GDR Feux – Janvier 2011

Simulations numériques de feux de végétation avec le modèle HIGRAD-FIRETEC

Jean-Luc Dupuy*, François Pimont*, Rod Linn**

* INRA - URFM
Ecologie des Forêts Méditerranéennes
Equipe Physique et Ecologie du Feu
** Los Alamos National Laboratory (US)
Earth and Environmental Division

Modèle HIGRAD-FIRETEC

(développé conjointement par le LANL et l'INRA)

HIGRAD

Code d'écoulement atmosphérique, formulation compressible
CL : périodiques ou relaxation des variables vers valeurs ambiantes
Résolution standard 2 m au sol, Domaines de quelques centaines de m

Modèle de turbulence

Formulation LES depuis ~2007

Dégradation thermique de la végétation et combustion (Linn 1997)

Une réaction globale:

Combustible solide + Oxygène → Produits

Le taux dépend de:

- La température moyenne de la végétation de la maille
- La densité de combustible et d'oxygène
- Un temps caractéristique de turbulence ($\tau_C = l_C / \sqrt{k_C}$)

$$\omega \propto \frac{\rho_f \rho_{O2}}{\tau_c} F(T_s)$$

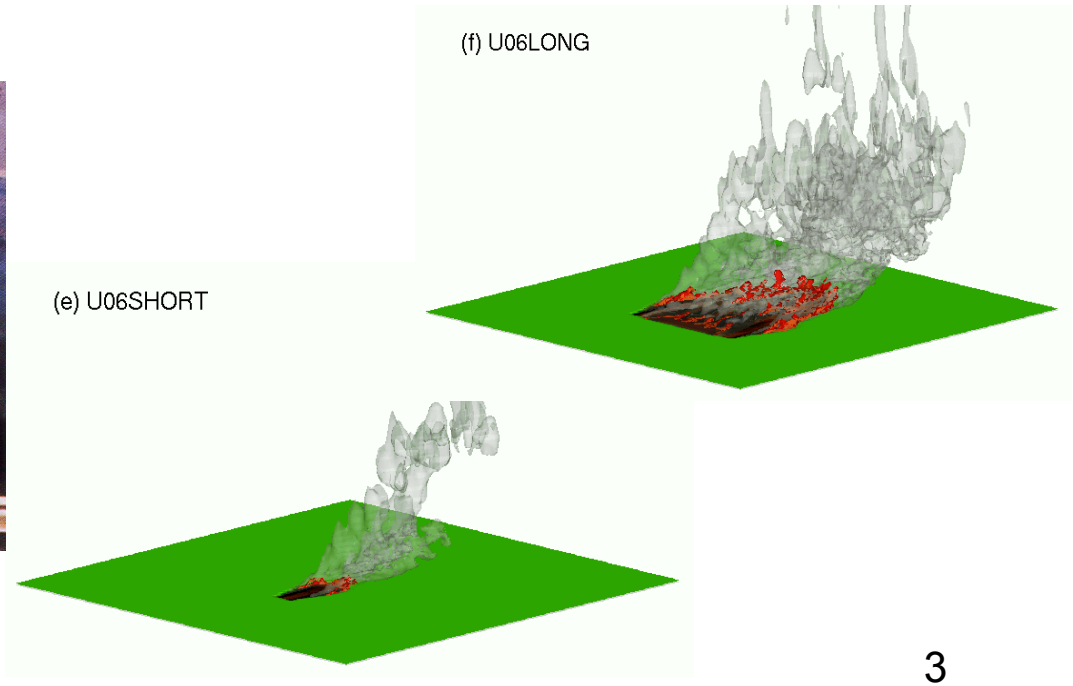
Calcul du rayonnement

Monte-Carlo depuis 2007

Validations du modèle

- Feux de prairie, Cheney et al. 1993 (Linn and Cunningham 2005)
- Feux de Calabasas et Oakland (Bossert et al. 1998, Bradley et al. 2004)
- Vent et turbulence dans canopée d'arbres (Pimont et al. 2009, IJWF)
- International Crown Fire Experiment (see Linn et al. 2010, ICFFR C40)
- Vitesses prédites vs observées dans une variété de conditions de terrain
- Effets de la teneur en eau et de la densité apparente du combustible
- Contre-feux expérimentaux

Photograph from "Grassfires" by P. Cheney and A. Sullivan

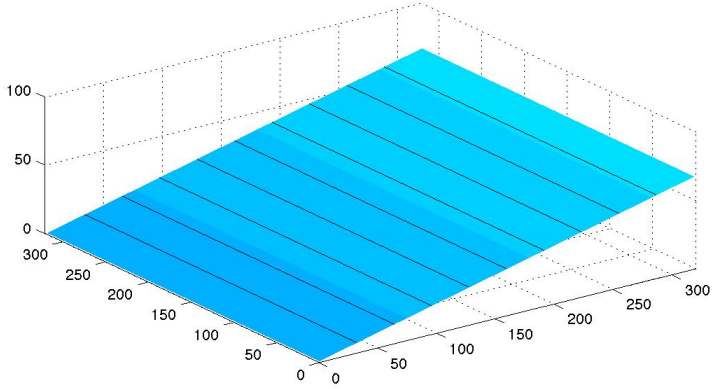


Effets combinés du vent, de la pente et de la taille du feu sur la vitesse de propagation

1. Configuration simple

Vent

Domaine: 320 x 320 x 600 m

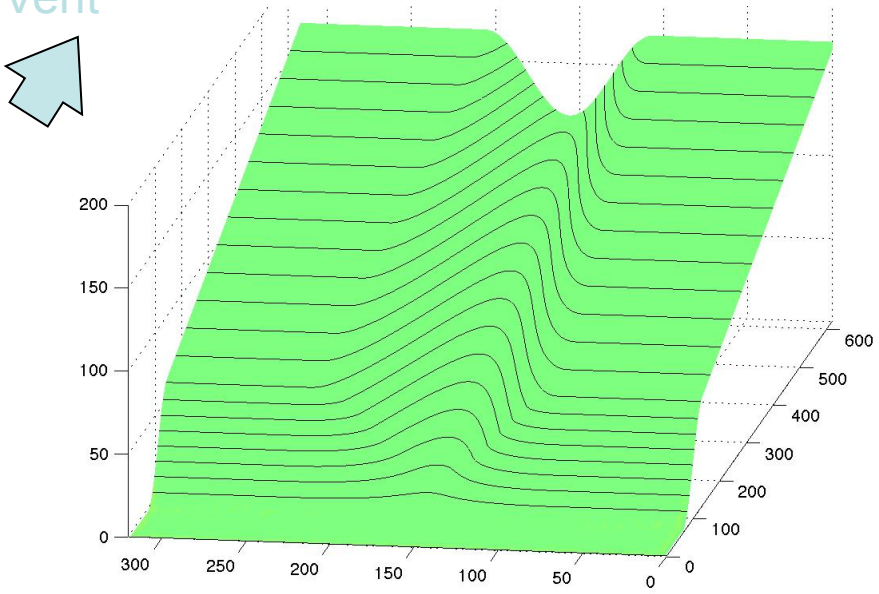


Simulations FIRETEC dans garrigue à Chêne kermès

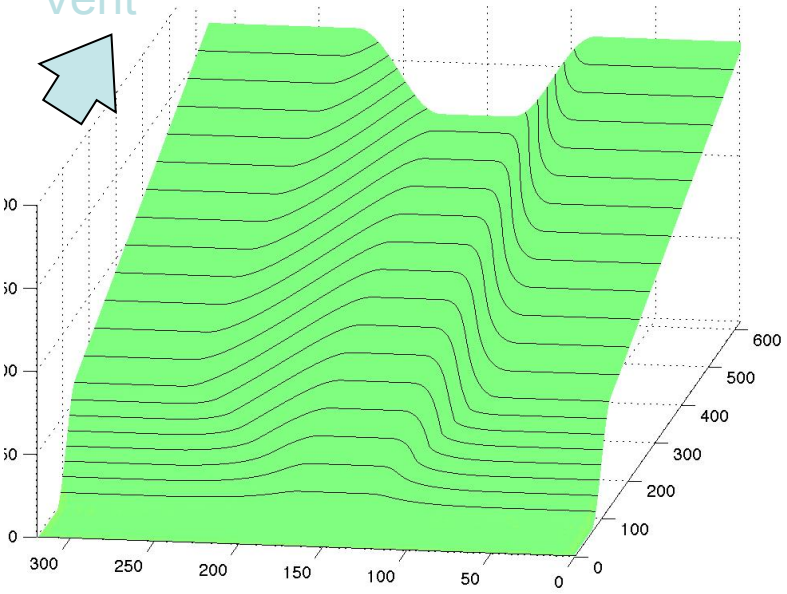
2. Topographie complexe

Domaine: 320 x 640 x 1000 m

Vent



Vent



Effets combinés du vent, de la pente et de la taille du feu sur la vitesse de propagation

