

Journée du GT S³

Projet DAFNÉE

Diagnostic pour l'Aide à la Fiabilisation d'Éléments Embarqués

Ouadie BENNOUNA / Houcine CHAFOUK

Plan de la présentation

- Introduction
- L'architecture de diagnostic
- Techniques d'analyse
 - Analyse à base d'outils 'classiques'
 - Analyse à base de la transformée d'ondelettes
- Réseaux de neurones
- Application & résultats
- Conclusion
- Perspectives

Introduction / contexte

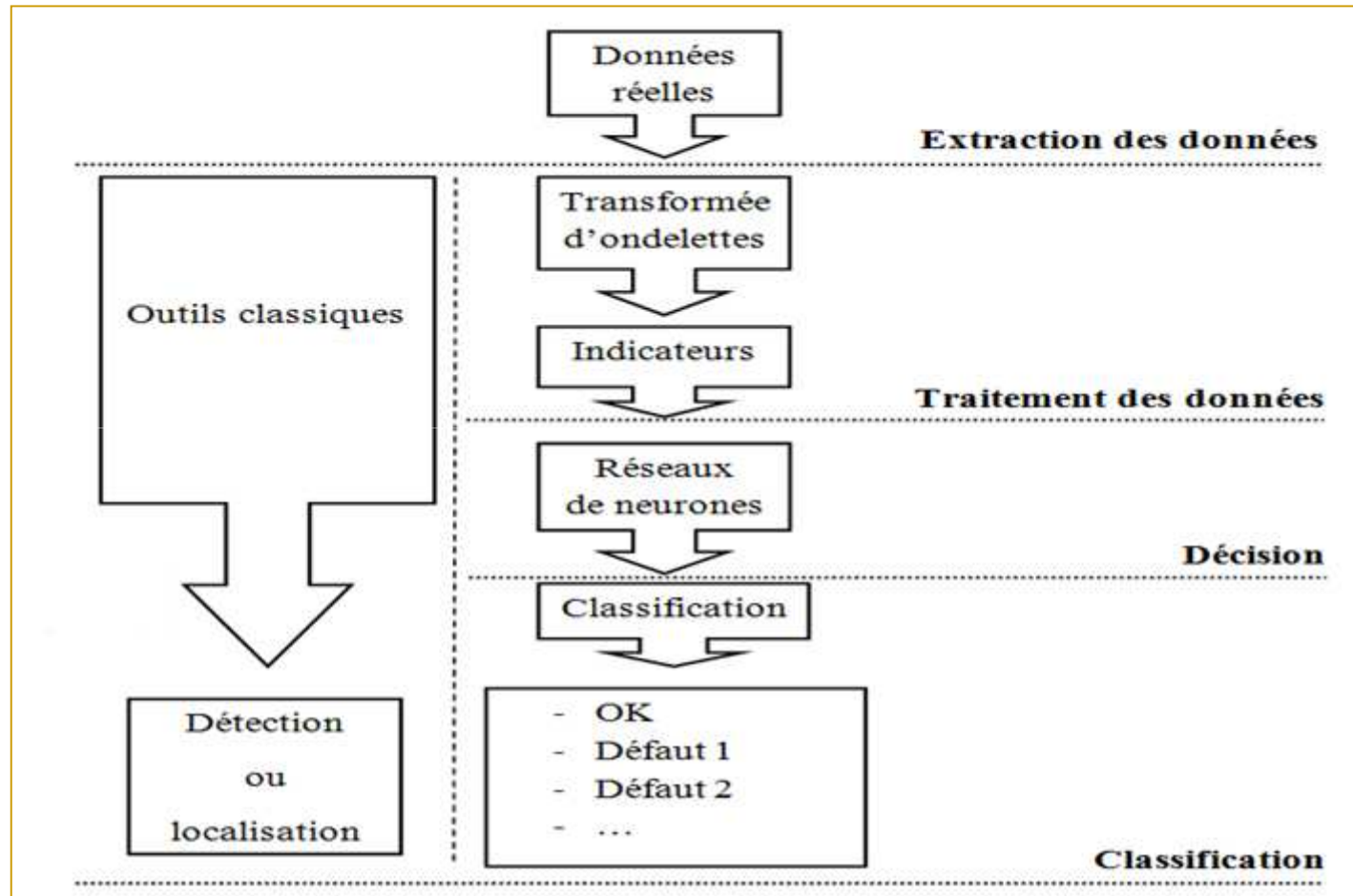
- Avec l'augmentation du nombre de systèmes électroniques et ceux embarqués plus particulièrement, la notion de **fiabilité** prend actuellement une importance croissante.
- Ces systèmes concernent tous les domaines et notamment ceux du **transport** (automobile, aéronautique/spatial, ferroviaire, maritime)
- Les diverses sollicitations subies par ces systèmes (**vibration**, humidité, température, CEM...) peuvent aller jusqu'à des situations de rupture qui peuvent engendrer un dysfonctionnement partiel ou général.

↳ Ceci peut alors impliquer des problèmes de **sécurité**.

Introduction / objectifs

- Identifier les paramètres pertinents dans le domaine vibratoire en analysant les signaux dans les domaines **temporels** et **fréquentiels**
- Leur prise en compte dans une procédure robuste doit permettre de **détecter**, **localiser** et **identifier** les défaillances
- Dans ce contexte de sécurisation, l'objectif final du projet est de parvenir à **PREDIRE** les dysfonctionnements, et non pas les **SUBIR**
- En parallèle, la localisation et l'indentification peut permettre une **maintenance** bien plus efficace

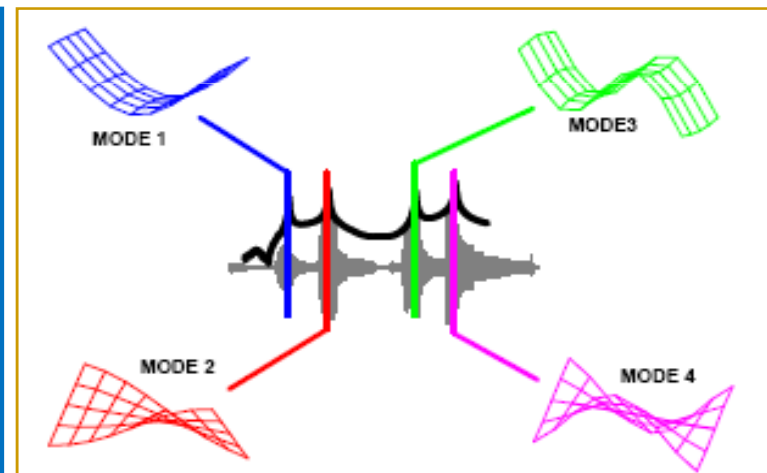
L'architecture de diagnostic



Analyse 'classique' : Analyse temporelle ou fréquentielle

- Deux types de ratios évalués dans l'étude :
 - Le facteur de corrélation
 - L'Error Ratio
- Ils permettent de quantifier l'écart entre un signal de référence et le signal mesuré

