CERFACS
CENTRE EUROPÉEN DE RECHERCHE ET DE FORMATION AVANCÉE EN CALCUL SCIENTIFIQUE

Inria
INVENTEURS DU MONDE NUMÉRIQUE

Systel

Apport de la modélisation à l'échelle du feu pour la cartographie d'urgence des incendies de forêt

Frebourg Nicolas
ENM - 2015/2018
Master SOAC-EE

Encadrants : Clément Diot – SYSTEL-SA
Mélanie Rochoux – Cerfacs
Annabelle Collin – Inria/IMB

INP TOULOUSE
ENM École Nationale de la Météorologie
METEO FRANCE

UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER
Université de Toulouse

Plan

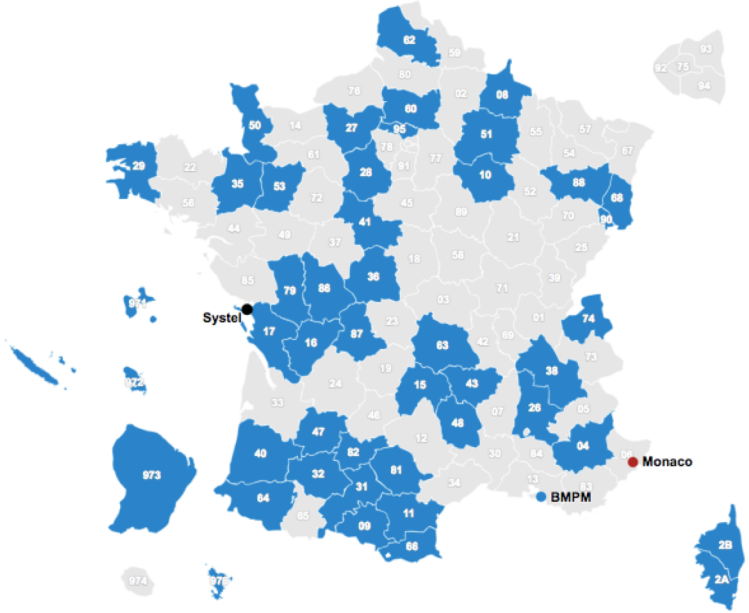
- 1 – SYSTEL : Rôle, services, besoins
- 2 – Modélisation et méthode d'assimilation de données
- 3 – Application sur un cas d'étude avancé : Feu de Biguglia

1 – SYSTEL : Rôle, services, besoins

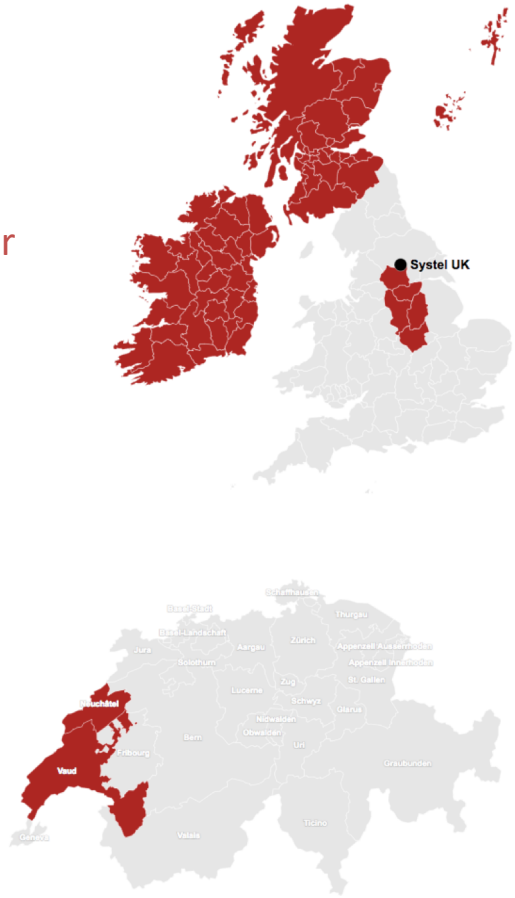
SYSTEL : Acteur Système et Télécommunication

Clients :

- France : Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS)