⇒ Effets du vent et de la pente ni multiplicatif, ni additif

⇒ Effet de pente quasi-linéaire par vent fort

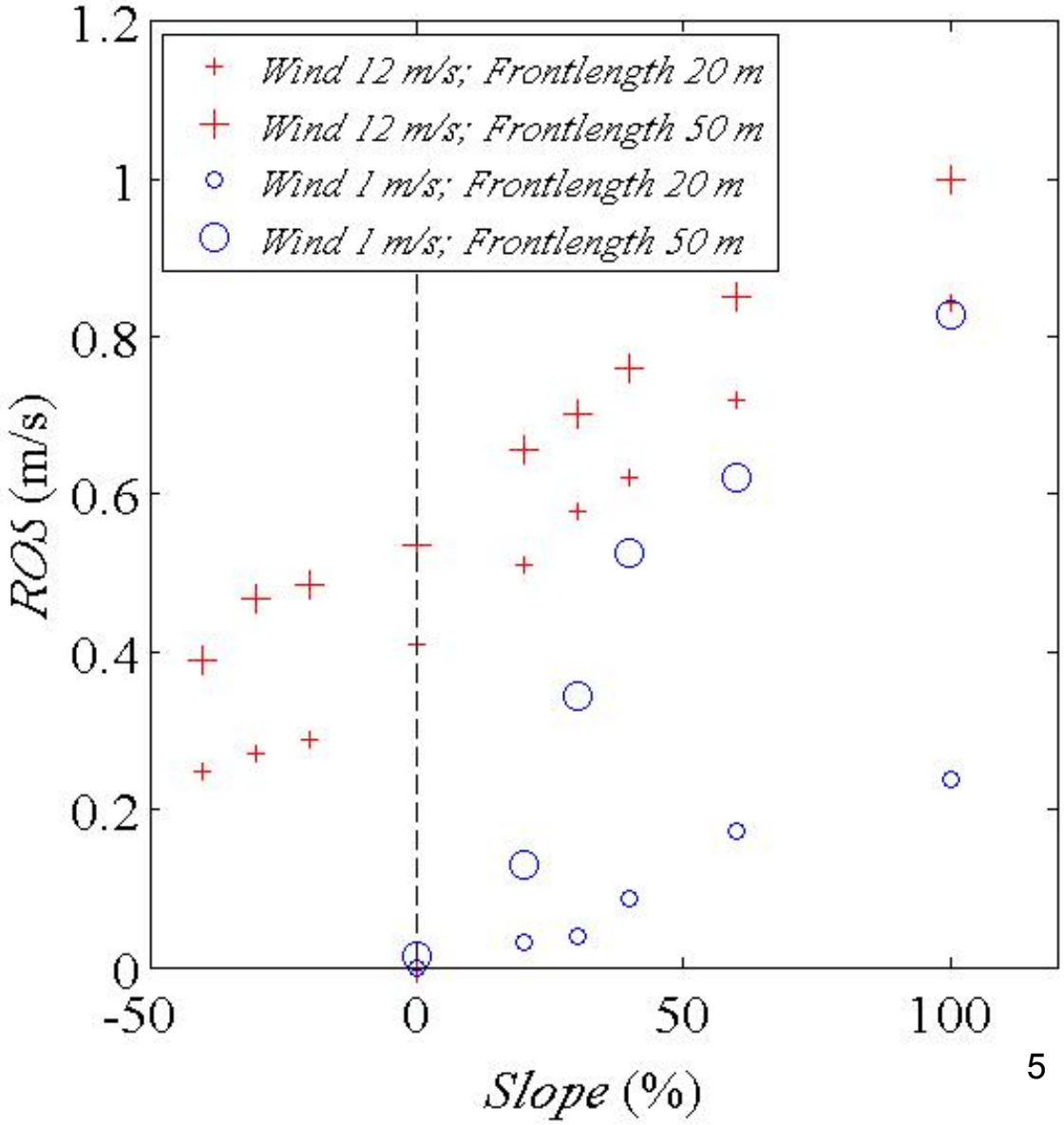
⇒ Fort effet de la largeur de front par vent faible

