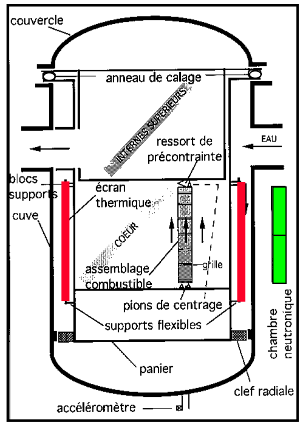
Surveillance de l'écran thermique

- **Plusieurs sources d'excitations**
  - balancement du panier du coeur,
  - déformation de l'écran thermique,
  - vibrations des élément combustibles, ...
- **bruit neutronique ⇨ vibrations**

  S(t) : sources vibratoires GAUSSIENNES
- **observation :**

$$r(t) = A * s(t) + b(t)$$



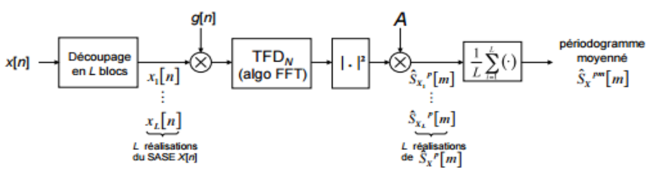
Algorithme du périodogramme moyenné

$x[n]$ = une réalisation sur M échantillons d'un SASE $X[n]$ découpée en L blocs $x_i(n)$ de N échantillons chacun.

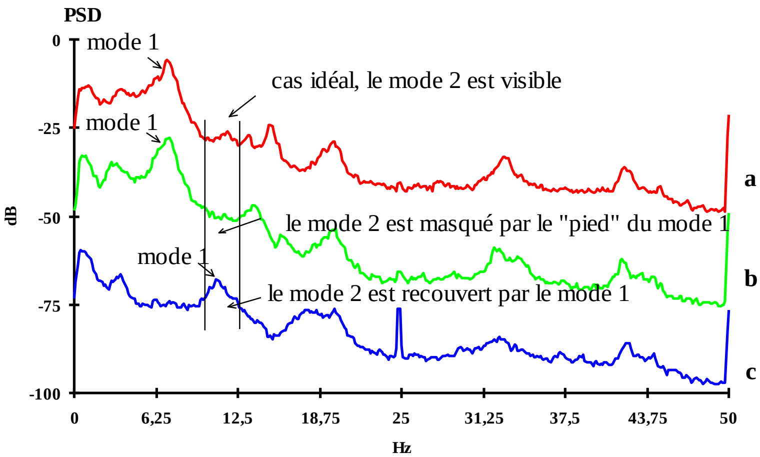
$$\hat{S_X}^{pm}[m] = \frac{A}{L}\sum_{i=1}^{L}\left|\tilde{X}_i[m]\right|^2$$

avec :

- A = facteur de normalisation
- $\tilde{X}_i[m] = \mathrm{TFD}_N\,[g[n]x_i[n]]$
- $g[n]$ = fenêtre de pondération



Analyse spectrale monocapteur



Descripteur de surveillance : fréquence du mode 2

Restauration du mode 2 de l'écran thermique

- **Les limites de l'analyse spectrale classique**
- **Méthode du spectre-écran ou de restitution du mode 2 de l'écran thermique (fondée sur la cohérence entre 2 capteurs)**
- **Méthode des matrices interspectrales (séparation de sources - mélange convolutif)**
- **Méthode SOBI - Second Order Blind Identification - (séparation de sources - mélange instantanné)**
- **Comparaison des méthodes**
- **Conclusion**

Le TdS appliqué à la surveillance des structures internes

Que faire en présence de plusieurs sources d'excitation ?

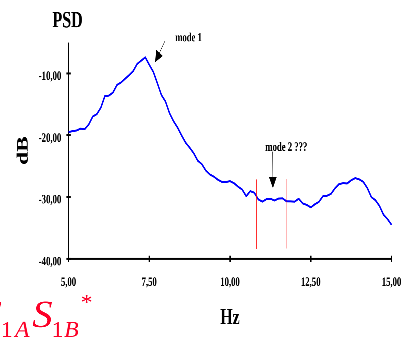
Les capteurs mesurent la réponse globale de la structure à ces excitations.