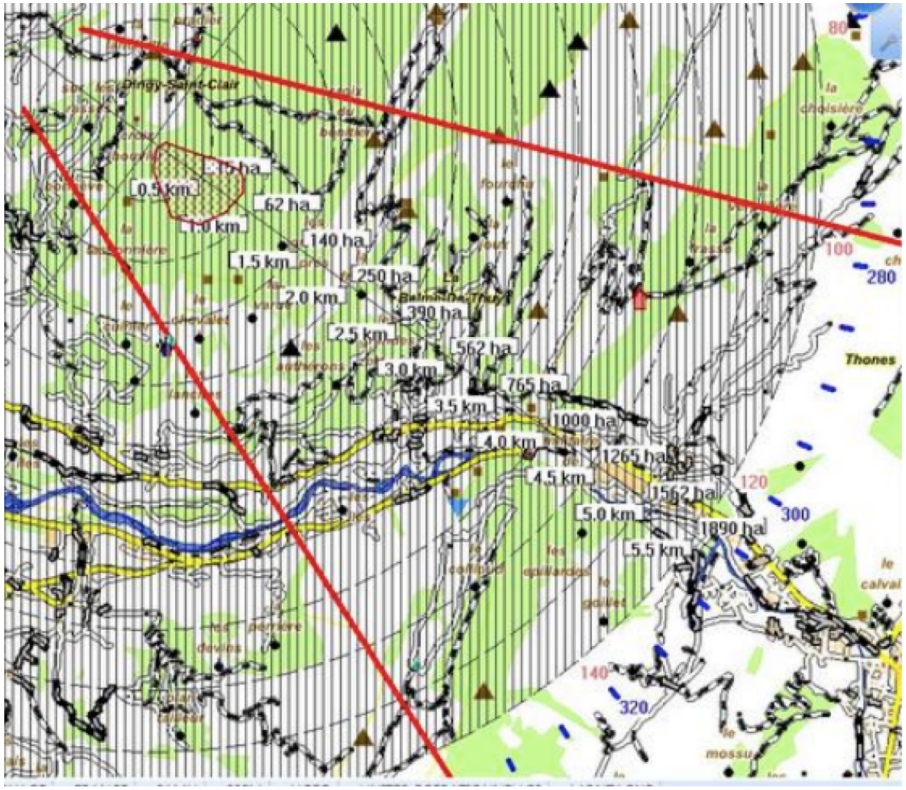
- A l'étranger



1 – SYSTEL : Rôle, services, besoins

- Plateforme de gestion de situation tactique **GeoSitac**
  - Au service des forces de secours
  - Aide à la décision
  - Regroupement d'informations
- Simulation de feu basique
  - Estimation de zone à risque
  - Aucune prise en compte du relief ou de l'occupation des sols
  - Faible Fiabilité
- Sous utilisation du module

En rouge : Cône de feu
Cercle tireté : distance



1 – SYSTEL : Rôle, services, besoins

Identification des besoins

- Accès à la donnée géophysique/météorologique dans GeoSitac

  Ex : Carte topographique IGN, prévisions de vent, ...

- Modèle de propagation de front de feu

  Intégration d'une chaîne de prévision dans la plateforme d'urgence.

- Assimilation de données de front en temps réel

  Au delà des échéances d'observation : prévisions + fiables.

2 – Modélisation et méthode d'assimilation

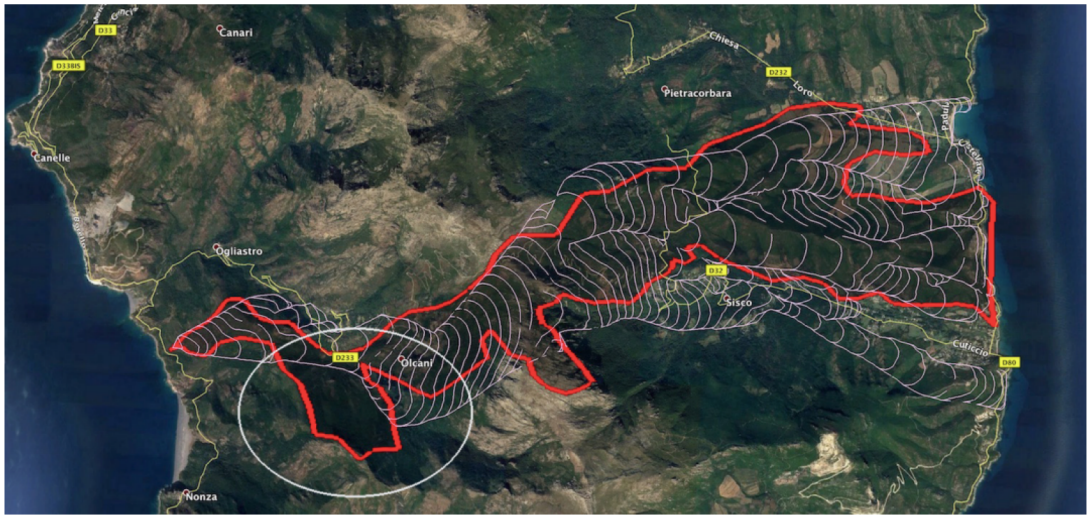
Projet FireCaster

- Risque

– Fournir une carte
des risques 24h à l'avance.

- Situation de crise

– Simulation couplée
avec Meso-NH +24h/+48h
avec assimilation de données



11 Aug 2017. 1800 Ha, Cap Corse

Stage

- Rencontre avec acteur opérationnel
- Validation de l'assimilation de données sur un cas réel de feu accidentel

2 – Modélisation et méthode d'assimilation

Incendie à grande échelle = interface en mouvement (zone brûlée/non brûlée)

(processus à l'échelle de la flamme négligés)

Modèle de Rothermel - 1970 (Service forestier USA)

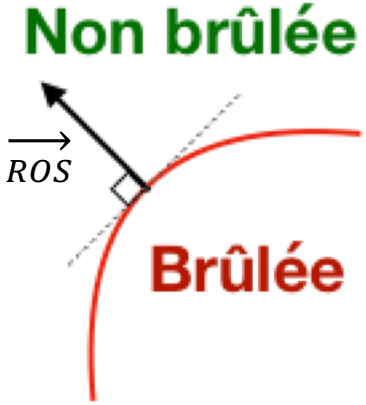
- Quantité d'intérêt : vitesse propagation « ROS »

$$ROS \equiv ROS([M_v, \delta_v, m_v'', \rho_v, \Sigma_v, \Delta h_v], [sl, d_{sl}], U_w)$$

Caractéristiques de la végétation (Humidité, épaisseur végétation, ...)

