

8^{èmes} Journées

Fiabilité des
MATÉRIAUX & DES STRUCTURES

Aix-en-Provence,
9 et 10 avril 2014



ECOSYSTEMES CONTINENTAUX
ECCOREV
ET RISQUES ENVIRONNEMENTAUX



Provence-Alpes-Côte d'Azur

Projet ANR EvaDéOS

Optimisation de l'échantillonnage spatial des mesures non destructives

Carolina Gomez-Cardenas, Z.M. Sbartai, J.P. Balayssac, V. Garnier, D. Breysse



Contexte

- Cadre du projet national ANR-EVADEOS
- Proposer une méthodologie d'optimisation pour l'évaluation des ouvrages en béton par END



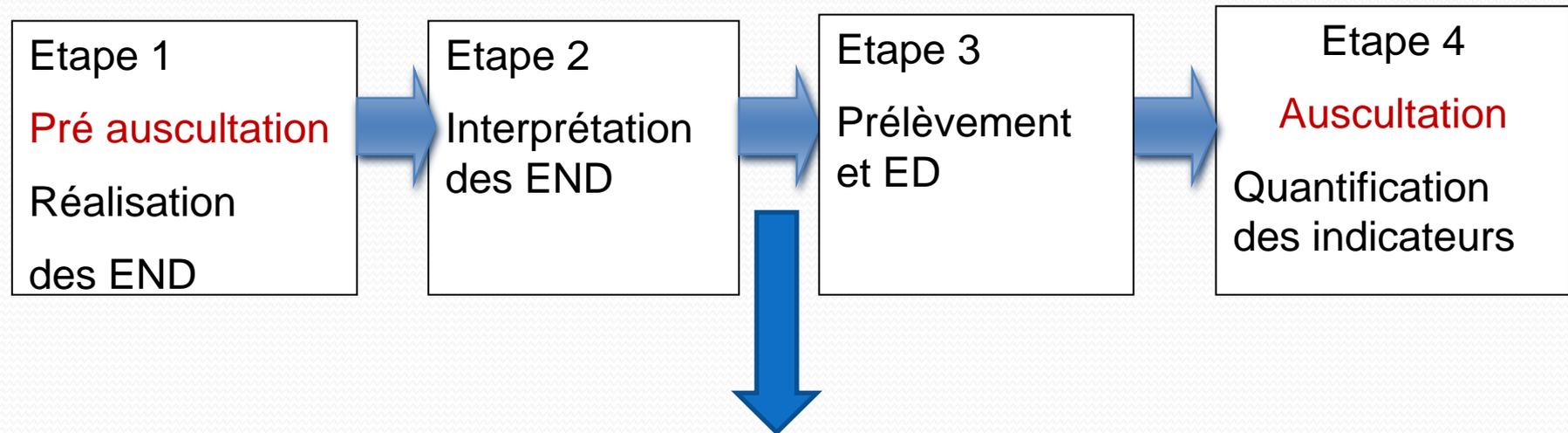
Viaduc de Millau



Variabilité spatiale des bétons

- Propriétés du béton non homogènes dans une structure.
- END permet d'évaluer la variabilité spatiale d'une propriété du béton (Résistance, porosité, humidité...).
- Variabilité temporelle
- Besoin des gestionnaires d'ouvrages d'outils pour optimiser le diagnostic et le suivi
- Combien de mesures ? Quel méthode ? Où mesurer ?
Quelle incertitude ? Quel coût?

OBJECTIFS



- Identifier les positions optimales pour :
 - Effectuer des prélèvements
 - Effectuer des mesures END complémentaires
 - Programmer un suivi de l'ouvrage

Méthodologie d'échantillonnage spatial

Nombre de mesures

Modélisation
variabilité des
mesures CND

Interpolation
spatiale
(Krigage)

