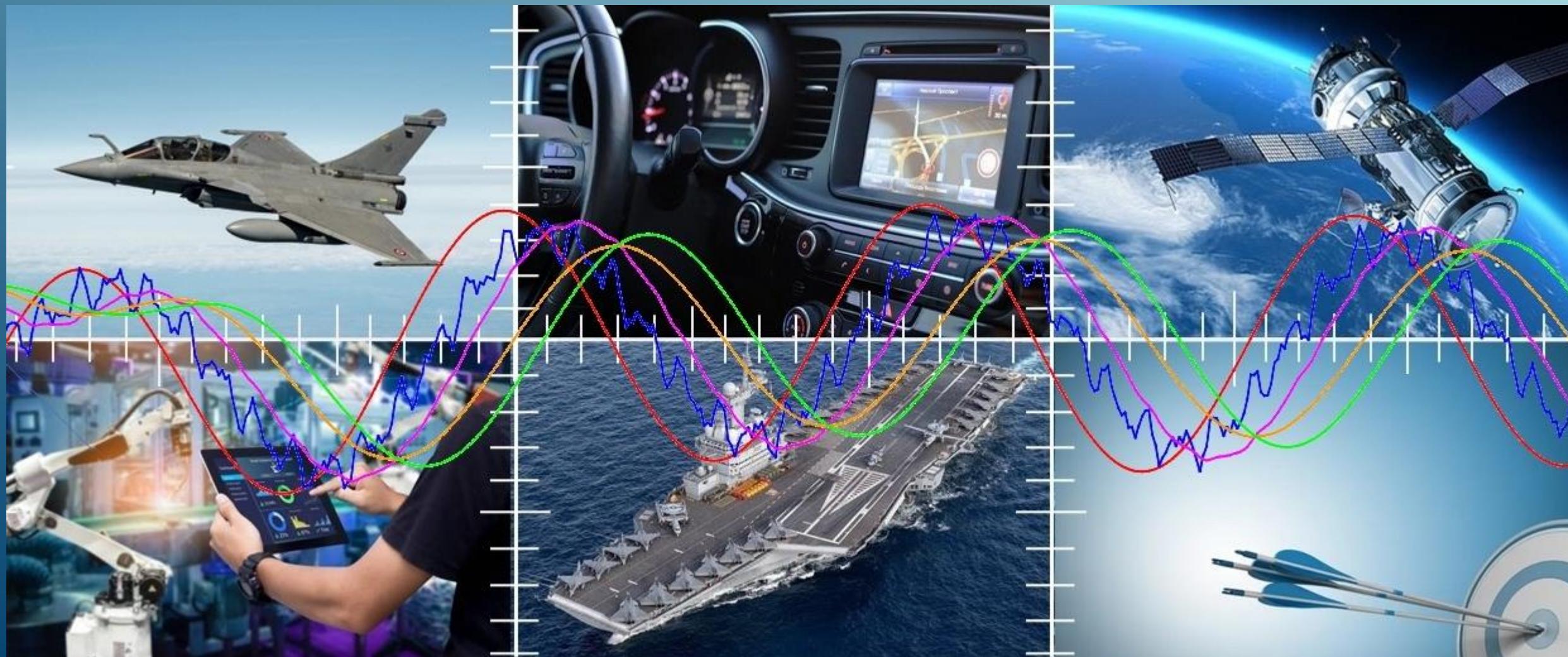
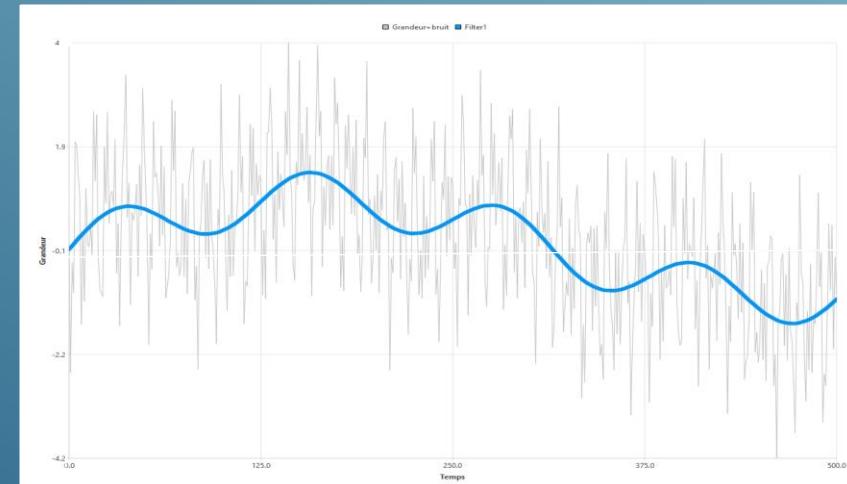
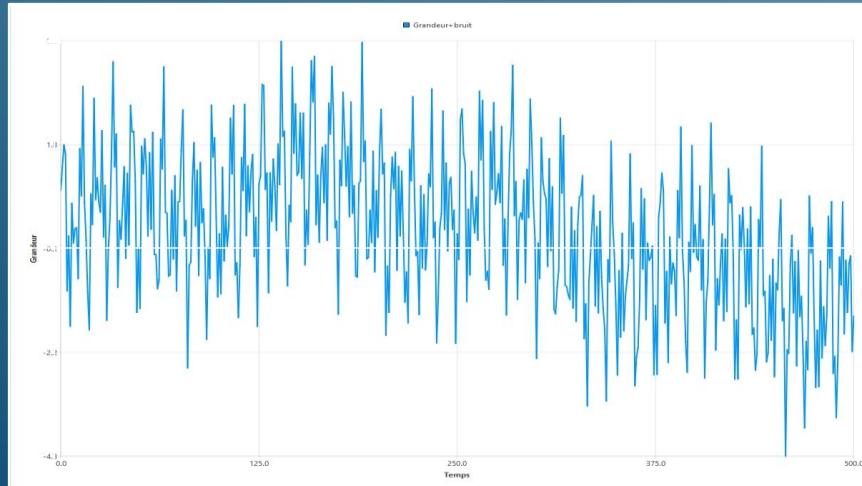