Domaine: 320 x 320 x 640 m

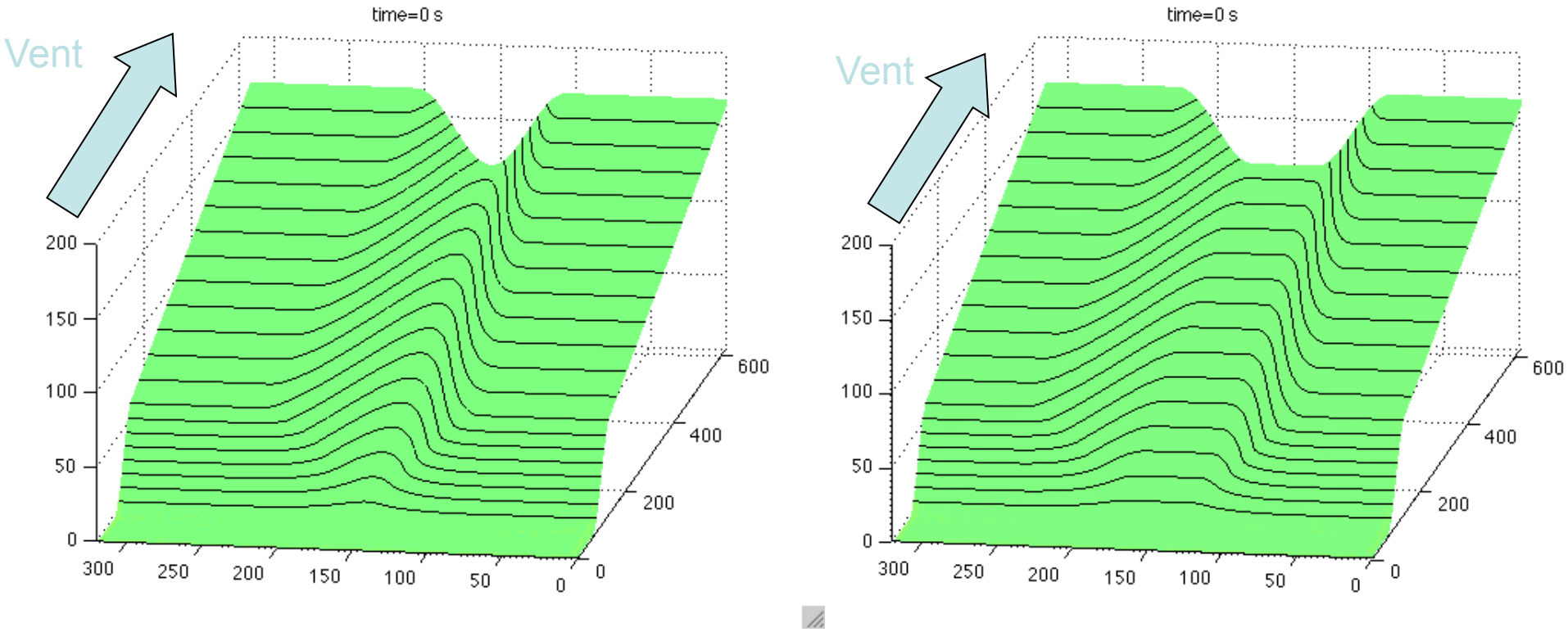
Vent: 1 et 12 m/s à 10 m

Pente: - 40% to 100%

Largeur feu: 20 and 50 m



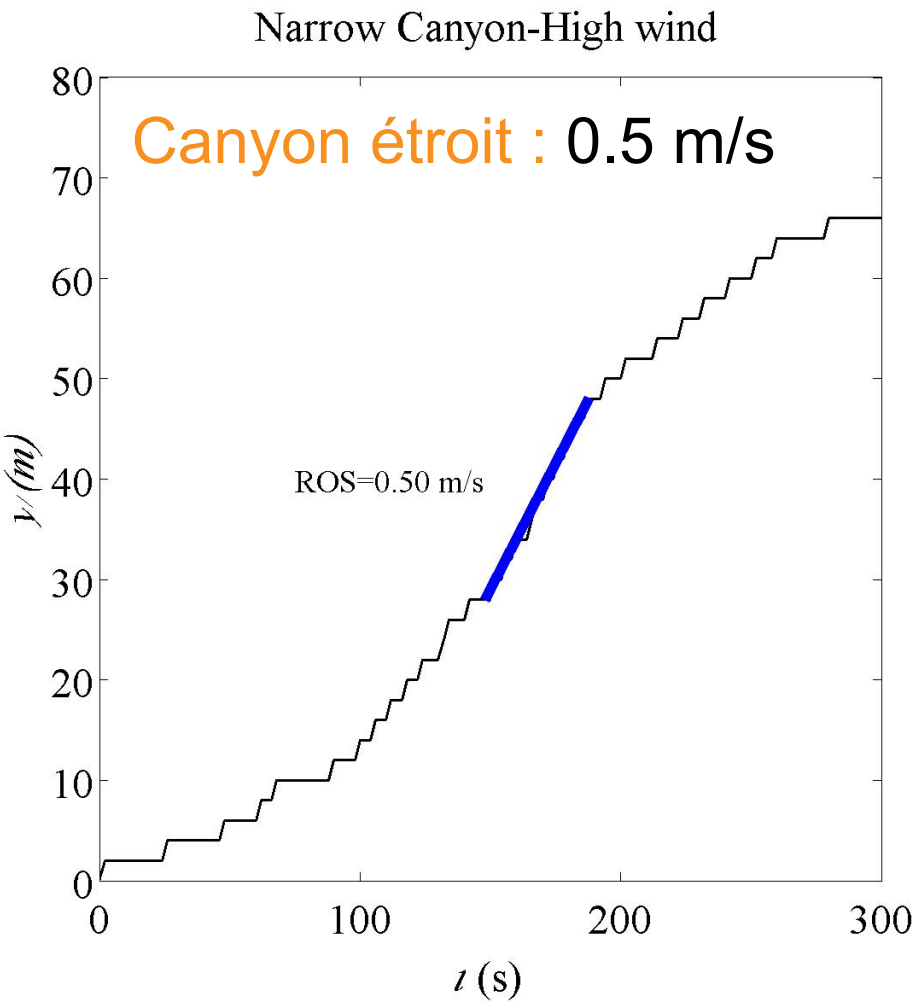
Simulations vent fort

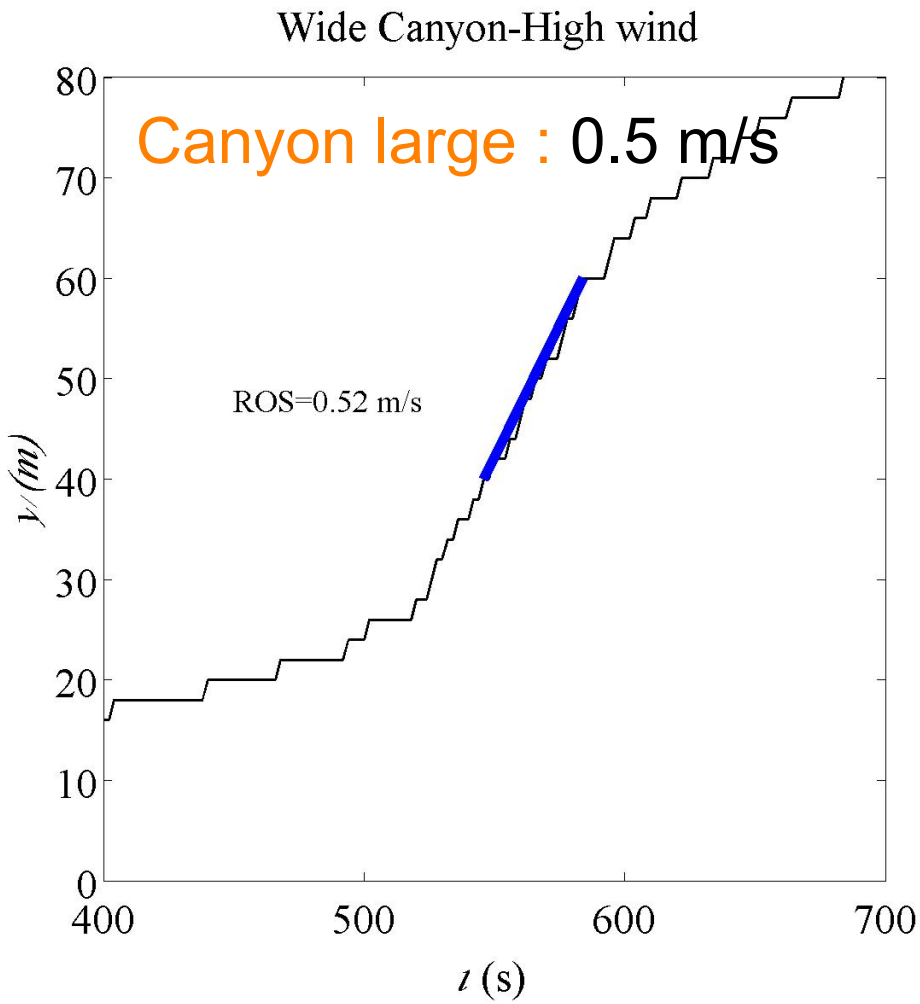


- Canyon étroit : le feu atteint rapidement les côtés du canyon et monte
- Canyon large : le feu reste plus longtemps dans le canyon, puis monte
  => dans cette configuration, le feu de flanc en fond de canyon devient feu de tête, avec un front très large en bas de pente

Simulations vent fort

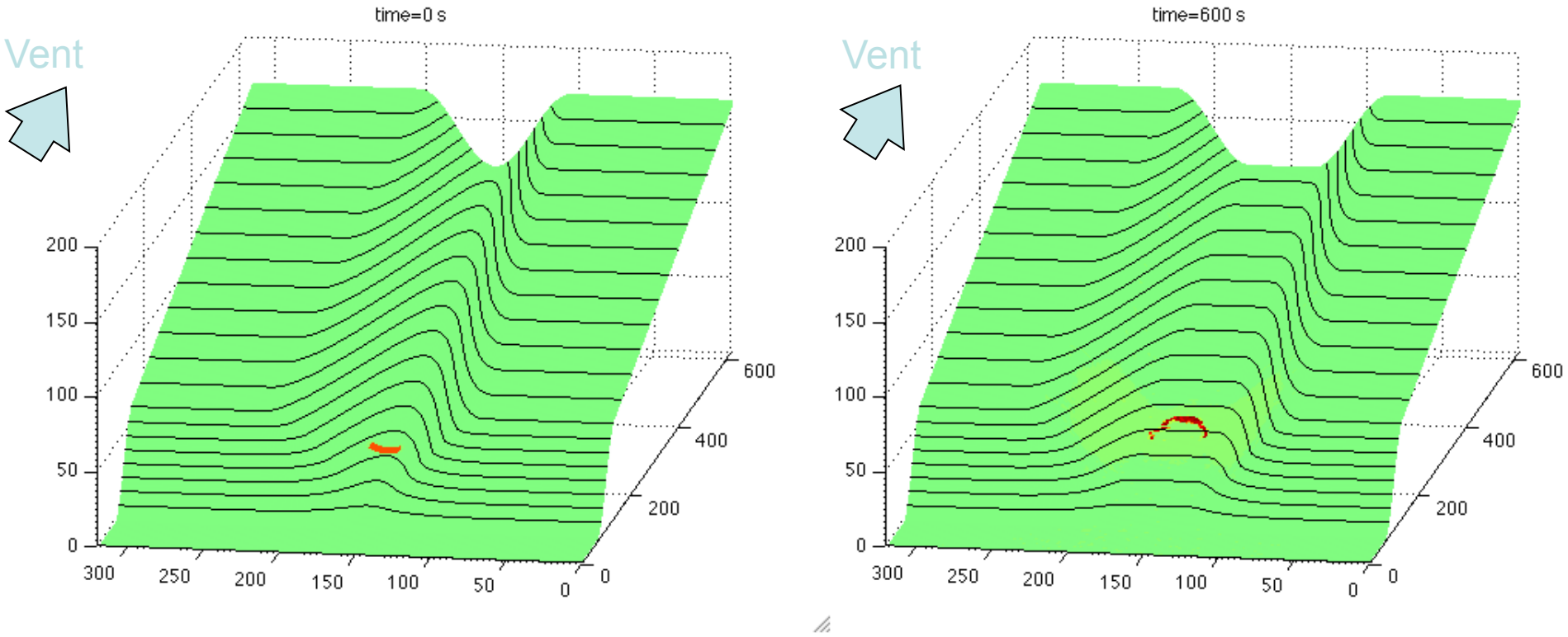
Propagation latérale (selon axe y) à partir du milieu du domaine





Par vent fort, les vitesses de montée sont similaires malgré des fronts de largeur différente

