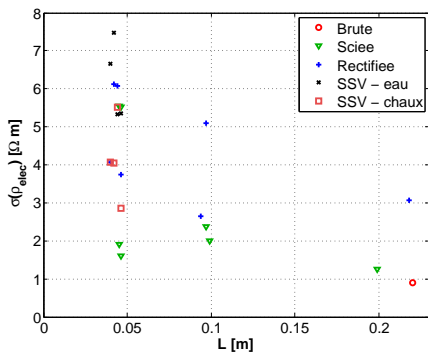
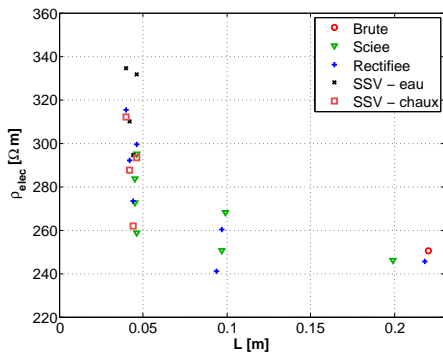
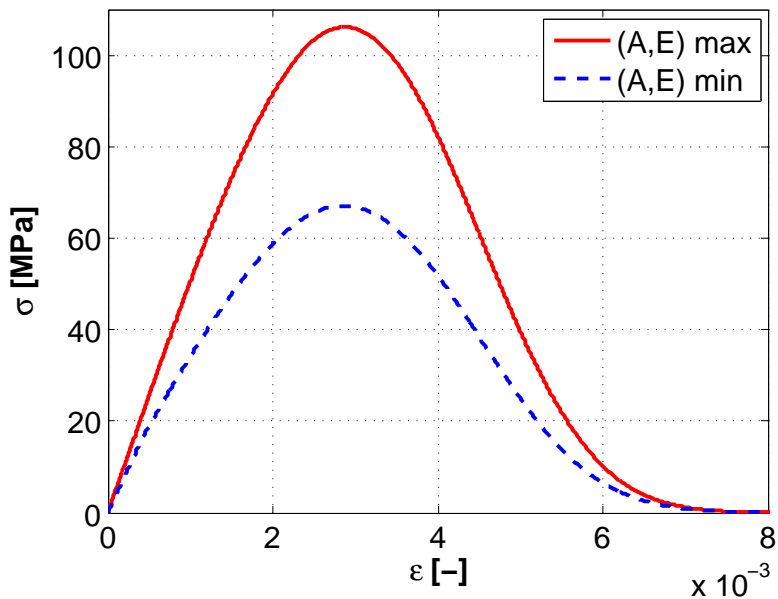


# Mesure de la résistivité électrique



# Évolution de l'endommagement



# Réseaux de neurones artificiels

[Hertz et al. 1991, Haykin 1998]

## Objectif

Identification d'une fonction  
inconnue : *détermination du  
coefficient de tortuosité*

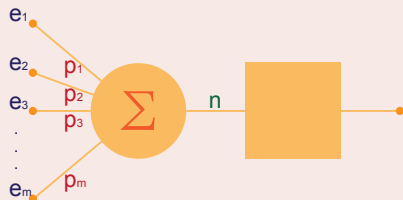
# Réseaux de neurones artificiels

[Hertz et al. 1991, Haykin 1998]

## Objectif

Identification d'une fonction inconnue : *détermination du coefficient de tortuosité*

## Le neurone artificiel



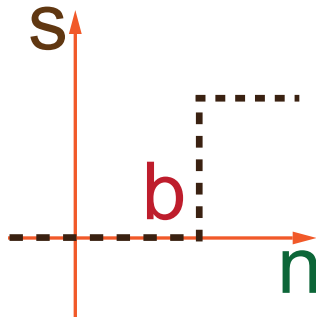
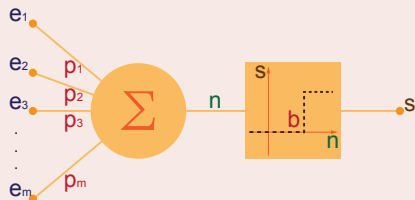
# Réseaux de neurones artificiels

[Hertz et al. 1991, Haykin 1998]

## Objectif

Identification d'une fonction inconnue : *détermination du coefficient de tortuosité*

## Le neurone artificiel



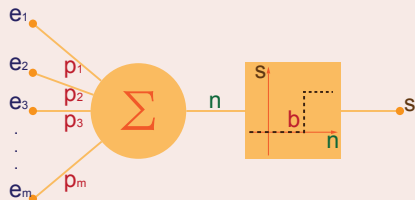
# Réseaux de neurones artificiels

[Hertz et al. 1991, Haykin 1998]