LE FILTRAGE EXPERT



LE FILTRAGE EXPERT

L'outil idéal pour filtrer des signaux bruités
avec des atténuations fortes > 50, 100, 1000
sans aucun retard.



Avant

Après

LE FILTRAGE EXPERT



Pour quoi faire ?

- Pour éliminer les bruits des signaux quand ceux-ci sont importants et gênants
- Pour réaliser des asservissements avec des gains élevés
- Quand les performances sont critiques
- Quand on ne veut pas trop solliciter les actionneurs ou pour des raisons d'écologie
- Pour des performances d'asservissement sans égal

Exemples d'applications

POSITION SATELLITE



Sur un satellite, on dispose de deux informations :

- La position absolue du satellite, mais avec un bruit de 10m
- La position relative du satellite à 1cm près par rapport à une base qui dérive en orbite.

Avec le Filtrage Expert, on va pouvoir connaître sa position absolue à 1cm près, sans retard et sans biais.

VITESSE et CAP VEHICULE



Pour l'affichage GPS, on veut déterminer avec précision la vitesse et le cap d'un véhicule.

Pour cela on dispose de deux informations :

- La vitesse et le cap donnés par le GPS, qui sont très bruités, mais sans biais
- La vitesse et l'angle des roues : très précis, mais la vitesse peut avoir un biais (pneus)

Avec le Filtrage Expert, on va disposer de la vitesse et du cap très précisément (bruit/1000), sans retard et sans aucun biais.

ETAT NAVIRE



On dispose simplement de :

- La position GPS mesurée d'un navire
- L'accélération appliquée au navire grâce à un modèle des actionneurs valable à 10%

Avec le Filtrage Expert, on va connaître très précisément la position du navire (bruit / 50), la vitesse par rapport au fond, et l'accélération permanente de perturbation (houle, courant, vent), sans retard et sans biais.

REFERENCES

Le filtrage Expert a de nombreuses et prestigieuses références réalisées par l'ex Compagnie Générale d'Automatisme.

Il est présent depuis plus de 20 ans :

- Sur de nombreux navires de la Marine nationale :
 - Chasseurs de mines pour le suivi de rail et point fixe
 - Frégates pour stabilisation
 - Porte-avions Charles de Gaulle pour l'asservissement en cap – roulis – tangage - pilonnement.
- Sur l'asservissement de la tourelle du char Leclerc pour le tir en marche.
- Sur de nombreux asservissements de robotique
- etc.

L'INFORMATION COMPLEMENTAIRE



De quoi a-t-on besoin ?