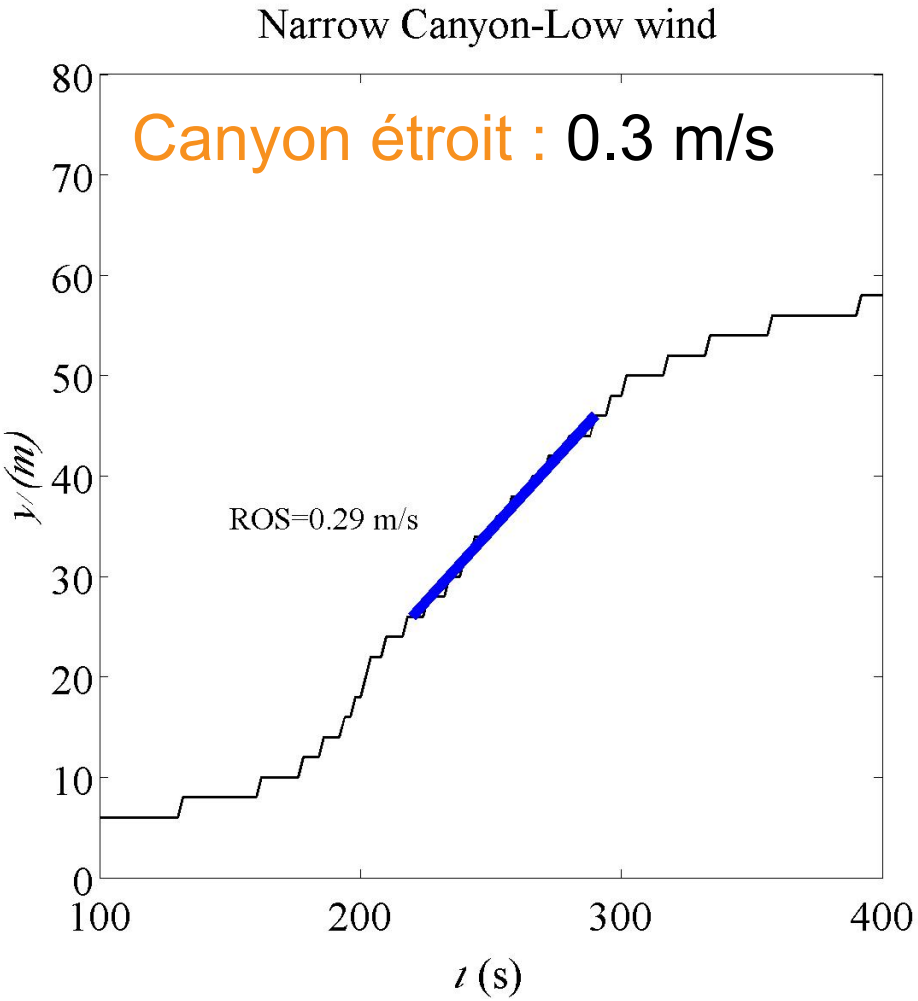
Simulations vent faible

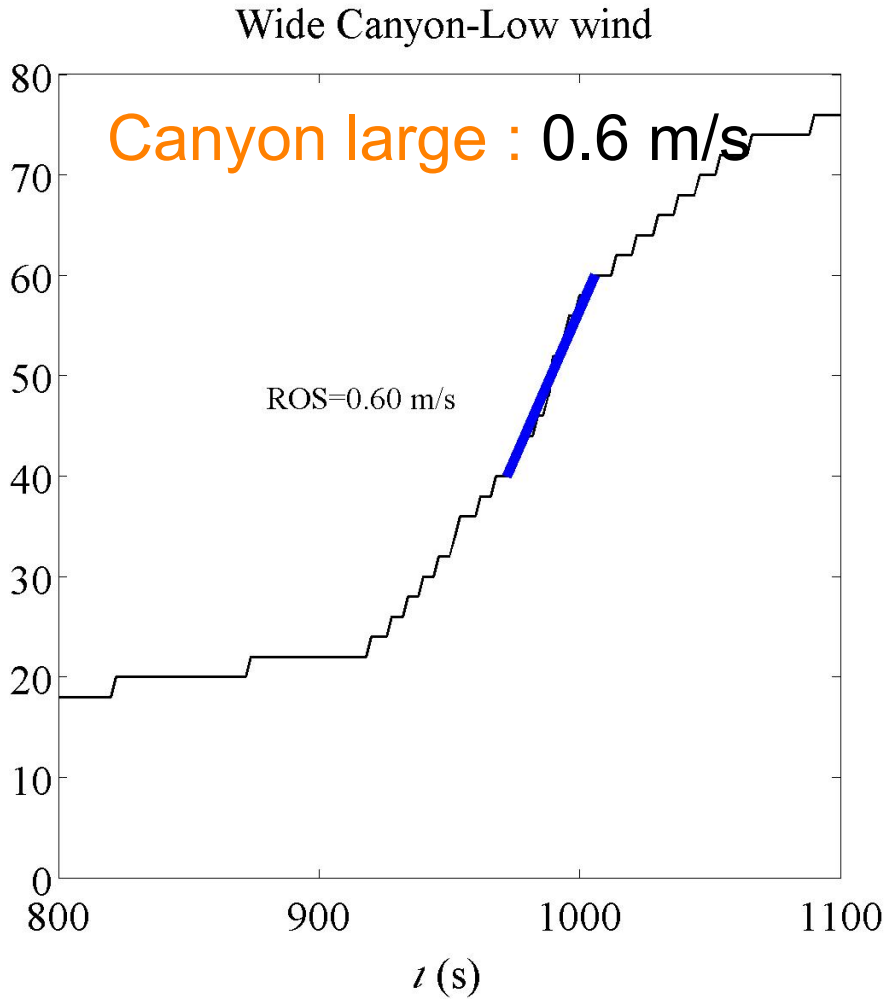


- Forme en V caractéristique des feux montant une pente sans vent
- Comportement similaire au vent fort (montée retardée dans le canyon large)
  Mais …

Simulations vent faible

Propagation latérale (selon axe y) à partir du milieu du domaine





- Par vent faible, vitesses très différentes car largeurs de front différentes
- Canyon large: la montée est plus rapide que par vent fort

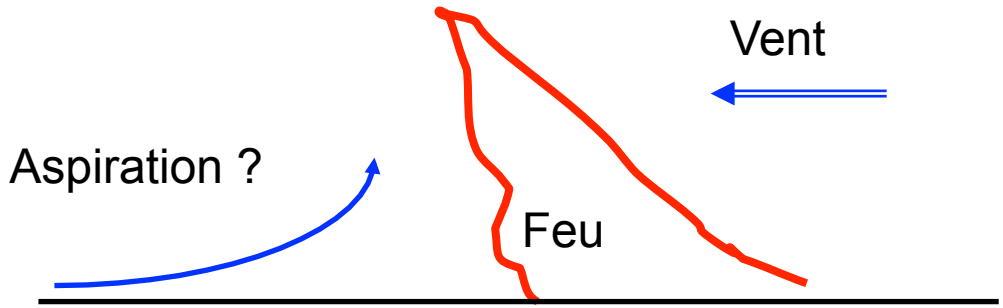
Etude du contre-feu

Motivation

- Le contre-feu consiste à créer une zone sans combustible devant un incendie
- On peut chercher à augmenter son efficacité en utilisant les vents induits par l'incendie
- Des études numériques récentes (2D) montrent l'existence d'un « contre-vent » significatif

contre-feu

Une vue 2D classique du feu



(e.g. Théorie d'Arévalo, 1968)

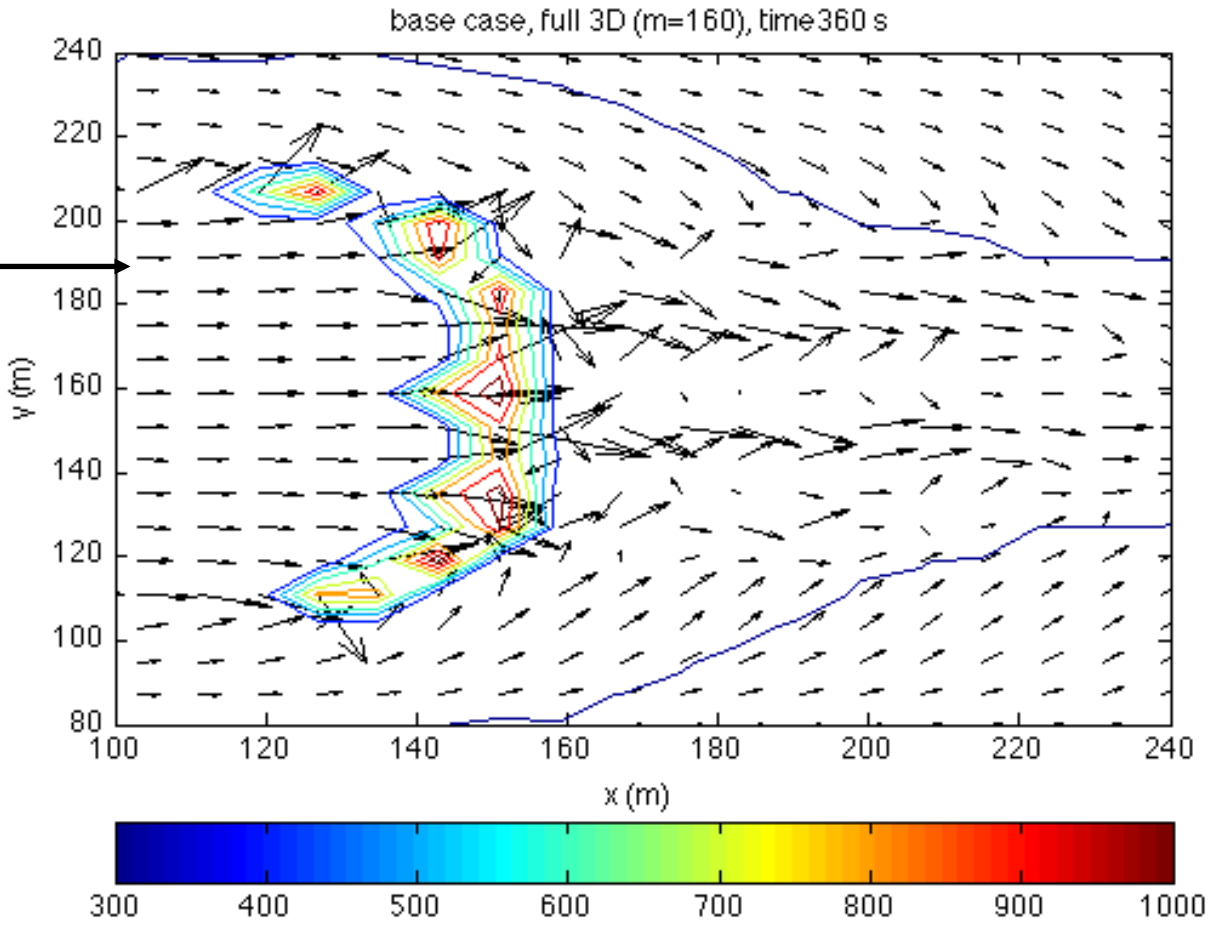
Expérience en formation arbustive dense
(Centro de Investigacion Forestal, Galicia,Spa

