

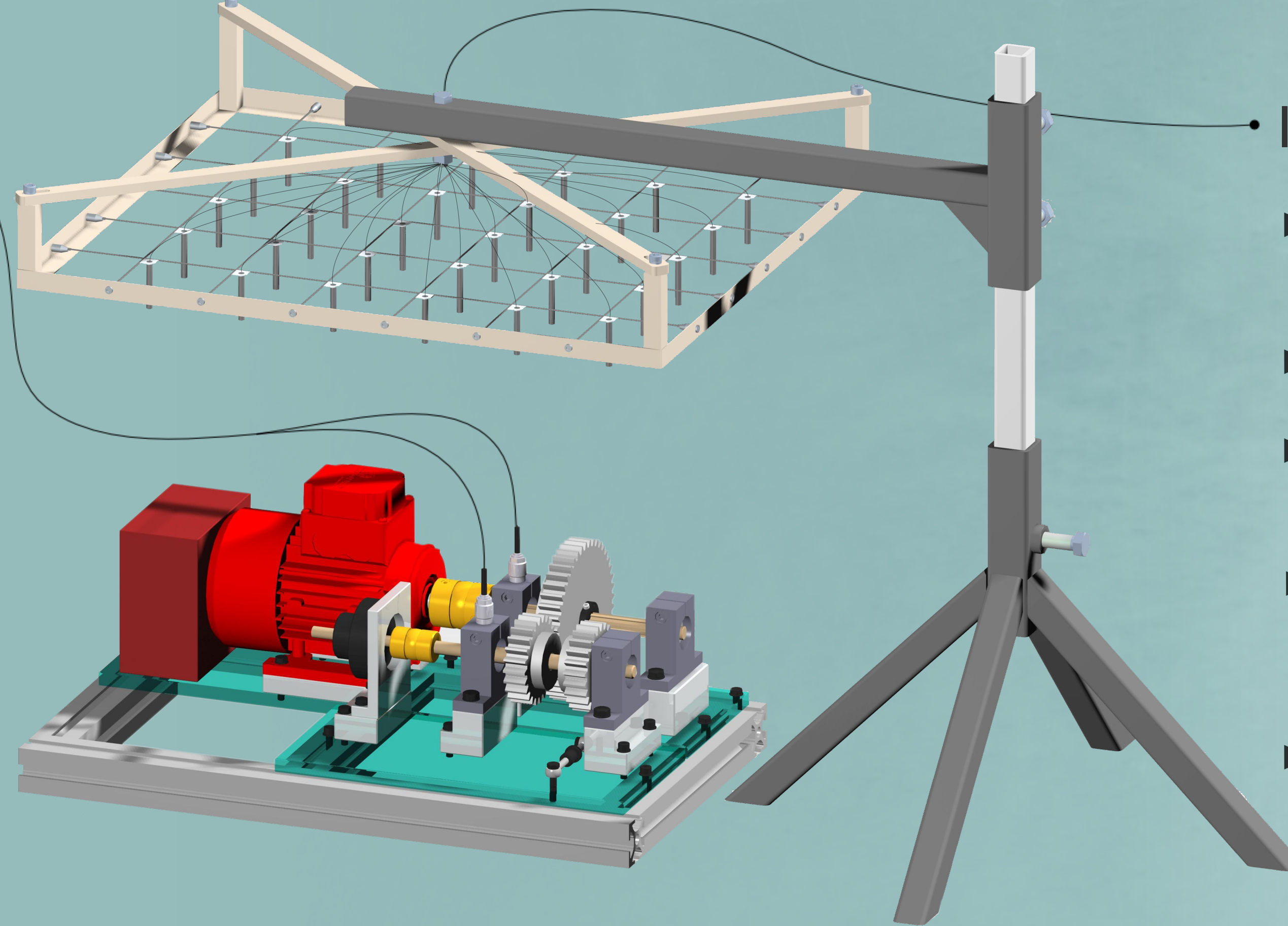
## CONTEXTE & MOTIVATIONS

La **surveillance des machines** consiste à évaluer continuellement l'intégrité d'un mécanisme afin de prévenir des pannes. Le **diagnostic** permet de désigner et de caractériser le défaut.