Une
mesure
(bruitée)

+

- Une mesure de même nature (par exemple relative au lieu d'être absolue),
- ou sa dérivée ou sa dérivée seconde
- ou un modèle donnant par exemple les accélérations à partir des forces appliquées. On a toujours ce modèle quand on réalise un asservissement (ex $X' = AX + BU$).

On l'utilise
aux basses fréquences

On utilise son complément
aux autres fréquences

afin que la somme des modules = 1 et des
déphasages = 0 à toutes les fréquences

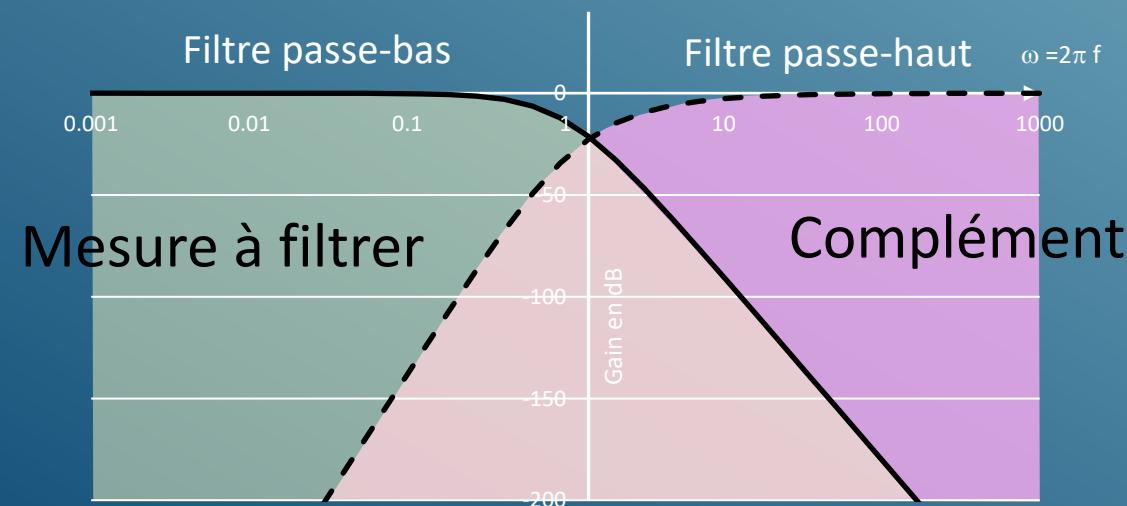
LE MELANGE FREQUENTIEL

On filtre la mesure bruitée, et on fait un mélange fréquentiel en utilisant :

- La mesure bruitée à basse fréquence 
- Le complément à haute fréquence 

Puis on combine de façon mathématiquement parfaite ces deux informations de telle sorte que, à toutes les fréquences :

- La somme des modules soit égale à 1
- La sommes des déphasages soit égale à 0, c'est-à-dire qu'il n'y ait aucun retard, le filtre passe-haut redonnant l'avance de phase perdue par le filtre passe-bas.



PAR RAPPORT A L'EXISTANT

Ce type de filtrage existe déjà :

- Filtre de Kalman simplifié à coefficients constants
- Filtre complémentaire du 1^{er} ordre

Si X_m est la valeur mesurée, \tilde{X} la valeur filtrée, et X_p la prédiction donnée par le modèle :

$$\tilde{X} = \alpha X_m + (1 - \alpha)X_p$$

où α est le coefficient d'atténuation ($= \omega T$)

Ceci représente un filtre du 1^{er} ordre sur la mesure X_m

Limitations

Avec ce type de filtres, on ne peut pas avoir des atténuations importantes ($\alpha < 0,1$), sous peine d'être trop « en boucle ouverte », c'est-à-dire ne pas se recaler suffisamment sur la mesure et faire trop confiance au modèle qui n'est jamais juste à 100%, ce qui provoque :

- Peu d'atténuation du bruit
- Ralllements très lents
- Introduction d'un biais si le modèle n'est pas juste

