

GDR Feux LNE 2011

Analyse de sensibilité d'un modèle de propagation de feux de végétaux

Anthony Collin^a, Floriane Anstett-Collin^b,
Aymeric Lamorlette^a, Thierry Mara^c

a : LEMTA, Nancy-Université, CNRS

b : MIPS, Université de Haute Alsace

c : PIMENT-MASC, Université de la Réunion

GDR Feux LNE - 21 janvier 2011

Sommaire de l'exposé

Problème de sensibilité paramétrique

Analyse de sensibilité globale

Applications et résultats



Sommaire de l'exposé

Problème de sensibilité paramétrique

Analyse de sensibilité globale

Applications et résultats



Problème de sensibilité paramétrique

Introduction et problématique

- Utilisation directe d'un modèle numérique
- ⇒ *Quelles conditions initiales à appliquer sur les grandeurs calculées ?*
- ⇒ *Quelles valeurs utilisées pour les paramètres d'entrée ?*
- ⇒ *Avec quelles précisions les paramètres doivent-ils être connus ?*

Problème d'incertitude

- Utilisation indirecte d'un modèle numérique (méthode inverse)
- ⇒ *Peut-on identifier tous les paramètres à partir d'un jeu de résultats ?*

Problème d'identification

Problème de sensibilité paramétrique

Variabilité des données sur la végétation

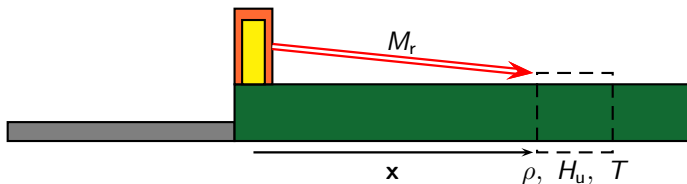
- Charge : $0,5 \text{ kg/m}^2 \text{ (exp)} \implies 5 \text{ kg/m}^2 \text{ (réel)}$
- Humidité : $15\% \text{ - végétation sèche} \implies 100\% \text{ - végétation "verte"}$
Morvan et al., IJWF, 2005
- Capacité calorifique du bois : $900 \text{ J/kg/K} \implies 1500 \text{ J/kg/K}$
Grishin, 1992
- Constantes de la loi d'Arrhénius $E/R : 2000 \text{ K} \implies 10000 \text{ K}$
 $A : 0,05 \text{ s}^{-1} \implies 10^6 \text{ s}^{-1}$
A et E/R sont-ils couplés ?
Grishin, 1992

+ les inconnues liées à la flamme, à la topographie, à la météorologie, ...

Quelles sont les conséquences de ces variabilités sur le modèle de propagation ?

Problème de sensibilité paramétrique

Modèle de propagation testé - Monodimensionnel



$$\text{Bilans : } \begin{cases} \rho (C_s + H_u C_i) \frac{\partial T}{\partial t} = h(T_a - T) + \rho \frac{\partial H_u}{\partial t} L_{ev} \delta_{T=T_{ev}} + M_r \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} = -\rho A \exp\left(-\frac{E}{R T}\right) \text{ quand } T > T_{ig} \text{ et } \rho \geq \rho_{ext} \end{cases}$$

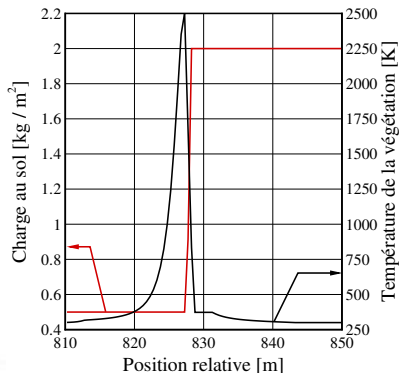
$$\text{Flamme volumique : } M_r(\mathbf{x}) = 4\mathcal{V}_f K_f \sigma_s T_f^4 \mathcal{F}(\theta_f, \mathcal{V}_f, \mathbf{x})$$

X : grandeur sensible aux conditions initiales

Y : paramètre sensible à la valeur choisie

Problème de sensibilité paramétrique

Grandeurs étudiées



Propriétés homogènes sur tout le domaine

Régime établi

Grandeurs de sortie étudiées :

- Vitesse de propagation,
 \implies comportement du feu
- Épaisseur du front,
 \implies puissance du feu

