



Fault diagnosis for wastewater treatment plants using Support Vector Machines

Laouti Nassim

Encadré par: Nida Sheibat-Othman et Sami Othman

Laboratoire d'Automatique et de Génie de Procédés

Diagnostic de défauts par SVM Procédé de traitement des eaux usées

- Introduction
- SVM classification
- SVM régression
- Application au procédé de traitement des eaux usées
- Conclusion et perspectives

Introduction

Objective

Diagnostic des défauts d'un procédé de traitement des eaux usées

Détection

Isolation

Identification

- Planifier l'entretien et la réparation (Réduire les coûts)
- Eviter des dégradations supplémentaires
- Préserver l'environnement, la sécurité et la productivité

Choix des SVMs

- Par rapport aux techniques basées sur les modèles: Méthode statistique (pas besoin de modèle)
- Par rapport aux autres techniques statistiques:
 - Minimisation du risque structurelle => bonne généralisation
 - Fonctions noyau => cas non linéaire
- Classification + Régression
- Validée pour la détection des défauts pour des systèmes mécaniques, chimiques, ..

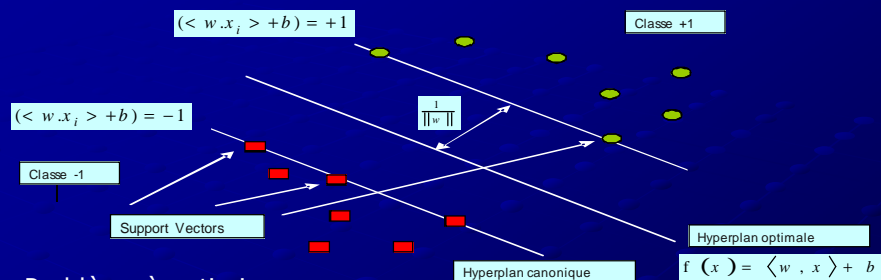
19/05/2011

STIC & ENVIRONNEMENT 2011

3

SVM Classification

$$D = \{(x_1, z_1), \dots, (x_i, z_i), \dots, (x_N, z_N)\}, \text{ pour } i = 1, \dots, N \quad x_i \in \mathfrak{R}^p, z_i = \pm 1$$



Problème à optimiser:

$$\begin{cases} \min_{w,b} & \frac{1}{2} \|w\|^2 \\ \text{sous contrainte} & : \\ z_i f(x_i) \geq 1 & i = 1, \dots, N \end{cases}$$

Lagrange

La fonction de décision:

$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i z_i \langle x_i, x \rangle + b \right)$$

Cas non linéaire: $\langle x_i, x \rangle$ est remplacée par une fonction Noyau (Kernel) $K(x_i, x)$:

$$f(x) = \text{sgn} \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i z_i K(x_i, x) + b \right)$$

$$\begin{matrix} z_i = -1 & \text{pas de défaut} \\ z_i = +1 & \text{un défaut} \end{matrix}$$

19/05/2011

STIC & ENVIRONNEMENT 2011

4

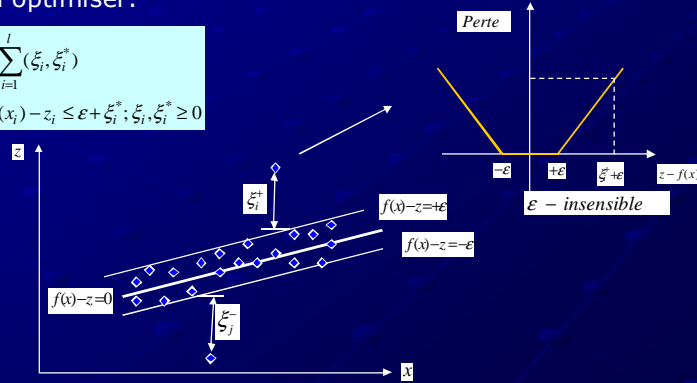
SVM Régression

$$D = \{(x_1, z_1), \dots, (x_i, z_i), \dots, (x_N, z_N)\}; \text{ pour } i = 1, \dots, N \text{ avec: } x_i \in R^p, z_i \in R$$

