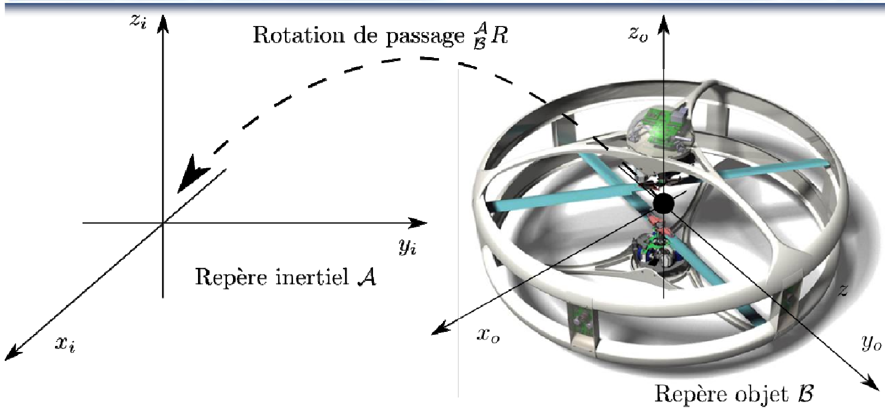
faire pour $i = 1 \ldots p$ (normalisation masses) : $\omega_i^{new} = \frac{\omega_i^{new}}{\sum_{i=1}^{p} \omega_i^{new}}$

faire (estimation) : $\hat{x}_k = \sum_{i=1}^{p} \omega_i^{new} \mathrm{centre}([x_k]_i^{new})$

finfonction

Estimation d'altitude

Modèle et contraintes



Modèle objet :

$$\dot{\gamma} = {}^{\mathcal{A}}_{\mathcal{B}}R\, a$$

$$\dot{\eta} = \gamma$$

avec $\gamma = (\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})^T$

et $\dot{\gamma} = {}^{\mathcal{A}}_{\mathcal{B}}R\, A + g_0 = u$

Modèle selon la verticale :

$$^{z}\gamma_{k+1} = {}^{z}\gamma_k + T_e\, {}^{z}u_k$$

$$z_{k+1} = z_k + T_e\, {}^{z}\gamma_k$$

$$^{z}\gamma_k = {}^{z}\gamma_{k-N} + T_e \sum_{i=1}^{N} {}^{z}u_{k-i}$$

$$z_k = z_{k-N} + N\, T_e\, {}^{z}\gamma_k - T_e^2 \sum_{i=1}^{N} (N - i + 1)\, {}^{z}u_{k-i}$$

Contraintes : $z_k = z_{k-N} + N\, T_e\, {}^{z}\gamma_{k-N} + T_e^2 \sum_{i=1}^{N} (i - 1)\, {}^{z}u_{k-i}$

