



Colloque Automatique et Environnement

Saint-Etienne, 4-6 juillet

-
- ◆ Détection de défauts de capteurs d'un réseau de surveillance de l'air
 - ◆ Faouzi HARKAT, Gilles MOUROT, José RAGOT
Centre de Recherche en Automatique de Nancy - UPRESA CNRS 7039
Institut National Polytechnique de Lorraine
Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy

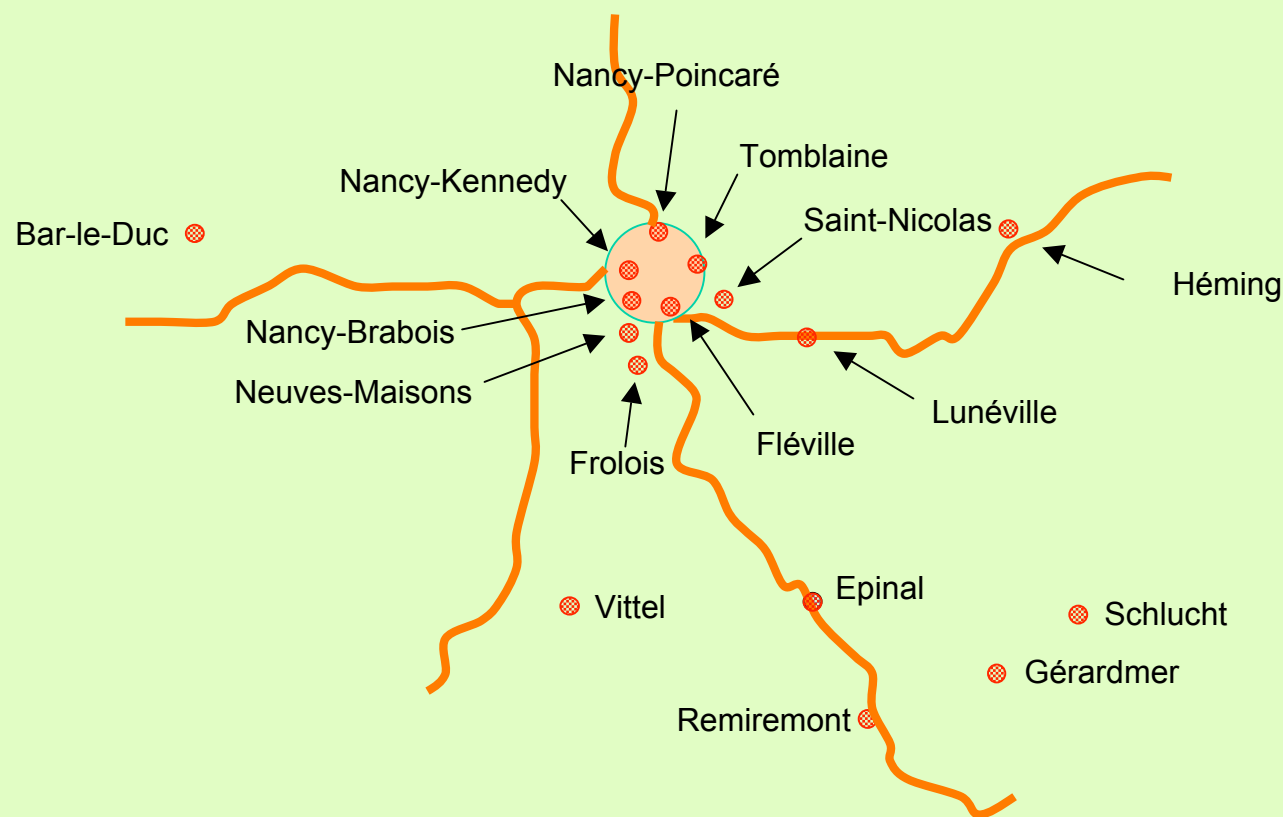


Détection de défauts de capteurs d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air



- u Objectifs de l'étude et description du processus
- u Concepts de l'ACP
- u Application de l'ACP à la reconstruction de données
- u Application de l'ACP à la détection de fautes
- u Application de l'ACP à l'isolation de fautes
- u Quelques résultats numériques
- u Extensions et conclusion