- **1 capteur :**
  Impossibilité d'observer indépendamment chaque phénomène en cas de recouvrement.
- **2 capteurs :**
  Possibilité de distinguer certains phénomènes.
  → **Cohérence**
- **Plusieurs capteurs (au moins autant que de sources) :**
  Possibilité de retrouver les différentes sources
  → **Indépendance**

Définition du modèle de mélange

- **Sur deux capteurs diamétralement opposés : c_A et c_B**

$$\begin{cases} c_A(f) = s_{1A}(f) + s_{2A}(f) \\ c_B(f) = s_{1B}(f) + s_{2B}(f) \end{cases}$$



$$coh(S_{1A}, S_{1B})(f) = \frac{S_{1A} S_{1B}^{*}}{\sqrt{\|S_{1A}\|^2 . \|S_{1B}\|^2}}$$

Propriétés des sources vibratoires

- le mode 1 du panier du coeur <u>est cohérent</u> :

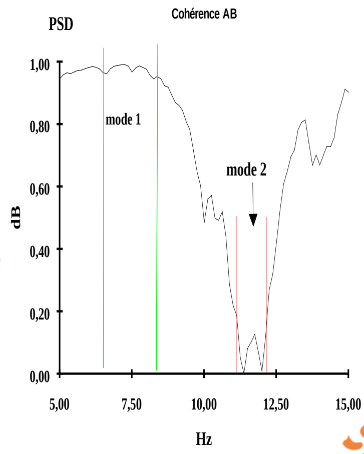
$$coh(S_{1A}, S_{1B})(f) = 1, \forall f$$

- le mode 2 de l'écran thermique <u>est incohérent</u> :

$$coh(S_{2A}, S_{2B})(f) = 0, \forall f$$

- les modes 1 et 2 <u>sont décorrélés</u> :

$$coh(S_{1.}, S_{2.})(f) = 0, \forall f$$

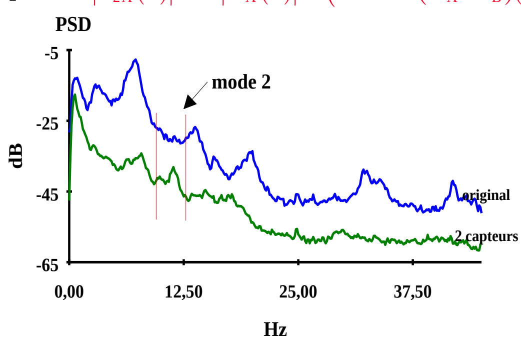


Restauration du mode 2 de l'écran thermique

- <u>Méthode fondée sur la cohérence</u> :

La densité spectrale de puissance du mode 2 de l'écran thermique

s'exprime par $E|S_{2A}(f)| = E|C_A(f)|^2 \cdot (1 - coh(C_A, C_B)(f)), \forall f$



La séparation de sources : principes généraux

- **Vous pouvez retrouver les sources vibratoires si :**
  - **<u>Les sources sont indépendantes</u>**
    $\equiv$ ***les sources sont d'origines physiques différentes***
  - **<u>On dispose de plusieurs capteurs</u>**
    nombre de sources $\leq$ nombre de capteurs
  - **<u>Chaque capteur délivre un mélange linéaire des sources</u>**

Modèle de mélange convolutif

- **Chaque capteur observe un mélange des sources filtrées.**

$$r(f) = A(f) \cdot s(f) + b(f)$$

r : observations,
A : matrice de mélange,
s : sources,
b : bruit.

- **Nous connaissons r, mais A et s sont inconnus.**

$\longrightarrow$ **Objectif : extraire s**

$\longrightarrow$ **Moyens : mélange est linéaire**
$\longrightarrow$ **techniques d'algèbre linéaire**

Matrices interspectrales : comment trouver les puissances des sources

- **Matrice interspectrale :** $\gamma_r(f) = E\left\{r(f)r(f)^+\right\}$
  - **bruit et sources décorrélés**

$$\gamma_r(f) = AE\left\{s(f)s^+(f)\right\}A^+ + E\left\{b(f)b^+(f)\right\}$$

  - **bruit spatialement blanc**

$$\gamma_r(f) = \sum_{i=1}^{p} P_i s_i s_i^+ + P_B \underline{I}$$

P_i » P_B ➡ Puissances des sources ≈ p valeurs propres les plus grandes

Continuité de phase

Soit g(f,i) le numéro d'un vecteur propre à la fréquence f de la source i.

On cherche g(f+1,i)

On utilise la fonction j : [0,3] --- $[1,p]^3$

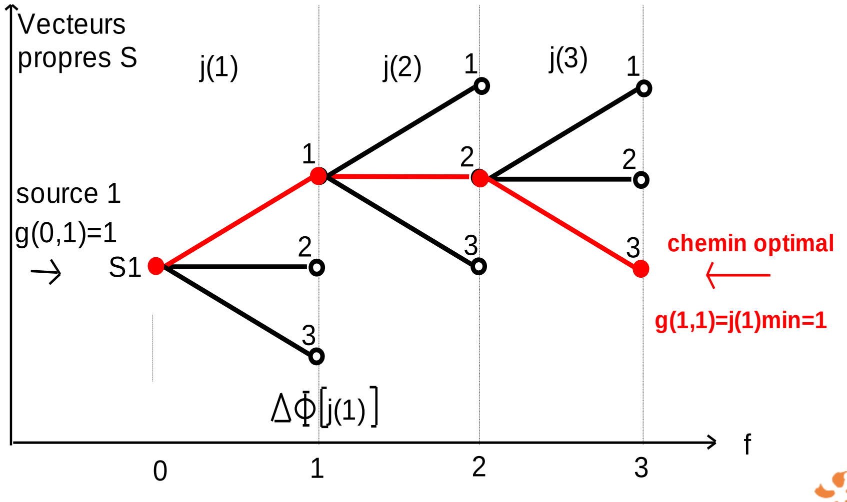
j(k) étant un candidat de g(f+k,i)