### ANALYSE VIBRATOIRE

- Moyens : accéléromètres placés en des points stratégiques de la machine
- Mesure des signaux vibratoires pendant le fonctionnement de la machine
- Outils d'analyse  
Analyse spectrale, Analyse d'enveloppe  
Spectrogramme, Kurtosis, Cyclostationnarité, etc...
- Domaines d'analyse

Fréquence Temps



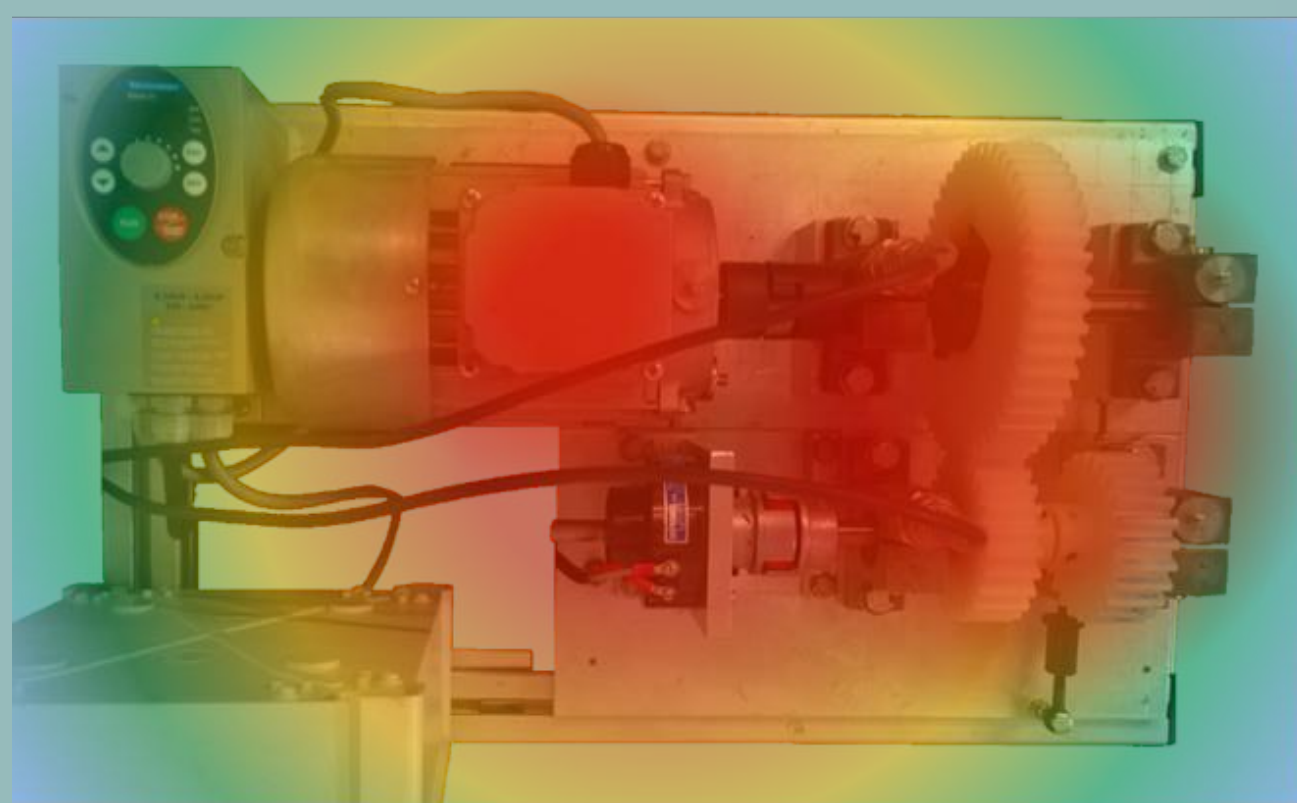
### IMAGERIE ACOUSTIQUE

- Moyens : antenne de microphones positionnée en face de la machine
- Mesure du champ acoustique rayonné
- Méthode d'imagerie  
Beamforming, Holographie, Sources équivalentes, etc...
- Outils d'analyse  
Cartographies du champ acoustique (pression, vitesses)  
+ Outils d'analyse vibratoire
- Domaines d'analyse

Fréquence Temps Espace

## PROBLEMATIQUE

- L'imagerie acoustique permet de visualiser l'énergie rayonnée par une machine sur une **plage de fréquences**

