

ROB312 - NAVIGATION POUR LES SYSTÈMES AUTONOMES

---

## **TP 4 Filtrage Particulière**

---

12 janvier 2020

Gabriel Henrique Riqueti

ENSTA IP Paris

## Structure du code

Le code peut être structuré comme dans la Figure 1. On voit que le schéma est linéaire sauf par la boucle de simulation. On repère que le code permet la répétabilité avec la graine fixe de génération de nombres pseudo-aléatoires, l'inactivation de plot à chaque pas de temps et la différentiation entre le bruit de mesure réelle, une nouvelle mesure est disponible à chaque pas de temps et le bruit de mesure considéré par le filtre cependant il n'y a que le bruit de la dynamique du filtre comme paramètre.

Le paramètres sont les suivants :

Nombre de particules : 3000

$$\text{Estimé initial : } \hat{X} = \begin{bmatrix} 230000 \\ 9000 \\ 1000 \\ 150\pi/180 \end{bmatrix}$$

$$\text{Matrice de covariance initiale : } \hat{P} = \begin{bmatrix} 5000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 20\pi/180 \end{bmatrix}^2$$

$$\text{Matrice de covariance de bruit de la dynamique : } \hat{Q}_f = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,18/\pi \end{bmatrix}^2$$

$$\text{Matrice de covariance de bruit de la mesure du filtre : } \hat{R}_f = \begin{bmatrix} 20 \end{bmatrix}^2$$

$$\text{Matrice de covariance de bruit de la mesure du réelle : } \hat{R} = \begin{bmatrix} 20 \end{bmatrix}^2$$

Seuil de ré-échantillonnage : 0,5.

Temps de simulation : 80 s.

## Fonctionnement du Filtre Particulièr

Le fonctionnement du filtre particulière a suivi les transparents du cours. Pour la création des états réels et des mesures, j'ai utilisé les matrices précédentes. Ce choix assume comme hypothèse que le modèle du système estime correctement le bruits du système. Pour les valeurs par défaut du code `FiltrageParticulaire_terrainNavigation.m`, on obtient la trajectoire (Figure 2) et les estimations des états (Figura 3).

On voit que le filtre ne réussit pas à poursuivre la trajectoire non linéaire du avion. Les erreurs causent le filtre estimer les paramètres de  $x$ ,  $y$  et  $\theta$  par les maximums locaux et non le maximum global. Ce problème est plus important quand l'avion se situe dans un dont plusieurs dérivées directionnelles proches de  $z$  par rapport  $(x,y)$  ont le même valeur de la dérivée de  $z$  dans la direction qui l'avion a suivi et entre ces directions il y a de dérivées directionnelles de  $z$  par rapport  $(x,y)$  qui sont très différentes de la dérivée de  $z$  dans la direction qui l'avion a suivi. Ça correspond à par exemple la situation que le filtre anticipe que l'avion passe sur une région plus haute mais il y a une vallée entre ce chemin estimé et le chemin réel.

## Variation du bruit de la dynamique du filtre $Q_f$

D'abord, je signale que comme on n'utilise qu'une matrice de covariance du bruit de la dynamique, cette imposition cache le fait que cette matrice du filtre est toujours égale à la matrice réelle. Alors quand on change la perception de l'incertitude du filtre de la dynamique, on change au même temps la dynamique du système. J'ai simulé trois fois pour une valeur plus grande d'un terme de  $Q_f$  dans la diagonale principale. Note qu'on n'a pas simulé pour différentes valeurs du terme de  $Q_f$  de  $y$  en raison de la similarité avec le terme de  $x$ .

D'après les résultats de la simulation avec le terme  $x$  de la diagonale de  $Q_f$  augmenté (Figures 4 et 5), le filtre réussit à estimer les états du avion dedans l'incertitude de

trois écarts. Cette résultat est provoqué par une changement de valeurs d'états qui engendre le filtre à estimer le maximum global au lieu des maximums locaux comme avant.

On note aussi une augmentation de l'incertitude sur les états  $x$ ,  $y$  et  $\theta$ . On peut comprendre ce phénomène par le fait que ces états ne sont pas mesurer comme le  $z$ , ils sont estimés d'un façon très lié par les fonctions trigonométriques.

Selon les résultats de la simulation avec le terme  $z$  de la diagonale principale de la matrice de bruit de la dynamique augmenté, le filtre particulière estime bien les états du système toujours dedans l'incertitude de trois écarts. Cette résultat peut être expliquée de la même façon que dans le cas précédent.

Ce fois, l'incertitude des tous les états accroît grâce au fait que la correction de ces états est réalisé avec juste la mesure de  $z$  qui est l'état avec bruit de la dynamique augmenté.

D'après les Figures 8 et 9, on voit que quand même les états estimés sont toujours dedans l'incertitude de trois écarts, l'erreur de position est supérieur à 5 km. Il s'agit que l'incertitude sur la variable  $\theta$  est plus important que l'incertitude de  $x$  et  $y$  en raison du lien trigonométrique entre  $x$ ,  $y$  et  $\theta$ .

## Variation du bruit de mesure du filtre $R_f$

Au lieu d'utiliser la même matrice de bruit de mesure réelle  $R$  et estimé  $R_f$ , on implémente deux matrices différentes. Ainsi, quand on change la matrice  $R_f$ , on change la certitude du filtre sur ce mesure, mais l'incertitude de la mesure réelle continue la même.

Dans cette section, on va modifier la valeur de la matrice de bruit de mesure du filtre de  $20^2$  pour  $100^2$  et  $100^2$ .

Dans les Figures 10 et 11, on voit l'usage par le filtre d'un bruit de mesure plus petit que la valeur réelle provoque des estimations très mauvaises d'états et un erreur de position supérieur à 11 km.

Je constate aussi que l'écart de particules de mesures est très faible et cependant l'erreur

est énorme, l'incertitude de trois écarts est très petite.

Dans les Figures [12](#) et [13](#), on voit autre situation : l'écart des particules est considérable, l'erreur de position est supérieur à 8 km et l'erreur est toujours dedans l'incertitude de trois écarts (pour quelques valeurs de  $\theta$ , il semble être dehors l'intervalle d'incertitude mais c'est à cause que le code exige que l'état réelle de  $\theta$  soit toujours entre  $-\pi$  et  $\pi$ ).

On aperçoit dans ce cas que le modèle pourra atteindre des estimation meilleurs s'il fasse confiance au mesures obtenues des particules.

## Variance du nombre des particules

Afin d'étudier l'influence de la variation du nombre des particules dans la performance du filtre, on a simulé le code pour deux valeurs différentes : la première (300 particules) dix fois plus petite que la valeur par défaut et la deuxième (30000 particules) dix fois plus grande que la valeur par défaut de 3000 particules. Les résultats sont montrés dans les Figures de [14](#) à [17](#).

D'après ces Figures, on voit que un nombre plus important de particules contribue avec la performance du filtre. Lorsque le filtre avec 300 particules diverge du état réelle qui est dehors de l'incertitude de trois écarts et obtient une erreur finale de plus grande que 21 km, le filtre avec 30000 particules estime les états dedans l'incertitude de trois écarts et atteint une erreur finale plus petite que 300 m.

De plus, on constate que la différences entre les incertitudes est négligeable à cause qu'on n'a changé que le nombre de particules. L'incertitude du filtre n'a pas été adapté pour chaque cas.

Finalement, on remarque une discontinuité de la valeur de  $\theta$  dans le cas avec 300 particules. On peut explique ce phénomène avec le fait que les états estimés par le filtre était déjà dehors de l'incertitude de trois écarts et probablement dans ce points la voisinage des états réelles est trop différente de la voisinage des états réelles par rapport les voisnages

immédiatement précédentes engendrant des erreurs de *theta* trop grandes.

## Variance du seuil de ré-échantillonage

D'abord, on voudrait expliquer la fonction de l'étape de ré-échantillonage. Cette étape a pour but adapter la distance des particules utilisées dans les mesures du état estimé par le filtre. Alors, un petit seuil provoque des particules éloignées que sont rarement ré-échantillonnées lorsqu'un grand seuil provoque des particules très proches de régions plus probables du filtre. Avec ce principe compris, on peut évaluer les résultats des nouvelles simulations (Figures 18 à 21) avec un seuil de ré-échantillonage de 0, 0,5 et 1.

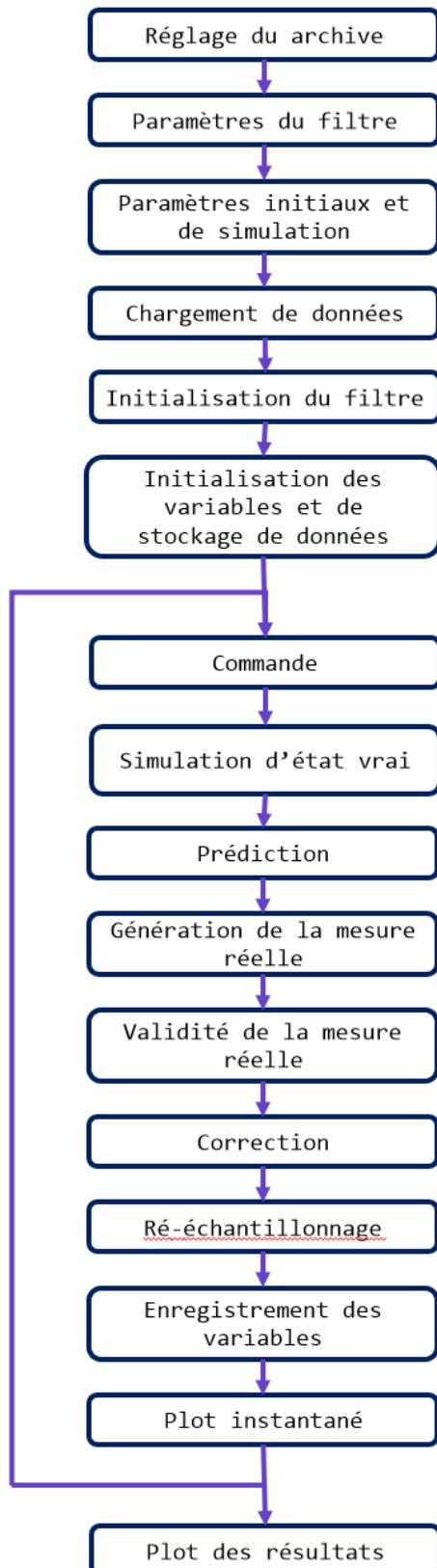
Selon ces résultats, on constate que la position des particules est d'accord la position aspirée, et que dans les trois cas les valeurs estimées par le filtre est dehors l'incertitude de trois écarts. On peut comprendre qu'un écart de 0 ça veut dire que la particule peut être dans n'importe où, alors on a beaucoup de points peu représentatifs, points dans les régions de faible probabilité. Comme les particules sont mal exploitées, le filtre estime mal les états.

