



Caractérisation de sources large bande dans le domaine temporel sans contrainte sur le nombre de capteurs

Thèse pour obtenir le grade de:
Docteur en Sciences de l'Ecole Centrale Marseille

Guilhem Villemin

GSM, Institut Fresnel, Marseille

30 septembre 2013

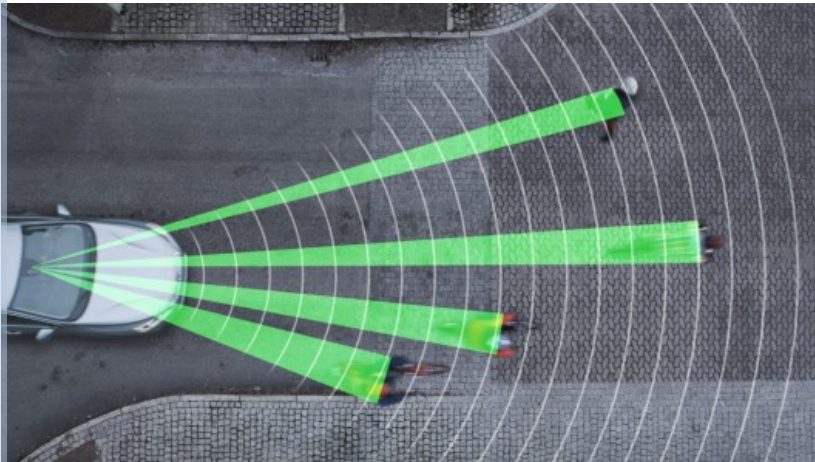
Directeurs de thèse :

Caroline Fossati et Salah Bourennane



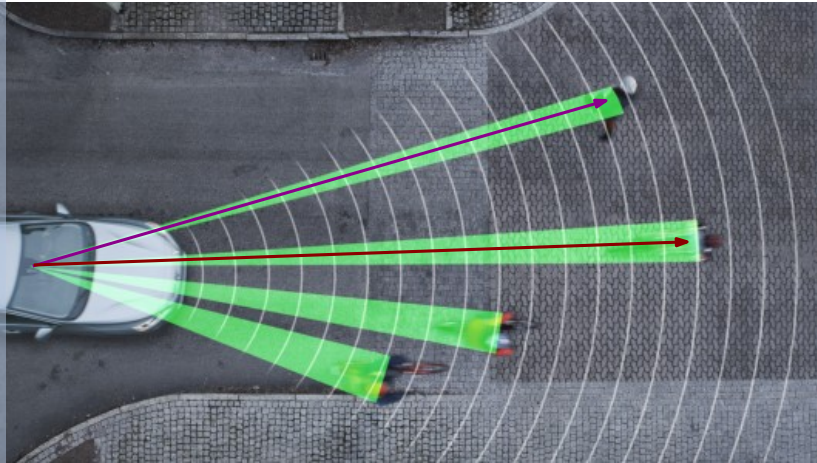
Recherche d'obstacles

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



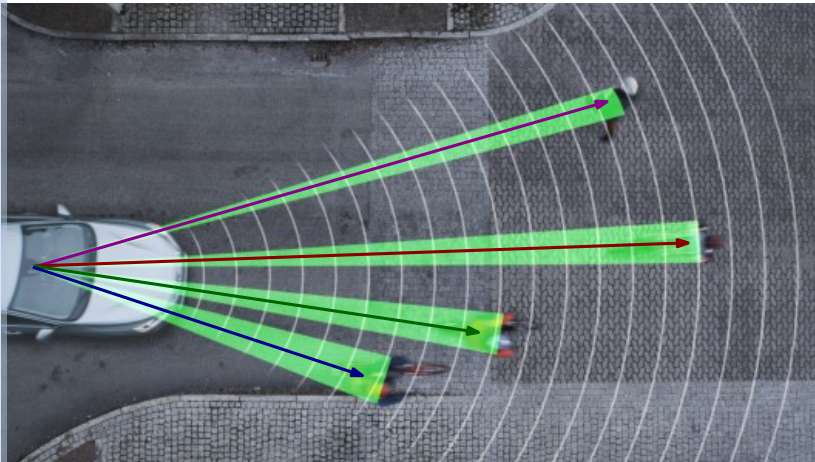
Recherche d'obstacles

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



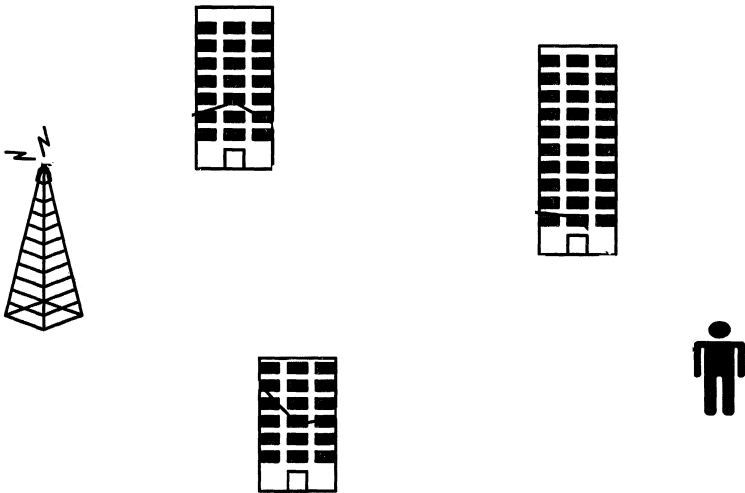
Recherche d'obstacles

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



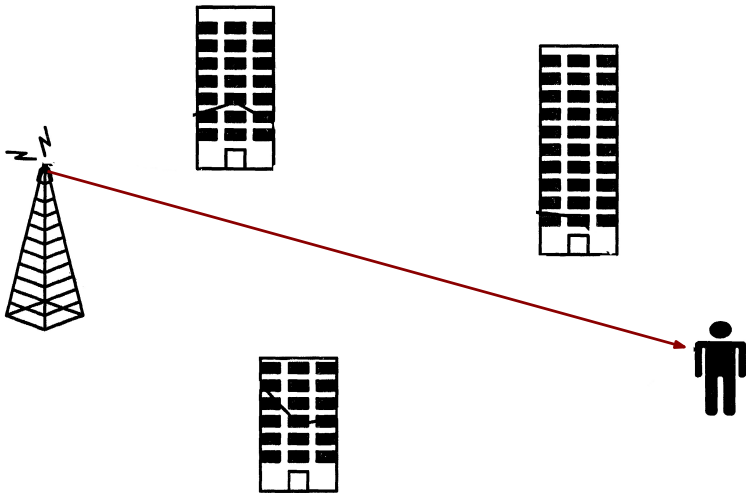
Télécommunications

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



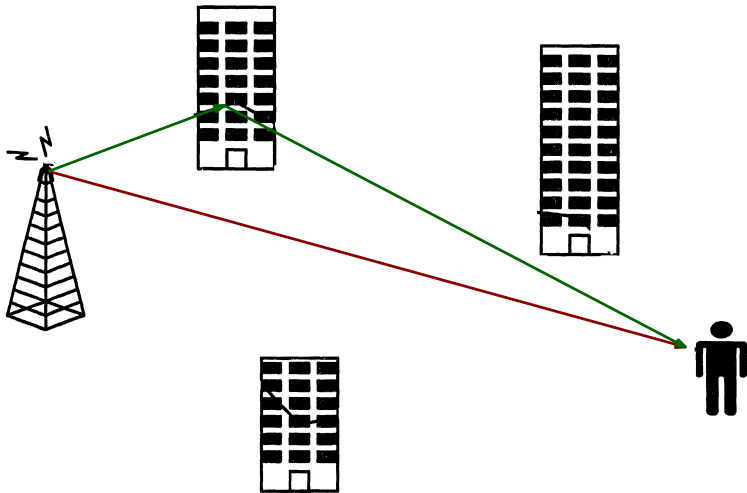
Télécommunications

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



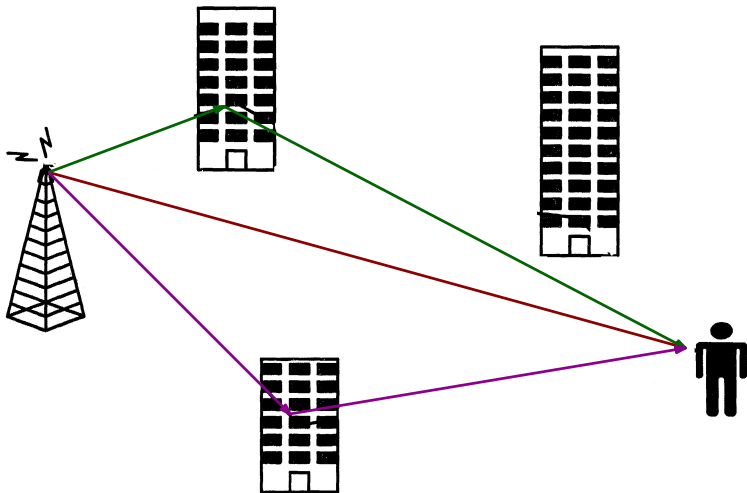
Télécommunications

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



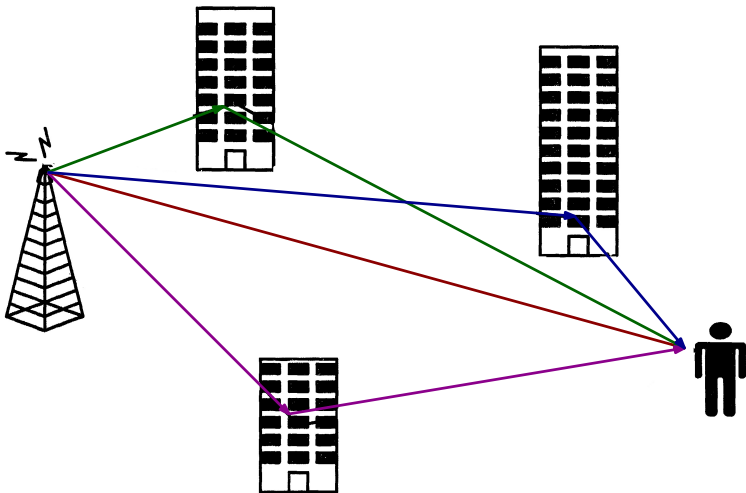
Télécommunications

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Télécommunications

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



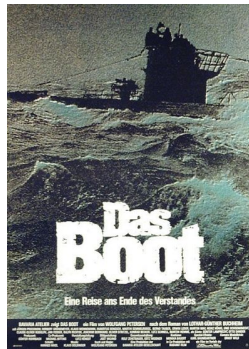
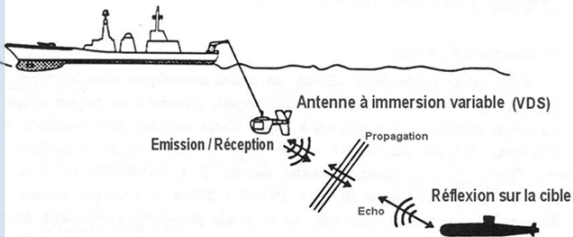
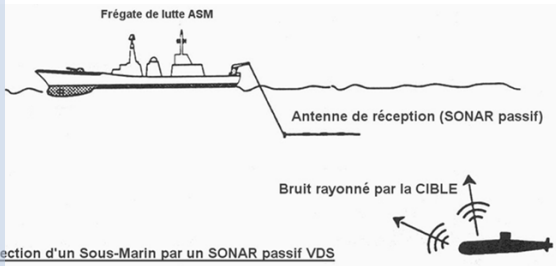
Imagerie médicale

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Lutte anti-sous-marine

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



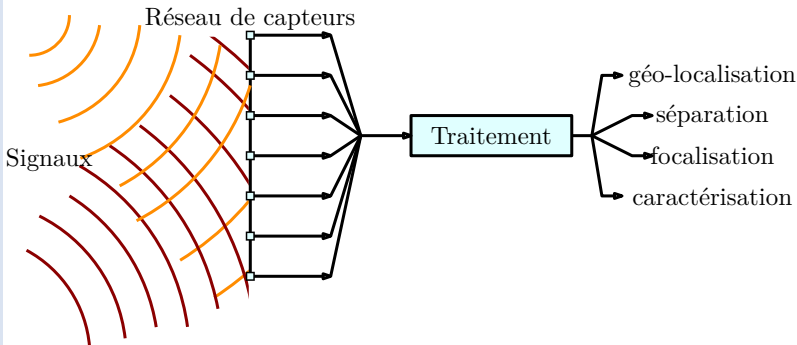
De nombreuses applications : un point commun

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Sonar, Radar, Géoradar, Géophysique, Tomographie océanique, Imagerie médicale, Télécommunications, Contrôle non destructif, génie civil, astronomie, guerre électronique, interférométrie, radiogoniométrie, ...

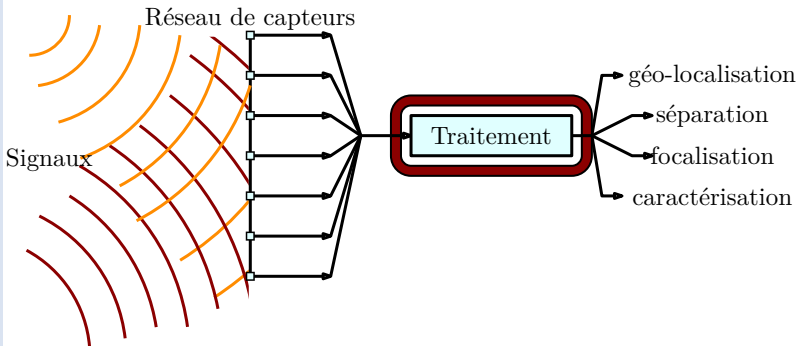
De nombreuses applications : un point commun

Sonar, Radar, Géoradar, Géophysique, Tomographie océanique, Imagerie médicale, Télécommunications, Contrôle non destructif, génie civil, astronomie, guerre électronique, interférométrie, radiogoniométrie, ...



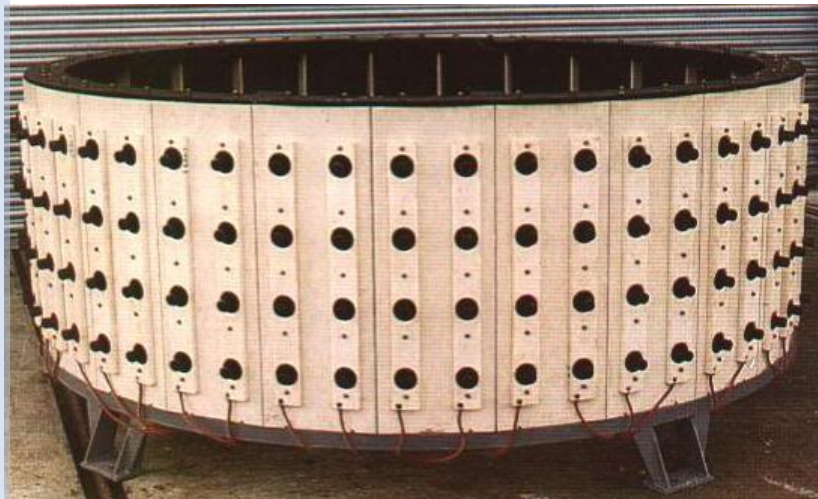
De nombreuses applications : un point commun

Sonar, Radar, Géoradar, Géophysique, Tomographie océanique, Imagerie médicale, Télécommunications, Contrôle non destructif, génie civil, astronomie, guerre électronique, interférométrie, radiogoniométrie, ...



Exemple d'antenne : SONAR

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Exemple d'antenne : Imagerie médicale

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Exemple d'antenne : RADAR

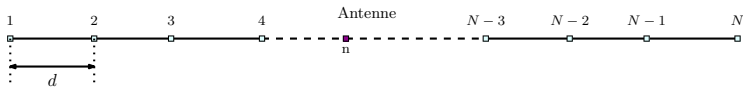
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Exemple d'antenne : radiotélescope VLA

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014





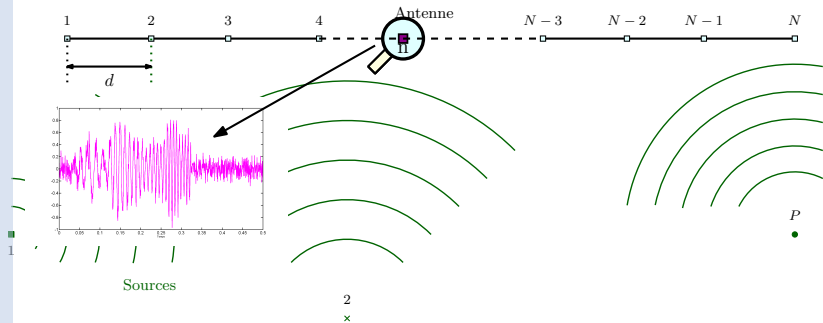
1

Sources

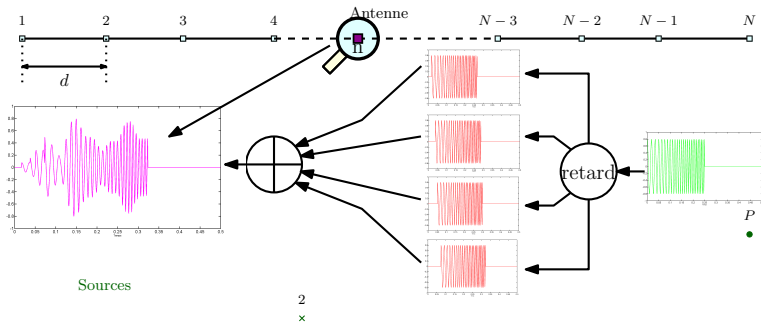
2

x

 P



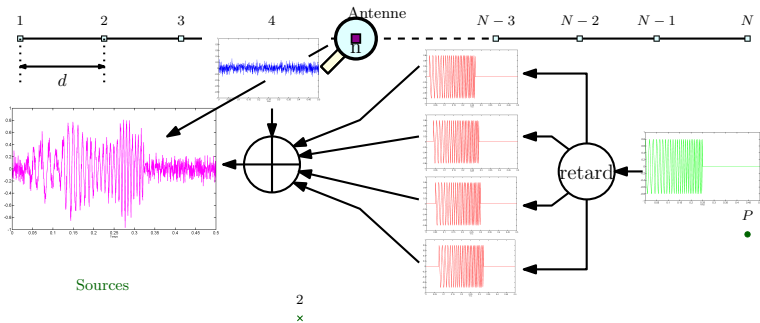
Sur chaque capteur, on observe le mélange de P signaux retardés.



Sur chaque capteur, on observe le mélange de P signaux retardés.

Modélisation :

$$\underbrace{r_n(t)}_{\text{observation}} = \sum_{p=1}^P \underbrace{s_p(t - \underbrace{t_{p,n}}_{\text{retard}})}_{\text{signal}}$$



Sur chaque capteur, on observe le mélange de P signaux retardés.