Résultats de simulation

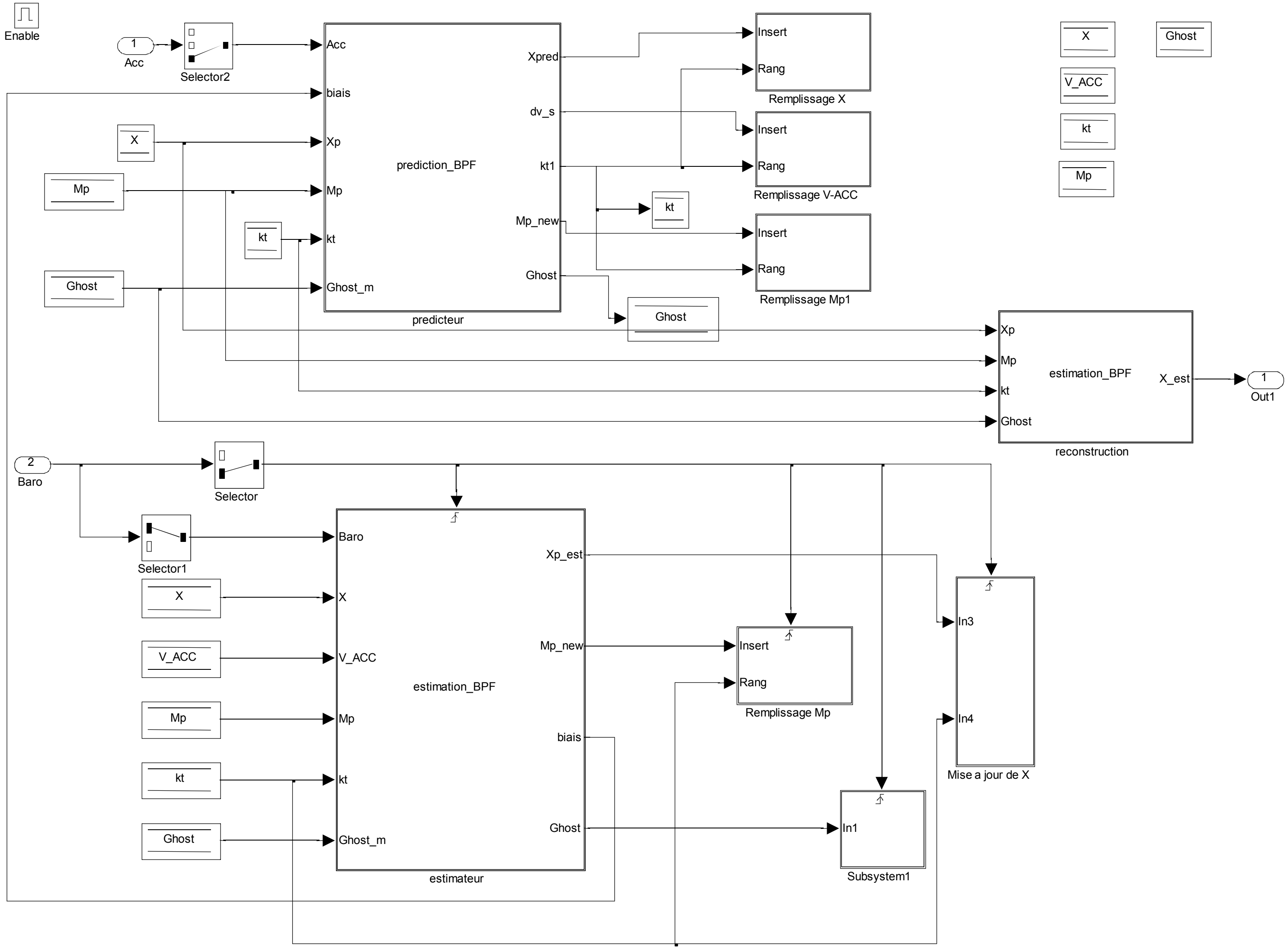
Banc de test reproduit

SCUAV

- Borne d’erreur pour les mesures des accéléromètres ± 1 m/s²
- Borne d’erreur pour les mesures du baromètre ± 2 m
- Nombre de pas d’échantillonnage entre les innovations : 16