## Trou de mesures de 25 s

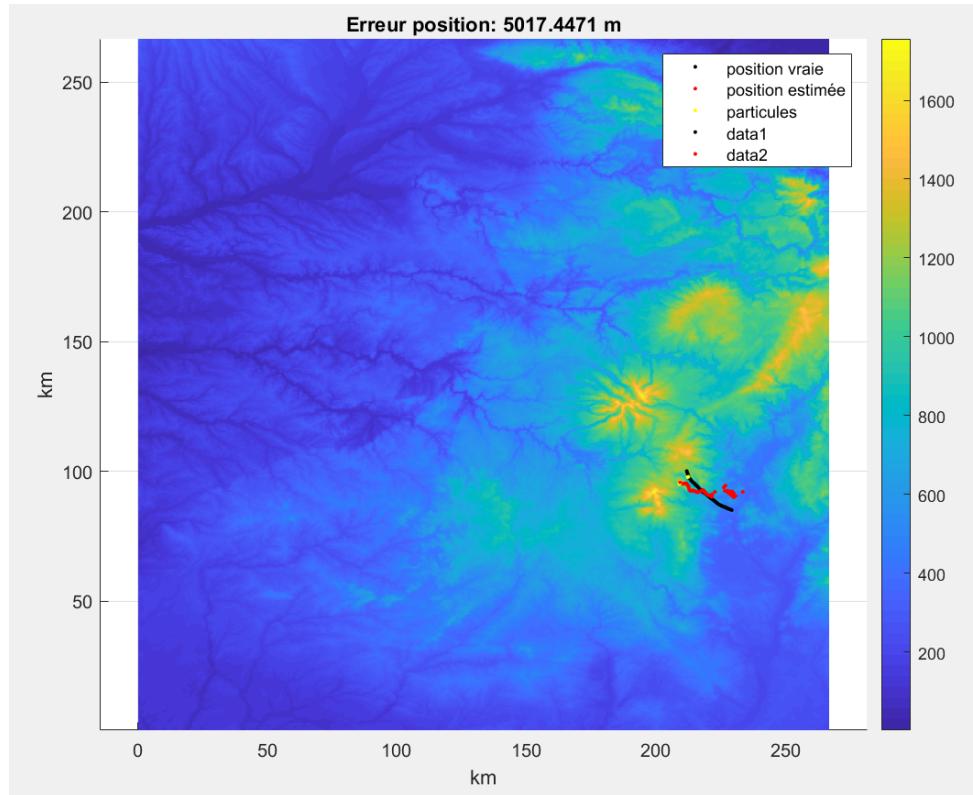
Dans les Figures 22 et 23, on fait de simulations du filtre avec un trou de mesures entre 50 et 75 s. En regardant ces images, on constate que le filtre fonctionne bien, que les états estimés sauf l'altitude sont toujours dedans l'intervalle de trois écarts et que l'erreur finale est petite. De plus on signale que l'incertitude pendant le trou de mesures augmente au cours du temps et contrairement au espérée ce trou aide la estimation du filtre en raison de que dans le cas sans le filtre, les mesures de particules dans provoquent le filtre à estimer des valeurs d'états de façon faux en raison probablement de que l'avion était dans un point telle que plusieurs dérivées directionnelles de z par rapport (x,y) ont la même valeur de la dérivé de z dans la direction que l'avion a suivi.

## Fréquence de mesures de 0,1 Hz

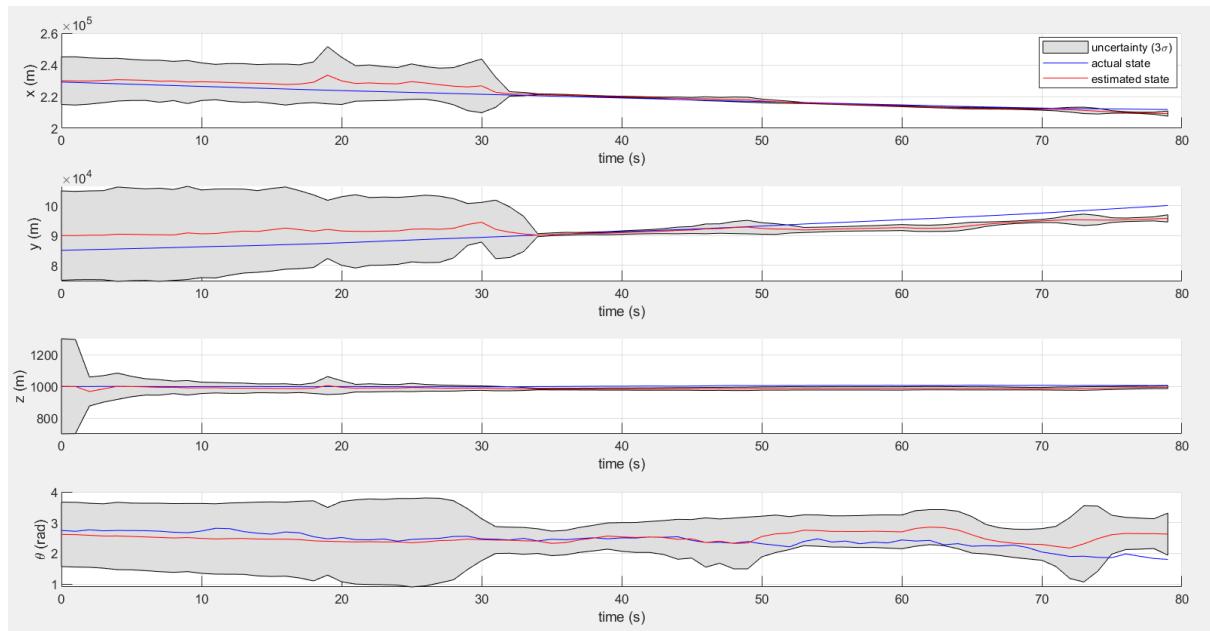
Dans les Figures 24 et 25 on a les résultats des simulations du filtre avec une fréquence de mesures de 0,1 Hz au cours du temps. On constate que l'incertitude augmente au cours du temps, que l'erreur finale n'est pas très petite, toutefois les valeurs estimées sont toujours dedans l'intervalle d'incertitude de trois écarts. En plus, on peut comprendre ces intervalles de mesures comme des trous de mesures. Cette plus grande incertitude aide le filtre grâce à haute difficulté de estimer les états À partir de l'altitude du terrain qui est assez complexe.



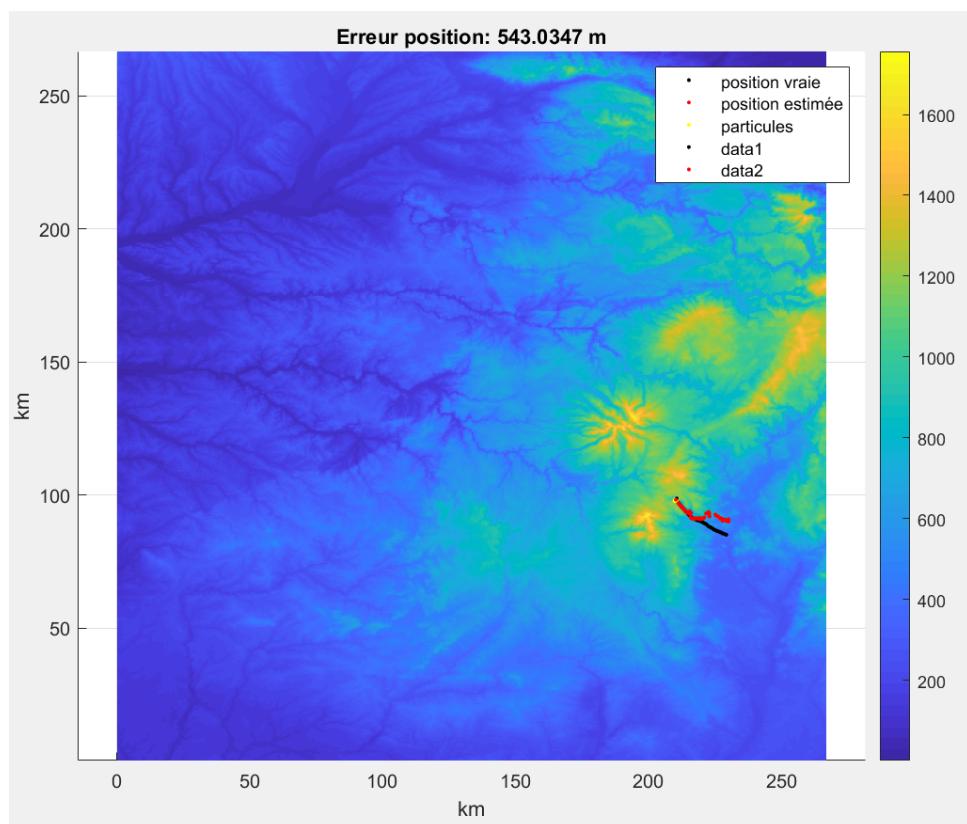
**FIGURE 1:** Schéma structurelle du code `FiltrageParticulaire_terrainNavigation.m`.