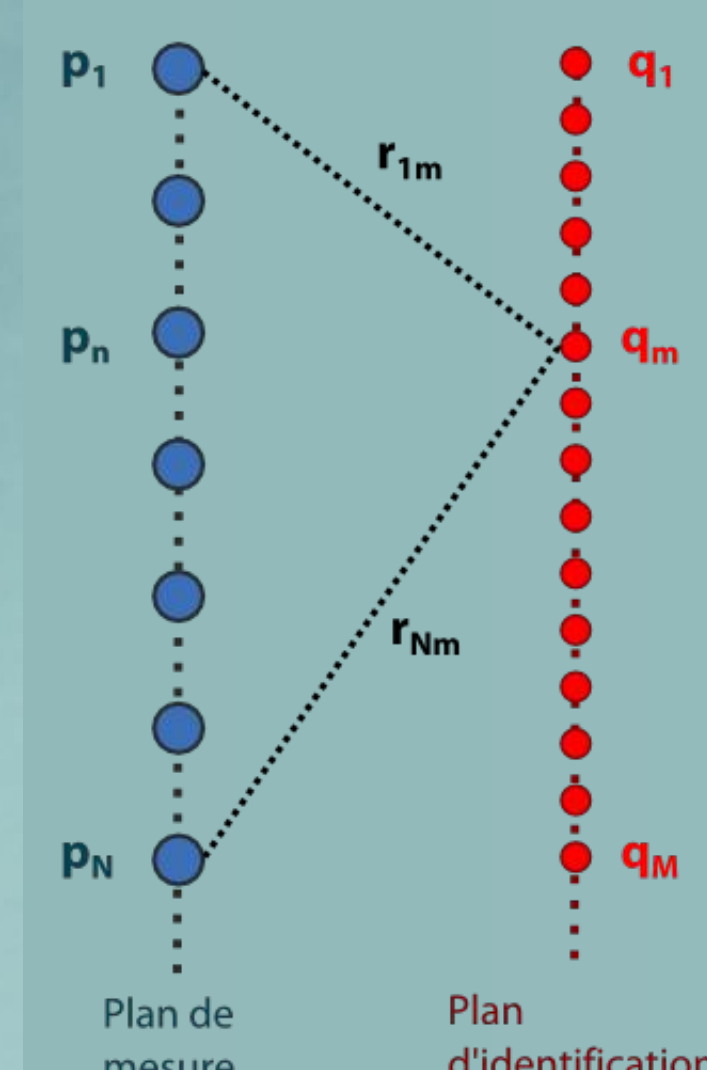


L'énergie rayonnée n'est pas forcément coïncidente avec la position du défaut

- Trouver un indicateur permettant de se débarrasser du rayonnement acoustique pour localiser la provenance d'un défaut

## APPROCHE PROPOSEE

### BEAMFORMING



Sources monopolaires  
 $G_{nm} = \frac{e^{-jkr_{nm}}}{r_{nm}}$

Nombre d'onde  
 $k = \frac{2\pi f}{c}$

Coefficient de distance  
 $w_m = \left( \sum_{n=1}^N \left( \frac{1}{r_{nm}} \right)^2 \right)^{-1/2}$

Focalisation au point m à fréquence fixée

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{1m} \\ \vdots \\ G_{Nm} \end{pmatrix} q_m$$

Solution des moindres carrés

$$q_m = w_m \sum_{n=1}^N p_n \frac{e^{jkr_{nm}}}{r_{nm}}$$

### KURTOSIS

Les défauts de roulement et d'engrenage ont une signature vibratoire **impulsive** et **non-stationnaire**