Optimisation en
fonction du nombre
de mesures

Cartographie initiale
de la variabilité
Grille Régulière

Localisation des mesures

Cartographie
initiale
Grille Régulière

Optimisation
spatiale des
mesures

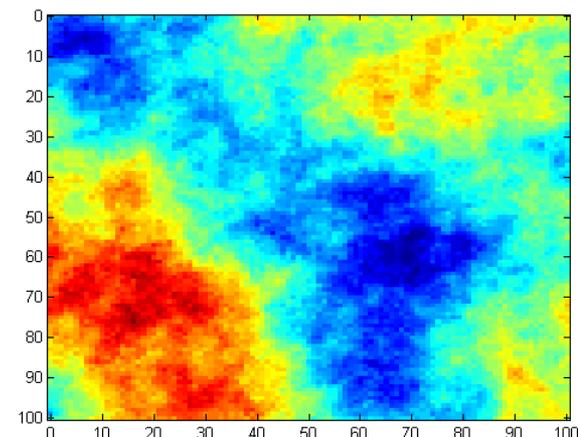
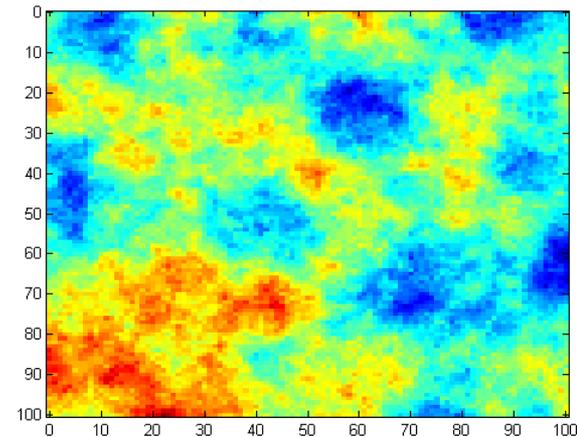
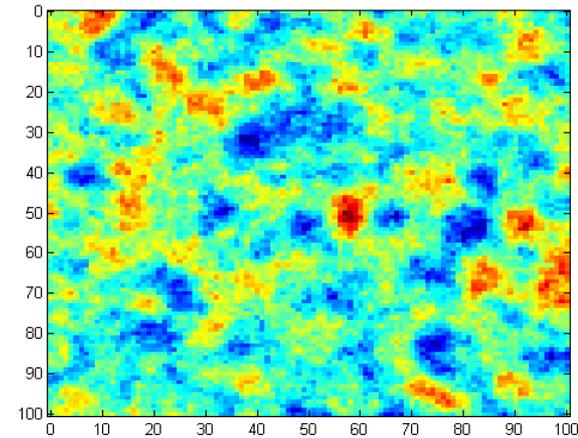
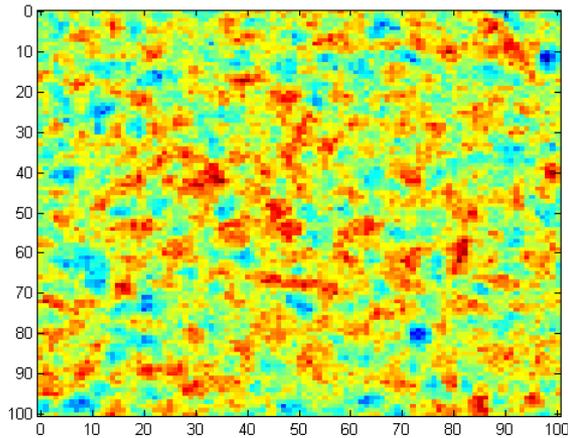
Minimisation des
fonctions objectifs
/ points de mesure

