



D I G I N E X T

Advanced Computer-Based Systems

Les applications industrielles du filtrage particulaire : La trajectographie passive par mesure d'azimut

F. LAMOLE, G. RIGAL, C. TAUDOU

Contact : Gilles RIGAL
(33) 442 908 284
gilles.rigal@diginext.fr

A. BONNOT DGA/DCE/CTSN

LoTras

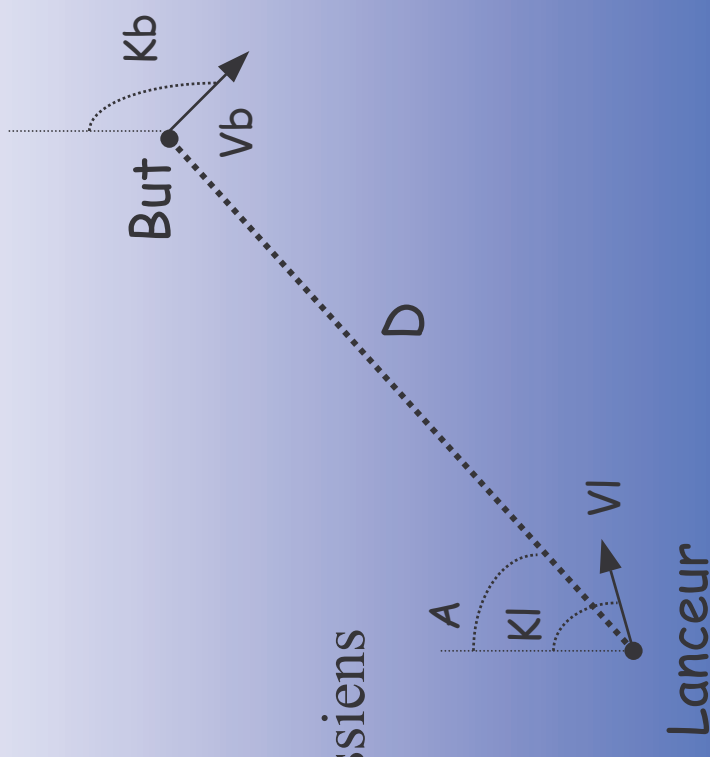
Position du problème & objectifs

Evaluer sur signaux réels l'apport des techniques particulières en écoute passive SONAR (azimétrie)

$$\begin{cases} \dot{A} = \frac{1}{D} (V_b \sin(K_b - A) - V_l \sin(K_l - A)) \\ \dot{D} = V_b \sin(K_b - A) - V_l \sin(K_l - A) \end{cases}$$

avec (K_m, V_m) processus aléatoires non gaussiens

$$\begin{aligned} y_A &= A + \eta_A \\ y_\omega &= \omega_0 \left(1 - \frac{\dot{D}}{c}\right) + \eta_\omega \end{aligned}$$



Estimer la distance, le cap et la vitesse d'un but à partir des mesures d'azimut A et de défilement Doppler ω de la piste

Principale difficulté : observabilité de la solution

Trajectographie par mesure d'azimut (TPA)

- sur le plan théorique : pas d'observabilité si le porteur et le but sont en mouvement rectiligne uniforme
- sur le plan pratique : le porteur doit manœuvrer, mais perte de la mesure d'azimut pendant la manœuvre

Trajectographie par mesure d'azimut et de fréquence (TPAF)

- sur le plan théorique : observabilité si défilement doppler
- sur le plan pratique : disponibilité et qualité insuffisantes des mesures de fréquence

Conclusions : TPA ou TPAF ?