1. Objectifs de l'étude « surveillance de la qualité de l'air »



Réseau AIRLOR

Mesures de pollution

Analyse de la pollution
temporelle et spatiale

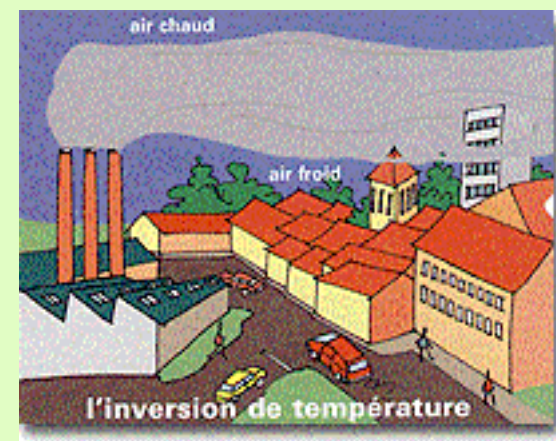


1. Objectifs de l'étude « surveillance de la qualité de l'air »

Données disponibles

Depuis	:	1995
Autour de Nancy	:	16 stations
Acquisition	:	chaque 15 mn
Mesures	:	O3, NO, NO2, SO2
...		
		P, H, T, Vd, Vf, RS

...



Objectifs

Information permanente de la population

Prédiction de la pollution

Méthodes

Validation de mesures

Modélisation



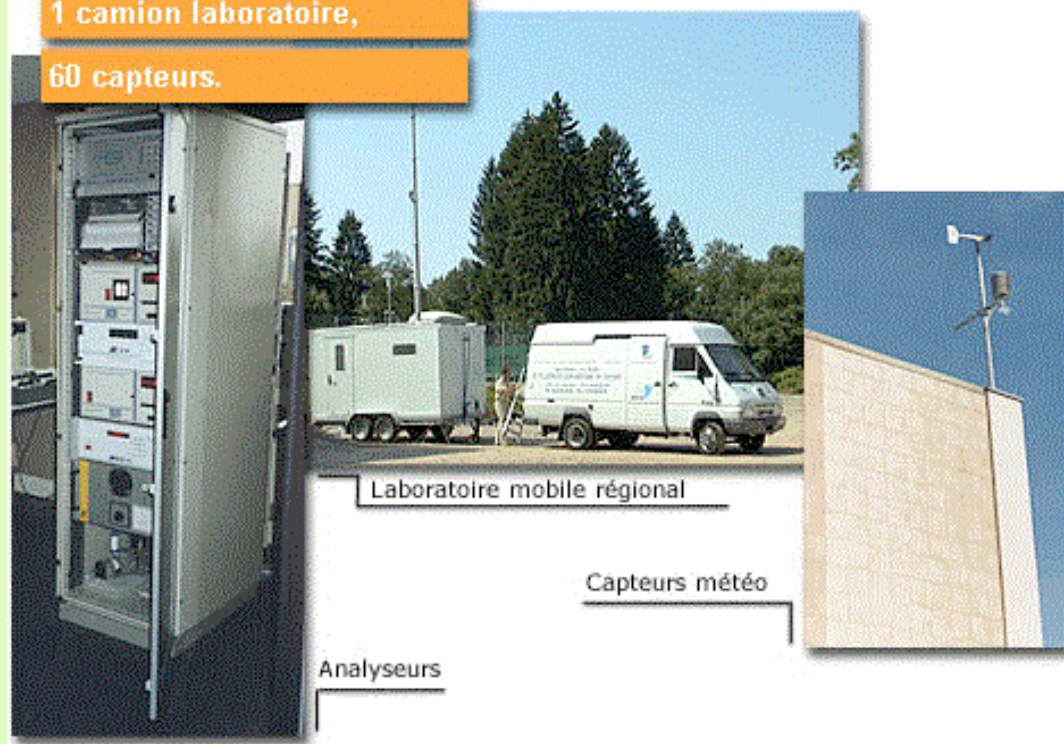
1. Objectif de l'étude « surveillance de la qualité de l'air »

16 stations fixes de mesures,

7 stations météorologiques,

1 camion laboratoire,

60 capteurs.



