

# Quantification des sollicitations thermiques et de l'impact des feux primaires et secondaires sur les structures bâtimentaires – WUI application

Pauline DIAS LOPES, Thomas ROGAUME, Benjamin BATIOT, Virginie  
DREAN, Bruno GUILLAUME, Eric GUILLAUME

Institut Pprime – Efectis France

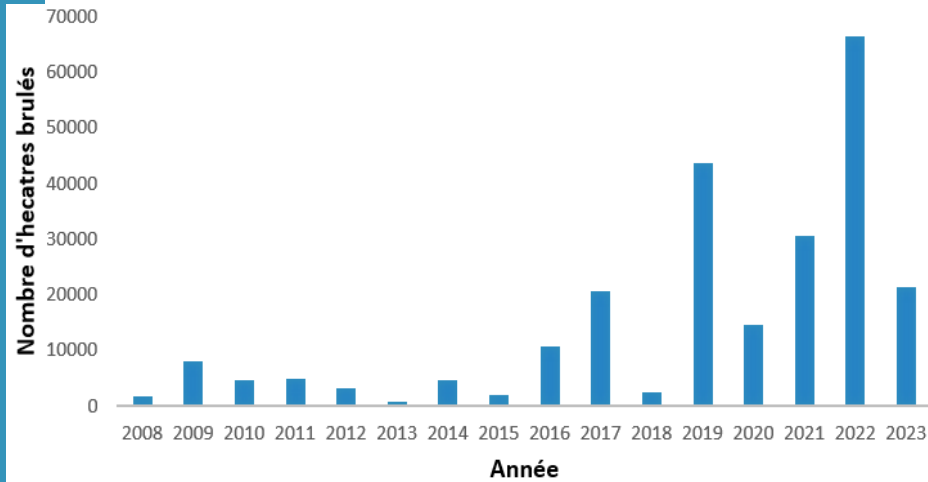


# Sommaire

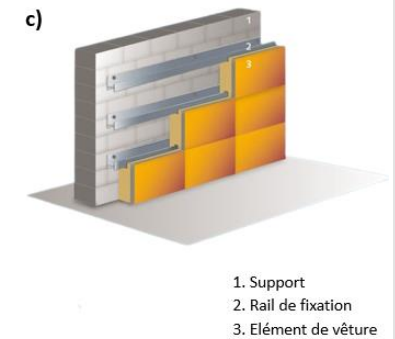
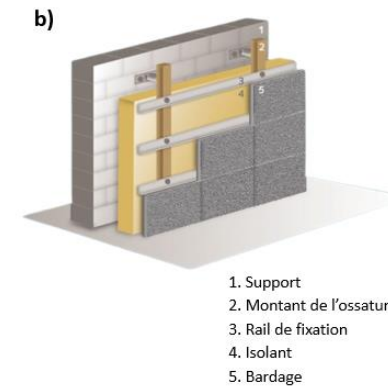
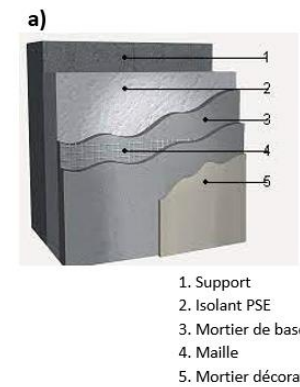
1. Contexte
2. Les types d'exposition au feu
3. Détermination du flux radiatif reçu par la cible
4. Méthode Flux-Time Product (FTP)
5. Introduction du critère FTP dans un code type Monte-Carlo

# 1. Contexte

Multiplication des feux de forêts\* :  
2 581ha en 2018 à 66 393 ha en 2022



Augmentation de l'isolation par l'extérieur des bâtiments  
(ETICS, bardage, autre) = ajout de masse combustible  
mobilisable



- Nature et caractérisation des expositions au feu
- Caractérisation du comportement au feu de l'enveloppe bâtementaire  
(ex : système d'isolation par l'extérieur)

\* <https://fr.statista.com/statistiques/1321001/hectares-forets-brules-france/#:~:text=Le%20nombre%20d'hectares%20de,surface%20du%20d%C3%A9partement%20des%20Yvelines>



## 2. Les types d'exposition au feu

- Les zones WUI : définition





## 2. Les types d'exposition au feu

- Les zones WUI : définition
- 2 types de foyers :
  - **Foyer primaire** = feu de végétation en tant que tel