Objectifs de l'étude de faisabilité sur signaux réels

Gains de productivité

- *Automatisation* complète de la procédure de trajectographie
- *Robustesse* aux manoeuvres du but

Gains de performance :

- *Réduction* des temps d'accrochage (fonctions de l'observabilité)
- *Fiabilité* des indicateurs de confiance
- *Précision* des éléments buts
- *Disponibilité* des informations «cinématique but»

Contraintes

- *Evaluation* de la puissance CPU nécessaire

Structure d'estimateur

Solution proposée : (cf. thèse de V. TEULIERE – LAAS du CNRS)

Estimateur :

- Réseau de filtres linéarisés pilotés par une logique particulière

Modèle d'état :

- Représentation d'état en **polaire modifié**
- Modélisation **robuste** des manoeuvres éventuelles du **but**

Initialisation :

- Initialisation **lacunaire** de l'état fonction de l'**observabilité**

**=> Acquisition / poursuite avec nombre réduit de particules
5000 particules pour 50 km**

Principes algorithmiques

Evolution des particules

$$X_t^i = F_t(X_{t-1}^i, \pi_t^i) \quad \text{pour } i = \{1, \dots, N\}$$

Kalman conditionnel

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{\sigma}_{t/t-1}^i = \phi \hat{\sigma}_{t-1/t-1}^i \\ \tilde{P}_{t/t-1}^i = \phi \tilde{P}_{t-1/t-1}^i \phi^T + Q_t \\ K_t^i = \tilde{P}_{t/t-1}^i H(X_t^i)^T (H(X_t^i) \tilde{P}_{t/t-1}^i H(X_t^i)^T + R_t)^{-1} \\ \hat{\sigma}_{t/t}^i = \hat{\sigma}_{t/t-1}^i + K_t^i (Y_t - H(X_t^i) \hat{\sigma}_{t/t-1}^i) \\ \tilde{P}_{t/t}^i = \tilde{P}_{t/t-1}^i - K_t^i H(X_t^i) \tilde{P}_{t/t-1}^i \end{array} \right.$$

Modèle du filtre

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Dynamique} \left\{ \begin{array}{l} X_t = F_t(X_{t-1}, \pi_t) \\ \sigma_t = \phi \sigma_{t-1} + W_t \end{array} \right. \\ \text{Mesure} \quad Y_t = H(X_t) \sigma_t + v_t \end{array} \right.$$

Pondération / processus innovation

$$p_t^i = \frac{P(\tilde{Y}_t^i / X_t^i)}{\sum_{j=1}^N P(\tilde{Y}_t^j / X_t^j)}$$

$$\tilde{Y}_t^i = H(X_t^i) \hat{\sigma}_{t/t-1}^i + v_t$$

Modélisation d'état

Représentation d'état en polaire modifié :

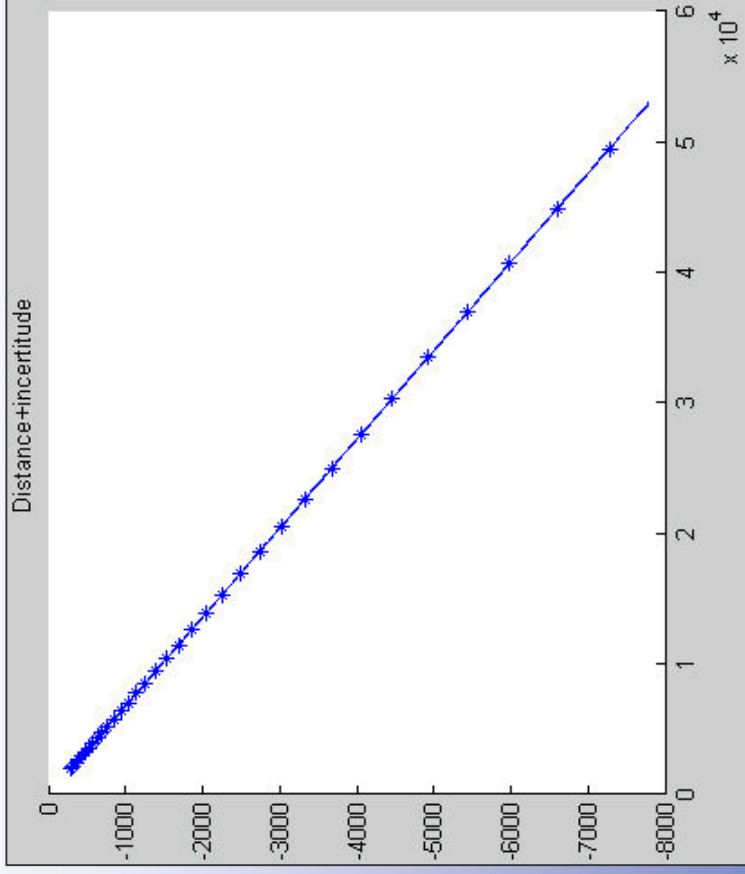
$$\begin{pmatrix} A \\ \dot{A} \\ 1/D \\ \dot{D}/D \\ \omega_0 \end{pmatrix}$$