Système de mesure

système mobile

système fixe



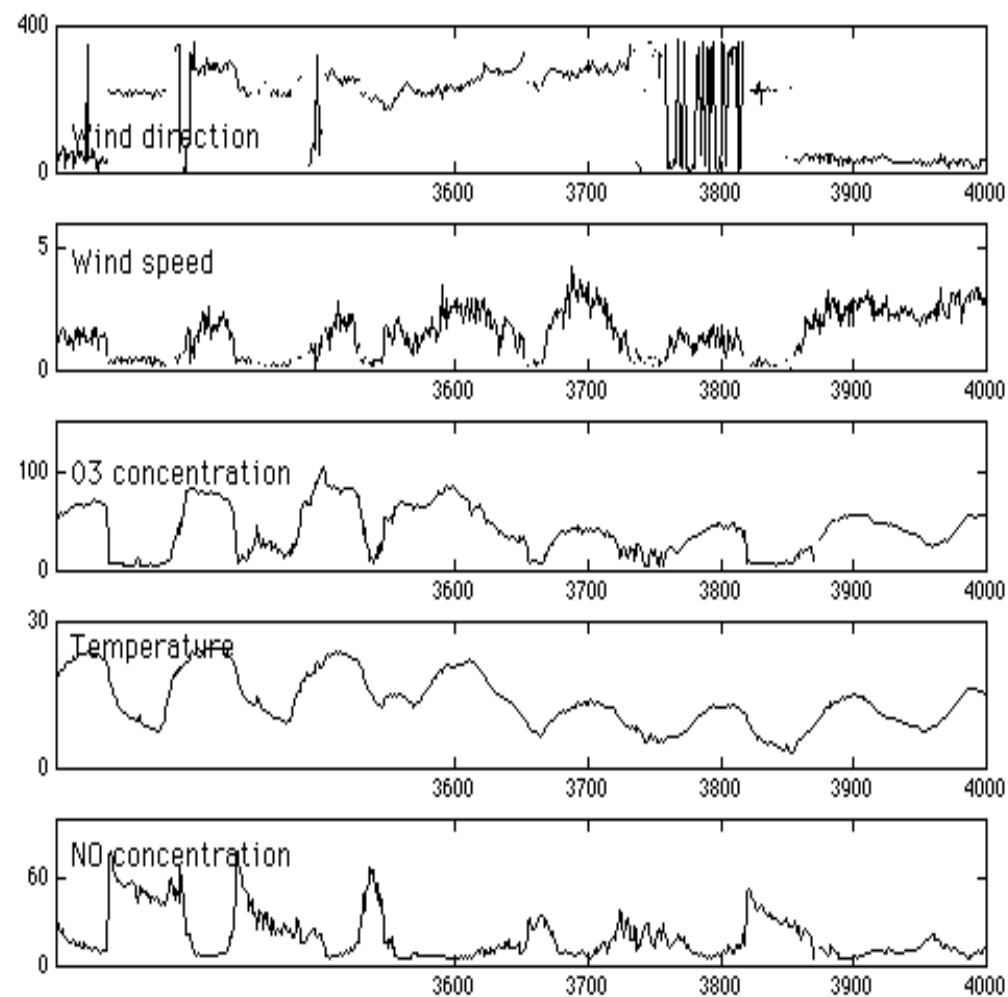
1. Objectifs de l'étude « surveillance de la qualité de l'air »

Mesures et difficultés

Valeurs manquantes

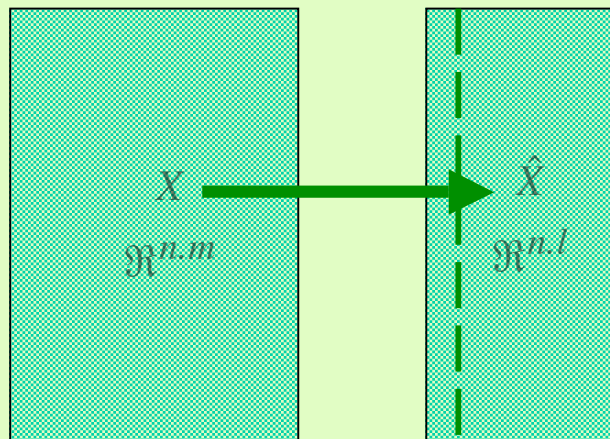
Sauts dans les données

Valeurs bruitées



2. Premier objectif de l'ACP : réduction de données

- ◆ Les premières composantes sont des combinaisons linéaires des colonnes de X et décrivent la plus grande partie de la variabilité de X