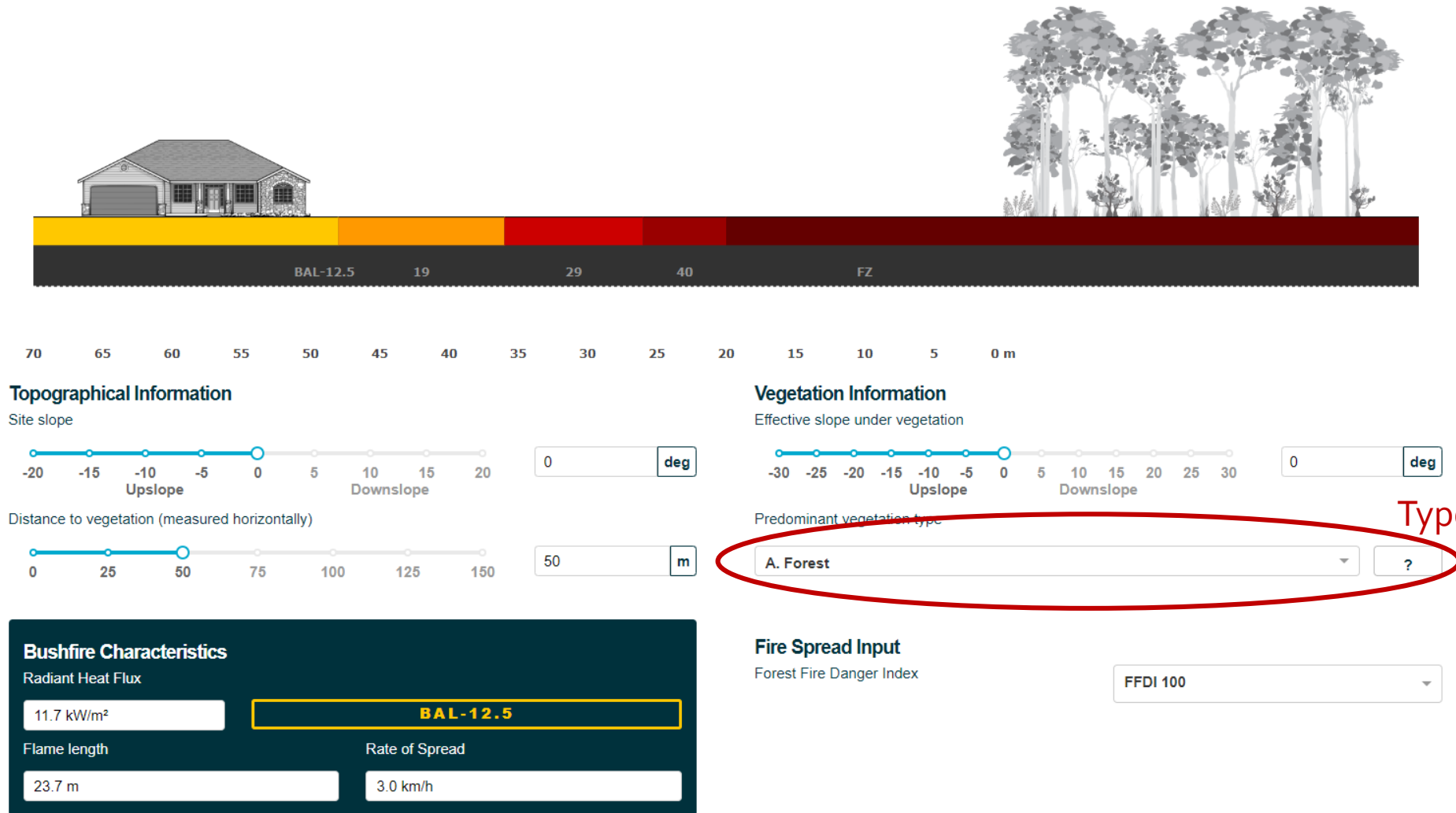
## 2. Les types d'exposition au feu

- Les zones WUI : définition
- 2 types de foyers :
  - **Foyer primaire** = feu de végétation en tant que tel
  - **Foyer secondaire** = ce qui se situe autour du bâti, susceptible de s'enflammer et de propager le feu