Vecteur d'état

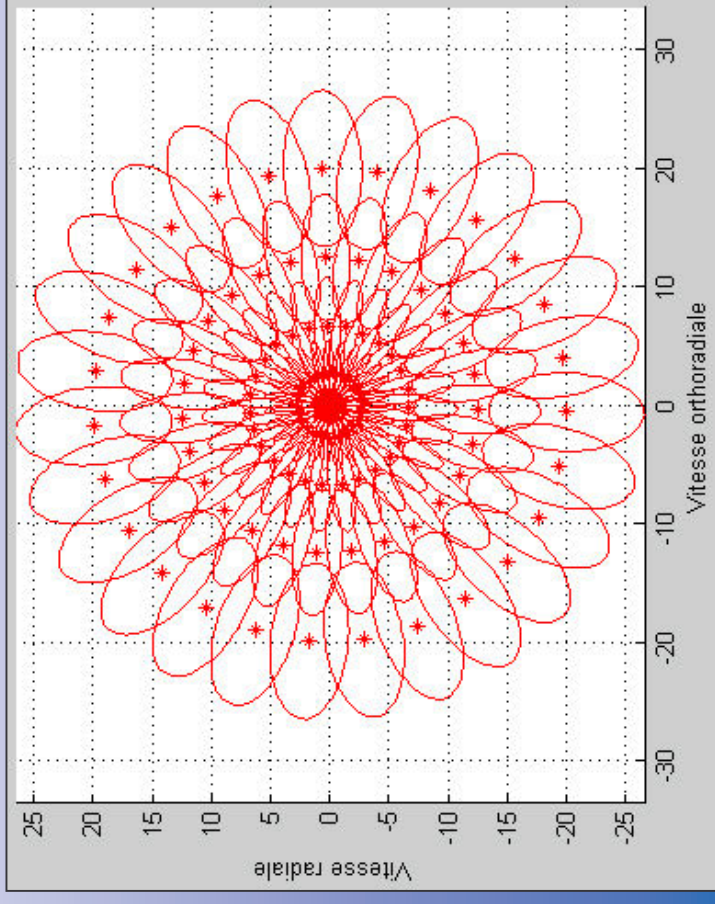
Evolution particules & prédiction linéaire : modèle cartésien

