

Apport de la Cyclostationnarité pour le Diagnostic de Systèmes Mécaniques, Électriques et Biomécaniques.

Mohamed EL BADAoui

LASPI EA-3059

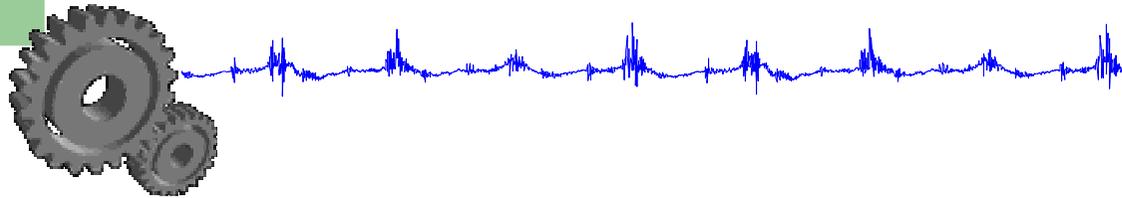
Laboratoire d'Analyse des Signaux et des Processus Industriels, 20, Av. de Paris, 42300 Roanne



Sommaire

- **Rappel sur la Cyclostationnarité**
- **Estimation de la taille d'un défaut d'écaillage**
- **Analyse de la locomotion humaine**
- **Séparation de sources cyclostationnaires**
- **Conclusion et perspectives**

Principe



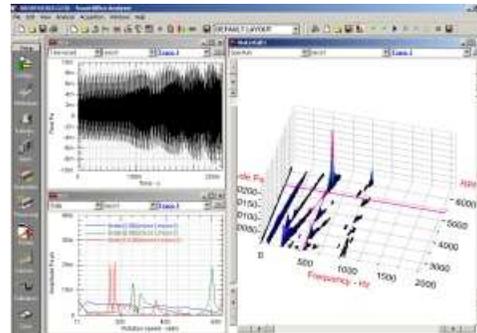
Acquisition des signaux



Capteurs : déplacement, vitesse, accélération...

Carte d'acquisition temporelle ou synchrone

Traitement des signaux



Indicateurs statistiques (RMS, Kurtosis,...)

Analyse Fréquentielle....



Analyses statistiques,

Outils de classification (ACP, réseaux de neurones,)

**Prise de décision
(pronostic)**

vendredi 10 septembre
2010

Cyclostationnarité

Phénomène
Aléatoire stationnaire

Phénomène
Périodique

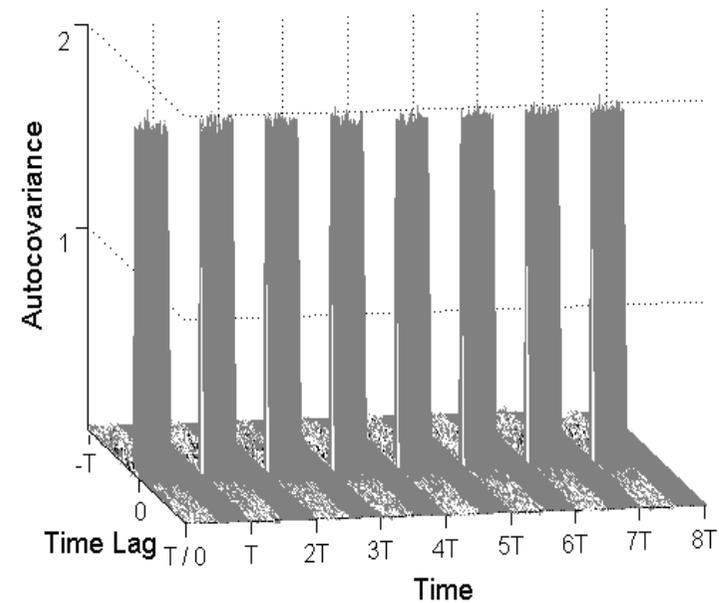
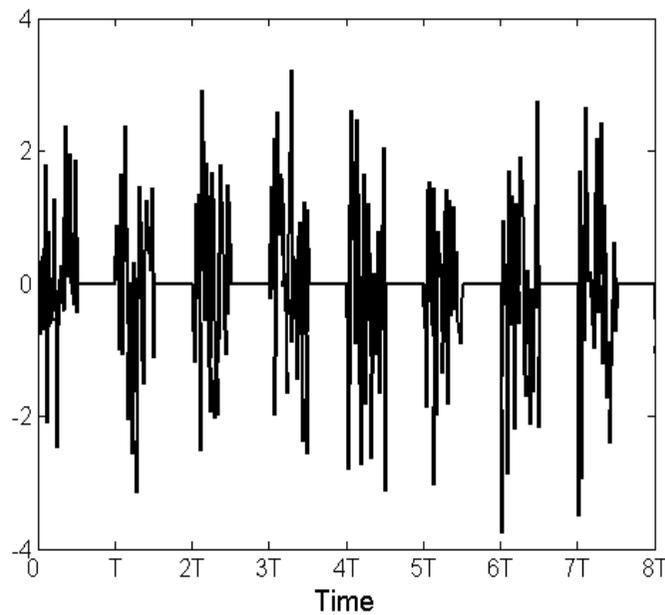
Couplage
(Modulation : Amp./Freq)

Phénomène
Cyclostationnaire

vendredi 10 septembre
2010

Cyclostationnarité

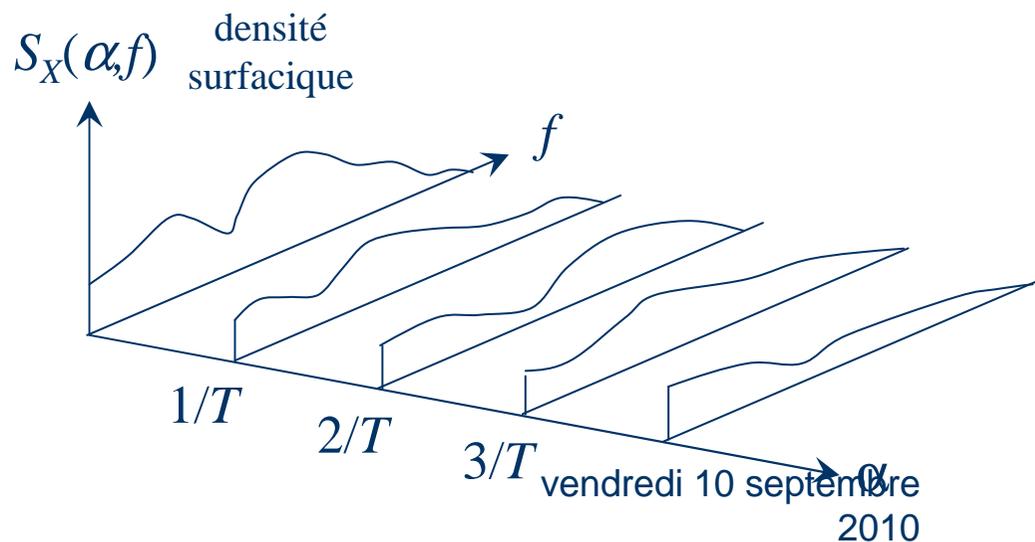
- Modulation d'amplitude aléatoire
 - moyenne cyclique nulle (1st ordre)
 - Fonction d'Autocovariance Cyclique (FAC) (2nd ordre)



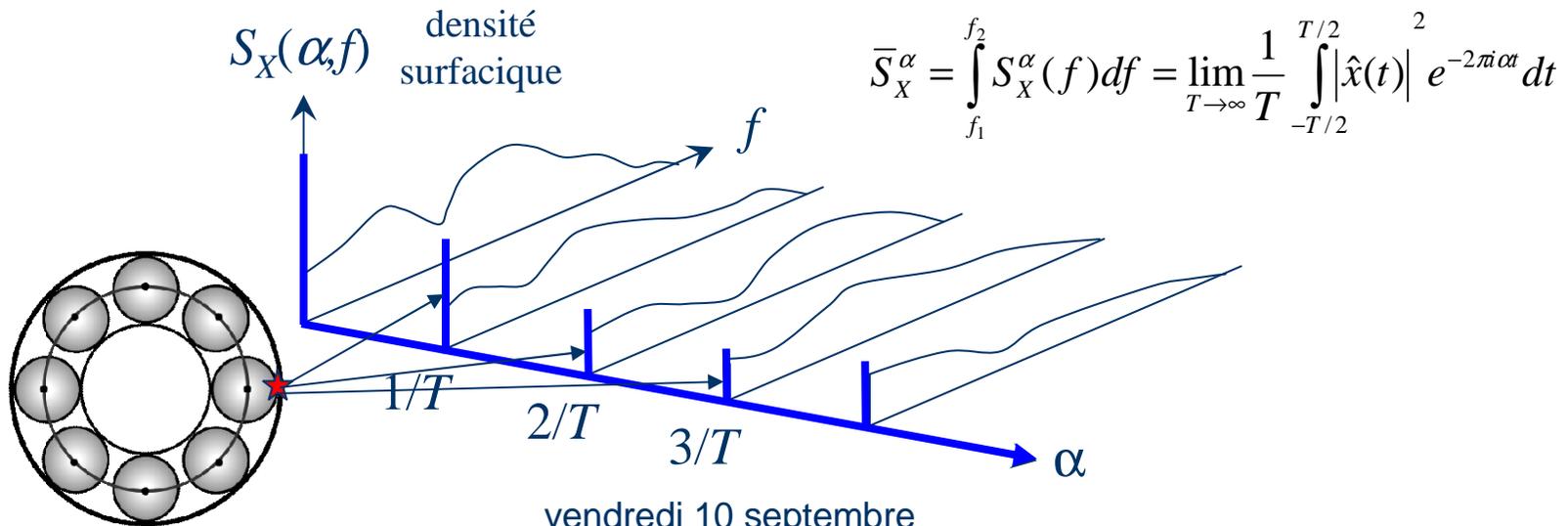
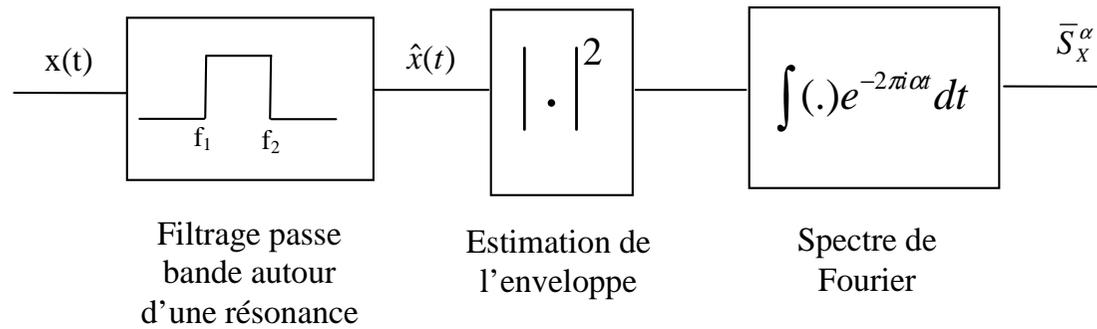
Densité Spectrale Cyclique

- Corrélation spectrale
 - TF 2D de la Fonction Autocorrélation Cyclique, avec $t \rightarrow \alpha$, $\tau \rightarrow f$
 - Corrélation du spectre avec lui même décalé de α
- Spectre non nulle au fréquence α

$$R_S(t, \tau) \leftrightarrow S_S(\alpha, f) = \lim_{T \rightarrow \infty} E \left\{ S_T(f + \alpha/2) S_T^*(f - \alpha/2) \right\}$$