Paramètres testés

$$\rho \rightarrow \mathcal{U} [1,5 \text{ kg/m}^2; 3,5 \text{ kg/m}^2]$$

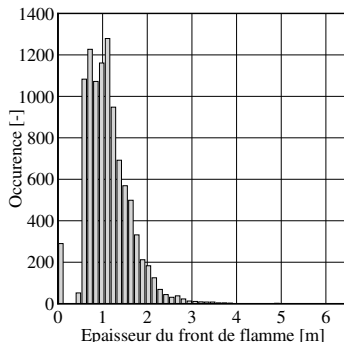
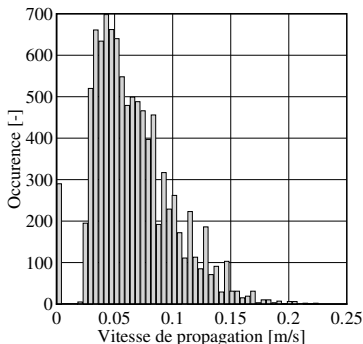
$$H_u \rightarrow \mathcal{U} [0, 1; 0, 4]$$

$$C_p \rightarrow \mathcal{U} [900 \text{ J/kg/K}; 1500 \text{ J/kg/K}]$$

$$A \rightarrow \mathcal{U} [10 \text{ s}^{-1}; 10^4 \text{ s}^{-1}]$$

Problème de sensibilité paramétrique

Résultats - Sensibilité



- Moyenne : 6,6 cm/s,
- IC à 95% : 0 cm/s-14 cm/s

- Moyenne : 1,21 m,
- IC à 95% : 0 m-2,15 m

≈ 200% d'incertitude sur chaque grandeur : A qui est-ce dû ?

Sommaire de l'exposé

Problème de sensibilité paramétrique

Analyse de sensibilité globale

Applications et résultats



Analyse de sensibilité globale

Modèle non linéaire : $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$y \in \mathbb{R}$: sortie

$x_i \in \mathbb{R}$: paramètres

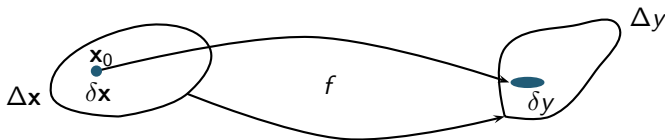
Les interrogations

- Paramètres influents / non-influents sur la sortie ?

Les enjeux

- Améliorer la prédiction (réduire l'incertitude),
- Simplifier le modèle,
- Améliorer la compréhension du phénomène.

Analyse de sensibilité globale



Analyse de sensibilité

Comment les perturbations de \mathbf{x} engendrent des perturbations sur y ?

Différentes approches

- Méthode de screening,
- Analyse de sensibilité locale,
Etude de petites perturbations autour de \mathbf{x}_0 ,
- Analyse de sensibilité globale,
Etude de la variabilité de \mathbf{x} sur y ,

$$\delta \mathbf{x} \implies \delta y$$

$$S_i = \left. \frac{\partial y}{\partial x_i} \right|_{\mathbf{x}_0}$$

$$\Delta \mathbf{x} \implies \Delta y$$

$$S_i, S_{T_i}$$

Indices de sensibilité

Méthodologie

- Approche basée sur l'analyse de la variance (ANOVA) :
Décomposition de Sobol

Indice de sensibilité du 1er ordre - Effet principal

$$S_i = \frac{V(E(y|x_i))}{V(y)}$$

$V(E(y|x_i))$: variance de l'espérance conditionnelle de y à x_i

$V(y)$: variance totale de y

Conséquences

- S_i compris entre 0 et 1
- Plus S_i est élevé, plus x_i est influent
- Modèle non linéaire et non additif \Rightarrow existence d'interactions

Indice de sensibilité

Indice de l'effet total

$$S_{Ti} = 1 - \frac{V(E(y | \sim x_i))}{V(y)}$$

$V(E(y | \sim x_i))$: variance de l'espérance conditionnelle de y connaissant tous les paramètres sauf x_i

S_{Ti} = influence de x_i seul + interaction avec autres paramètres

Contraintes

- Fonction f complexe ou pas connue (résultat d'EDP)
- Paramètres nombreux
- ▶ **Calcul analytique de S_i et S_{Ti} difficile**
- ▶ **Estimation des indices de sensibilité :**

