



SOD333 - COMPTE RENDU DE TP

---

## TP: Recalage altimétrique de navigation inertielle

---

*Réalisé par :*  
YASSINE FILALI  
MOHAMED EL KHAMES BOUMAIZA

*Classe:* 3<sup>e</sup> ANNÉE TECHNIQUES AVANCÉES SOD

*Encadrés par :*  
M. FRANÇOIS LE GLAND

Année universitaire 2020/2021

# Table des matières

Présentation du TP . . . . .	2
1. Question 1 . . . . .	2
2. Question 2 . . . . .	3
3. Question 3 . . . . .	4
4. Question 4 . . . . .	5
5. Question 5 . . . . .	5
6. Question 6 . . . . .	6
7. Question 7 et 8 . . . . .	7
Conclusion . . . . .	8

## Présentation du TP

Un avion survole une zone dont le relief est connu : la hauteur  $h(r)$  du relief en chaque point de coordonnée horizontale  $r$  est connue, et enregistrée dans une carte numérique fournie dans le fichier `mnt.mat`. L'objectif de ce TP est d'effectuer la navigation de l'avion, c'est à dire, d'estimer ses coordonnées sur le plan horizontal à l'aide de plusieurs de grandeurs mesurées par des capteurs, par le moyen de filtres particuliers.

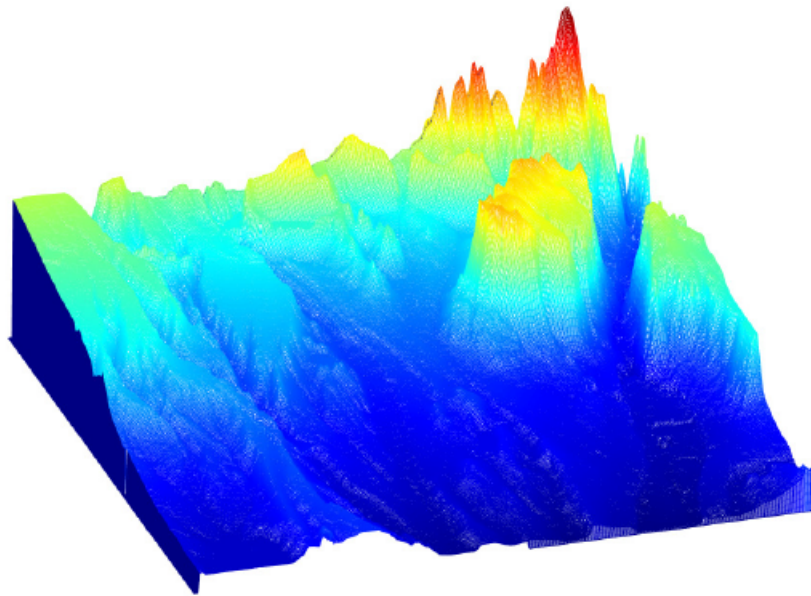


FIGURE 1 – Représentation 3D du relief

### 1. Question 1

L'allure de la trajectoire horizontale réelle de l'avion est comme suit entre les instants 0 et  $T$  :