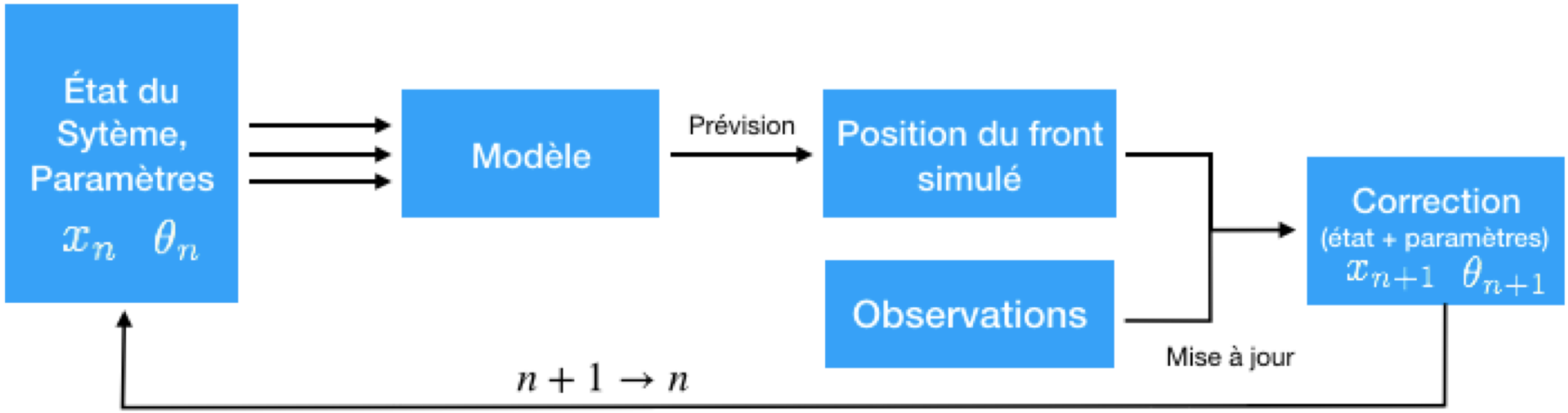
Topographie (Inclinaison, Orientation de pente)

Conditions météorologiques (vent)



Néglige composante tangentielle

2 – Modélisation et méthode d'assimilation



- Prédiction du modèle = front de feu
- Correction état (= position du front) et/ou paramètres
- Comparaison distance front à front [1]

  –> Zone brûlée = objet en mouvement

  –> Mesure de similitude de forme

[1] ESAIM 2017

2 – Modélisation et méthode d'assimilation

- Equation de propagation

$$\frac{\partial c}{\partial t}(x,y,t) = ROS|\nabla c(x,y,t)|$$

Taux de propagation

$$c(x,y,t_0) = c_0(x,y).$$

avec Condition initiale

↳ Feu instant initial = cercle paramétré par un centre et un rayon

- Observateur d'état de Luenberger [2]

$$\frac{\partial c}{\partial t}(x,y,t) = ROS|\nabla c(x,y,t)| - \lambda\delta(\phi_c)\left\{[z^{obs} - C_{max}(z^{obs},\phi_c)]^2 - [z^{obs} - C_{min}(z^{obs},\phi_c)]^2\right\},\ t \geq t_0,$$

$$c(x,y,t_0) = c_0(x,y)\ .$$

obs

Terme de Correction

Gain = confiance aux observations

Code Verdandin Matlab

[2] Phd. Annabelle Collin

2 – Modélisation et méthode d'assimilation

- Equation de propagation

$$\frac{\partial c}{\partial t}(x,y,t) = ROS|\nabla c(x,y,t)|$$

Taux de propagation

$$c(x,y,t_0) = c_0(x,y).$$

avec Condition initiale

↳ Feu instant initial = cercle paramétré par un centre et un rayon

- Observateur d'état de Luenberger régularisé

$$\frac{\partial c}{\partial t}(x,y,t) = ROS|\nabla c(x,y,t)| - \psi,$$

$$\psi - \alpha\Delta\psi = \lambda sp(x,y)\delta(\phi_c)\left\{[z^{obs} - C_{max}(z^{obs},\phi_c)]^2 - [z^{obs} - C_{min}(z^{obs},\phi_c)]^2\right\}, t \geq t_0,\ \alpha > 0,$$

$$c(x,y,t_0) = c_0(x,y).$$

Correction Lissée = fonction(correction, alpha)

Où alpha est le coefficient de lissage

Avec Gain spatialisé

Code Verdandin Matlab

2 – Modélisation et méthode d'assimilation

Validation sur un cas synthétique

- Cas synthétique

ROS similaire pour toutes les simulations.

Différentes conditions initiales

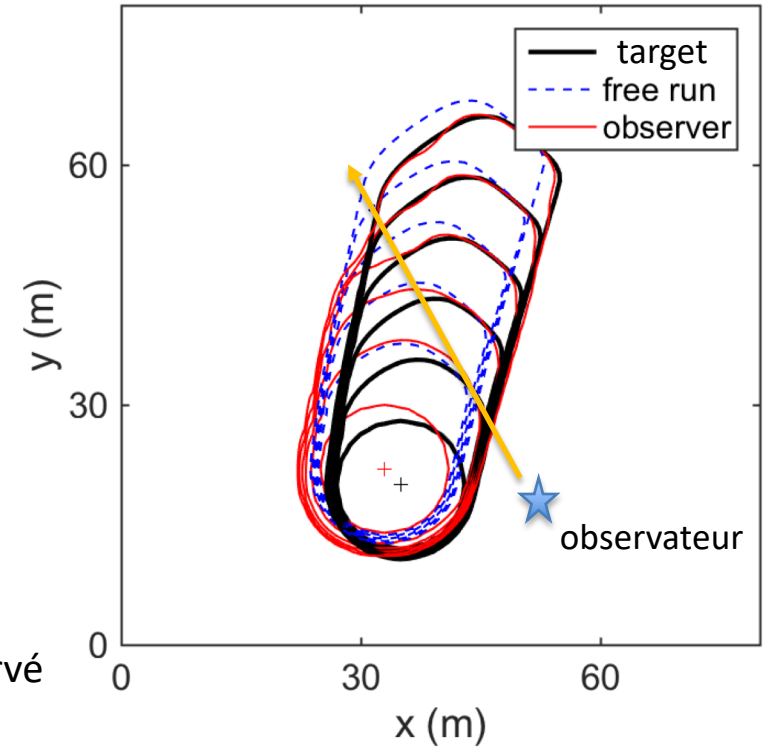
Observations ponctuelles –> segment du front