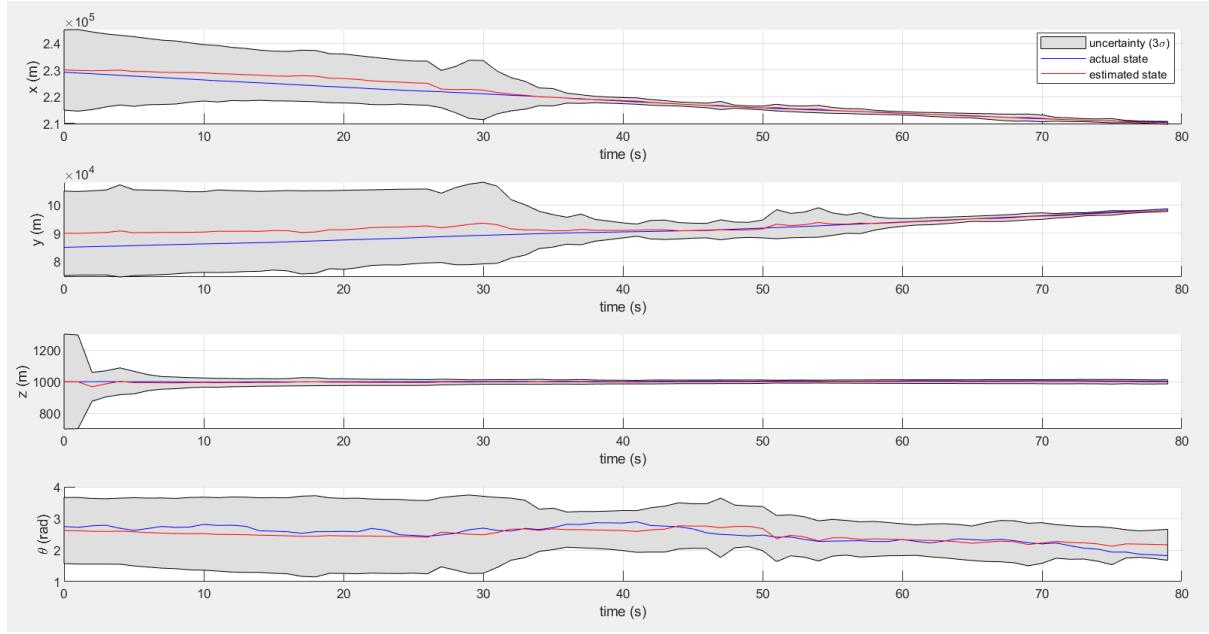
**FIGURE 2:** Trajectoire réelle (noire) et estimée (rouge) par un filtre particulièr. Axe vertical est le x, axe horizontal est le y et la couleur est l'altitude.



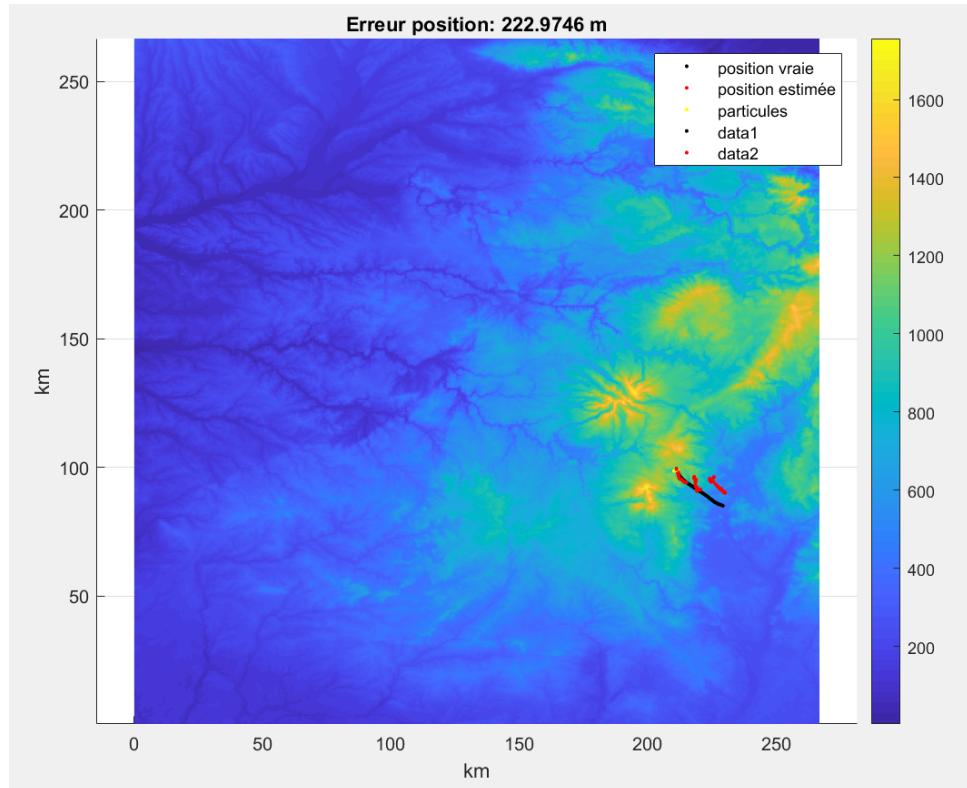
**FIGURE 3:** Estimation d'états par le filtre particulièr au cours du temps.



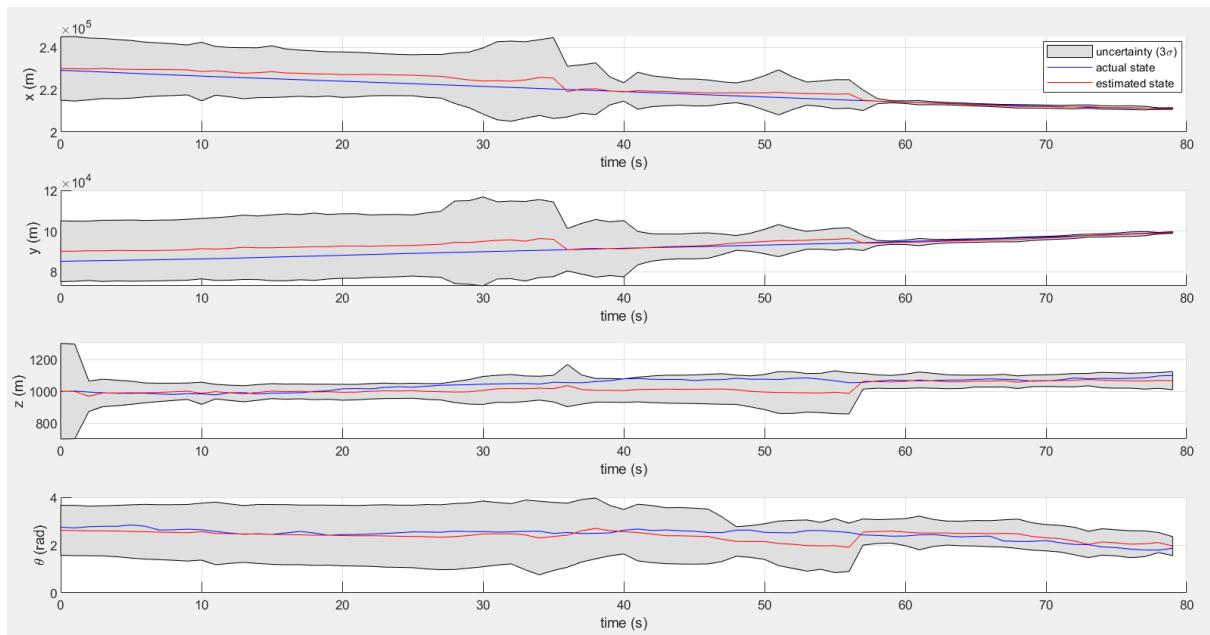
**FIGURE 4:** Trajectoire réelle (noire) et estimée (rouge) par un filtre particulaire avec le terme dans l'axe x de la diagonale principale de la matrice de bruit de la dynamique multiplié par 100. Axe vertical est le x, axe horizontal est le y et la couleur est l'altitude.



