



HAL
open science

LE COMPORTEMENT DU FEU

Eric Rigolot, François Pimont

► **To cite this version:**

Eric Rigolot, François Pimont. LE COMPORTEMENT DU FEU. Séminaire de restitution du projet REDURISK - De la recommandation scientifique à l'appropriation par les citoyens: la réduction du risque lié aux incendies de forêt sur un territoire sensible, Institut Méditerranéen en Sciences de l'Information et de la Communication (IMSIC), Jun 2023, Aix-en-Provence, France. hal-04152581

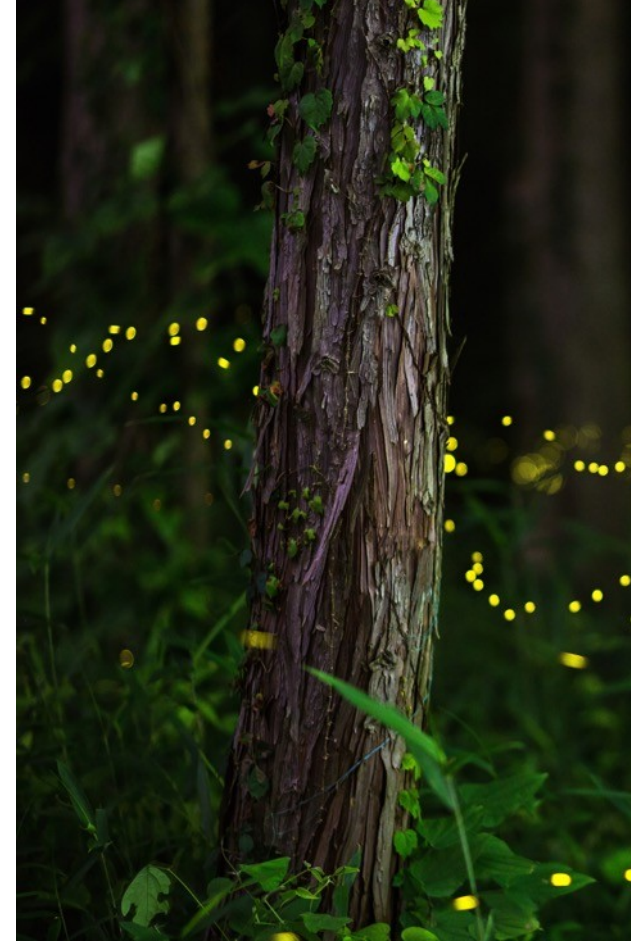
HAL Id: hal-04152581

<https://hal.inrae.fr/hal-04152581>

Submitted on 5 Jul 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Séminaire
REDURISK

Eric RIGOLOT et François PIMONT (INRAE, URFM, Avignon)

20 juin 2023

LE COMPORTEMENT DU FEU

A l'interface habitat-forêt



PLAN DE L'EXPOSÉ

1. Mécanismes de propagation
2. Caractéristiques du comportement du feu
3. Facteurs du comportement du feu
4. Modélisation physique
et application à l'interface habitat-forêt

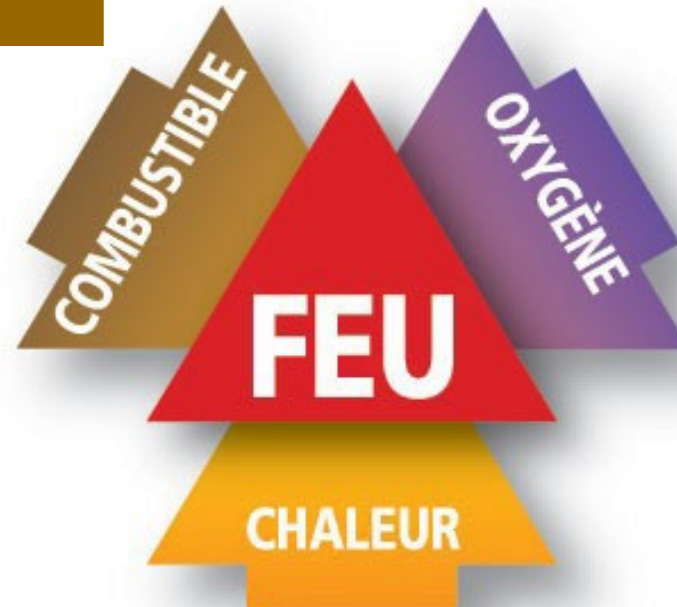
1. MÉCANISMES DE LA PROPAGATION

QU'EST-CE QU'UN INCENDIE ?