- Utilisation de la transformée de Fourier rapide (FFT) pour évaluer les modifications fréquentielles
- Etude des modes vibratoires, généralement appliquée au stade de la conception uniquement



Modes vibratoires d'une simple plaque

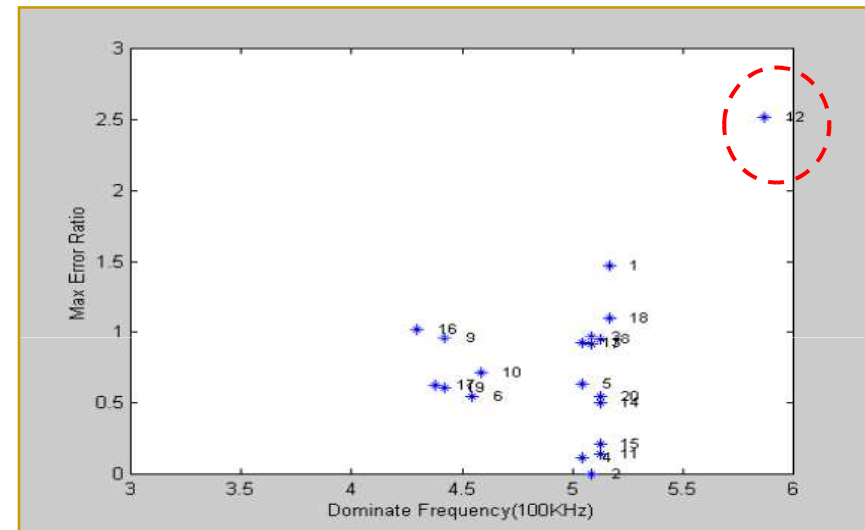
Analyse temporelle

- Premier indicateur évalué dans l'étude :
 - L'Error Ratio

$$ER = \frac{\sum_n [A_n - R_n]^2}{\sum_n R_n^2}$$

A_n : Signal mesuré

R_n : Signal de référence



Error Ratio en fonction de la fréquence fondamentale

- Inconvénient : l' ER dépend du niveau d'excitation de la carte électronique

Analyse temporelle

- Deuxième indicateur évalué dans l'étude :
 - Le coefficient de corrélation

$$r = \frac{\sum_n (R_n - \bar{R})(A_n - \bar{A})}{\sqrt{\left(\sum_n (R_n - \bar{R})^2\right) \left(\sum_n (A_n - \bar{A})^2\right)}}$$

A_n : Signal mesuré

R_n : Signal de référence

\bar{R} : Moyenne des R_n

\bar{A} : Moyenne des A_n

- Avantage : le *MCC* ne dépend pas du niveau d'excitation de la carte
- Inconvénient : On ne dispose pas de l'information fréquentielle

Analyse à base de transformée d'ondelettes

-> Différents types de transformées d'ondelettes

- Continuous Wavelet Transform (*CWT*) :
 - Extraire plus d'information du signal
 - Temps de calcul conséquent

- Discrete Wavelet Transform (*DWT*) :
 - Plus rapide que la *CWT* en temps de calcul
 - Se focalise sur des bandes de fréquences basses

- Wavelet Packet Transform (*WPT*) :
 - Meilleure résolution en haute fréquence que les précédentes
 - Décomposition complète niveau par niveau du signal

Analyse à base de transformée d'ondelettes (CWT)

- La CWT est définie par :

$$T(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} y(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt$$

a est le facteur de dilatation, b est celui de la translation

ψ est l'ondelette mère

$y(t)$ est le signal à décomposer

- La DSP dans le domaine temps/fréquence est :

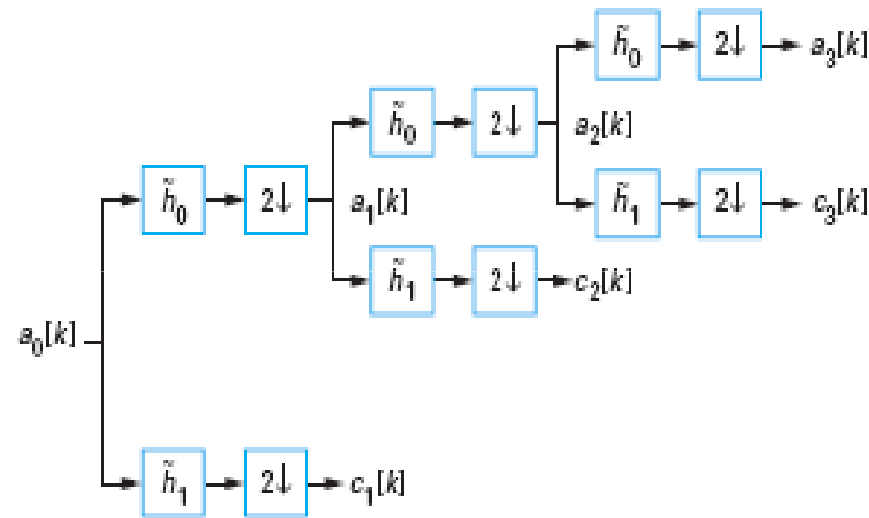
$$C(t, f) = |T(a, b)|^2$$

- L'énergie totale (ZOM) est :

$$ZOM = \int \int_{-\infty}^{+\infty} C(t, f) dt df$$

Analyse à base de transformée d'ondelettes (DWT)

- Le principe de décomposition de la DWT est donné par :



Structure de décomposition en ondelettes discrète sur 3 niveaux de résolution

Analyse à base de transformée d'ondelettes (WPT)

- La fonction en paquets d'ondelettes

$$\psi_{a,b}^i(t) = 2^{a/2} \psi^a(2^a t - b) \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

- Les coefficients en paquets d'ondelettes

$$c_{a,b}^i(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(t) \psi_{a,b}^i(t) dt$$

- La décomposition du signal en paquets d'ondelettes

$$y_a^i(t) = \sum_{b=-\infty}^{+\infty} c_{a,b}^i(t) \psi_{a,b}^i(t)$$

- La reconstitution du signal

$$y(t) = \sum_{i=1}^{2^a} y_a^i(t)$$

i, a et b sont respectivement les paramètres de modulation, d'échelle et de translation.