On choisit une fonction de coût:

$$\Delta\Phi(j(1), j(2), j(3)) = \sum_{l=1}^{N}\sum_{k=0}^{2}\left[\Phi\left\{S_{l,j(k)}(f+k)\right\} - \Phi\left\{S_{l,j(k+1)}(f+k+1)\right\}\right]^2 \quad \text{with } j \in \{1, P\}$$

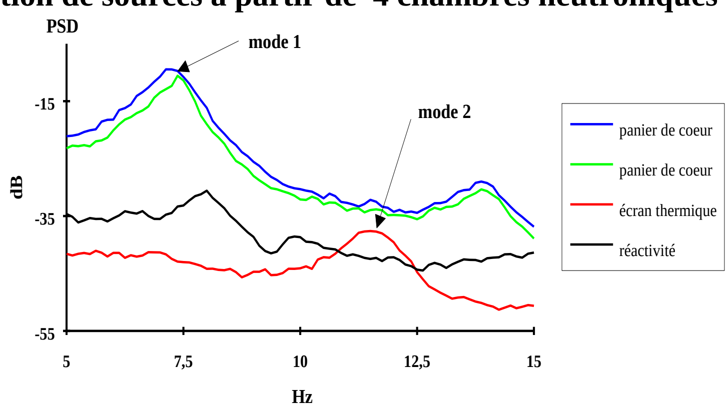
$$\Delta\Phi(j_m(1), j_m(2), j_m(3)) = \underset{j(1),j(2),j(3)\in[1,P]^3}{\mathrm{Min}} \Delta\Phi[j(1), j(2), j(3)]$$

Illustration de la "poursuite de phase"



Densité spectrale des sources dans le cas d'un balancement libre

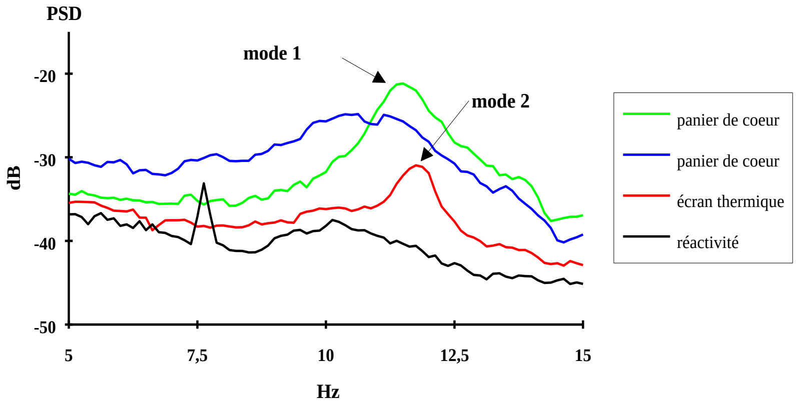
- **Séparation de sources à partir de 4 chambres neutroniques :**



  - **Décomposition de la matrice interspectrale**

Densité spectrale des sources dans le cas d'un balancement appuyé

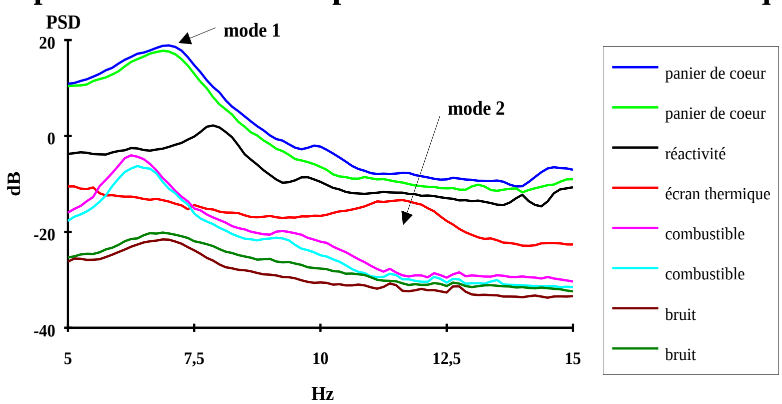
• **Séparation de sources à partir de 4 chambres neutroniques :**