Etude du contre-feu : importance du 3D

Ecoulement autour d'un feu de surface

Vent

Le vent en entrée est uniforme en (x,y)



Vue d'une portion du domaine, un point sur quatre représenté

Temperature K

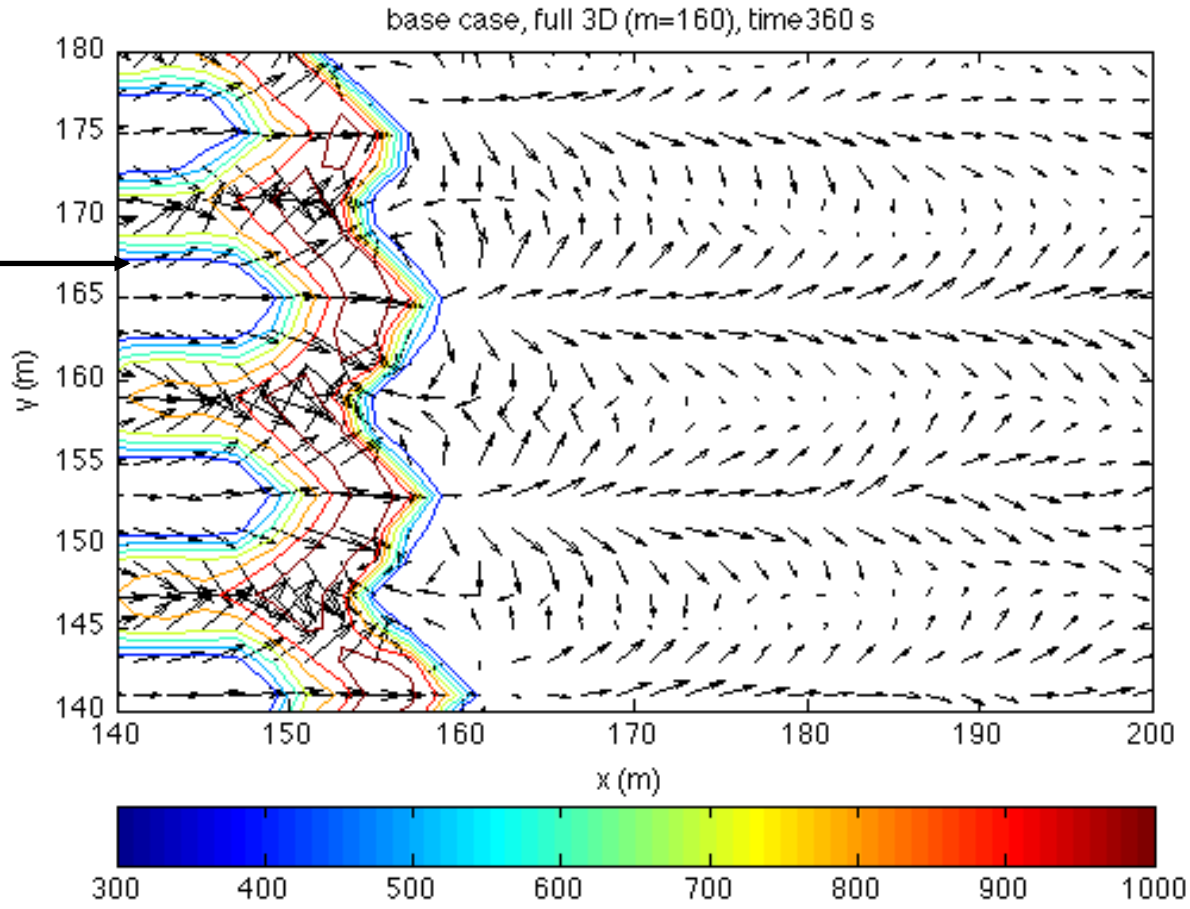
Vent ambiant: 6 m/s at 10 m

Etude du contre-feu : importance du 3D

Ecoulement autour d'un feu de surface (zoom)

Vent

Le vent en entrée est uniforme en (x,y)