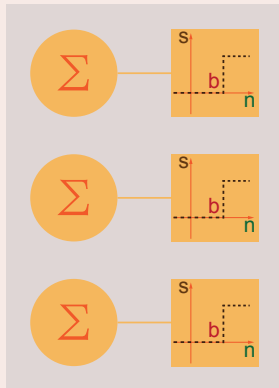
## Objectif

Identification d'une fonction inconnue : *détermination du coefficient de tortuosité*

## Le neurone artificiel



## La couche



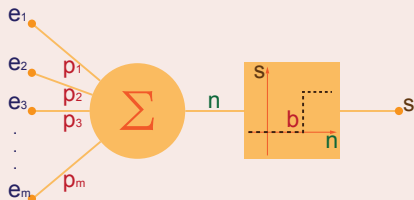
# Réseaux de neurones artificiels

[Hertz et al. 1991, Haykin 1998]

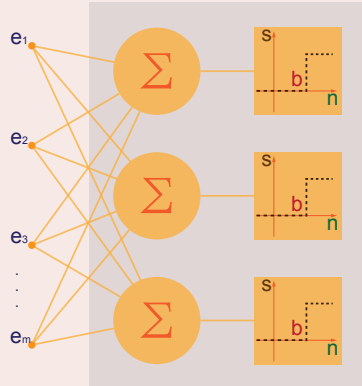
## Objectif

Identification d'une fonction inconnue : *détermination du coefficient de tortuosité*

## Le neurone artificiel



## La couche



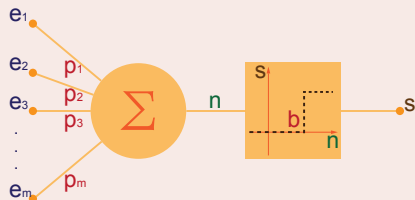
# Réseaux de neurones artificiels

[Hertz et al. 1991, Haykin 1998]

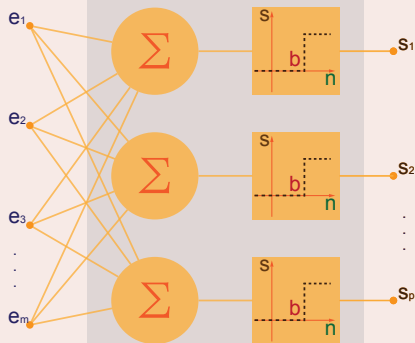
## Objectif

Identification d'une fonction inconnue : *détermination du coefficient de tortuosité*

## Le neurone artificiel



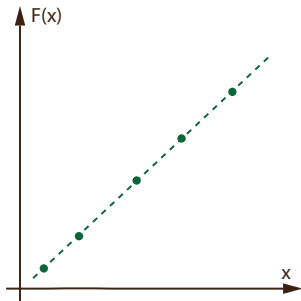
## La couche





## Validation

Vérifier que le réseau est capable de **généraliser** l'identification

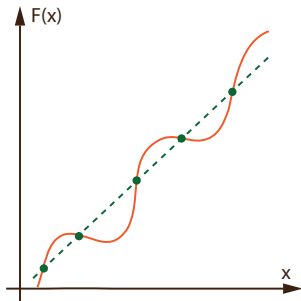


## Génération d'un jeu de données numériques

- À l'aide du modèle déterministe
- Paramètres d'entrée :
  - $0,11 \leq \phi \leq 0,18$
  - $0,13 \leq \tau \leq 0,25$
  - $0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 30^{\circ}\text{C}$
- Données de sortie :
  - épaisseurs dégradées

## Validation

Vérifier que le réseau est capable de **généraliser** l'identification



## Génération d'un jeu de données numériques

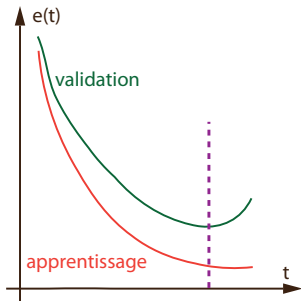
- À l'aide du modèle déterministe
- Paramètres d'entrée :
  - $0,11 \leq \phi \leq 0,18$
  - $0,13 \leq \tau \leq 0,25$
  - $0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 30^{\circ}\text{C}$
- Données de sortie :
  - épaisseurs dégradées

# Apprentissage du réseau de neurones artificiels

[Hertz et al. 1991, Haykin 1998]

## Validation

Vérifier que le réseau est capable de **généraliser** l'identification



## Génération d'un jeu de données numériques

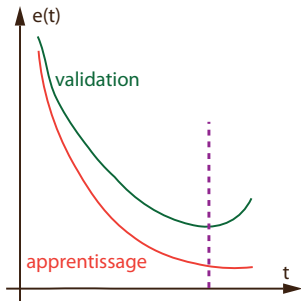
- À l'aide du modèle déterministe
- Paramètres d'entrée :
  - $0,11 \leq \phi \leq 0,18$
  - $0,13 \leq \tau \leq 0,25$
  - $0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 30^{\circ}\text{C}$
- Données de sortie :
  - épaisseurs dégradées