Combustion qui se développe sans contrôle, dans le temps et dans l'espace

Combustible
Gaz, Essence
Bois

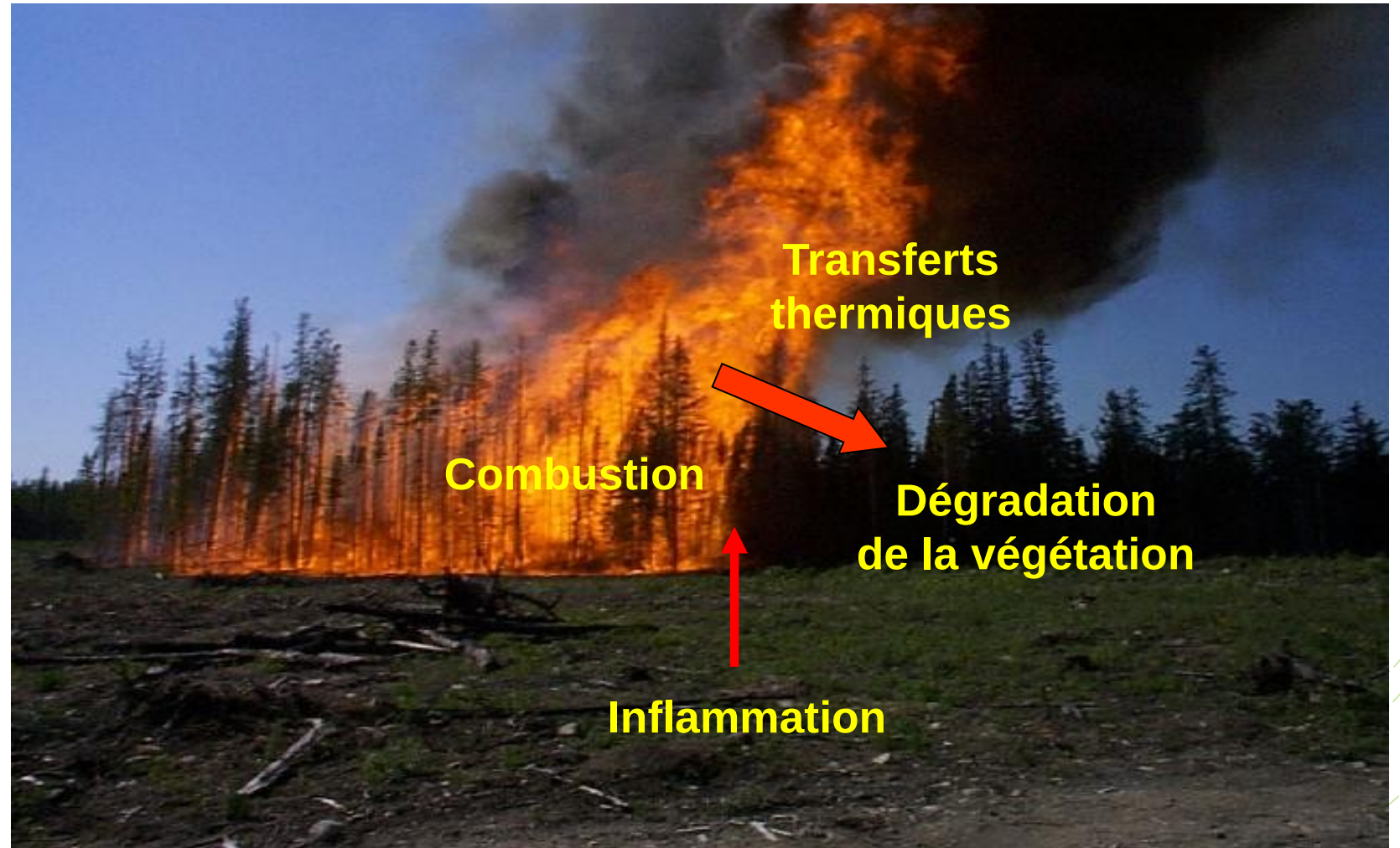
Comburant
(O₂)
air : 21%



Énergie d'activation
(flamme, étincelle, foudre, chaleur)

1. MÉCANISMES DE PROPAGATION DU FEU

PRINCIPAUX MÉCANISMES



+ Transport de brandons



1. MÉCANISMES DE PROPAGATION DU FEU

DÉGRADATION THERMIQUE DE LA VÉGÉTATION

Soumis à un flux de chaleur, **le matériau se dégrade en fonction de la température atteinte** :

- jusqu'à 100°C : évaporation de l'eau
- de 100 à 200°C : production de gaz non inflammables
- de 200 à 280°C : évaporation des substances les plus volatiles
- de 280 à 500°C : production de gaz inflammables (pyrolyse)

Les résidus solides sont des charbons (20 à 30% de la masse initiale)

Pour atteindre l'**inflammation**, il faut un apport de chaleur de **400 kJ/kg** pour du matériau sec.



1. MÉCANISMES DE PROPAGATION DU FEU

COMBUSTION

Dans le milieu gazeux :

Gaz inflammables + Oxygène \rightarrow Produits (H₂O, CO₂) + Énergie

A la surface du charbon :

Charbon (Carbone) + Oxygène \rightarrow Produits (H₂O, CO₂) + Énergie

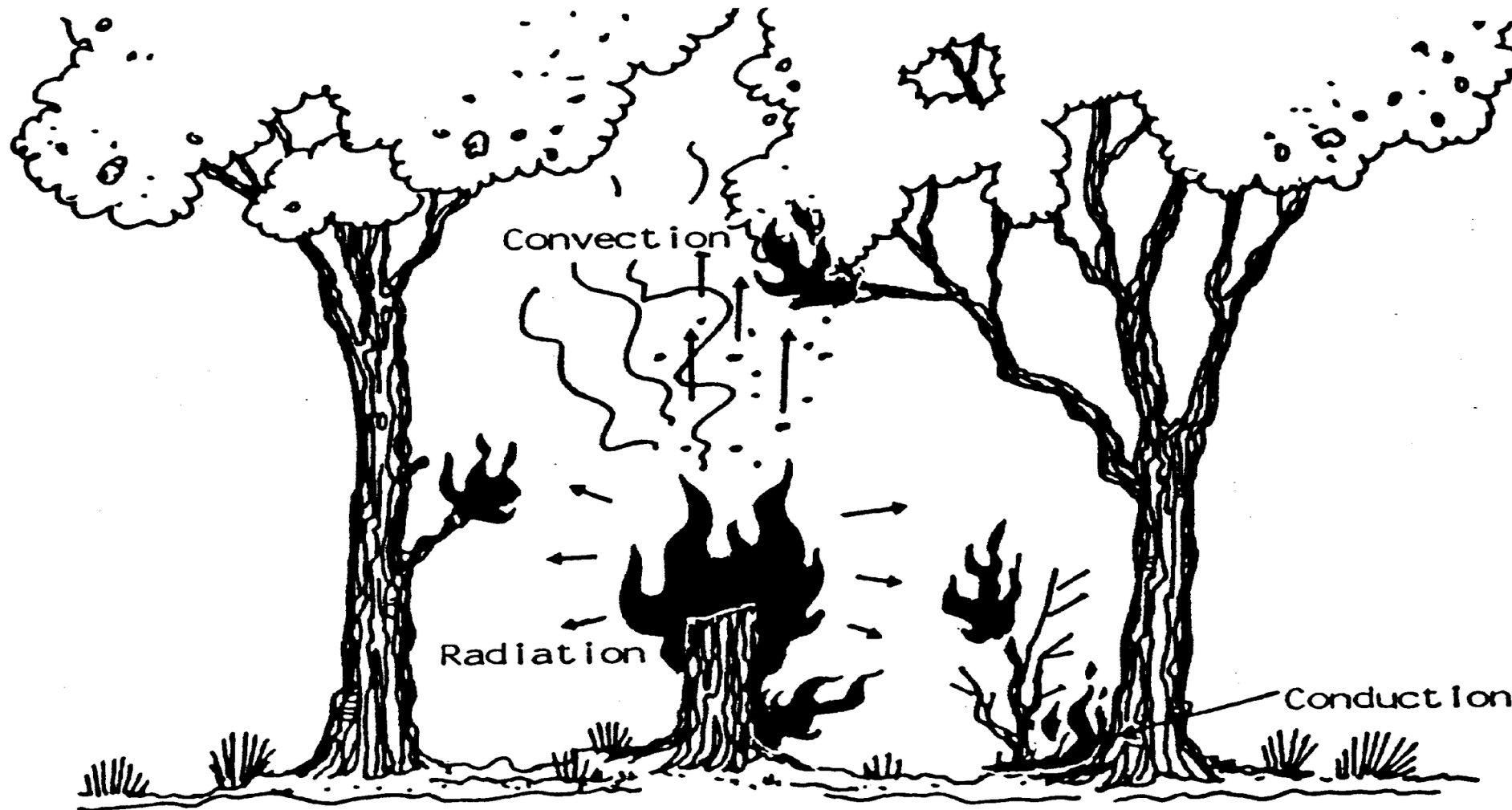
Énergie libérée par la combustion complète :

20 000 kJ/kg de matière sèche, soit 50 fois la chaleur d'inflammation.