- Résultats

Agit pas là où pas d'observations

Lissage –> Gomme irrégularité

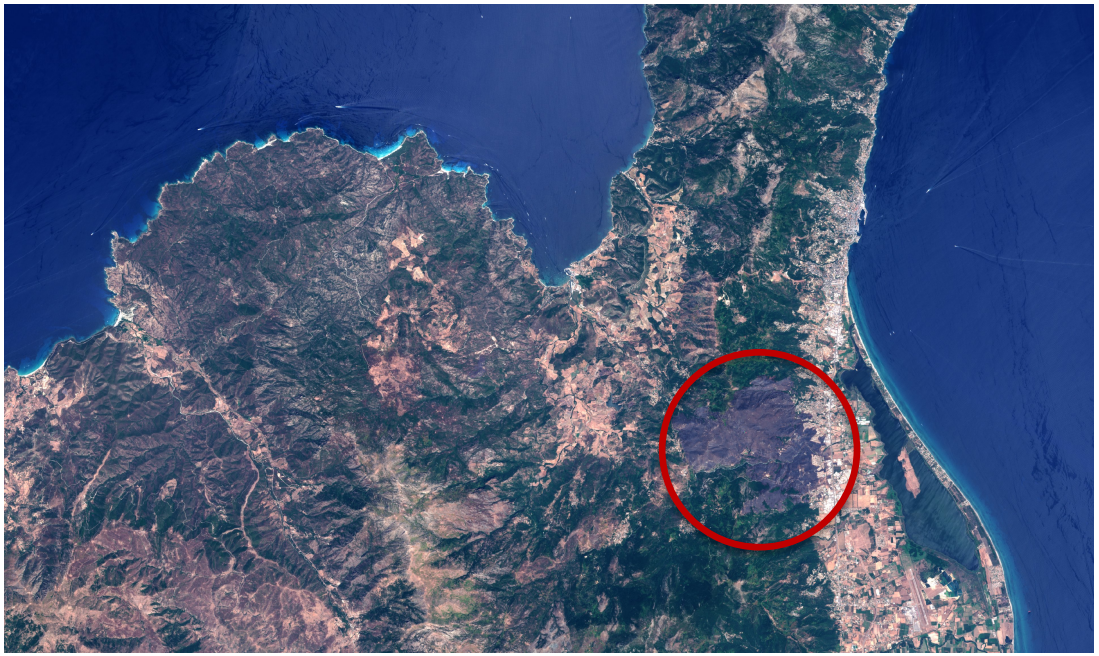
Capacité de reconstruire une part du front non observé



3 – Cas d'étude avancé : Feu de Biguglia

Contexte incendie

- 24 juillet 2017
- Corse (sud Bastia)
- Origine criminelle
- 2200 hectares brûlés



Crédit image : ESA / Copernicus / Commission européenne

Infos disponibles

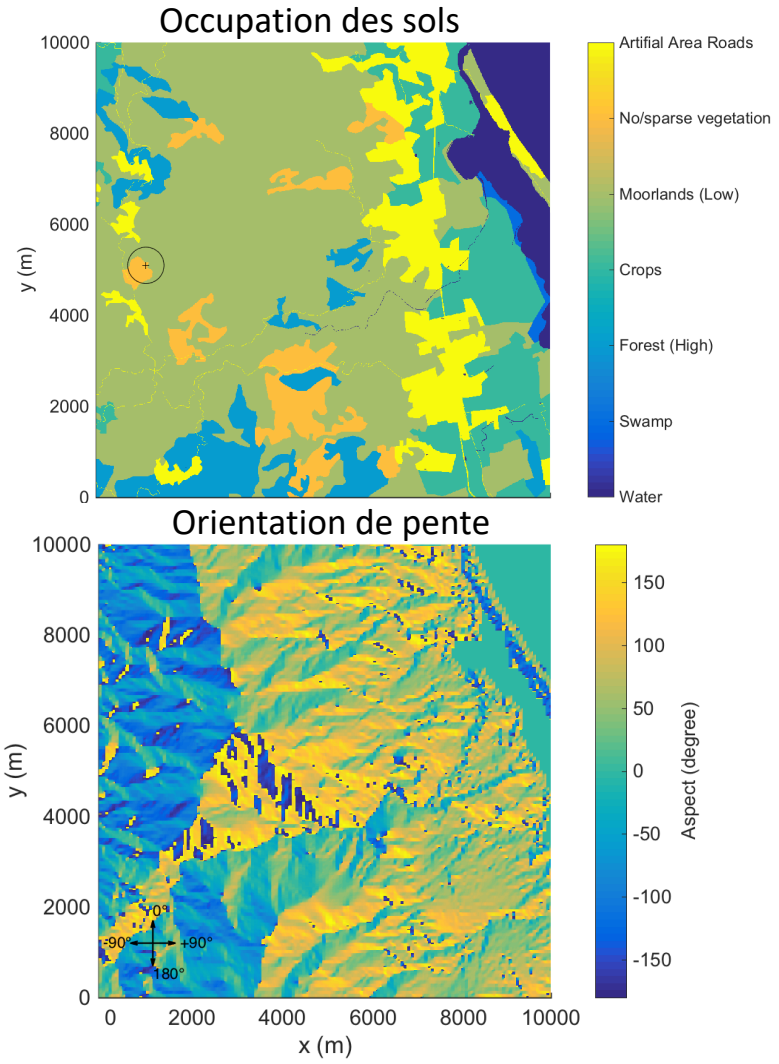
- image zone brûlée finale
- pas de données d'avancement
- estimation d'un point de départ (Base de données Prométhée)