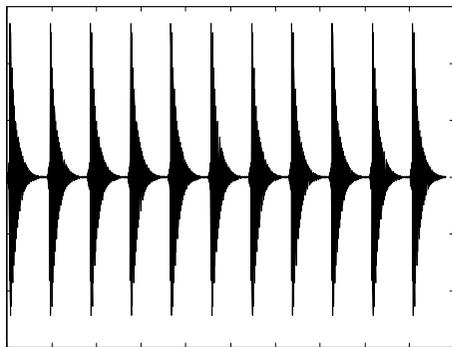


Analyse d'enveloppe

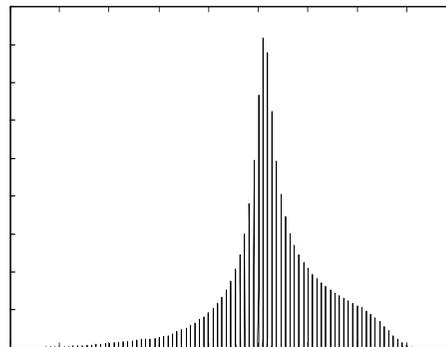


Analyse d'enveloppe : Exploitation de la cyclostationnarité du second ordre

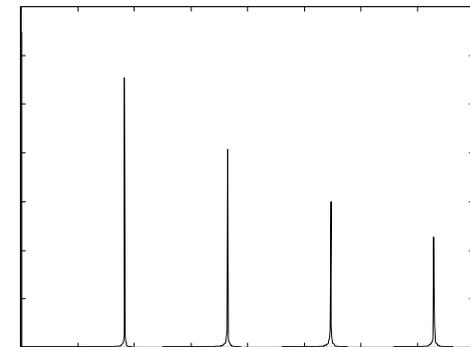
No Random



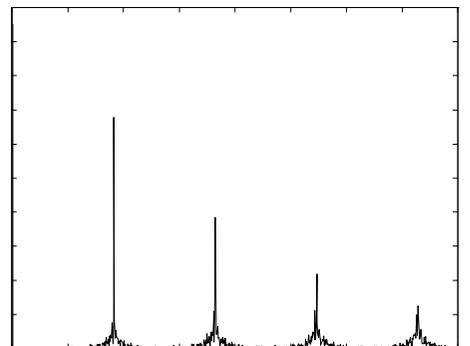
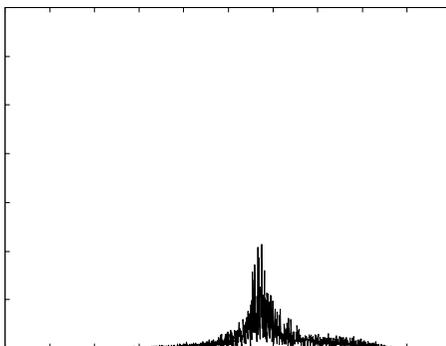
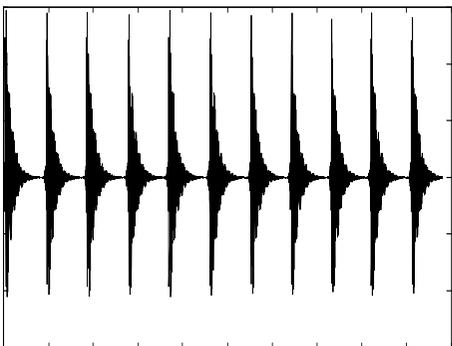
Raw Spectrum



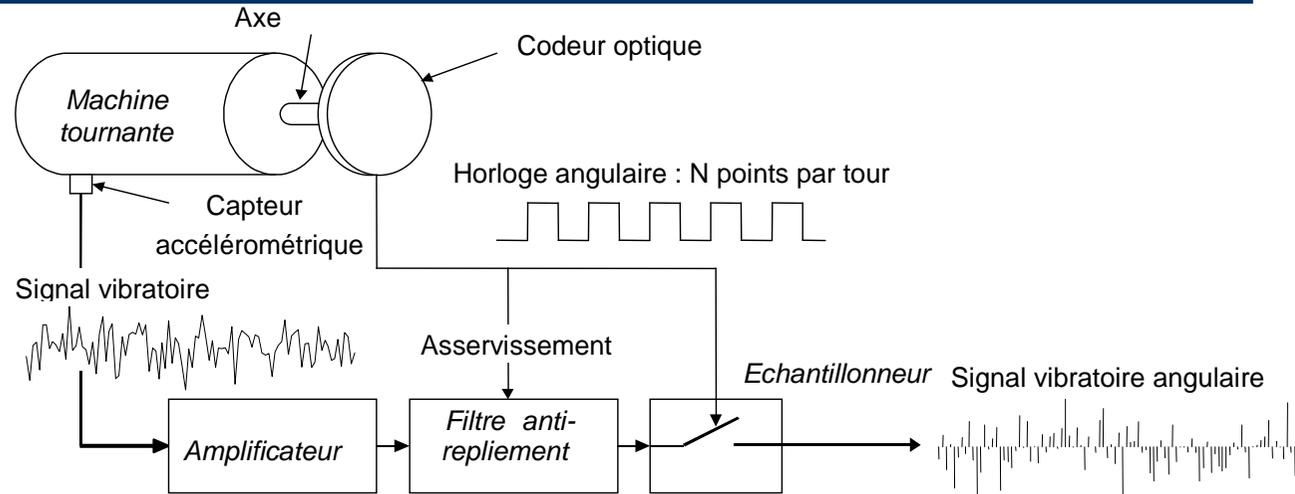
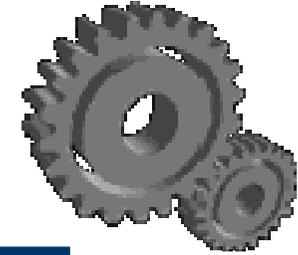
Envelope Spectrum



0.75% Random



Echantillonnage Angulaire



Modélisation du signal vibratoire

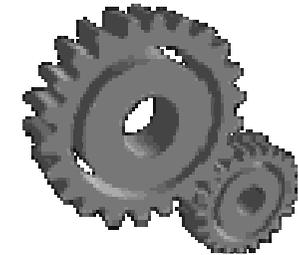
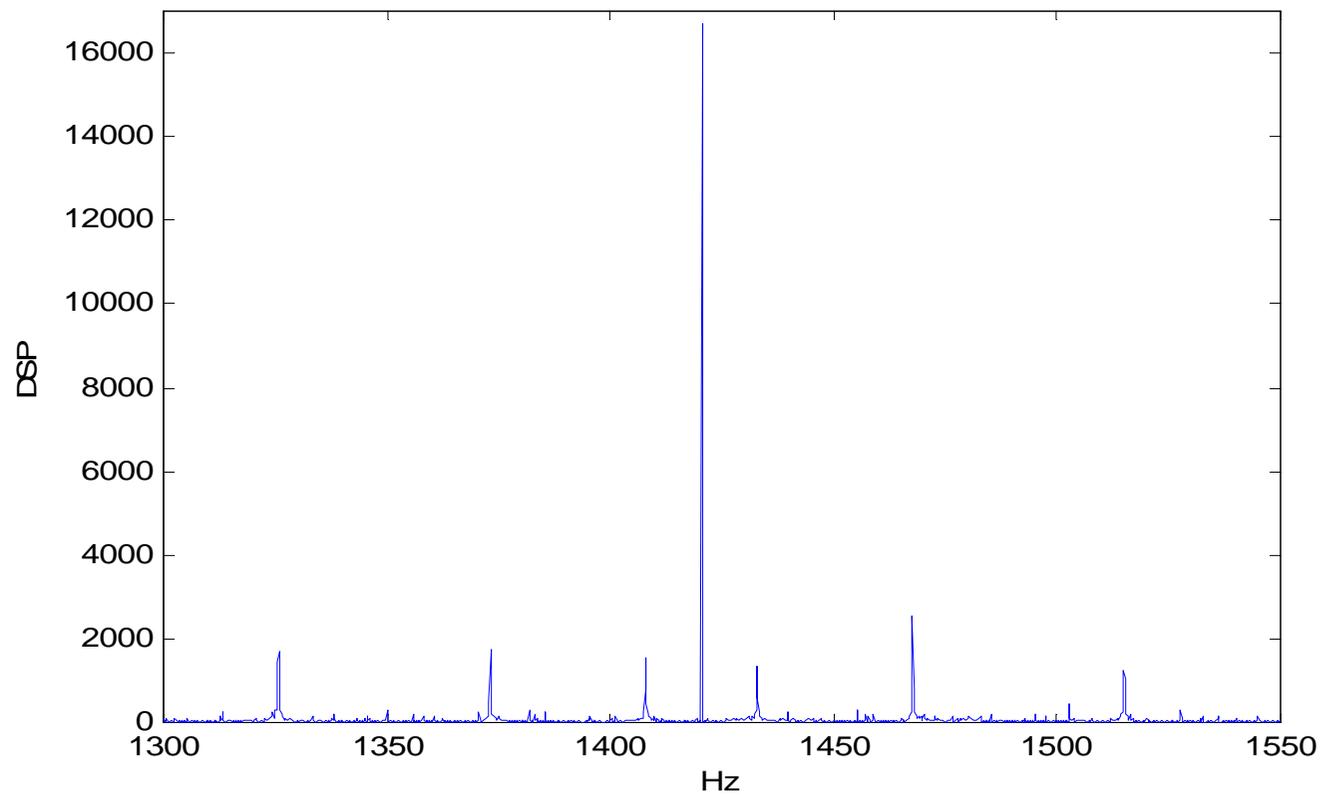
$$s(\theta) = m(\theta) + cs(\theta) + b(\theta)$$

partie périodique / Θ

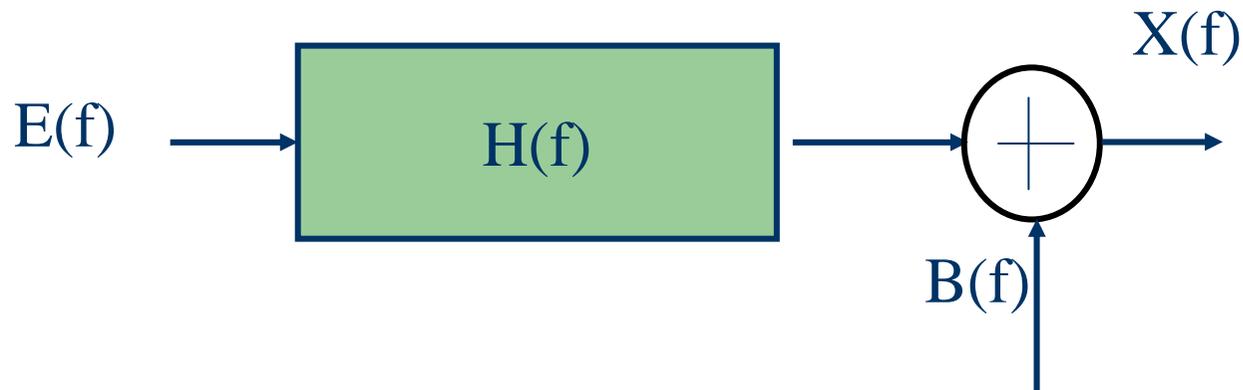
partie cyclostationnaire
d'ordre 2 / Θ

bruit stationnaire / Θ

Echantillonnage Angulaire a posteriori



Identification aveugle



- L'entrée est supposée cyclostationnaire et blanche
- Le bruit est supposé stationnaire

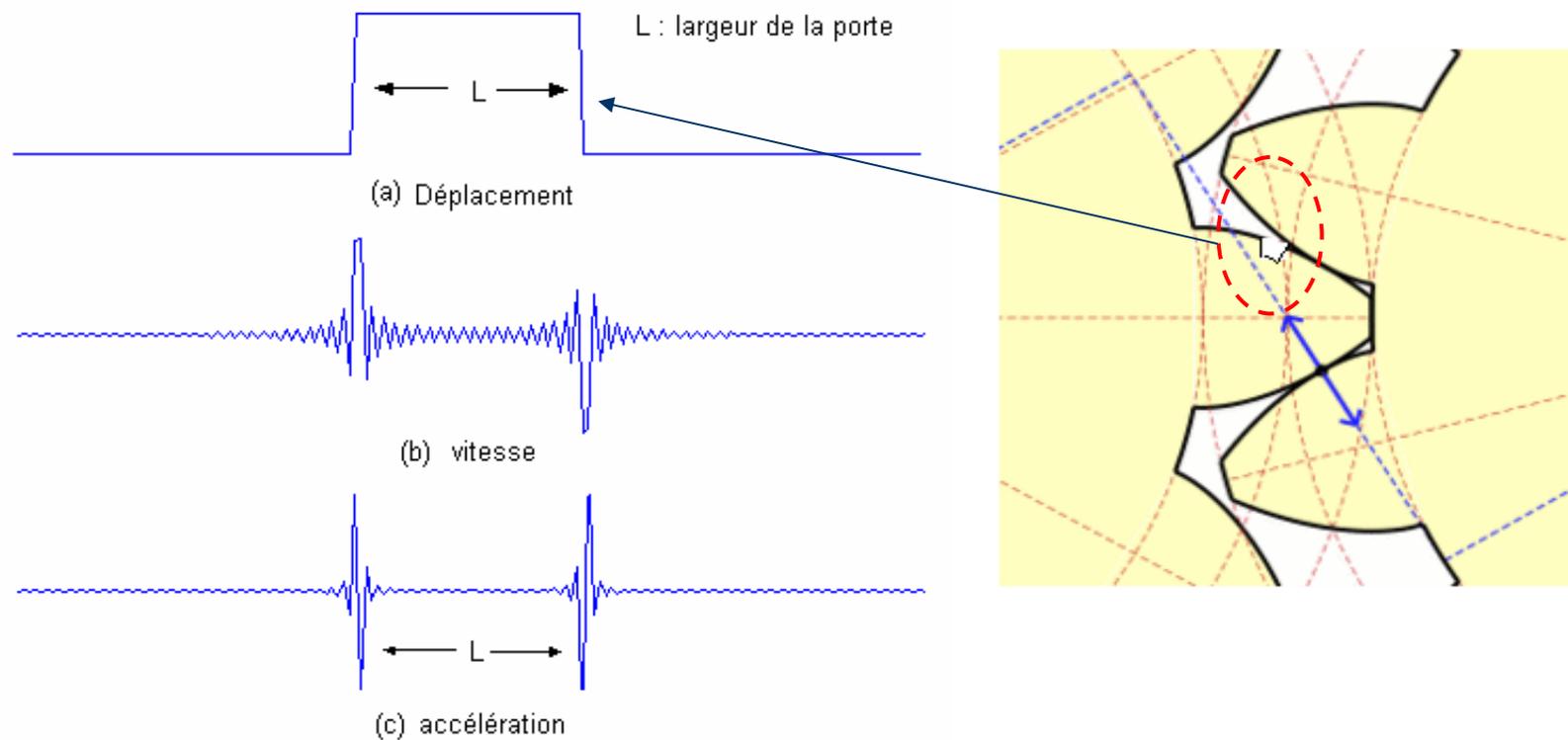
Estimation de l'amplitude et de la phase du filtre :

$$S_x^\alpha(f) = \sigma^2 H\left(f + \frac{\alpha}{2}\right) H^*\left(f - \frac{\alpha}{2}\right)$$