- Les étiquettes z_i = l'amplitude du défaut
- L'objectif de SVR est de trouver une fonction plate $z = f(x) = \langle w, x \rangle + b$

Le problème à optimiser:

$$\begin{cases} \text{Minimiser } \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\xi_i, \xi_i^*) \\ z_i - f(x_i) \leq \varepsilon + \xi_i; f(x_i) - z_i \leq \varepsilon + \xi_i^*; \xi_i, \xi_i^* \geq 0 \end{cases}$$

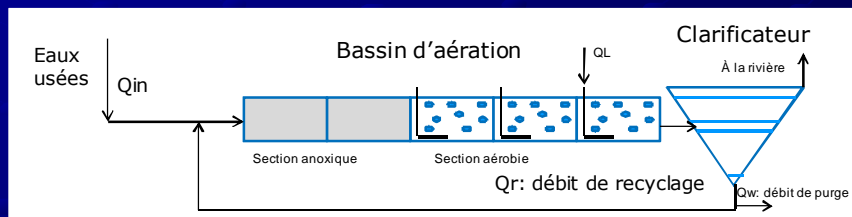


19/05/2011

STIC & ENVIRONNEMENT 2011

5

Procédé de traitement des eaux usées (à boue activée)



19/05/2011

STIC & ENVIRONNEMENT 2011

6

Modèle du procédé du traitement des eaux usées Modèle ASM1 (Henze 1987)

$$x^T = [S_I \ S_S \ X_I \ X_S \ X_H \ S_O \ X_{H,rec} \ X_{I,rec} \ X_{S,rec}] \quad u^T = [Q_{in} \ Q_L \ Q_r \ Q_w] \quad y^T = [S_I \ S_S \ X_I \ X_S \ X_H \ S_O]$$

$$\frac{dS_{I,rec}}{dt} = \frac{Q_{in}}{V_r} (S_{I,in} - S_{I,rec})$$

$$\frac{dS_S}{dt} = \frac{Q_{in}}{V_r} (S_{S,in} - S_S) - \frac{1}{Y_H} \mu_1 + \mu_3$$

$$\frac{dX_I}{dt} = \frac{Q_{in}}{V_r} (X_{I,in} - X_I) + \frac{Q_r}{V_r} (X_{I,rec} - X_I) + f_{X_I} \mu_2$$

$$\frac{dX_S}{dt} = \frac{Q_{in}}{V_r} (X_{S,in} - X_S) + \frac{Q_r}{V_r} (X_{S,rec} - X_S) + (1 - f_{X_I}) \mu_2 - \mu_3$$

$$\frac{dX_H}{dt} = \frac{Q_{in}}{V_r} (X_{H,in} - X_H) + \frac{Q_r}{V_r} (X_{H,rec} - X_H) + \mu_1 - \mu_2$$

$$\frac{dS_O}{dt} = \frac{Q_{in}}{V_r} (S_{O,in} - S_O) + Q_L \frac{\beta}{C_S} (C_S - S_O) - \frac{1 - Y_H}{Y_H} \mu_1$$

$$\frac{dX_{H,rec}}{dt} = \frac{Q_{in} + Q_r}{V_{dec}} X_H - \frac{Q_r + Q_w}{V_{dec}} X_{H,rec}$$

$$\frac{dX_{I,rec}}{dt} = \frac{Q_{in} + Q_r}{V_{dec}} X_I - \frac{Q_r + Q_w}{V_{dec}} X_{I,rec}$$

$$\frac{dX_{S,rec}}{dt} = \frac{Q_{in} + Q_r}{V_{dec}} X_S - \frac{Q_r + Q_w}{V_{dec}} X_{S,rec}$$

$$\mu_1 = \mu_{H,max} \frac{S_S}{(K_S + S_S)} \frac{S_O}{(K_O + S_O)} X_H$$

$$\mu_2 = b_H X_H$$

$$\mu_3 = K_H \frac{X_S}{(K_X X_H + X_S)} \frac{S_O}{(K_O + S_O)} X_H$$

- Grand nombre de variables

- Dépend de la variation du temps (manque de précision)

