

# Filtre Opérationnel Rapide (FOR)

Appedge, une société de hautes technologies spécialisée dans le Temps-Réel et l'Automatique.

Site Web: [www.appedge.com](http://www.appedge.com) - E-mail: [info@appedge.com](mailto:info@appedge.com) - Téléphone: 01 47 82 95 05.

## I. Introduction.

Le Filtre Opérationnel Rapide (**FOR**<sup>TM</sup>) proposé par Appedge est basé sur les dérivateurs algébriques développés par l'INRIA/CNRS<sup>1</sup>. Les dérivateurs opérationnels sont très simples à régler et d'une efficacité redoutable par rapport au filtrage classique.

## II. Principe du FOR.

L'objectif est de reconstruire un signal à chaque instant en y faisant passer un polynôme dont on extrait

$$Y(t) \text{ et } \frac{dy}{dt}, \text{ estimés en temps réel.}$$

## III. Aspect Mathématique et Temps-réel.

Les filtres basés sur les mathématiques opérationnelles s'expriment en temps continu sous forme de fractions rationnelles d'intégrales. La mise en œuvre numérique de ces filtres nécessite un grand nombre d'opérations et un échantillonnage élevé, d'après la manière préconisée dans la littérature pour leur utilisation et leur implémentation en continu, en discret ou en différentiel. Cette approche rend très difficile leur utilisation en temps réel contraint : cadence réduite, charge CPU, résolution et initialisation des filtres sont habituellement des points bloquants.

Ce handicap a été levé par APPEDGE qui a mis au point une nouvelle méthodologie d'intégration de ces filtres tout en respectant les contraintes machines et en minimisant de manière substantielle le nombre d'opérations. Dans certains cas, le nombre d'opérations est égal à celui d'un filtre classique. Cette nouvelle méthodologie ouvre des perspectives importantes dans **l'estimation des paramètres en ligne** mais surtout dans l'estimation des dérivées pour la mise en œuvre des PID<sup>2</sup> ou la régulation en temps réel. Avant, l'utilisation de ce type de filtre était rédhibitoire voire impossible en temps réel sans d'énormes moyens CPU.

## IV. Déploiement du FOR.

La mise en forme peut se faire directement sur des plateformes temps réel en 16 bits ou moins suivant l'étendue du signal à traiter.

Appedge propose une version :

- Simulink<sup>TM</sup> pur pouvant ainsi être généré sur des cibles temps réel différentes.
- FPGA qui permet de remplacer des filtres classiques en CI.
- Sur tout simulateur (OpenModelica, Amesim<sup>TM</sup>, Dymola<sup>TM</sup> ou application propriétaire).

## V. Mise en œuvre ultra simplifiée et certaine.

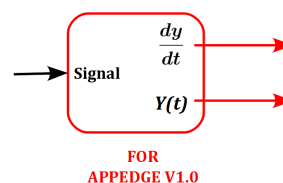
La mise en œuvre des filtres se fait sans calcul préliminaire et est très simple. Le filtre dispose de 2 paramètres de réglage :

- l'ordre du filtre
- la période d'échantillonnage du filtre.

Les sorties du filtre sont la dérivée temporelle du signal et le signal filtré  $Y(t)$ .

L'obtention de la **dérivée temporelle**, généralement inconnue de manière théorique, ne se fait pas avec les techniques « essais erreurs » des filtres numériques ou des réglages fastidieux de compromis entre la dynamique et le bruit du signal. Pour le **FOR**, si la reconstitution du signal est satisfaisante par rapport à ses exigences, la dérivée est affichée.

Fig. 1: Composantes du FOR.



## VI. Charge CPU et réglage.

La charge CPU dépend du filtrage souhaité mais aussi du nombre d'échantillons disponibles, par exemple sur un temps de montée. Le **FOR** peut s'appliquer sur des signaux à faibles échantillonnages (4 ou 5 par temps de montée) ; dans ce cas l'ordre du **FOR** devra être choisi relativement faible. Dans le cas où le signal est sur-échantillonné (plus de 100 points sur un temps de montée), l'ordre du **FOR** pourra être augmenté et jouer sur l'échantillonnage. La charge peut alors être comprise entre trois et une trentaine d'opérations avec l'utilisation d'une dizaine à 2 cases mémoires par période d'acquisition.

<sup>1</sup> Analyse fréquentielle des dérivateurs algébriques : Francisco de Asís GARCÍA COLLADO, Brigitte D'ANDRÉA-NOVEL, Michel FLIESS, Hugues MOUNIER, GRETSI

<sup>2</sup> Fiche produit 1: Temps réel PID Générique (Réglage online sans modèle)

### VII. Avantage FOR / Filtre classique.

- Un réglage simple avec des résultats performants instantanément.
- **FOR** garantit la vraie dérivée du signal puisque le signal est reconstruit à partir de la dérivée estimée.
- Le filtre est sans retard dans une utilisation optimale.
- Le signal filtré est beaucoup moins saccadé qu'un filtre classique tout en conservant la dynamique du signal. Il n'est donc plus nécessaire d'accorder le filtre au calcul à réaliser.

Fig. 2: Common Rail



### VIII. Application du Filtrage et dérivation Common Rail.

Il s'agit de filtrer et d'estimer la dérivée de la pression Rail.