Analyse à base de transformée d'ondelettes (WPT)

- La décomposition de l'énergie en paquets d'ondelettes

$$E_{y_a^i} = \int_{-\infty}^{+\infty} y_a^i(t)^2 dt$$

- L'énergie du signal

$$E_y = \sum_{i=1}^{2^a} E_{y_a^i}$$

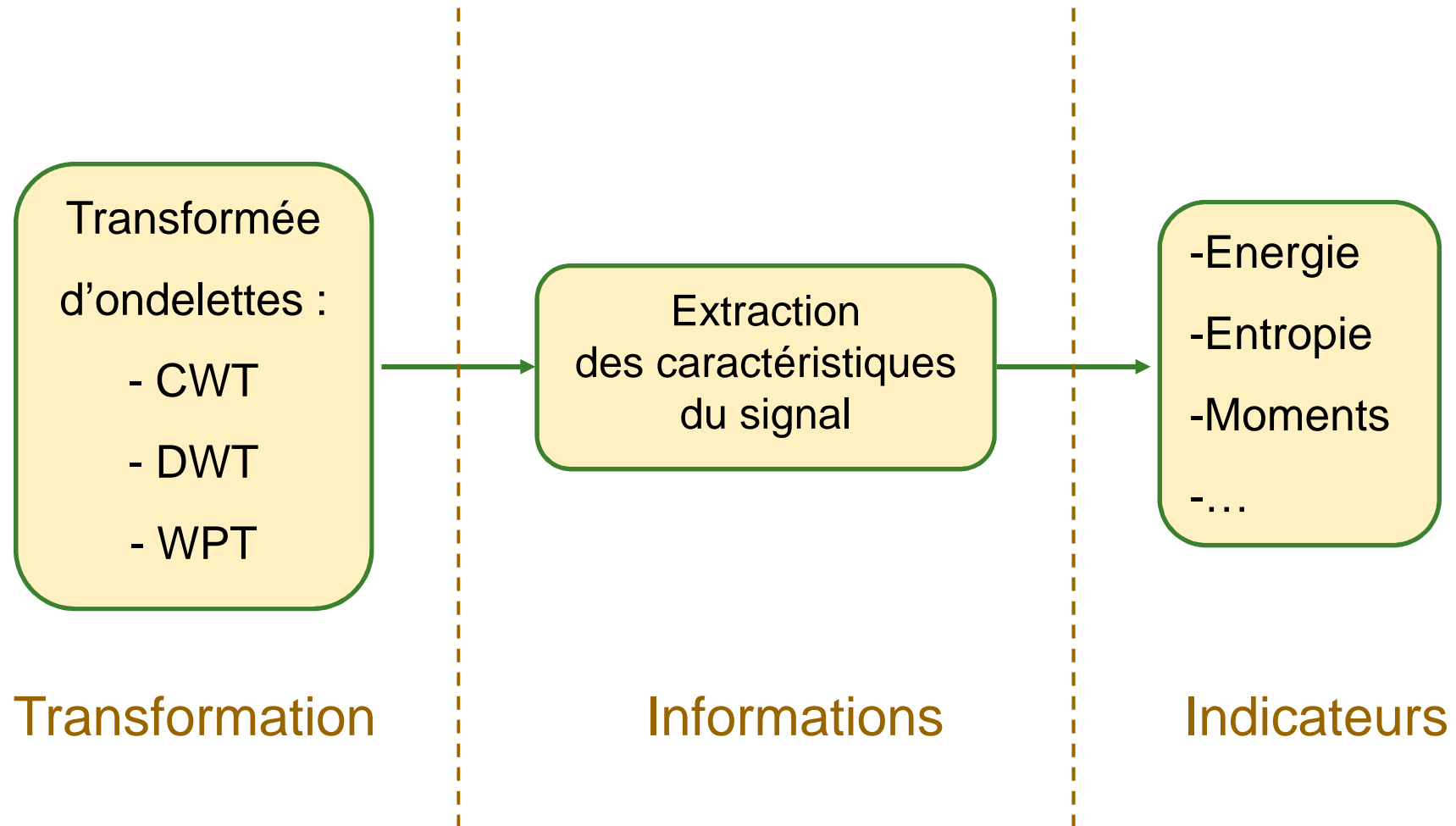
- L'entropie du signal

$$S_{WT} = \sum_{j=1}^n p_j \cdot \ln\left[\frac{1}{p_j}\right] = -\sum_{j=1}^n p_j \cdot \ln[p_j]$$

$$p_j = \frac{E_j}{E_{tot}}$$

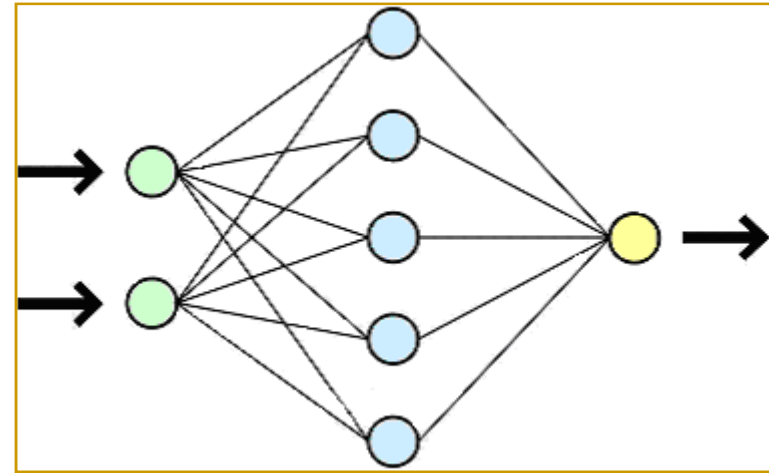
p_j étant le ratio d'énergie, E_j l'énergie à l'échelle j , et E_{tot} l'énergie totale du signal.