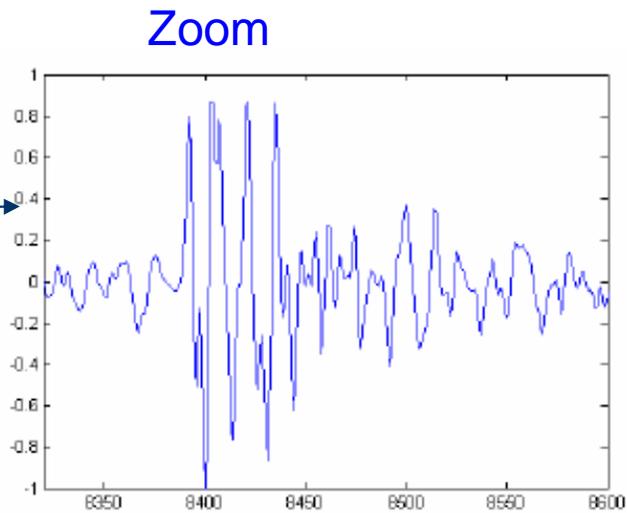
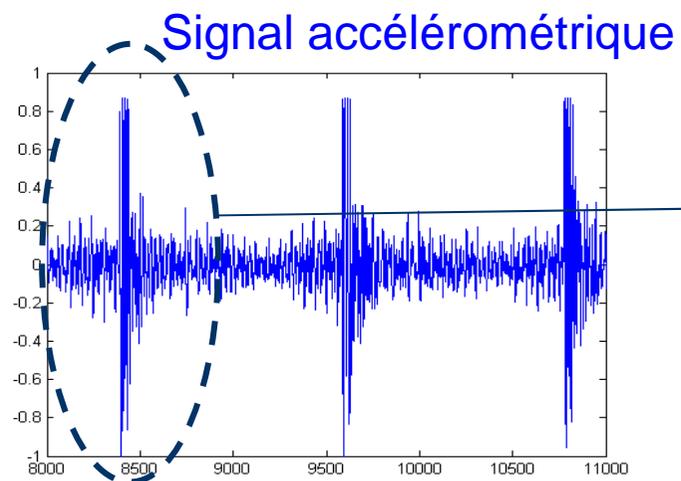
$$|H(f)| = \left(\frac{1}{\sigma}\right) \cdot \sqrt{S_x^0(f)}$$

$$\phi(t) = \frac{j\psi(t)}{2 \sin(\pi \cdot \alpha \cdot t)}$$

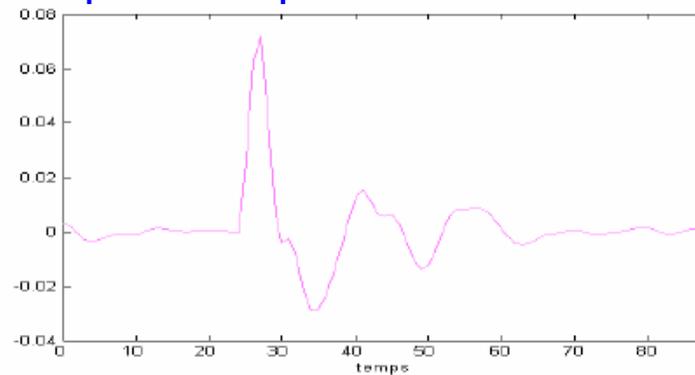
APPLICATION AUX SIGNAUX REELS



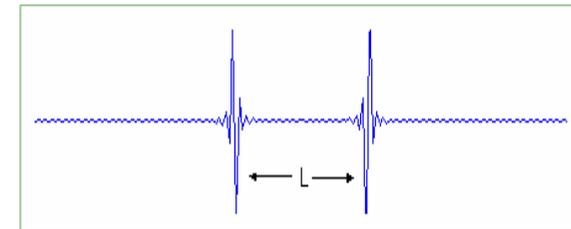
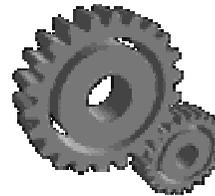
APPLICATION AUX SIGNAUX REELS



Réponse impulsionnelle estimée

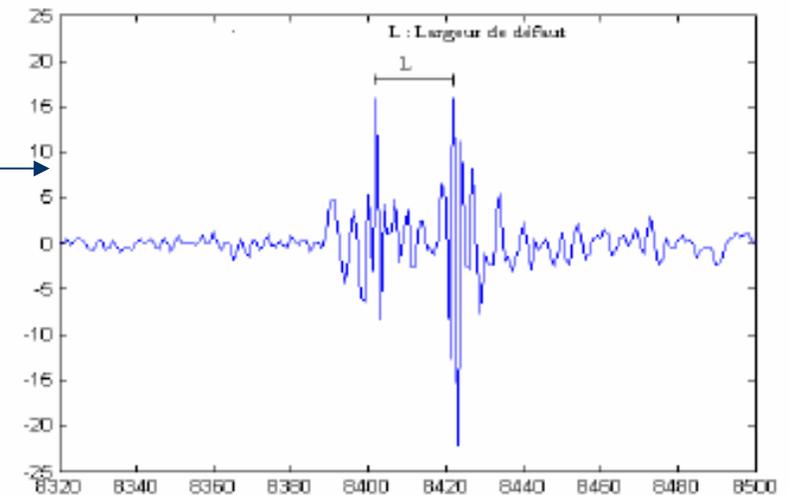
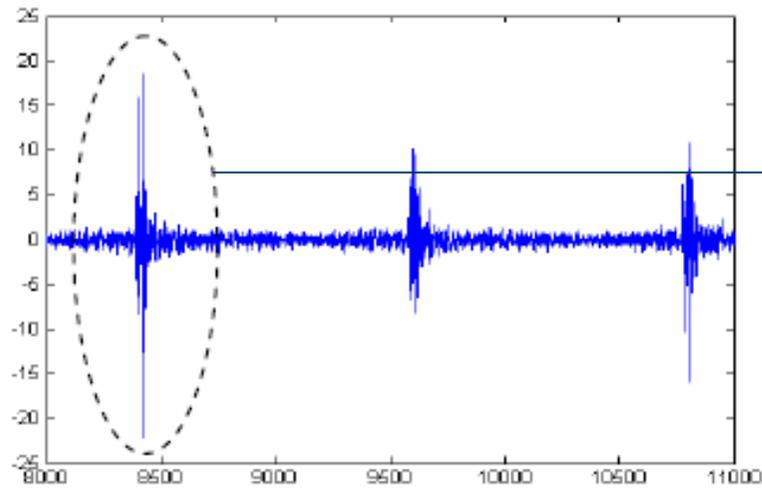