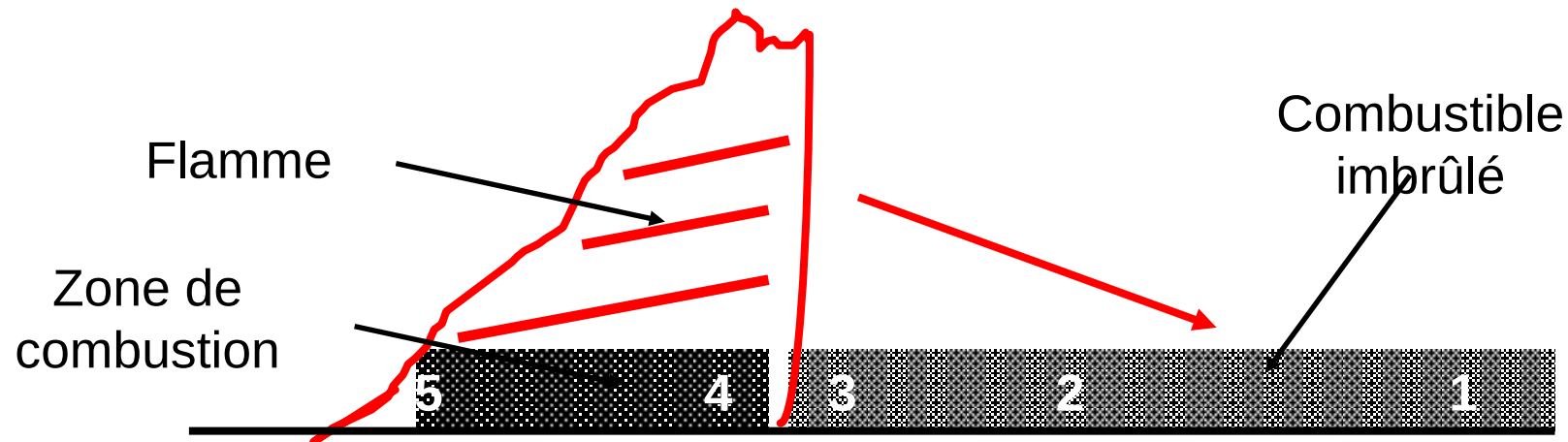
1. MÉCANISMES DE PROPAGATION DU FEU

TRANSFERTS THERMIQUES



1. MÉCANISMES DE PROPAGATION DU FEU

RÉSUMÉ



Echauffement et dégradation thermique

- 1- Échauffement par rayonnement
- 2- Échauffement brutal par convection (contact avec les gaz chauds)
- 3- Évaporation de l'eau
- 4- Pyrolyse - Combustion en phase gazeuse
- 5- Combustion des résidus charbonneux (braises)