Analyse à base de transformée d'ondelettes



Les réseaux de neurones

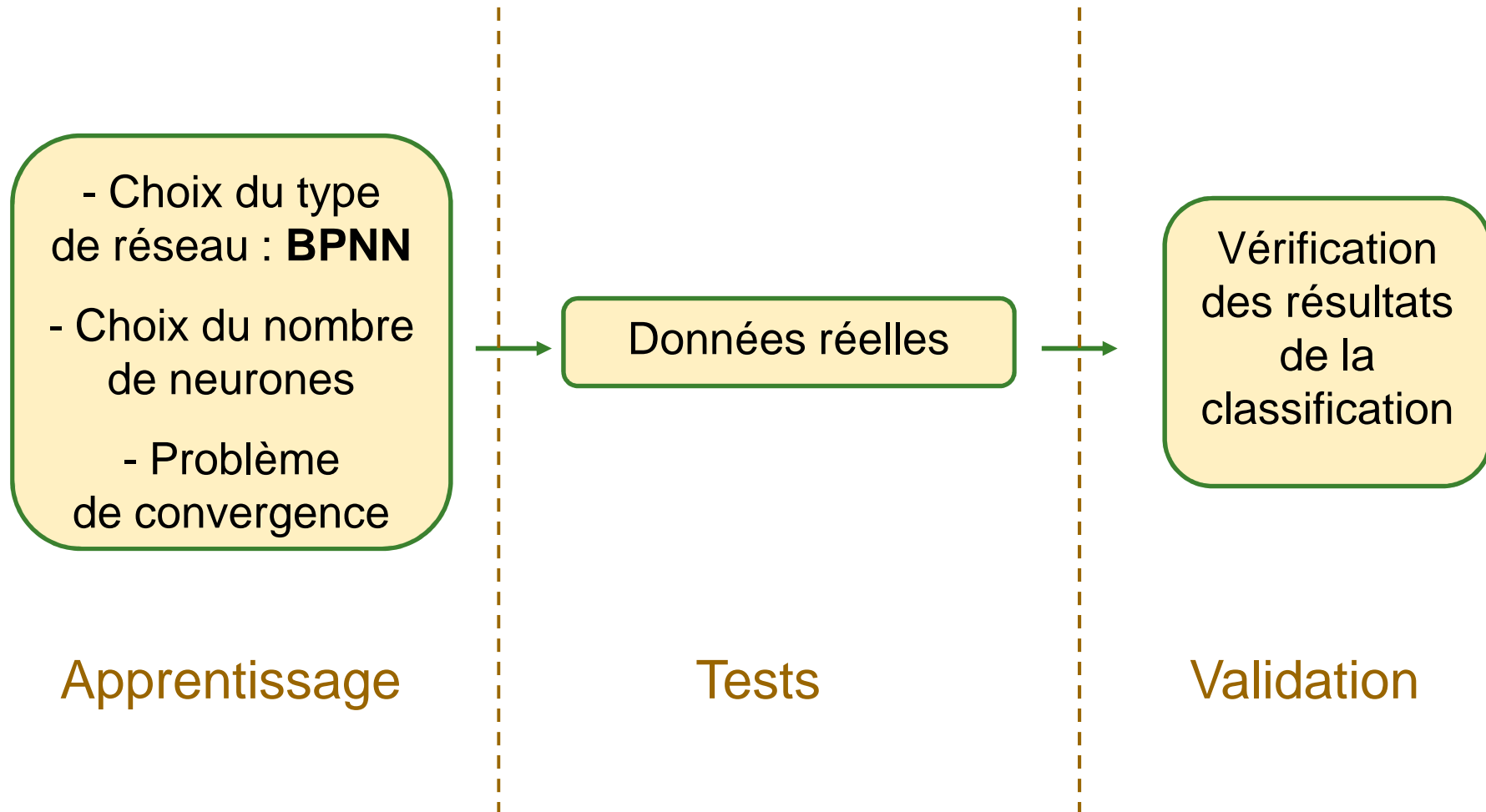
- Deux types de réseaux
 - Les réseaux *Feed-Forward*
 - Les réseaux *Feed-Back*



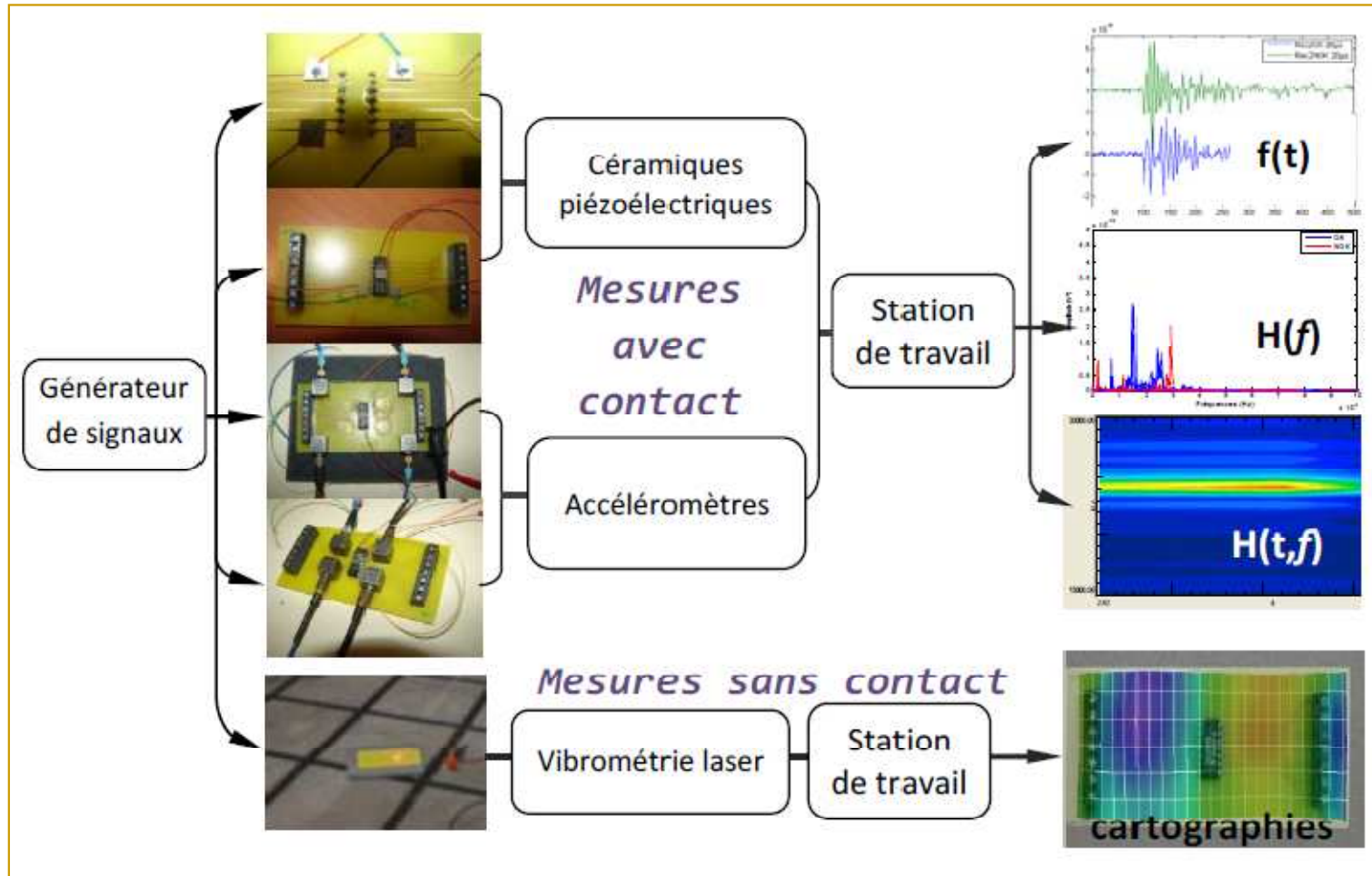
Réseau de neurones de type Feed-Forward

- *Feed-Forward*
 - Le perceptron monocouche/multicouches
 - Les réseaux à fonction radiale de base
 - Réseaux de neurones probabilistes
 - Réseaux de neurones généralisés