APPLICATION AUX SIGNAUX REELS



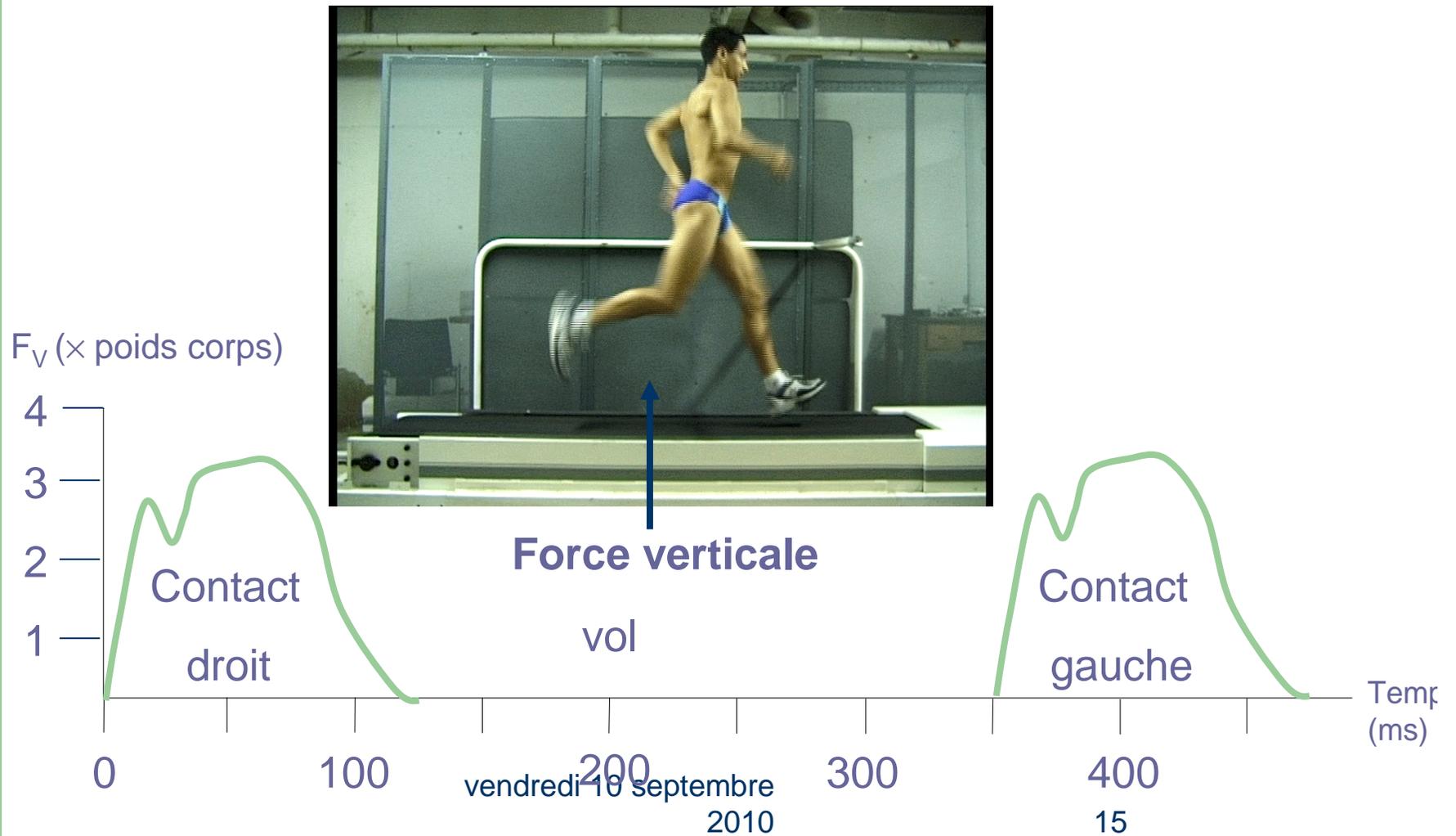
Résultat de la déconvolution

zoom

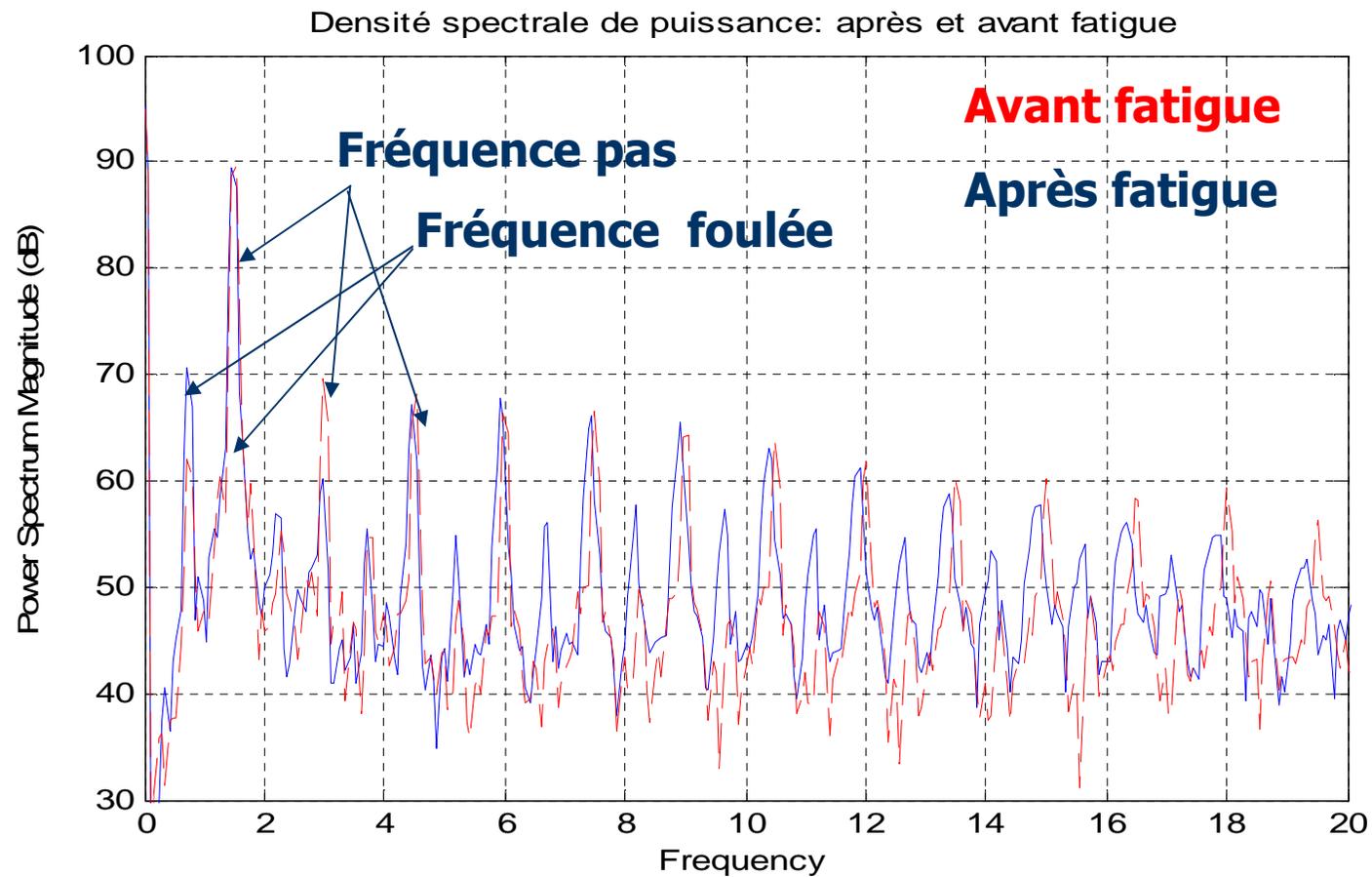


vendredi 10 septembre
2010

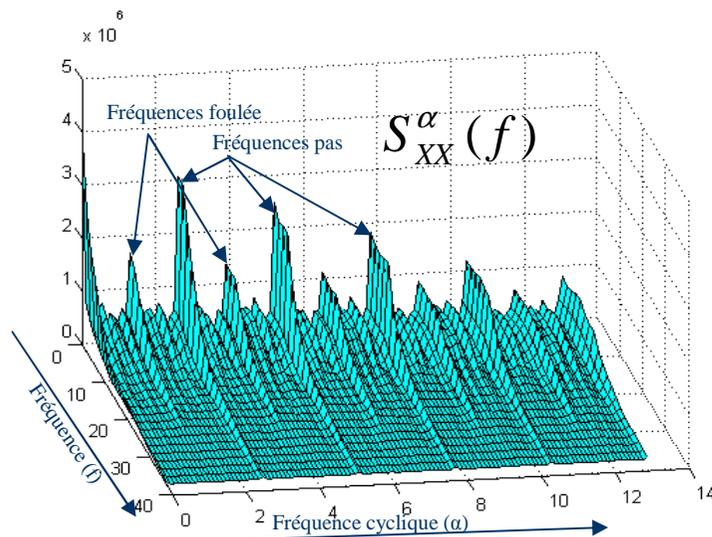
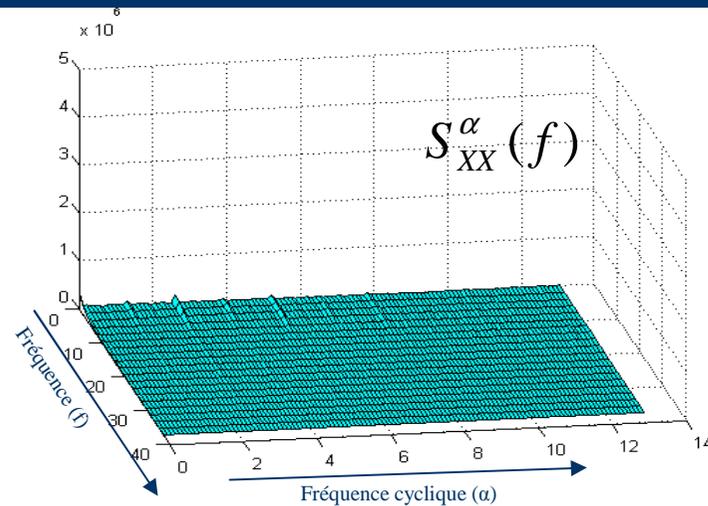
Signaux Biomécaniques