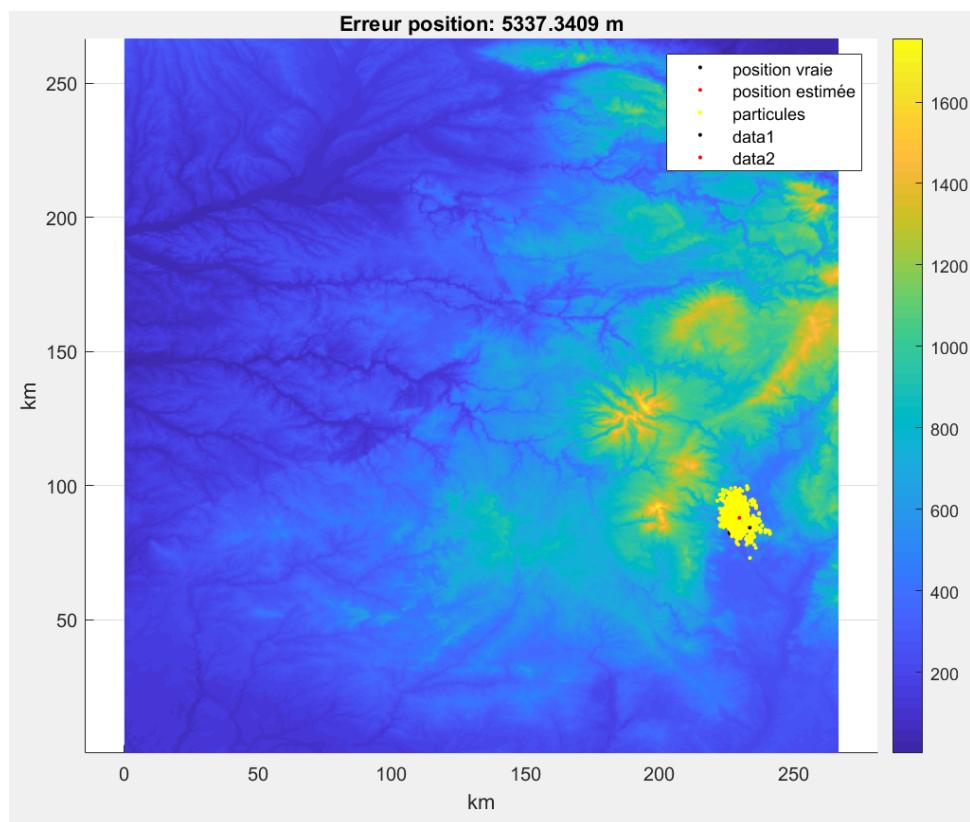
**FIGURE 5:** Estimation d'états par le filtre particulière avec le terme dans l'axe x de la diagonale principale de la matrice de bruit de la dynamique multiplié par 100 au cours du temps.



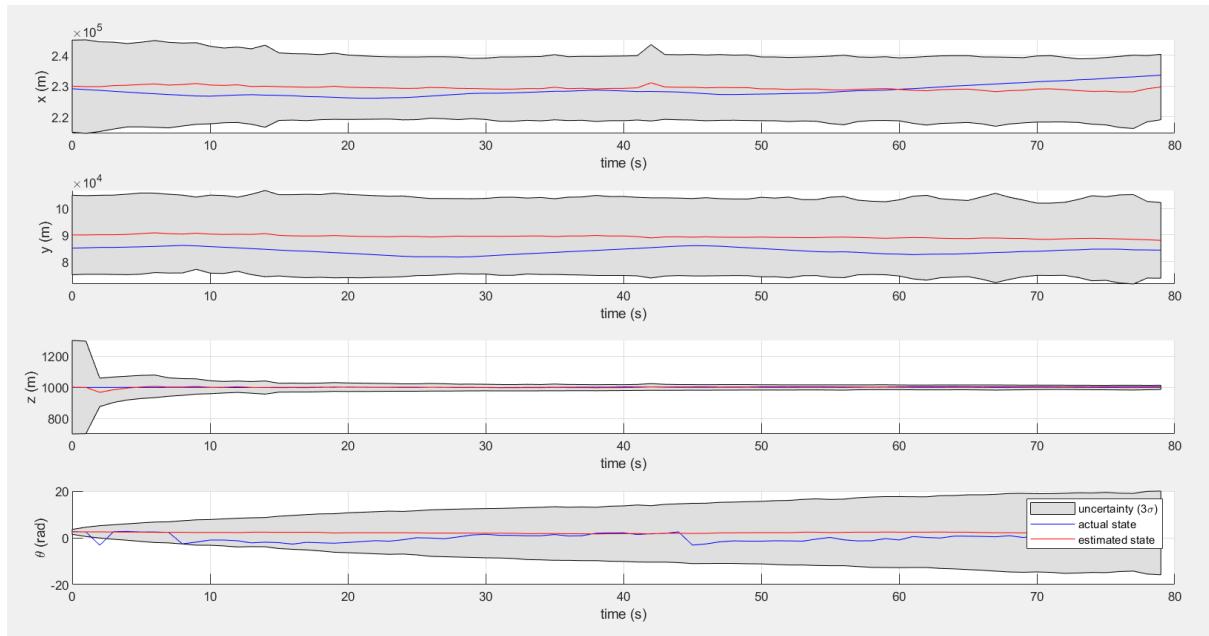
**FIGURE 6:** Trajectoire réelle (noire) et estimée (rouge) par un filtre particulière avec le terme dans l'axe z de la diagonale principale de la matrice de bruit de la dynamique multiplié par 100. Axe vertical est le x, axe horizontal est le y et la couleur est l'altitude.



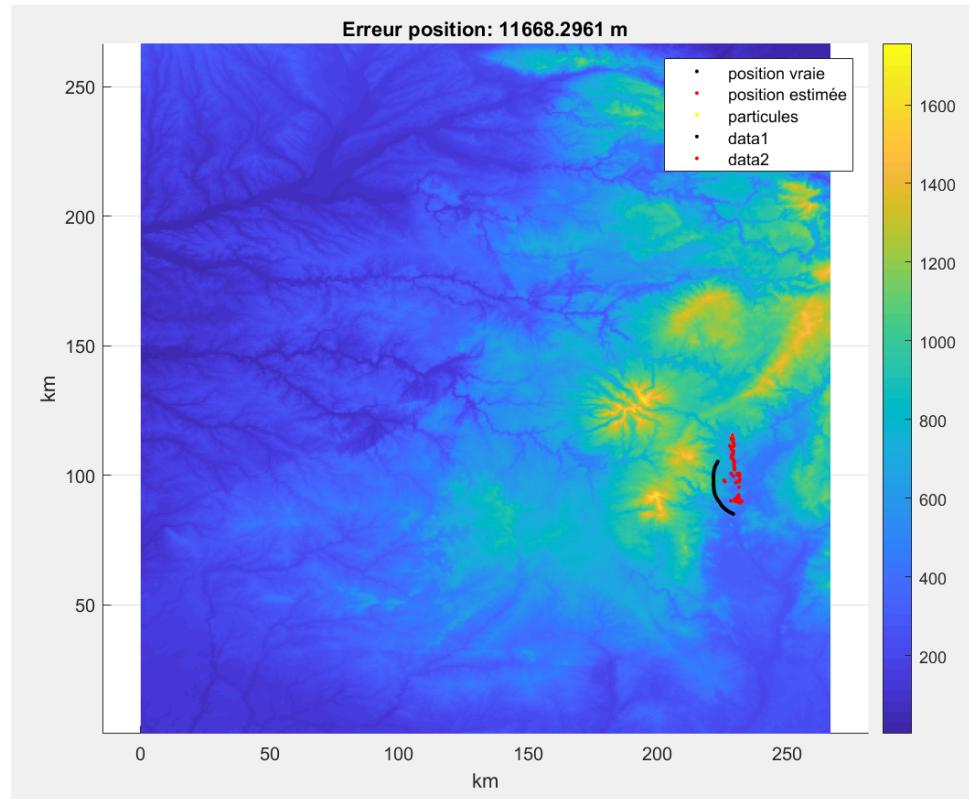
**FIGURE 7:** Estimation d'états par le filtre particulière avec le terme dans l'axe z de la diagonale principale de la matrice de bruit de la dynamique multiplié par 100 au cours du temps.



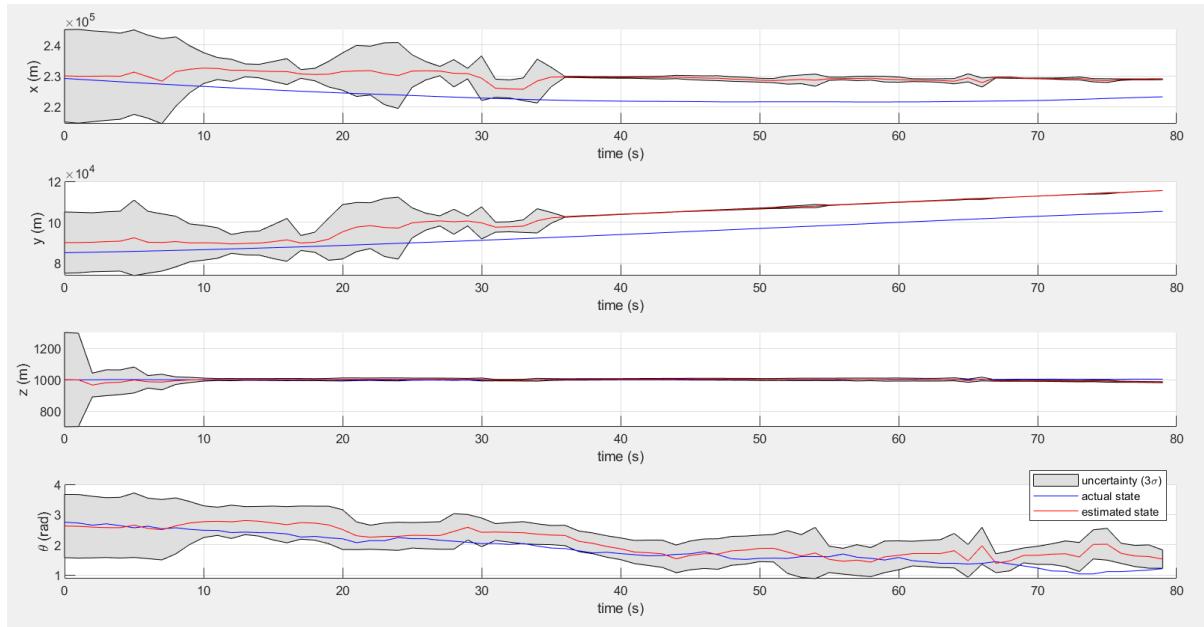
**FIGURE 8:** Trajectoire réelle (noire) et estimée (rouge) par un filtre particulière avec le terme dans l'axe  $\theta$  de la diagonale principale de la matrice de bruit de la dynamique multiplié par 100. Axe vertical est le x, axe horizontal est le y et la couleur est l'altitude.