Vue d'une portion du domaine,

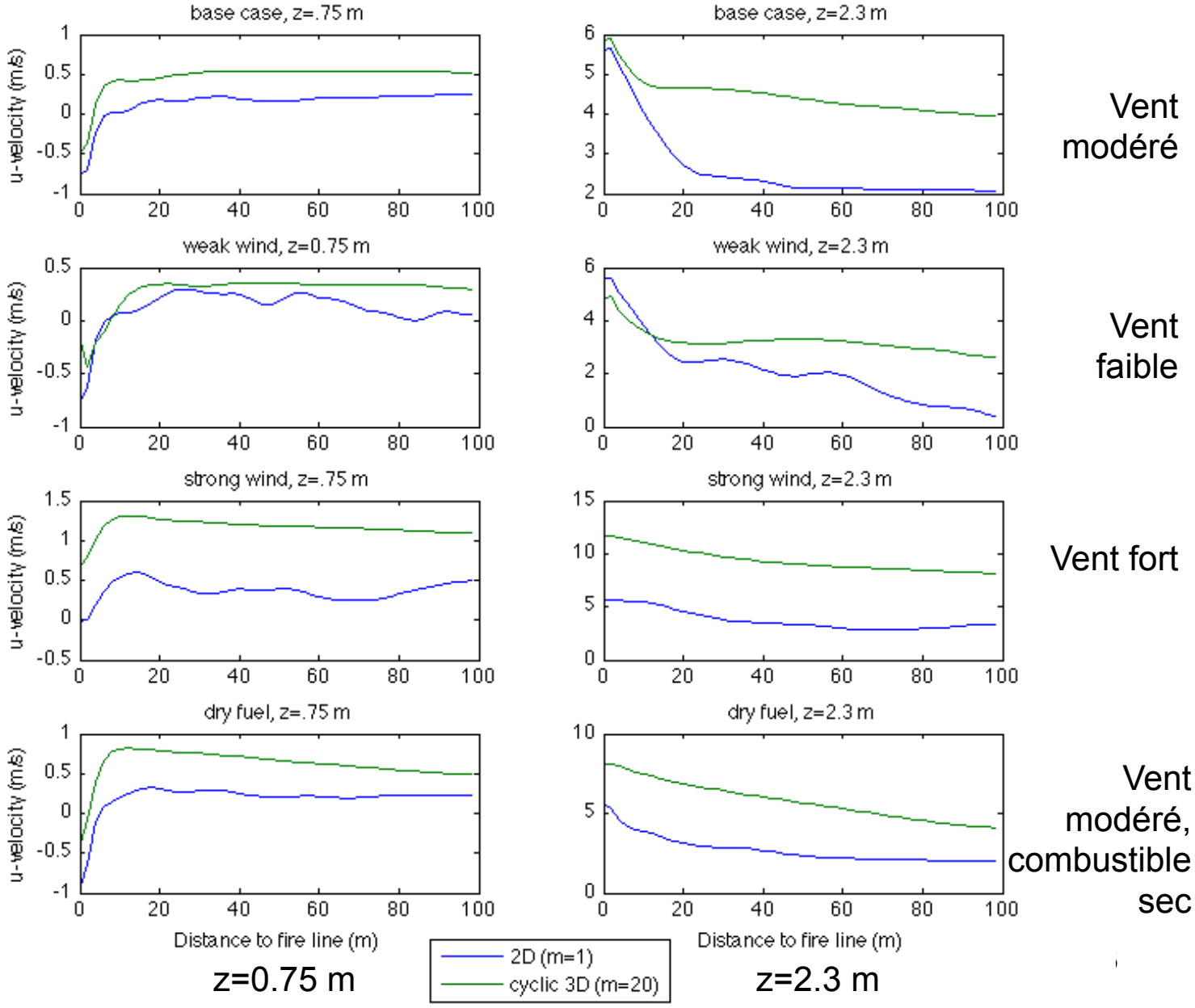
Temperature K

Vent ambiant: 6 m/s at 10 m

Etude du contre-feu : importance du 3D

3D cyclique vs **2D** : **vent simulés**

Vent moyen
vs
Distance
au front de feu



z=0.75 m

z=2.3 m

Vent modéré

Vent faible

Vent fort

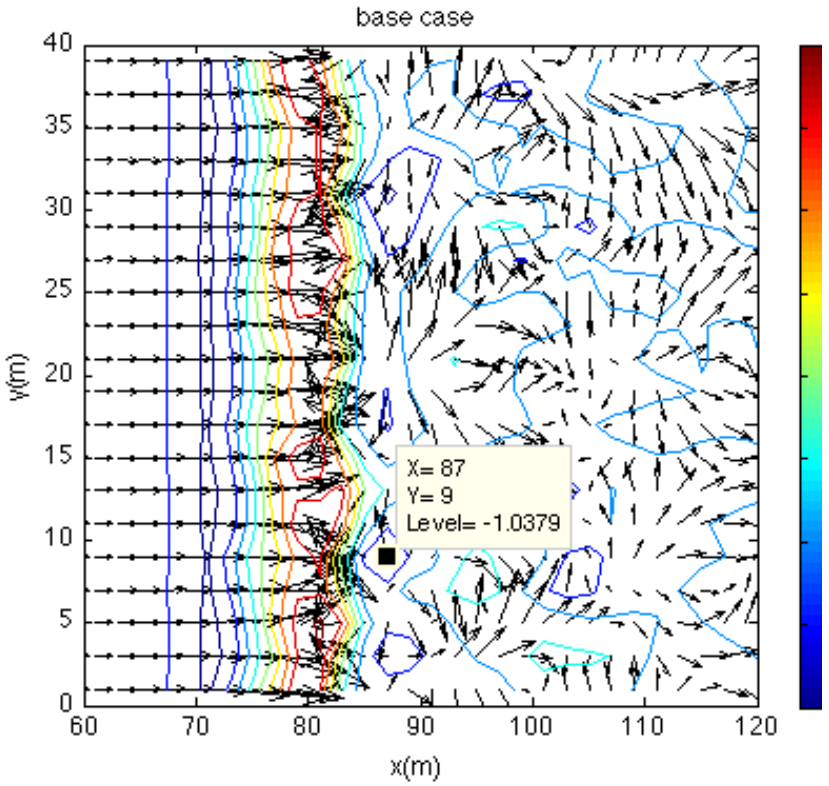
Vent modéré, combustible sec

Etude du contre-feu : importance du 3D

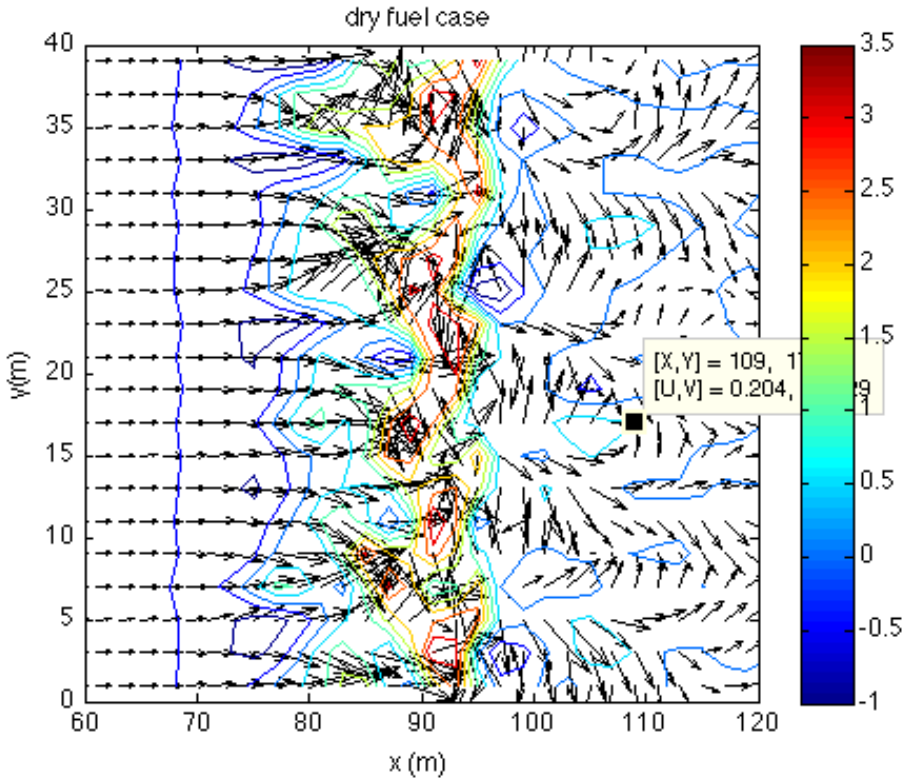
Un feu de forte intensité n'implique pas nécessairement une obstruction du vent ambiant plus importante

Vent moyen et écoulements similaires en avant du feu

Intensité du feu~ 3700 kW/m



Intensité du feu~ 13000 kW/m (dry fuel)



Contours de couleur : composante verticale de vitesse- 3D cyclique

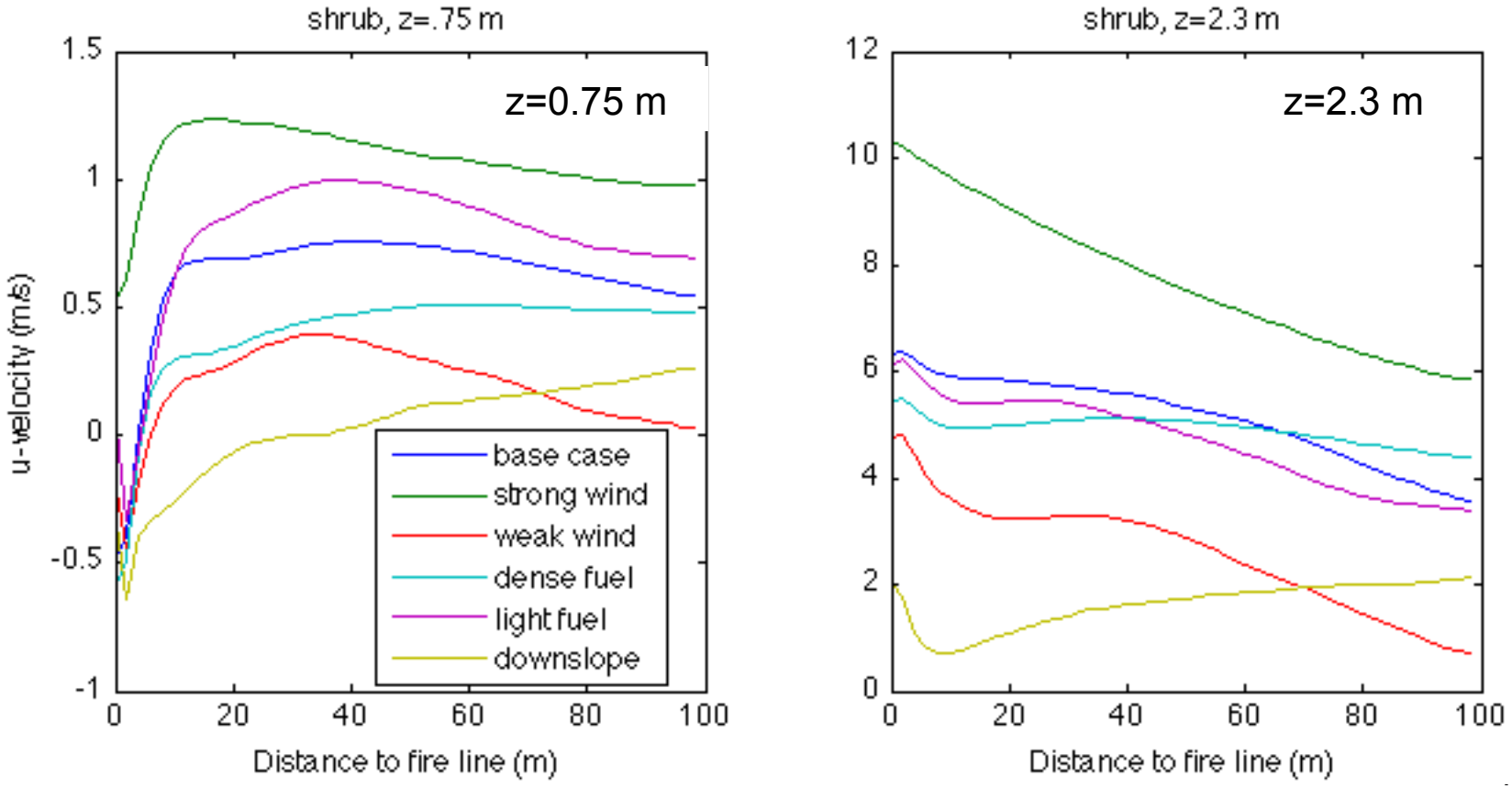
Etude du contre-feu

Vent moyen devant l'incendie (formation arbustive)