Cartographie
finale optimisée
Grille irrégulière

Valeur initiale de
la fonction
objectif

Cartographie spatiale

Définition de la corrélation spatiale



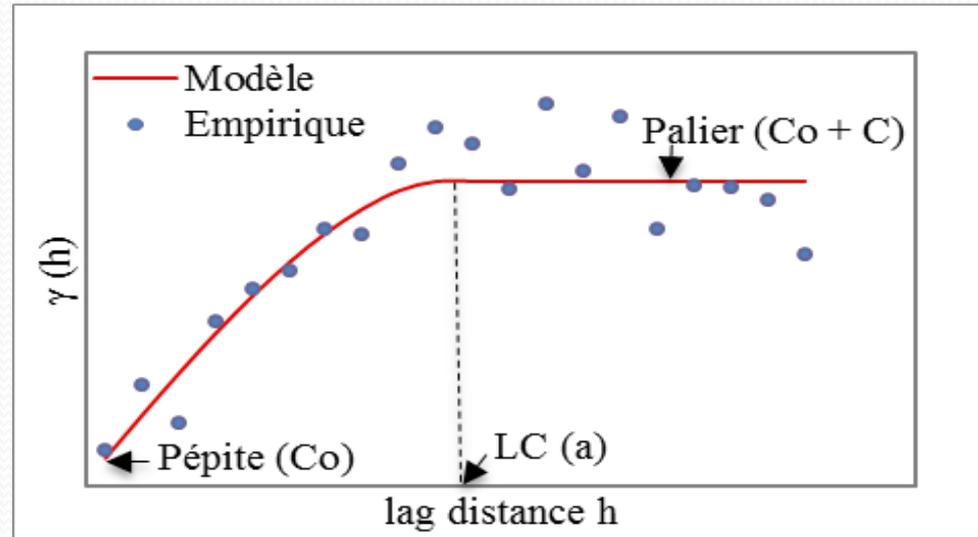
Cartographie spatiale

Définition du variogramme

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$$

Sphérique $g(h)=C$ si $h>a$

$$g(h) = C \left[1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad \text{si } 0 < h < a$$



Interpolation spatiale : Krigeage

- Méthode d'interpolation spatiale qui utilise un modèle du variogramme et ses paramètres (C_0 , C , a).

$$e = Z_i - Z_v^*$$

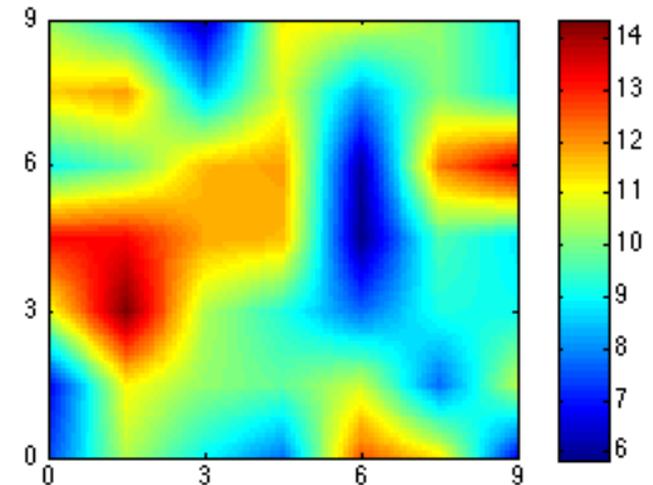
- La méthode est basée sur la minimisation de la variance de l'erreur d'interpolation (e) de la valeur estimée Z_v^* .

Optimisation spatiale de positionnement

Description de la méthode

A partir d'une grille régulière et sa fonction objectif (J_0).

- 16 points de mesure
- Déplacement aléatoire d'un point dans une position disponible.
- Estimation d'une fonction objectif pour la nouvelle configuration (J_1).
- Minimisation de la fonction objectif



Carte simulée 49 points

Optimisation spatiale de positionnement

Fonctions objectif utilisées

- Ecart type de l'erreur d'estimation du krigeage (MKSD)

$$MKSD = \frac{\sigma_k}{Mean_R} (\%)$$

- Erreur de prédiction moyenne (MPE)

$$MPE = \frac{|Z - Z^*|}{Mean_R} (\%)$$

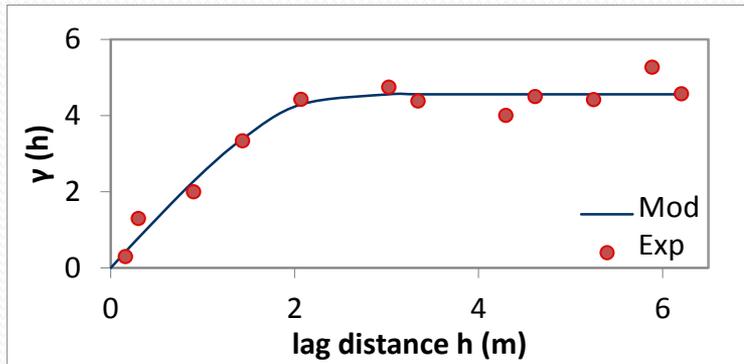
- Variance de l'erreur d'estimation (VEE)