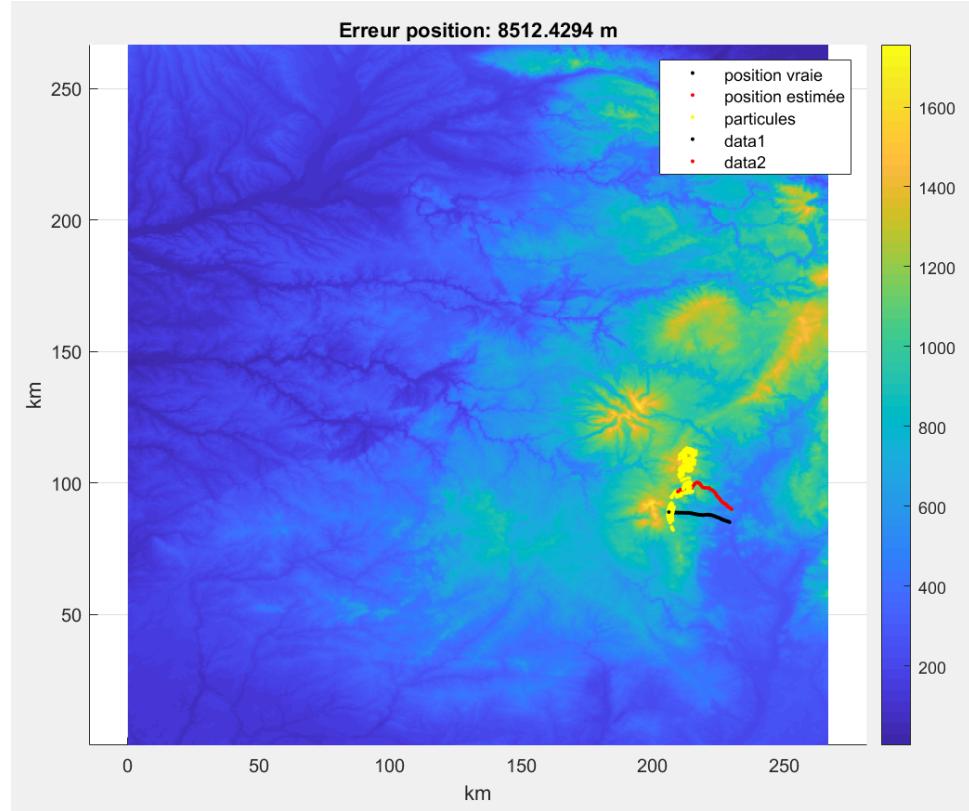
**FIGURE 9:** Estimation d'états par le filtre particulière avec le terme dans l'axe  $\theta$  de la diagonale principale de la matrice de bruit de la dynamique multiplié par 100 au cours du temps.



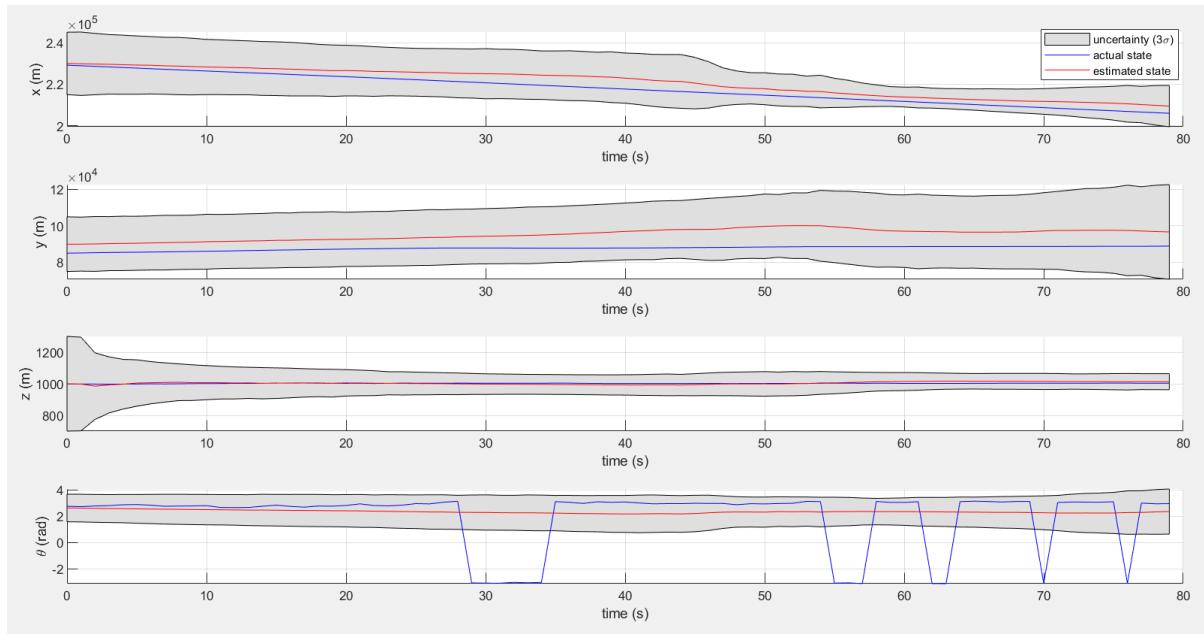
**FIGURE 10:** Trajectoire réelle (noire) et estimée (rouge) par un filtre particulière avec le bruit de mesure multiplié par 0,25. Axe vertical est le x, axe horizontal est le y et la couleur est l'altitude.



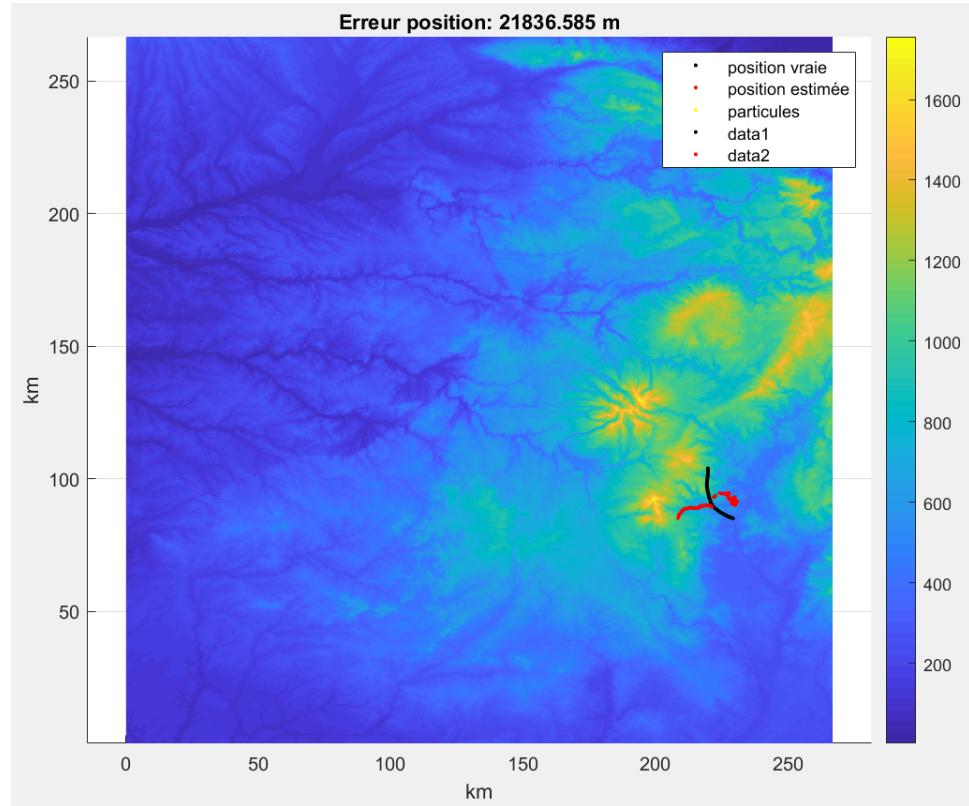
**FIGURE 11:** Estimation d'états par le filtre particulière avec le bruit de mesure multiplié par 0,25 au cours du temps.