3 – Cas d'étude avancé : Feu de Biguglia

Mise en place du cas réaliste

- Prétraitement (réalisation de cartes)
  - – Occupations des sols (Corine LandCover + IGN)
  - – Topographie (IGN)

- Choix des paramètres ROS
  - – Données météorologiques (vent)
  - – Attribution des paramètres de végétation selon des standards de classification (Service forestier USA) d'après le modèle de Rothermel



3 – Cas d'étude avancé : Feu de Biguglia

Estimation d'état

– Observations synthétiques

– Sources d'incertitudes CI-vent

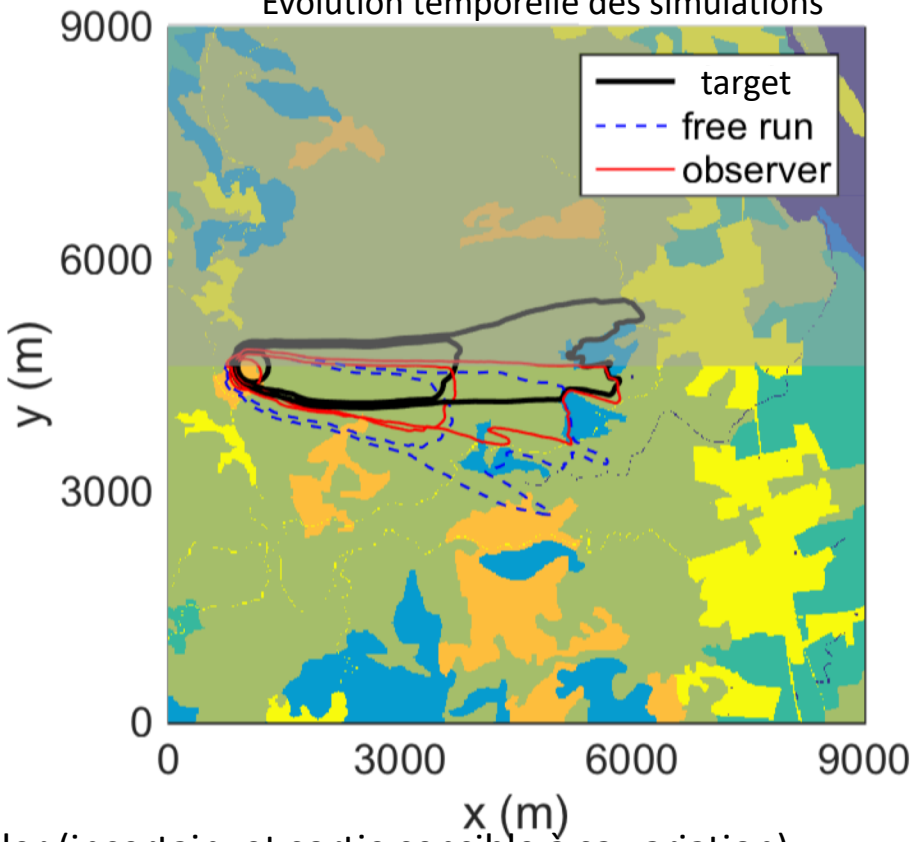
– Correction partielle du front

Biais dû à l'erreur de paramétrages

–> Utilisation de l'estimation jointe état-paramètre plus adaptée

Besoin de réaliser une étude de sensibilité aux paramètres

Evolution temporelle des simulations



–> Sélectionner les paramètres à contrôler (incertain, et sortie sensible à sa variation)

–> Calculer des indices de Sobol (proportion de la variance expliquée par la variance d'un paramètre donné) via un modèle réduit.

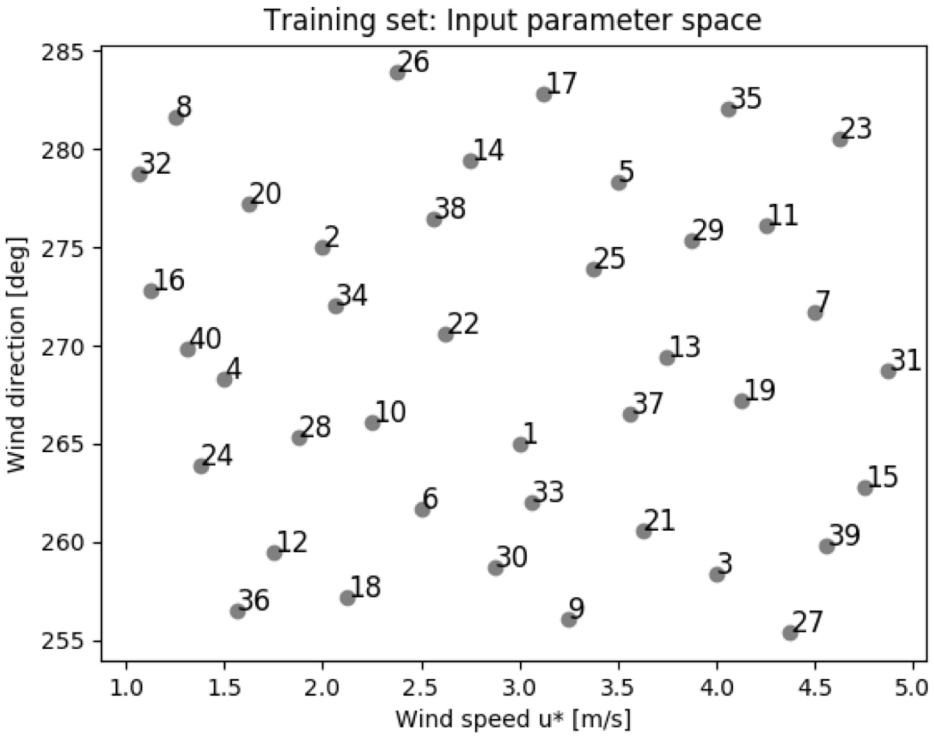
3 – Cas d'étude avancé : Feu de Biguglia