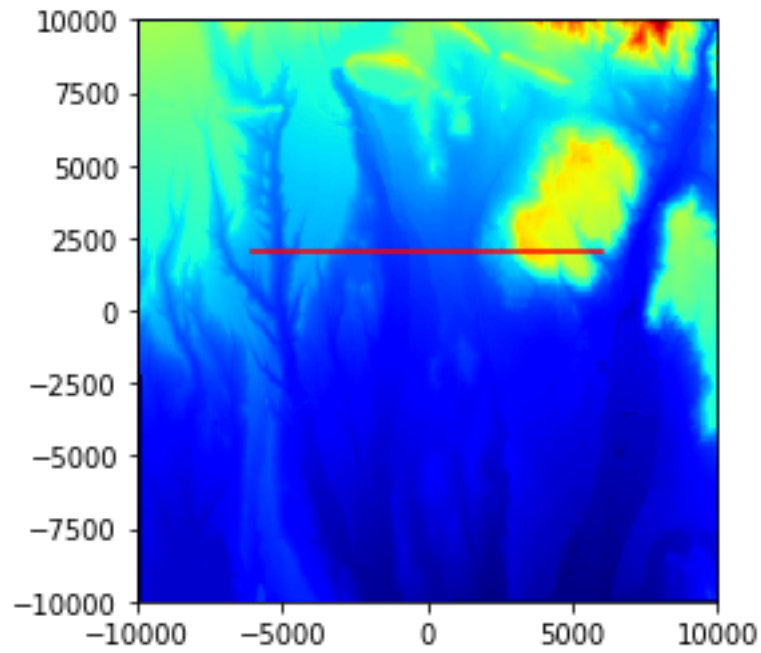


FIGURE 2 – Trajectoire réelle de l'avion entre les instant 0 et  $T$

## 2. Question 2

L'allure de l'estimation inertielle  $r_{INS}$  de la position horizontale de l'avion entre les instant 0 et  $T$  est comme suit :

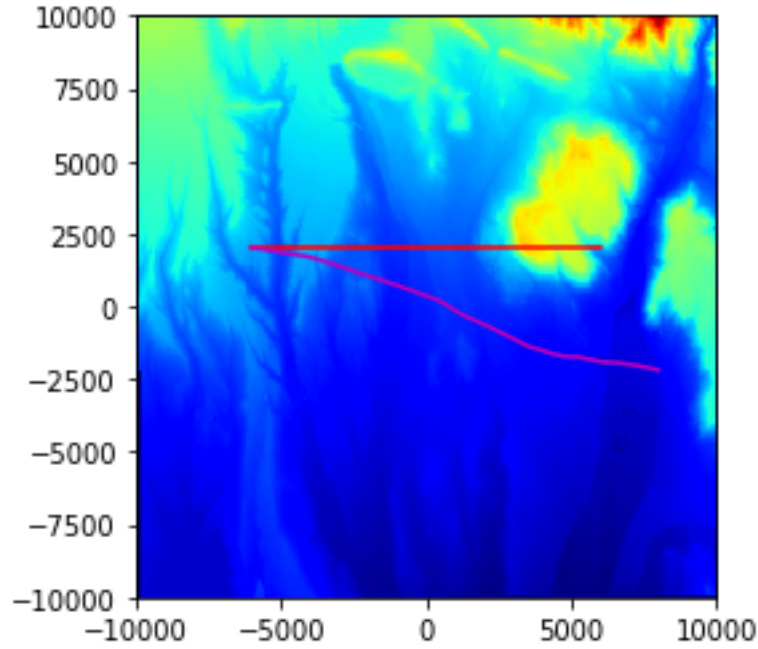


FIGURE 3 – Estimation intertielle de la trajectoire de l’avion entre les instant 0 et  $T$

On remarque que cette estimation n’est pas précise par rapport à la vraie trajectoire.

### 3. Question 3

On a par intégration et différentiation :

$$r_k = r_{k-1} + \Delta_k v_{k-1}$$

$$v_k = v_{k-1} + \Delta_k a_{k-1}$$

On a aussi que :

$$r_k^{\text{INS}} = r_{k-1}^{\text{INS}} + \Delta_k v_{k-1}^{\text{INS}}$$

$$v_k^{\text{INS}} = v_{k-1}^{\text{INS}} + \Delta_k a_k^{\text{INS}}$$

Ainsi on a pour  $\delta r_k$  :

$$\begin{aligned} \delta r_k &= r_{k-1} + \Delta_k v_{k-1} - (r_{k-1}^{\text{INS}} + \Delta_k v_{k-1}^{\text{INS}}) \\ &= r_{k-1} - r_{k-1}^{\text{INS}} + \Delta_k (v_{k-1} - v_{k-1}^{\text{INS}}) \end{aligned}$$

$$= \delta r_{k-1} + \Delta_k \delta v_{k-1}$$

Et pour  $\delta v_k$  :

$$\begin{aligned} \delta v_k &= v_{k-1} + \Delta_k a_k - (v_{k-1}^{\text{INS}} + \Delta_k a_k^{\text{INS}}) \\ &= v_{k-1} - v_{k-1}^{\text{INS}} + \Delta_k (a_k - a_k^{\text{INS}}) \\ &= \delta v_{k-1} - \Delta_k w_k^{\text{INS}} \end{aligned}$$