Combinaison du kurtosis et du beamforming pour localiser spatialement les sources impulsives

$$\kappa_Y = \frac{\langle |Y(t) - \mu_Y|^4 \rangle}{\sigma_Y^4} - 3$$

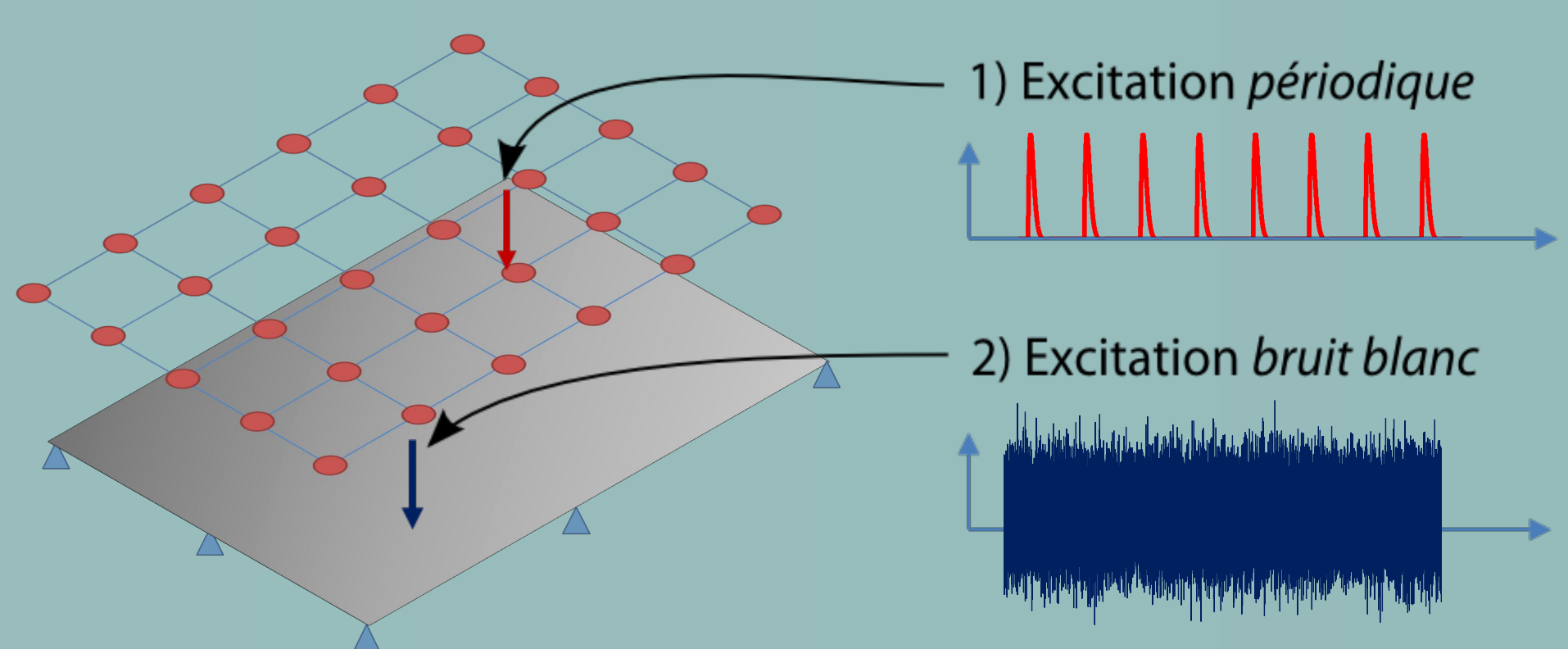
$$\begin{cases} \mu_Y = \langle Y(t) \rangle & \text{moyenne} \\ \sigma_Y^2 = \langle |Y(t) - \mu_Y|^2 \rangle & \text{variance} \end{cases}$$