Correction linéaire & pondération des filtres : modèle polaire modifié

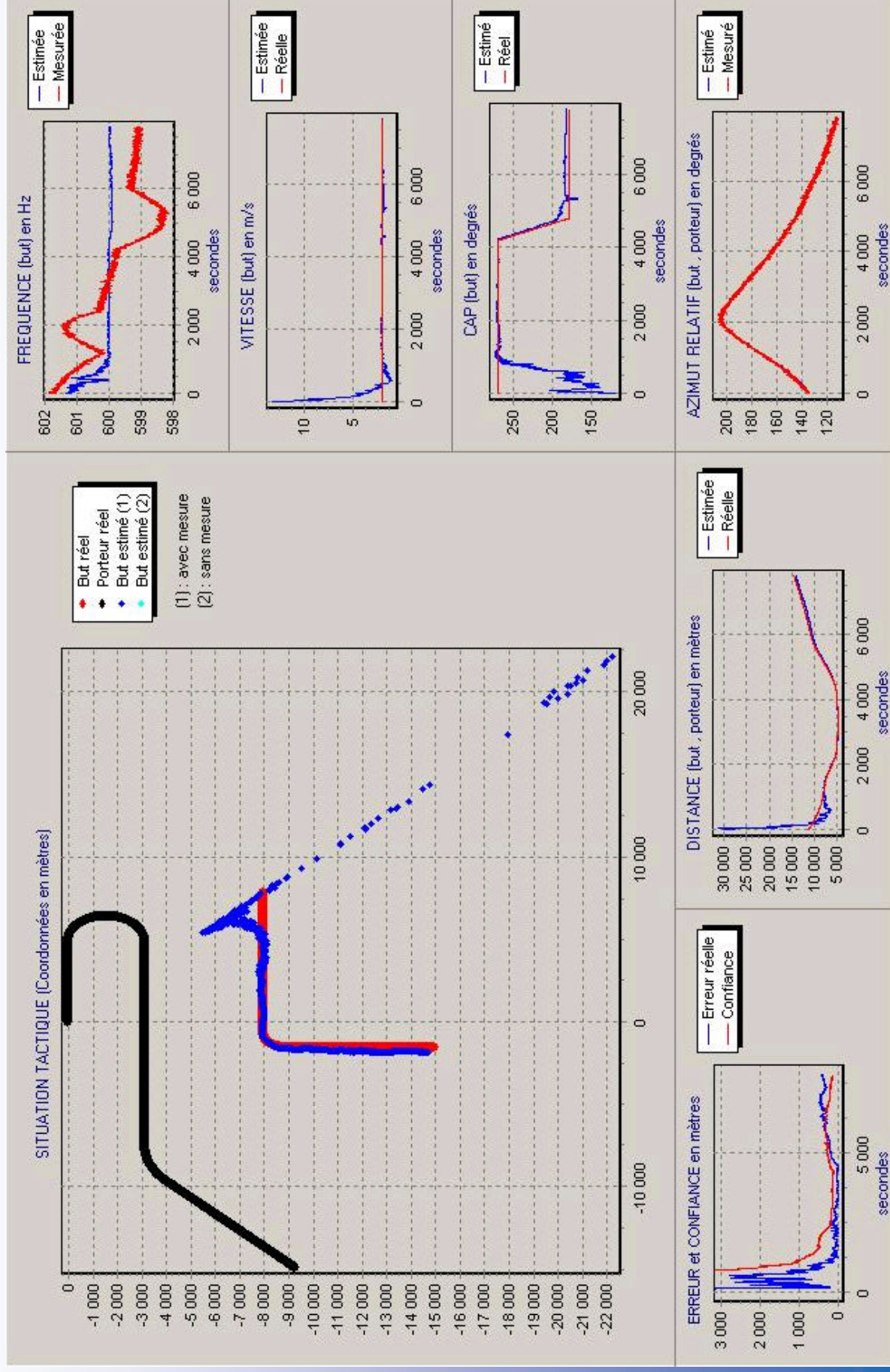
Principe de l'initialisation lacunaire



Initialisation en distance