Résultats de simulation

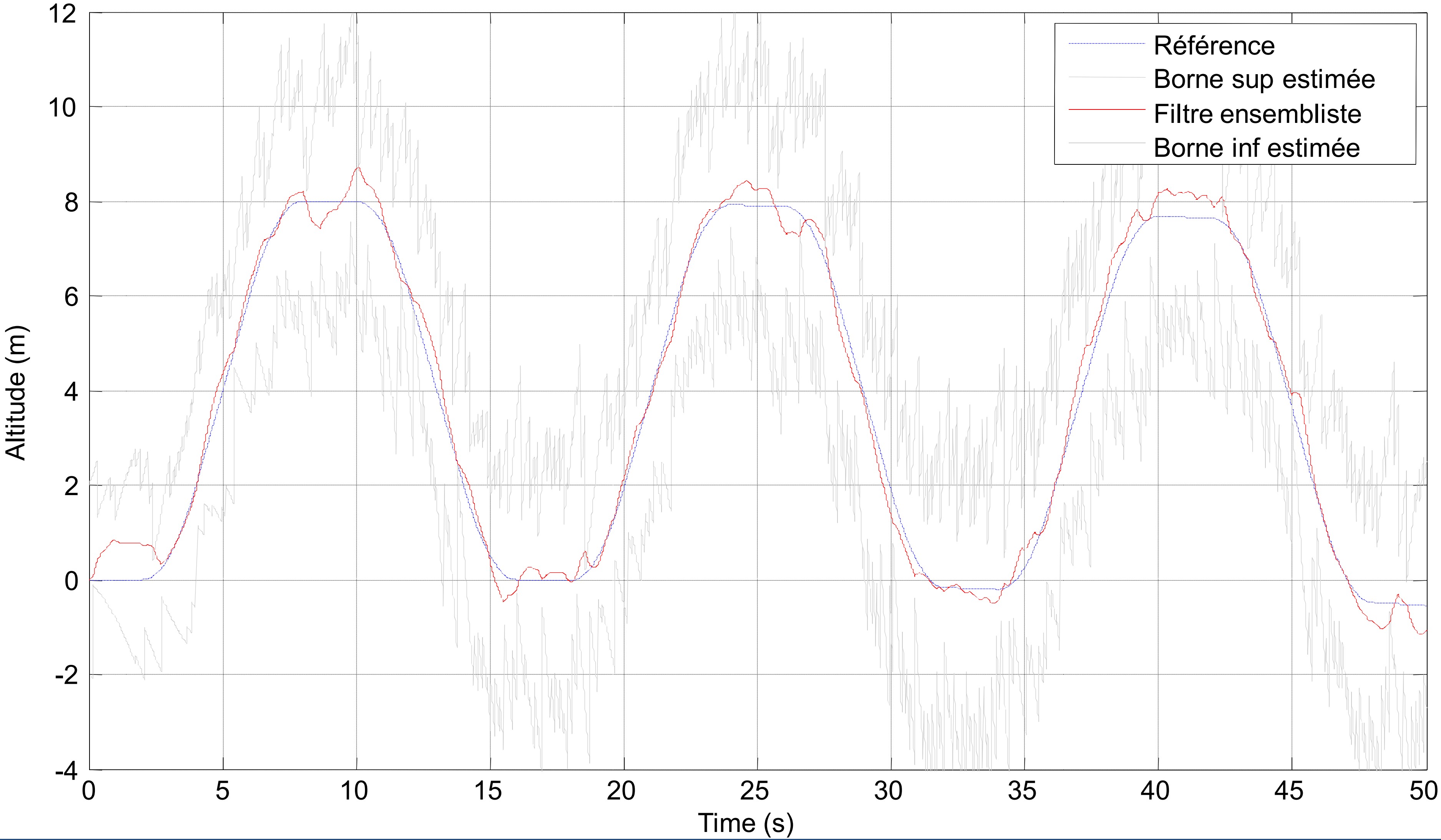
Schéma de simulation



Résultats de simulation

Estimation de la position

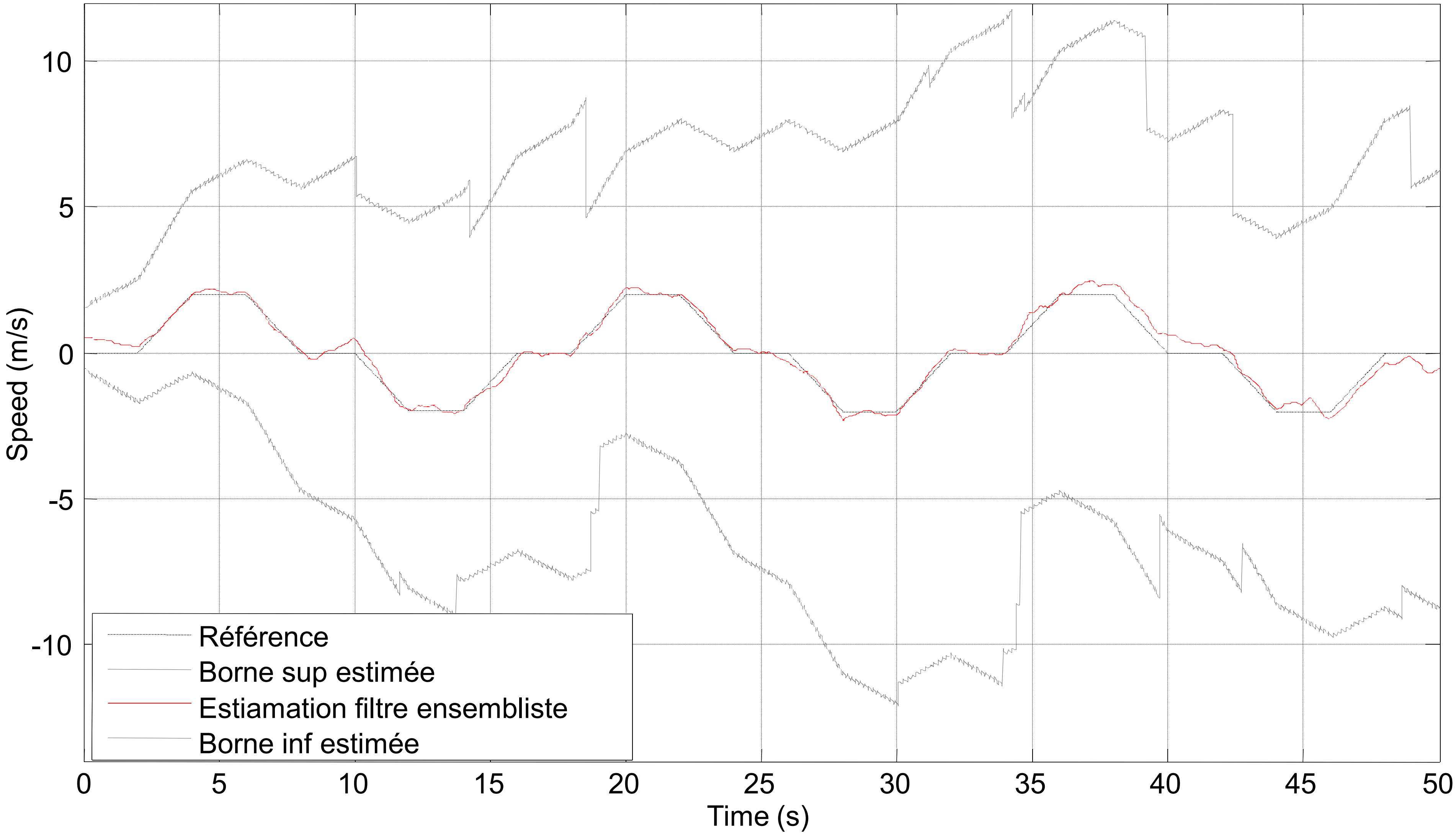