Signaux Biomécaniques



Signaux Biomécaniques

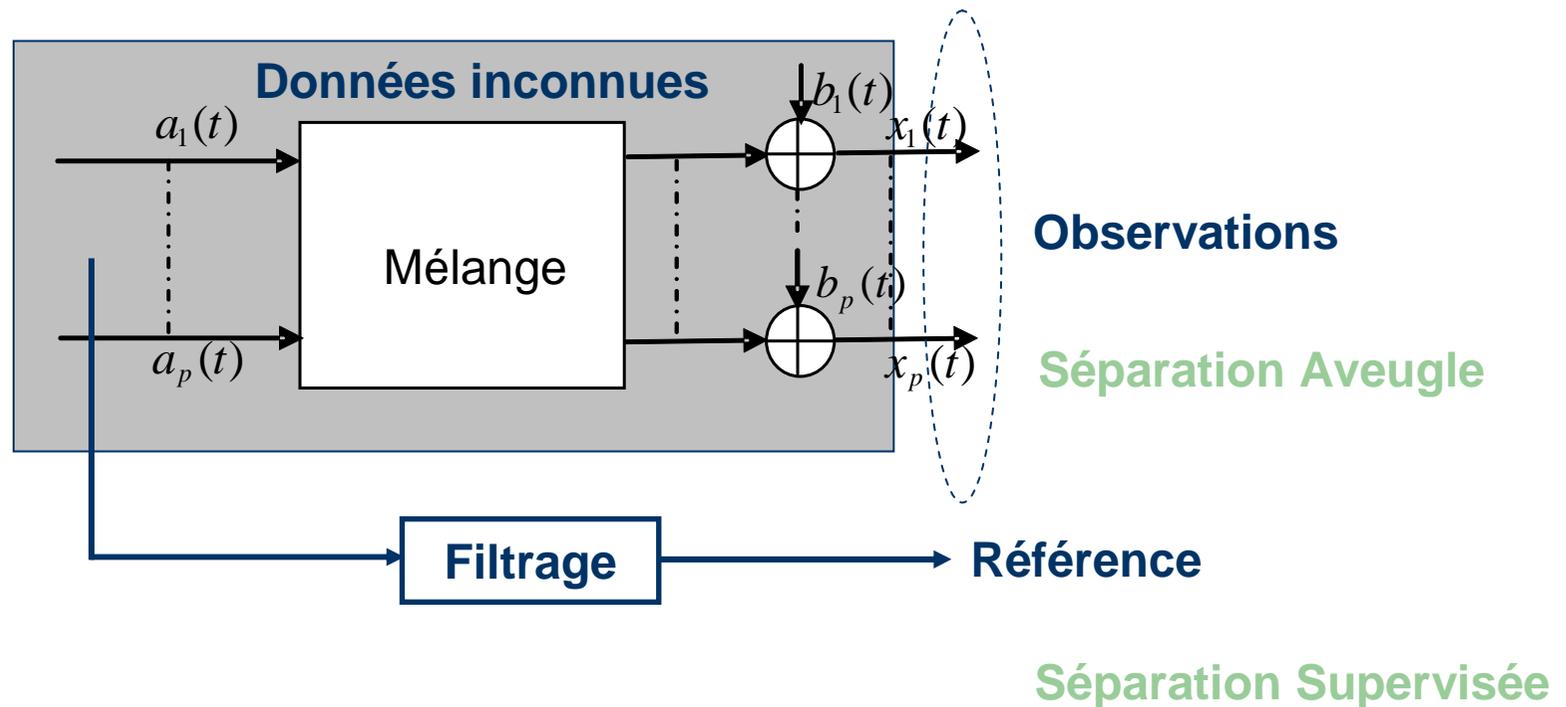


Avant un ultra-marathon

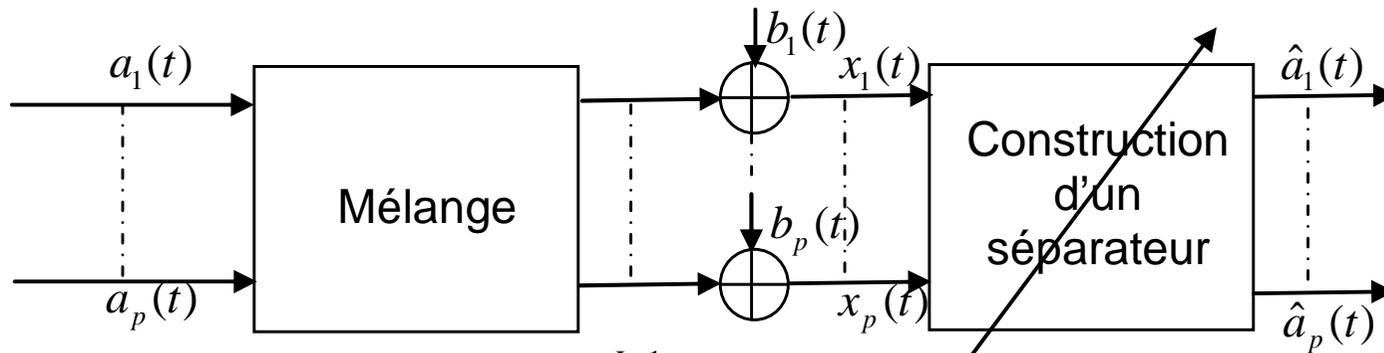


Après 20h de course

Séparation de Sources



Séparation Aveugle de Sources



$$x(t) = \sum_{k=0}^{L-1} H(k)a(t-k) + b(t)$$

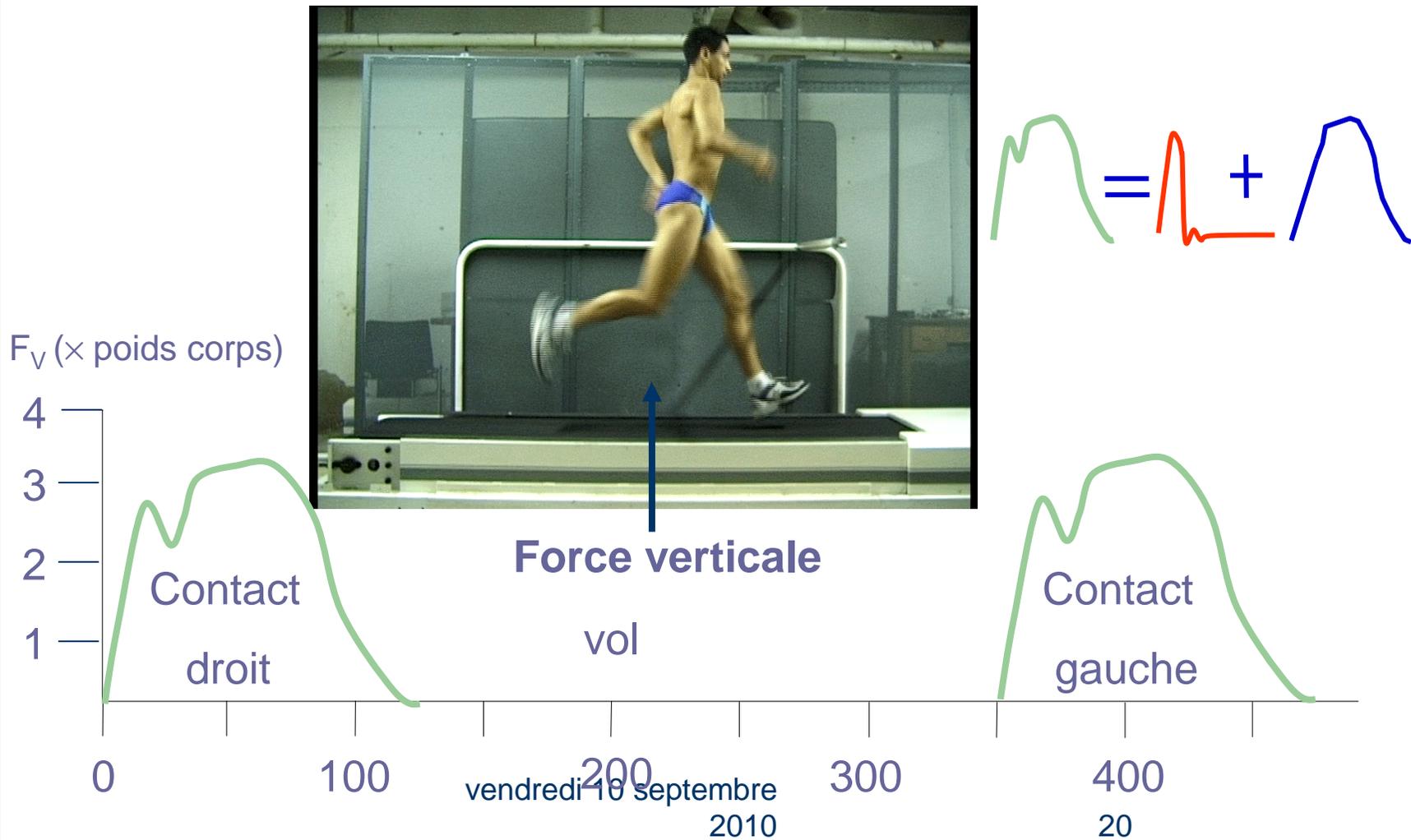
$$X(f_k) = H(f_k).A(f_k) + B(f_k)$$

$$H(f_k) = U(f_k)\Sigma(f_k)V(f_k) \Rightarrow S_X^\alpha(f_k) = E[X(f_k)X(f_k + \alpha)^H]$$

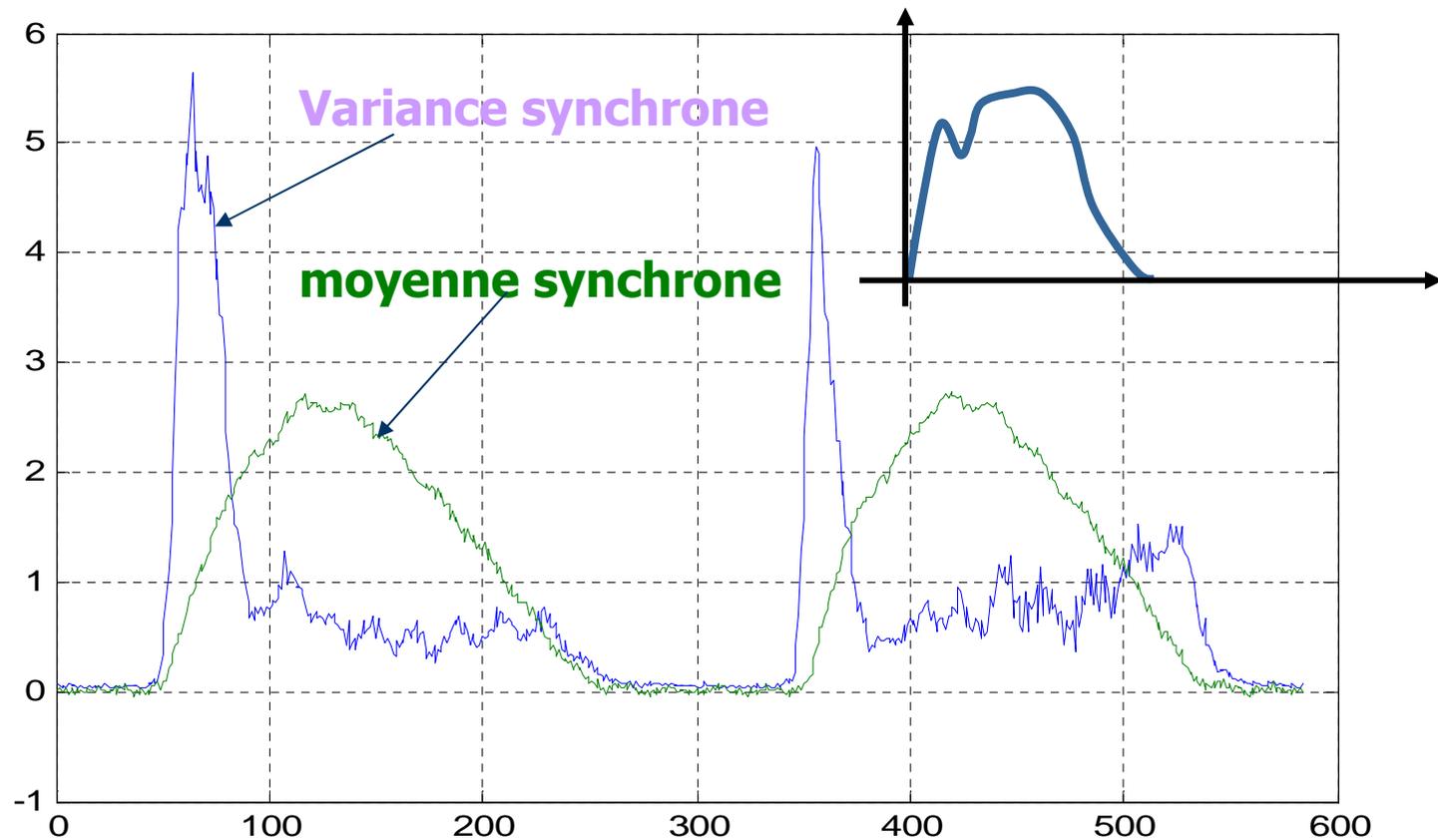
$$\alpha = 0 \Rightarrow U(f_k), \Sigma(f_k)$$

$$\alpha \neq 0 \Rightarrow V(f_k)$$

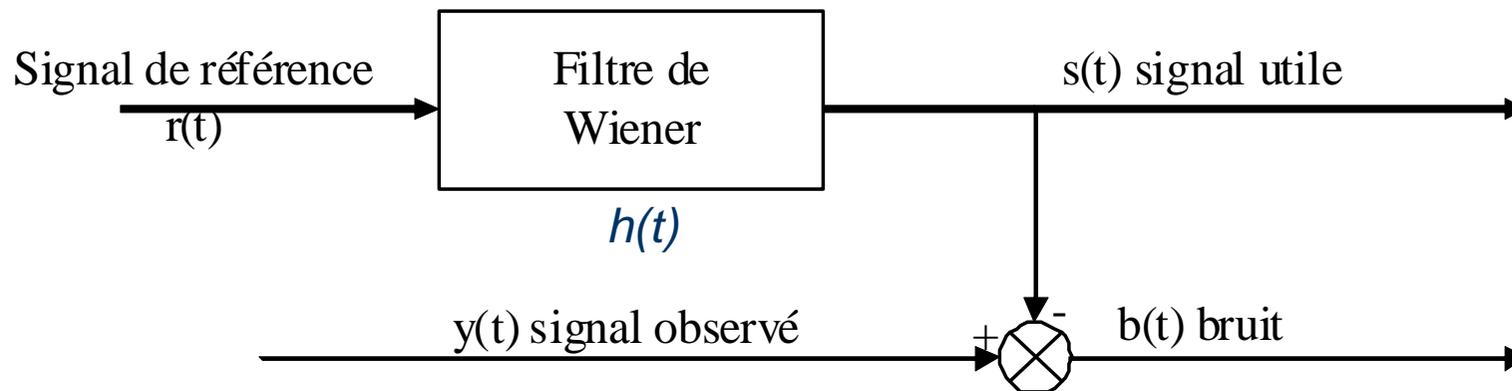
Séparation Aveugle de Sources : Signaux Biomécaniques



Séparation Aveugle de Sources : Signaux Biomécaniques



Séparation Supervisée de sources

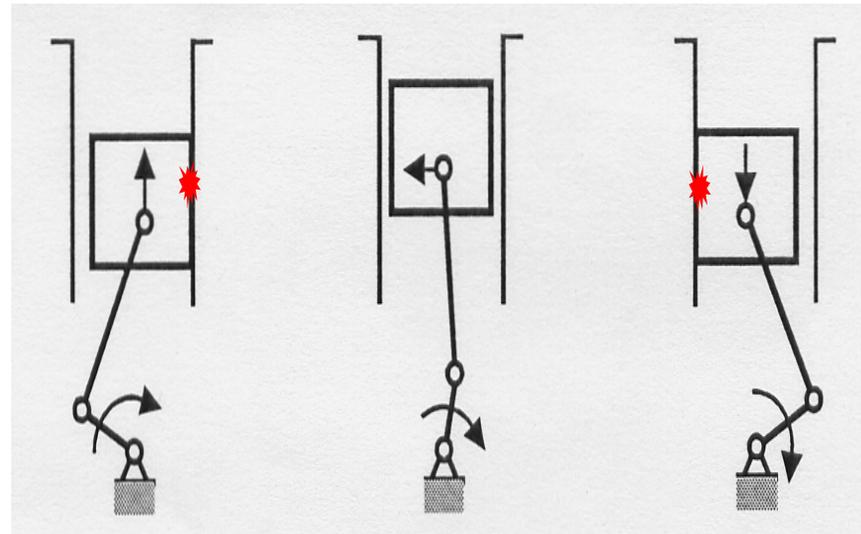
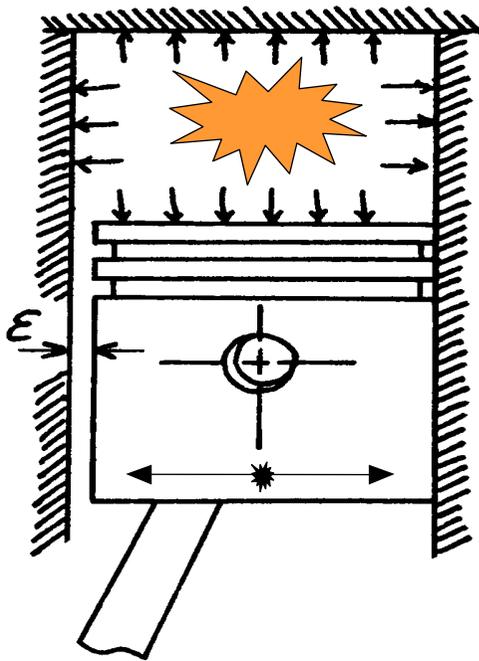