2. CARACTÉRISTIQUES DU COMPORTEMENT DU FEU

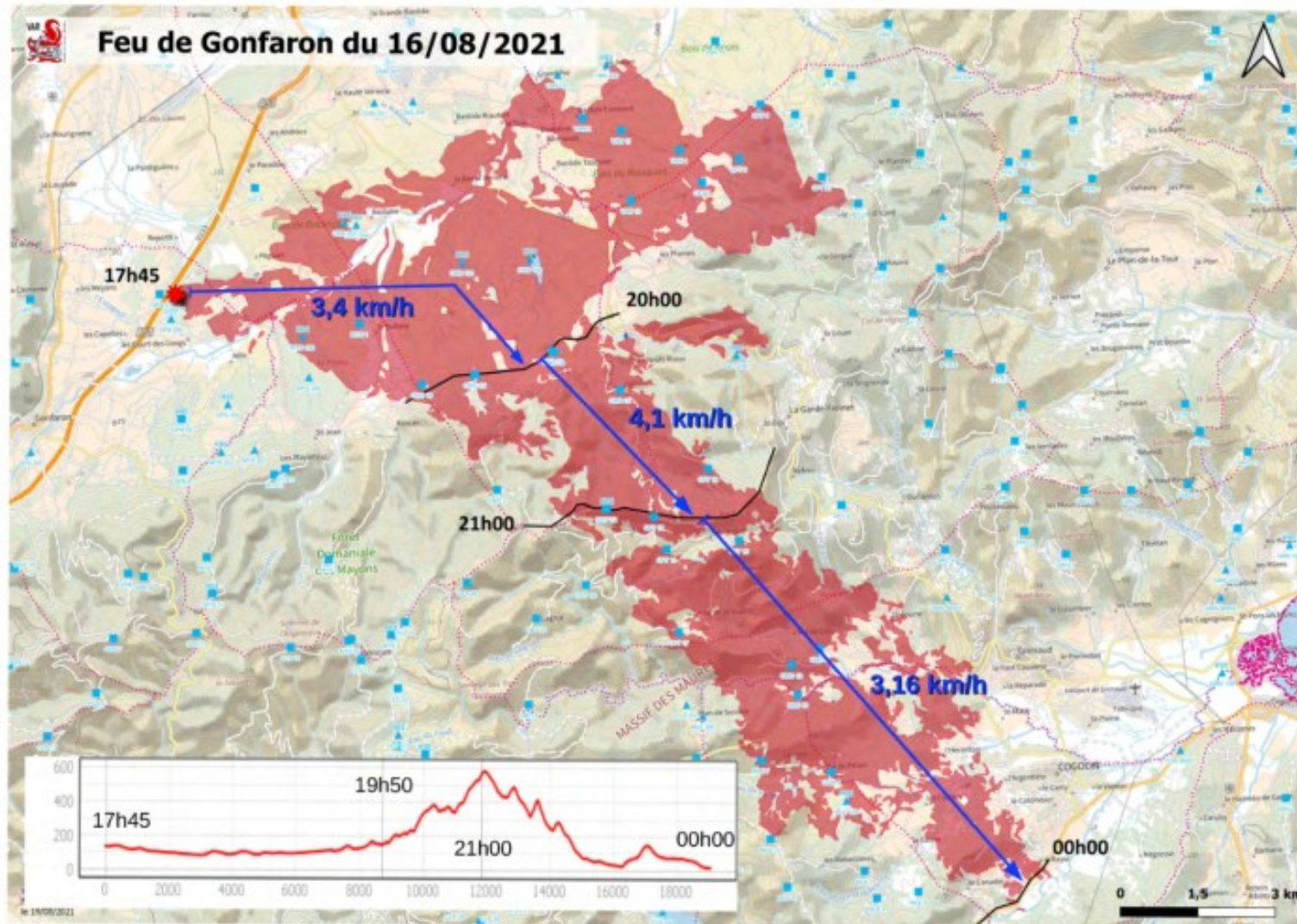


Le comportement du feu représente l'évolution spatiale et temporelle du feu

- **Variables du comportement**
- **Facteurs du comportement**

2. CARACTÉRISTIQUES DU COMPORTEMENT DU FEU

LA VITESSE DE PROPAGATION

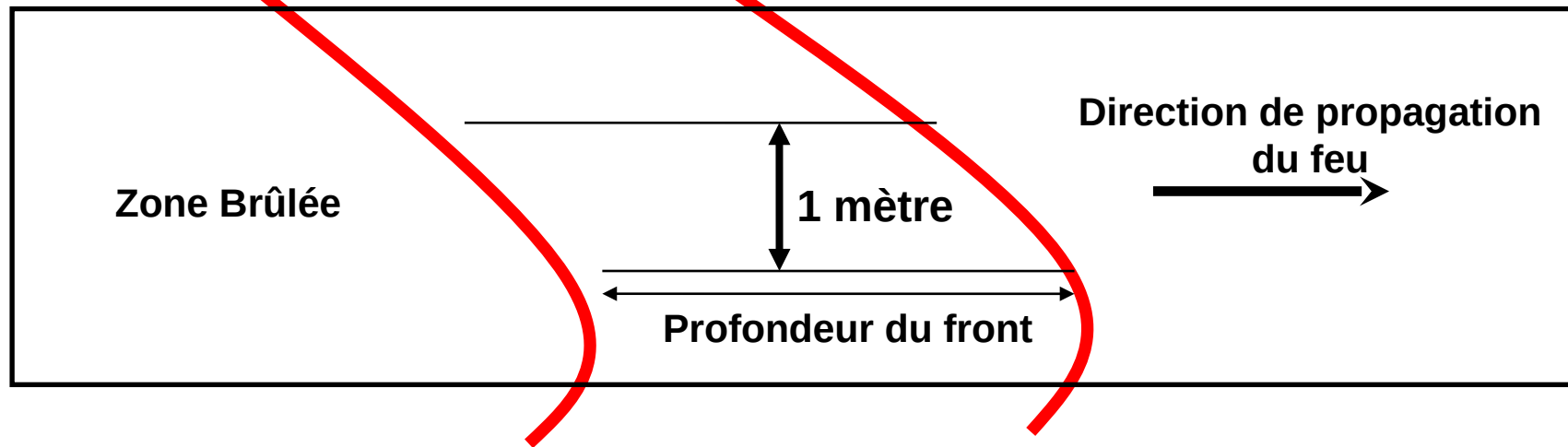


2. CARACTÉRISTIQUES DU COMPORTEMENT DU FEU

**L'INTENSITÉ DU FRONT DE FLAMME (kW/m)
= PUISSANCE DU FEU**

Définition :

Flux de chaleur dégagé par mètre linéaire de front de flamme (kW/m)



Relation de Byram : $P = M V C$ avec :

P puissance (kW/m)

M masse brûlée par unité de surface
(kg/m²) (donc charge disponible)

V Vitesse de propagation (m/s)

C Pouvoir Calorifique (18000 kJ/kg)

2. CARACTÉRISTIQUES DU COMPORTEMENT DU FEU

ÉCHELLE D'INTENSITÉ ET DIFFICULTÉ DE LUTTE

En kW/m

0-350 (feu de litière) lutte facile

350-1750 (feu d'herbes, feu de garrigue) lutte possible avec moyens légers au sol

1750- 3500 (feu de garrigue cond. sévères) lutte possible avec moyens lourds au sol

3500-7000 (feu de maquis) Lutte possible avec moyens lourds au sol et moyens aériens, sautes possibles

7000-20 000 (feu de maquis cond. sévères, feu de cimes) Feu non maîtrisable (de front), sautes fréquentes

> 20 000 kW/m (feu de cimes) Feu d'intensité exceptionnelle, non maîtrisable, sautes très nombreuses



2. CARACTÉRISTIQUES DU COMPORTEMENT DU FEU

INTENSITÉ DU FEU : ORDRE DE GRANDEUR

Un feu de puissance = **10 000 kW/m**, sur **100 m de front** => puissance totale de **1000 MW**, soit:

- la puissance électrique d'une centrale nucléaire,
- la puissance nécessaire pour évaporer 24 tonnes d'eau en une minute...



2. CARACTÉRISTIQUES DU COMPORTEMENT DU FEU

TYPES DE FEU

Feu d'humus

Feu de surface
brûle la litière,
les herbes,
les arbustes



Feu de cimes
brûle toutes les strates
de la végétation



2. CARACTÉRISTIQUES DU COMPORTEMENT DU FEU

SÉVÉRITÉ DU FEU

L'intensité (puissance) caractérise le comportement du feu.

La sévérité est l'ensemble des effets sur l'écosystème (écologie du feu)

L'intensité n'est pas forcément un bon indicateur du niveau de sévérité (ex. feux d'humus)