Etude de sensibilité

Paramètres :

- Vitesse du vent
- Direction du vent
- Humidité du combustible
- Epaisseur de la couche de combustible
- Rapport surface/volume du combustible

Quantité d'intérêt : surface brûlée (m^2)



Échantillon :

- Tirage selon un séquence de **Halton**

(subdivision de l'intervalle pour positionner les points)

Augmentation de la taille de l'échantillon ne nécessite pas de recalculer les premiers termes.

3 – Cas d'étude avancé : Feu de Biguglia

Etude de sensibilité

Paramètres :

- Vitesse du vent
- Direction du vent
- Humidité du combustible
- Epaisseur de la couche de combustible
- Rapport surface/volume du combustible

Quantité d'intérêt : surface brûlée (m^2)

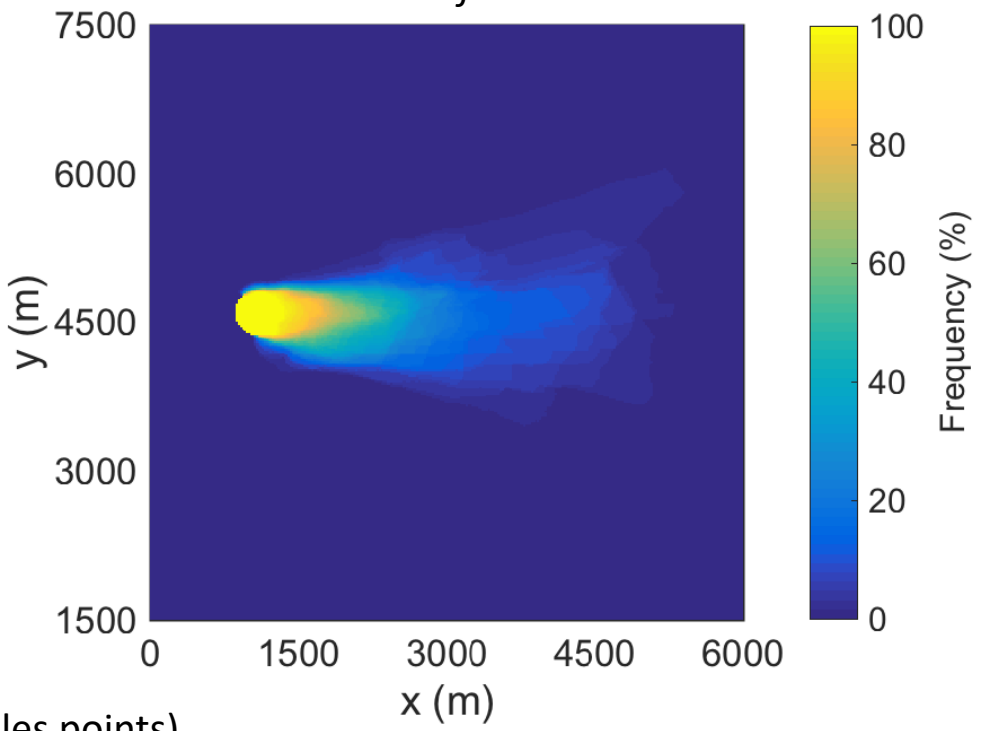
Échantillon :

- Tirage selon un séquence de **Halton**

(subdivision de l'intervalle pour positionner les points)

Augmentation de la taille de l'échantillon ne nécessite pas de recalculer les premiers termes.

PDF de la surface brûlée



3 – Cas d'étude avancé : Feu de Biguglia

Construction d'un modèle réduit

= méta-modèle [3]

→ estimation de la réponse et de statistiques.

→ coût moindre qu'un modèle physique

Différentes approches possibles :

– Polynôme du chaos

– Réseau de Neurones

– **Processus gaussiens**

Méthode générique d'apprentissage afin de résoudre des problèmes d'interpolation.

Définie à partir d'une fonction de covariance (Noyau)

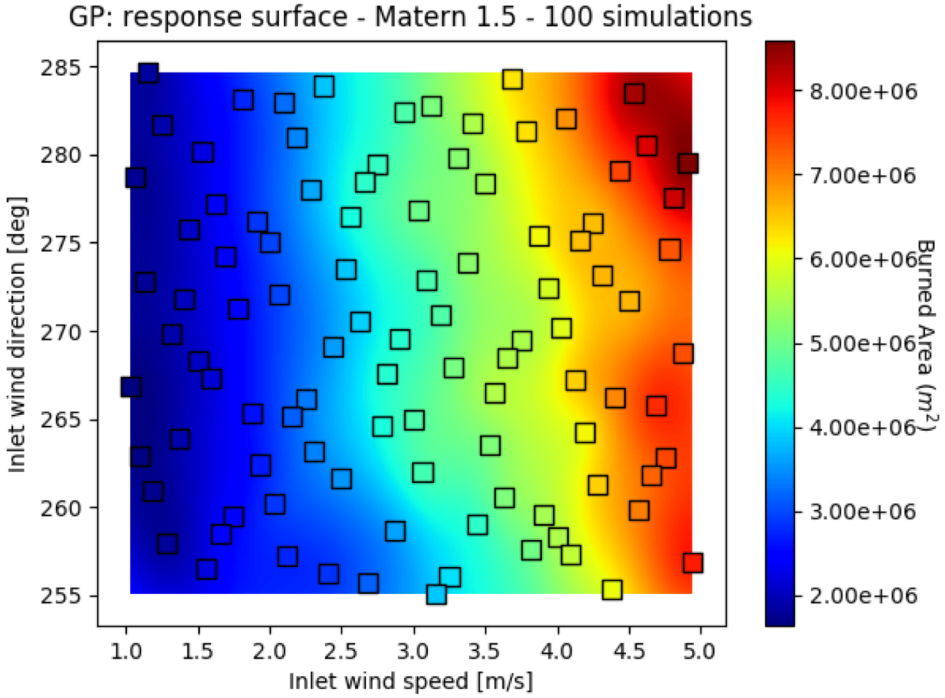
Noyau choisi :