Modélisation :

$$\underbrace{r_n(t)}_{\text{observation}} = \sum_{p=1}^P \underbrace{s_p(t - \underbrace{t_{p,n}}_{\text{retard}})}_{\text{signal}} + \underbrace{b_n(t)}_{\text{bruit}}$$

La relation de phase

$$\tilde{r}_n(f) = \sum_{p=1}^P \tilde{s}_p(f) \exp(-i \overbrace{2\pi f t_{p,n}}^{\text{phase}}) + \tilde{b}_n(f)$$

La relation de phase

$$\tilde{r}_n(f) = \sum_{p=1}^P \tilde{s}_p(f) \exp(-i \overbrace{2\pi f t_{p,n}}^{\text{phase}}) + \tilde{b}_n(f)$$

$\mathbf{r} = \mathbf{A}\mathbf{s} + \mathbf{b}$

La relation de phase

$$\tilde{r}_n(f) = \sum_{p=1}^P \tilde{s}_p(f) \exp(-i \overbrace{2\pi f t_{p,n}}^{\text{phase}}) + \tilde{b}_n(f)$$

$\mathbf{r} = \mathbf{A}\mathbf{s} + \mathbf{b}$

Paramètres à identifier ?

Recherche spatiale

Direction d'arrivée : DDA : θ

La relation de phase

$$\tilde{r}_n(f) = \sum_{p=1}^P \tilde{s}_p(f) \exp(-i \overbrace{2\pi f t_{p,n}}^{\text{phase}}) + \tilde{b}_n(f)$$

$\mathbf{r} = \mathbf{A}\mathbf{s} + \mathbf{b}$

Paramètres à identifier ?

Recherche spatiale

Direction d'arrivée : **DDA** : θ

Séparation d'échos

Temps d'arrivée : **TDA** : t

La relation de phase

$$\tilde{r}_n(f) = \sum_{p=1}^P \tilde{s}_p(f) \exp(-i \overbrace{2\pi f t_{p,n}}^{\text{phase}}) + \tilde{b}_n(f)$$

$\mathbf{r} = \mathbf{A}\mathbf{s} + \mathbf{b}$

Paramètres à identifier ?

Recherche spatiale

Direction d'arrivée : **DDA** : θ

Séparation d'échos

Temps d'arrivée : **TDA** : t

Les méthodes de traitement se divisent en deux catégories :

La relation de phase

$$\tilde{r}_n(f) = \sum_{p=1}^P \tilde{s}_p(f) \exp(-i \overbrace{2\pi f t_{p,n}}^{\text{phase}}) + \tilde{b}_n(f)$$

$\mathbf{r} = \mathbf{A}\mathbf{s} + \mathbf{b}$

Paramètres à identifier ?

Recherche spatiale

Direction d'arrivée : **DDA** : θ

Séparation d'échos

Temps d'arrivée : **TDA** : t

Les méthodes de traitement se divisent en deux catégories :

- à faible résolution

La relation de phase

$$\tilde{r}_n(f) = \sum_{p=1}^P \tilde{s}_p(f) \exp(-i \overbrace{2\pi f t_{p,n}}^{\text{phase}}) + \tilde{b}_n(f)$$

$\mathbf{r} = \mathbf{A}\mathbf{s} + \mathbf{b}$

Paramètres à identifier ?

Recherche spatiale

Direction d'arrivée : **DDA** : θ

Séparation d'échos

Temps d'arrivée : **TDA** : t

Les méthodes de traitement se divisent en deux catégories :

- à faible résolution
- à haute résolution

Méthodes faible résolution : une approche physique ...

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Méthodes faible résolution : une approche physique ...

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Formation de voie

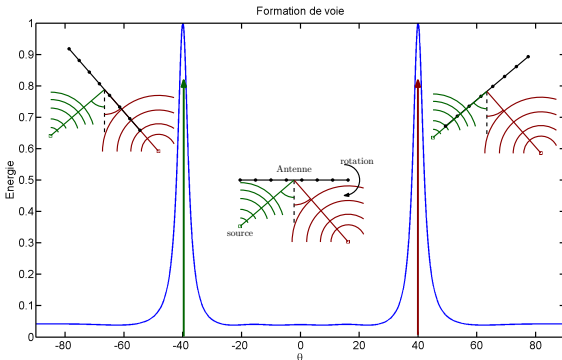
méthode développée pour la goniométrie : estimation de DDA

Méthodes faible résolution : une approche physique ...

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Formation de voie

méthode développée pour la goniométrie : estimation de maximisation de l'énergie reçue dans une direction DDA

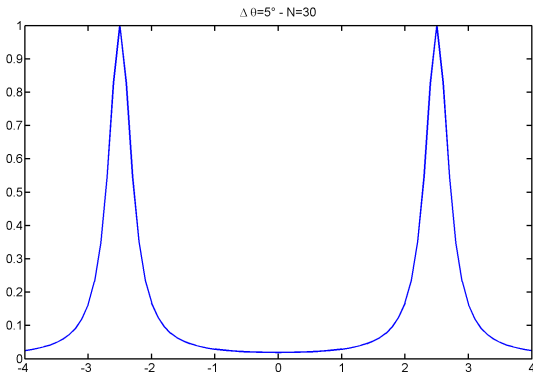


... qui a ses limites

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

... qui a ses limites

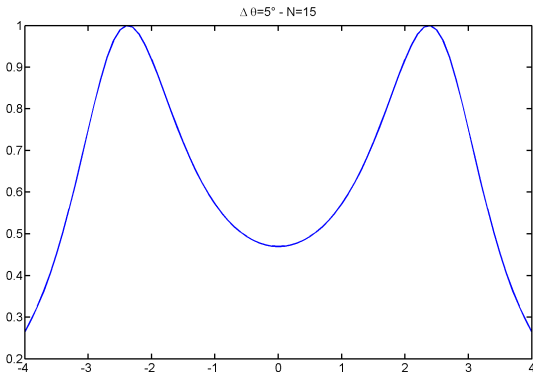
- la taille de l'antenne



Formation de voie pour $P = 2$ en fonction de N avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $\Delta\theta = 5^\circ$, $RSB=10dB$, $N = 30$

... qui a ses limites

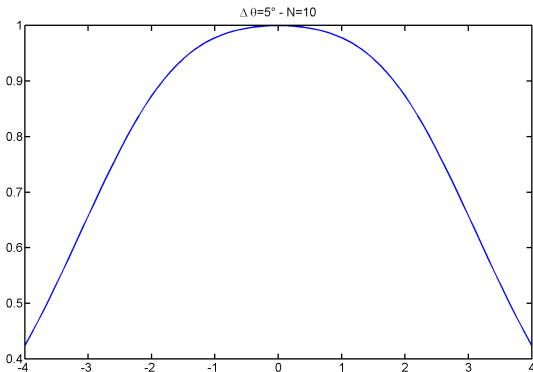
- la taille de l'antenne



Formation de voie pour $P = 2$ en fonction de N avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $\Delta\theta = 5^\circ$, $RSB=10dB$, $N = 15$

... qui a ses limites

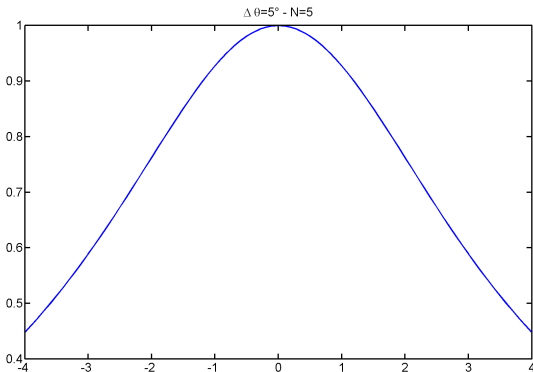
- la taille de l'antenne



Formation de voie pour $P = 2$ en fonction de N avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $\Delta\theta = 5^\circ$, $RSB=10dB$, $\mathbf{N} = 10$

... qui a ses limites

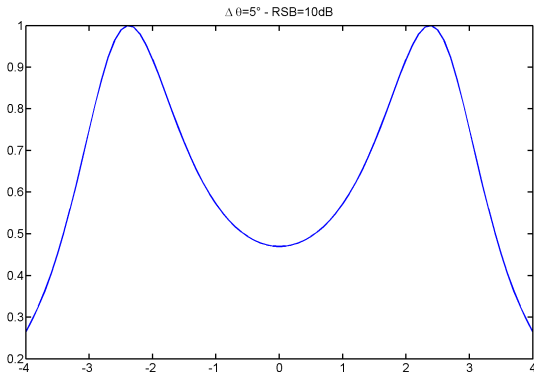
- la taille de l'antenne



Formation de voie pour $P = 2$ en fonction de N avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $\Delta\theta = 5^\circ$, $RSB=10dB$, $N = 5$

... qui a ses limites

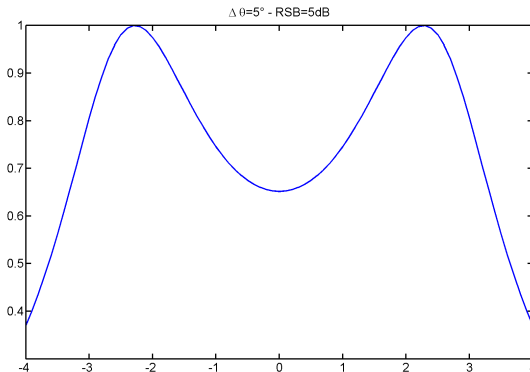
- la taille de l'antenne
- la puissance du bruit



Formation de voie pour $P = 2$ en fonction du RSB avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $\Delta\theta = 5^\circ$, $N = 15$, **RSB=10dB**

... qui a ses limites

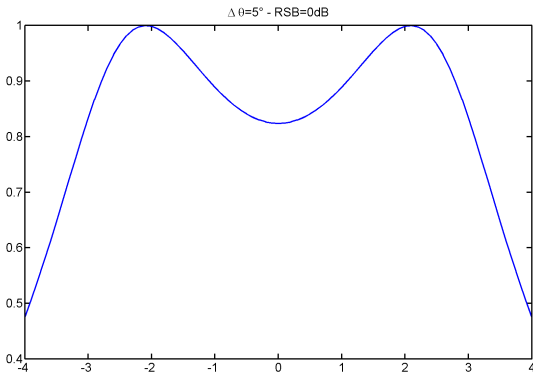
- la taille de l'antenne
- la puissance du bruit



Formation de voie pour $P = 2$ en fonction du RSB avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $\Delta\theta = 5^\circ$, $N = 15$, **RSB=5dB**

... qui a ses limites

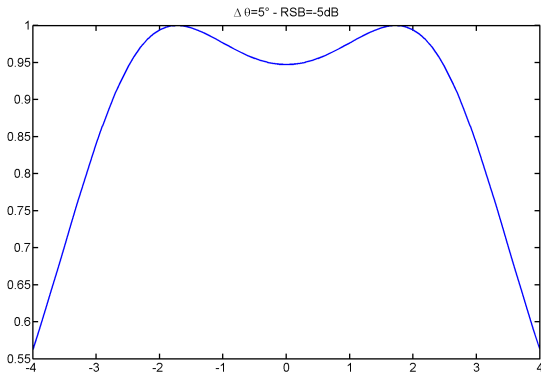
- la taille de l'antenne
- la puissance du bruit



Formation de voie pour $P = 2$ en fonction du RSB avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $\Delta\theta = 5^\circ$, $N = 15$, **RSB=0dB**

... qui a ses limites

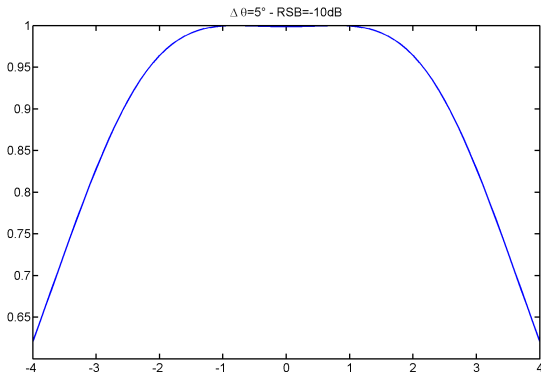
- la taille de l'antenne
- la puissance du bruit



Formation de voie pour $P = 2$ en fonction du RSB avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $\Delta\theta = 5^\circ$, $N = 15$, **RSB=-5dB**

... qui a ses limites

- la taille de l'antenne
- la puissance du bruit



Formation de voie pour $P = 2$ en fonction du RSB avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $\Delta\theta = 5^\circ$, $N = 15$, **RSB=-10dB**

Méthodes haute résolution : leurs motivations

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Contexte : Guerre froide

Méthodes haute résolution : leurs motivations

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Contexte : Guerre froide

- 1 Faire mieux

Méthodes haute résolution : leurs motivations

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Contexte : Guerre froide

① Faire mieux

② avec le même matériel

Méthodes haute résolution : leurs motivations

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Contexte : Guerre froide

- 1 Faire mieux
- 2 avec le même matériel

Historique

1970 - 1980	1980 - 1990	1990 - 2000
acoustique sous marine (Ligget) sismique (Pisarenko) radioastronomie (Behery)	MUSIC (popularisation)	ESPRIT, SWEDE, PM, OPM, ... (diversification)

Méthodes haute résolution : leurs motivations

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Contexte : Guerre froide

- 1 Faire mieux
- 2 avec le même matériel

Historique

1970 - 1980	1980 - 1990	1990 - 2000
acoustique sous marine (Ligget)	MUSIC	ESPRIT, SWEDE,
sismique (Pisarenko)	(popularisation)	PM, OPM, ...
radioastronomie (Behery)		(diversification)

Les méthodes à haute résolution offrent des performances asymptotiques non limitées par la puissance du bruit



Méthodes haute résolution : de la physique à l'algèbre

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H]$$

Méthodes haute résolution : de la physique à l'algèbre

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

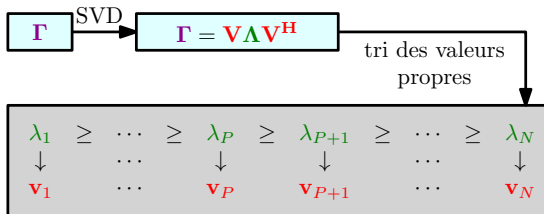
$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$

Méthodes haute résolution : de la physique à l'algèbre

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$

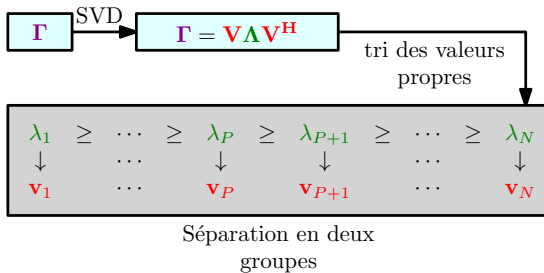


Méthodes haute résolution : de la physique à l'algèbre

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$

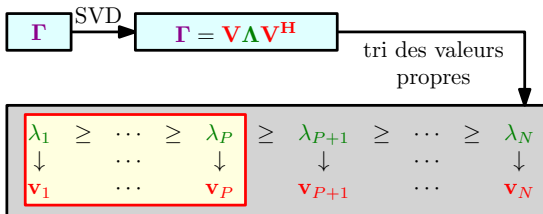


Méthodes haute résolution : de la physique à l'algèbre

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$



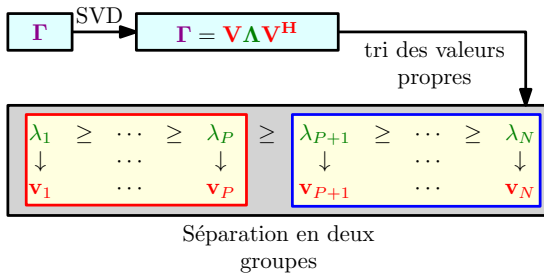
Séparation en deux groupes

Méthodes haute résolution : de la physique à l'algèbre

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

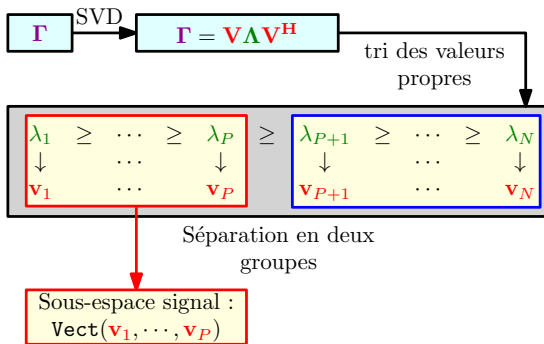
$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$



Méthodes haute résolution : de la physique à l'algèbre

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \\ \Gamma_b \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{rang plein} \\ = \sigma^2\mathbf{I} \end{array}$$

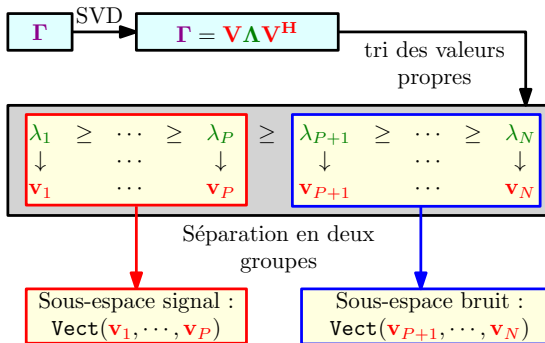


Méthodes haute résolution : de la physique à l'algèbre

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$

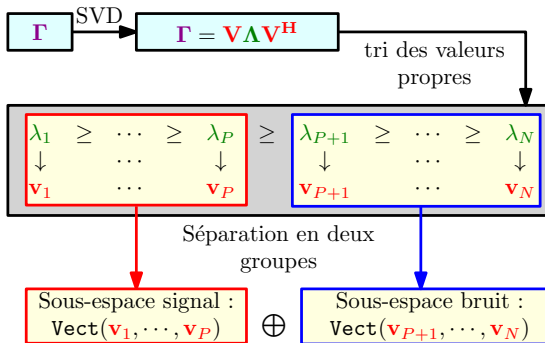


Méthodes haute résolution : de la physique à l'algèbre

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$

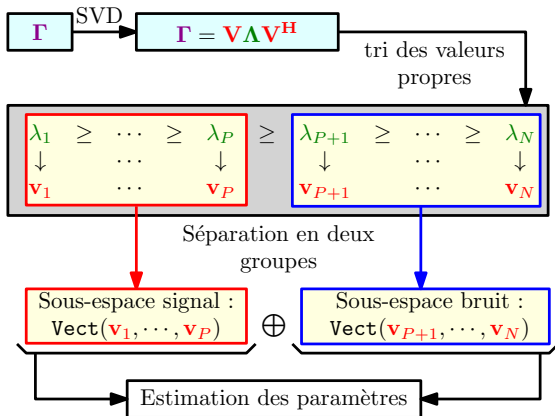


Méthodes haute résolution : de la physique à l'algèbre

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

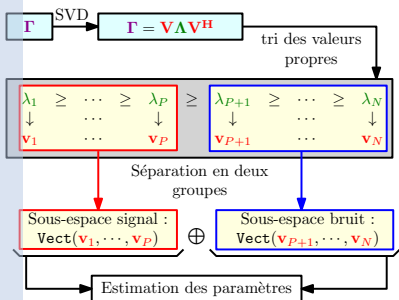
$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$



Méthodes haute résolution : de la physique à l'algèbre

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$

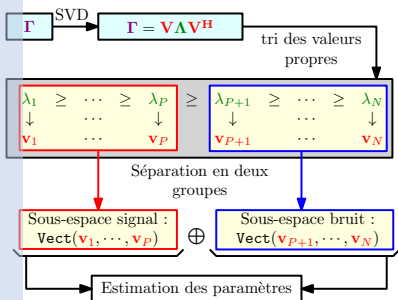


2 types de méthodes :

Méthodes haute résolution : de la physique à l'algèbre

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$



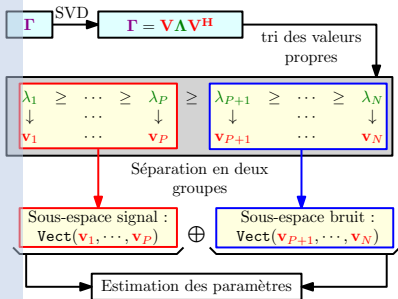
2 types de méthodes :

- orthogonales : **MUSIC**, Min-norm, ...