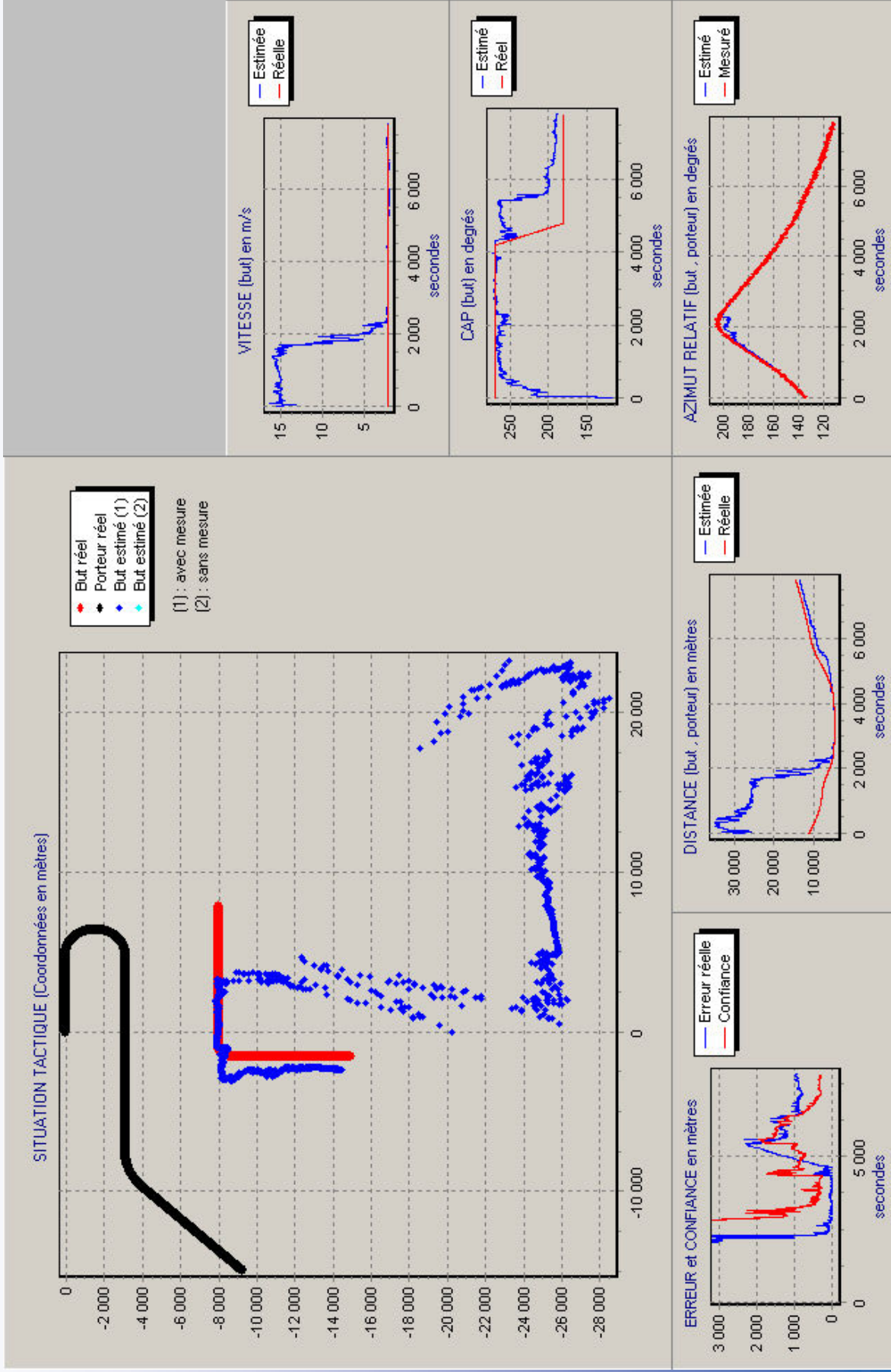


Initialisation en vitesse



$\Delta t_{cvg} = 11 \text{ min}$

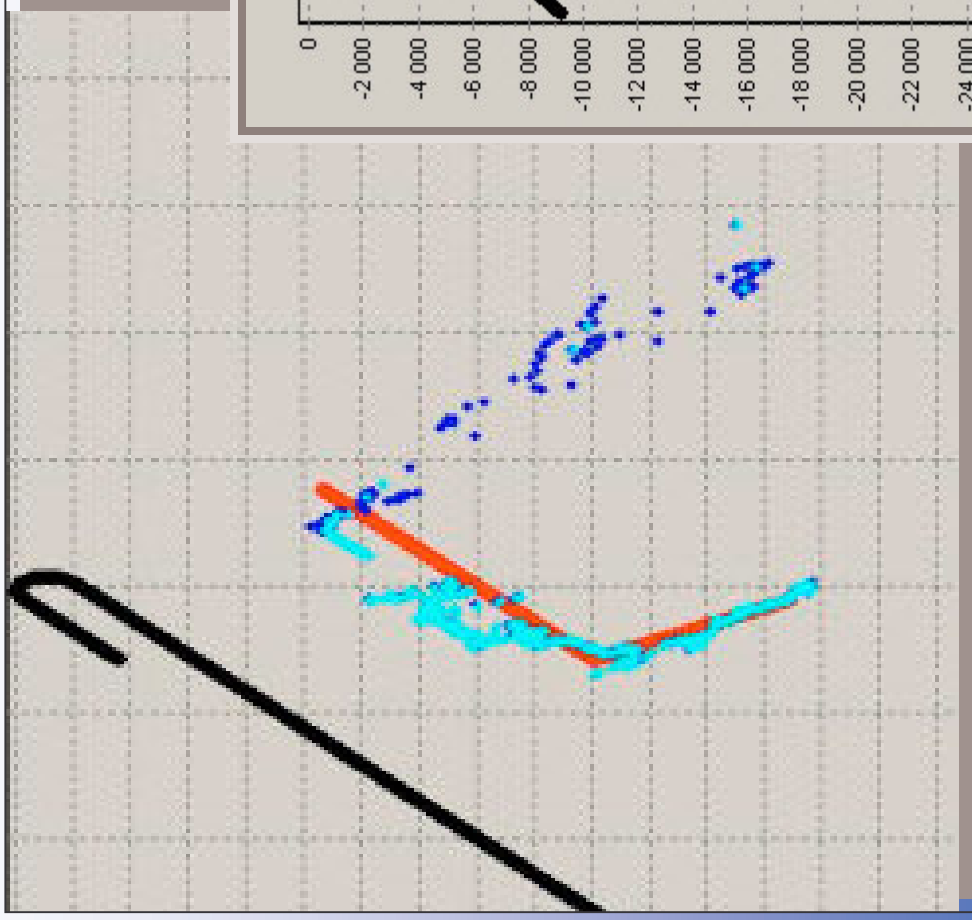