SCUAV



Résultats de simulation

Estimation de la vitesse

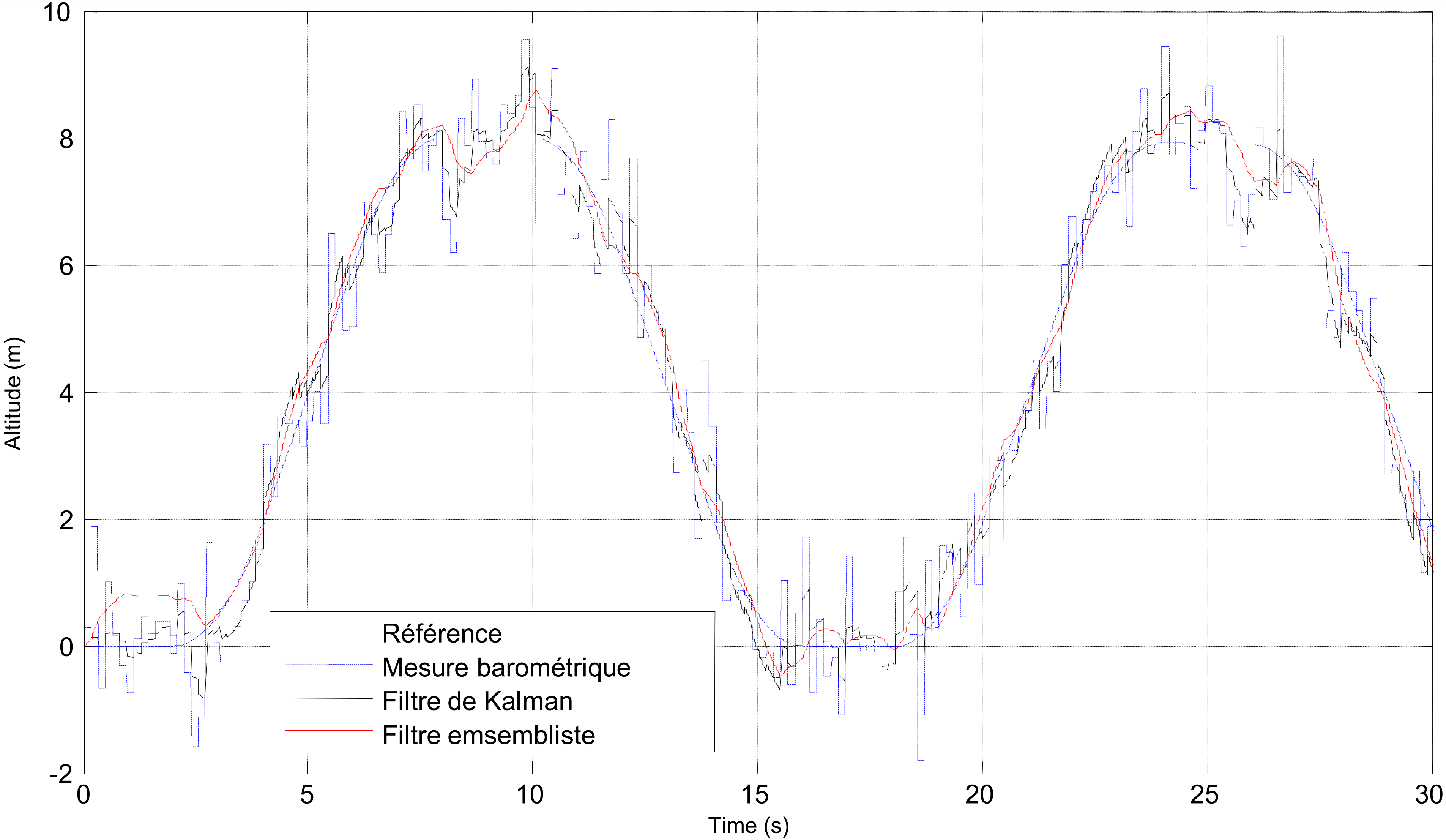
SCUAV



Résultats de simulation

Comparaison position