$$VEE = 1 - \frac{V_i}{V_N} (\%)$$

Optimisation spatiale de positionnement

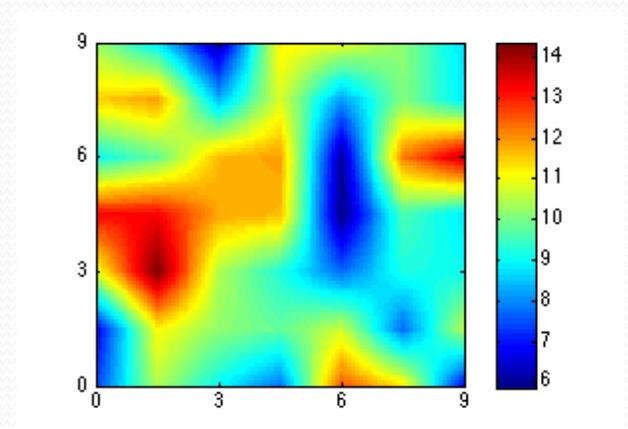
Fonctions objectif utilisées

- Simulation de données en 2D



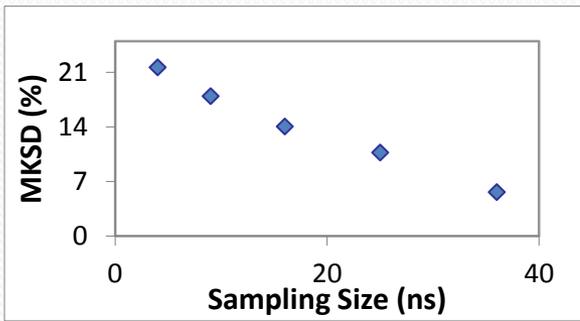
Variogramme :

- ✓ Modèle: Sphérique.
- ✓ $C=4$.
- ✓ $C_0=0$.
- ✓ $a=3$ m.

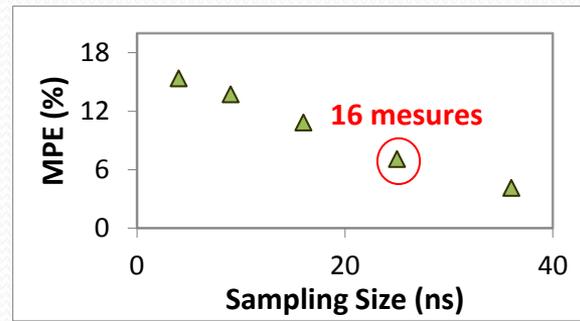


Carte simulée

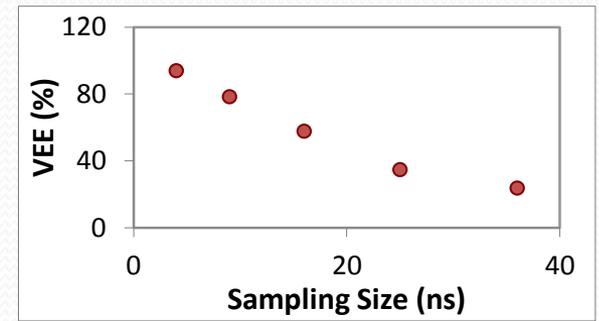
- Fonctions objectifs (MKSD, MPE, VEE) en fct du nombre de mesures