Les réseaux de neurones



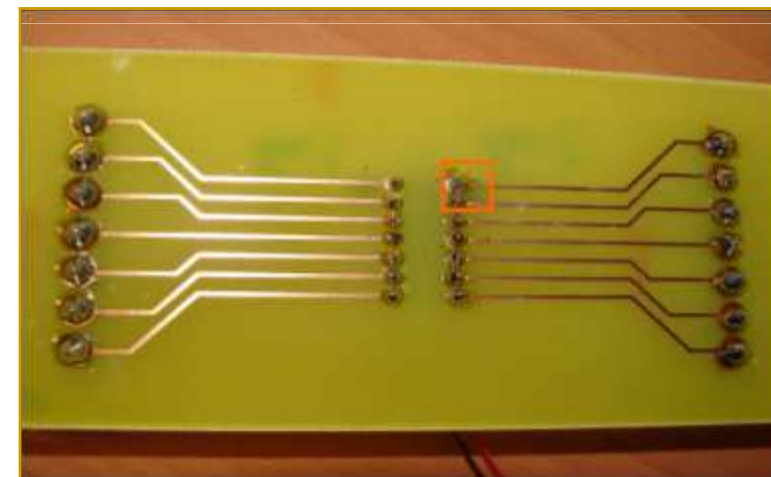
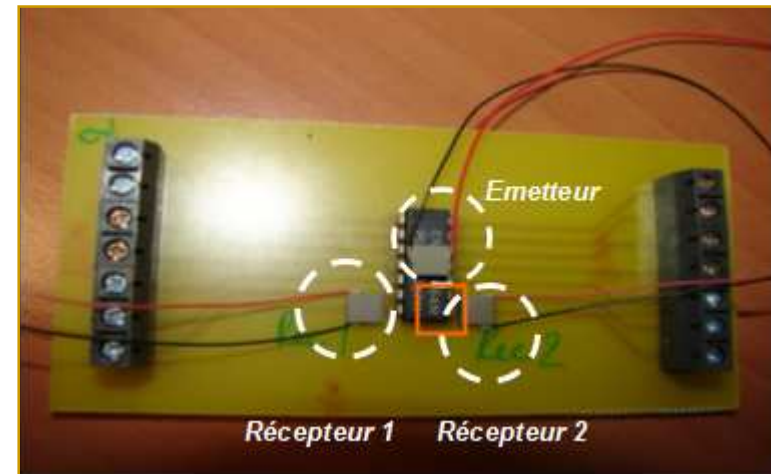
Application



Différents tests effectués

Application (Transducteurs piézoélectriques)

- Un seul composant central
- Transducteurs piézoélectriques
- Un émetteur
- Deux récepteurs

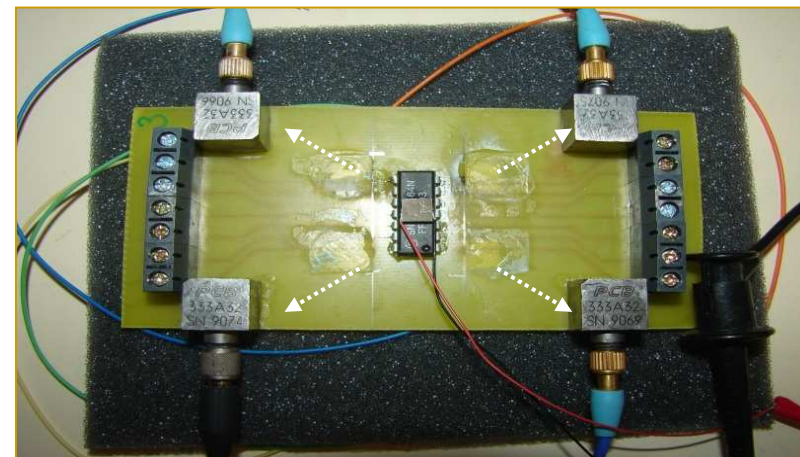


Application (Accéléromètres)

- Un seul composant central
- Accéléromètres
- Un émetteur
- Quatre récepteurs

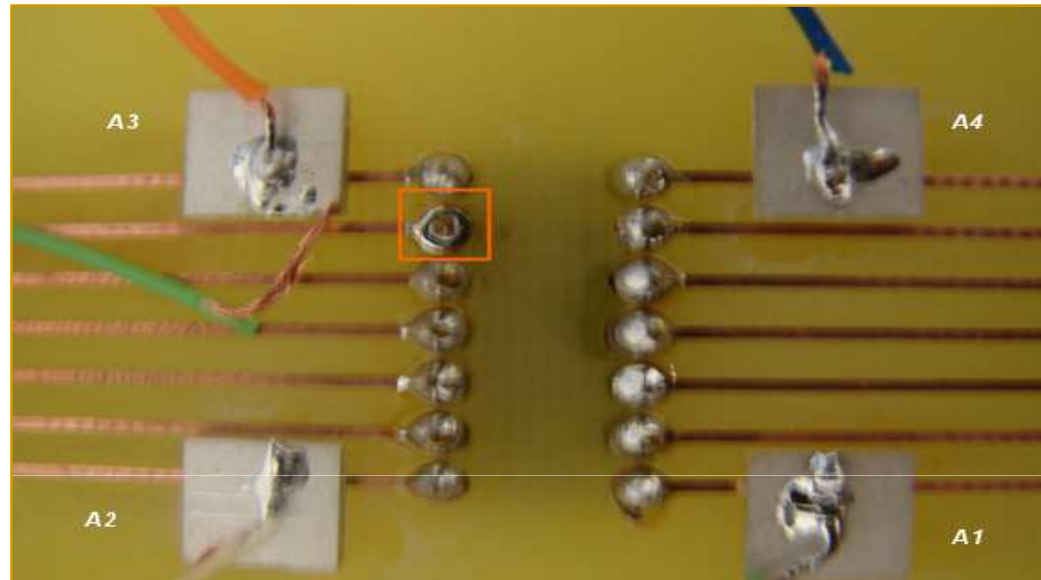


Carte sans défaut (Disposition 1)