## VALIDATION NUMERIQUE & EXPERIMENTALE

### SIMULATION NUMERIQUE

Rayonnement d'une plaque bafflée appuyée

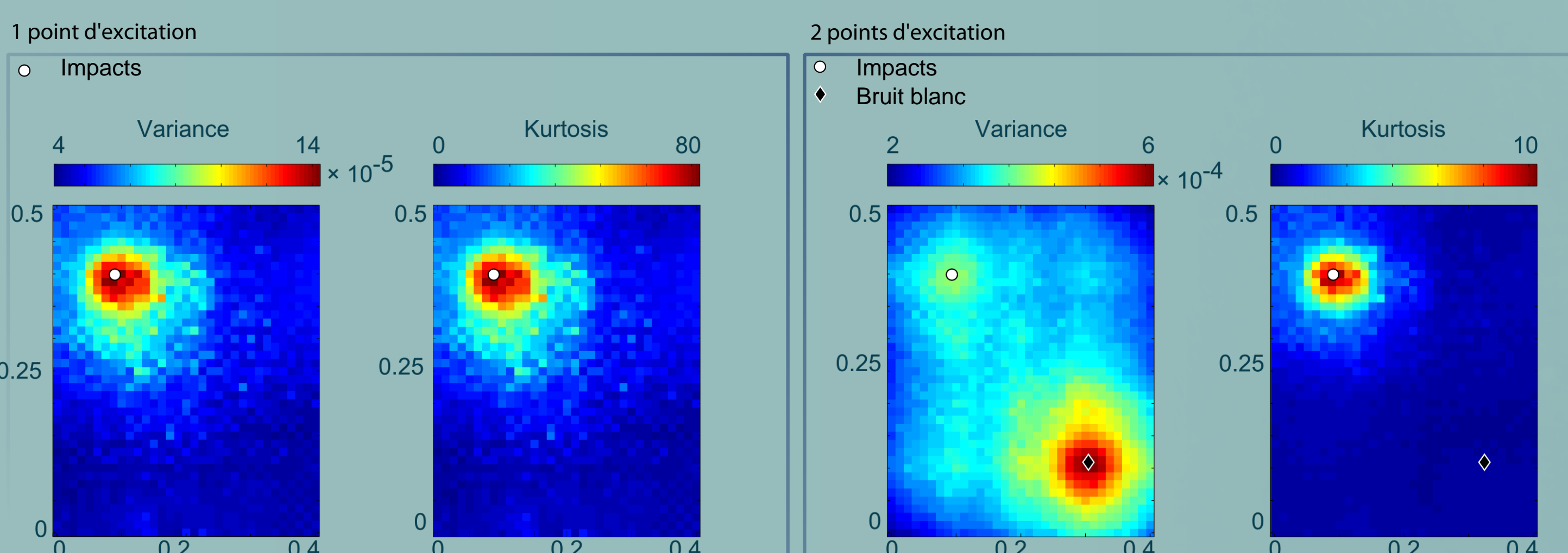


1) Excitation *périodique*  
Plaque 40x50x0.1 cm  
Fréquences [0, 20] kHz  
Acquisition durant 1s  
SNR = -10 dB

2) Excitation *bruit blanc*  
**Objectif:**  
Localiser la source impulsive même en présence d'une source perturbatrice importante

Pression rayonnée sur l'antenne → Beamforming sur la plaque → Variance & Kurtosis