Pas de mesure standard de la sévérité



2. CARACTÉRISTIQUES DU COMPORTEMENT DU FEU

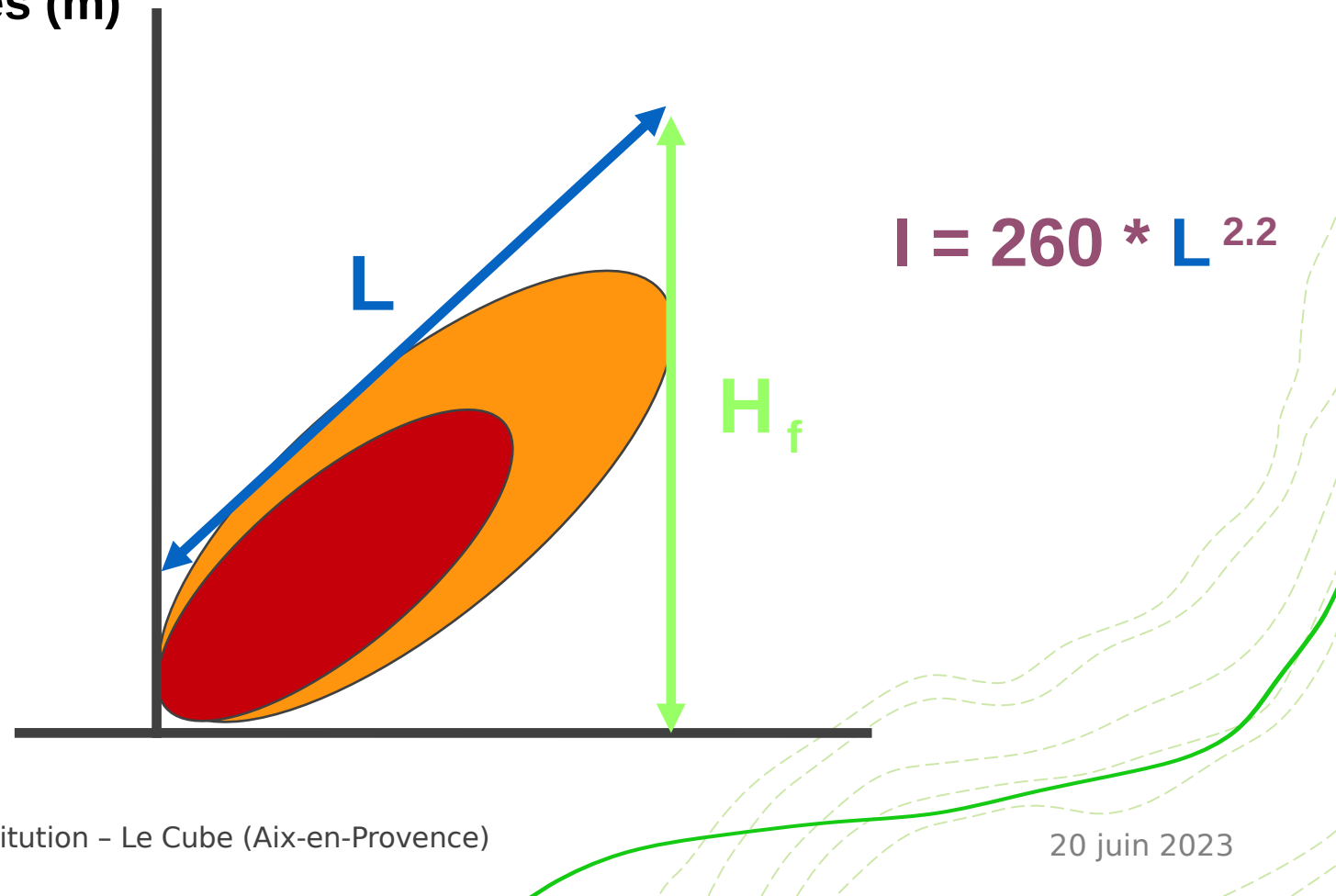
AUTRES VARIABLES

La quantité de combustible consommée (g, kg, ou tonne)

La hauteur / longueur des flammes (m)

La surface brûlée (ha)

La température (C ou K)



3. FACTEURS DU COMPORTEMENT DU FEU

1. Topographie

- Exposition
- Pente

2. Climat / Météorologie

- Vent
- Température,
- Humidité relative,
- Précipitations

3. Végétation (combustible)

- Quantité (charge)
- Qualité (composition et état de dessiccation)
- Arrangement spatial

affectent la dessiccation du combustible (sol et végétation)

=> La végétation est le seul facteur sur lequel on puisse agir

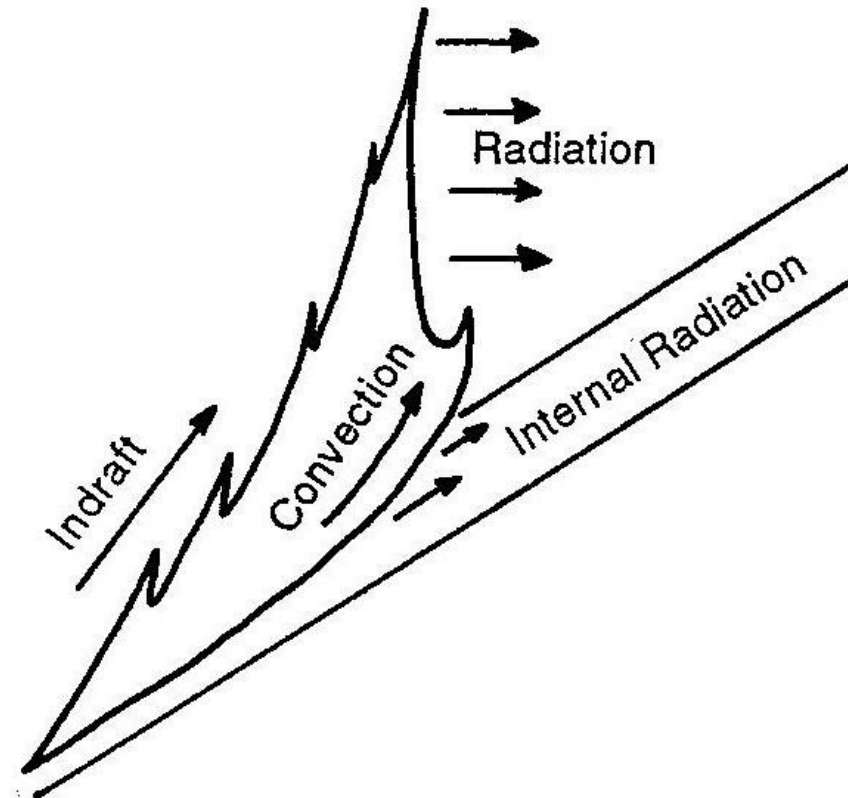


3. FACTEURS DU COMPORTEMENT DU FEU

TOPOGRAPHIE

Favorise la propagation vers le haut de pente

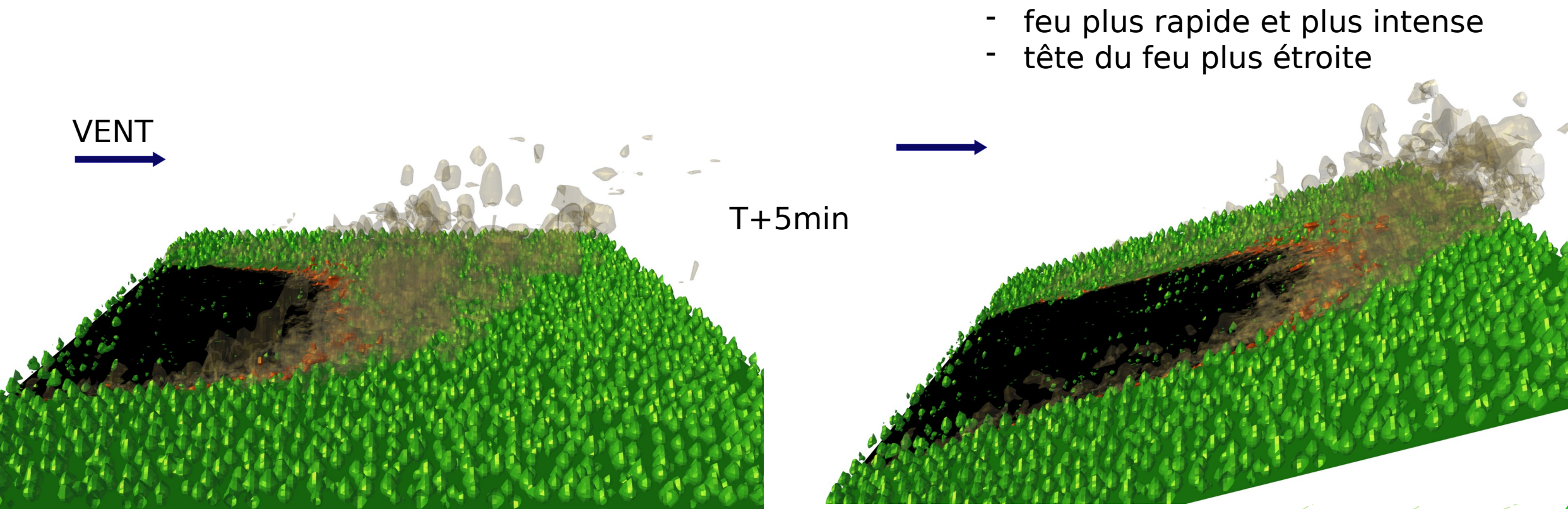
Upslope Fire



3. FACTEURS DU COMPORTEMENT DU FEU

EFFET DE PENTE

Simulations FIRETEC (INRAE, LANL)