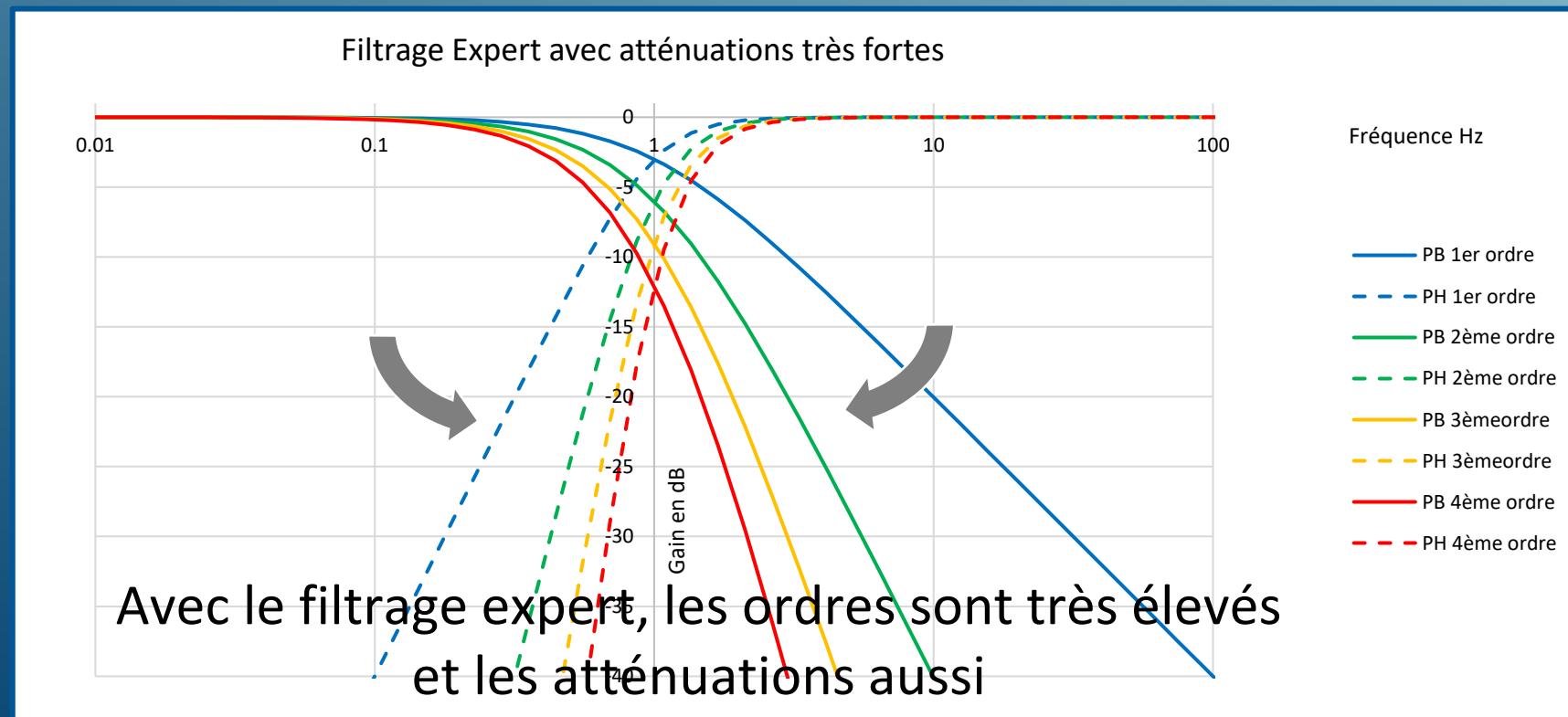
DES ATTENUATIONS TRES FORTES

L'intérêt du filtrage Expert est d'avoir **des filtres d'ordres élevés : 2, 3 ou 4 !**

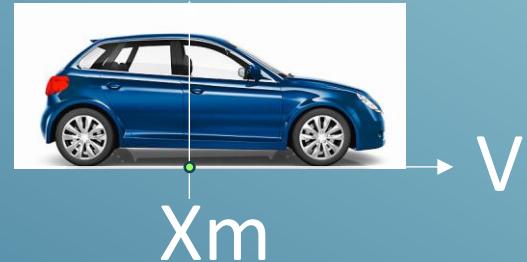
Avec atténuations fortes, non plus en ωT mais en $\omega^2 T^2$, $\omega^3 T^3$, $\omega^4 T^4$ ($< 0,0001$)

Avec des ralliements bien plus rapides qu'avec un 1er ordre

Avec élimination du biais en faisant intervenir $(V_{-1} - V_{-2})$ ou $(\gamma_{-1} - \gamma_{-2})$



EXEMPLE TYPE DU FILTRAGE EXPERT (1/4)



- On connaît la position mesurée X_m d'un véhicule avec un bruit d'1m.
- On connaît sa vitesse V à 1% près.