## 2.1. Courbes de flux de chaleurs associées aux foyers primaires issues de l'AS3959:2009

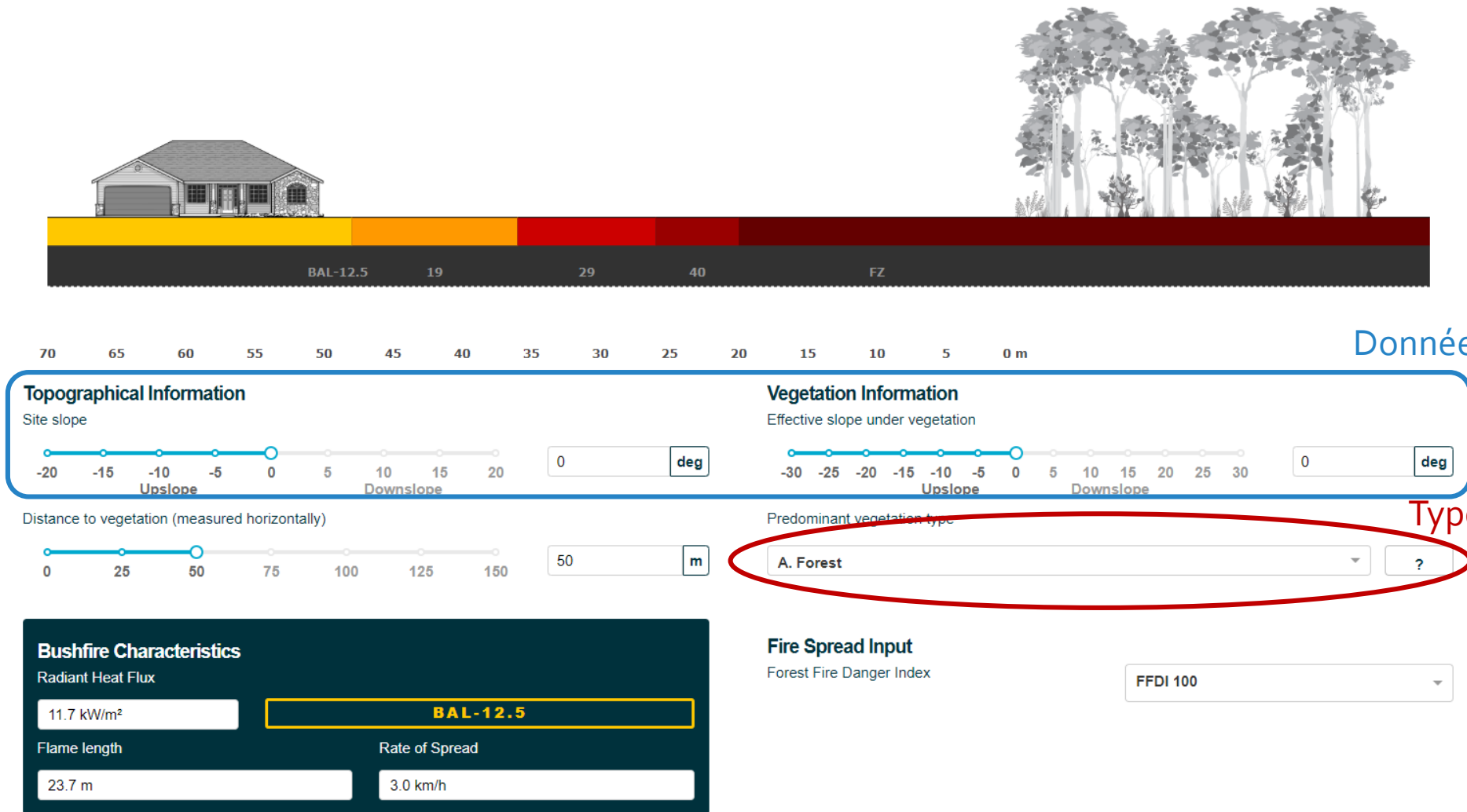
Données issues du calculateur australien