– **Décomposition de la matrice interspectrale**

Densité spectrale des sources dans le cas d'un balancement libre

• **Séparation de sources à partir de 8 chambres neutroniques :**



– **Décomposition de la matrice interspectrale**

La séparation de sources pour séparer les sources vibratoires

- **Problème initial**
  On considère une antenne à N capteurs recevant des signaux émis par P sources indépendantes, avec P ≤ N $\text{pour } 1 \le i \le N \quad r_i = \sum_{j=1}^{P} a_{ij} s_j + b_i$

$$r(t) = A.s(t) + b(t)$$

- **Hypothèses**
  Les sources s sont indépendantes = origines physiques différentes,
  Le bruit est blanc.
- **Solution**
  Chercher une matrice séparante D telle que

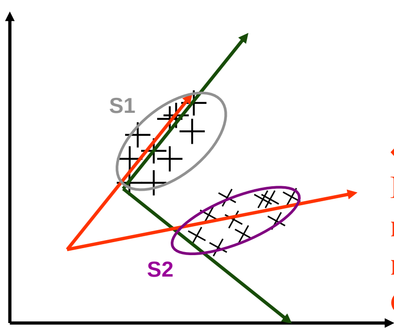
$$\hat{s}(t) = D.r(t) \approx \Lambda.P.s(t)$$

La séparation de sources "L'idée"

- **L'étape essentielle : inverser la matrice de mélange sans connaissance a priori sur le mélange ni sur les sources elles-mêmes.**
- **Propriété : indépendance statistique .**
- **Les relations statistiques des observations reflètent fidèlement le mélange. En exploitant ces relations, il est possible d'inverser le système et donc de séparer les phénomènes.**

l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'Analyse en Composantes Indépendantes (ACI)

Base des mesures



«Base » ACI
Indépendance
non orthogonale et non normée
Calculs complexes

L'algorithme SOBI : D = U.W

1- Le blanchiement (W) :

W s'obtient à partir de la partie signal de la matrice de covariance des signaux capteurs.
Lorsque que le nombre de sources est égal au nombre de capteurs

$$W = L_r^{-1/2} \qquad L_R = E\left[r.r^H\right]$$

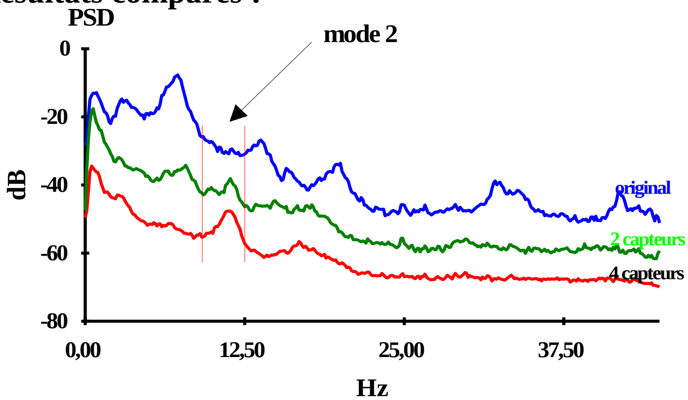
2- Calcul de la matrice de rotation U (τ >0)

$$z = W\ r \qquad L_z(\tau) = U.L_s(\tau).U^H$$

U diagonalise conjointement K matrices de corrélation correspondant à K instants différents (problèmes de dégénérescence)

Comparaison de la restauration du mode 2 de l'écran thermique en balancement libre

- **Résultats comparés :**



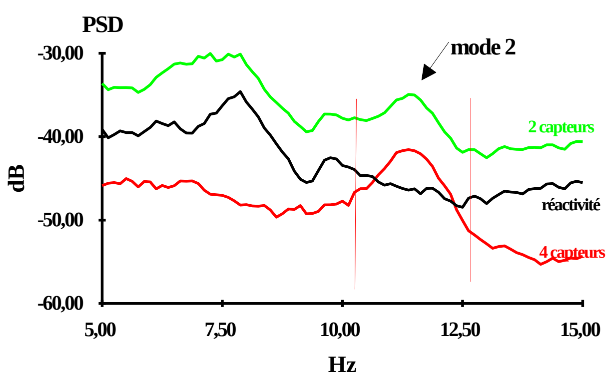
  - méthode fondée sur la cohérence (2 capteurs)
  - séparation de sources (4 capteurs)

Pourquoi ces méthodes présentent-elles des différences ?

- **Le spectre-écran (2 capteurs) restitue deux sources :**

  la source de l'écran thermique

  la source de réactivité



Conclusion

- 1 capteur → information temporelle
- 2 capteurs → information géométrique de ligne
- 4 capteurs → information géométrique de plan
- 8 capteurs → information géométrique d'espace

➡ Un traitement multi-capteurs permet d'extraire l'information recherchée de la mesure