Méthodes haute résolution : de la physique à l'algèbre

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$



2 types de méthodes :

- orthogonales : **MUSIC**, Min-norm, ...
- linéaires : OPM, **ESPRIT**, SWEDE, ...

Supériorité des méthodes HR

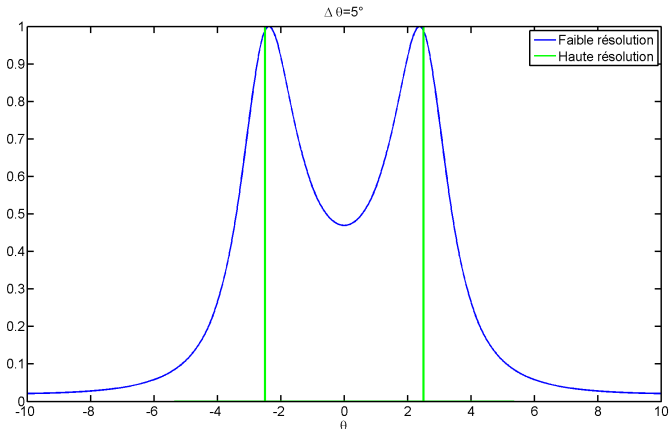
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

- En terme de résolution ...

Supériorité des méthodes HR

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

- En terme de résolution ...

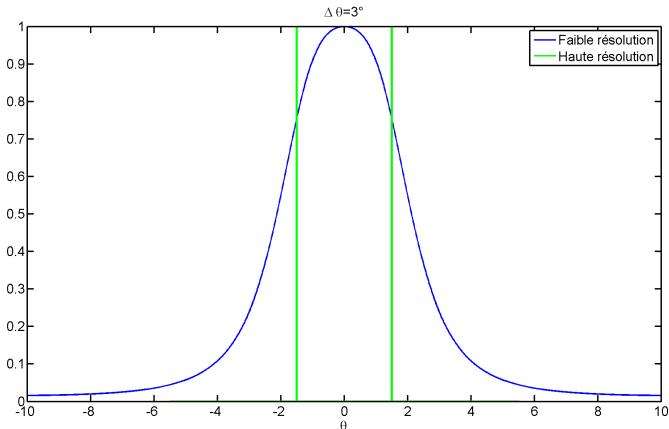


Formation de voie et MUSIC pour $P = 2$ en fonction de $\Delta\theta$ avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $RSB=10dB$, $N = 15$ et $\Delta\theta = 5^\circ$.

Supériorité des méthodes HR

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

- En terme de résolution ...

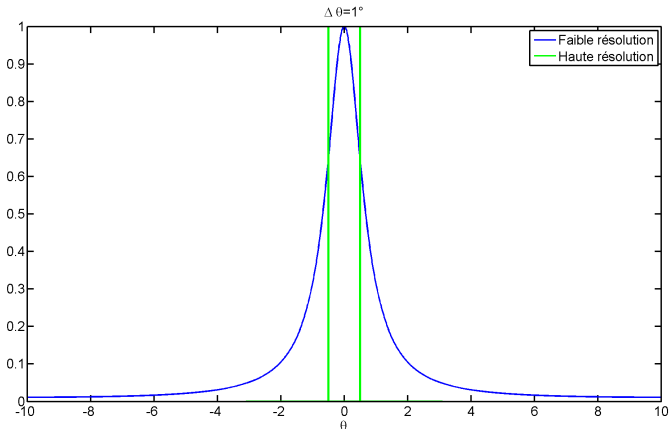


Formation de voie et MUSIC pour $P = 2$ en fonction de $\Delta\theta$ avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $RSB=10dB$, $N = 15$ et $\Delta\theta = 3^\circ$.

Supériorité des méthodes HR

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

- En terme de résolution ...

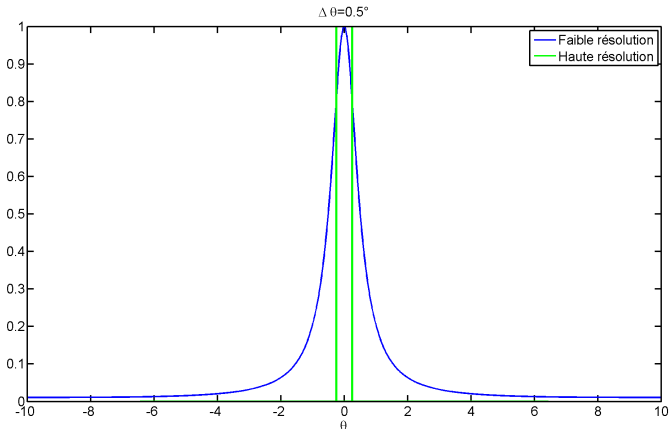


Formation de voie et MUSIC pour $P = 2$ en fonction de $\Delta\theta$ avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $RSB=10dB$, $N = 15$ et $\Delta\theta = 1^\circ$.

Supériorité des méthodes HR

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

- En terme de résolution ...

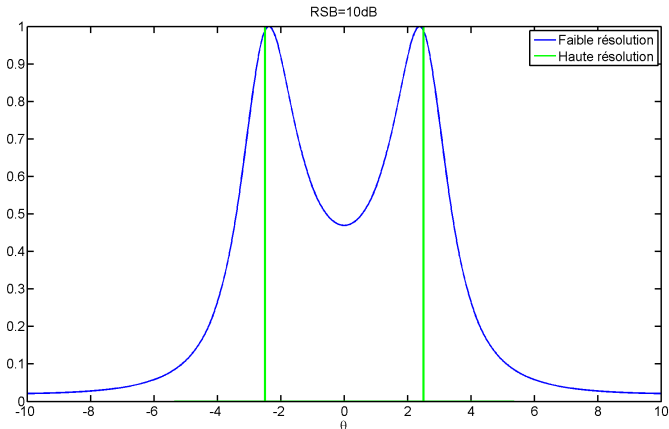


Formation de voie et MUSIC pour $P = 2$ en fonction de $\Delta\theta$ avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $RSB=10dB$, $N = 15$ et $\Delta\theta = 0.5^\circ$.

Supériorité des méthodes HR

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

- En terme de résolution ...
- et d'insensibilité au bruit



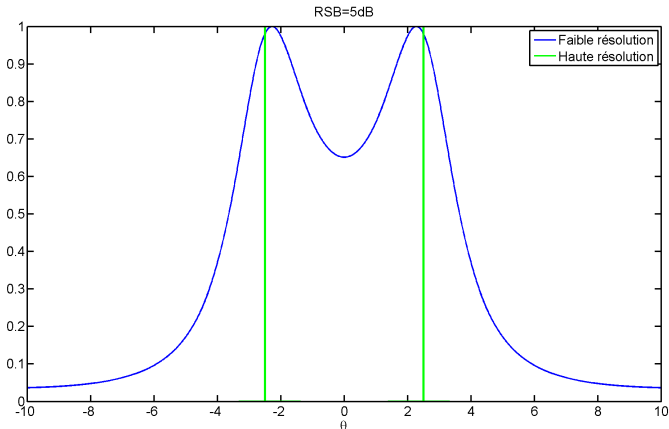
Formation de voie et MUSIC pour $P = 2$ en fonction du RSB avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $N = 15$, $\Delta\theta = 5^\circ$ et **RSB=10dB**.

Supériorité des méthodes HR

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

● En terme de résolution ...

● et d'insensibilité au bruit



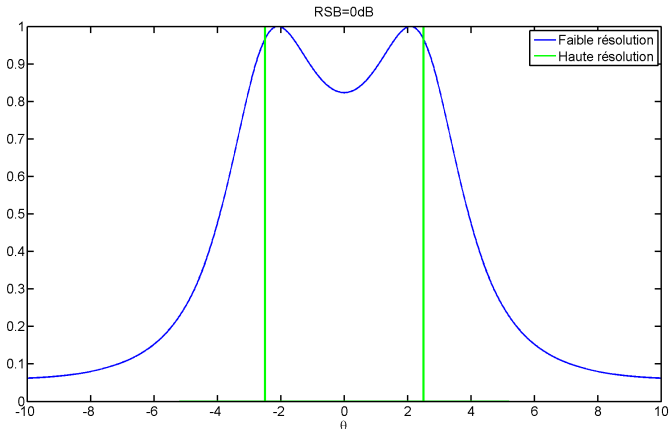
Formation de voie et MUSIC pour $P = 2$ en fonction du RSB avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $N = 15$, $\Delta\theta = 5^\circ$ et **RSB=5dB**.

Supériorité des méthodes HR

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

● En terme de résolution ...

● et d'insensibilité au bruit

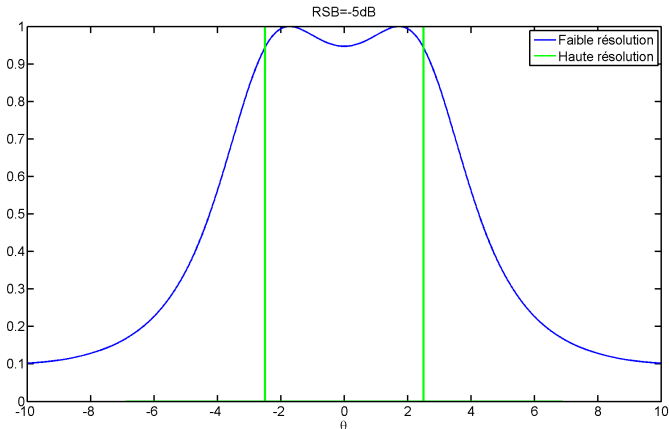


Formation de voie et MUSIC pour $P = 2$ en fonction du RSB avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $N = 15$, $\Delta\theta = 5^\circ$ et $RSB=0dB$.

Supériorité des méthodes HR

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

- En terme de résolution ...
- et d'insensibilité au bruit

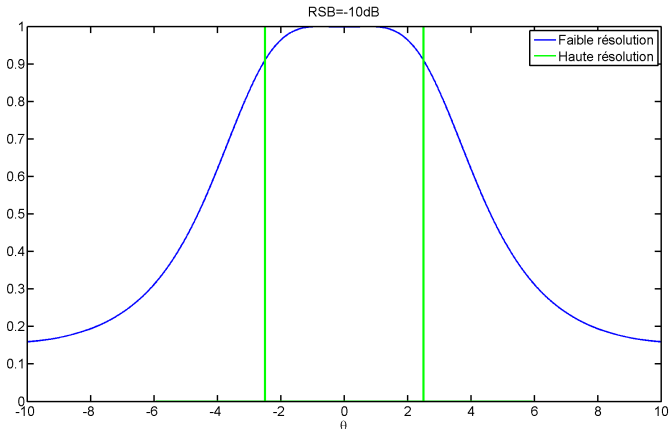


Formation de voie et MUSIC pour $P = 2$ en fonction du RSB avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $N = 15$, $\Delta\theta = 5^\circ$ et **RSB=-5dB**.

Supériorité des méthodes HR

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

- En terme de résolution ...
- et d'insensibilité au bruit



Formation de voie et MUSIC pour $P = 2$ en fonction du RSB avec $d = \frac{\lambda}{2}$, $N = 15$, $\Delta\theta = 5^\circ$ et **RSB=-10dB.**

Méthode HR : limitations

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Conditions peu favorables

Méthode HR : limitations

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Conditions peu favorables

- peu de capteurs

Méthode HR : limitations

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Conditions peu favorables

- peu de capteurs
- Corrélation



Plan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



- 1 Nouvelle méthode haute résolution pour la localisation de sources sans contrainte sur le nombre de capteurs

Plan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



- 1 Nouvelle méthode haute résolution pour la localisation de sources sans contrainte sur le nombre de capteurs
- 2 Nouvelle méthode de localisation de sources corrélées

Plan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



- 1 Nouvelle méthode haute résolution pour la localisation de sources sans contrainte sur le nombre de capteurs
- 2 Nouvelle méthode de localisation de sources corrélées
- 3 Choix optimal des paramètres

Plan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



- 1 Nouvelle méthode haute résolution pour la localisation de sources sans contrainte sur le nombre de capteurs
- 2 Nouvelle méthode de localisation de sources corrélées
- 3 Choix optimal des paramètres
- 4 Application (des méthodes de localisation) à des signaux expérimentaux

Plan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



- 1 Nouvelle méthode haute résolution pour la localisation de sources sans contrainte sur le nombre de capteurs
- 2 Nouvelle méthode de localisation de sources corrélées
- 3 Choix optimal des paramètres
- 4 Application (des méthodes de localisation) à des signaux expérimentaux
- 5 Conclusion et perspectives

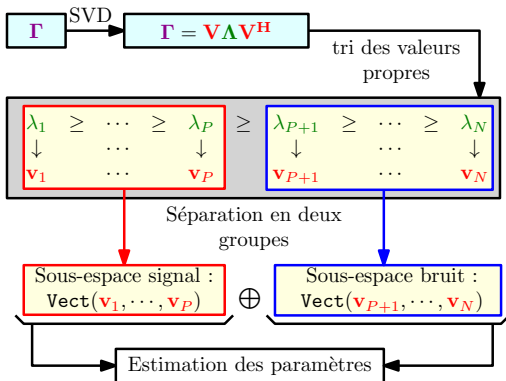
Limitation : Le nombre de capteurs

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Limitation : Le nombre de capteurs

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$

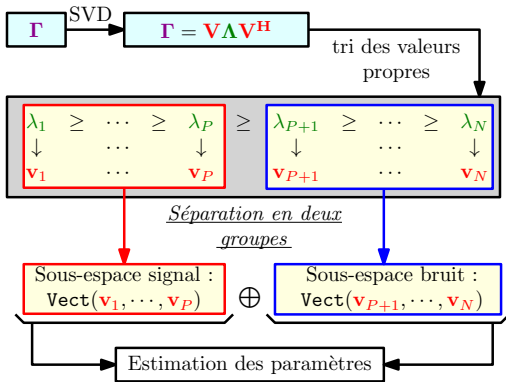


Limitation : Le nombre de capteurs

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$

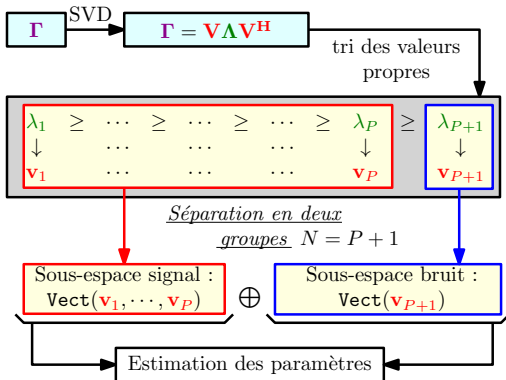


Limitation : Le nombre de capteurs

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

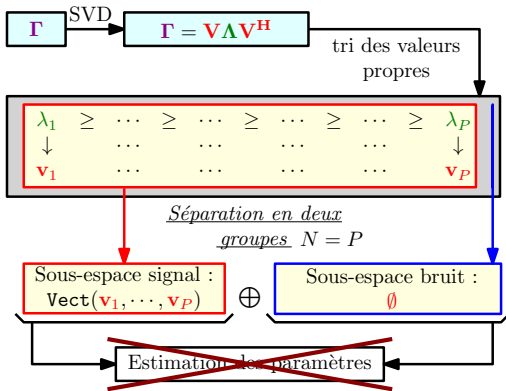
$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$



Limitation : Le nombre de capteurs

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$

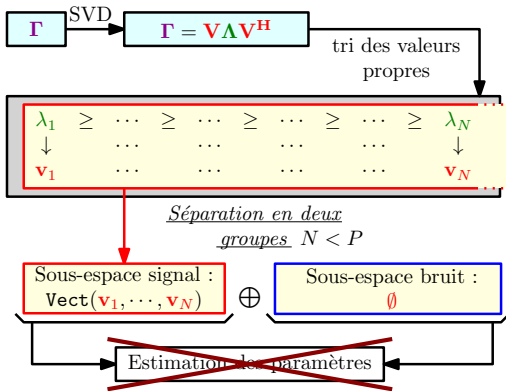


Limitation : Le nombre de capteurs

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

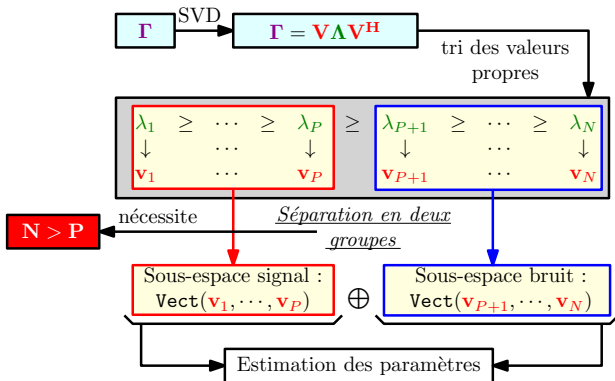
$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$



Limitation : Le nombre de capteurs

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

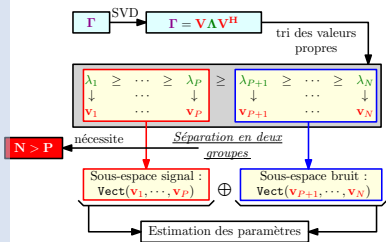
$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$



Limitation : Le nombre de capteurs

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang plein} \\ \Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$



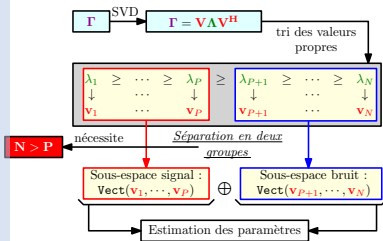
Que faire lorsque :

Limitation : Le nombre de capteurs

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[rr^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b$$

$$\begin{cases} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H & \text{rang plein} \\ \Gamma_b & = \sigma^2\mathbf{I} \end{cases}$$



Que faire lorsque :

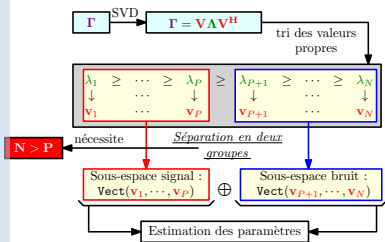
- recherche de **DDA** avec HR

Limitation : Le nombre de capteurs

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b$$

$$\begin{cases} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H & \text{rang plein} \\ \Gamma_b & = \sigma^2\mathbf{I} \end{cases}$$



Que faire lorsque :

- recherche de **DDA** avec HR
- l'on a pas **$N > P$** ?