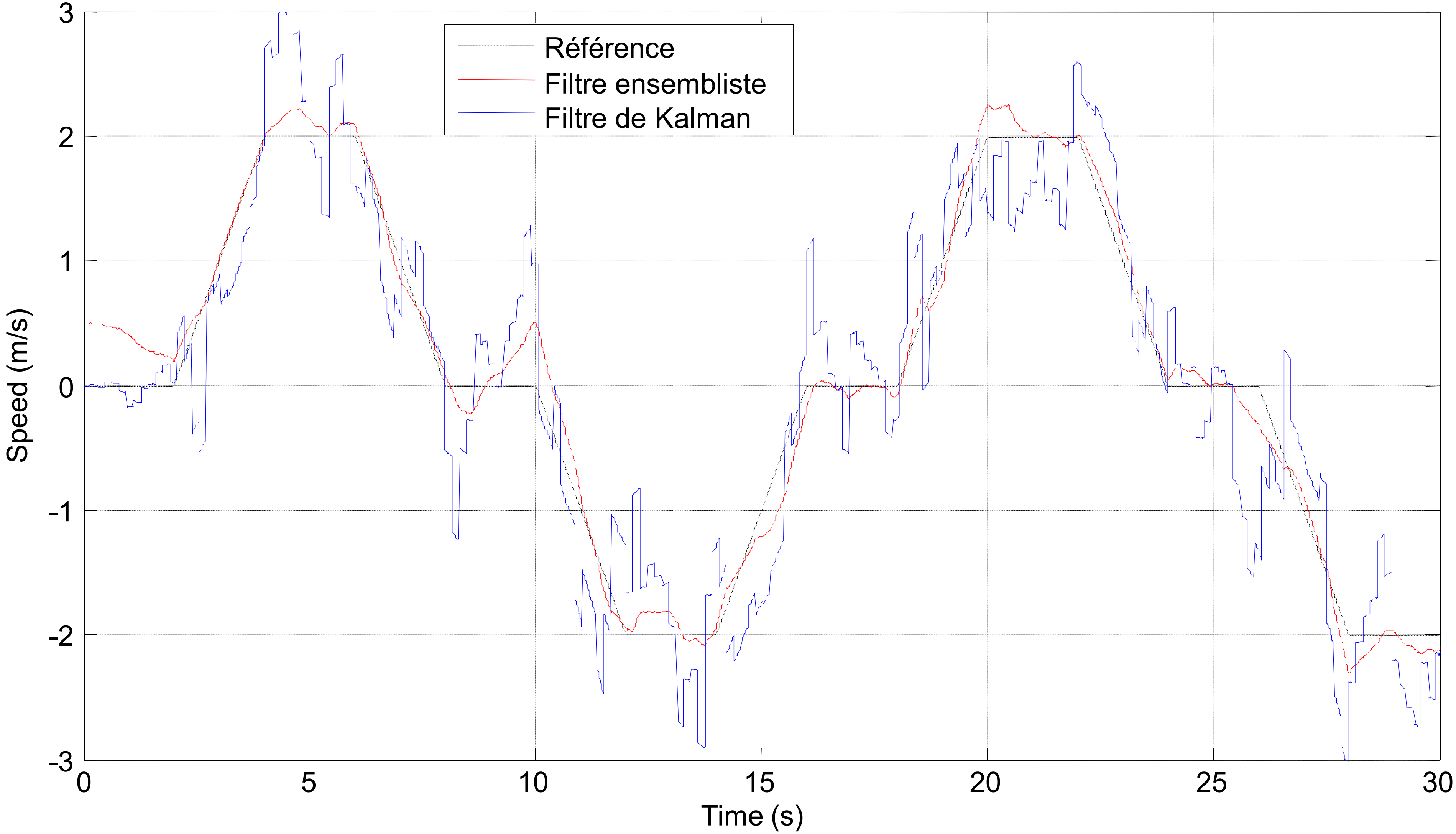
SCUAV



Résultats de simulation

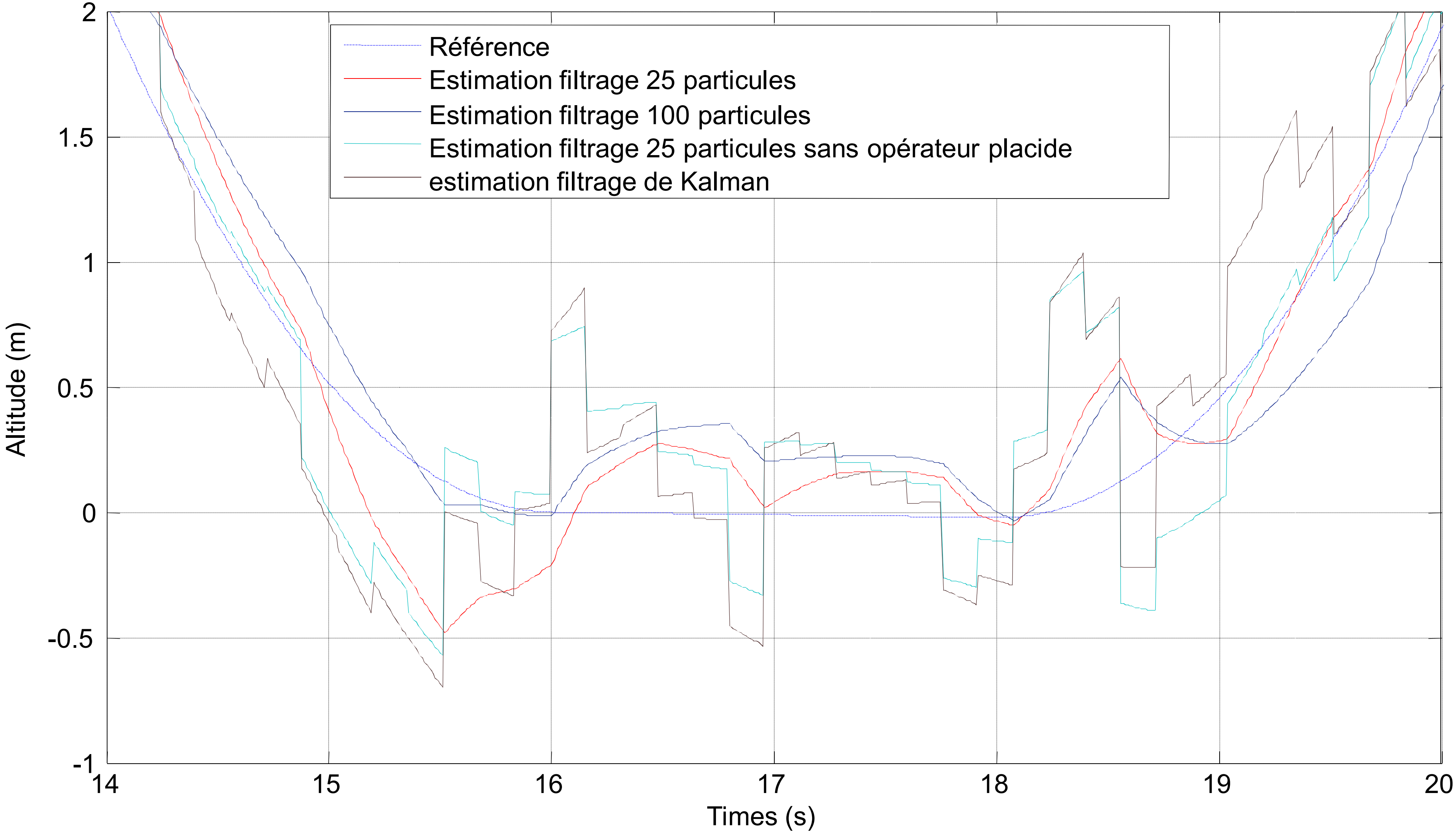
Comparaison vitesse

SCUAV



Résultats de simulation