MKSD



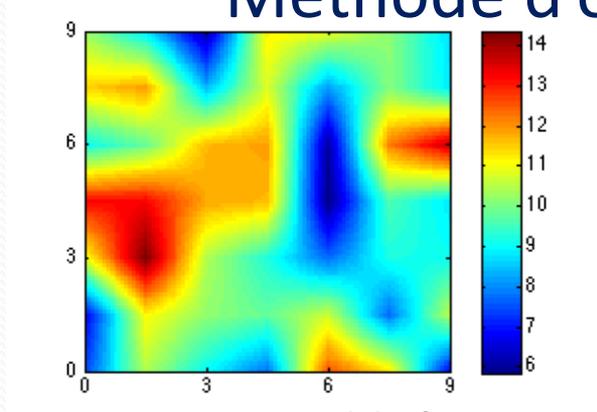
MPE



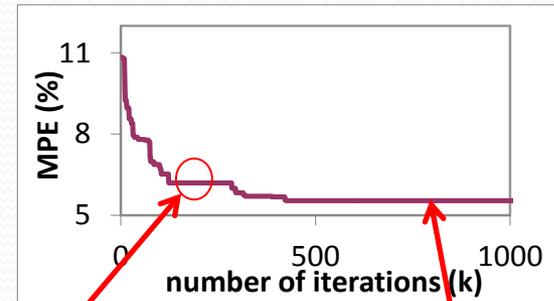
VEE

Optimisation spatiale de positionnement

Méthode d'optimisation

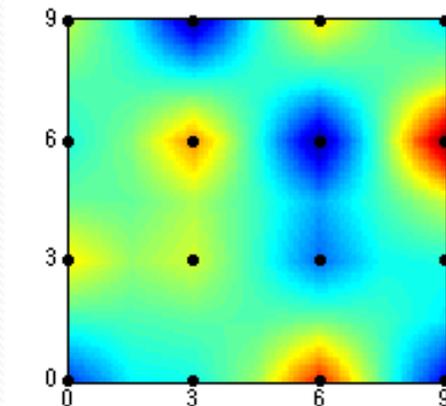


Carte Original

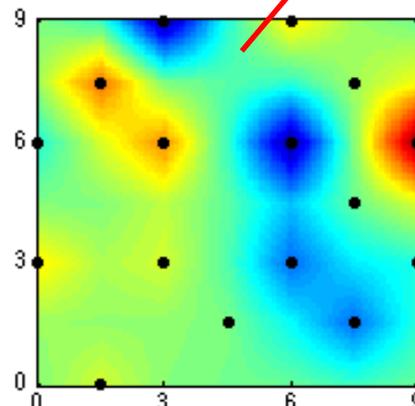


✓ Evolution de la fonction objective pendant l'optimisation.

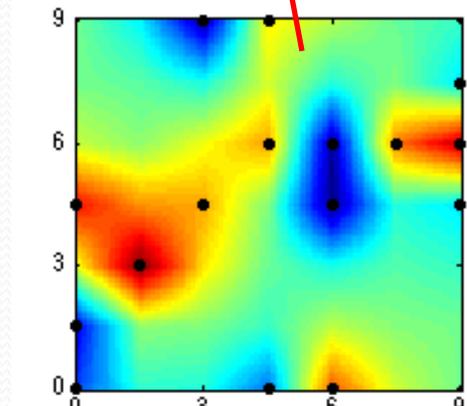
✓ Avec 16 points mesurés et MPE comme fonction objectif



Carte initial - Grille Régulière
 de 9 m x 9 m
 (Jo)



Carte krigage dans une
 itération intermédiaire
 (J1_i)



Carte krigage finale après
 optimisation
 (J1_f)