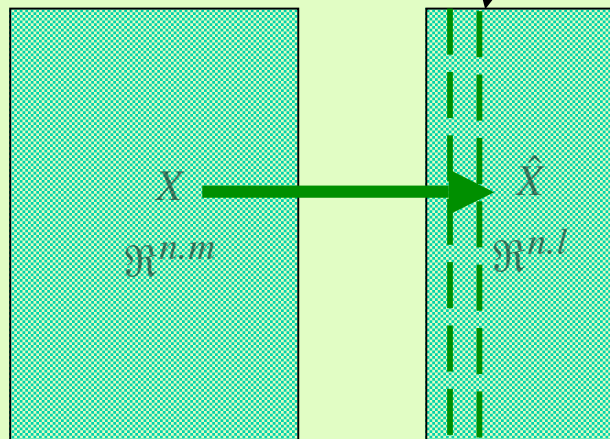
$$\begin{cases} t_1 = Xp_1 \\ \|p_1\|^2 = 1 \end{cases}$$

$$\Phi = \|Xp_1\|^2 + \lambda(1 - \|p_1\|^2)$$

p_1 est le vecteur propre associé à la plus grande valeur propre de $X^T X$

2. Premier objectif de l'ACP : réduction de données

- ◆ La seconde composante principale est combinaison linéaire des colonnes de X et décrit la part suivante de la variabilité de X

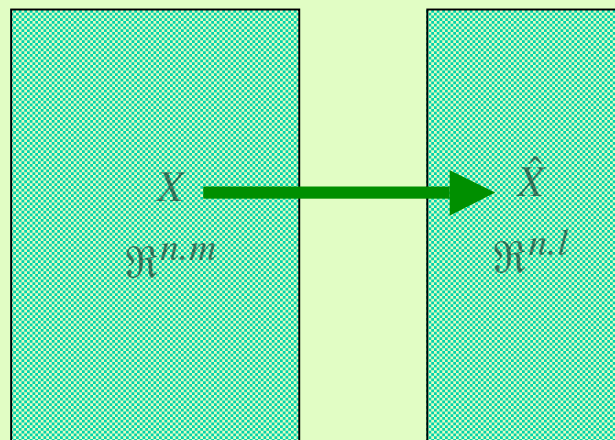


$$\begin{cases} t_2 = Xp_2 \\ t_2 \perp t_1 \\ \|p_2\|^2 = 1 \end{cases}$$

$$\Phi = \|Xp_2\|^2 + \lambda(1 - \|p_2\|^2) + \mu t_2^T t_1$$

p_2 est le vecteur propre associé à la deuxième valeur propre de $X^T X$

2. Premier objectif de l'ACP : réduction de données



◆ Décomposition de la matrice X

$$X = \sum_{i=1}^m t_i p_i^T$$

$$\begin{cases} X = TP^T \\ T = XP \end{cases}$$

◆ Décomposition approchée

$$\hat{X} = \sum_{i=1}^l t_i p_i^T$$

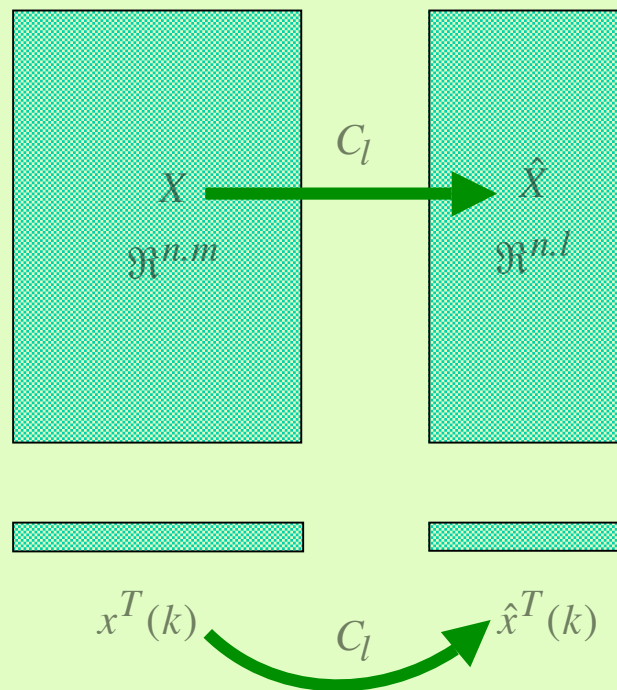
$$\begin{cases} \hat{X} = T_l P_l^T \\ T_l = X P_l \end{cases}$$