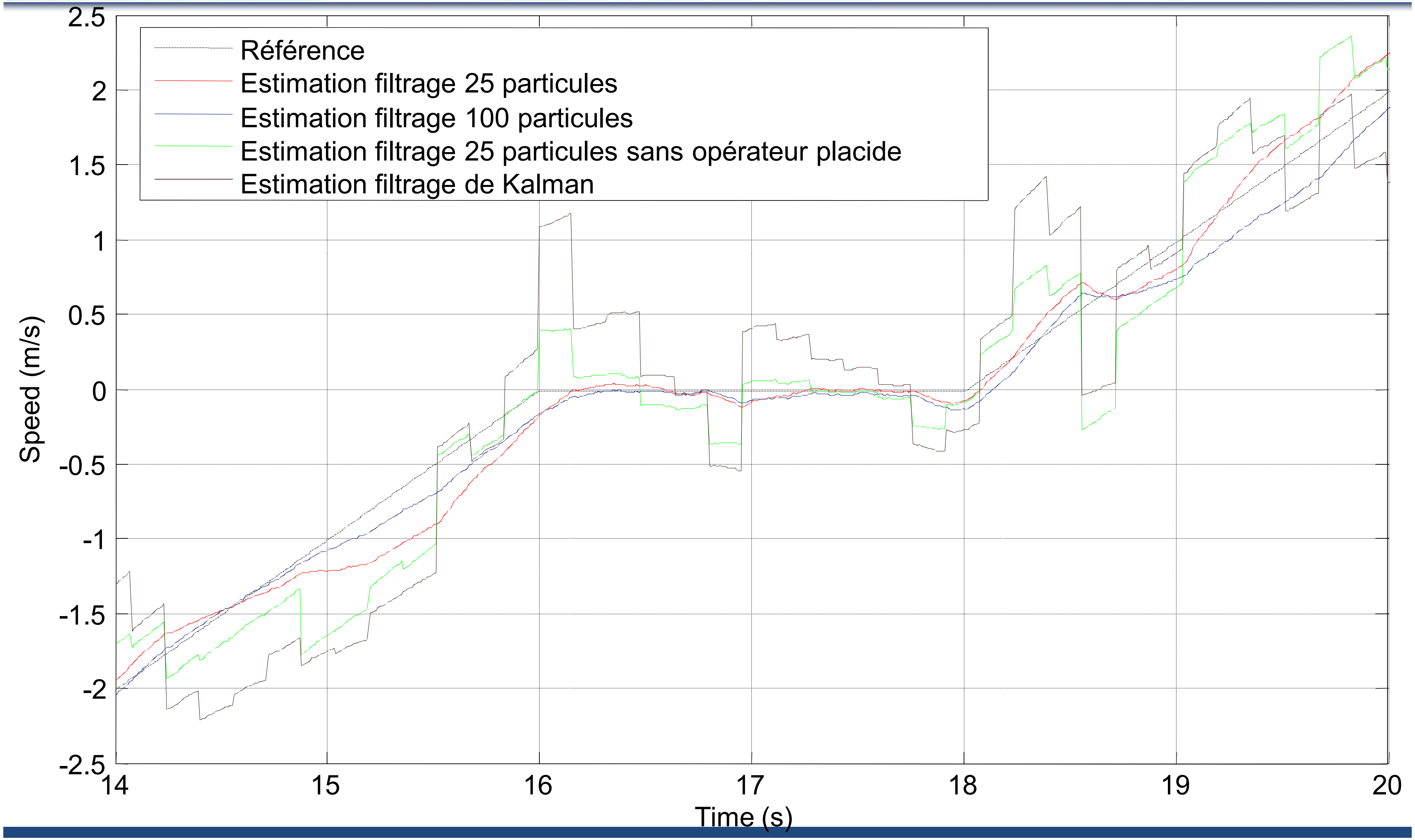
Zoom position



Résultats de simulation

SCUAV

Zoom Vitesse



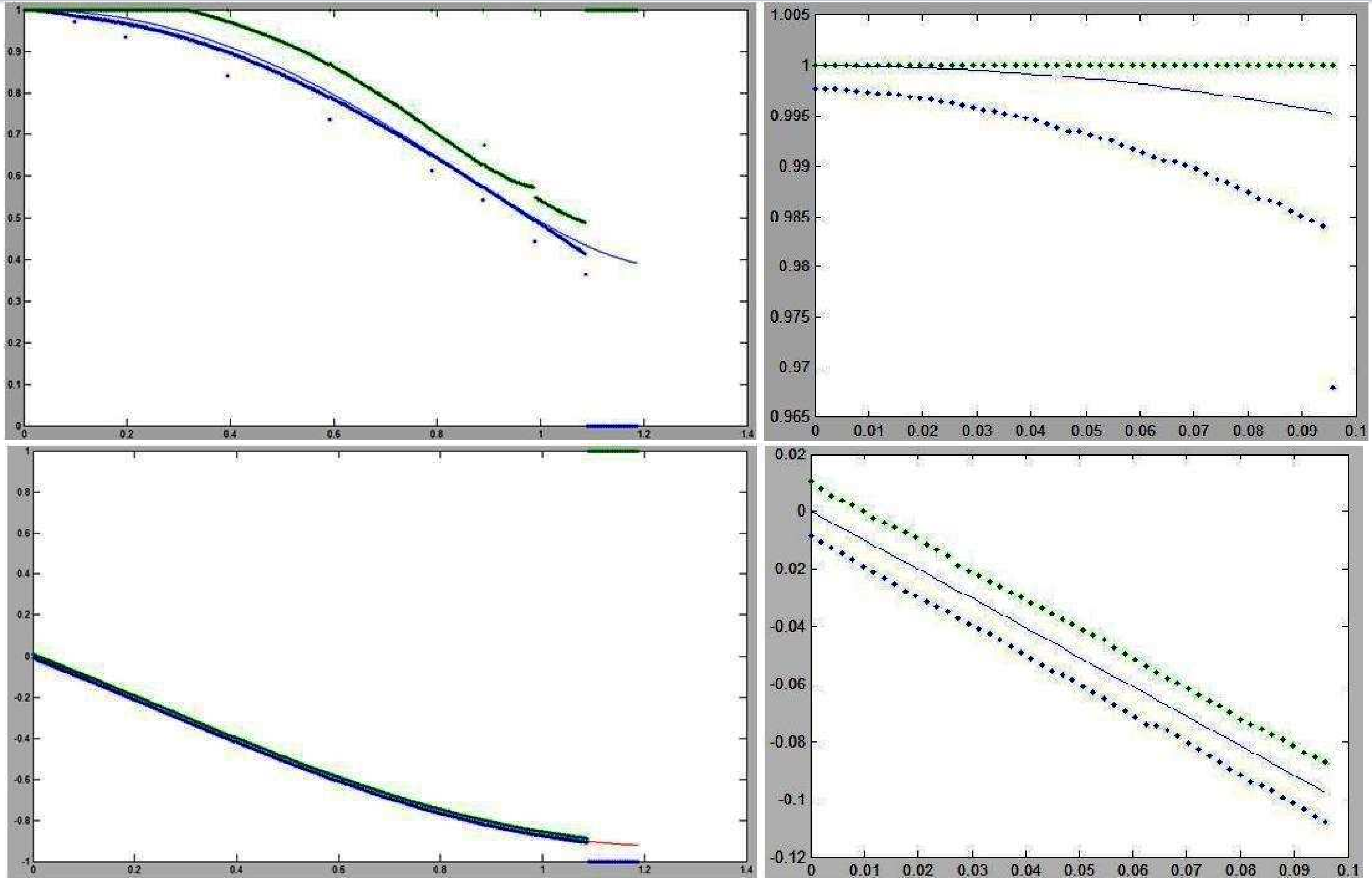
Autres

Attitude

SCUAV