**Avec le filtrage expert, on va pouvoir connaître sa position
à 1mm près**

- c'est-à-dire avec une atténuation du bruit de 1000,
- sans aucun retard,
- sans biais même s'il y en avait un sur la vitesse (par exemple à cause d'une côte)

EXEMPLE TYPE DU FILTRAGE EXPERT (2/4)

Pour ce faire, on fait un mélange fréquentiel en utilisant :

- **La position X_m à basse fréquence :**

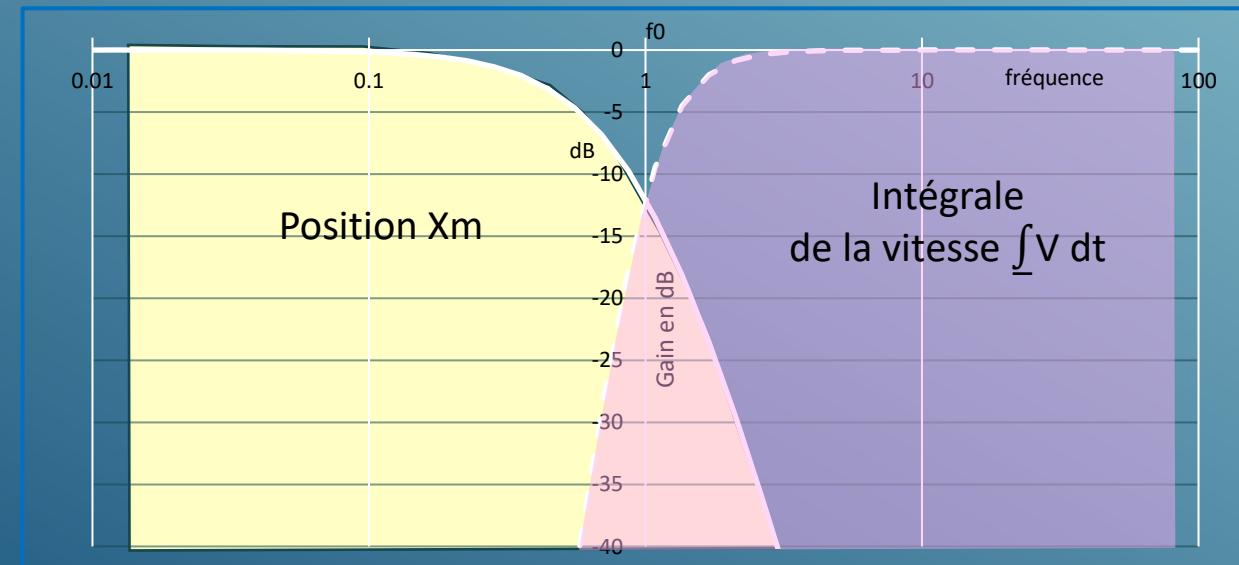
en effet, si on a le temps, la mesure de position peut être prise à 100%, en particulier en régime permanent, mais elle n'est pas pertinente aux hautes fréquences à cause du bruit.

- **L'intégrale de la vitesse V à haute fréquence :**

Elle est valable à haute fréquence, dans les mouvements rapides, mais dérive avec le temps qui s'écoule.

Position complémentée par l'intégrale de la vitesse avec filtres du **4ème ordre**.

Atténuation >1000.



EXEMPLE TYPE DU FILTRAGE EXPERT (3/4)

On va utiliser une formule toute faite du Filtrage Expert (cf formules page suivante) :

- Un filtre avec complément en vitesse du 4ème ordre
(pour avoir une atténuation >1000) et avec élimination du biais sur la vitesse :

$$\tilde{X} = A X_c + B X_m + C X_{m-1} + D \tilde{X}_{-1} + E \tilde{X}_{-2} + F \tilde{X}_{-3} + G X_{c-1} + H X_{c-2} + I X_{c-3}$$

avec $X_c = \tilde{X}_{-1} + V_{-1} T$

- Les coefficients devant X_m et X_{m-1} sont de l'ordre de $\omega^4 T^4$ et sont donc très petits.