# Apprentissage du réseau de neurones artificiels

[Hertz et al. 1991, Haykin 1998]

## Validation

Vérifier que le réseau est capable de **généraliser** l'identification

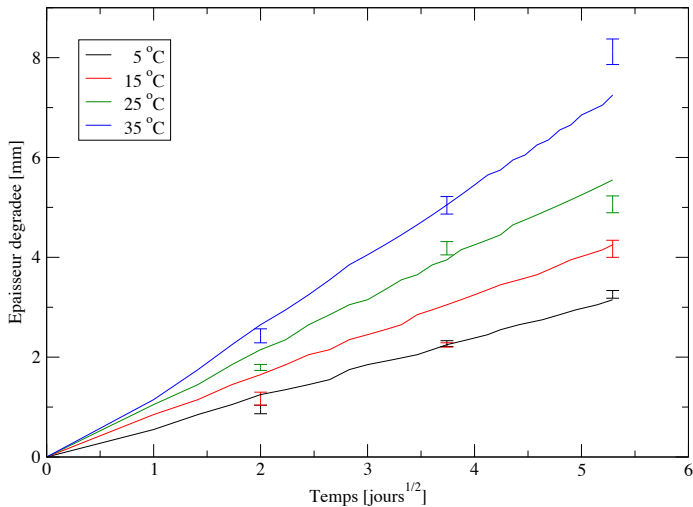


## Génération d'un jeu de données numériques

- À l'aide du modèle déterministe
- Paramètres d'entrée :
  - $0,11 \leq \phi \leq 0,18$
  - $0,13 \leq \tau \leq 0,25$
  - $0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 30^{\circ}\text{C}$
- Données de sortie :
  - épaisseurs dégradées

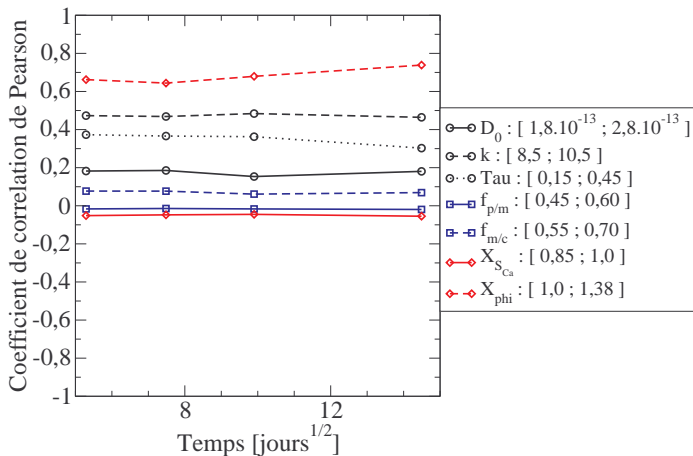
# Simulations VF vs. mesures expérimentales

Dégradation à différentes températures (constantes) – Essais CEA [Pierre et al. 2009]