– paramètres : vent, pente, densité végétation

– aspiration seulement proche du front de feu et près du sol

Mean wind *vs* distance to fire front - Shrubland



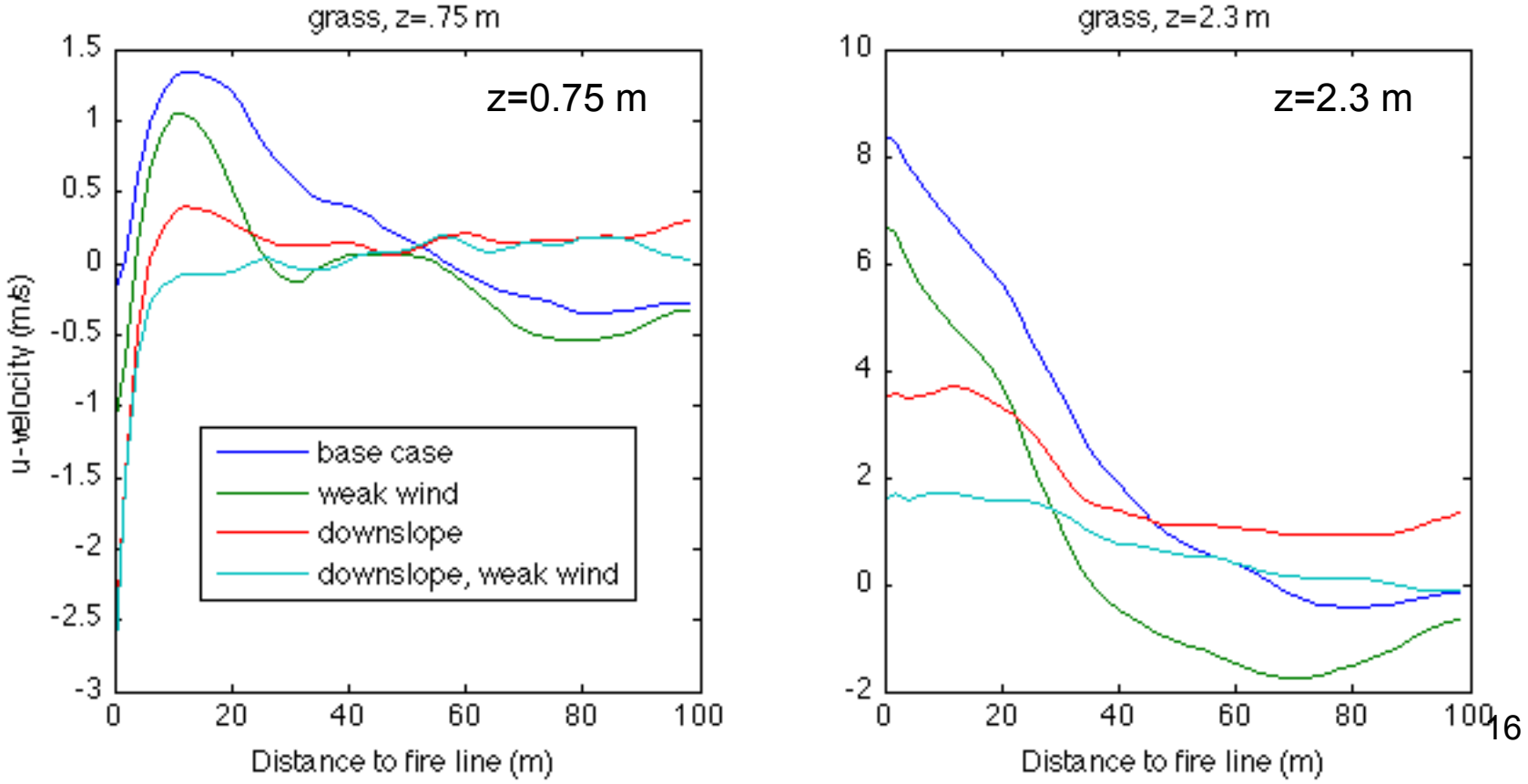
Etude du contre-feu

Vent moyen devant l'incendie (formation herbacée)

– paramètres : vent, pente, densité végétation

– aspiration seulement proche du front de feu et près du sol (avec une exception)

Mean wind *vs* distance to fire front - Grassland



Etude du contre-feu

Résumé des résultats de simulation de contre-feux

Case	Indraft flow at z=.75 m : distance to fire	Backfire propagation (ignition at 30 m)
Shrubland :		
Base case	< 5 m	no
Strong wind	none	no
Weak wind	< 10 m	no
Dense fuel	< 5 m	yes
Light fuel	< 5 m	no
Downslope	< 30 m	yes
Grassland :		
Base case	Almost none	yes
Weak wind	< 5 m, >60m	yes
Downslope	< 10 m	yes
Downslope, weak wind	< 40 m	yes

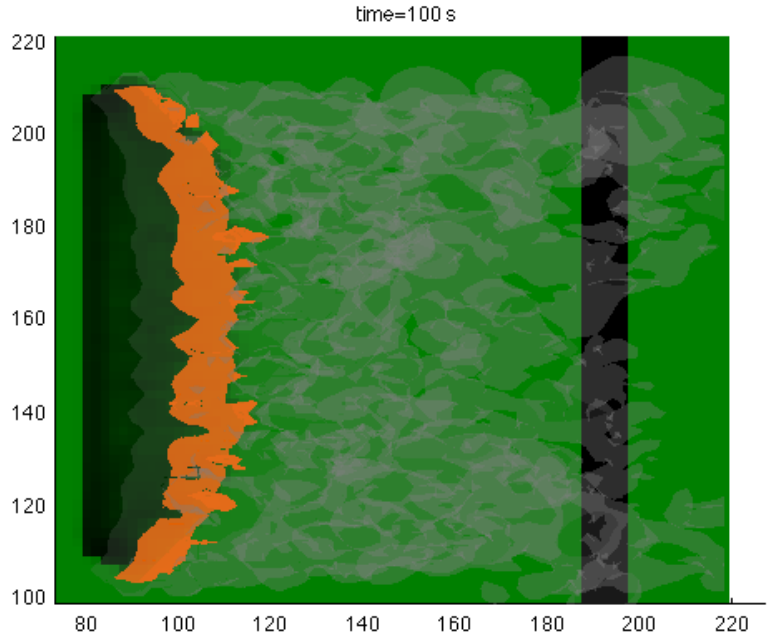
L'aspiration du contre-feu n'est clairement observée que dans un cas (pente descendante, vent faible, formation herbacée)

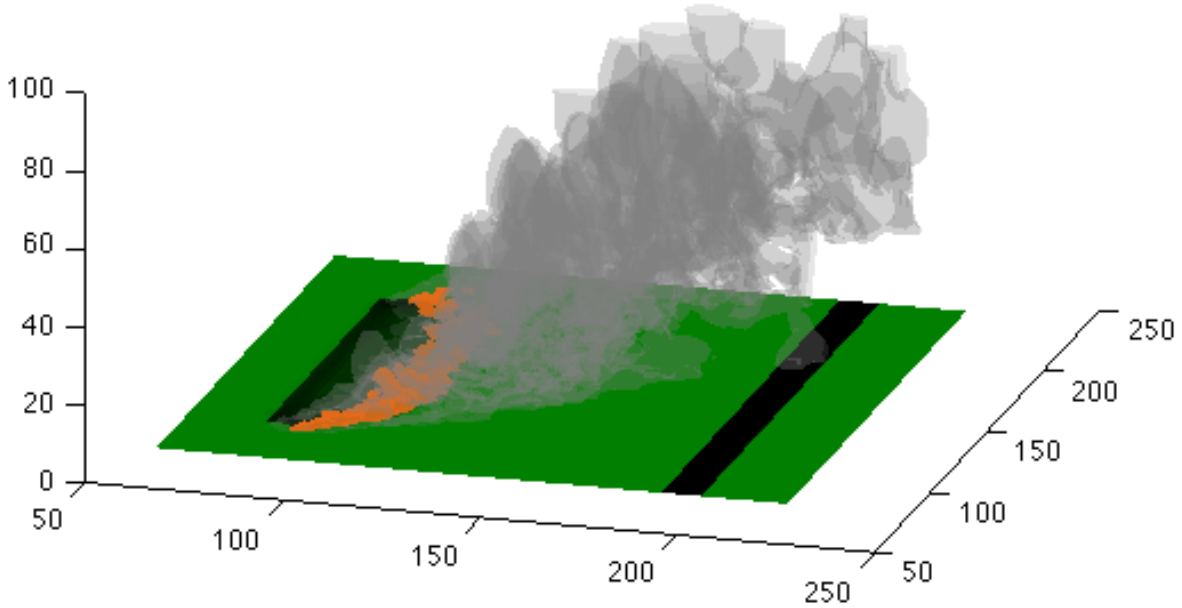
Résultats convergents avec les exp. de contre-feu