Et finalement on a l'expression matricielle suivante :

$$\begin{pmatrix} \delta r_k \\ \delta v_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_2 & \Delta I_2 \\ 0 & I_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta r_{k-1} \\ \delta v_{k-1} \end{pmatrix} - \Delta \begin{pmatrix} 0 \\ w_k^{\text{INS}} \end{pmatrix} \quad \text{avec} \quad \begin{pmatrix} \delta r_1 \\ \delta v_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

## 4. Question 4

Le profil vertical du relief survolé par l'avion est comme suit :

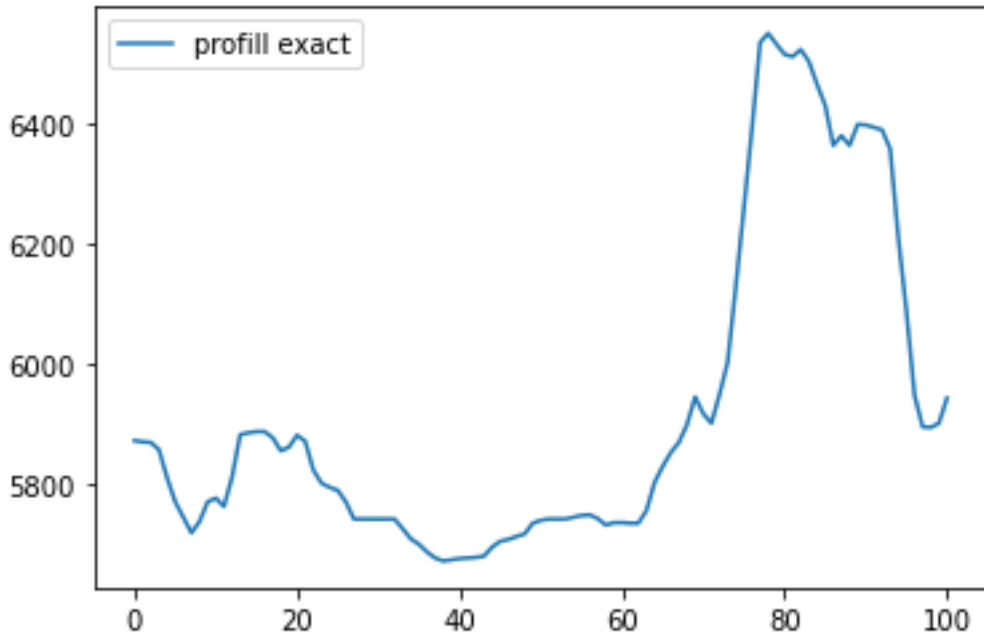


FIGURE 4 – le profil du relief survolé entre les instants 0 et T

## 5. Question 5

L'estimation du profil du relief survolé est comme suit :