## 2.1. Courbes de flux de chaleurs associées aux foyers primaires issues de l'AS3959:2009

Données issues du calculateur australien



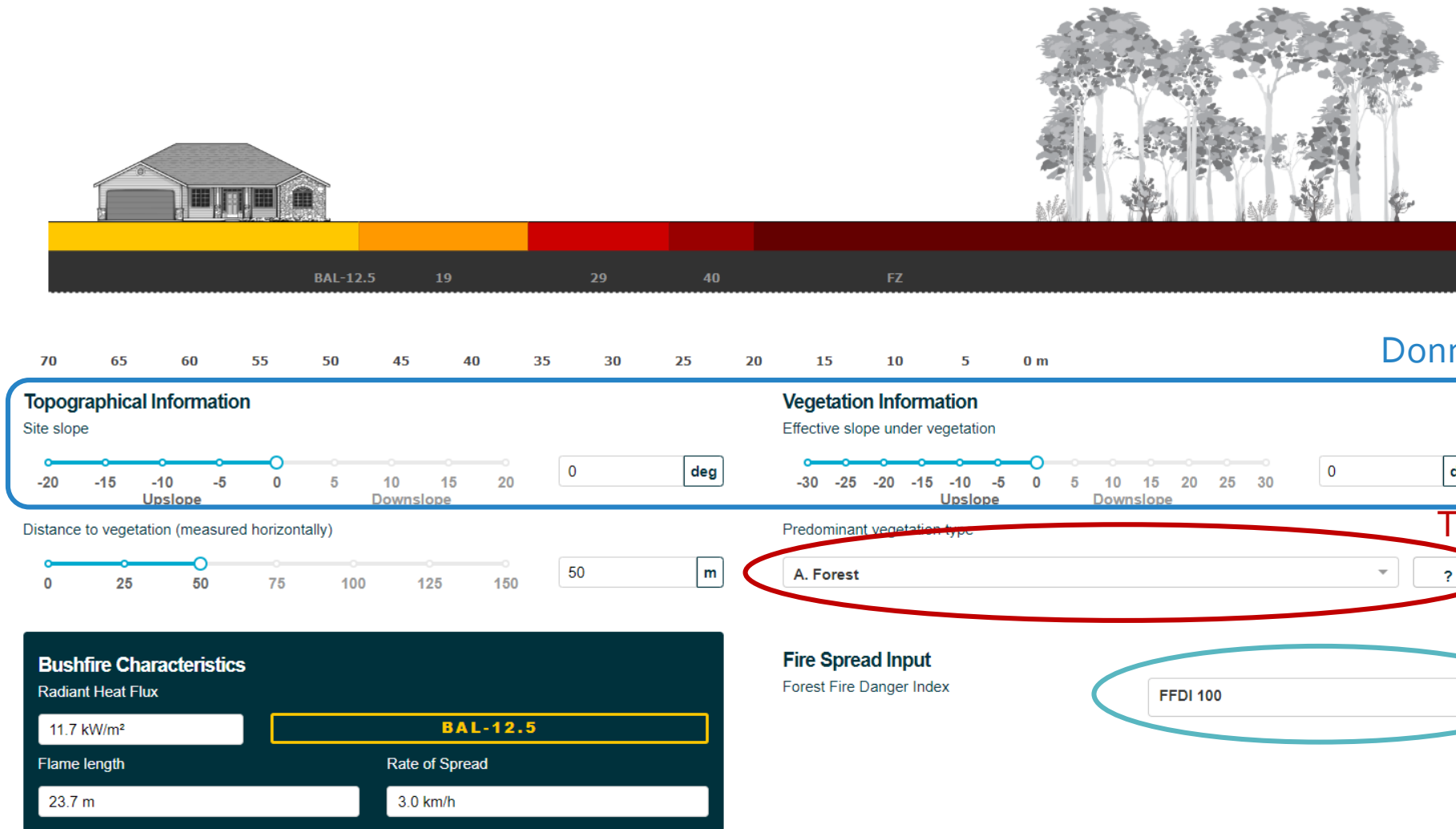
Données topographiques  
des lieux

Type de végétation



## 2.1. Courbes de flux de chaleurs associées aux foyers primaires issues de l'AS3959:2009

Données issues du calculateur australien



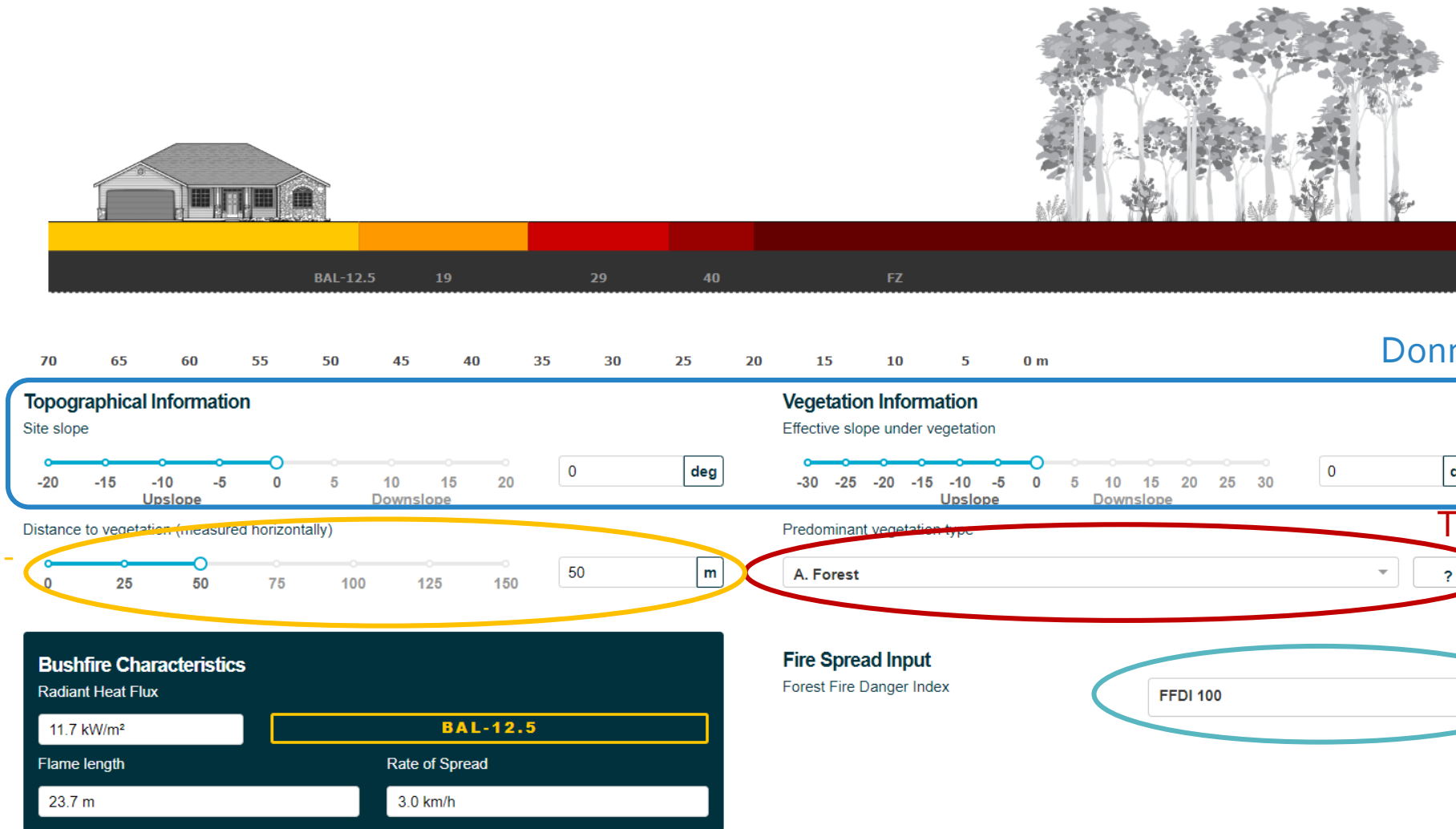
Données topographiques  
des lieux

Type de végétation

Indice de  
dangerosité « feu-  
météo »