$\epsilon_{dist} \sim 250 \text{ m}$



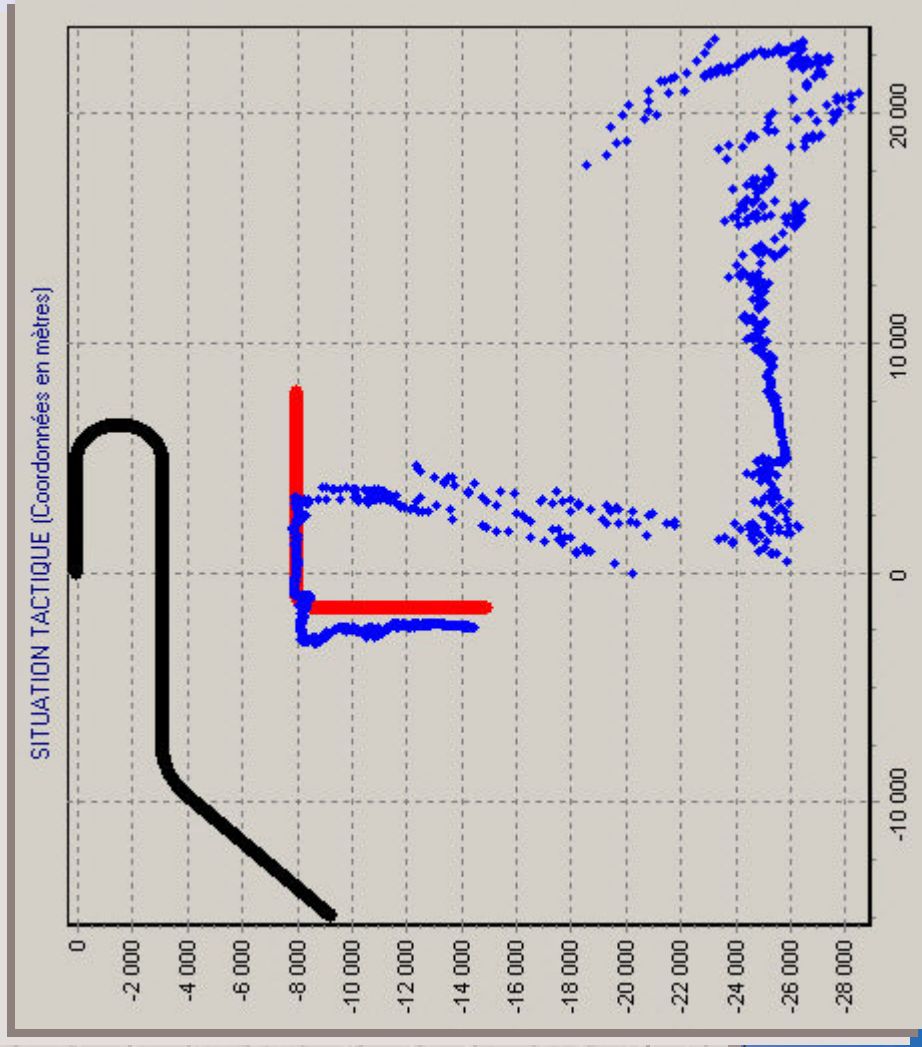
$\Delta t_{cvg} = 1 \text{ min}$ après giration porteur
 $\Delta t_{cvg} = 10 \text{ min}$ après giration but