Etude du contre-feu

Simulation à plat, vent faible

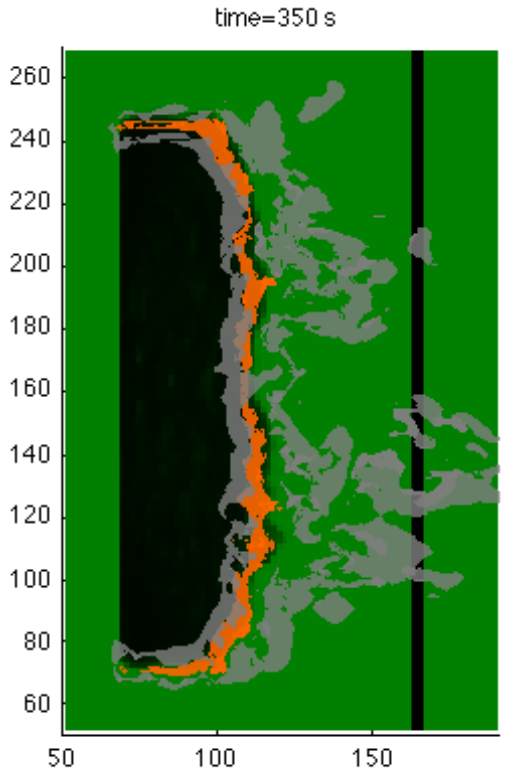
Formation herbacée

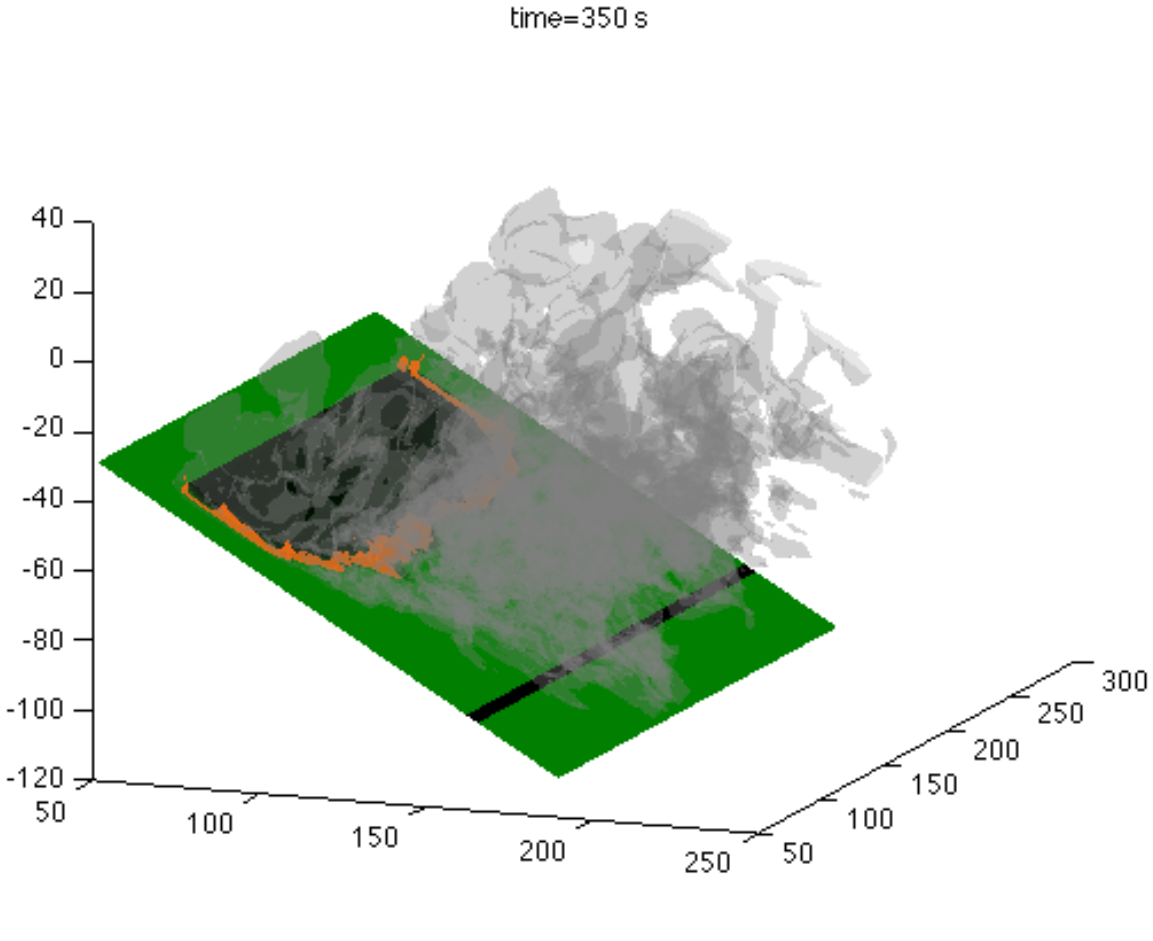




Etude du contre-feu

- Simulation en pente, vent faible
- Formation herbacée





Comparaison aux expériences

Deux expériences contrastées

backfire

Plot SF1 exp.

Vent modéré (4 m/s)

Pas d'entrainement ou de changement d'orientation du panache

Plot SF3 exp.

Vent faible (1 m/s)

Changement d'orientation du panache

- Contre-feux allumé en 1er
- Vents mesurés à 2 m en 3 points

Comparaison aux expériences

Plot SF1 simulation

Le contre-feu ne se propage pas sans feu principal

Si le feu principal est allumé en premier, alors le contre-feu se propage

Plot SF3 simulation

Situation difficile à reproduire
– vent instable en direction
– cause des changements de vent ambiant ?

	Plot SF1		Plot SF3	
ROS (m/min)	Head fire	Backfire(*)	Head fire	Backfire(*)
Observed	20	1.0-2.0	5.5	1.4
Predicted	13	-	4.1-7.0	1.3 - 1.6

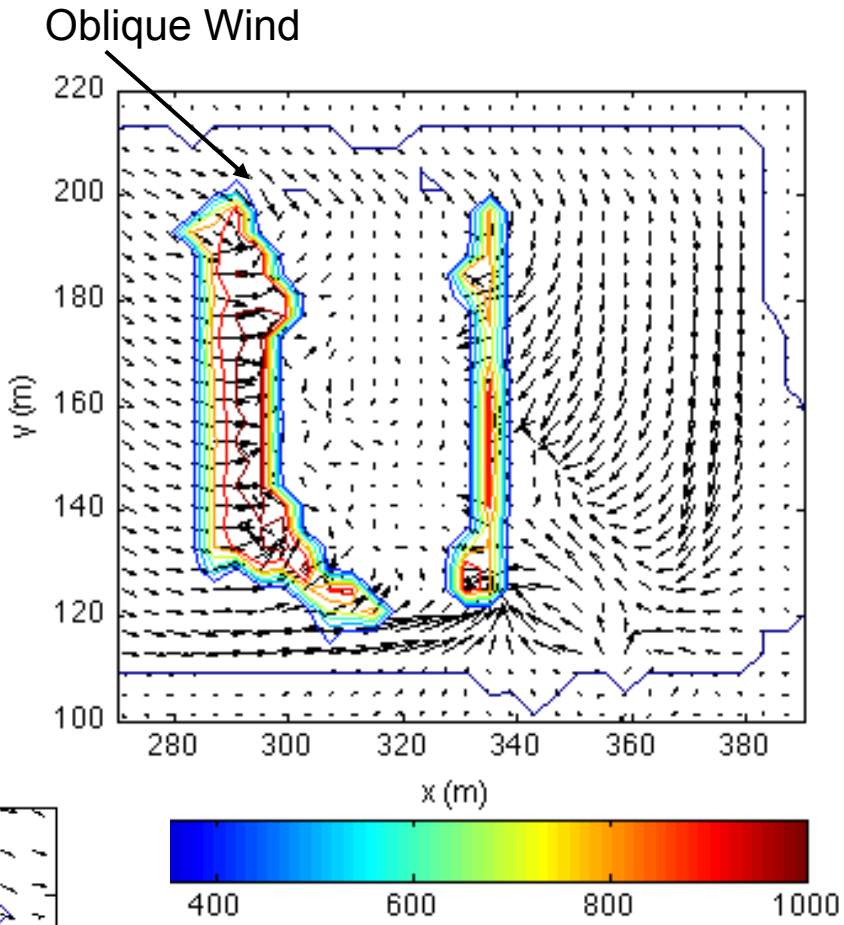
(*) before head fire ignition

Comparaison aux expériences

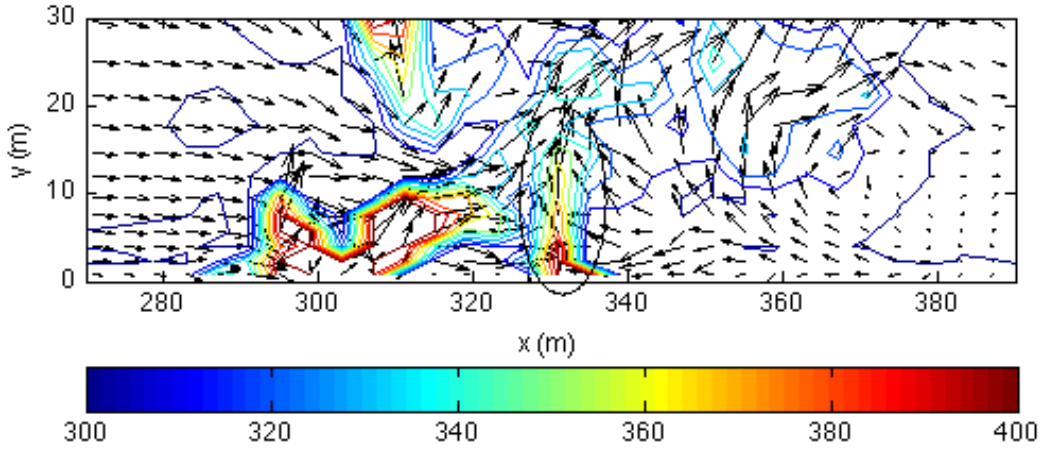
Plot SF3 simulation

Par rapport à l'expérience:

- inversion d'écoulement prédite
- le changement d'orientation du panache est moins prononcé
- l'accélération du contre-feu est moindre



Interaction of thermal plumes (side view)



Conclusions

Autres études récentes

- Impact d'une éclaircie sur le comportement du feu
- Influence du vent et de la densité de feuillage des arbres sur le roussissement foliaire

Les simulations

- mettent en évidence les limites des approche simplifiées ou empiriques
- apportent des connaissances utiles sur un plan opérationnel

La validation est difficile et encore incomplète, en particulier en présence de canopées d'arbres – travaux en cours

Une nouvelle version de HIGRAD-FIRETEC est en développement avec un gain attendu en temps calcul d'un facteur au moins égal à 10.