Monte Carlo, FAST, Polynômes du chaos

Avantages / Inconvénients

Monte Carlo

- Accès à l'ensemble des indices de sensibilité (dont les interactions),
- Approche assez simple à implémenter,
- Nombre important de simulations à effectuer $n_{\text{exp}} = N(1 + 2n_{\text{param}})$

FAST - Fourier Amplitude Sensitivity Test

- Accès à un nombre limité d'indices de sensibilité (pas d'interactions),
- Approche compliquée à implémenter,
- Nombre limité de simulations à effectuer $n_{\text{exp}} = 2(2M\omega_{\text{max}} + 1)$

Polynômes du chaos

- Accès à l'ensemble des indices de sensibilité (dont les interactions),
- Approche compliquée à implémenter,
- Nombre limité de simulations à effectuer $n_{\text{exp}} = f(\text{degré})$

Sommaire de l'exposé

Problème de sensibilité paramétrique

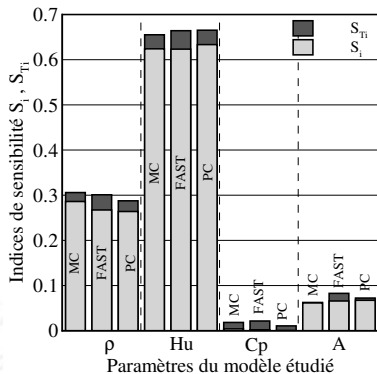
Analyse de sensibilité globale

Applications et résultats



Applications et résultats

Vitesse de propagation

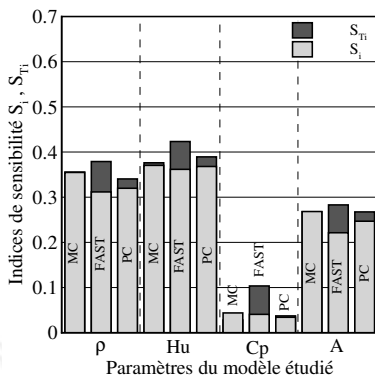


- Même tendance pour les 3 approches testées,
- Interaction faible entre les paramètres,
- Paramètre le plus influent : humidité,
- Faible importance de C_p et de A .

Applications et résultats

Épaisseur du front de flamme

- Même tendance pour les 3 approches testées,
- Interaction faible entre les paramètres,
- Importance quasi identique entre ρ , H_u et A ,
- Faible importance de C_p .



Applications et résultats

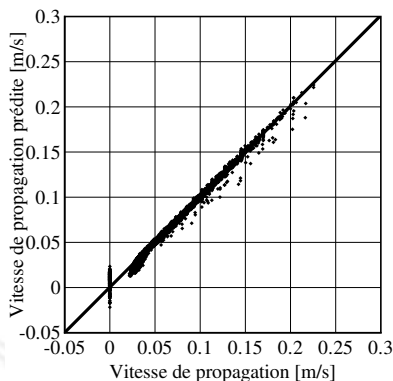
Polynômes du chaos : vers un modèle réduit

Pour 90% des feux testés :

- 1,8% d'erreur moyenne,
- 7% d'erreur maximale.

Contrainte :

- Impossibilité de prédire la non propagation d'un incendie.



Conclusions et perspectives

- **Meilleure connaissance du comportement du modèle de propagation**

Problème d'incertitude

⇒ *Sensible à l'humidité et à la charge disponible de végétation*

Problème d'identification

⇒ *La capacité calorifique n'est pas un paramètre identifiable*

- **Pour la suite ...**

Développer une étude globale sur l'ensemble des paramètres du modèle de propagation

- **Pour l'avenir ...**

Mise à disposition d'une méthode complète pour analyser un modèle

Bibliographie



A. Collin - O. Séro-Guillaume - F. Anstett-Collin

Global sensitivity analysis of a fire propagation model : Effect of vegetation properties on the fire features

Sixth International Conference on Forest Fire Research - Coimbra, Portugal, November 15 - 18, 2010, p 133



A. Collin - F. Anstett-Collin

Analyse de sensibilité appliquée à un modèle de propagation de feux de forêts : Influence de la charge et de l'humidité de la végétation au sol
Congrès Français de Thermique, Le Touquet, 25 au 28 mai 2010



T. Mara - S. Tarantola

Application of global sensitivity analysis of model output to building thermal simulations

Journal of Building Simulation, Vol 1, p 290-302, 2008



B. Sudret

Global sensitivity analysis using polynomial chaos expansion

Reliability Engineering and System Safety, Vol 93, p 964-979, 2008