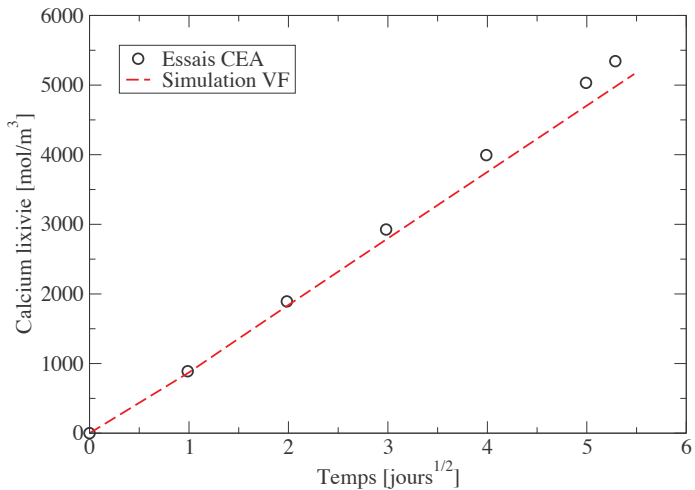
# Étude paramétrique

Influence des paramètres de diffusion sur la cinétique de lixiviation

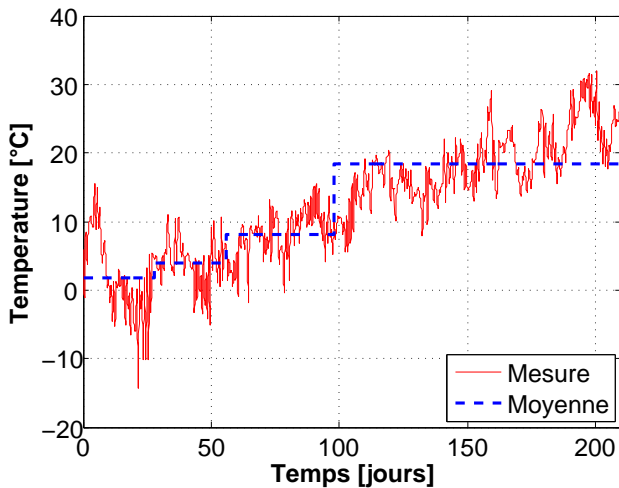


# Étude paramétrique

Influence des paramètres de diffusion sur la cinétique de lixiviation

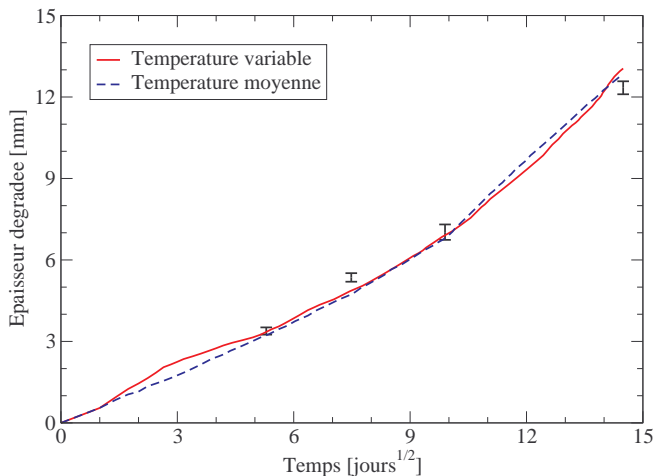


# Température variable au cours de l'essai





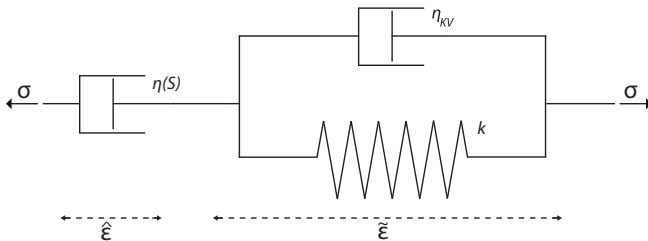
# Température variable au cours de l'essai



# Modélisation du fluage à long terme

Basée sur la théorie de la microprécontrainte [Bazant et al. 1997]

Calée sur les résultats expérimentaux de [Brooks 2005]



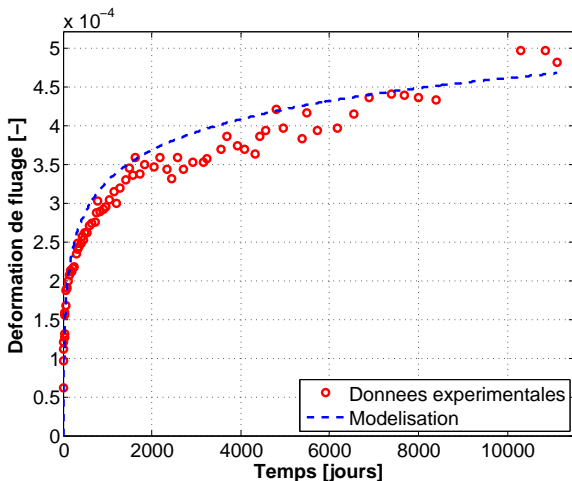
$$\hat{\varepsilon}_{n+1} = \hat{\varepsilon}_n + \hat{\sigma}_{n+1} \alpha \ln \left( \frac{t_{n+1}}{t_n} \right)$$

$$\tilde{\varepsilon}_{n+1} = \tilde{\varepsilon}_n e^{-\Delta t / \tau_{KV}} + \frac{\hat{\sigma}_{n+1}}{k} \left( 1 - e^{-\Delta t / \tau_{KV}} \right)$$

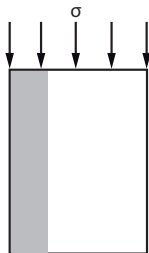
# Modélisation du fluage à long terme

Basée sur la théorie de la microprécontrainte [Bazant et al. 1997]

Calée sur les résultats expérimentaux de [Brooks 2005]