$$H(f) = \frac{S_{yr}(f)}{S_{rr}(f)}$$

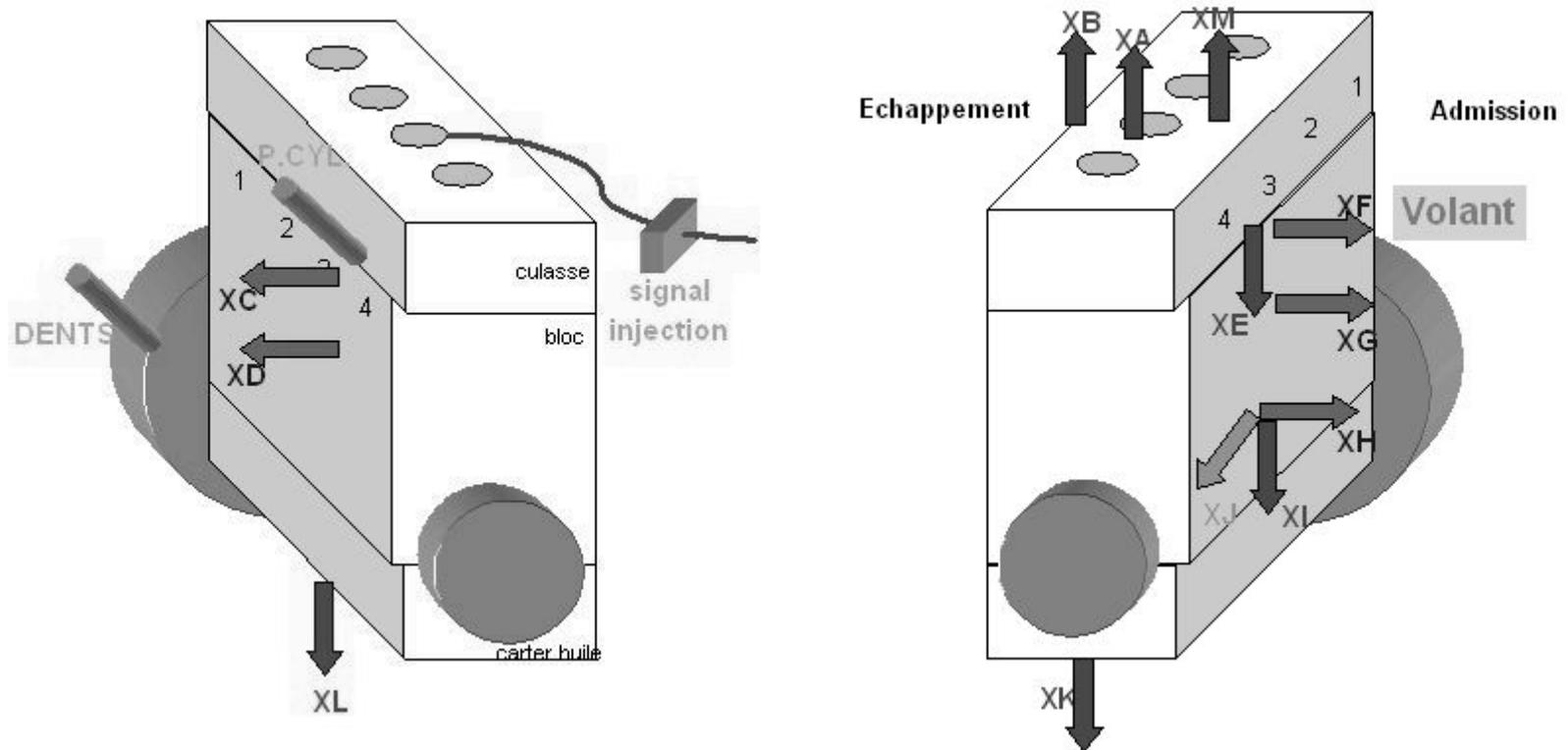
Source 1 → $s(t)$ signal utile

Source 2 → $b(t)$ bruit

Séparation Supervisée de sources : Application Moteur Diesel

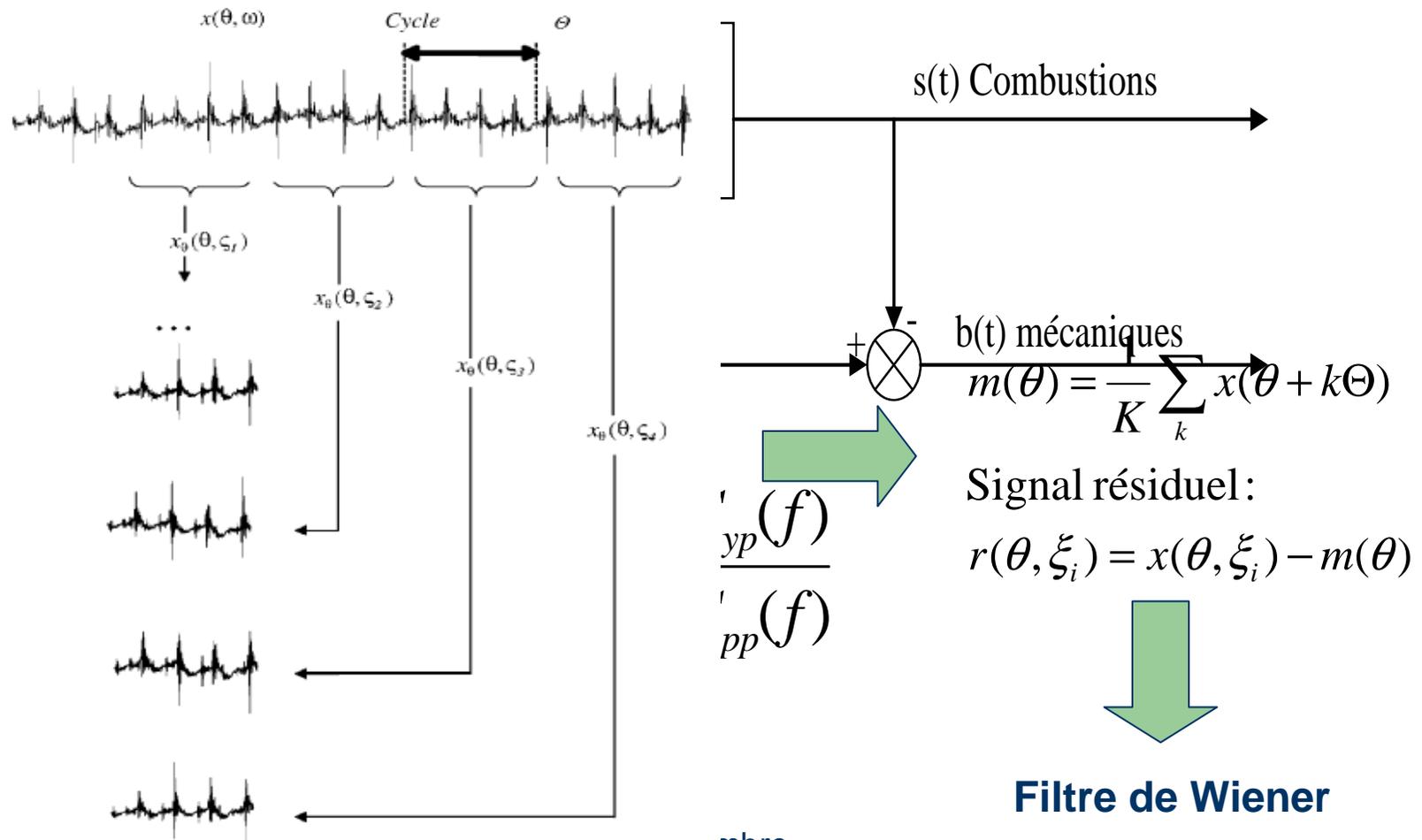


Séparation Supervisée de sources : Application Moteur Diesel

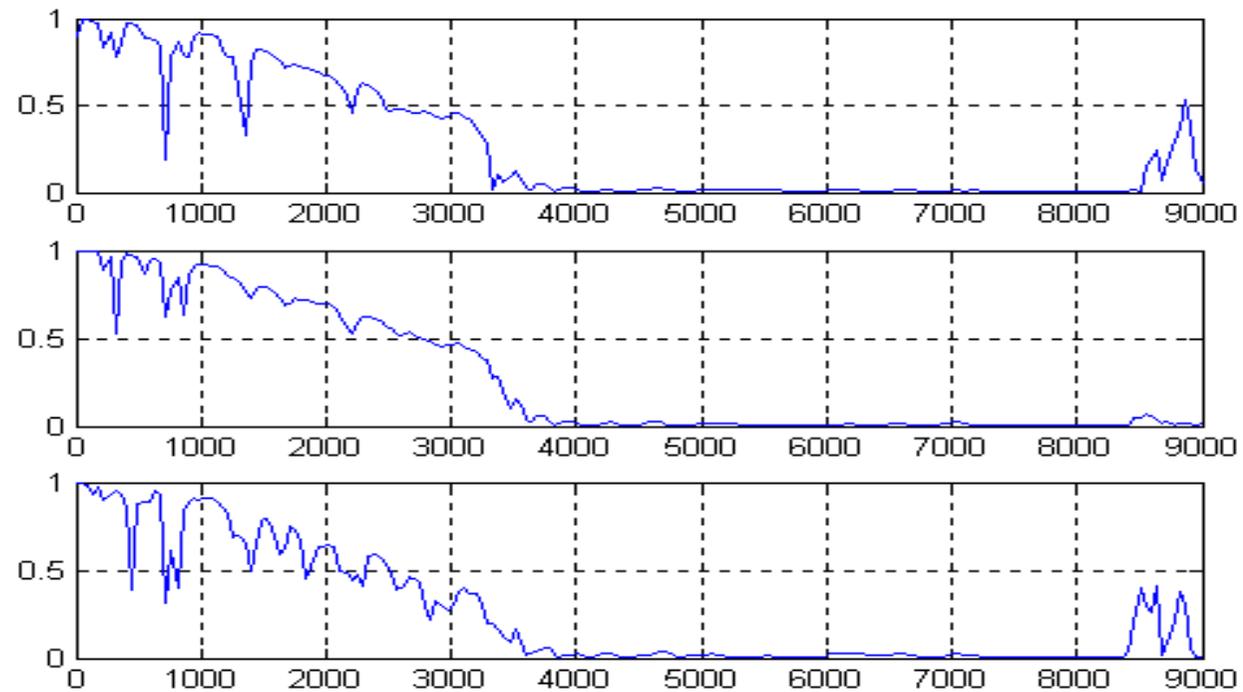


vendredi 10 septembre
2010

Séparation Supervisée de sources : Application Moteur Diesel

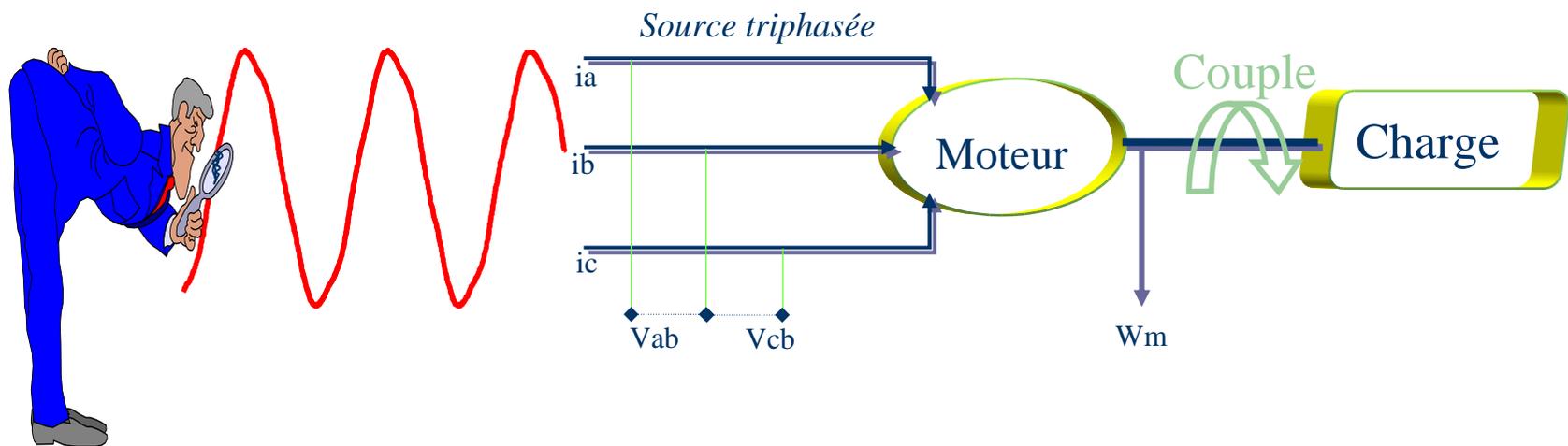


Séparation Supervisée de sources : Application Moteur Diesel



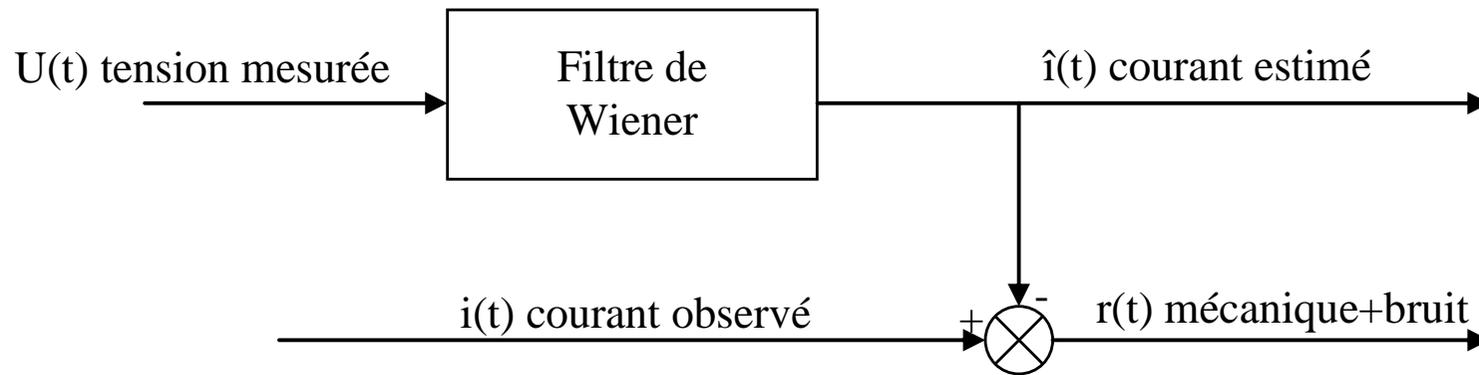
Cohérence spectrale Pressions bruit estimé sur XA, XE et XF