$$X = \hat{X} + \tilde{X}$$



$$\begin{cases} \hat{X} = X P_l P_l^T \\ \hat{X} = X C_l \end{cases}$$

2. Premier objectif de l'ACP : réduction de données



◆ Décomposition d'une nouvelle observation

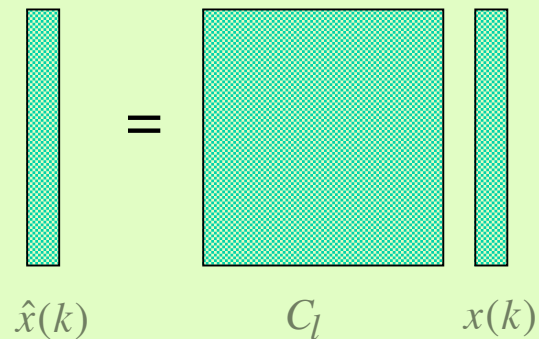
$$x(k) = \hat{x}(k) + \tilde{x}(k)$$

$$\hat{x}(k) = C_l x(k)$$

$$\tilde{x}(k) = (I - C_l)x(k)$$

◆ sélection du nombre de CP

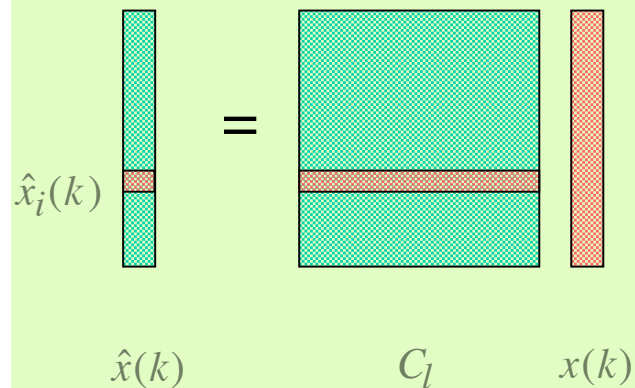
3. Second objectif de l'ACP : estimation



- ◆ Décomposition d'une nouvelle observation

$$\hat{x}(k) = C_l x(k)$$

- ◆ Estimation de donnée ($i^{\text{ème}}$ variable) utilisant tous les capteurs sauf le $i^{\text{ème}}$



$$\hat{x}_i(k) = C_{l,i} x(k)$$

$$C_{l,i} = (c_{-i} \quad c_{ii} \quad c_{+i})$$

$$\hat{x}_i(k) = \frac{(c_{-i} \quad 0 \quad c_{+i})}{1 - c_{ii}} x(k)$$

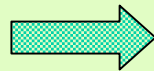
- ◆ Application au diagnostic
analyse de résidu

$$r_i(k) = \hat{x}_i(k) - x_i(k)$$

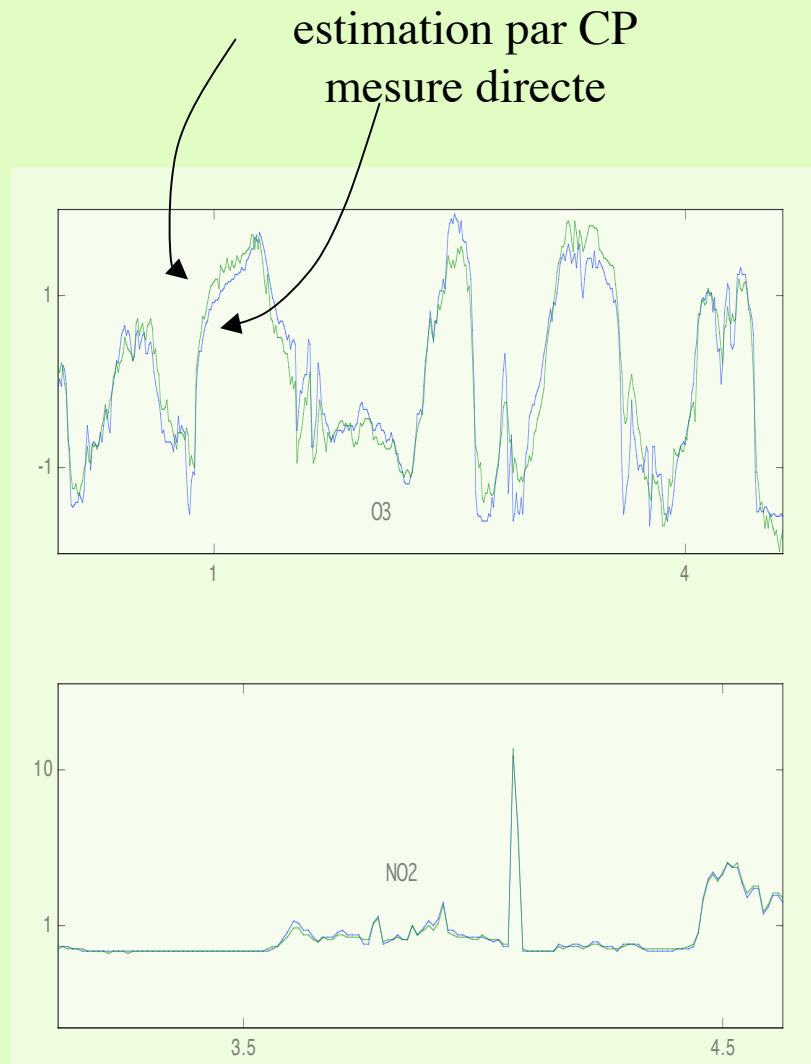
3. Second objectif de l'ACP : estimation