Propagation à plat

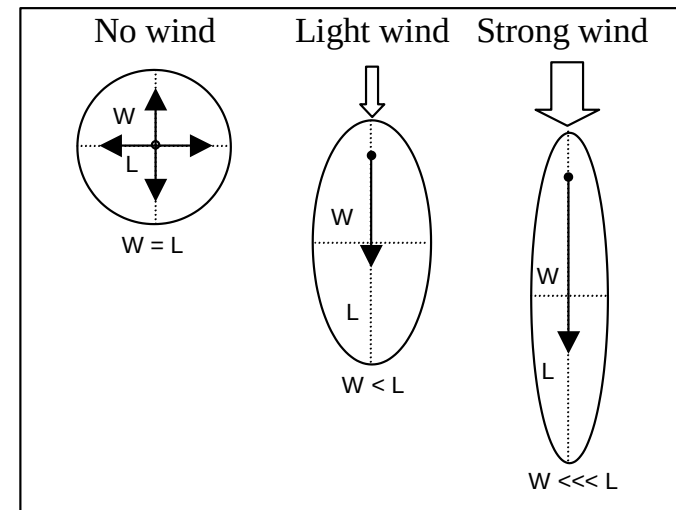
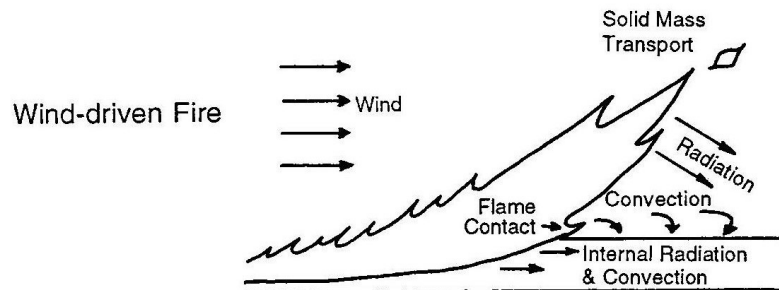
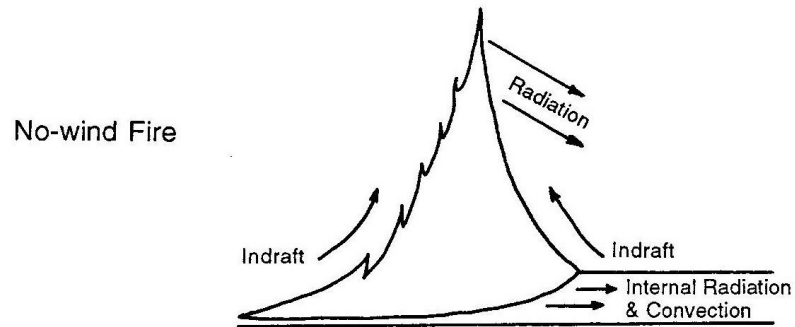
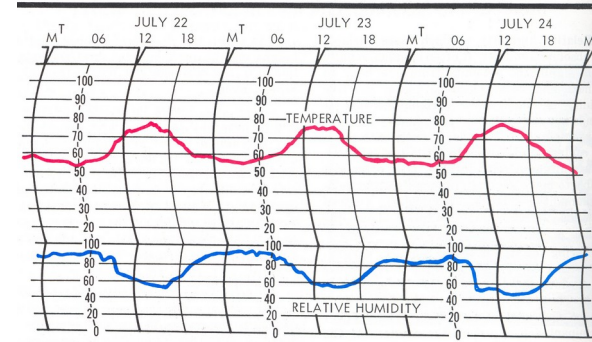
Pente de 30 %



3. FACTEURS DU COMPORTEMENT DU FEU

LA MÉTÉOROLOGIE

- La température (°C)
- L'humidité relative (%)
- Le vent (m/s ou km/h)
- Les orages accompagnés de foudre
- La stabilité atmosphérique