Deux types de signaux

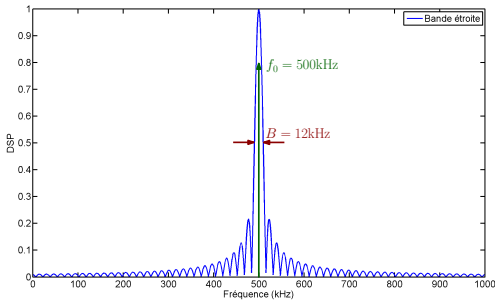
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Deux types de signaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Bande étroite

$B \ll f_0$, 1 fréquence
observée

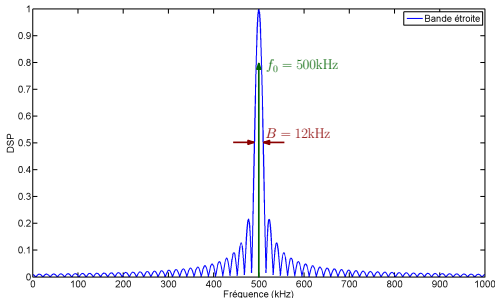


Deux types de signaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Bande étroite

$B \ll f_0$, 1 fréquence
observée



Estimation de **DDA** - Bande étroite

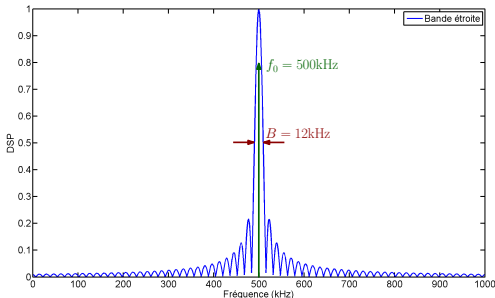
Organisation spatiale des données (N capteurs) : $\mathbf{r} = [r_1(f_0), \dots, r_N(f_0)]^T$

Deux types de signaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Bande étroite

$B \ll f_0$, 1 fréquence
observée



Estimation de **DDA** - Bande étroite

Organisation spatiale des données (N capteurs) : $\mathbf{r} = [r_1(f_0), \dots, r_N(f_0)]^T$

HR impossible si **$N < P$**

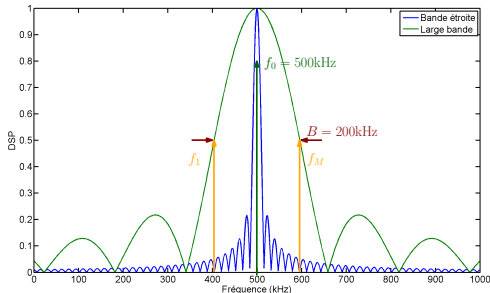
Deux types de signaux

Bande étroite

$B \ll f_0$, 1 fréquence
observée

Large bande

$B \propto f_0$, M fréquences
observées



Estimation de **DDA** - Bande étroite

Organisation spatiale des données (N capteurs) : $\mathbf{r} = [r_1(f_0), \dots, r_N(f_0)]^T$

HR impossible si $N < P$

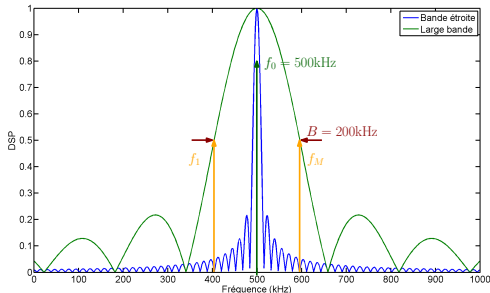
Deux types de signaux

Bande étroite

$B \ll f_0$, 1 fréquence
observée

Large bande

$B \propto f_0$, M fréquences
observées



Estimation de **DDA** - Large bande

Utilisée comme extensions (focalisation, multibande étroite) mais
toujours Organisation spatiale des données (N capteurs)

HR impossible si $N < P$

Omettre la structure spatiale

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Omettre la structure spatiale

Capteur individuel : un mélange de signaux retardés

$$r(f) = \sum_{p=1}^P s_p(f) \exp(-2i\pi f \underbrace{t(p)}_{\text{TDA}}) + b(f)$$

phase

Le TDA dépend de la position de la source

Omettre la structure spatiale

Capteur individuel : un mélange de signaux **retardés**

$$r(f) = \sum_{p=1}^P s_p(f) \exp(-2i\pi f \underbrace{t(p)}_{\text{TDA}}) + b(f)$$

phase

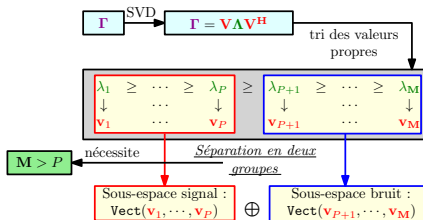
Le **TDA** dépend de la position de la source

Un capteur + large bande

Organisation fréquentielle des données : $\mathbf{r} = [r(f_1), \dots, r(f_M)]^T$

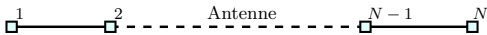
Permet l'estimation des **TDA**

HR possible si $N < P$



Estimation incohérente des **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



1
x

2 x

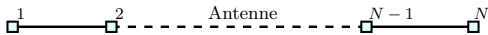
xP



Estimation incohérente des TDA

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Diversité
fréquentielle
 $M > P$



$1 \times$

$2 \times$

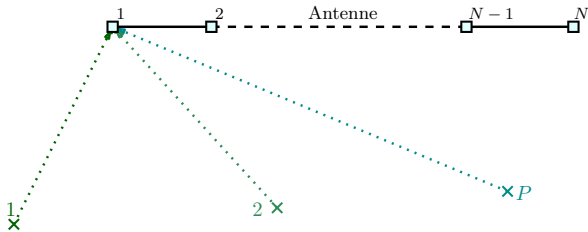
$\times P$



Estimation incohérente des TDA

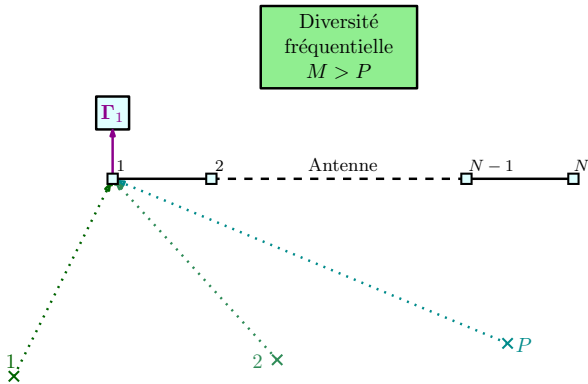
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Diversité
fréquentielle
 $M > P$



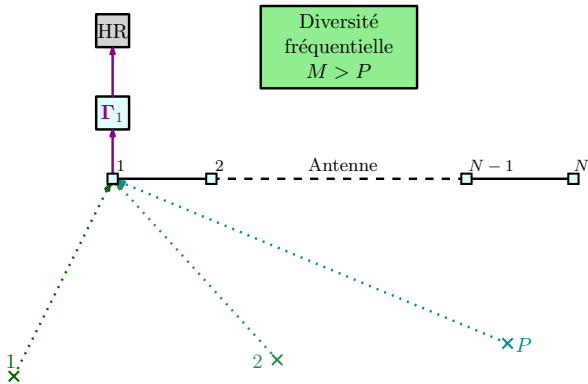
Estimation incohérente des TDA

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

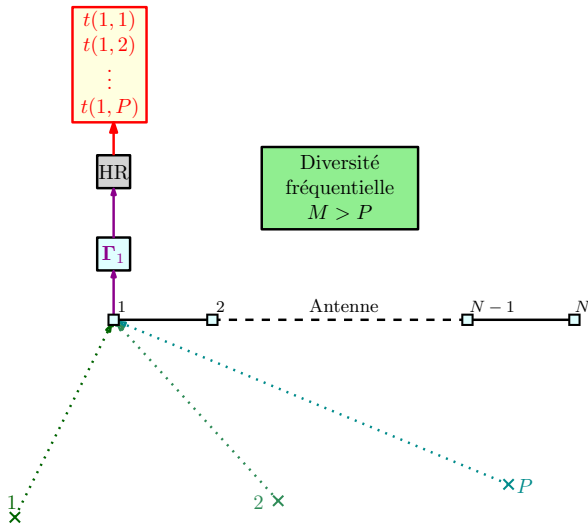


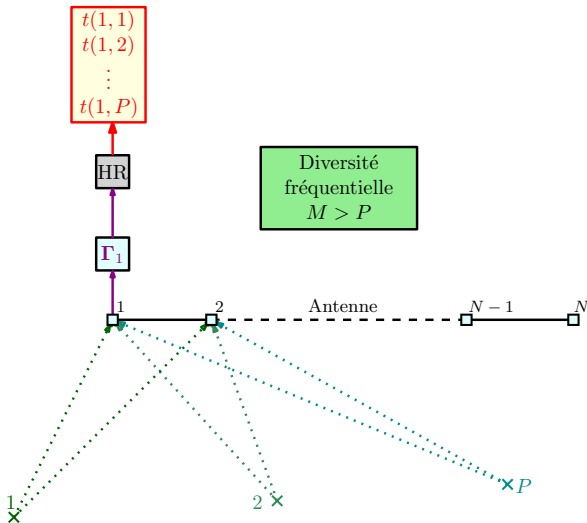
Estimation incohérente des TDA

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

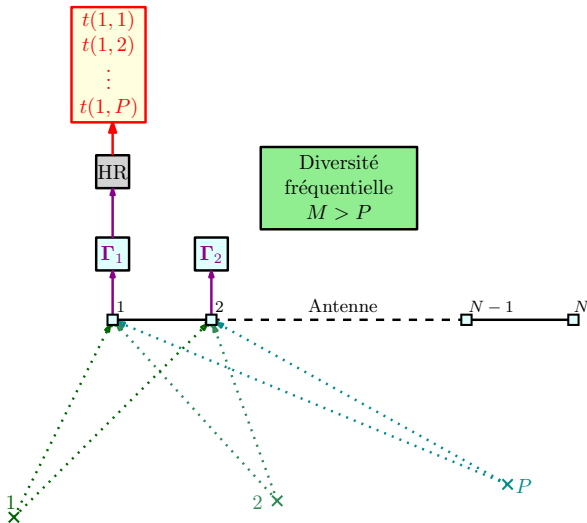


Estimation incohérente des TDA

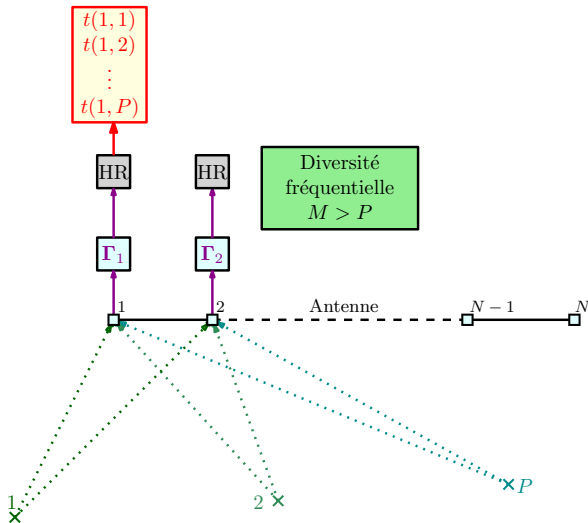


Estimation incohérente des **TDA**

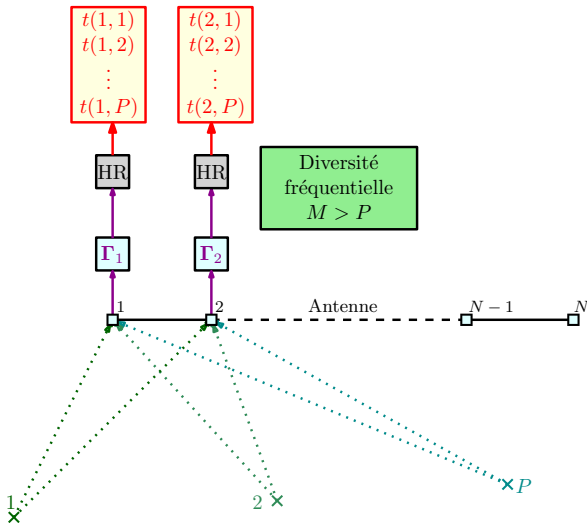
Estimation incohérente des TDA



Estimation incohérente des TDA

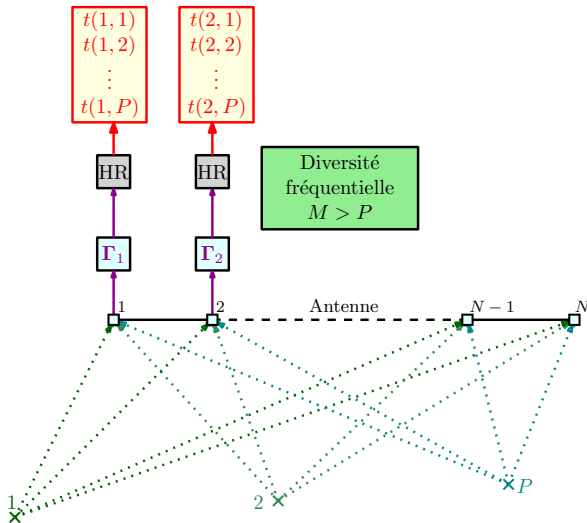


Estimation incohérente des TDA

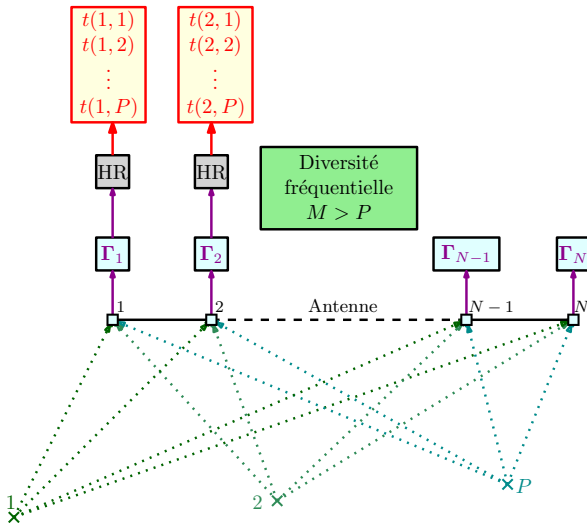


Estimation incohérente des TDA

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

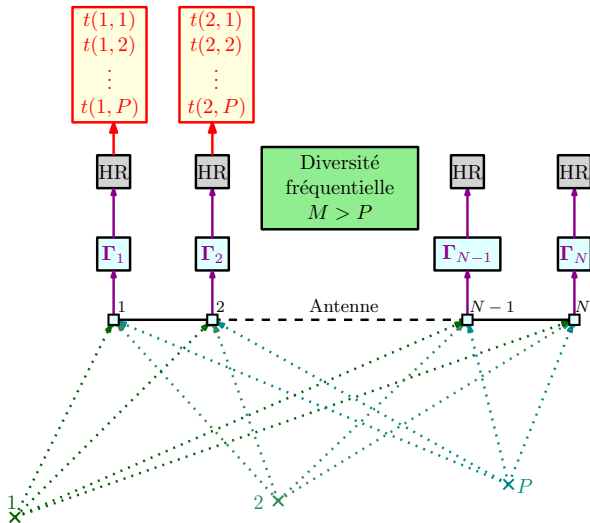


Estimation incohérente des TDA



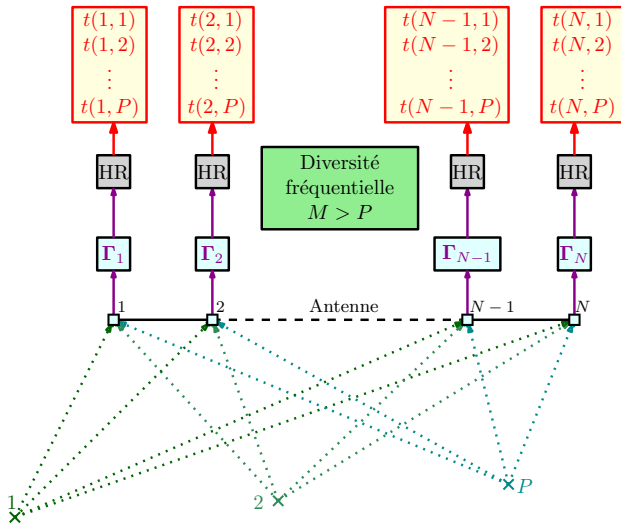
Estimation incohérente des TDA

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



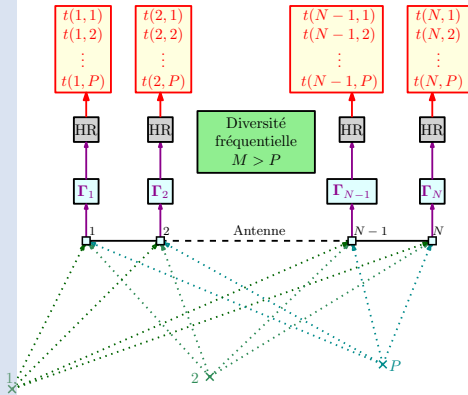
Estimation incohérente des TDA

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Estimation incohérente des TDA

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

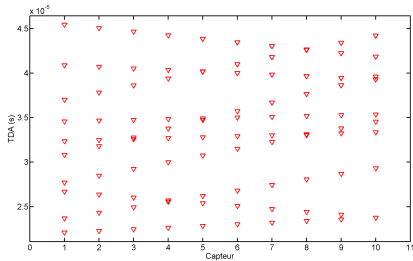
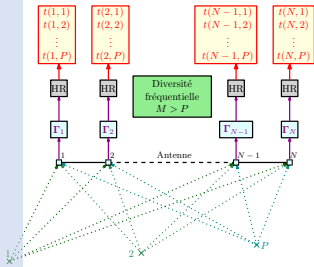


MITIC

- M éthode
- I ncohérente de
- T raitement
- I ndépendante
- C apteur par capteur

Oui, mais...