18 variables { 6 stations pour
O₃, NO₂, NO

estimation de O₃
(l=8 CP)



estimation de NO₂
(l=8 CP)





4. Troisième objectif de l'ACP : détection de fautes

Analyse de Résidus

$$x(k) = \hat{x}(k) + \tilde{x}(k)$$

$$SPE(\tilde{x}(k)) = \|\tilde{x}(k)\|^2$$

$$\delta = \theta \left(1 + \frac{c_\alpha \sqrt{2\theta_2 h^2}}{\theta_1} + \frac{\theta_2 h(h-1)}{\theta_1^2} \right)$$

$$\theta_i = \sum_{j=l+1}^m \lambda_j^i \quad ; \quad h = 1 - 2\theta_1\theta_3 / (3\theta_2^2)$$

c_α limite de confiance

λ_j Valeurs propres de $X^T X$

Détection

Conditions normales

$$SPE(\tilde{x}(k)) \leq \delta$$

Conditions anormales

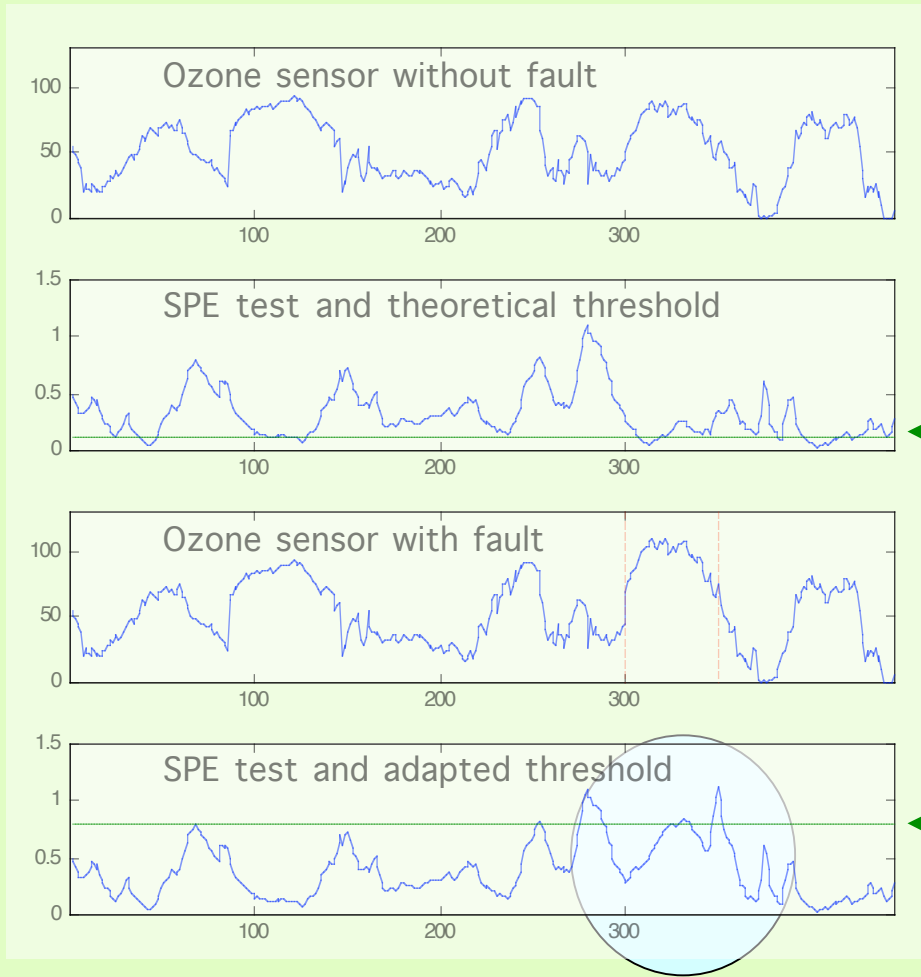
$$SPE(\tilde{x}(k)) > \delta$$

Filtrage d'alarmes

$$\tilde{\tilde{x}}(k) = (I - \Gamma)\tilde{\tilde{x}}(k-1) + \Gamma\tilde{x}(k)$$