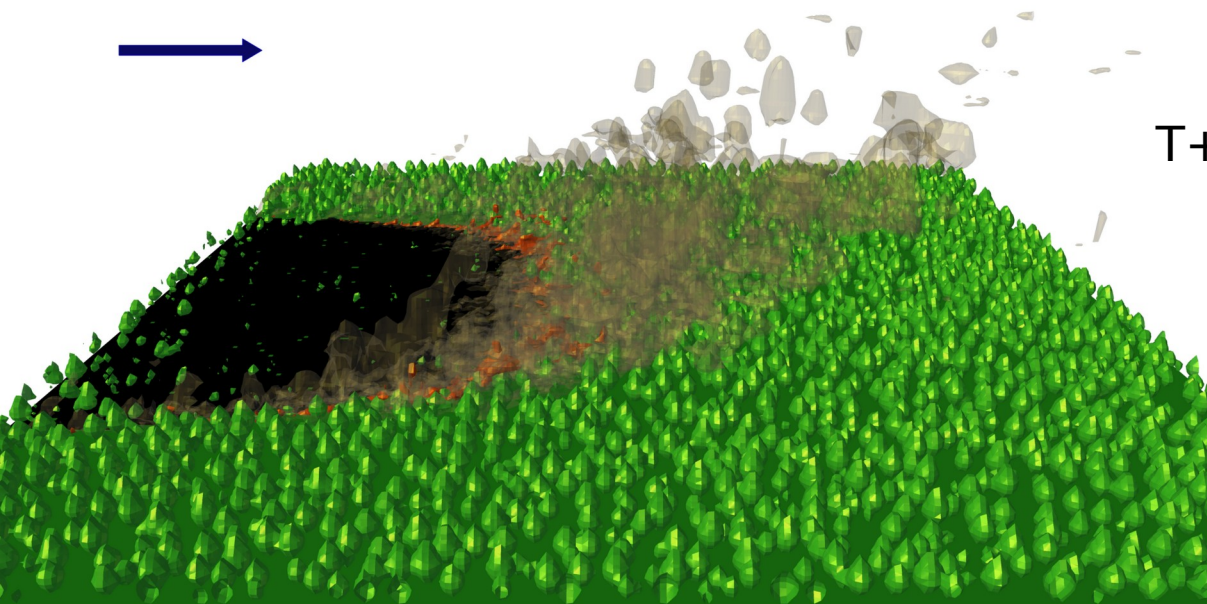


3. FACTEURS DU COMPORTEMENT DU FEU

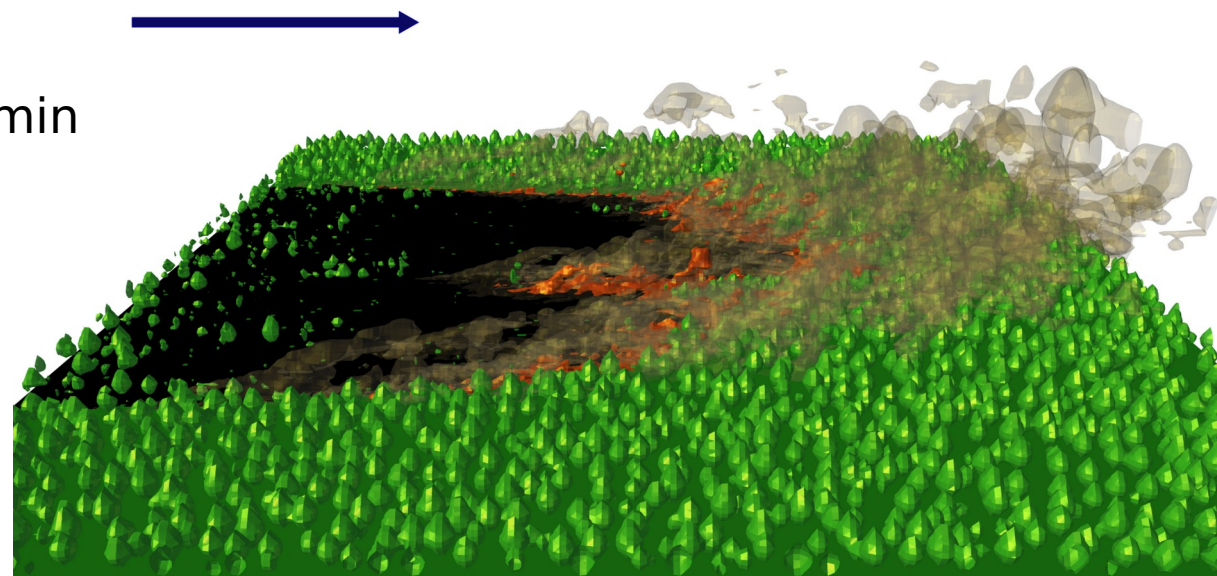
EFFET DU VENT

Simulations FIRETEC (INRAE, LANL)

- feu plus rapide et plus intense
- flammes plus longues et panache plus couché



T+5min



Vent de 25 km/h

Vent de 50 km/h

3. FACTEURS DU COMPORTEMENT DU FEU

LE COMBUSTIBLE FORESTIER

1- Quantité et répartition spatiale

Charge (kg/m²)

Notion de compacité (m³/m³)

Arrangement spatial

2- Propriétés des particules (aiguilles, feuilles,...)

Composition chimique

Chaleur spécifique

Pouvoir calorifique

Teneur en eau

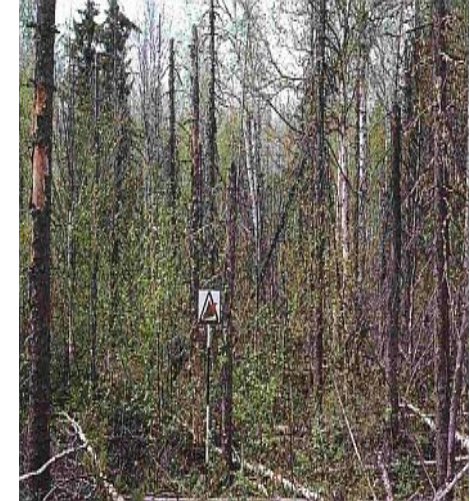
Rapport Surface/Volume



3. FACTEURS DU COMPORTEMENT DU FEU

ARRANGEMENT SPATIAL DES COMBUSTIBLES

La connectivité horizontale
Le continuum vertical



3. FACTEURS DU COMPORTEMENT DU FEU

TENEUR EN EAU DU COMBUSTIBLE

Définition $TE = 100 \times \text{Masse d'eau} / \text{Masse de matière sèche}$

Ordres de grandeur

- litières : 5 à 20%
- arbustes (feuillages) : 50 à 100%
- arbres (feuillages) : 100 à 200%

Effet (il faut 2500 kJ pour **évaporer** 1 kg d'eau)

| TE (%) | Qi (J / g) (chaleur d'inflammation) |
|--------|-------------------------------------|
| 0 | 400 |
| 10 | 680 |
| 50 | 1800 |
| 100 | 3200 |
| 200 | 6000 |