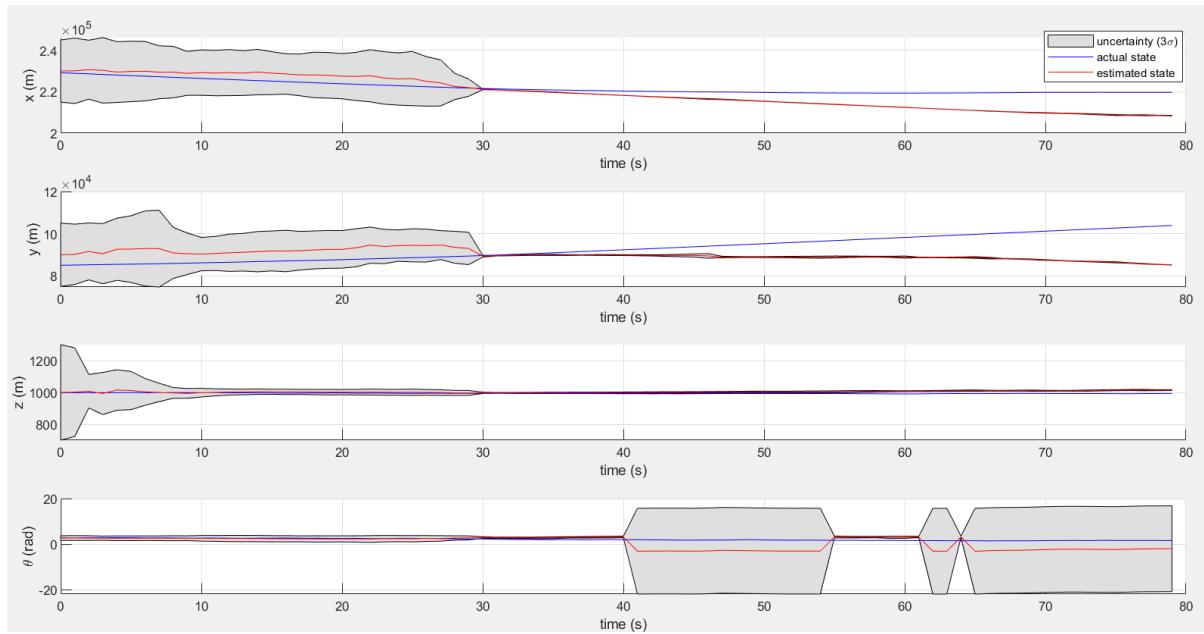
**FIGURE 12:** Trajectoire réelle (noire) et estimée (rouge) par un filtre particulière avec le bruit de mesure multiplié par 25. Axe vertical est le x, axe horizontal est le y et la couleur est l'altitude.



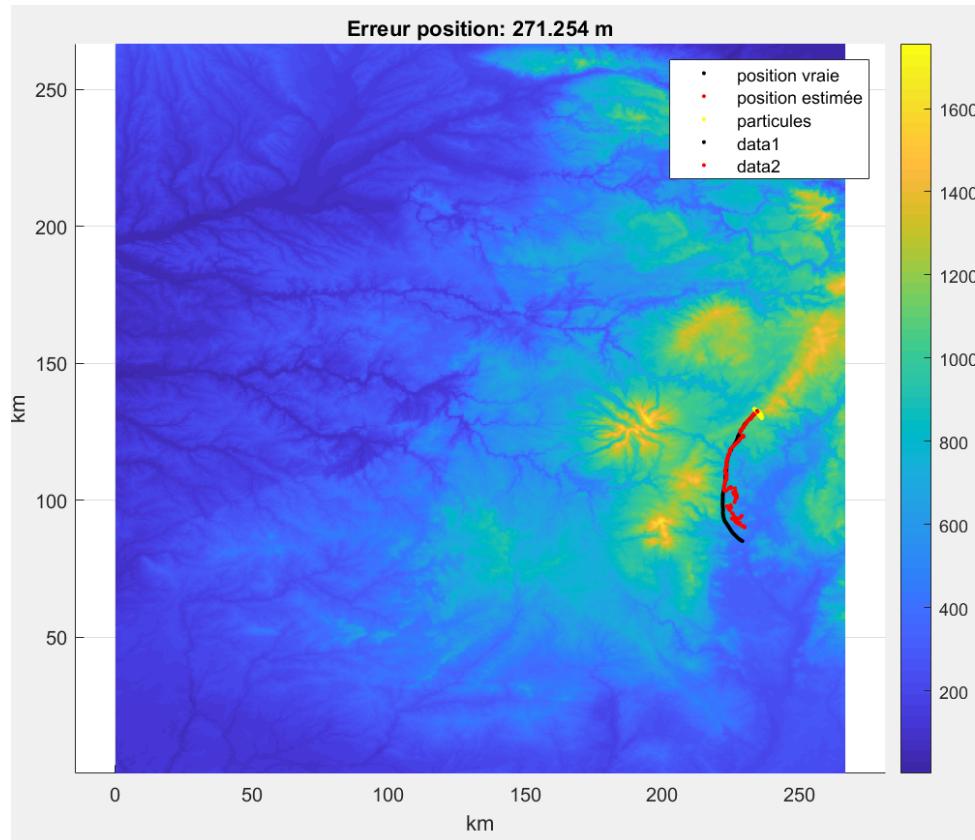
**FIGURE 13:** Estimation d'états par le filtre particulière avec le bruit de mesure multiplié par 25 au cours du temps.



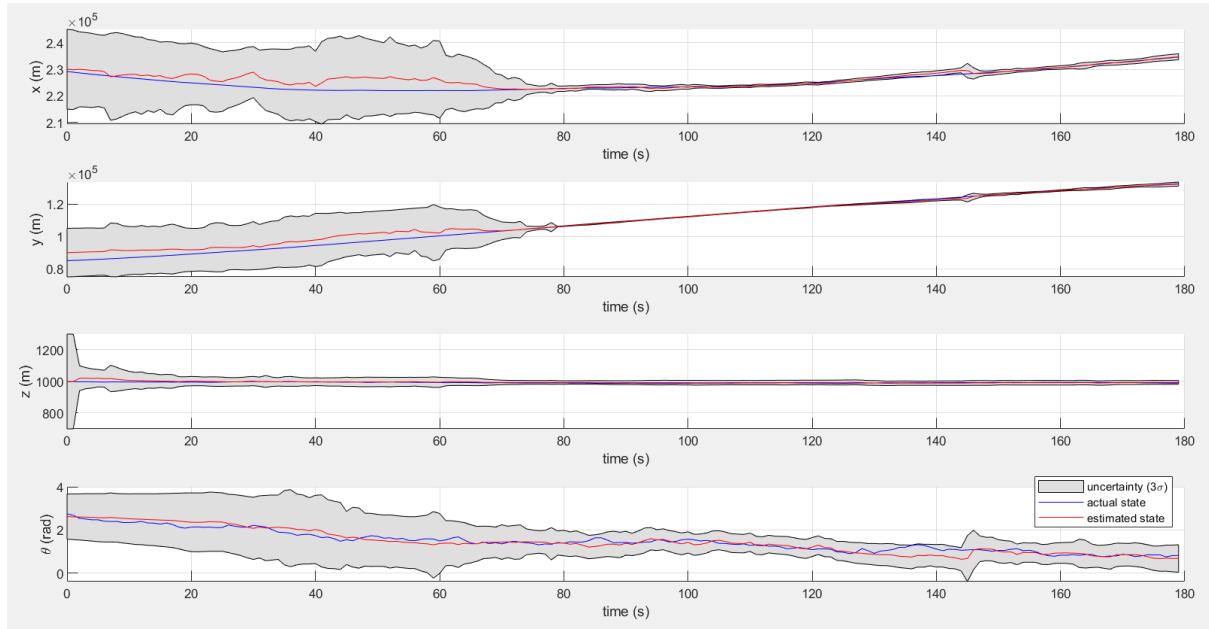
**FIGURE 14:** Trajectoire réelle (noire) et estimée (rouge) par un filtre particulière avec 300 particules. Axe vertical est le x, axe horizontal est le y et la couleur est l'altitude.



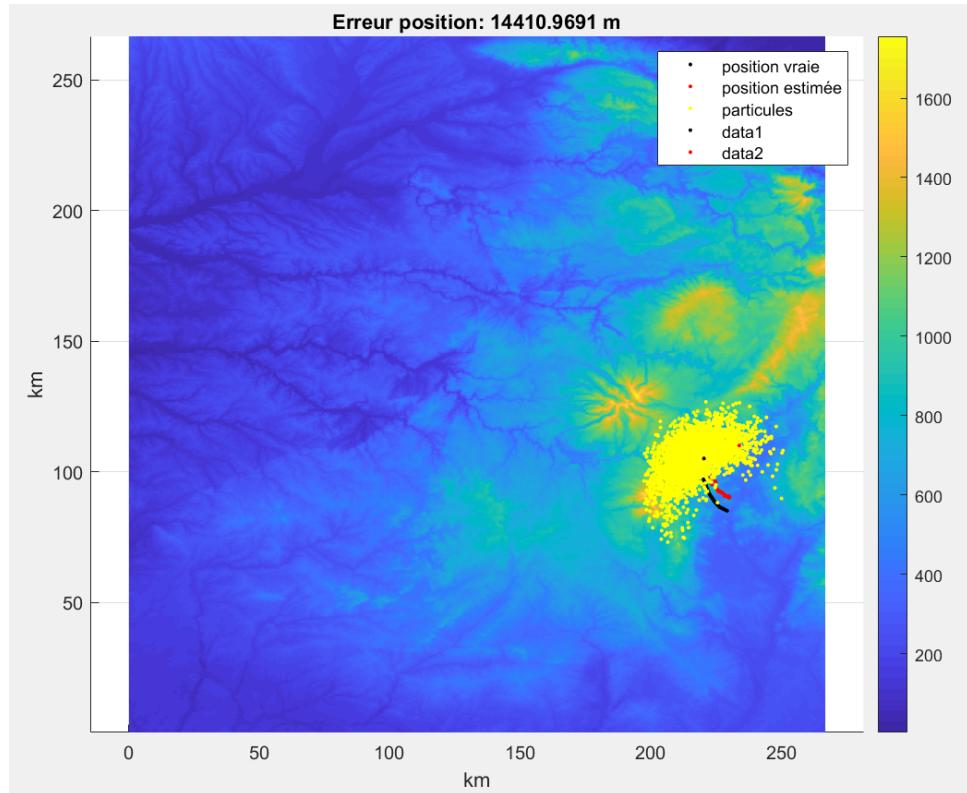
**FIGURE 15:** Estimation d'états par le filtre particulière avec 300 particules au cours du temps.