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



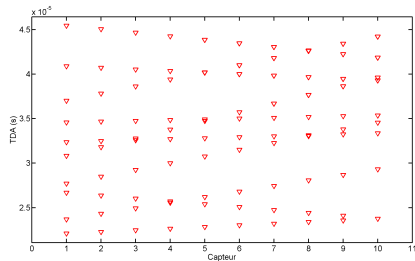
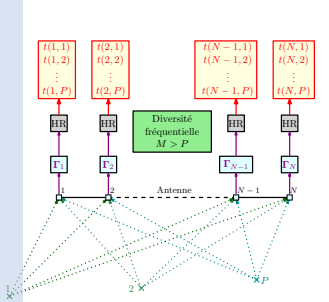
TDA

de $P = 10$ signaux sur $N = 10$ capteurs

Comment...

Oui, mais...

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



TDA

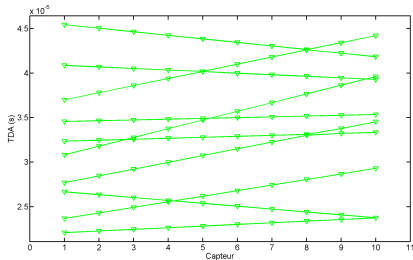
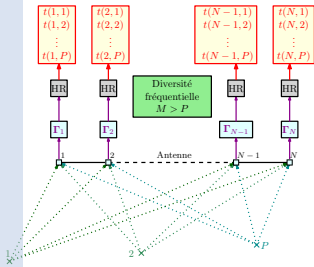
de $P = 10$ signaux sur $N = 10$ capteurs

Comment...

❶ associer les différents **TDA** ?

Oui, mais...

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



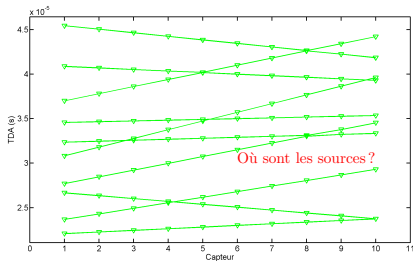
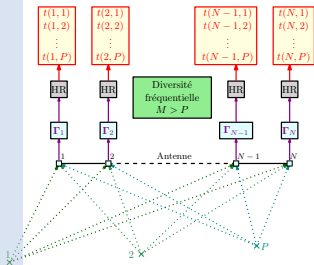
TDA de $P = 10$ signaux sur $N = 10$ capteurs

Comment...

❶ associer les différents **TDA** ?

Oui, mais...

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

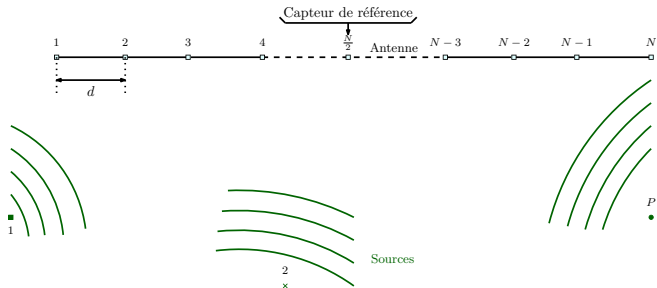


TDA de $P = 10$ signaux sur $N = 10$ capteurs

Comment...

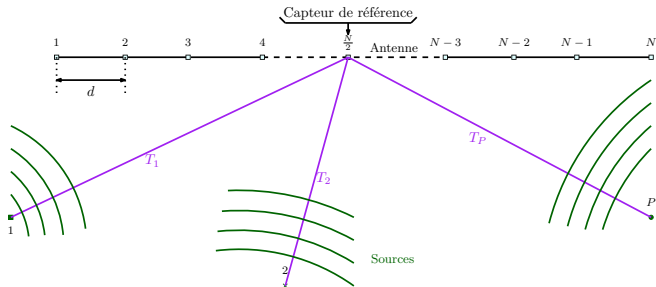
❶ associer les différents **TDA** ?

❷ localiser les sources ?

Qu'est ce qu'un **TDA** ?

Champ lointain – Le temps d'arrivée c'est :

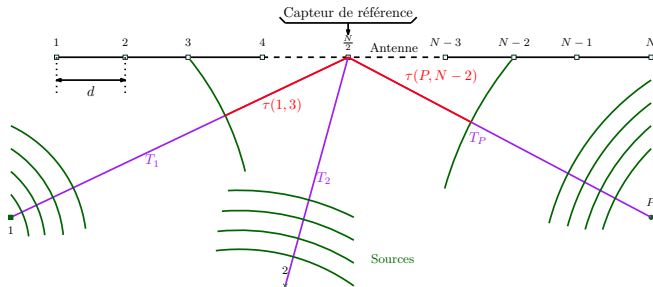
Qu'est ce qu'un **TDA** ?



Champ lointain – Le temps d'arrivée c'est :

un **TDA** de référence $T(p)$

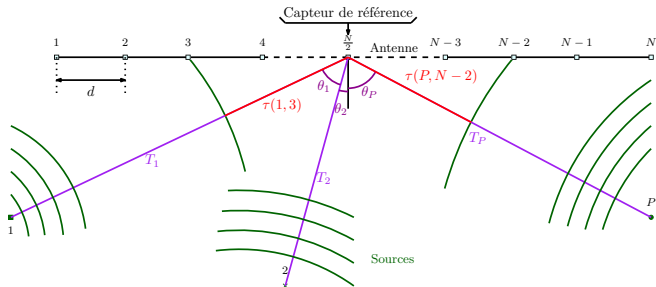
Qu'est ce qu'un TDA ?



Champ lointain – Le temps d'arrivée c'est :

un TDA de référence $T(p)$ + $\tau(p, n)$, le retard relatif

Qu'est ce qu'un TDA ?



Champ lointain – Le temps d'arrivée c'est :

un TDA de référence $T(p)$ + $\tau(p, n)$, le retard relatif

$$\tau(p, n) = \left(n - \frac{N}{2} \right) \frac{d}{v} \sin(\underbrace{\theta(p)}_{\text{DDA}})$$

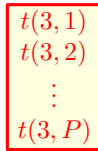
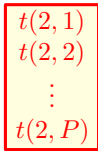
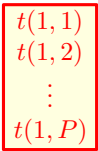
DDA

Lier les **TDA**

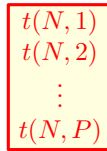
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Relation

$$\Delta t_n = t_{p,n} - t_{p,n-1}$$



...



Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Relation d'invariance

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$

$$\begin{array}{c} t(1, 1) \\ t(1, 2) \\ \vdots \\ t(1, P) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} t(2, 1) \\ t(2, 2) \\ \vdots \\ t(2, P) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} t(3, 1) \\ t(3, 2) \\ \vdots \\ t(3, P) \end{array}$$

...

$$\begin{array}{c} t(N, 1) \\ t(N, 2) \\ \vdots \\ t(N, P) \end{array}$$

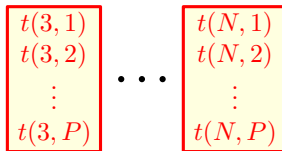
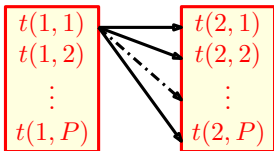
Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Relation d'invariance

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

- 1 On teste tous les chemins



Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$

Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

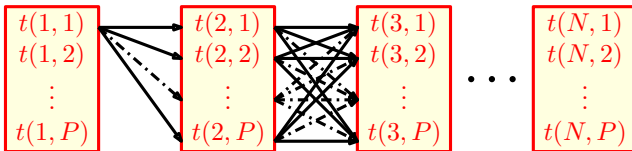
Relation d'invariance

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

- 1 On teste tous les chemins

Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$



Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

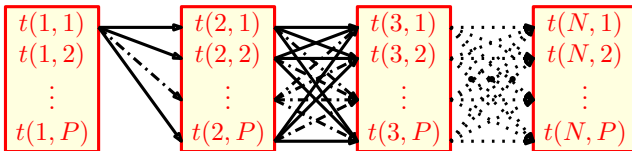
Relation d'invariance

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

- 1 On teste tous les chemins

Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$



Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

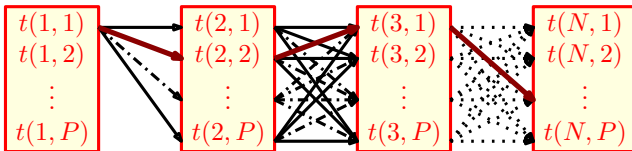
Relation d'invariance

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

- 1 On teste tous les chemins

Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$



Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Relation d'invariance

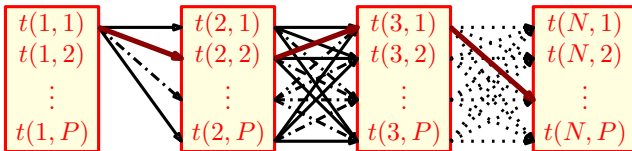
$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

- 1 On teste tous les chemins

Beaucoup de combinaisons (P^N)

Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$



Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Relation **d'invariance**

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

- 1 On teste tous les chemins

Beaucoup de combinaisons (P^N)

$$\begin{array}{c} t(1, 1) \\ t(1, 2) \\ \vdots \\ t(1, P) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} t(2, 1) \\ t(2, 2) \\ \vdots \\ t(2, P) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} t(3, 1) \\ t(3, 2) \\ \vdots \\ t(3, P) \end{array}$$

...

$$\begin{array}{c} t(N, 1) \\ t(N, 2) \\ \vdots \\ t(N, P) \end{array}$$

Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$

- 2 On cherche le meilleur chemin

Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Relation d'invariance

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

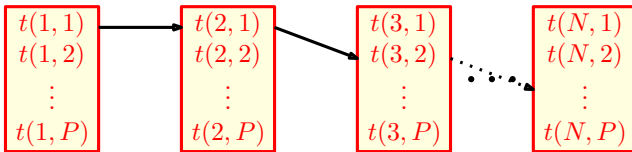
- 1 On teste tous les chemins

Beaucoup de combinaisons (P^N)

Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$

- 2 On cherche le meilleur chemin



Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Relation d'invariance

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

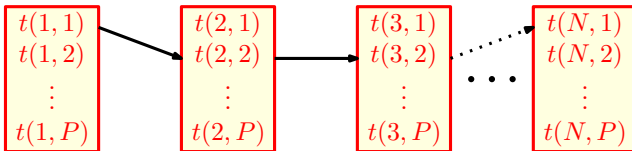
- 1 On teste tous les chemins

Beaucoup de combinaisons (P^N)

Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$

- 2 On cherche le meilleur chemin



Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Relation d'invariance

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

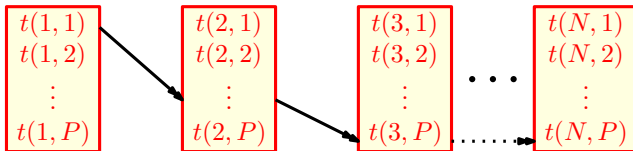
- 1 On teste tous les chemins

Beaucoup de combinaisons (P^N)

Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$

- 2 On cherche le meilleur chemin



Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Relation d'invariance

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

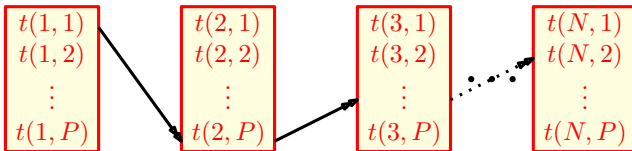
- On teste tous les chemins

Beaucoup de combinaisons (P^N)

Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$

- On cherche le meilleur chemin



Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Relation d'invariance

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

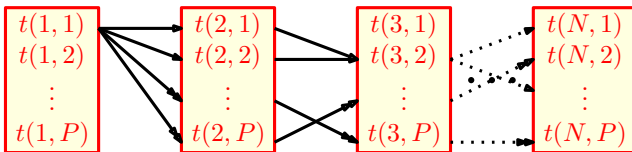
- 1 On teste tous les chemins

Beaucoup de combinaisons (P^N)

Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$

- 2 On cherche le meilleur chemin



Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Relation d'invariance

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

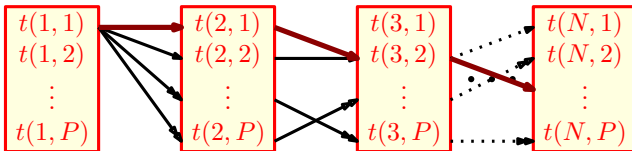
- 1 On teste tous les chemins

Beaucoup de combinaisons (P^N)

Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$

- 2 On cherche le meilleur chemin

 P^2 combinaisons

Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Relation d'invariance

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

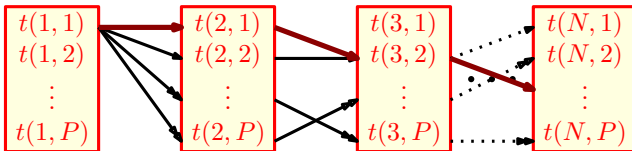
- 1 On teste tous les chemins

Beaucoup de combinaisons (P^N)

Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$

- 2 On cherche le meilleur chemin

 P^2 combinaisons

Lier les **TDA**

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

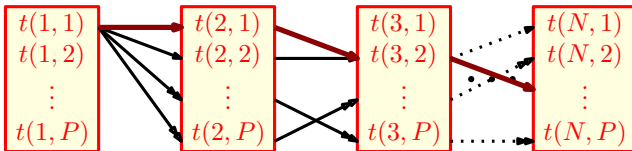
Relation d'invariance

$$\begin{aligned}\Delta t_n &= t_{p,n} - t_{p,n-1} \\ &= \frac{d}{v} \sin(\theta_p)\end{aligned}$$

- 1 On teste tous les chemins

Beaucoup de combinaisons (P^N)

$$N \geq 3$$



Minimisation d'EQM :

$$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (\Delta t_n - \bar{\Delta t})^2 = 0$$

- 2 On cherche le meilleur chemin

 P^2 combinaisons

Localiser les sources

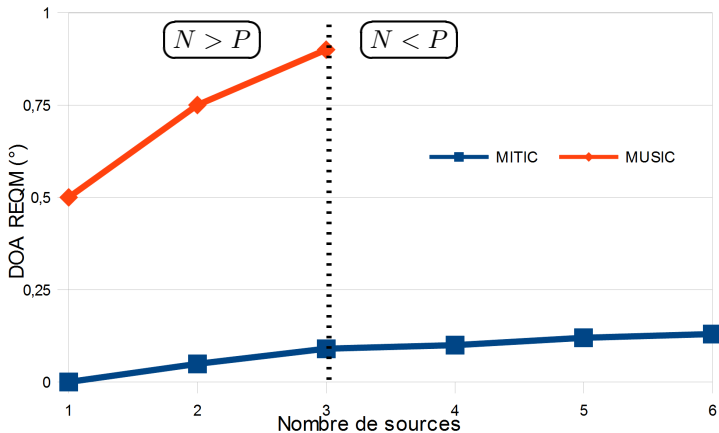
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Modèle linéaire

$$\begin{pmatrix} t(p, 1) \\ t(p, 2) \\ \vdots \\ t(p, N) \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & \frac{-Nd}{2v} \\ 1 & \frac{((2-N)d)}{2v} \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \frac{Nd}{2v} \end{pmatrix}}_{\Omega} \begin{pmatrix} T_p \\ \sin(\theta_p) \end{pmatrix}$$

Moindres carrés totaux

Estimation de : T_p et $\sin(\theta_p)$

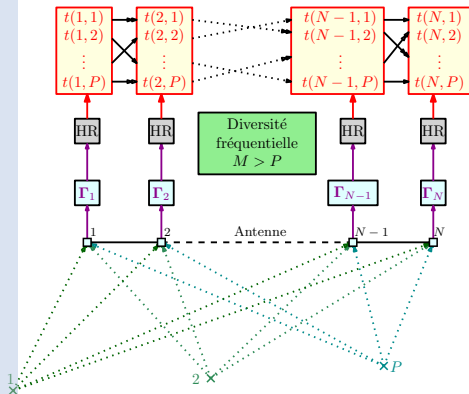
Simulations¹

Erreur quadratique moyenne pour la méthode proposée et MUSIC en fonction du nombre de sources pour une antenne de $N = 4$ capteurs

1. G. Villemin, C. Fossati et S. Bourennane, Spatio-temporal-based joint range and angle estimation for wideband signals. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2013(1):131, 2013.

Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



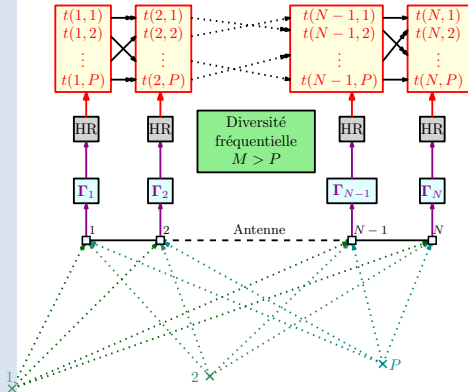
MITIC

- M éthode
- I ncohérente de
- T raitement
- I ndépendante
- C apteur par capteur

Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

☺ diversité fréquentielle : HR



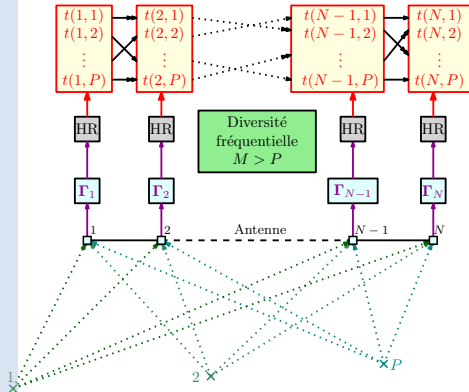
MITIC

M éthode
I ncohérente de
T raitement
I ndépendante
C apteur par capteur

Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

☺ diversité fréquentielle : HR

☺ $M > P$ 

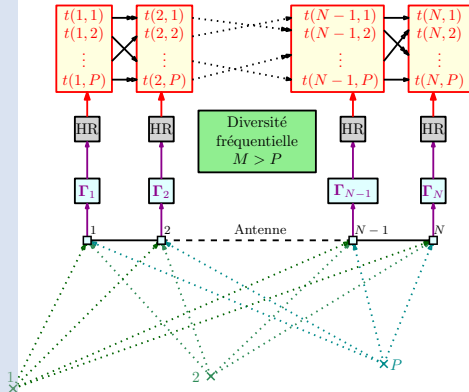
MITIC

- M éthode
- I ncohérente de
- T raitement
- I ndépendante
- C apteur par capteur

Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

- ☺ diversité fréquentielle : HR
- ☺ Association des TDA

☺ $M > P$ 

MITIC

- M éthode
- I ncohérente de
- T raitement
- I ndépendante
- C apteur par capteur

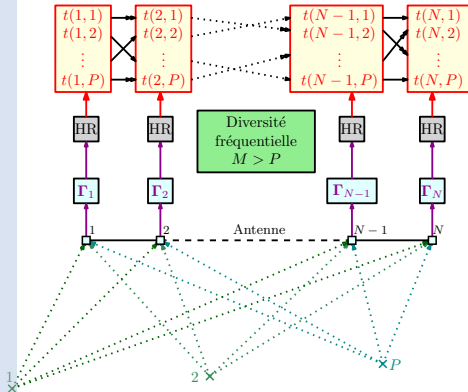
Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

☺ diversité fréquentielle : HR

☺ Association des **TDA**☺ $M > P$

☺ Localisation



MITIC

M éthode
I ncohérente de
T raitement
I ndépendante
C apteur par capteur

Plan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



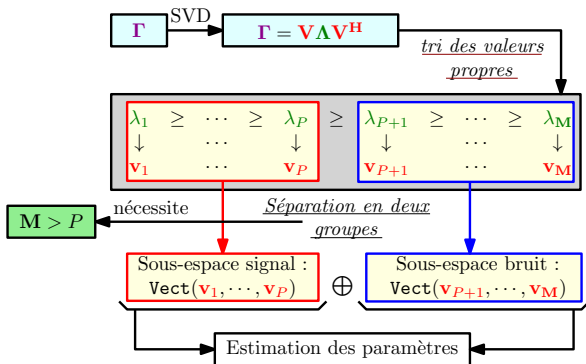
- ✓ Nouvelle méthode haute résolution pour la localisation de sources sans contrainte sur le nombre de capteurs
- ② Nouvelle méthode de localisation de sources corrélées
- ③ Choix optimal des paramètres
- ④ Application (des méthodes de localisation) à des signaux expérimentaux
- ⑤ Conclusion et perspectives

La corrélation

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \\ \Gamma_b \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{rang} \\ = \sigma^2 \mathbf{I} \end{array} \text{plein}$$

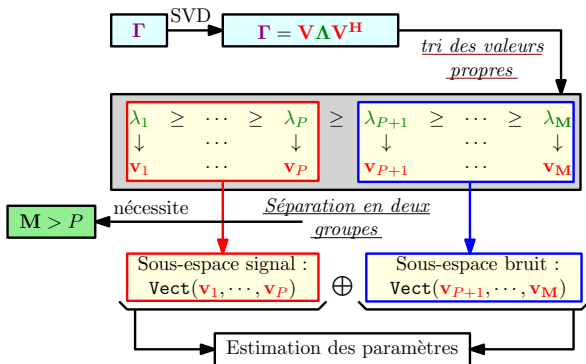


La corrélation

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang non plein} \\ \Gamma_b \neq \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$

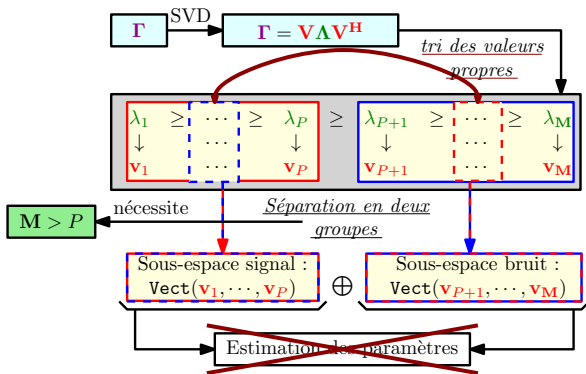


La corrélation

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang non plein} \\ \Gamma_b \neq \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$

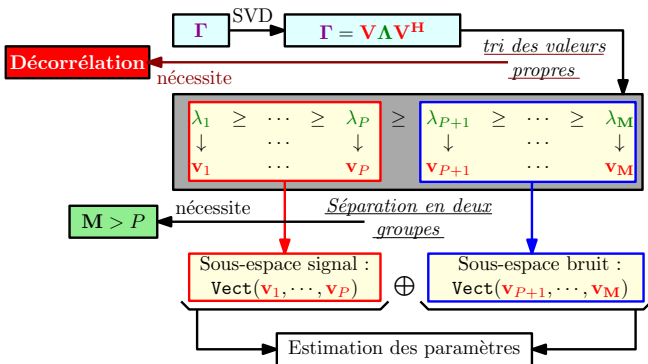


La corrélation

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang non plein} \\ \Gamma_b \neq \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$



La corrélation

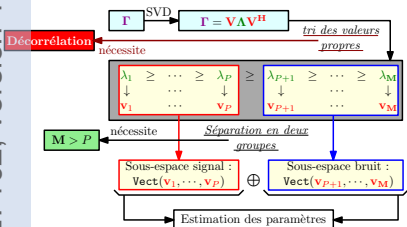
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H \text{ rang non plein} \\ \Gamma_b \neq \sigma^2\mathbf{I} \end{array} \right.$$

Il est nécessaire d'avoir :

- **Décorrélacion des signaux** : Γ_s de rang plein !
- **Décorrélacion du bruit** : $\Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I}$

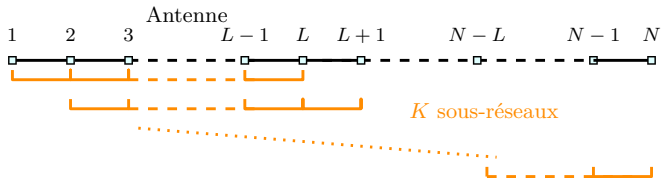


Les méthodes spatiales

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Les méthodes spatiales

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

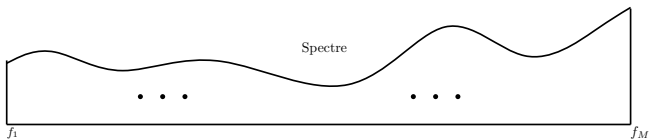


Lissage spatial

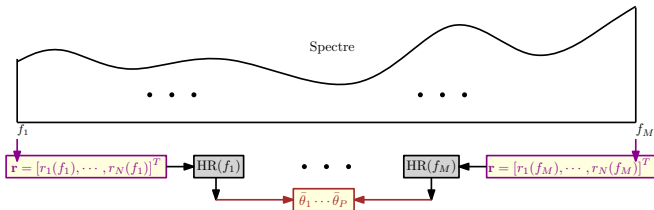
Antenne subdivisée en K sous-réseaux de L capteurs

Efficace si $N > 2P$

Les méthodes fréquentielles



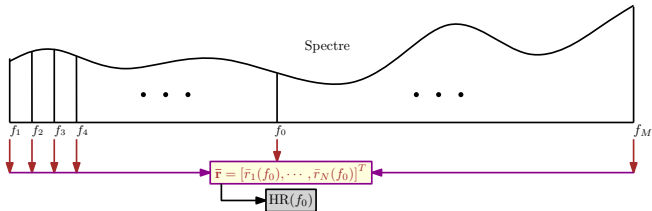
Les méthodes fréquentielles



Lissage incohérent

- M signaux bande étroite
- organisation spatiale donc $N > P$

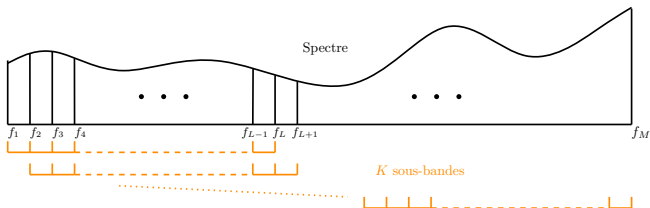
Les méthodes fréquentielles



Lissage cohérent

- focalisation sur une fréquence de travail
- organisation spatiale donc $N > P$

Les méthodes fréquentielles



Lissage en sous-bandes

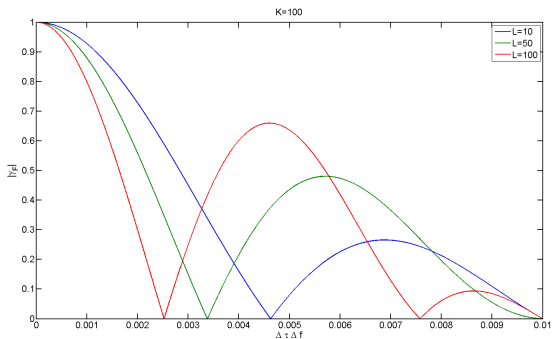
- Inspiré du lissage spatial
- Découpage en sous bande de taille $L < M$

Nécessite

$$\begin{aligned} M &> 2P \\ L &> P \end{aligned}$$

Réduction de la corrélation des sources

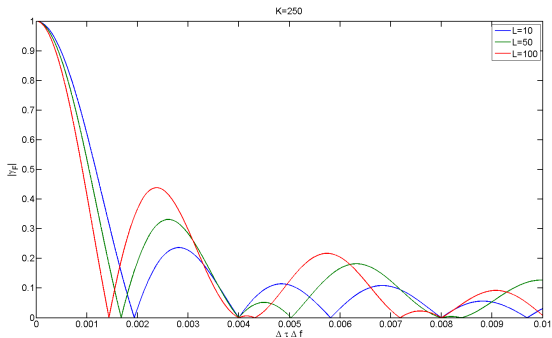
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Corrélation après traitement pour deux sources avec $\Delta f = 75\text{Hz}$, $L = [10, 50, 100]$ et $K = 100$ en fonction de Δt

Réduction de la corrélation des sources

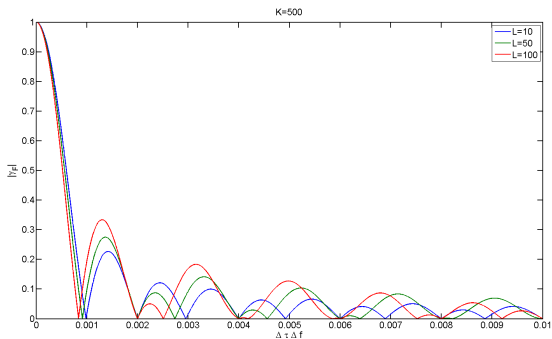
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Corrélation après traitement pour deux sources avec $\Delta f = 75\text{Hz}$, $L = [10, 50, 100]$ et $K = 250$ en fonction de Δt

Réduction de la corrélation des sources

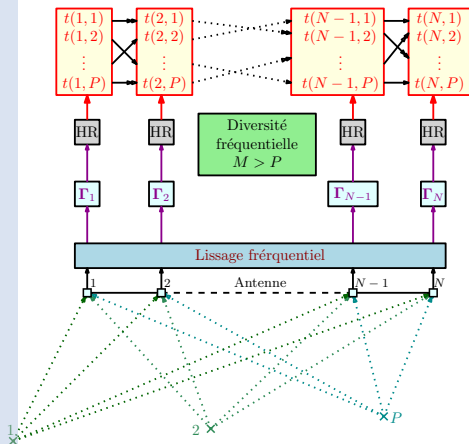
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Corrélation après traitement pour deux sources avec $\Delta f = 75\text{Hz}$, $L = [10, 50, 100]$ et $K = 500$ en fonction de Δt

Bilan

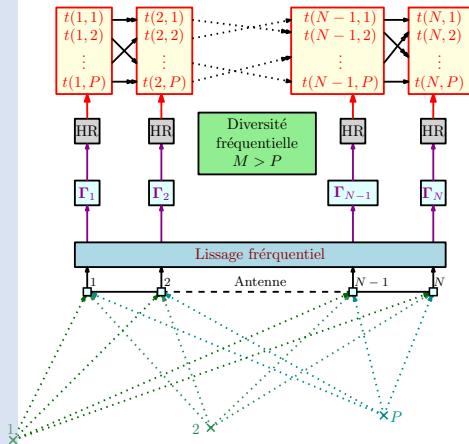
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

☺ Décorrélation

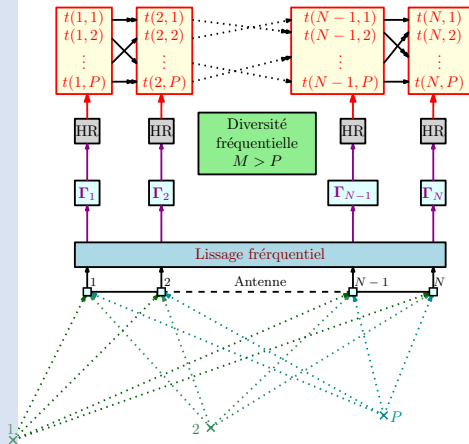


Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

☺ Décorrélation

☺

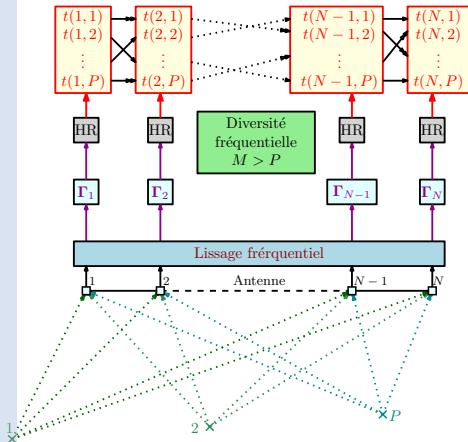
 $M > 2P$ 

Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

☺ Décorrélation

☺

 $M > 2P$ 

MITICAL

- M éthode
- I ncohérente de
- T raitement
- I ndépendante
- C apteur par capteur
- A **méliorée par**
- L **issage**

Plan

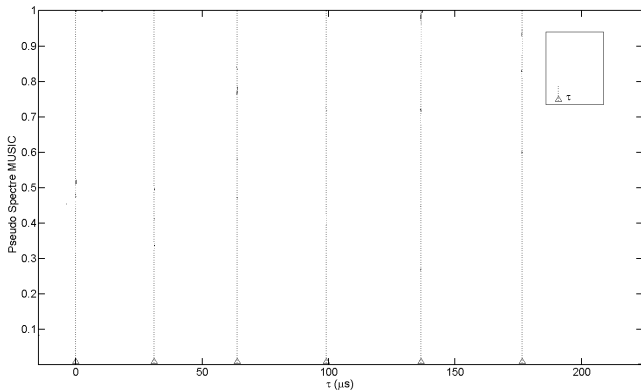
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



- ✓ Nouvelle méthode haute résolution pour la localisation de sources sans contrainte sur le nombre de capteurs
- ✓ Nouvelle méthode de localisation de sources corrélées
- ③ Choix optimal des paramètres
- ④ Application (des méthodes de localisation) à des signaux expérimentaux
- ⑤ Conclusion et perspectives

Risque de perte de résolution

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

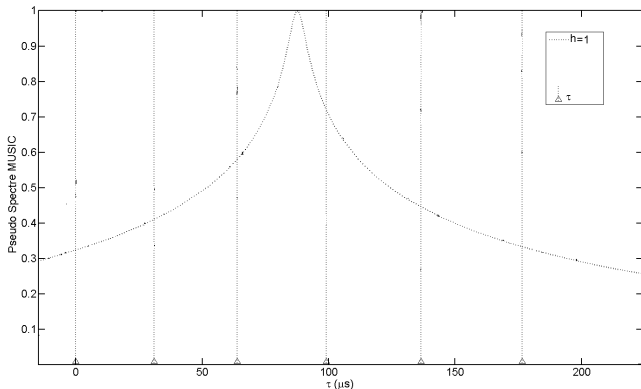


6 sources, $\Delta t = 30\mu\text{s}$



Risque de perte de résolution

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Pseudo Spectre MUSIC pour 6 sources $\Delta f = 75\text{Hz}$, $\Delta t = 30\mu\text{s}$, $L = 20$, $M = 980$

Petit rappel

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

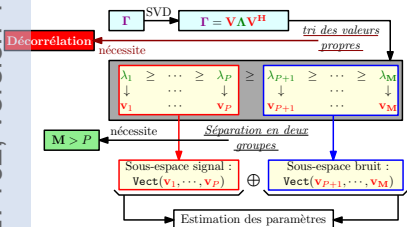
Décomposition de la matrice inter-spectrale des observations

$$\Gamma = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H + \Gamma_b$$

$$\begin{cases} \mathbf{A}\Gamma_s\mathbf{A}^H & \text{rang non plein} \\ \Gamma_b & \neq \sigma^2\mathbf{I} \end{cases}$$

Il est nécessaire d'avoir :

- **Décorrélacion des signaux** :
 Γ_s de rang plein !
- **Décorrélacion du bruit** :
 $\Gamma_b = \sigma^2\mathbf{I}$



Le lissage détériore la matrice de transfert

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \exp(-2i\pi f_1 t_1) & \exp(-2i\pi f_1 t_2) & \cdots & \exp(-2i\pi f_1 t_P) \\ \exp(-2i\pi f_2 t_1) & \exp(-2i\pi f_2 t_2) & \cdots & \exp(-2i\pi f_2 t_P) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \exp(-2i\pi f_L t_1) & \exp(-2i\pi f_L t_2) & \cdots & \exp(-2i\pi f_L t_P) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \exp(-2i\pi f_M t_1) & \exp(-2i\pi f_M t_2) & \cdots & \exp(-2i\pi f_M t_P) \end{bmatrix}$$

$\xleftarrow{\quad P \quad} \qquad \qquad \qquad \xrightarrow{\quad M \quad}$

Matrice de transfert de rang plein ?

La capacité à distinguer les colonnes de **A** est d'autant plus grande que :

- Δt est grand
- M est grand
- Δf est grand

Le lissage détériore la matrice de transfert

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \exp(-2i\pi f_1 t_1) & \exp(-2i\pi f_1 t_2) & \cdots & \exp(-2i\pi f_1 t_P) \\ \exp(-2i\pi f_2 t_1) & \exp(-2i\pi f_2 t_2) & \cdots & \exp(-2i\pi f_2 t_P) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \exp(-2i\pi f_L t_1) & \exp(-2i\pi f_L t_2) & \cdots & \exp(-2i\pi f_L t_P) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \exp(-2i\pi f_M t_1) & \exp(-2i\pi f_M t_2) & \cdots & \exp(-2i\pi f_M t_P) \end{bmatrix}$$

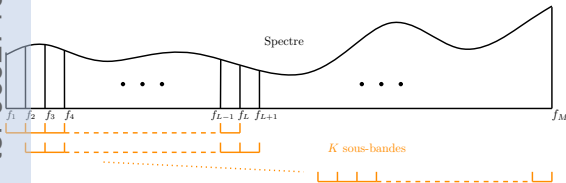
P

L
 M

Matrice de transfert de rang plein ?