cos tangage

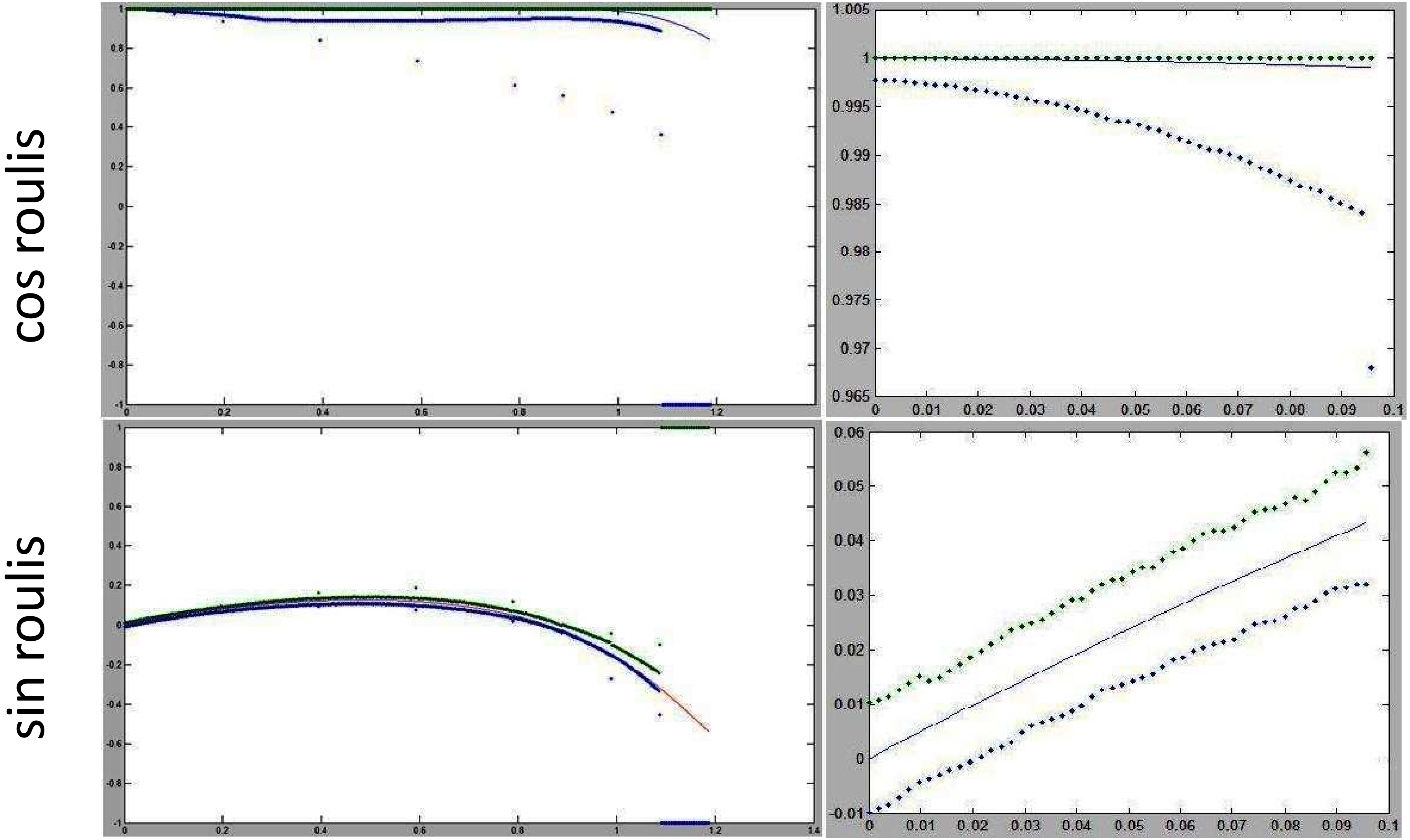
sin tangage



Autres

Attitude

SCUAV



utc Université de Technologie Compiègne

HEUDIASYC

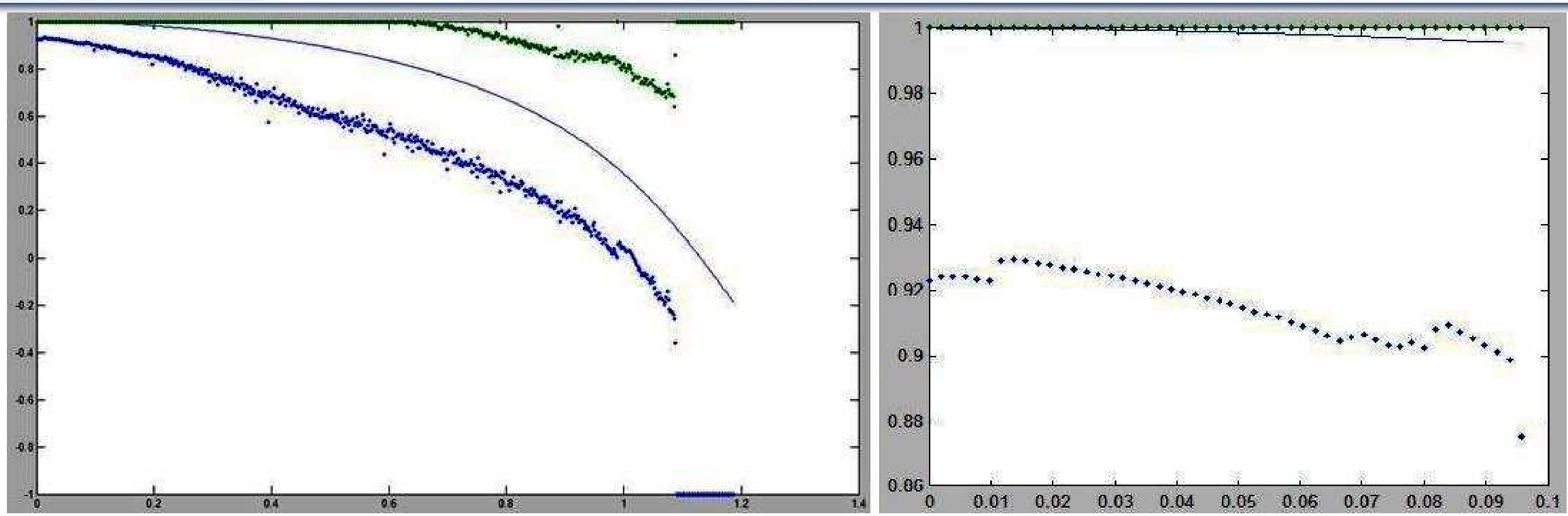