# Endommagements chimiques et mécaniques



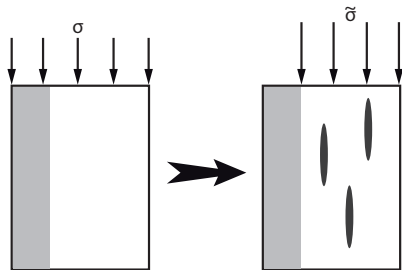
Endommagement chimique

$$\tilde{\sigma}_{n+1} = \frac{\sigma}{(1 - D_{n+1}^x)}$$

Endommagement mécanique

$$\hat{\sigma}_{n+1} = \frac{\sigma}{(1 - D_{n+1}^x)(1 - D_{n+1}^c)}$$

# Endommagements chimiques et mécaniques



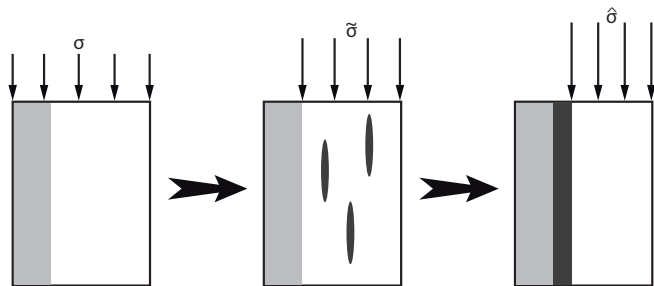
## Endommagement chimique

$$\tilde{\sigma}_{n+1} = \frac{\sigma}{(1 - D_{n+1}^x)}$$

## Endommagement mécanique

$$\hat{\sigma}_{n+1} = \frac{\sigma}{(1 - D_{n+1}^x)(1 - D_{n+1}^c)}$$

# Endommagements chimiques et mécaniques



Endommagement chimique

$$\tilde{\sigma}_{n+1} = \frac{\sigma}{(1 - D_{n+1}^x)}$$

Endommagement mécanique

$$\hat{\sigma}_{n+1} = \frac{\sigma}{(1 - D_{n+1}^x)(1 - D_{n+1}^c)}$$

- Endommagement mécanique [Mazars 1986] :

$$D^c = 1 - \frac{\varepsilon_D(1 - A)}{\varepsilon^{eq}} - \frac{A}{e^{B(\varepsilon^{eq} - \varepsilon_D)}} \quad \text{if } \varepsilon^{eq} \geq \varepsilon_D$$

- Couplage endommagement/fluage [Mazzotti et al. 2003] :

$$\varepsilon_{n+1}^{eq} = \sqrt{2 \nu_{n+1}^2 (\varepsilon_{n+1}^e + \beta(\hat{\varepsilon}_{n+1} + \tilde{\varepsilon}_{n+1}))^2}$$

- Évolution du coefficient de Poisson apparent [Mazzotti et al. 2003] :

$$\nu_{n+1} = \nu_0 (1 + \tilde{\nu}(\varepsilon_{n+1}^e + \hat{\varepsilon}_{n+1} + \tilde{\varepsilon}_{n+1})^\gamma)$$

- Endommagement mécanique [Mazars 1986] :

$$D^c = 1 - \frac{\varepsilon_D(1 - A)}{\varepsilon^{eq}} - \frac{A}{e^{B(\varepsilon^{eq} - \varepsilon_D)}} \quad \text{if } \varepsilon^{eq} \geq \varepsilon_D$$

- Couplage endommagement/fluage [Mazzotti et al. 2003] :

$$\varepsilon_{n+1}^{eq} = \sqrt{2 \nu_{n+1}^2 (\varepsilon_{n+1}^e + \beta(\hat{\varepsilon}_{n+1} + \tilde{\varepsilon}_{n+1}))^2}$$

- Évolution du coefficient de Poisson apparent [Mazzotti et al. 2003] :

$$\nu_{n+1} = \nu_0 (1 + \tilde{\nu}(\varepsilon_{n+1}^e + \hat{\varepsilon}_{n+1} + \tilde{\varepsilon}_{n+1})^\gamma)$$



- Endommagement mécanique [Mazars 1986] :

$$D^c = 1 - \frac{\varepsilon_D(1 - A)}{\varepsilon^{eq}} - \frac{A}{e^{B(\varepsilon^{eq} - \varepsilon_D)}} \quad \text{if } \varepsilon^{eq} \geq \varepsilon_D$$

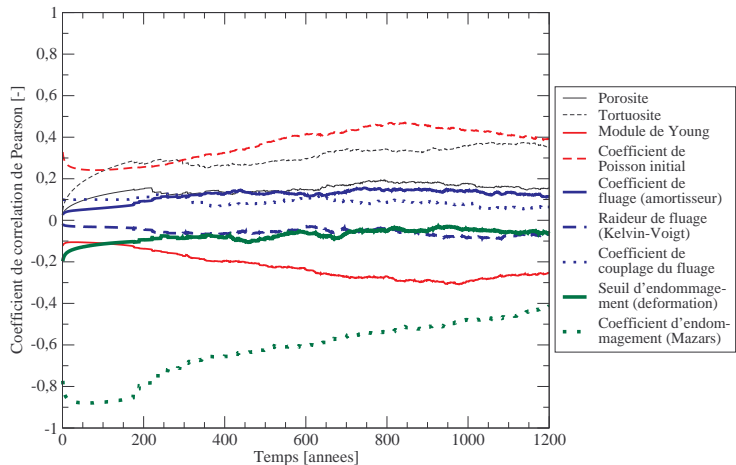
- Couplage endommagement/fluage [Mazzotti et al. 2003] :

$$\varepsilon_{n+1}^{eq} = \sqrt{2 \nu_{n+1}^2 (\varepsilon_{n+1}^e + \beta(\hat{\varepsilon}_{n+1} + \tilde{\varepsilon}_{n+1}))^2}$$