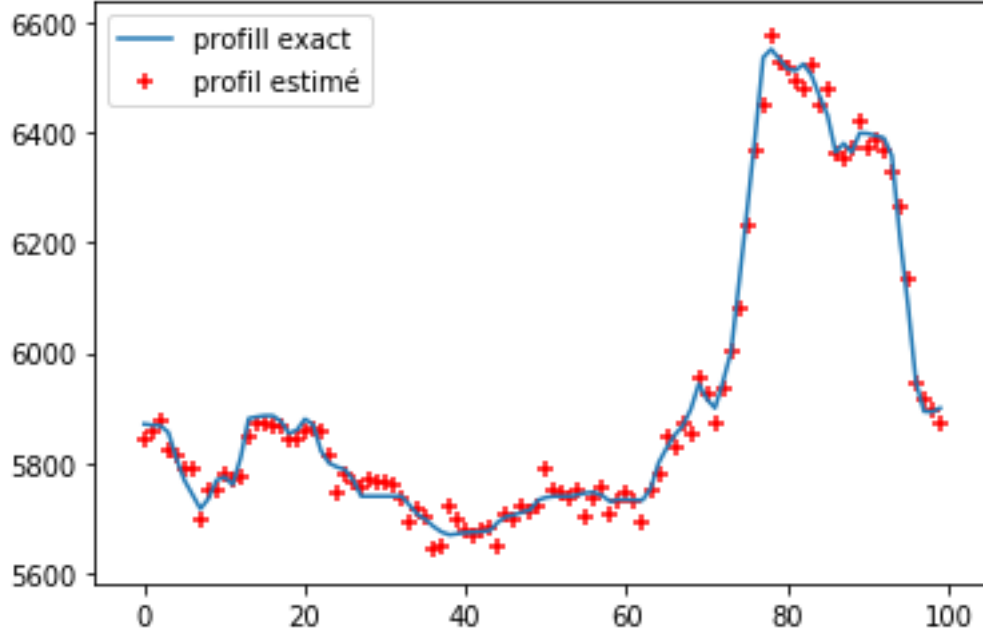


FIGURE 5 – Superposition du profil exact du relief et de la hauteur estimée entre les instants 0 et T

Contrairement à l'estimation de la trajectoire horizontale, l'estimation de l'altitude du relief est bien plus proche du vrai profil.

## 6. Question 6

On a que :

$$h_k^{ALT} = h(r_k) + w_k^{BAR} - w_k^{ALT}$$

et :

$$\delta r_k = r_k - r_k^{INS}$$

d'où on a l'expression de  $h_k^{ALT}$  :

$$h_k^{ALT} = h(r_k^{INS} + \delta r_k) + w_k^{BAR} - w_k^{ALT}$$

L'expression de la fonction de vraisemblance (à une constante multiplicative près) est :

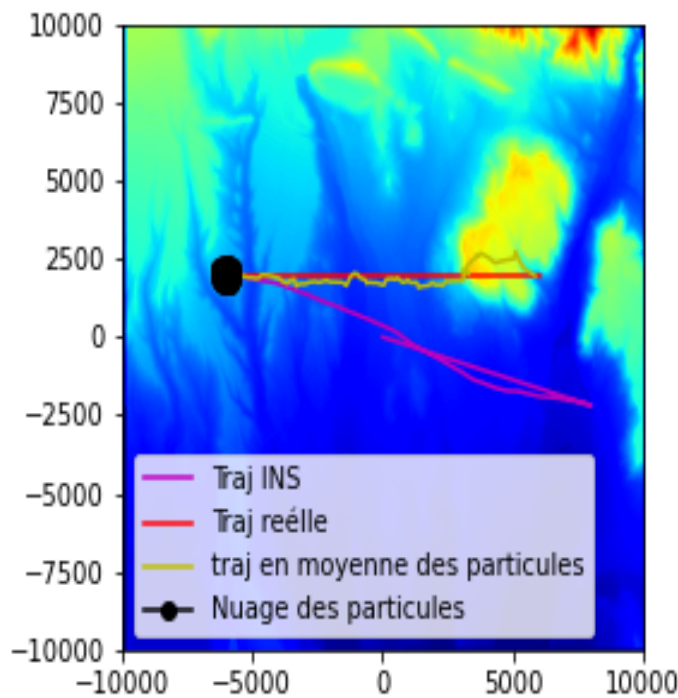
$$L = \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{\left(h(r_k^{INS} + \delta r_k) - h_k^{ALT}\right)^2}{(\sigma_k^{BAR})^2 + (\sigma_k^{ALT})^2}\right]$$

## 7. Question 7 et 8

Dans cette partie, nous mettons en oeuvre des filtres particulaire pour réaliser l'estimation.

Dans un premier lieu, un filtre SIR (avec redistribution multinomiale) est mis en place tout en variant, pour des différentes expériences, le nombre  $N$  de particules. Ensuite, un filtre particulaire SIS (sans redistribution) est implémenté pour donner lieu à une redistribution adaptative dépendant d'un coefficient  $c$  et du  $N_{eff}$  : En effet, il suffit de choisir  $c = 1$  pour déployer un filtre SIR et un 0 pour un filtre SIS.

Dans ce sens, et pour  $N = 1000$ , on présente l'évolution du nuage de particules ainsi que la position horizontale réelle et estimée entre les instants 0 et  $T$  en appliquant un filtre SIR.



Afin de suivre mieux l'évolution pour d'autres valeurs de  $N$ , il suffit de changer le paramètre  $N$  dans le code fourni avec le tp.



## Conclusion

Nous constatons après plusieurs essais que l'estimation donnée par le filtre SIR est la meilleur, d'où l'effet de l'étape de redistribution sur la qualité de l'estimation de la trajectoire.