## 2.1. Courbes de flux de chaleurs associées aux foyers primaires issues de l'AS3959:2009

Données issues du calculateur australien



Données topographiques  
des lieux

Distance cible -  
végétation

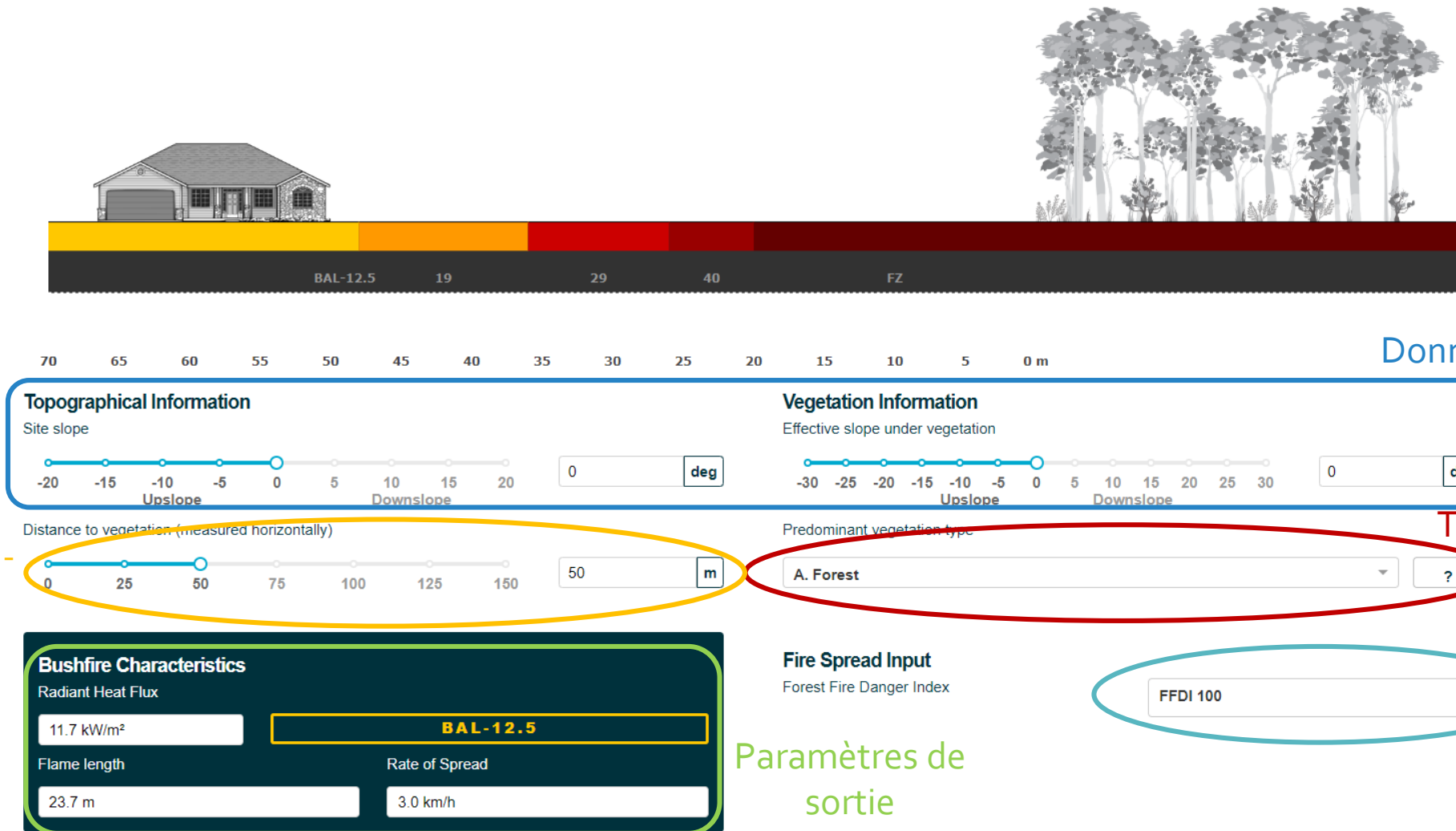
Type de végétation

Indice de  
dangerosité « feu-  
météo »