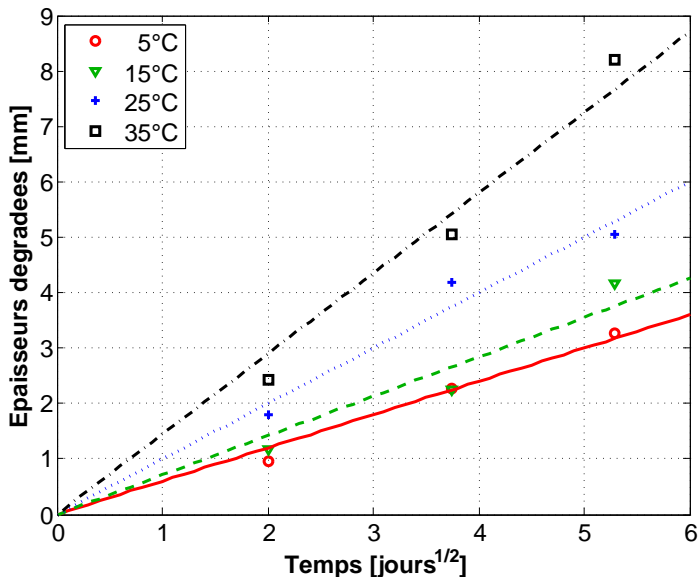
- Évolution du coefficient de Poisson apparent [Mazzotti et al. 2003] :

$$\nu_{n+1} = \nu_0 (1 + \tilde{\nu}(\varepsilon_{n+1}^e + \hat{\varepsilon}_{n+1} + \tilde{\varepsilon}_{n+1})^\gamma)$$

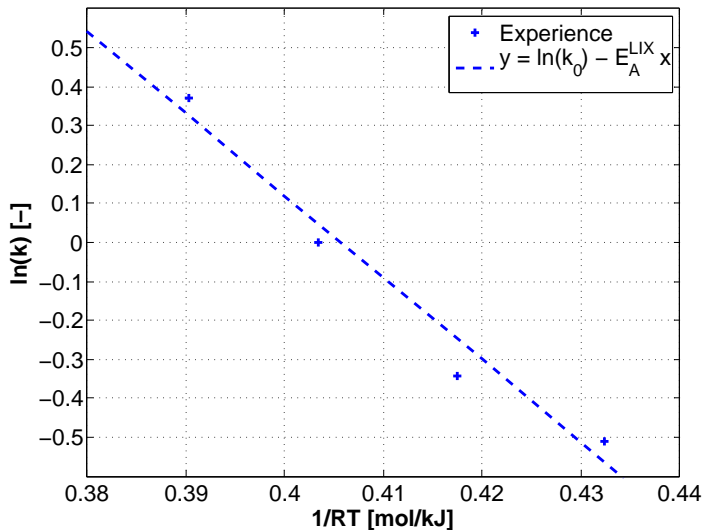
# Détermination des paramètres influents