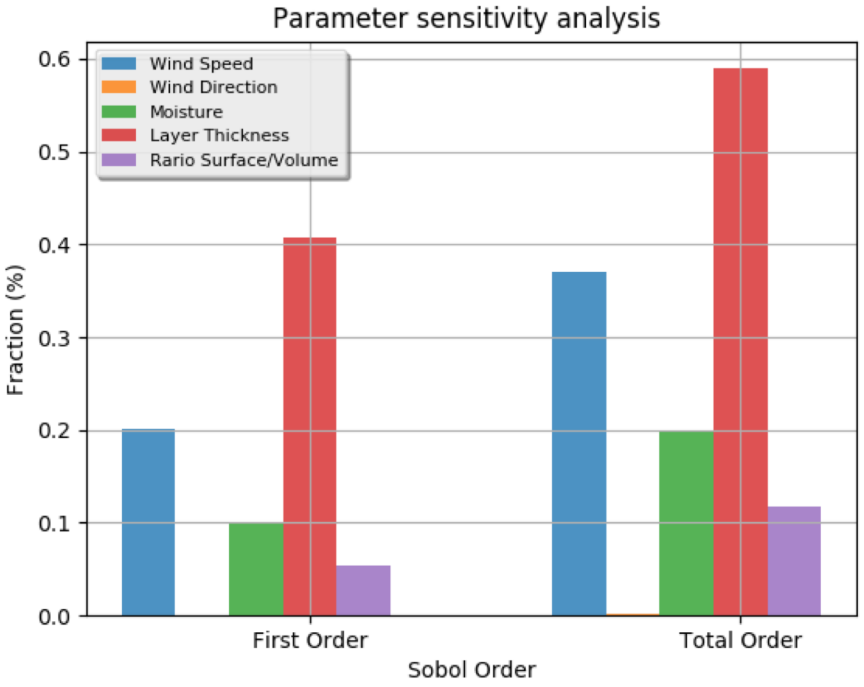
Matern 3/2
$(1+\sqrt{3}\frac{h}{\zeta})exp(-\sqrt{3}\frac{h}{\zeta})$