Séparation Supervisée de sources : Application Moteur Asynchrone



- *Avantage : Mise en œuvre*
- *Inconvénient : dynamique importante du 50hz*

Séparation Supervisée de sources : Application Moteur Asynchrone



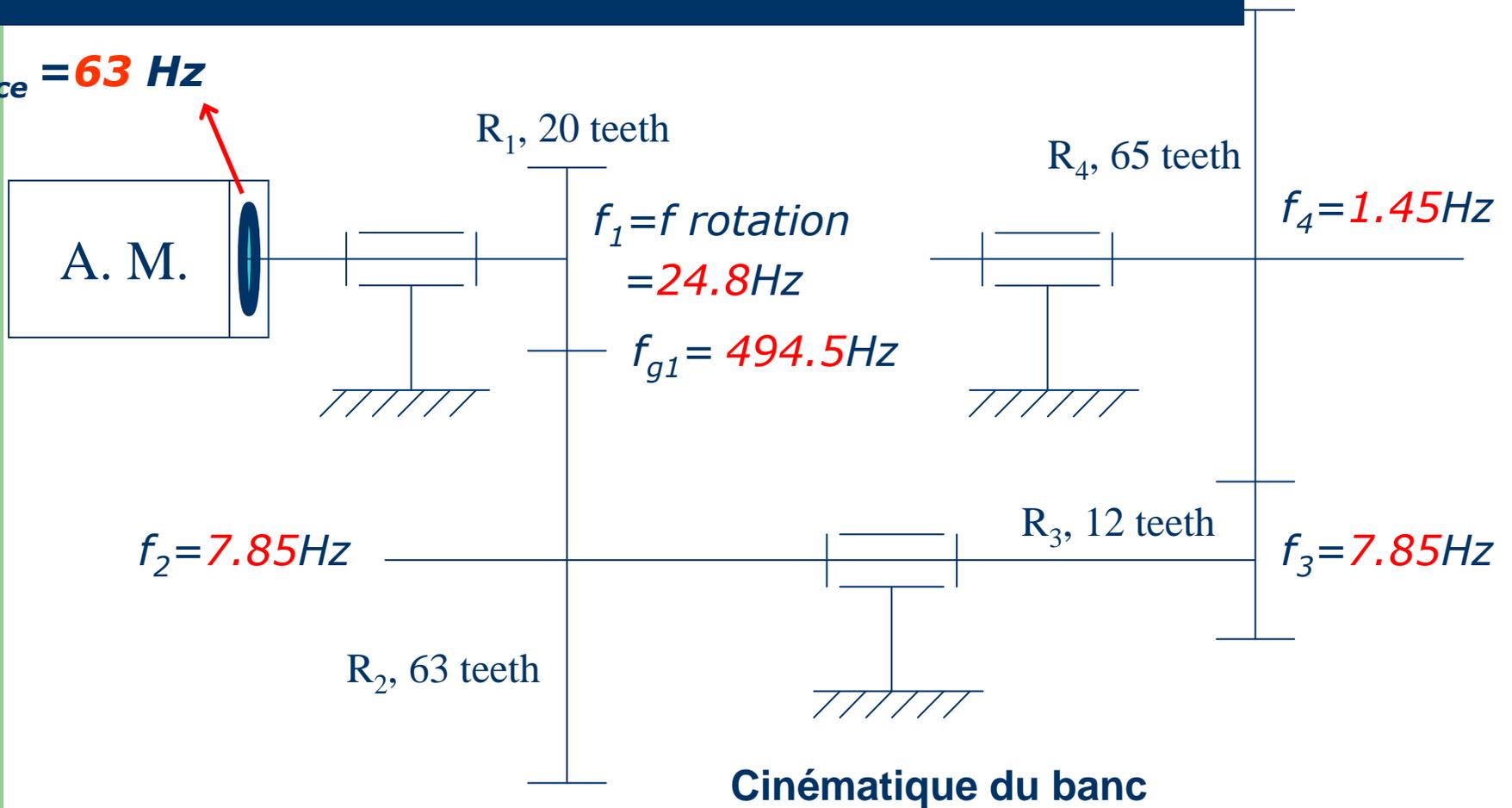
$$H(f) = \frac{S_{iu}(f)}{S_{uu}(f)}$$

Source 1  s(t) grandeur électrique

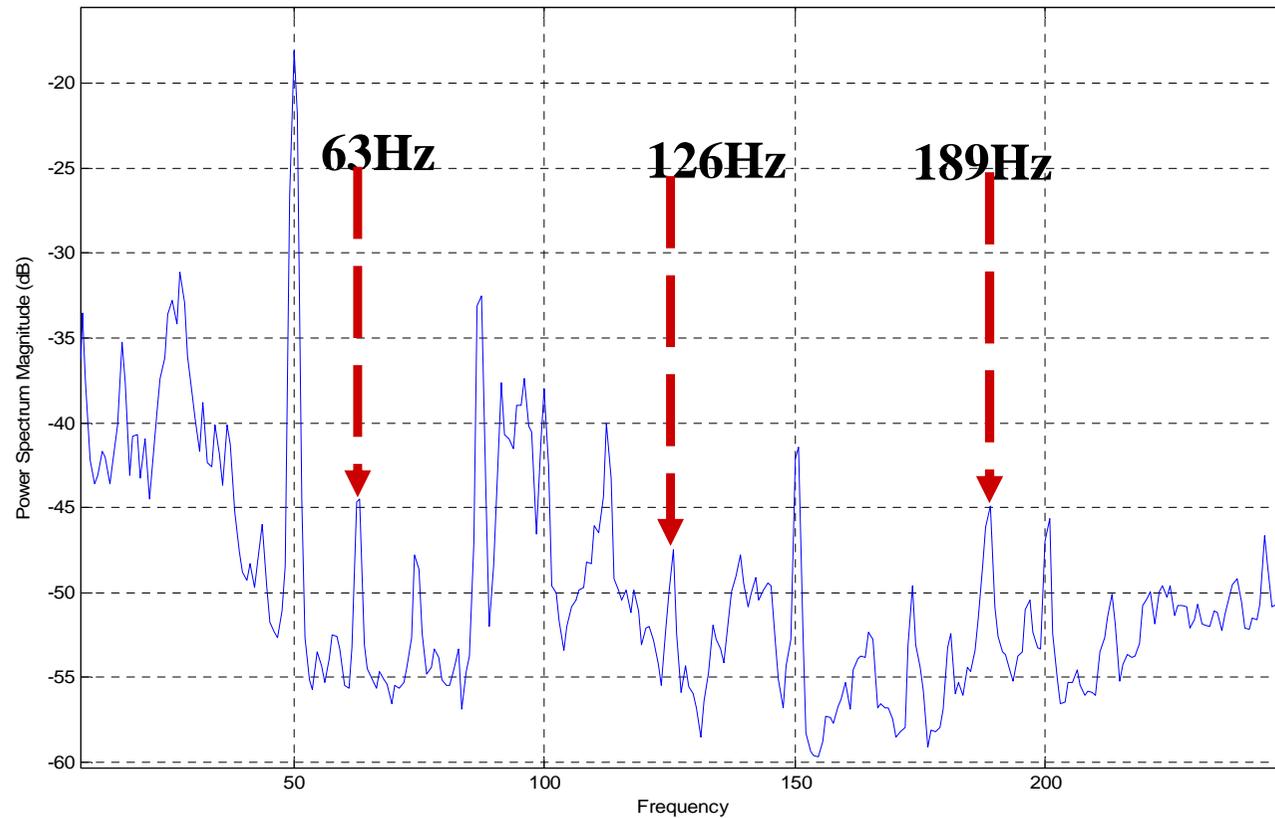
Source 2  b(t) grandeur mécanique

Séparation Supervisée de sources : Application Moteur Asynchrone

$$F_{ce} = 63 \text{ Hz}$$



Séparation Supervisée de sources : Application Moteur Asynchrone

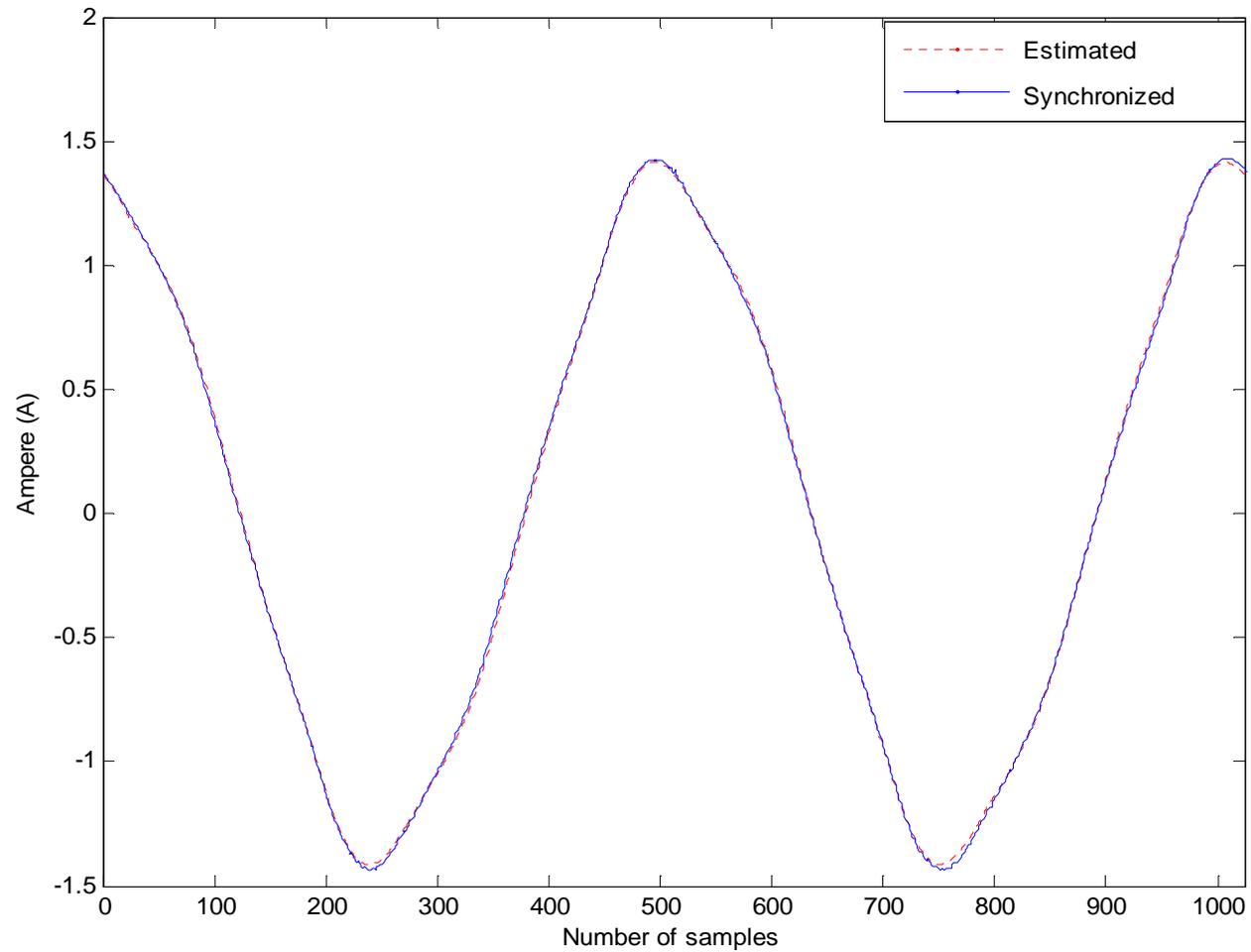


DSP de la vitesse instantanée
vendredi 10 septembre

2010

30

Séparation Supervisée de sources : Application Moteur Asynchrone



Séparation Supervisée de sources : Application Moteur Asynchrone

roulement sans défaut		roulement avec défaut	
grandeur	Kurtosis	grandeur	Kurtosis
courant	1,46	courant	1,57
accélération	2,83	accélération	3,51
signal résiduel r(t)	2,16	signal résiduel r(t)	8
enveloppe signal	12,33	enveloppe signal	66