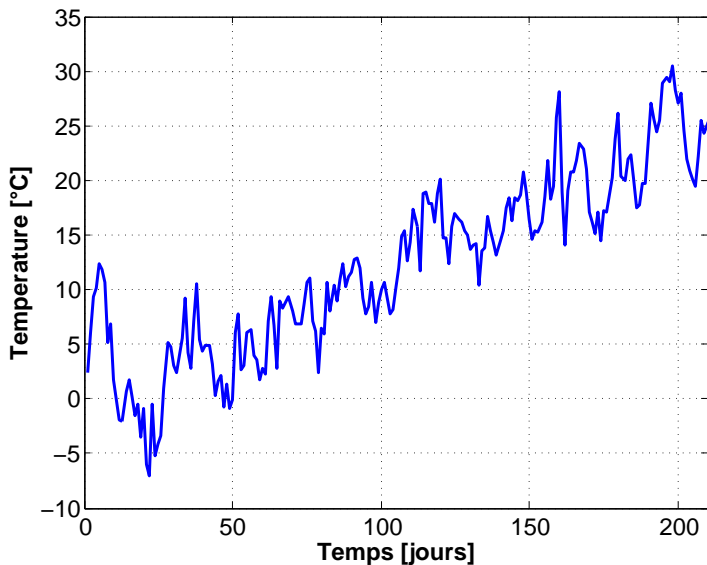
# Thermoactivation de la lixiviation



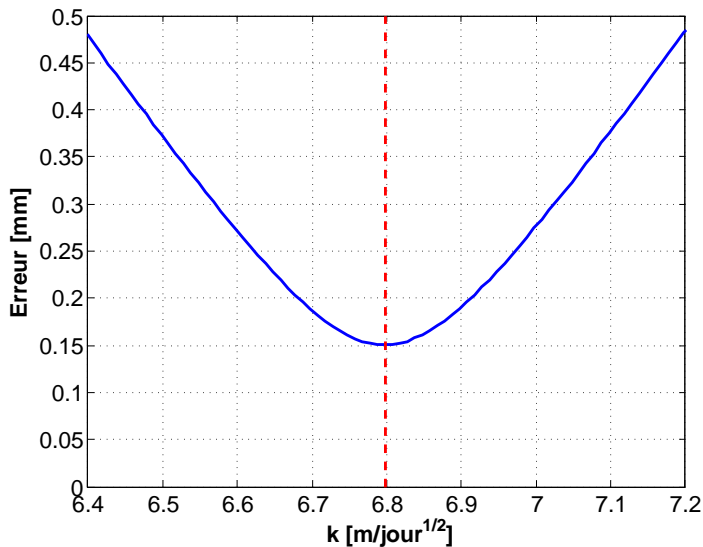
# Thermoactivation de la lixiviation



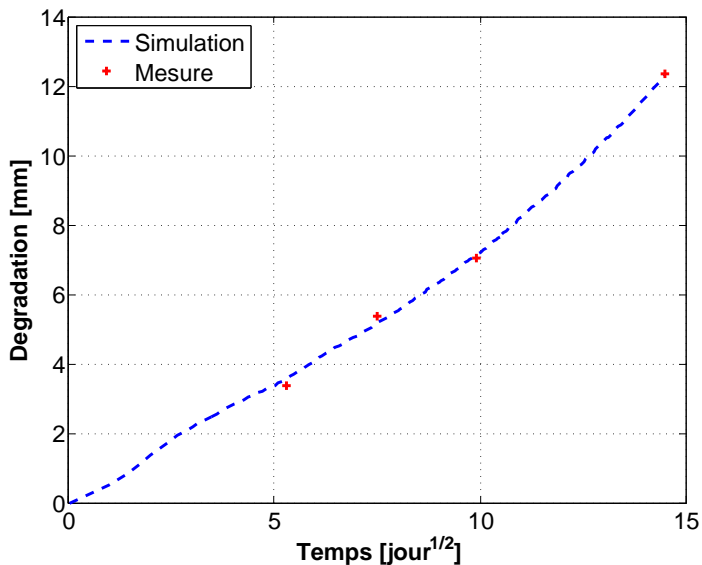
# Thermoactivation de la lixiviation



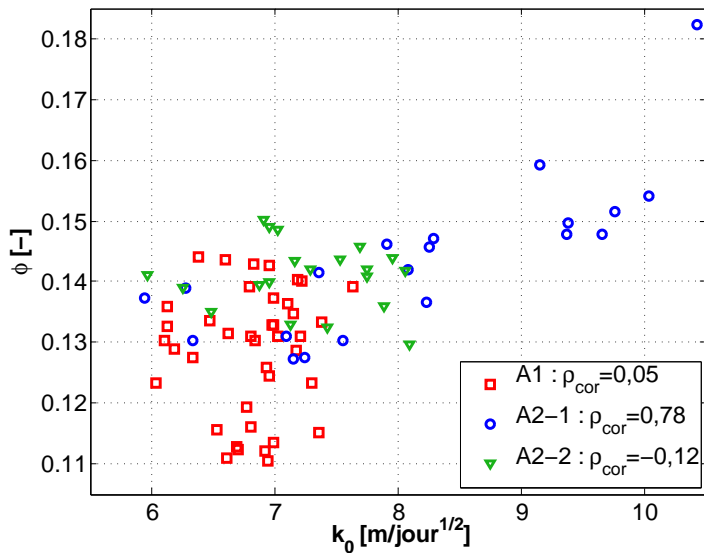
# Thermoactivation de la lixiviation



# Thermoactivation de la lixiviation

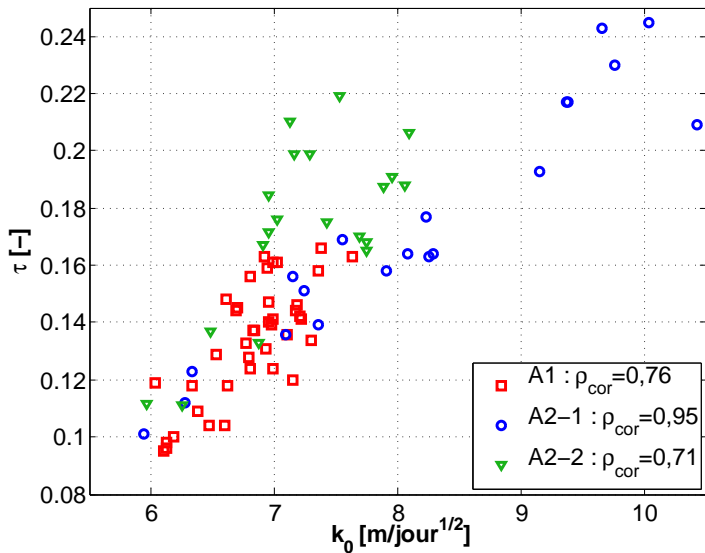


# Thermoactivation de la lixiviation





# Thermoactivation de la lixiviation



## Décomposition modale

- Réalisations indépendantes mais corrélées spatialement
- Séparation des variables spatiales et stochastiques