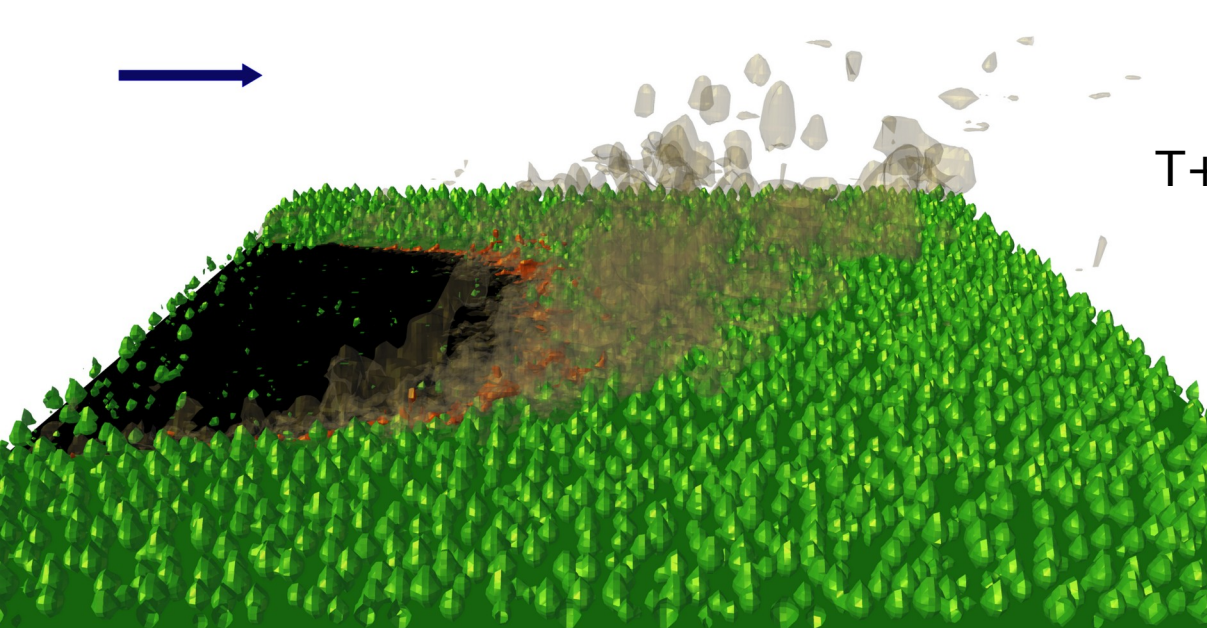


3. FACTEURS DU COMPORTEMENT DU FEU

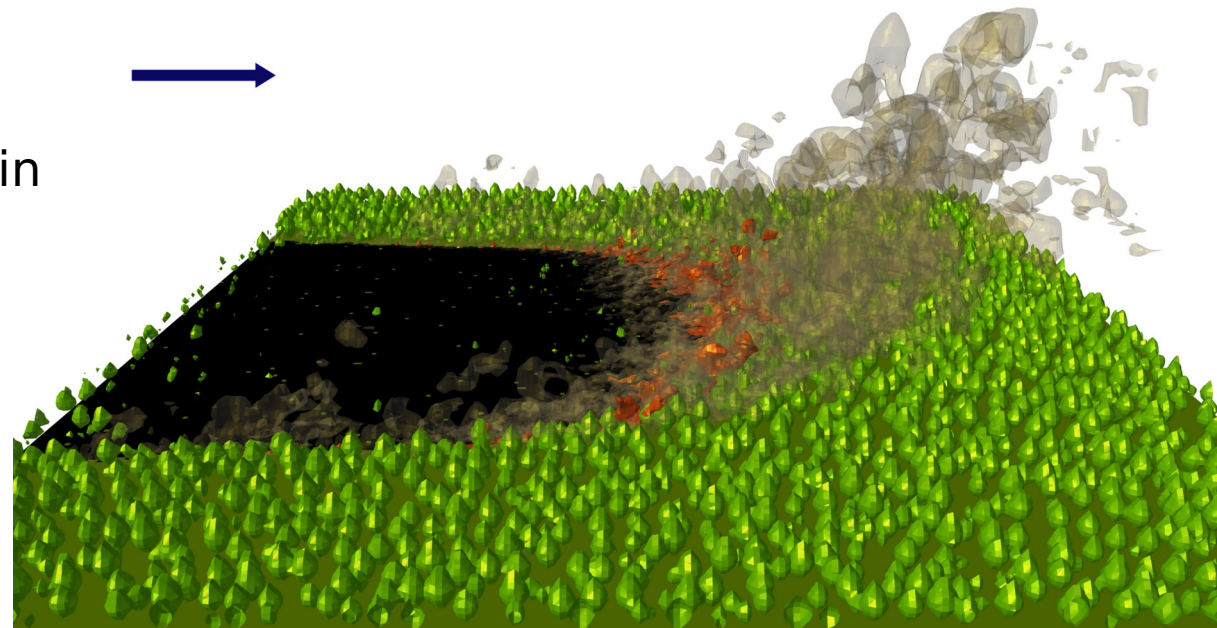
TENEUR EN EAU DU COMBUSTIBLE

Simulations FIRETEC (INRAE, LANL)

- feu plus rapide et plus intense
- flammes plus hautes et panache plus puissant



T+5min



Début d'été : Pin d'Alep 100 %, Sous-bois 70 %

Fin d'été : Pin d'Alep 90 %, Sous-bois 56 %



3. APPLICATION A L'INTERFACE HABITAT FORÊT (OLD)

EFFET DES TRAITEMENT DE LA VÉGÉTATION



Un contrôle du combustible diminuant l'intensité du feu



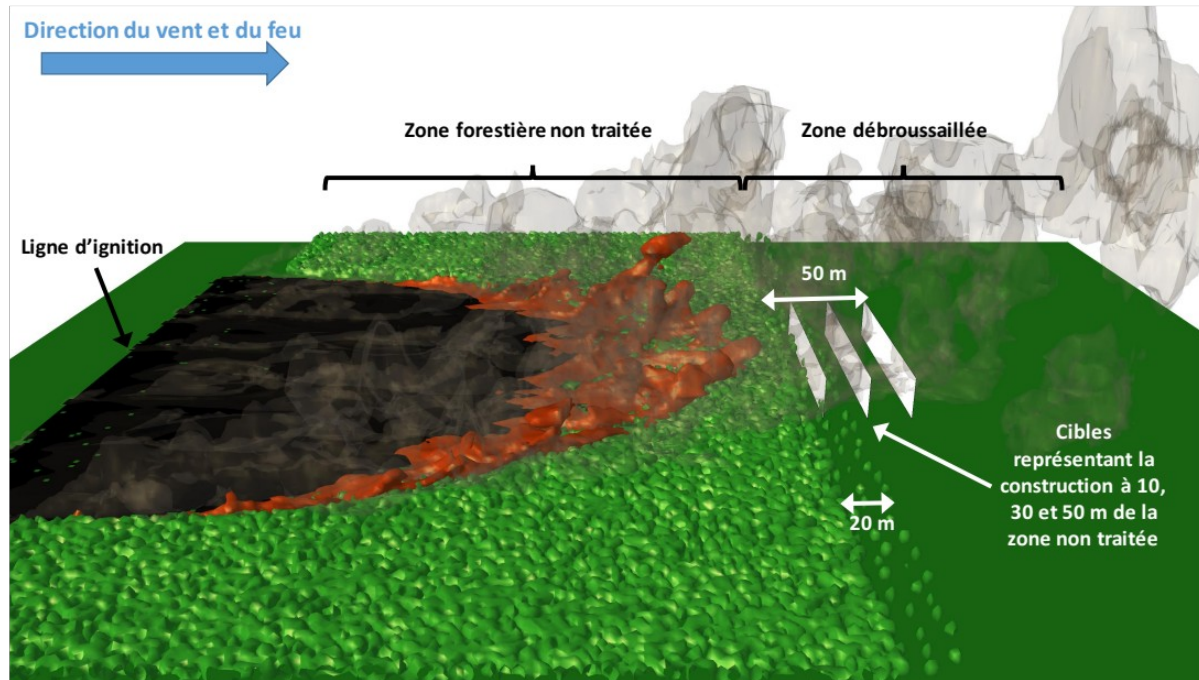
Pour des enjeux moins vulnérables



3. APPLICATION A L'INTERFACE HABITAT FORÊT (OLD)

EFFET DES TRAITEMENT DE LA VÉGÉTATION

Exemple : Les obligations légales de débroussaillage permettent-elle la sécurité des constructions et des personnels de secours ?



Flux radiatifs et températures moyennes pendant 1 min

| | Terrain plat | | Pente 30 % | |
|------|------------------------------------|------------------|------------------------------------|------------------|
| | Flux radiatif (kW/m ²) | Température (°C) | Flux radiatif (kW/m ²) | Température (°C) |
| 10 m | 22-28 | 329-422 | 30-39 | 280-336 |
| 30 m | 8.3-9.2 | 110-143 | 12-13.2 | 105-120 |
| 50 m | 5.4-5.9 | 59-70 | 8-9.1 | 68-78 |



Pimont et al. 2014. *Advances in Forest Fire Research* (Ed DX Viegas)

Pimont et al. 2019. *Forêt Méditerranéenne XV-2*.



INRAE

Aix*Marseille
université
Socialement engagée

imsic UTLN - AMU
INSTITUT MEDITERRANÉEN DES SCIENCES
DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

forêt méditerranéenne

**MERCI POUR VOTRE
ATTENTION**



Projet REDURISK – Séminaire de restitution – Le Cube (Aix-en-Provence)

anr®