Ceci solutionne notre problème puisque nous aurons une atténuation de 1000, sans retard, et sans biais même s'il y en a un sur la vitesse, avec des calculs très simples puisque tous les coefficients A, B, C, D, E sont constants, et fonction de ω, T et ξ ($=0.5$ par défaut).

Calcul de ω : Si $T = 0,1\text{s}$, et $\xi=0,7$, l'atténuation demandée α étant de $0,001 = \omega^4 T^4$, on en

déduit le choix de $\omega = \sqrt[4]{\frac{0,001}{0,0001}} = \sqrt[4]{10} = 1,78\text{rd/s}$

EXEMPLE TYPE DU FILTRAGE EXPERT (4/4)



La programmation en C++ (ou Java) est très simple

```
// Déclaration / initialisation de variables
double mesure = 0.0, mesureFiltree = 0.0, vitesse = 0.0;

// Instanciation du filtre avec un filtre du 4ème ordre
// avec complémentation en vitesse
Filter4V filtre;

// Initialisation avec atténuation alpha, période T, coef ξ
filtre.Init(0.001, 0.1, 0.7);

// Filtrage récurrent toutes les T secondes
mesureFiltree = filtre.Filter(mesure, vitesse);
```

LIBRAIRIE C++

La librairie C++ contient tous les filtres avec les sources :

- Les formules sont déjà codées, ce qui fait que la mise en œuvre est très aisée.
- Toutes les grandeurs figurant ci-dessous (X, V, γ) peuvent être des matrices.
- \tilde{X} est la mesure filtrée, $\tilde{X}_{-1}, \tilde{X}_{-2}, \tilde{X}_{-3}$, les valeurs filtrées des cycles précédents
- X_m est la mesure
- X_c est la mesure complémentaire en X (*si on complénte en X*)
- V est la mesure complémentaire, dérivée de X (*si on complénte en V = X'*)
- γ est la mesure complémentaire, dérivée seconde de X (*si on complénte en γ = X''*)
- Tous les coefficients a, b, c, A, B, C, D, E, etc. sont constants et fonctions de ω, T et ξ .
- Les calculs sont donc très simples et très rapides.

Formules de filtrage

Complémentation en position X_c : atténuations de 10, 100, 1000

Filtrage avec complémentation par une grandeur en X, de même nature X_c , qui donne par exemple une position relative (même si elle a un biais ou une dérive), en plus de la position absolue.

- **1^{er} ordre :** $\tilde{X} = A \tilde{X}_{-1} + B X_m + C X_c + D X_{c-1}$
- **2^{ème} ordre :** $\tilde{X} = A \tilde{X}_{-1} + B \tilde{X}_{-2} + C X_m + D X_c + E X_{c-1} + F X_{c-2}$
- **3^{ème} ordre :** $\tilde{X} = A \tilde{X}_{-1} + B \tilde{X}_{-2} + C \tilde{X}_{-3} + D X_m + E X_c + F X_{c-1} + G X_{c-2} + H X_{c-3}$

Complémentation en vitesse V : atténuations de 10, 100, 1000

Filtrage avec complémentation par la dérivée de X, (soit V sa vitesse, si X est une position)

avec élimination du biais sur V : (V intervient en $V_{-1} - V_{-2}$)

- **2^{ème} ordre :** $\tilde{X} = A \tilde{X}_{-1} + B \tilde{X}_{-2} + C X_m + D X_{m-1} + b T (V_{-1} - V_{-2})$
- **3^{ème} ordre :** $\tilde{X} = A \tilde{X}_{-1} + B \tilde{X}_{-2} + C \tilde{X}_{-3} + D X_m + E X_{m-1} + T((F+G)V_{-1} - FV_{-2} - GV_{-3})$
- **4^{ème} ordre :** $\tilde{X} = A X_c + B X_m + C X_{m-1} + D \tilde{X}_{-1} + E \tilde{X}_{-2} + F \tilde{X}_{-3} + G X_{c-1} + H X_{c-2} + I X_{c-3}$ avec $X_c = \tilde{X}_{-1} + V_{-1}T$