La capacité à distinguer les colonnes de \mathbf{A} est d'autant plus grande que :

- Δt est grand
- M est grand
- Δf est grand



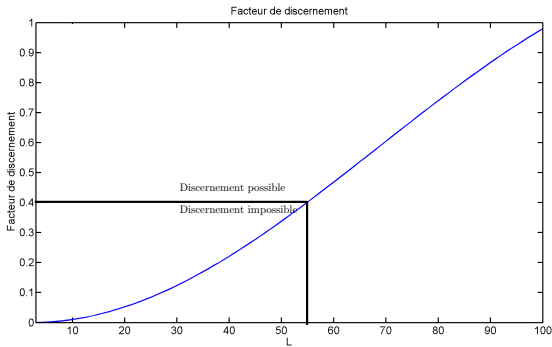
Impact du lissage

Nouvelle matrice de transfert \mathbf{A}_1 :

$$L < M!$$

Facteur de discernement

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Facteur de discernement de deux colonnes de la matrice de transfert $\Delta t \Delta f = 0.01$, $M = 200$ en fonction de L

Lissage alternatif

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

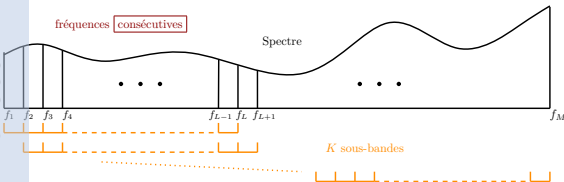
$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \exp(-2i\pi f_1 t_1) & \exp(-2i\pi f_1 t_2) & \cdots & \exp(-2i\pi f_1 t_P) \\ \exp(-2i\pi f_2 t_1) & \exp(-2i\pi f_2 t_2) & \cdots & \exp(-2i\pi f_2 t_P) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \exp(-2i\pi f_L t_1) & \exp(-2i\pi f_L t_2) & \cdots & \exp(-2i\pi f_L t_P) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \exp(-2i\pi f_M t_1) & \exp(-2i\pi f_M t_2) & \cdots & \exp(-2i\pi f_M t_P) \end{bmatrix}$$

\leftarrow P \uparrow L \downarrow M

Matrice de transfert de rang plein ?

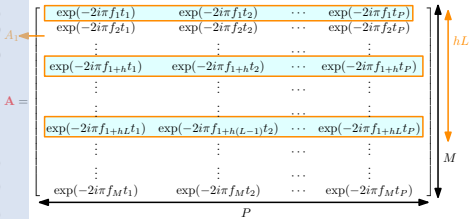
La capacité à distinguer les colonnes de \mathbf{A} est d'autant plus grande que :

- Δt est grand
- M est grand
- Δf est grand



Lissage alternatif

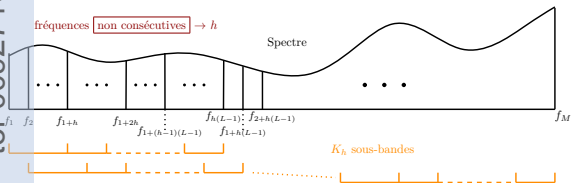
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Matrice de transfert de rang plein ?

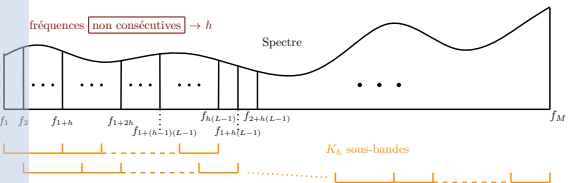
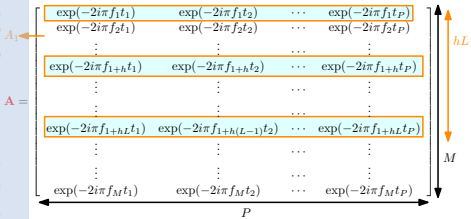
La capacité à distinguer les colonnes de A est d'autant plus grande que :

- Δt est grand
- M est grand
- Δf est grand



Lissage alternatif

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Matrice de transfert de rang plein ?

La capacité à distinguer les colonnes de A est d'autant plus grande que :

- Δt est grand
- M est grand
- Δf est grand

Impact du lissage

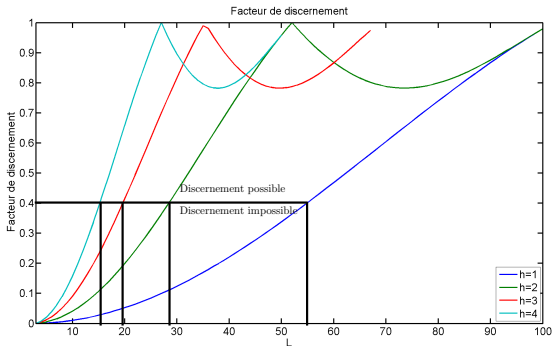
Nouvelle matrice de transfert A_1 :

$L < M$ mais

$\Delta'f = h\Delta f$

L'amélioration du facteur de discernement

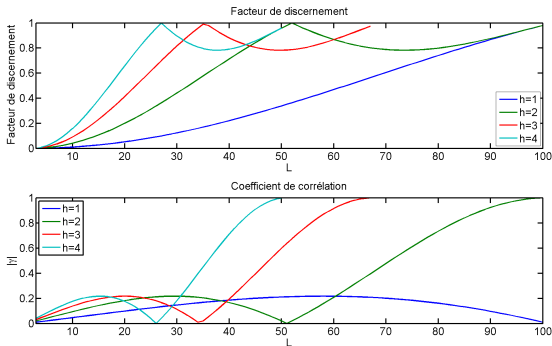
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Facteur de discernement de deux colonnes de la matrice de transfert $\Delta t \Delta f = 0.01$, $M = 200$ en fonction de L pour différentes valeurs de h

Impact sur la décorrélation des signaux

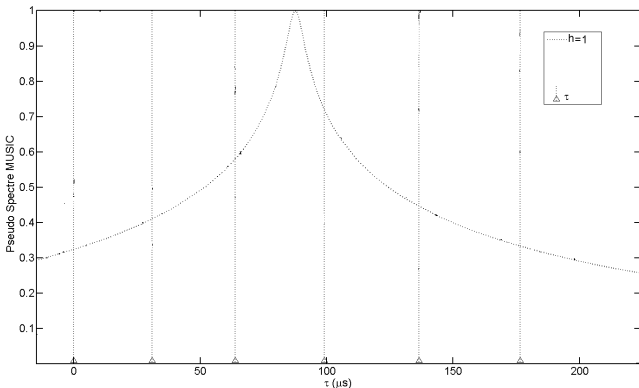
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Facteur de discernement de deux colonnes de la matrice de transfert et coefficient de corrélation entre deux sources pour $\Delta t \Delta f = 0.01$, $M = 200$ en fonction de L pour différentes valeurs de h

Validation de l'amélioration¹

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

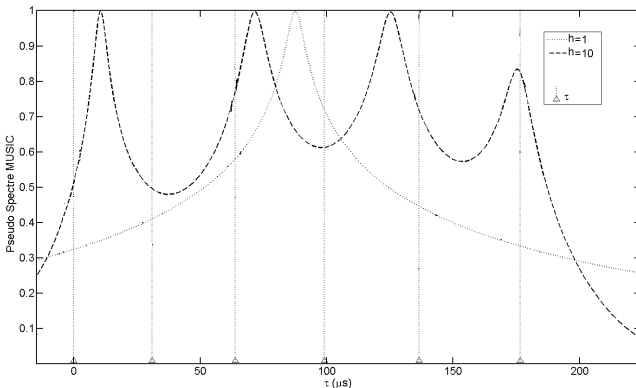


Pseudo Spectre MUSIC pour 6 sources $\Delta f = 75$ Hz, $\Delta t = 30\mu$ s, $L = 20$, $M = 980$, $\mathbf{h} = \mathbf{1}$

1. G. Villemin, C. Fossati et S. Bourennane, **Efficient time of arrival estimation in the presence of multipath propagation**. *J. Acoust. Soc. Am.*, 134(4):EL301–EL306, octobre 2013.

Validation de l'amélioration¹

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

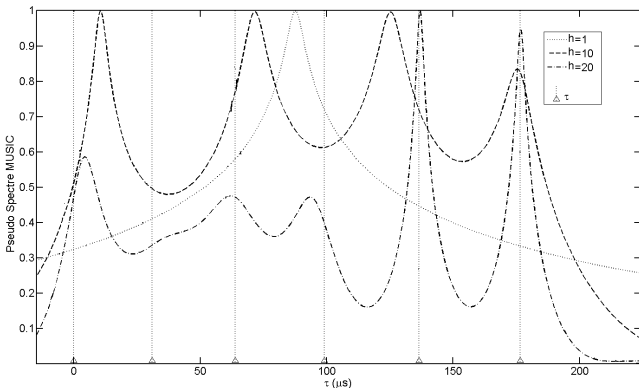


Pseudo Spectre MUSIC pour 6 sources $\Delta f = 75\text{Hz}$, $\Delta t = 30\mu\text{s}$, $L = 20$, $M = 980$, $h = 10$

1. G. Villemin, C. Fossati et S. Bourennane, **Efficient time of arrival estimation in the presence of multipath propagation**. *J. Acoust. Soc. Am.*, 134(4):EL301–EL306, octobre 2013.

Validation de l'amélioration¹

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

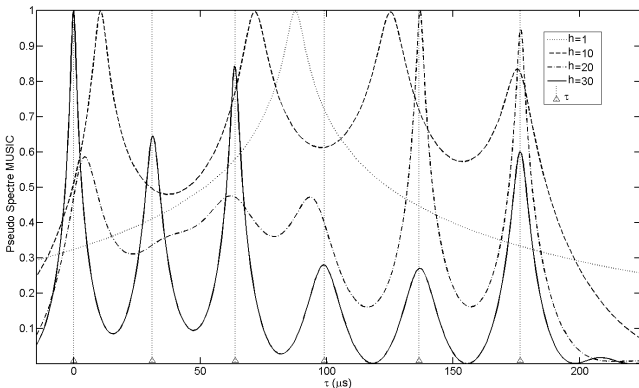


Pseudo Spectre MUSIC pour 6 sources $\Delta f = 75\text{Hz}$, $\Delta t = 30\mu\text{s}$, $L = 20$, $M = 980$, $h = 20$

1. G. Villemin, C. Fossati et S. Bourennane, *Efficient time of arrival estimation in the presence of multipath propagation*. *J. Acoust. Soc. Am.*, 134(4):EL301-EL306, octobre 2013.

Validation de l'amélioration¹

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

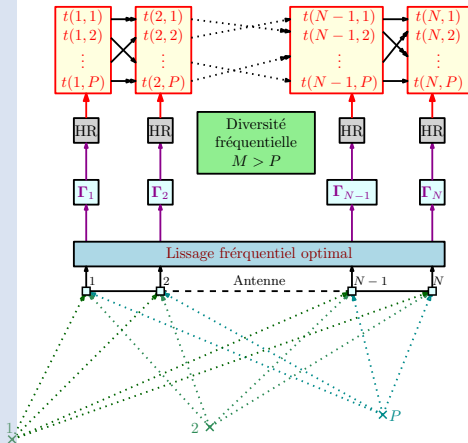


Pseudo Spectre MUSIC pour 6 sources $\Delta f = 75\text{Hz}$, $\Delta t = 30\mu\text{s}$, $L = 20$, $M = 980$, $h = 30$

1. G. Villemin, C. Fossati et S. Bourennane, Efficient time of arrival estimation in the presence of multipath propagation. *J. Acoust. Soc. Am.*, 134(4):EL301-EL306, octobre 2013.

Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



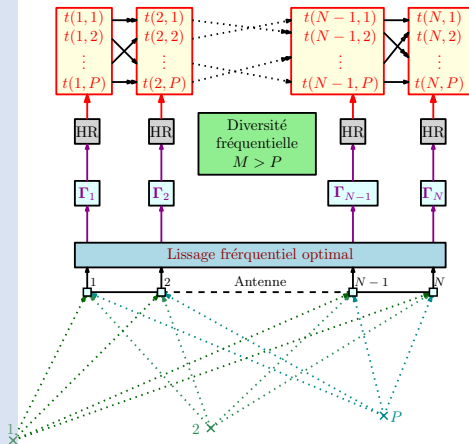
M
I
T
I
C
A
L

éthode
cohérente de
raitement
ndépendante
apteur par capteur
méliorée par
lissage

Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

☺ Décorrélation



M
I
T
I
C
A
L

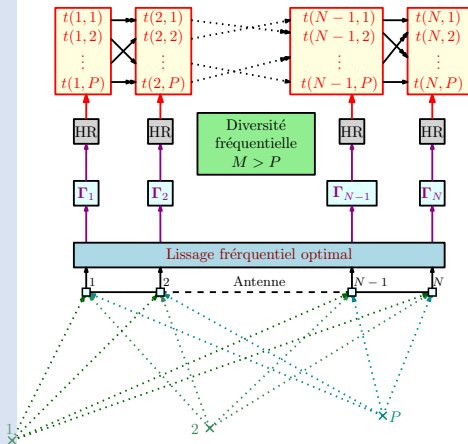
éthode
cohérente de
raitement
ndépendante
apteur par capteur
méliorée par
lissage

Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

☺ Décorrélation

☺ Conservation de la résolution



M
I
T
I
C
A
L

éthode
cohérente de
raitement
ndépendante
apteur par capteur
méliorée par
lissage

Plan

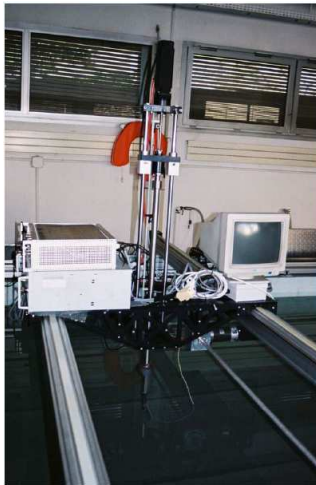
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



- ✓ Nouvelle méthode haute résolution pour la localisation de sources sans contrainte sur le nombre de capteurs
- ✓ Nouvelle méthode de localisation de sources corrélées
- ✓ Choix optimal des paramètres
- ④ Application (des méthodes de localisation) à des signaux expérimentaux
- ⑤ Conclusion et perspectives

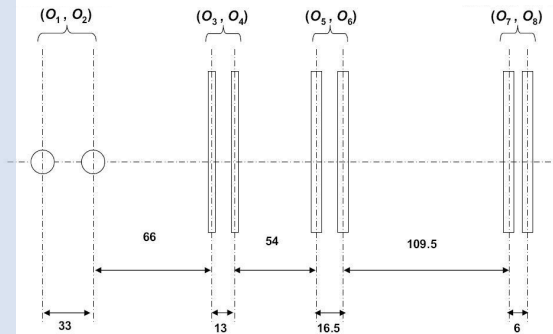
Détection acoustique d'objets enfouis

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

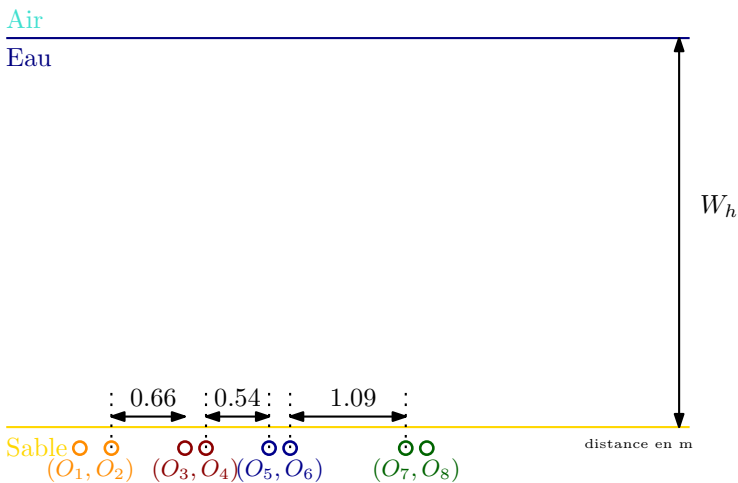


Les objets

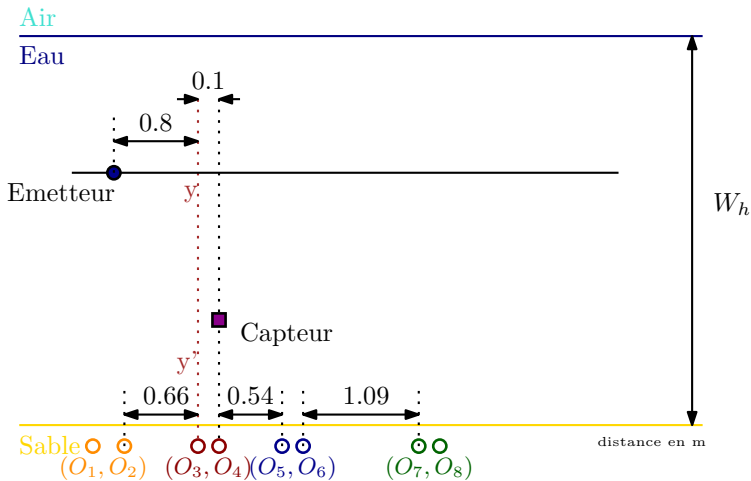
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



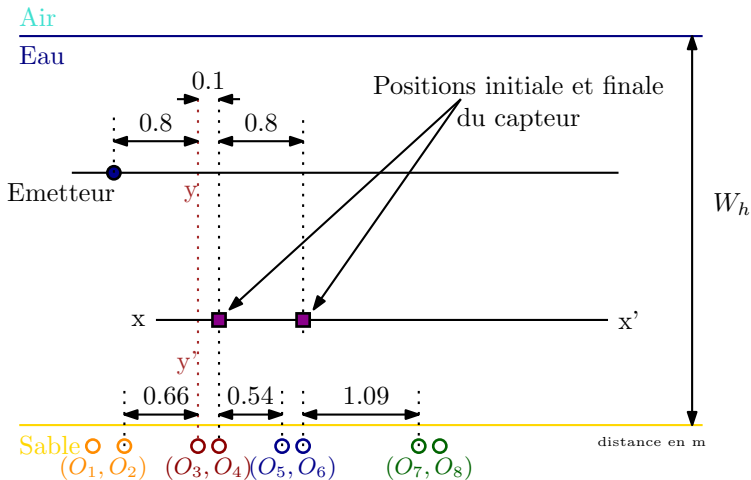
Protocole expérimental



Protocole expérimental



Protocole expérimental

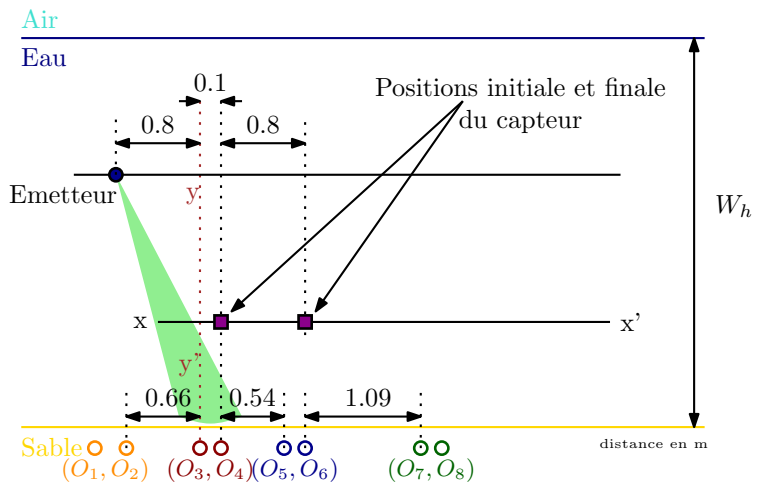


Antenne

$N = 3$ $d = 2\text{mm}$

Protocole expérimental

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



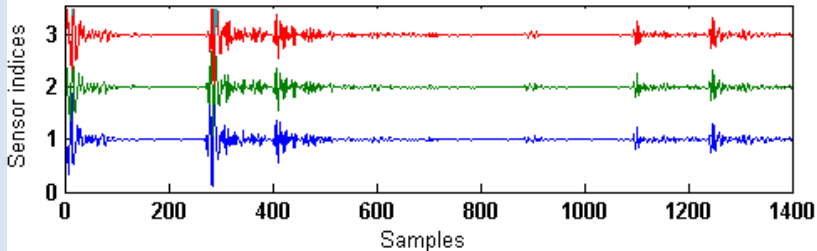
Antenne
 $N = 3$ $d = 2\text{mm}$

Signal émis : Impulsion
 $15\mu\text{s}$ $B = 100\text{kHz}$, $f_0 = 200\text{kHz}$