Pour obtenir une dérivée exploitable avec les méthodes classiques (filtre + dérivateur), il est nécessaire de prendre une dynamique de filtrage qui écrase le signal. Ce filtrage n'est pas utilisable pour d'autres calculs (trop de retard).

Dans un système de régulation RAIL ou autre, il y a généralement autant de filtres que d'étapes de calcul puisque chaque filtre numérique doit être adapté au calcul que l'on souhaite faire en aval. Cela augmente donc significativement la charge CPU. Ce n'est plus le cas avec le **FOR**, d'où un gain CPU important.

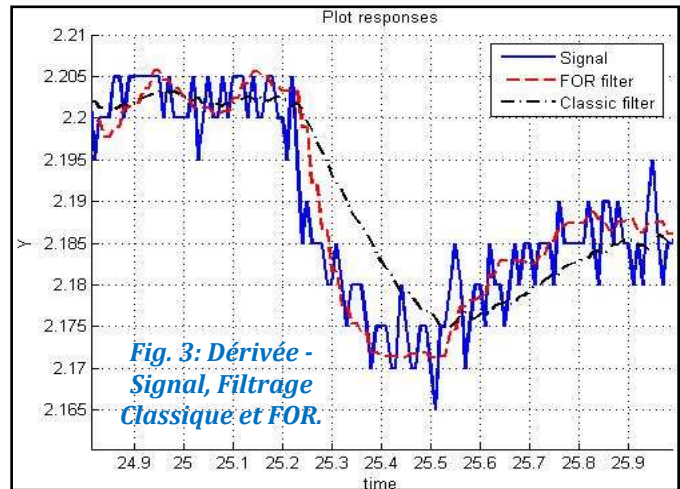


Fig. 3: Dérivée - Signal, Filtrage Classique et FOR.

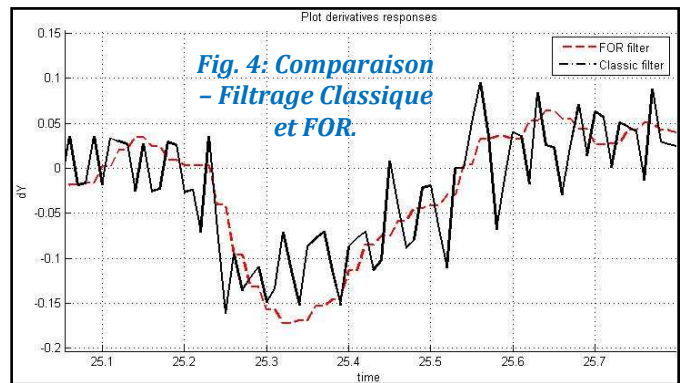


Fig. 4: Comparaison - Filtrage Classique et FOR.

### IX. Cylinder Balancing.

L'objectif est de caractériser en moins de 30 échantillons un piston parmi 2, 3, 4,... afin d'adapter l'injection pour équilibrer les efforts sur le vilebrequin et améliorer la combustion. La qualité, la régularité des signaux obtenus par **FOR** permet sans effort de diagnostiquer et de discerner les différences entre les cylindres sans la mise en place d'algorithmes complexes, mais tout simplement en comparant l'amplitude du signal dérivée de chaque cylindre. La dérivée numérique en jaune ne permet pas d'atteindre la précision et la régularité souhaitée (signal trop chaotique sur toute la plage de fonctionnement du moteur).

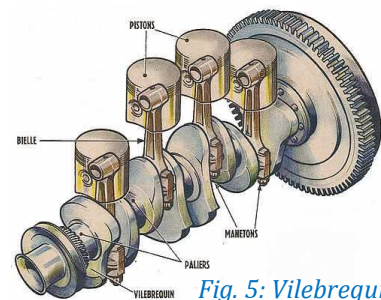


Fig. 5: Vilebrequin pour un moteur à 4 cylindres.

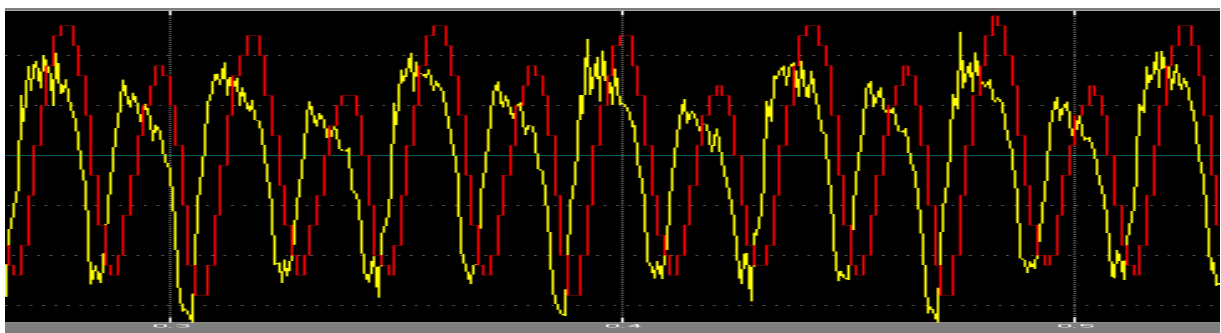


Fig. 6: Comparaison pour le Cylinder Balancing - Numérique (Jaune) et FOR (Rouge).