## 2.1. Courbes de flux de chaleurs associées aux foyers primaires issues de l'AS3959:2009

Données issues du calculateur australien



Données topographiques  
des lieux

Distance cible -  
végétation

Type de végétation

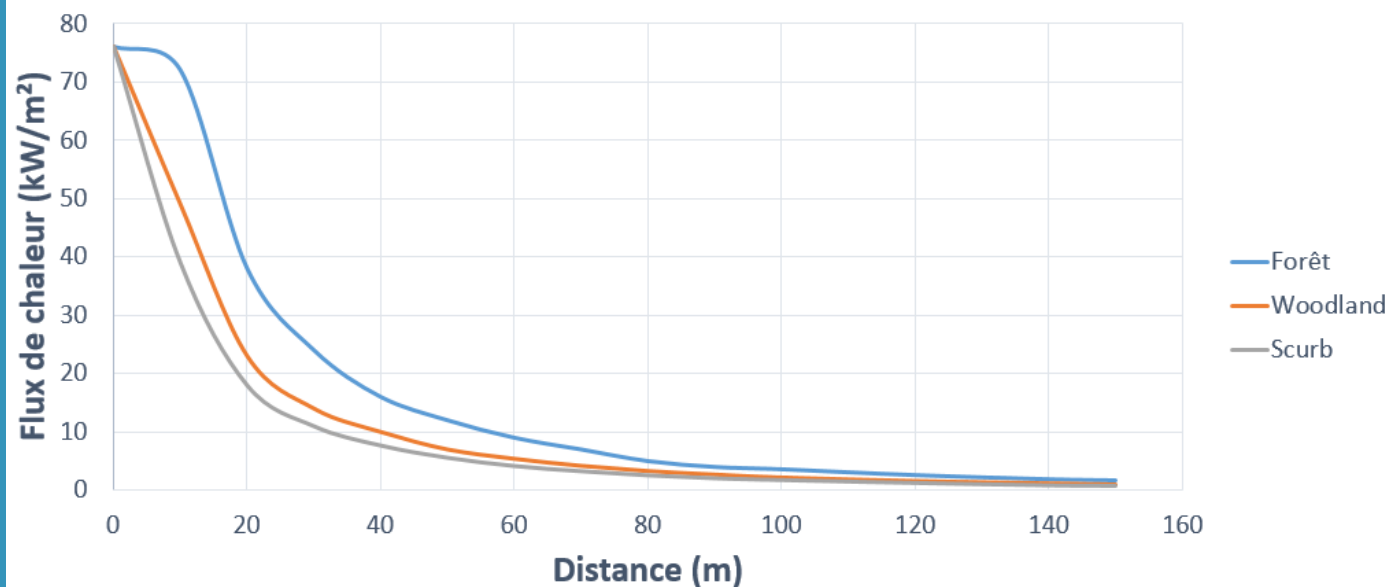
Paramètres de  
sortie

Indice de  
dangerosité « feu-  
météo »

## 2.1. Courbes de flux de chaleurs associées aux foyers primaires issues de l'AS3959:2009\*

Paramètres :

- Pente du terrain : 0°
- Pente de la végétation : 0°
- Indice de dangerosité « feu-météo » : FFDI 100
- Mur de flammes de 100m de long



### • Forêt :

Arbres de 10 à 30m de haut avec 30 à 70% de couvert végétal.

Couches de végétation à plusieurs hauteurs, sol herbeux avec arbustes.

Composée principalement d'eucalyptus et de pins.

ROS = 3 km/h, hauteur de flamme = 24m

### • Woodland :

Arbres de 10 à 30m de haut avec 10 à 30% de couvert végétal.

Peu de couches intermédiaires et arbustes isolés.

Composé généralement d'eucalyptus et/ou de callistris.

ROS = 1,8 km/h, hauteur de flamme = 15m

### • Scrub :

Arbustes de plus de 2m de haut avec une végétation presque continue du sol vers le haut.

Espèces communes : banksia et melaleuca.