Enregistrement
2MHz, $700\mu\text{s}$

Protocole expérimental

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



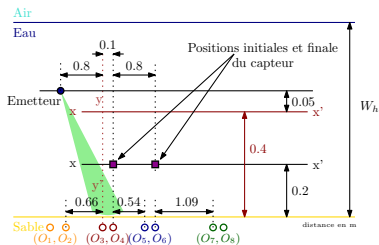
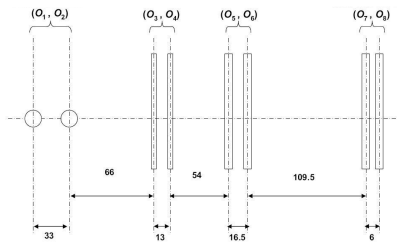
Antenne
 $N = 3$ $d = 2\text{mm}$

Signal émis : Impulsion
 $15\mu\text{s}$ $B = 100\text{kHz}$, $f_0 = 200\text{kHz}$

Enregistrement
 2MHz , $700\mu\text{s}$

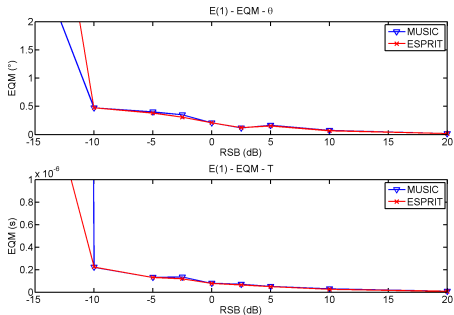
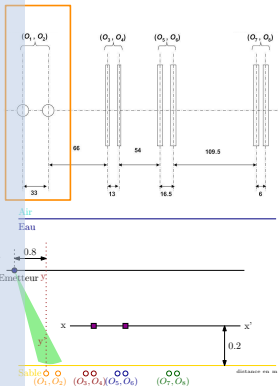
Résultats expérimentaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Résultats expérimentaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

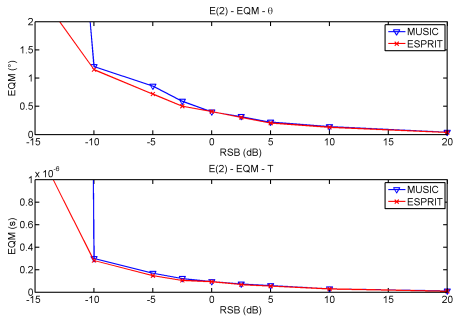
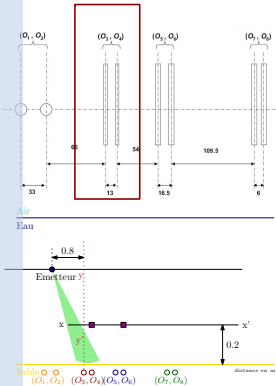


EQM pour l'estimation de θ et T avec MITICAL combinée aux méthodes HR MUSIC et ESPRIT. $h = 1$.

1

Résultats expérimentaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

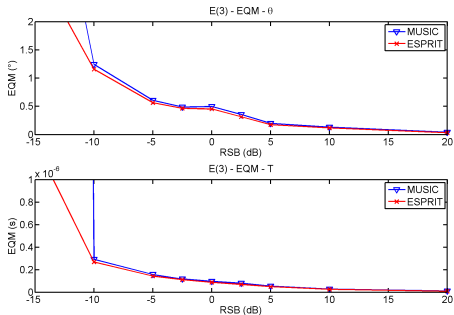
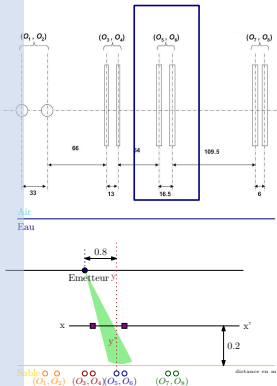


EQM pour l'estimation de θ et T avec MITICAL combinée aux méthodes HR MUSIC et ESPRIT. $h = 1$.

1

Résultats expérimentaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

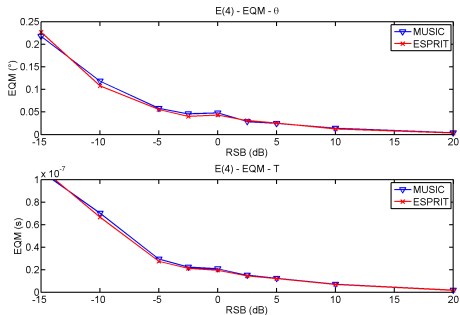
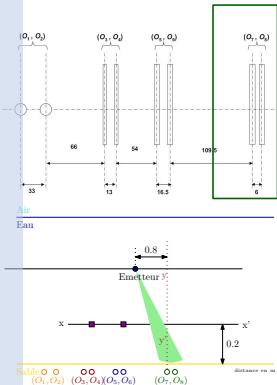


EQM pour l'estimation de θ et T avec MITICAL combinée aux méthodes HR MUSIC et ESPRIT. $h = 1$.

1

Résultats expérimentaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

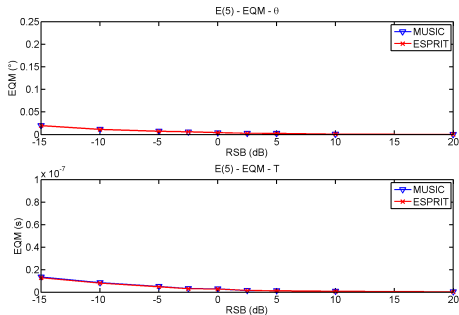
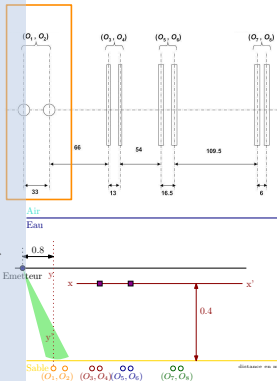


EQM pour l'estimation de θ et T avec MITICAL combinée aux méthodes HR MUSIC et ESPRIT. $h = 1$.

1

Résultats expérimentaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

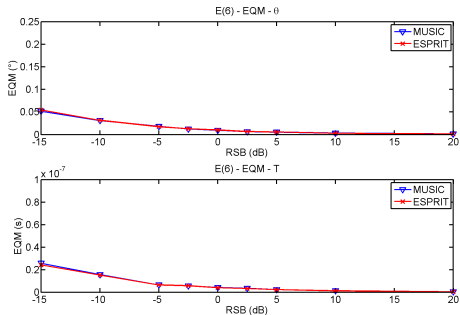
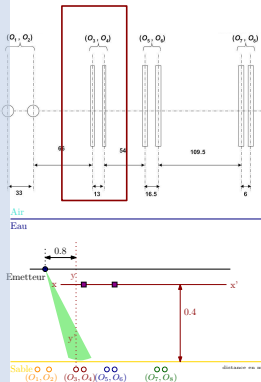


EQM pour l'estimation de θ et T avec MITICAL combinée aux méthodes HR MUSIC et ESPRIT. $h = 1$.

1

Résultats expérimentaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

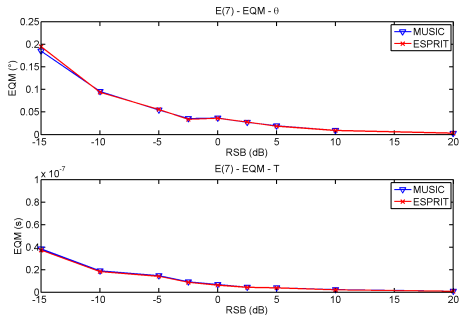
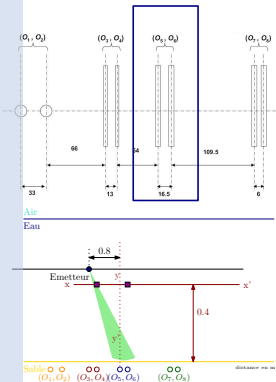


EQM pour l'estimation de θ et T avec MITICAL combinée aux méthodes HR MUSIC et ESPRIT. $h = 1$.

1

Résultats expérimentaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

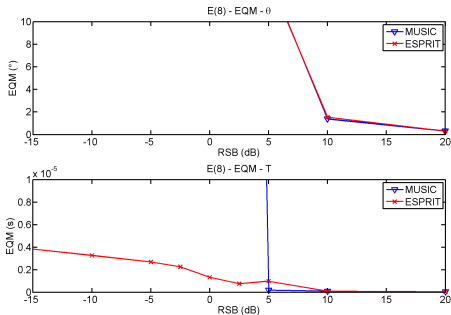
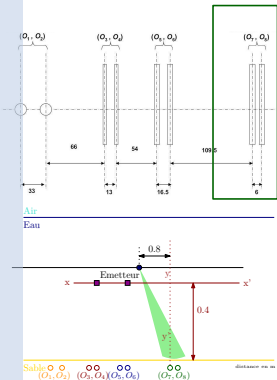


EQM pour l'estimation de θ et T avec MITICAL combinée aux méthodes HR MUSIC et ESPRIT. $h = 1$.

1

Résultats expérimentaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

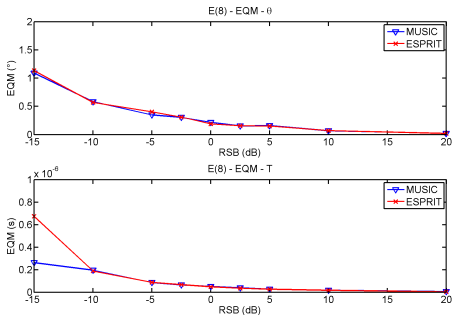
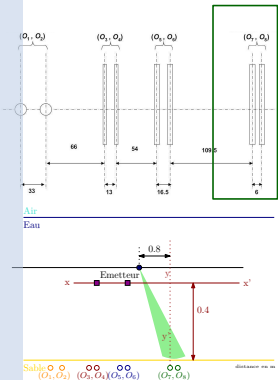


EQM pour l'estimation de θ et T avec MITICAL combinée aux méthodes HR MUSIC et ESPRIT. $h = 1$.

1

Résultats expérimentaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

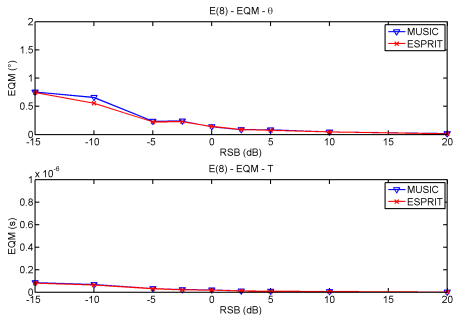
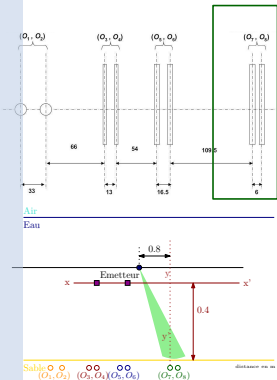


EQM pour l'estimation de θ et T avec MITICAL combinée aux méthodes HR MUSIC et ESPRIT. $h = 2$.

1

Résultats expérimentaux

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

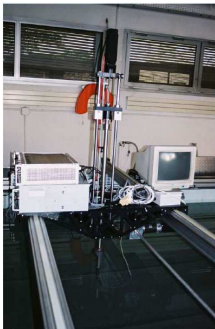


EQM pour l'estimation de θ et T avec MITICAL combinée aux méthodes HR MUSIC et ESPRIT. $h = 3$.

1

Bilan

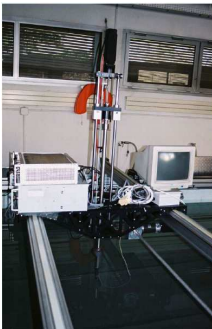
tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

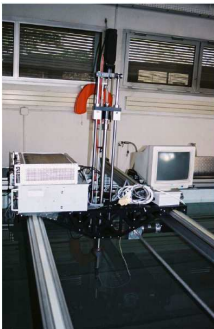
☺ MITICAL validée



Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

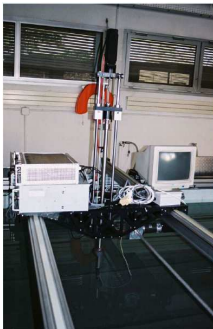
☺ MITICAL validée ☺ Bonnes performances



Bilan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

- ☺ MITICAL validée
- ☺ Bonnes performances
- ☺ Bonne robustesse



Plan

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014



- ✓ Nouvelle méthode haute résolution pour la localisation de sources sans contrainte sur le nombre de capteurs
- ✓ Nouvelle méthode de localisation de sources corrélées
- ✓ Choix optimal des paramètres
- ✓ Application (des méthodes de localisation) à des signaux expérimentaux
- ⑤ Conclusion et perspectives

Conclusion générale

Les HR ne fonctionnent pas lorsque $N < P$.

Conclusion générale

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Les HR ne fonctionnent pas lorsque $N < P$.

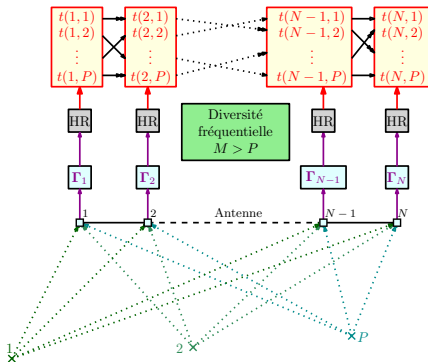
Proposition :

Conclusion générale

Les HR ne fonctionnent pas lorsque $N < P$.

Proposition :

- MITIC

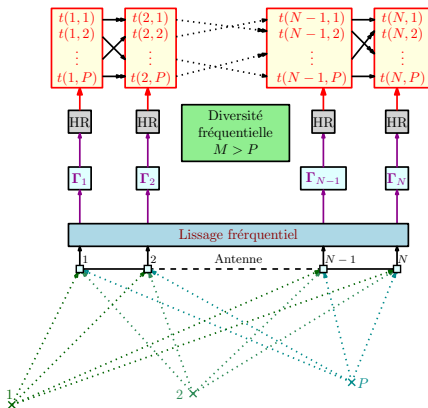


Conclusion générale

Les HR ne fonctionnent pas lorsque $N < P$.

Proposition :

- MITIC
- MITICAL

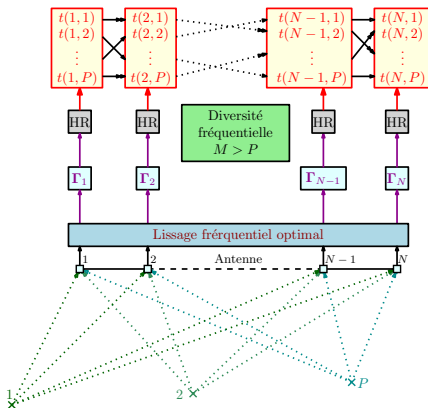


Conclusion générale

Les HR ne fonctionnent pas lorsque $N < P$.

Proposition :

- MITIC
- MITICAL
- Optimisation



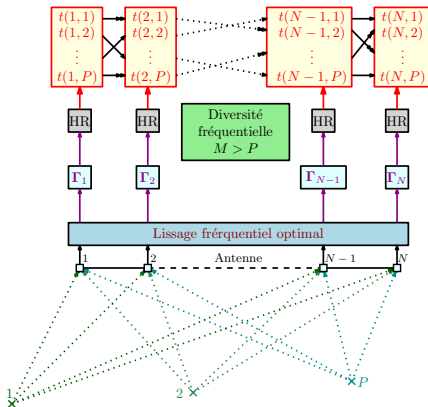
Conclusion générale

Les HR ne fonctionnent pas lorsque $N < P$.

Proposition :

- MITIC
- MITICAL
- Optimisation

Objectif atteint ?



Conclusion générale

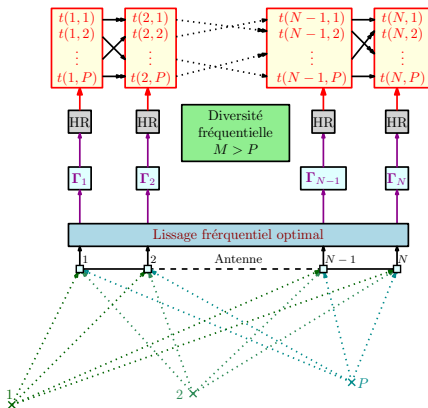
Les HR ne fonctionnent pas lorsque $N < P$.

Proposition :

- MITIC
- MITICAL
- Optimisation

Objectif atteint ?

- Performances de la HR
- $N < P$ possible



Perspectives

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Ce n'est qu'un début...



1. Papier en cours d'écriture...

Perspectives

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Ce n'est qu'un début...



On peut envisager, entre autres :

1. Papier en cours d'écriture...

Perspectives

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Ce n'est qu'un début...



On peut envisager, entre autres :

- une validation sur des signaux réels plus poussée,

Perspectives

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Ce n'est qu'un début...



On peut envisager, entre autres :

- une validation sur des signaux réels plus poussée,
- d'étudier la robustesse du processus d'association et de proposer d'autres méthodes d'association,

Perspectives

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Ce n'est qu'un début...



On peut envisager, entre autres :

- une validation sur des signaux réels plus poussée,
- d'étudier la robustesse du processus d'association et de proposer d'autres méthodes d'association,
- de discuter le choix de la méthode HR,

Perspectives

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Ce n'est qu'un début...



On peut envisager, entre autres :

- une validation sur des signaux réels plus poussée,
- d'étudier la robustesse du processus d'association et de proposer d'autres méthodes d'association,
- de discuter le choix de la méthode HR,
- une réflexion sur comment connaître le nombre de sources à observer ?

Perspectives

tel-00927102, version 1 - 10 Jan 2014

Ce n'est qu'un début...



On peut envisager, entre autres :

- une validation sur des signaux réels plus poussée,
- d'étudier la robustesse du processus d'association et de proposer d'autres méthodes d'association,
- de discuter le choix de la méthode HR,
- une réflexion sur comment connaître le nombre de sources à observer ?
- d'étudier les performances asymptotiques de MITICAL¹ (CRB, ...)

1. Papier en cours d'écriture...

MERCI DE VOTRE ATTENTION