Conclusion et Perspectives

La cyclostationnarité est un support d'information supplémentaire :

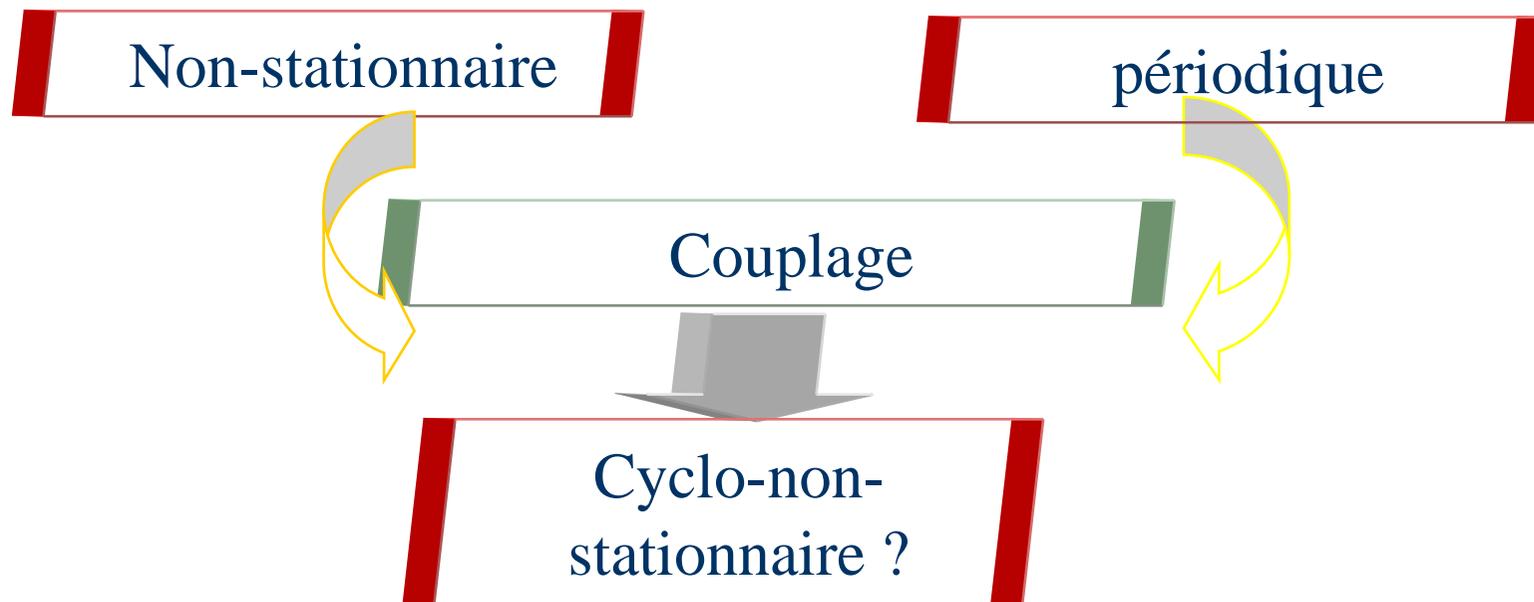
- Permet de caractériser et de détecter des défauts (roulements, fatigue, etc...)**
- Permet de résoudre des problèmes d'identification aveugles,**
- Apporte des solutions à la séparation de sources...**

Néanmoins :

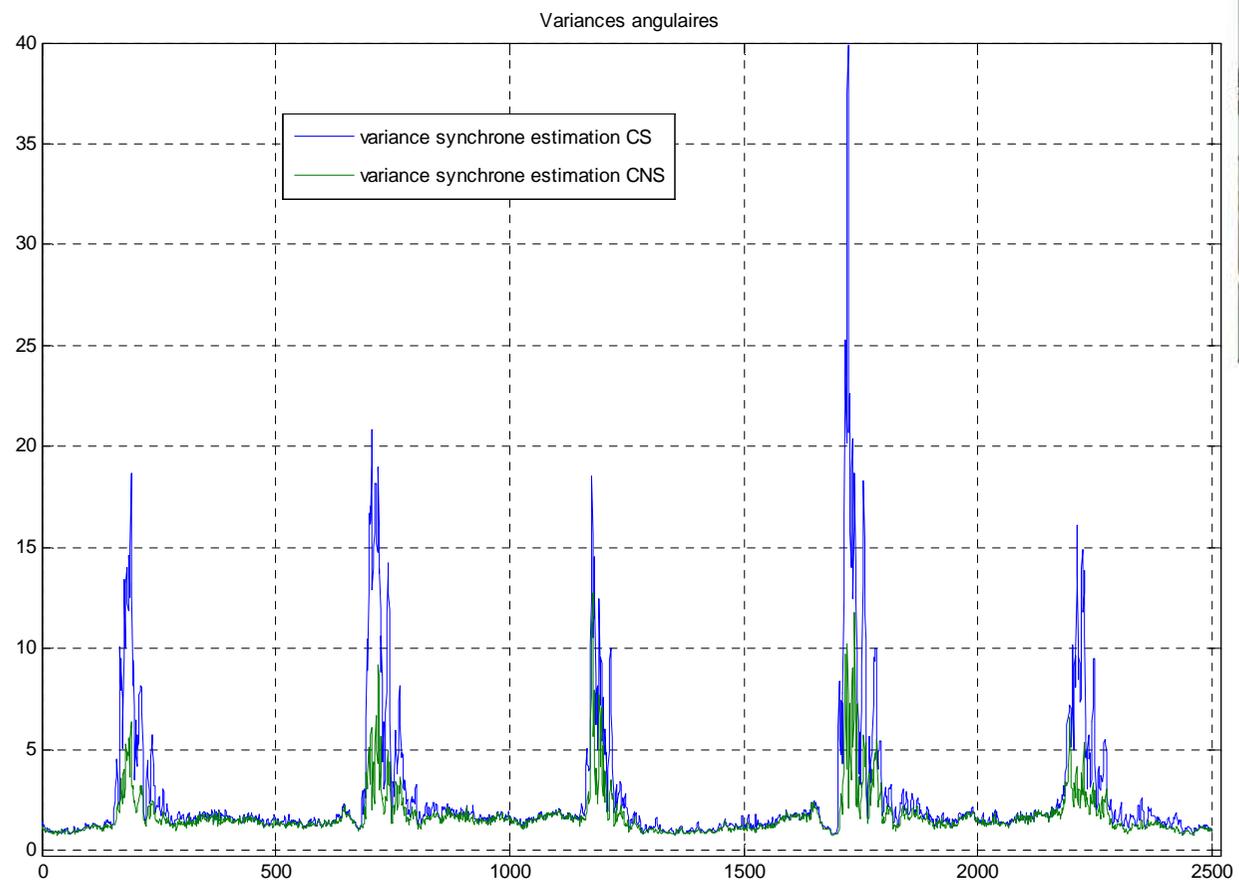
- il est impératif d'avoir un cadre d'acquisition particulier,**
- les R.I. des systèmes mécaniques sont échantillonnées irrégulièrement,**
- le rapport signal à bruit du signal résiduel est faible...**

Perspectives

- ✓ Revoir le cadre de travail de l'acquisition angulaire à travers les outils utilisés dans la thématique de l'échantillonnage irrégulier,
- ✓ Apport de la non-stationnarité à travers une approche cyclique



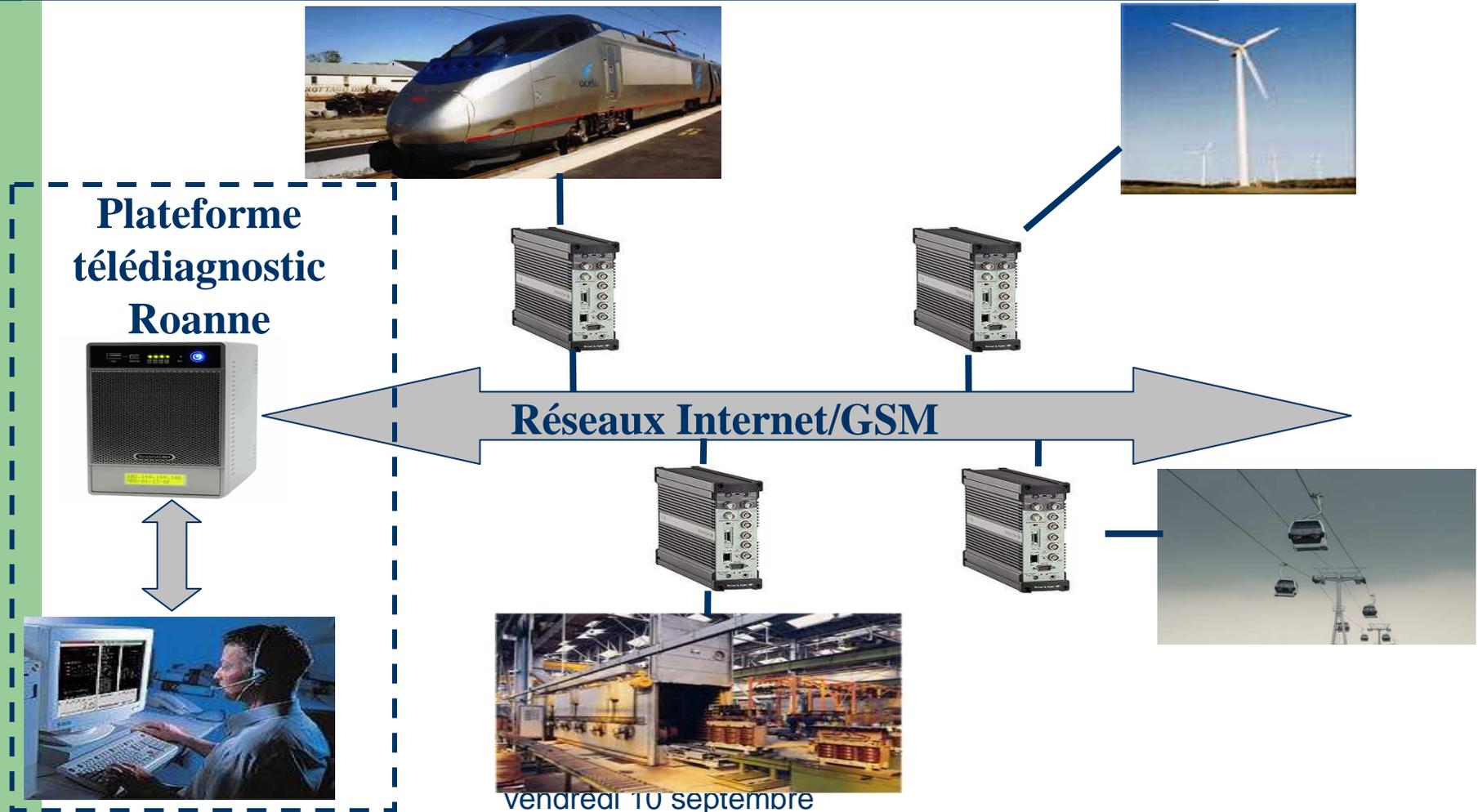
Perspectives



Perspectives

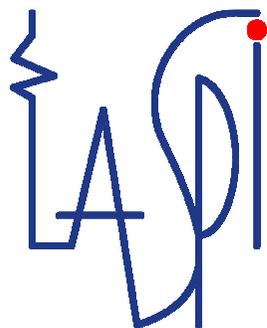
- ✓ **Séparation de sources : faire le lien entre la physique et les hypothèses initiales indispensables à la séparation (indépendance statistique, linéarité,)**

Plateforme E-Diasys



vendredi 10 septembre
2010

MERCI DE VOTRE ATTENTION



vendredi 10 septembre
2010

Séparation aveugle de Sources : correction des permutations