ROS = 4,2 km/h, hauteur de flamme = 12m

Callistris

Banksia



Melaleuca



Eucalyptus



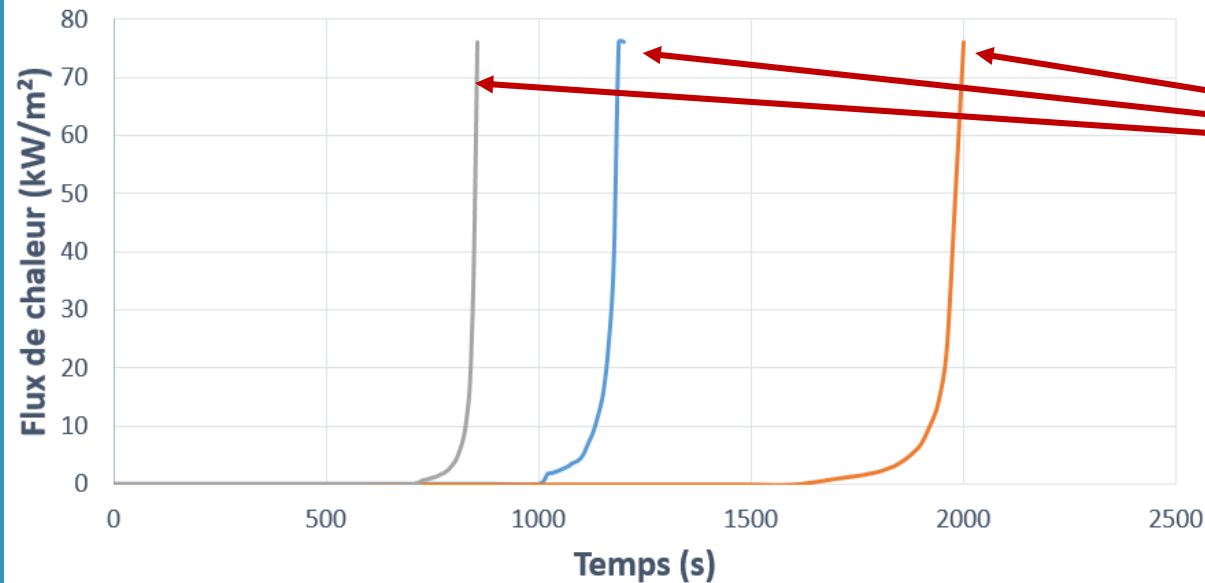
32 èmes journées du Groupe du RésoFeux - Juillet 2023

\* Australian Standard 3959:2009 – Construction of building in bushfire-prone areas



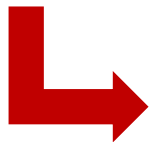
## 2.1. Courbes de flux de chaleurs associées aux foyers primaires issues de l'AS3959:2009

Suivi d'un front de flammes (mêmes conditions que précédemment) situé à 1km de la cible