Carte sans défaut (Disposition 2)

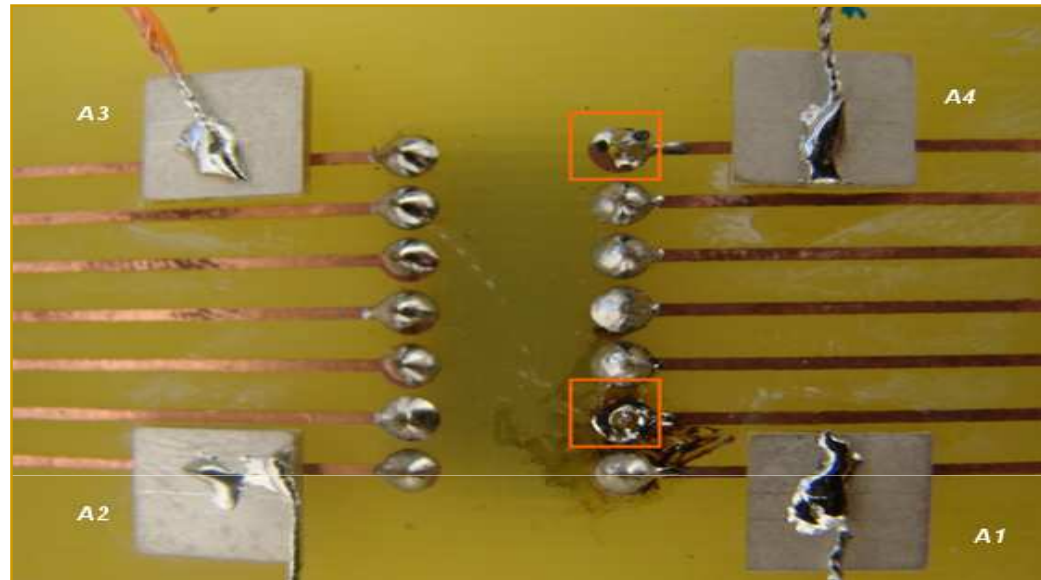
Application (Accéléromètres)



Carte avec défaut 1

Retrait du point de soudure au niveau
d'A3.

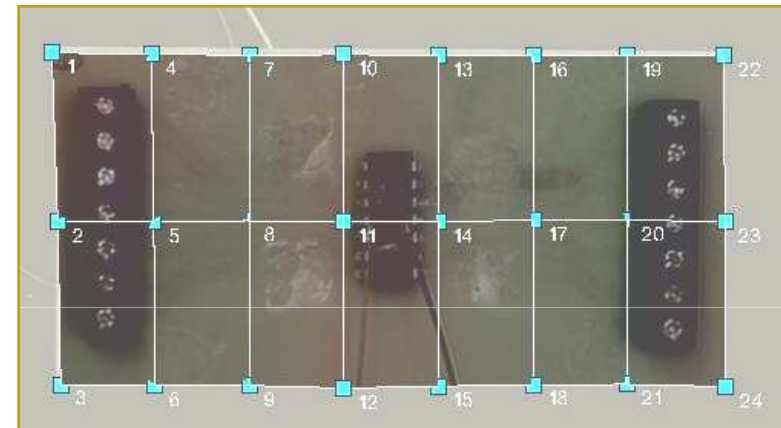
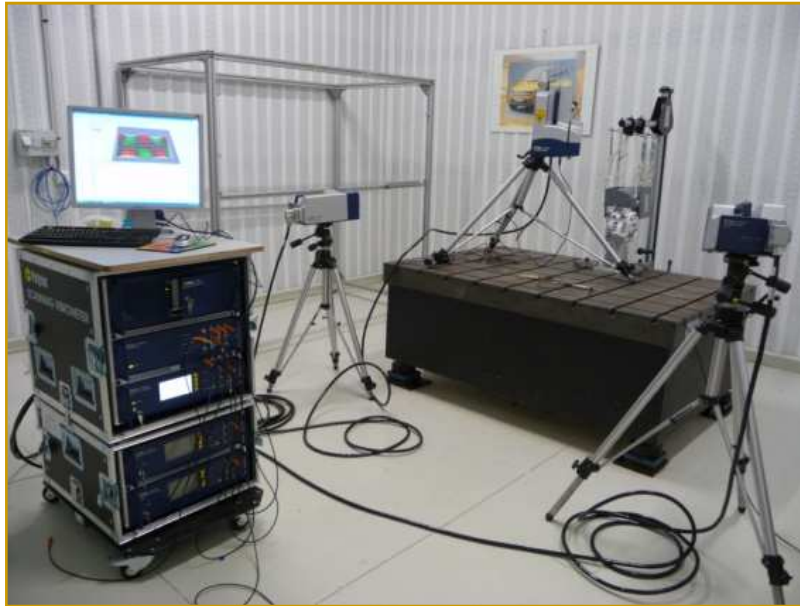
Application (Accéléromètres)



Carte avec défaut 2

Retrait du point de soudure au niveau d'A1, et patte endommagée au niveau d'A4.

Application (Vibromètre laser)