$\epsilon_{dist} < 1000 \text{m}$

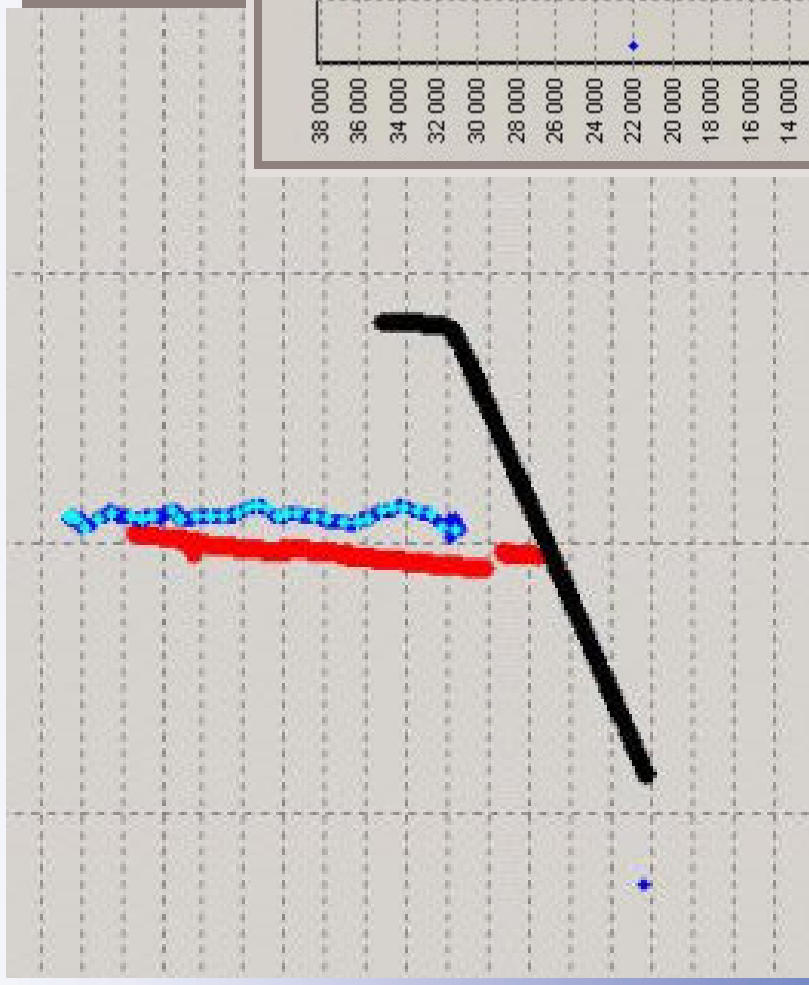
TPA - Scénario 1



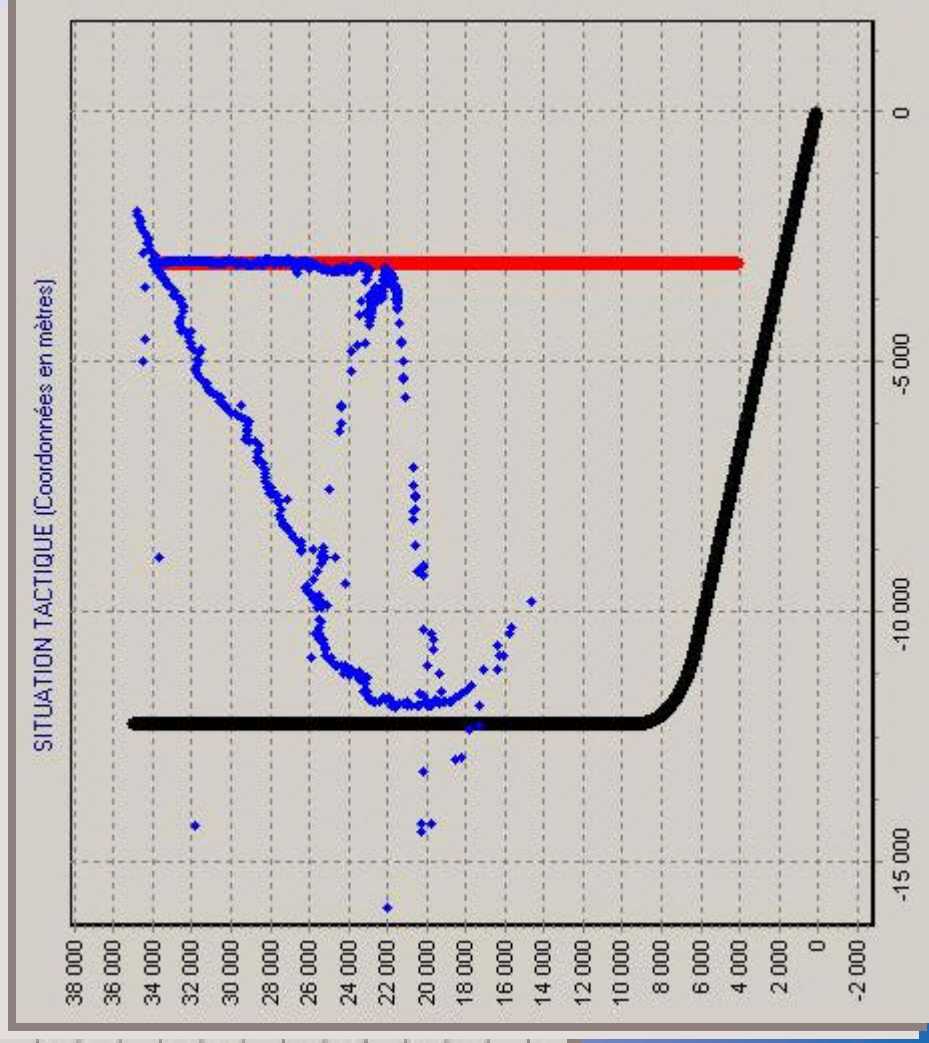
$\Delta t_{cvg} = 10 \text{ min}$



TPA - Scénario 3



$\Delta t_{cvg} = 10 \text{ min}$



Conclusions

Les découvertes :

- ✓ Pas d'apport significatif de la mesure de fréquence sur signaux réels
- ✓ Filtre particulière exploite les faibles observabilités en TPA

Les confirmations :

- ✓ Automatisation de la poursuite
- ✓ Robustesse
 - Vs Qualité des mesures (trous, asynchronisme)
 - Vs Manoeuvres du but
- ✓ Intégrité
 - Indicateur de performance **fiable**
- ✓ Performances
 - Temps de convergence (quelques minutes)
 - Précision des **éléments buts & cinématiques** estimés

Conclusions

***Faisabilité acquise sur signaux réels
avec un nombre réduit de particules***