$$SPE(\tilde{x}(k)) \Rightarrow SPE(\tilde{\tilde{x}}(k))$$

4. Troisième objectif de l'ACP : détection de fautes



Seuil théorique

Seuil empirique

5. Cinquième objectif de l'ACP : isolation de fautes

Analyse :
reconstruction du $j^{\text{ème}}$ capteur

$$x^T(k) = \begin{pmatrix} x_{-j}(k) & x(k) & x_{+j}(k) \end{pmatrix}$$

$$\tilde{x}(k) = (I - C_l)x(k)$$



$$z(k) = \frac{\begin{pmatrix} c_{-j} & 0 & c_{+j} \end{pmatrix}}{1 - c_{jj}} x(k)$$



$$\bar{x}^T(k) = \begin{pmatrix} x_{-j}(k) & z(k) & x_{+j}(k) \end{pmatrix}$$

$$\tilde{\tilde{x}}(k) = (I - C_l)\bar{x}(k)$$

Isolation de la faute i

Si $j = i$,

On a une bonne reconstruction de $x(k)$

$$SPE(\tilde{\tilde{x}}(k)) < SPE(\tilde{x}(k))$$

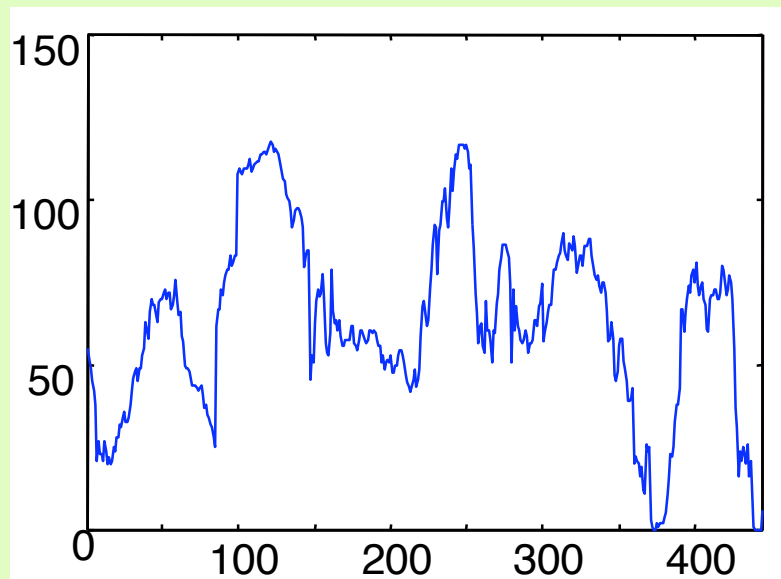
Si $j \neq i$,

La reconstruction de $x(k)$ est mauvaise

$$SPE(\tilde{\tilde{x}}(k)) \approx SPE(\tilde{x}(k))$$



5. Cinquième objectif de l'ACP : isolation de fautes

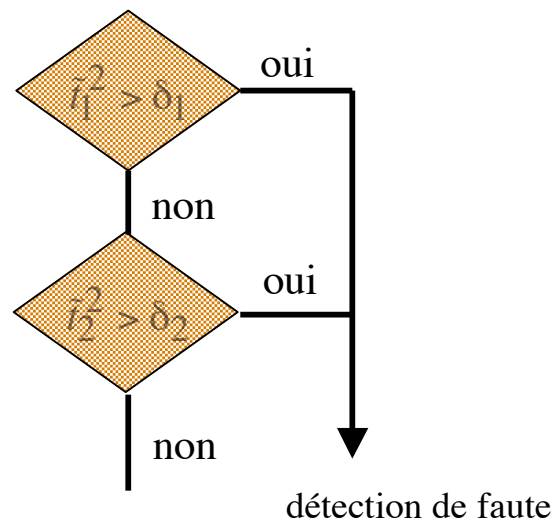


Proposition de détection (FD) et d'isolation (FI) de fautes

Calcul de la somme des carrés des dernières composantes

$$t = Xp \begin{cases} \tilde{t}_1^2 = t_m^2 \\ \tilde{t}_2^2 = t_m^2 + t_{m-1}^2 \\ \tilde{t}_3^2 = t_m^2 + t_{m-1}^2 + t_{m-2}^2 \\ \dots \end{cases}$$