Etude de cas : centrale thermique EDF

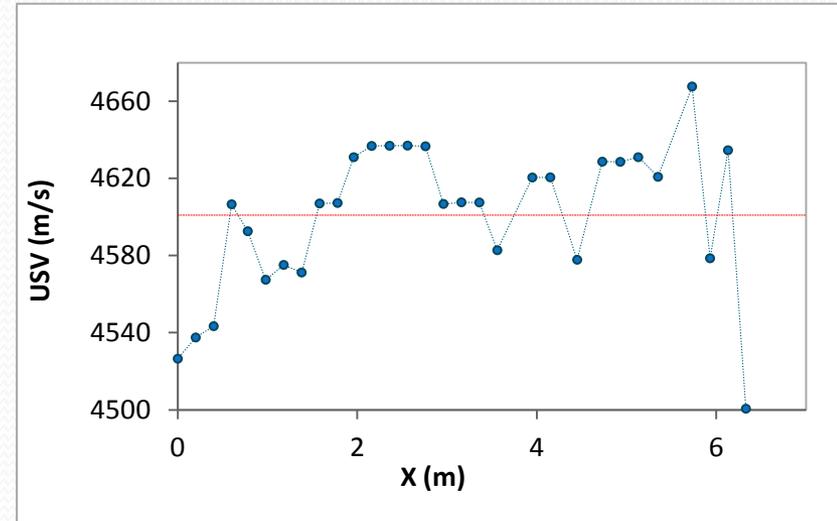
Vitesse des ultrasons



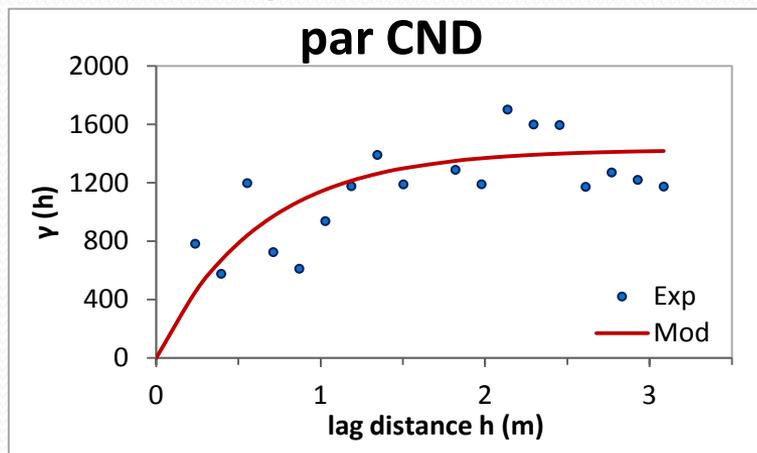
Central Thermique



mur ausculté

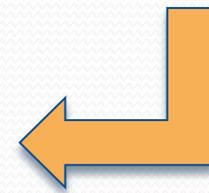


Cartographie des vitesses des ultrasons et sa moyenne (30 pts)



Variogramme:

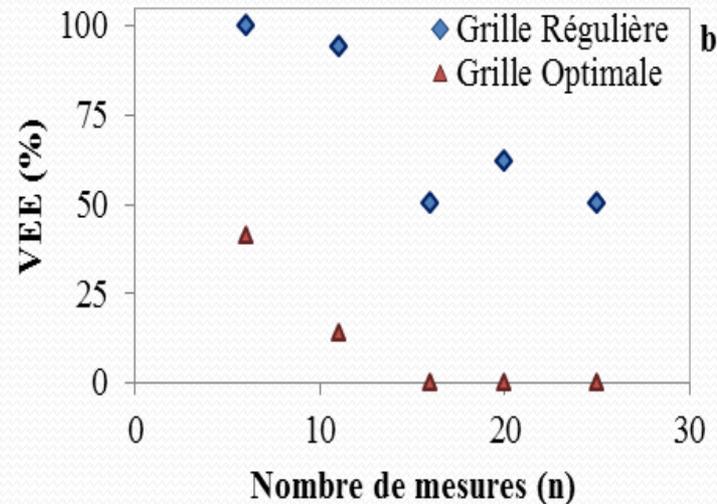
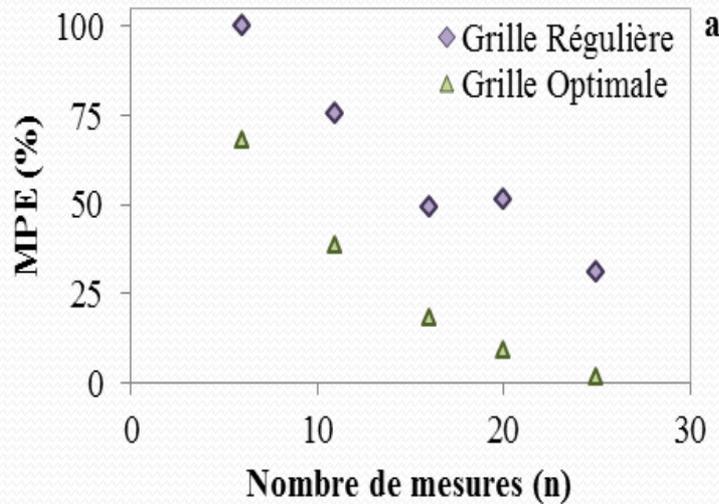
- ✓ Modèle: Exponentielle.
- ✓ $C=1426$ m/s.
- ✓ $C_0=0$ m/s.
- ✓ $a=0.62$ m.