$$f(\vec{x}, \omega) = \bar{f}(\vec{x}) + \sum_{i=0}^{+\infty} \sqrt{\lambda_i} \phi_i(\vec{x}) \xi_i(\omega)$$

## Problème aux valeurs propres généralisées

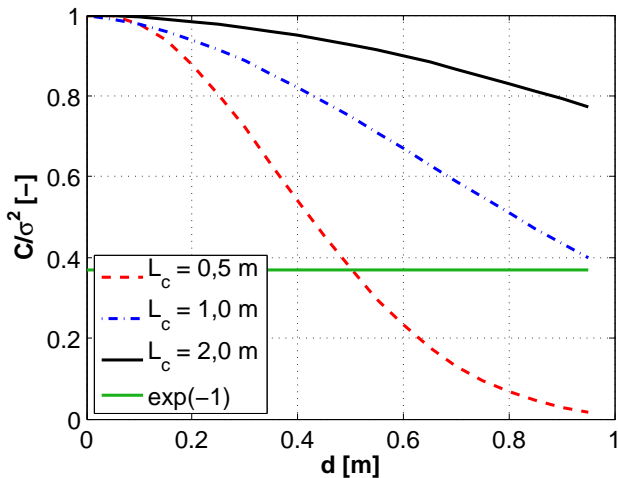
- Discrétisation EF pour la détermination des modes

$$\mathbf{MCM}\vec{\phi} = \lambda\mathbf{M}\vec{\phi}$$

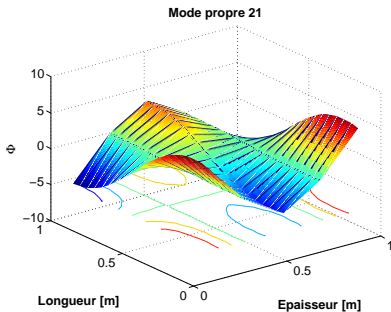
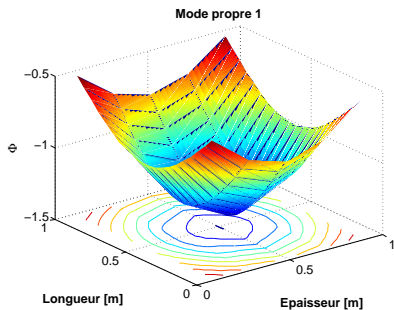
- Fonction de covariance

$$C_{ij} = V \exp\left(-\frac{\|\vec{x}_i - \vec{x}_j\|^2}{L_c^2}\right)$$

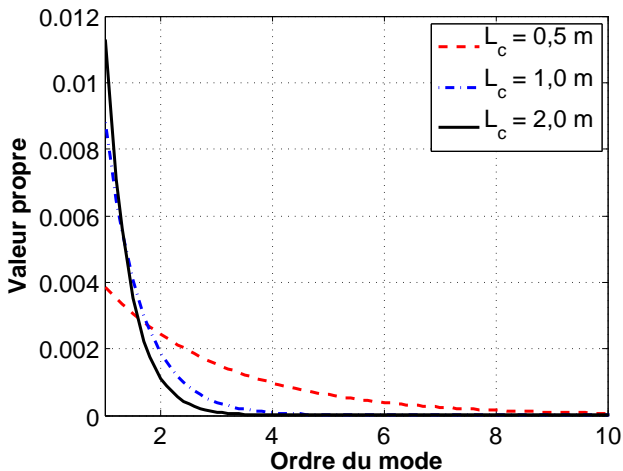
# Décomposition de Karhunen-Loève



# Décomposition de Karhunen-Loève



# Décomposition de Karhunen-Loève



# Utilisation d'un middleware

[Matthies et al 2006]