### RESULTATS

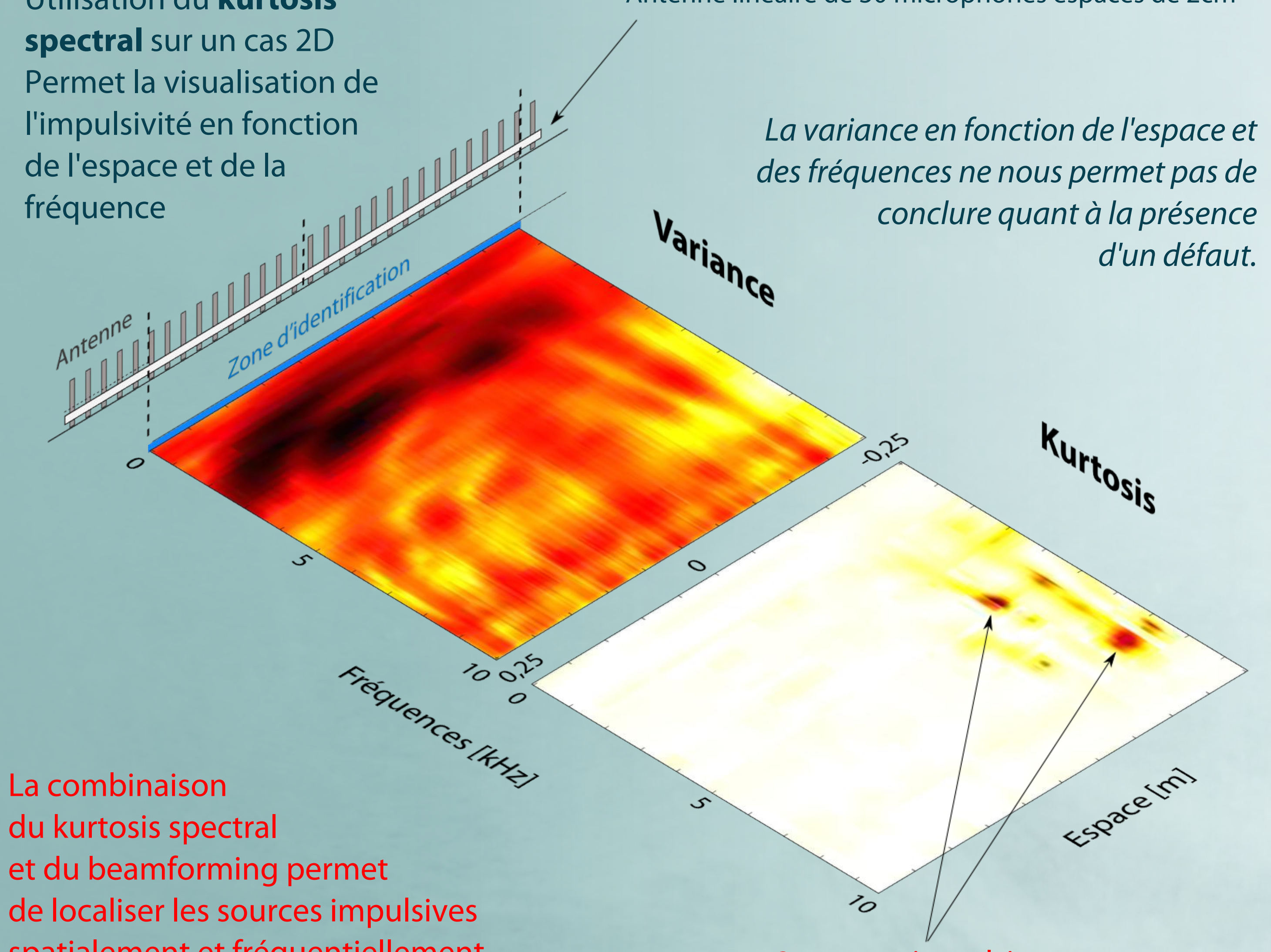


Comme attendu, pour un seul point d'excitation le kurtosis et la variance donnent le même résultat. Le kurtosis permet de localiser la source impulsive bien que la majorité de l'énergie rayonnée provienne de la position du bruit blanc.

### VALIDATION EXPERIMENTALE

Utilisation du **kurtosis spectral** sur un cas 2D  
Permet la visualisation de l'impulsivité en fonction de l'espace et de la fréquence

Antenne linéaire de 30 microphones espacés de 2cm



La variance en fonction de l'espace et des fréquences ne nous permet pas de conclure quant à la présence d'un défaut.

La combinaison du kurtosis spectral et du beamforming permet de localiser les sources impulsives spatialement et fréquentiellement

2 sources impulsives

## APPLICATIONS

- Surveillance des machines tournantes difficiles à instrumenter avec des accéléromètres
- Contrôle qualité en sortie de chaîne de production. Gain de temps grâce aux mesures sans contact.
- Identification et caractérisation de défauts sur système mécanique complexe.

## PERSPECTIVES

- Utilisation d'autres indicateurs pour localiser des défauts : *cyclostationnarité*
- Couplage entre mesures acoustiques et vibratoires : *fonctionnement en milieux réverbérants*
- Utilisation d'autres méthodes d'imagerie acoustique pour améliorer la résolution en BF : *holographie*

## Références

J. Billingsley, R. Kinns : The acoustic telescope. *JSV*, 48(4):485510, 1976  
 J.J. Christensen, J. Hald : Beamforming. *B&K Technical review* No.1 2004  
 Y.-C Choi, Y.-H Kim : Nearfield impulsive source localization in a noisy environment. *JSV*, 303(1), 209-220, 2007  
 P. Coutable, J.-H. Thomas, J.-C. Pascal, F. Eveilleau : Bearing fault detection based on Nearfield Acoustic Holography. *Proceedings of Surveillance 6*  
 J. Antoni, R.B. Randall : The spectral kurtosis : application to the vibratory surveillance and diagnostics of rotating machines. *MSSP*, 20(2):308-331, 2006  
 edouard.cardenas@insa-lyon.fr