Complémentation en accélération γ : atténuations de 10, 100

Filtrage avec complémentation par la dérivée seconde de X, ($=\gamma$ son accélération, si X est une position)

avec élimination du biais sur γ

- **3^{ème} ordre :** $\tilde{X} = A \tilde{X}_{-1} + B \tilde{X}_{-2} + C \tilde{X}_{-3} + D X_m + E X_{m-1} + F X_{m-2} + G T^2 (\gamma_{-1} - \gamma_{-2})$
- **4^{ème} ordre :** $\tilde{X} = A \tilde{X}_{-1} + B \tilde{X}_{-2} + C \tilde{X}_{-3} + D \tilde{X}_{-4} + E X_m + F X_{m-1} + G X_{m-2} + [(H+I)\gamma_{-1} - H\gamma_{-2} - I\gamma_{-3}] T^2$

Complémentation d'un filtre bouchon avec X_c :

Filtrage avec complémentation d'un filtre bouchon : $\tilde{X} = A \tilde{X}_{-1} + B \tilde{X}_{-2} + C X_m + D X_{m-1} + E X_{m-2} + F(X_c - X_{c-1})$

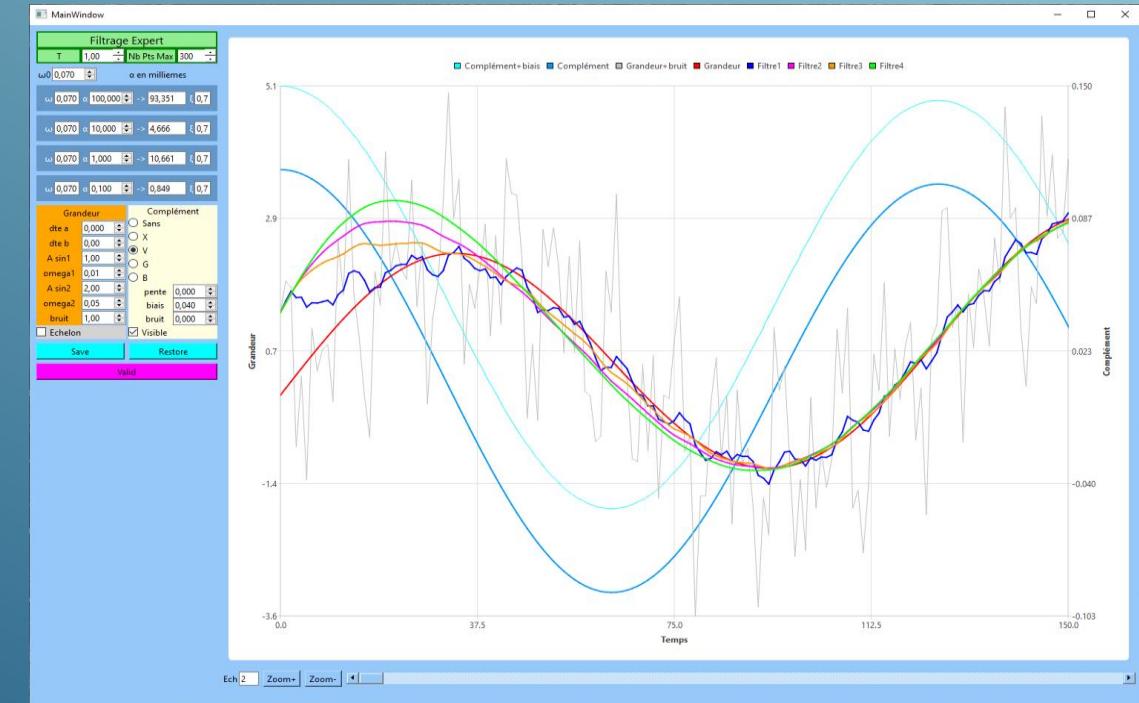
Compléments

Documentation complète

- La documentation contient la démonstrations de toutes les formules
- Elle contient tous les guides de choix des filtres, des ralliements, des coefficients.
- Elle contient tous les principes d'automatisme de base

Atelier de filtrage Expert

Cet atelier multi-plateformes, permet de tester les différents filtrages classiques ou experts sur des exemples divers, de régler les bruits, les biais, les dérives, les coefficients des filtres afin de voir leurs effets sur les résultats, de les enregistrer, de les rejouer, ou de les confronter à des situations réelles.



On peut modéliser les performances réelles qu'aura votre système



Le Filtrage Expert FIN

Contact

Site : <https://www.sigexpert.fr>

Entreprise : FILTRAGE EXPERT

SIREN 841 714 090

tél : 06 74 45 29 48

mél : filtrage.expert@gmail.com

Localisation : Toulon