FD : comparaison à un seuil



Calcul de la somme des carrés des dernières composantes principales en utilisant les valeurs reconstruites

$$\tilde{t}_{1,j}^2 \quad \text{utilisant la variable reconstruite } j$$

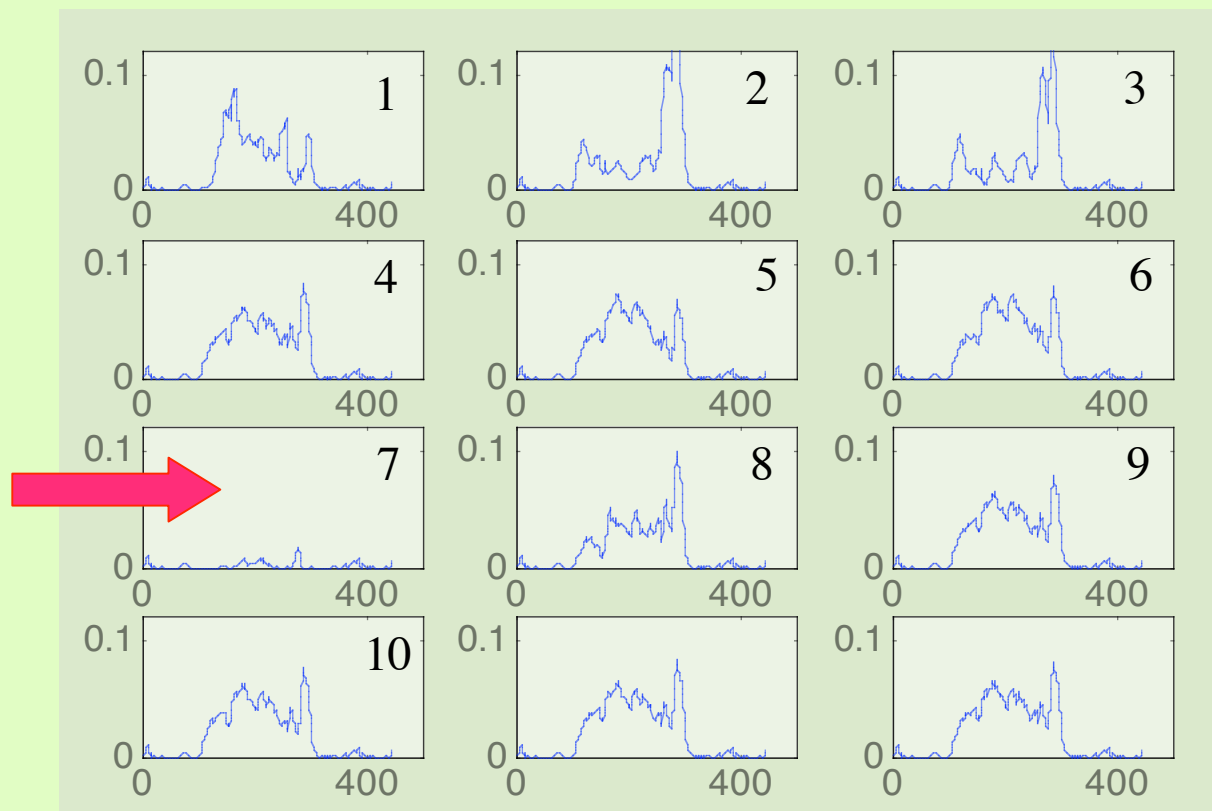
.....

FI : comparaison de la somme à un seuil

si $\tilde{t}_{1,j}^2 < \delta_1$
alors la $j^{\text{ème}}$ variable est suspecte

6. Quelques résultats

Quelques uns des 18 $\tilde{t}_{1,j}^2$ après reconstruction des variables une à une



7. Conclusion

ρ Diagnostic réalisé en associant

- compression de données
- reconstruction de données
- analyse des données projetées

ρ Application à la surveillance

- validation de données
- supervision de capteurs

ρ Travail futur

Reconstruction généralisée
à des fautes multiples
et sous contrainte de temps réel