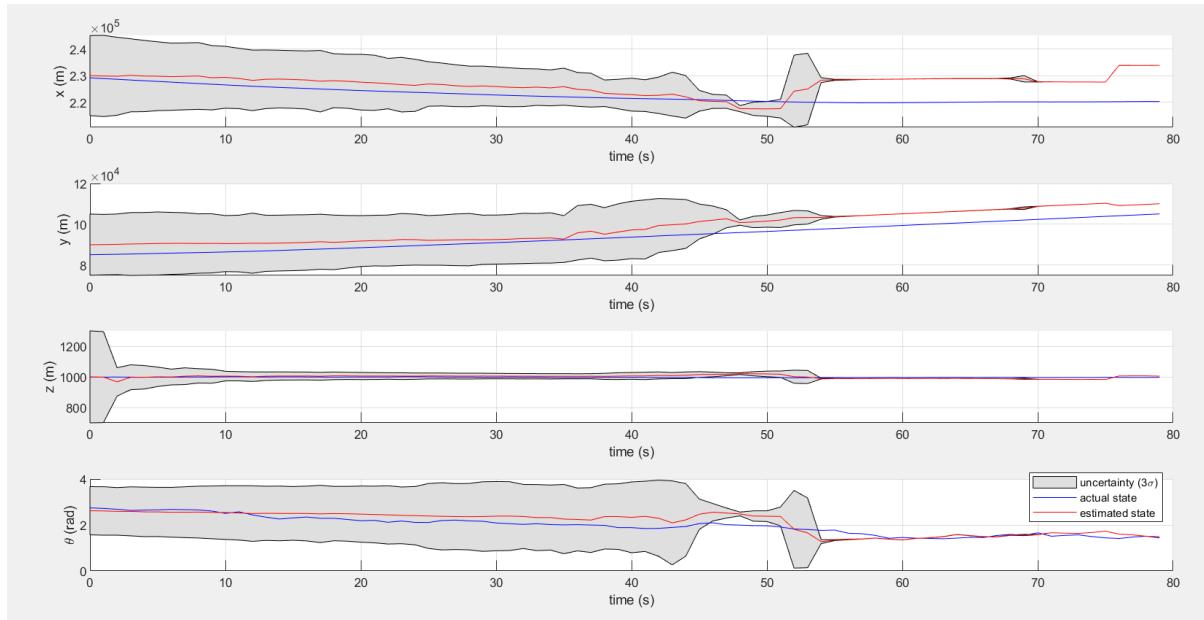
**FIGURE 16:** Trajectoire réelle (noire) et estimée (rouge) par un filtre particulière avec 30000 particules. Axe vertical est le x, axe horizontal est le y et la couleur est l'altitude.



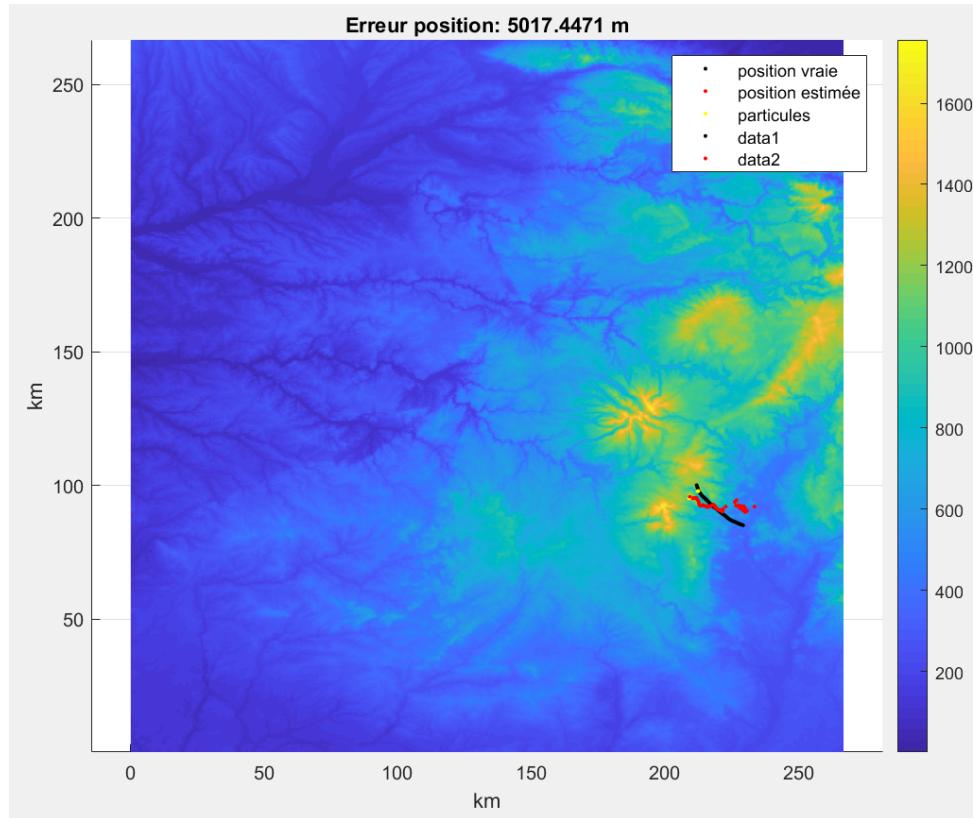
**FIGURE 17:** Estimation d'états par le filtre particulière avec 30000 particules au cours du temps.



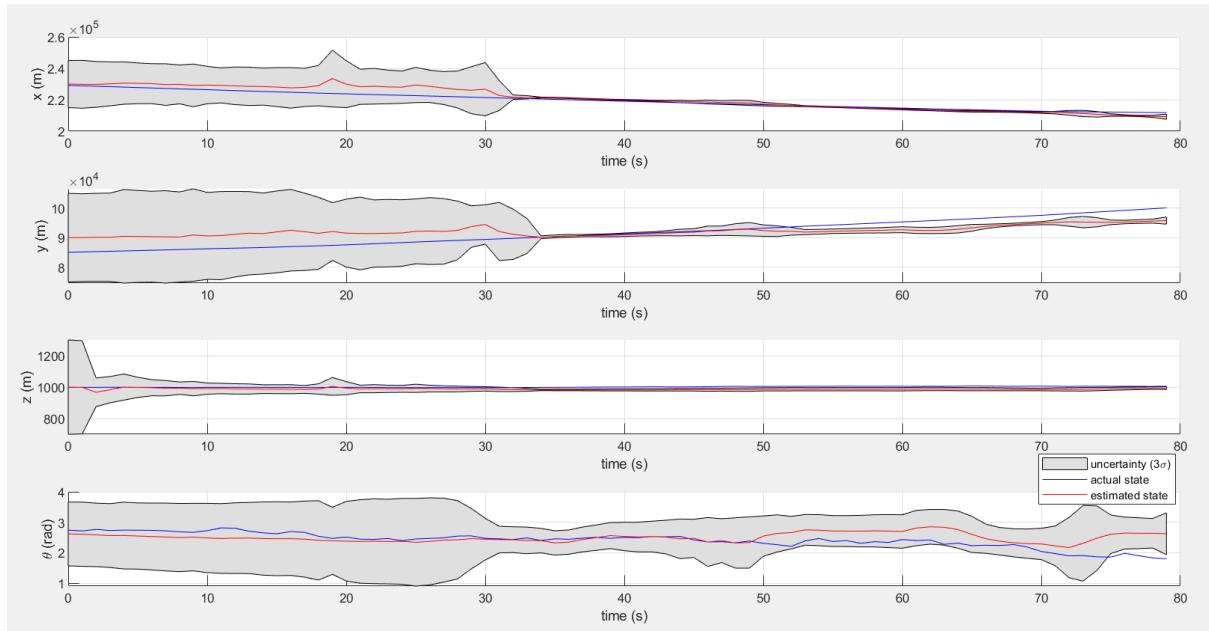
**FIGURE 18:** Trajectoire réelle (noire) et estimée (rouge) par un filtre particulière avec 0 de seuil de ré-échantillonage. Axe vertical est le x, axe horizontal est le y et la couleur est l'altitude.



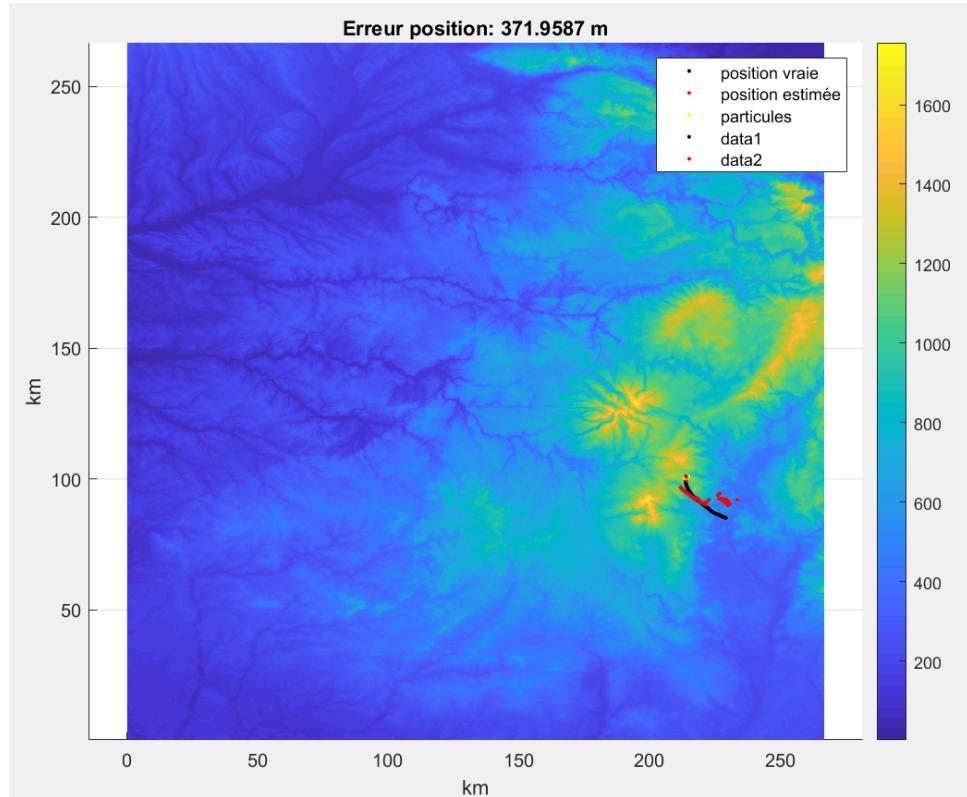
**FIGURE 19:** Estimation d'états par le filtre particulière avec 0 de seuil de ré-échantillonage au cours du temps.