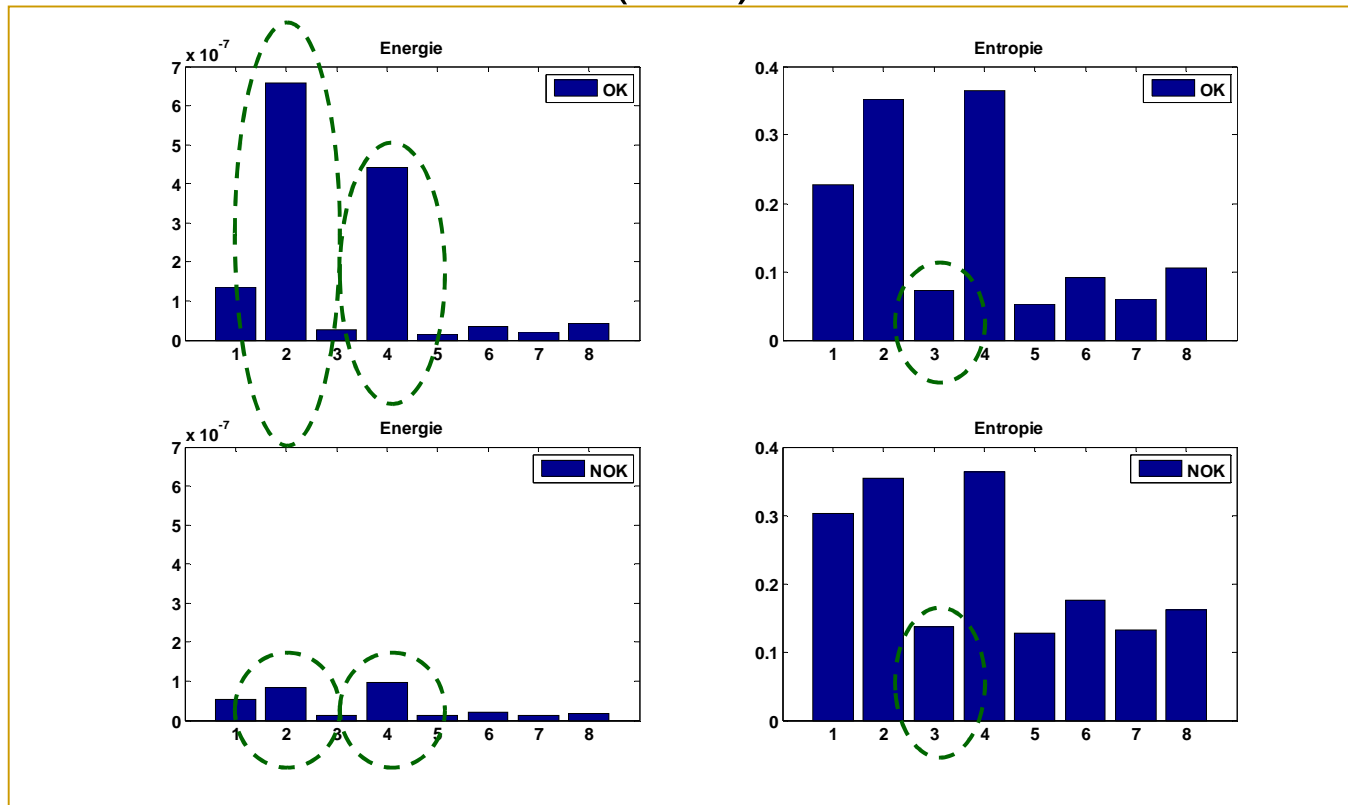


Maillage à 24 points mesuré par vibrométrie laser

Essais sur carte électronique par vibromètre laser

Résultats

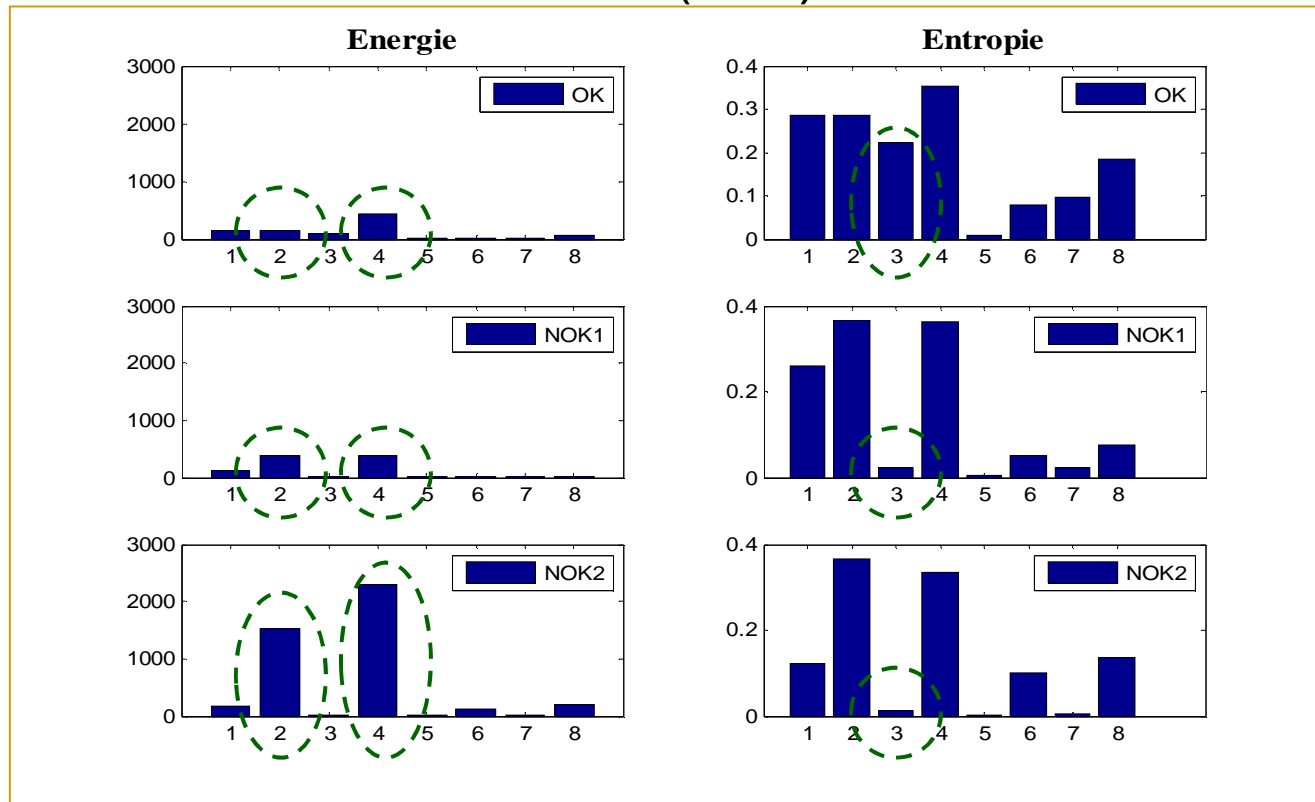
- Energie et entropie par échelle pour une carte saine et une carte défectueuse (db4)