CNRS

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE ANR

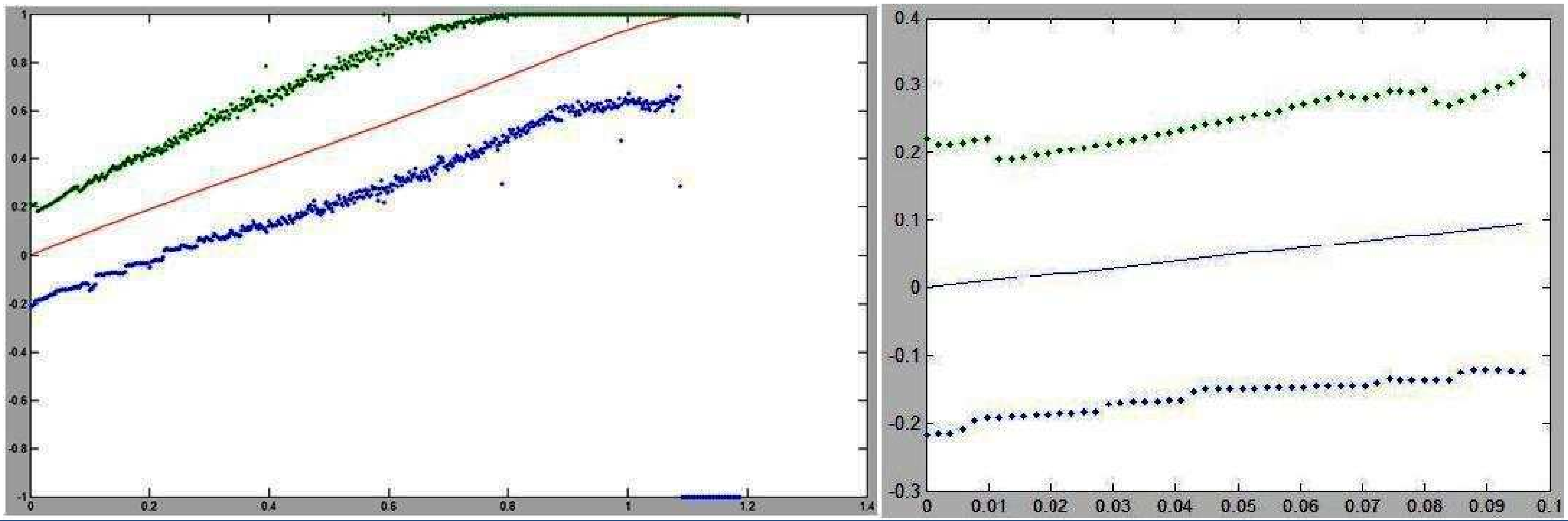
Autres

Attitude

cos lacet



sin lacet



Questions