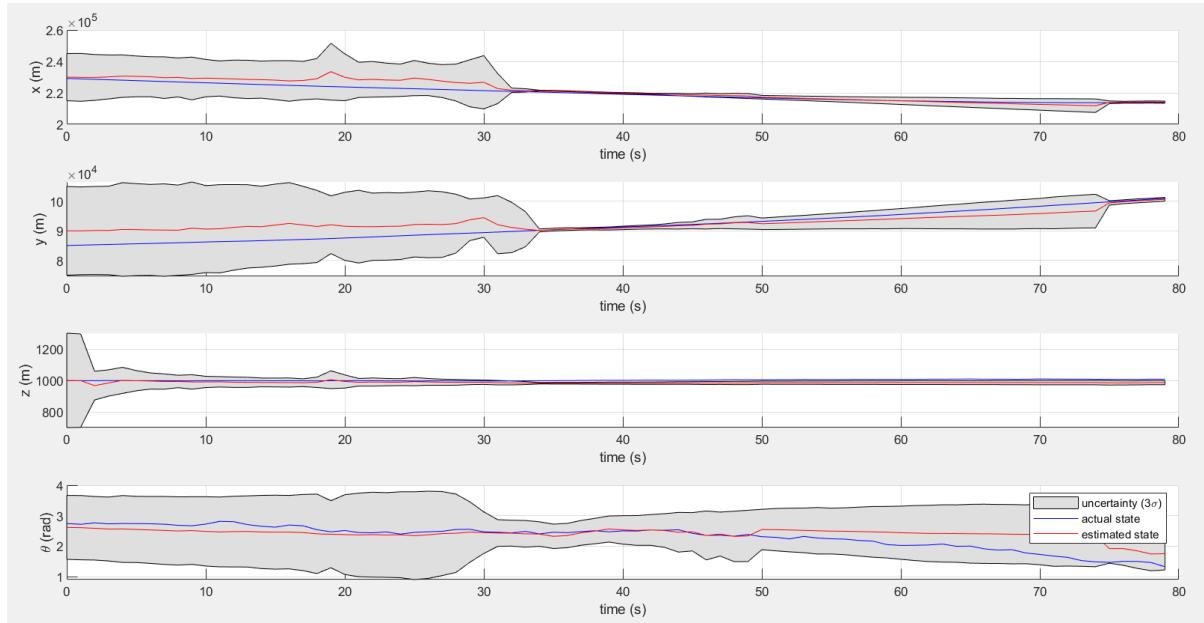
**FIGURE 20:** Trajectoire réelle (noire) et estimée (rouge) par un filtre particulière avec 1 de seuil de ré-échantillonage. Axe vertical est le x, axe horizontal est le y et la couleur est l'altitude.



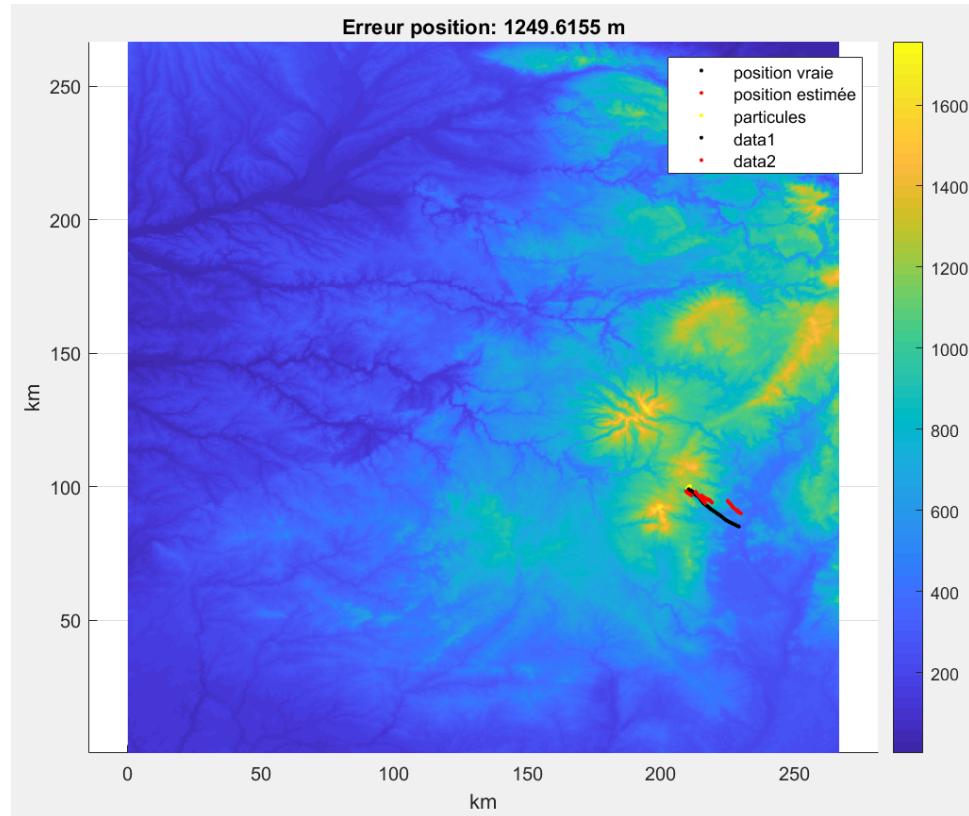
**FIGURE 21:** Estimation d'états par le filtre particulière avec 1 de seuil de ré-échantillonage au cours du temps.



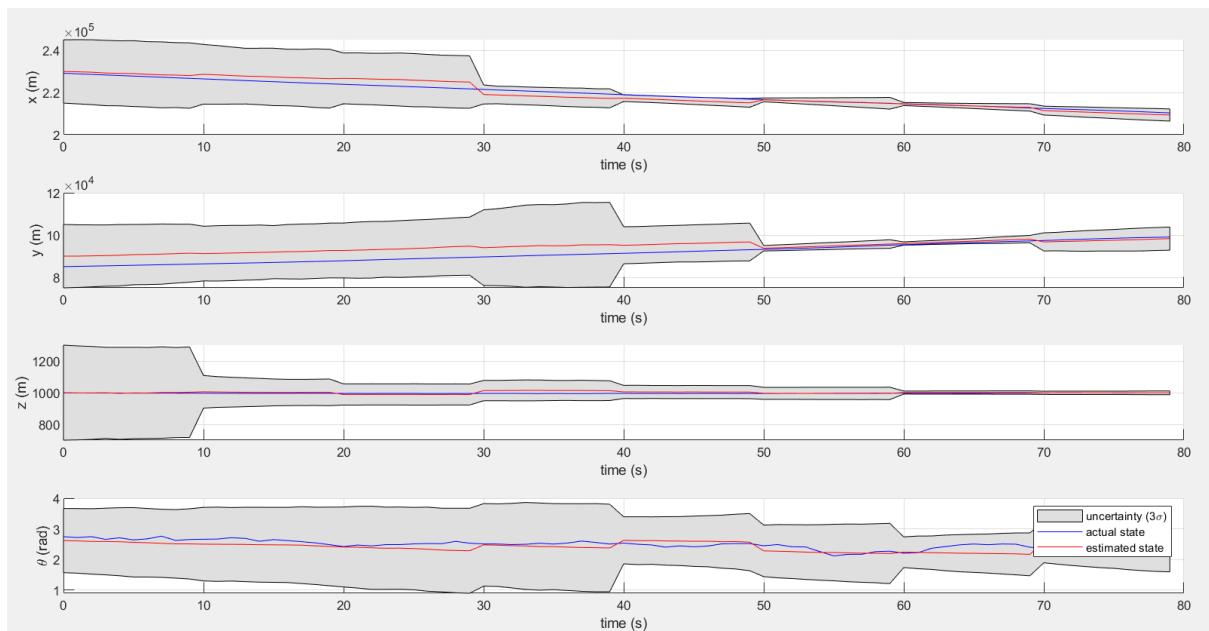
**FIGURE 22:** Trajectoire réelle (noire) et estimée (rouge) par un filtre particulière avec un trou de mesures entre 50 et 75 s. Axe vertical est le x, axe horizontal est le y et la couleur est l'altitude.



**FIGURE 23:** Estimation d'états par le filtre particulière avec un trou de mesures entre 50 et 75 s au cours du temps.



**FIGURE 24:** Trajectoire réelle (noire) et estimée (rouge) par un filtre particulière avec une fréquence de mesures de 0,1 Hz. Axe vertical est le x, axe horizontal est le y et la couleur est l'altitude.



**FIGURE 25:** Estimation d'états par le filtre particulière avec une fréquence de mesures de 0,1 Hz au cours du temps.