Utilisation de 2 transducteurs piézoélectriques

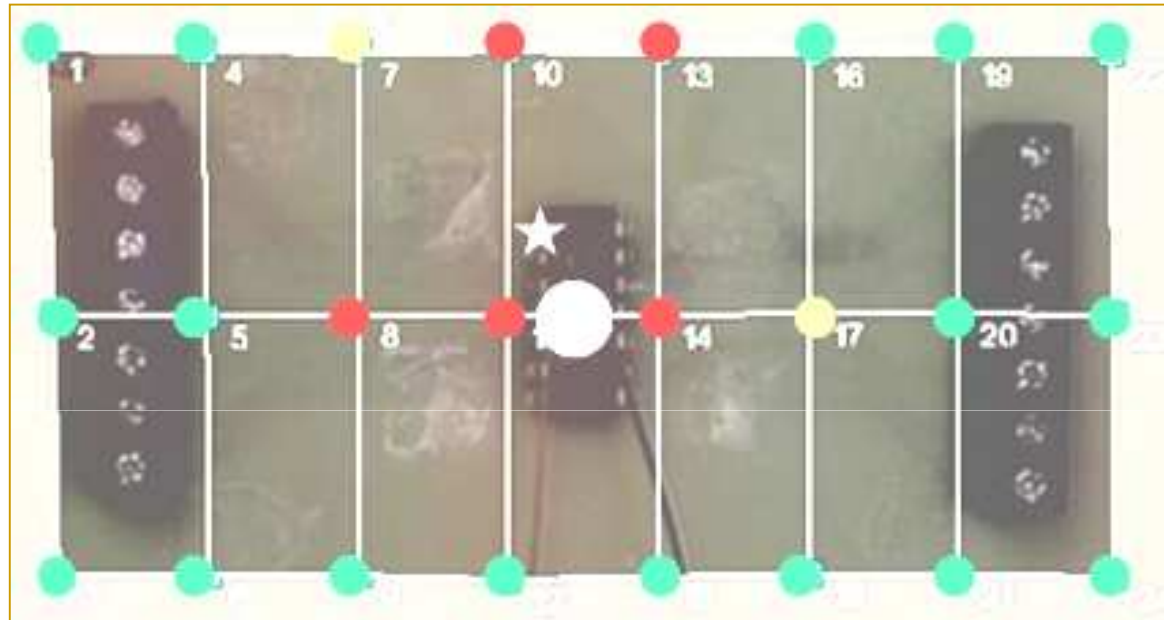
Résultats

- Energie et entropie par échelle pour la carte saine et les cartes défectueuses 1 & 2 (db3)



Utilisation de 4 accéléromètres

Résultats



Utilisation de vibromètre laser (maillage à 24 points)

Conclusion

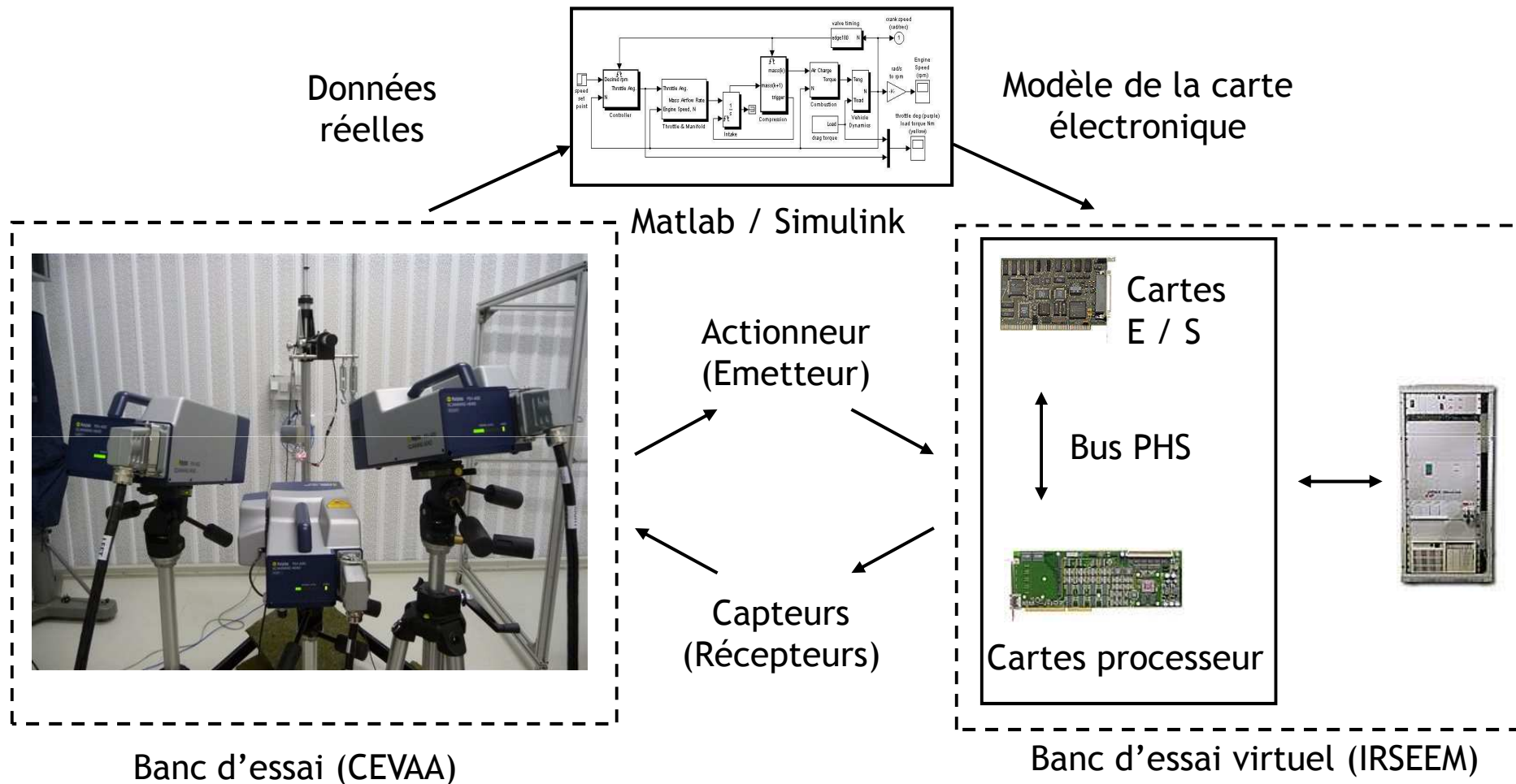
- Les outils temporels appliqués permettent, avec des indicateurs proches de la logique 0/1:
 - de **détecter** un défaut (facteur de corrélation)
 - de **localiser** un défaut (Error Ratio)
- L'analyse fréquentielle permet de **détecter un problème** par décalage du spectre ou émergence de fréquences particulières
- L'analyse par ondelettes au travers du calcul de l'énergie et de l'entropie, et de l'utilisation d'un réseau de neurones donne de très bons résultats. Nous pouvons alors :
 - **détecter** un défaut,
 - **localiser** la zone de ce défaut,
 - et **identifier** la nature du défaut.

Travail en cours - Software In the Loop SIL

- L'implantation d'un système dédié directement sur carte, sa validation sera réalisée avec :
 - Un banc d'endurance vibratoire par exemple au CEVAA
 - un banc Software In the Loop (SIL) à l'IRSEEM



Travail en cours - Software In the Loop SIL



Remerciements

Les travaux présentés ont vu le jour grâce au financement de l'Institut CARNOT ESP. Nous remercions donc tous ceux qui ont contribué à avoir ce soutien qui valorise le mode collaboratif entre les différents laboratoires de recherche (complémentarité de compétences, des métiers, des moyens, des équipements...).

Merci de votre attention