Diagnostic de défauts par SVM

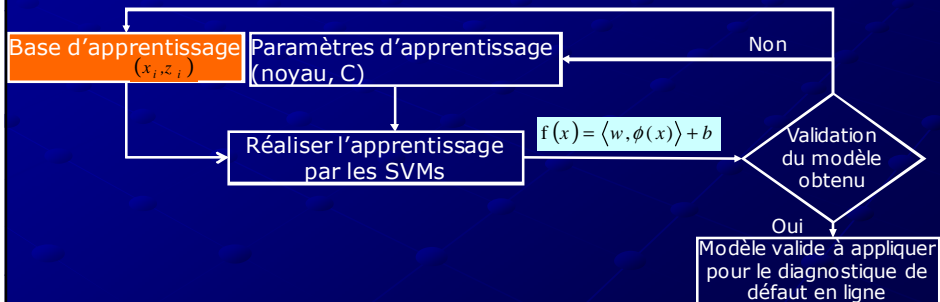
Apprentissage bi-classe

Données réelles sans défaut
(une classe)

Défauts de capteurs
(non utilisés en BF)

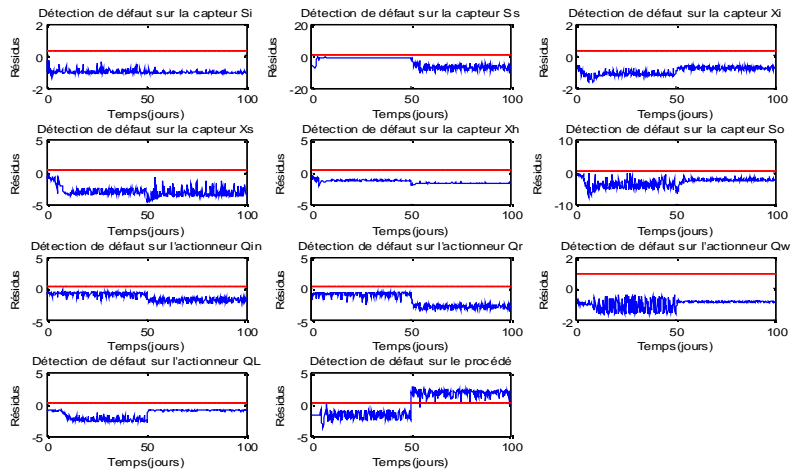
Modèle du procédé
Ou
Données réelles avec défaut

Défauts de **capteurs** utilisés en BF, **actionneurs** et **procédé**



Résultats

Un défaut de procédé (toxicité) : simulé par une réduction de 0.2 L/j (30%) du paramètre ($\mu_{H,max}$) introduit au 50^{ème} jours.



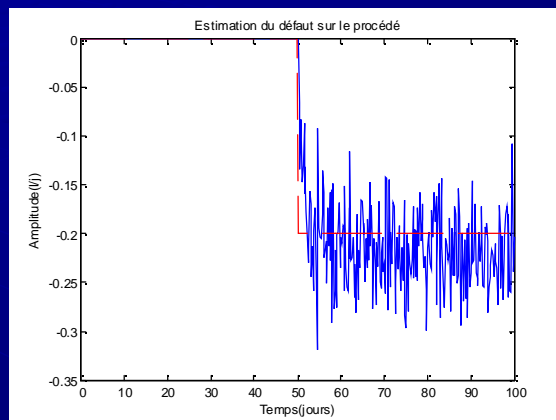
19/05/2011

STIC & ENVIRONNEMENT 2011

9

Résultats

Identification du niveau de défaut:



19/05/2011

STIC & ENVIRONNEMENT 2011

10

Conclusion et Perspectives

- Efficacité de SVM dans le diagnostique des défauts.
- L'algorithme SVR a prouvé son efficacité pour l'identification des défauts.
- Cette approche peut être facilement utilisée pour le diagnostique de défauts en ligne dans les procédés industriels: ne demande pas un modèle précis.
- Utilisation de SVM pour la reconfiguration de la loi de commande.
- La combinaison de cette méthode statistique avec celles basées sur les modèles doit permettre de mieux superviser le procédé
- Combinaison de SVM avec PCA, PLS comme prétraitement des données