[3] Projet Tuteuré, Lamotte – Frebourg

3 – Cas d'étude avancé : Feu de Biguglia

Résultats : Étude de sensibilité

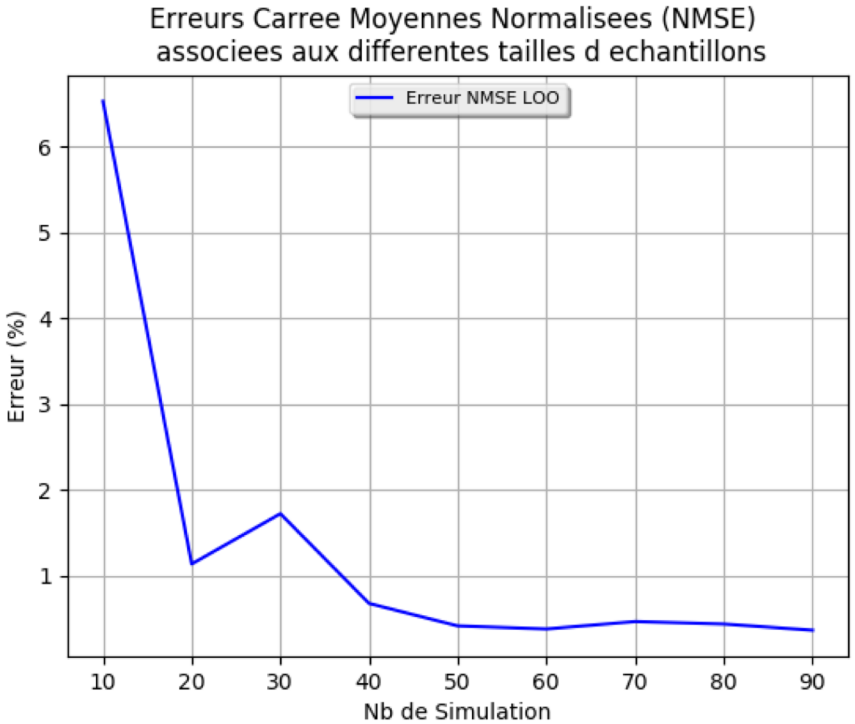


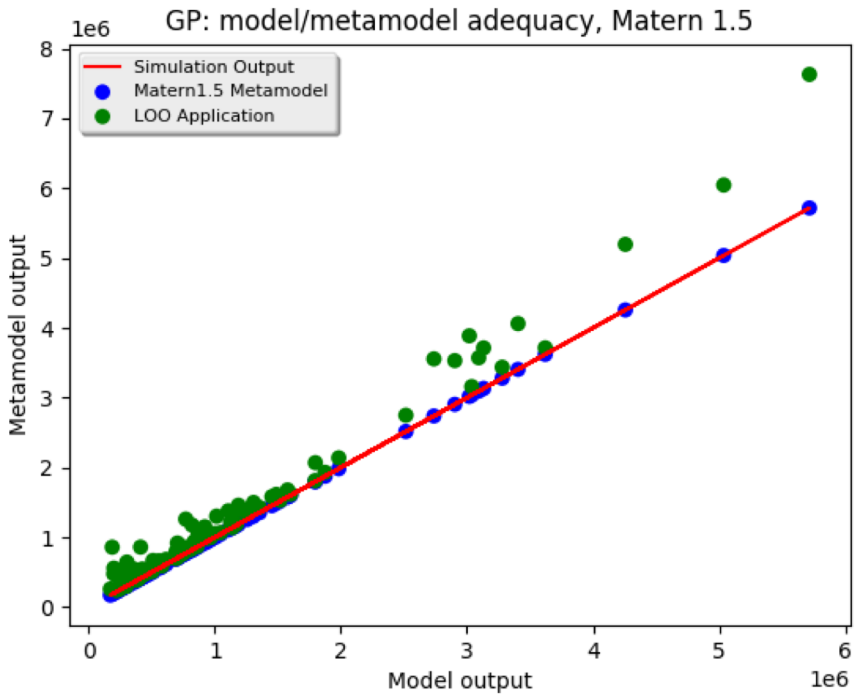


La quantité d'intérêt ne permet pas d'évaluer correctement l'impact de la direction de vent.

3 – Cas d'étude avancé : Feu de Biguglia

Résultats : Vérification/Validation du métamodèle





A partir de 50 simulations l'erreur de prévision du méta-modèle est stable
Prévision exacte sur les points de la base d'apprentissage (proche de l'erreur machine)
et satisfaisante sur les points hors de celle-ci (sauf pour les valeurs aux bords des intervalles)

Conclusion/Perspectives pour SYSTEL

Modèle de propagation

- réel intérêt par rapport au module de feu.
- forte dépendance aux paramètres (notamment l'épaisseur de végétation et le vent).
- Produit possible : prévision d'ensemble.

Ajout de l'assimilation de données d'observations du front

- estimation plus précise du front et des paramètres.
- analyse de sensibilité systématique des paramètres à corriger.

Objectifs « long terme » pour Systel:

Mettre en place une campagne de mesure afin d'acquérir des jeux de données.
Démontrer ou pas l'utilité du système en opérationnel.
Intégration de produits de modélisation dans GeoSitac.

Objectifs Recherche à « cours terme »

Utiliser le chaos polynomiale pour une étude similaire de sensibilité du modèle.
Préliminaire à la thèse d'Aurélien Costes (2017-2020) :
sur le couplage et assimilation de données autour d'un système feu/atmosphère.

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE ANR

Fire caster

Merci de votre attention

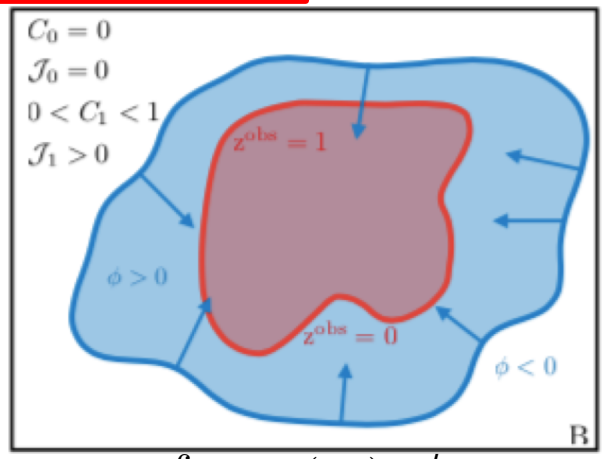


nfrebourg@gmail.com

ANNEXE A – diapo 8

- Observateur d'état de Luenberger [2]

$$\frac{\partial c}{\partial t}(x,y,t) = ROS|\nabla c(x,y,t)| - \lambda\delta(\phi_c)\left\{[z^{obs} - C_{max}(z^{obs},\phi_c)]^2 - [z^{obs} - C_{min}(z^{obs},\phi_c)]^2\right\},\ t \geq t_0,$$
$$c(x,y,t_0) = c_0(x,y).$$



Terme qui évalue l'avance - Terme qui évalue le retard
δ : Dirac
λ : Gain = confiance aux observations

$$C_{max} = \max(C_0, C_1) \quad C_{min} = \min(C_0, C_1)$$

$$C_0(z^{obs},\phi_c) = \frac{\int_\Omega (1 - H_v(\phi_c))z^{obs}\ dx\ dy}{\int_\Omega (1 - H_v(\phi_c))dxdy},\ C_1(z^{obs},\phi_c) = \frac{\int_\Omega H_v(\phi_c)z^{obs}dx\ dy}{\int_\Omega H_v(\phi_c)\ dxdy}.$$

C_0 : moyenne des valeurs dans la zone brûlée
C_1 : moyenne des valeurs dans la zone non brûlée

Code Verdandin Matlab
[2] Phd. Annabelle Collin

ANNEXE B – diapo 9

Validation sur un cas synthétique (bis)

- Cas synthétique

ROS similaire pour toutes les simulations.

Différentes conditions initiales

Observations ponctuelles

–> **Quart haut gauche du domaine non observé**

- Résultats

Représentation de la correction à un temps donnée

Capacité de reconstruire une part du front non observé