Etude de cas : centrale thermique EDF

Vitesse des ultrasons

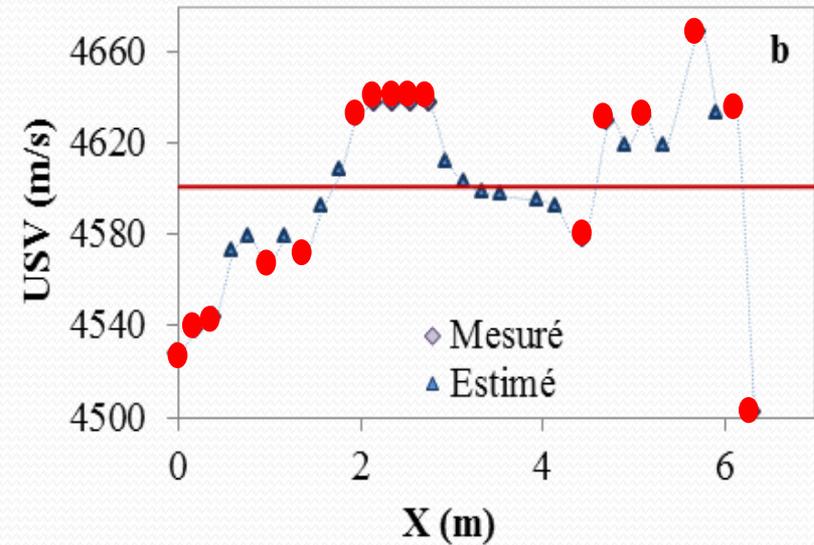
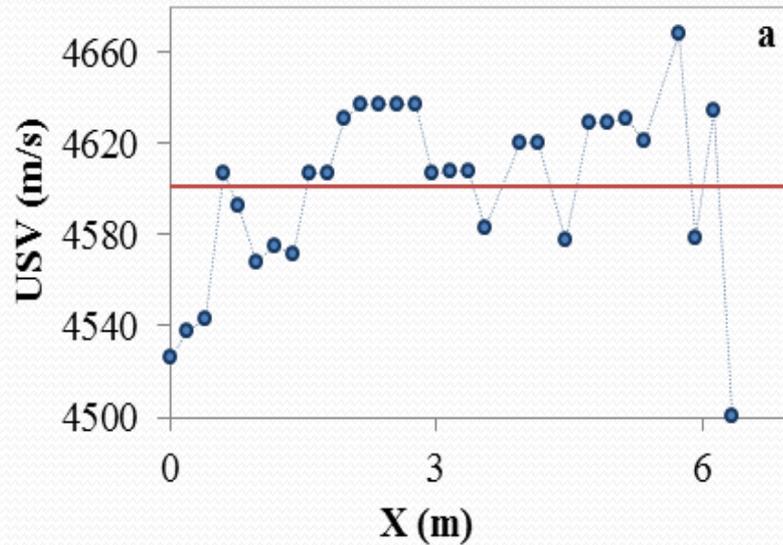
Relation entre le nombre de mesures et les fonctions objectif avant et après optimisation



Etude de cas : centrale thermique EDF

Vitesse des ultrasons

Distribution des mesures de vitesse ultrasonore initiale
Courbe d'interpolation après optimisation : $n = 16$; fct VEE.



Conclusions

- A partir des mesures END de pré-auscultation, optimisation de l'échantillonnage spatial
- Positionnement des zones à diagnostiquer (auscultation, carottage, suivi de l'ouvrage).
- Validation des fonctions objectif MPE et VEE
- Application au cas d'essais sur site
- Futur: Minimisation multi-objectif
 Optimisation des résultats des indicateurs