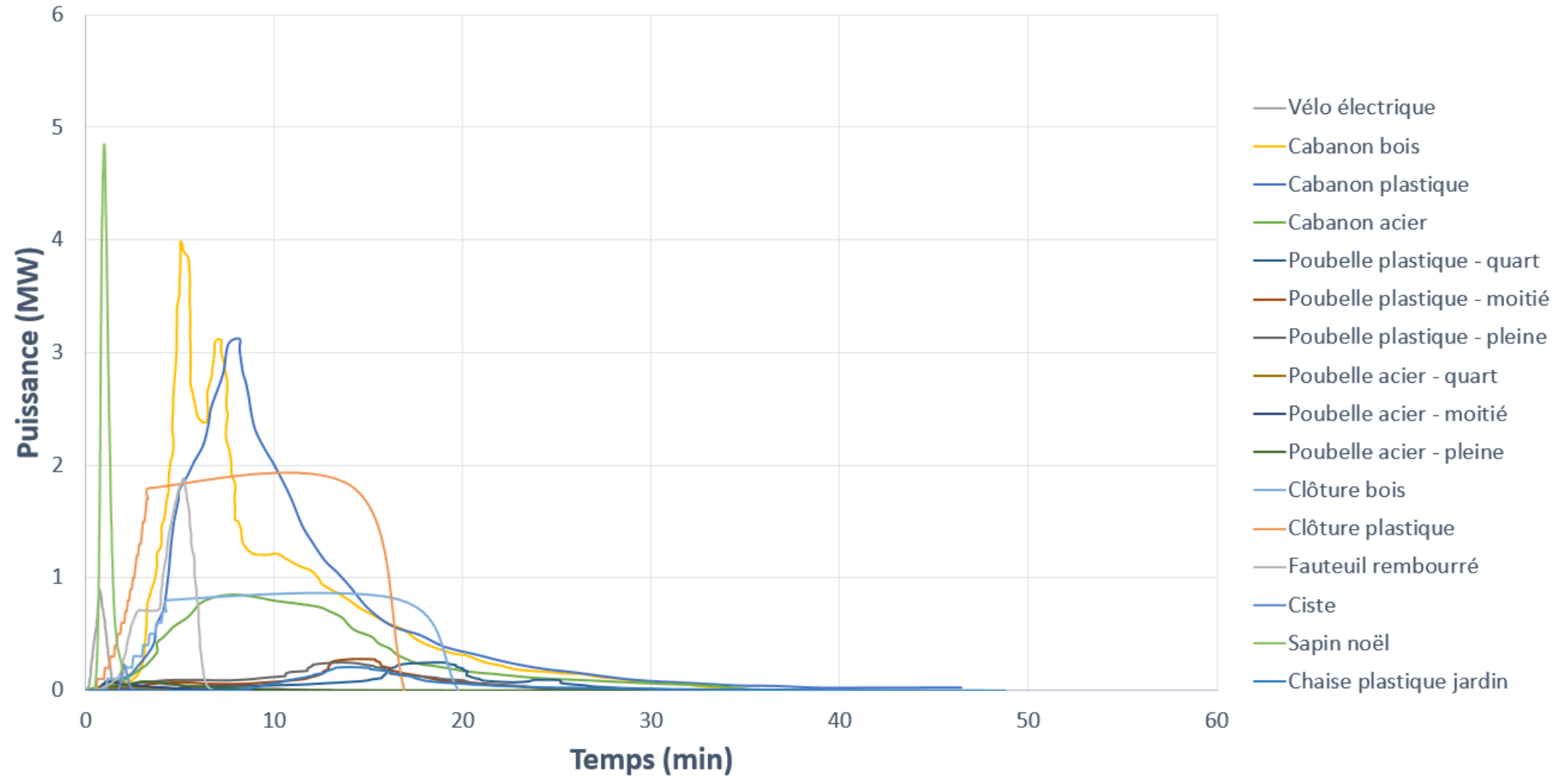
Contact flammes-façade

- **Forêt :**  
ROS = 3 km/h, hauteur de flamme = 24m
- **Woodland :**  
ROS = 1,8 km/h, hauteur de flamme = 15m
- **Scrub :**  
ROS = 4,2 km/h, hauteur de flamme = 12m



Exposition brève (max 4'40") mais intense

## 2.2. Détermination de courbes de puissance associées aux foyers secondaires issues de la littérature\*

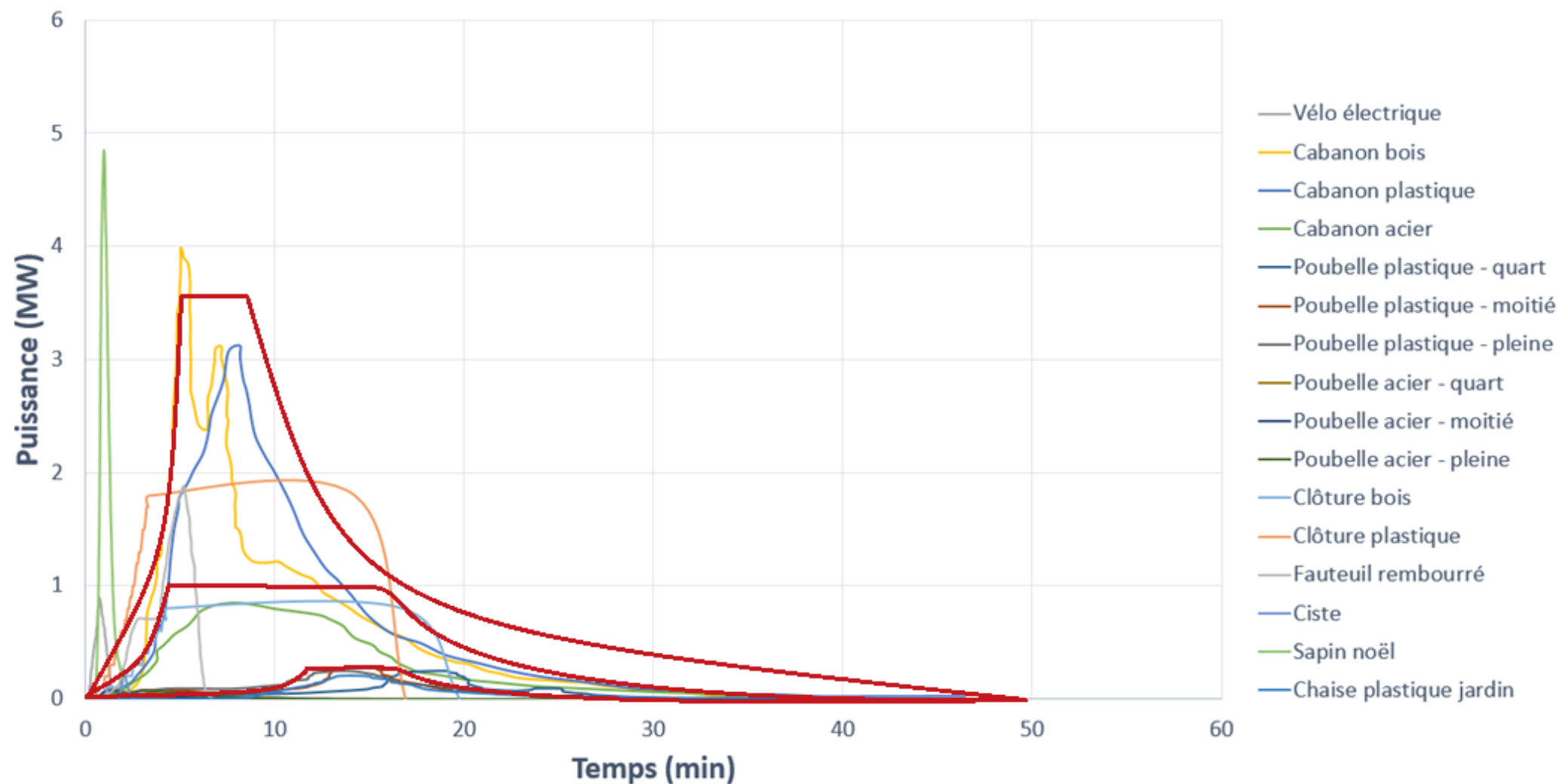


- NIST Technical Note 2235, Structure separation experiments: shed burns without wind
- NIST, Fire Calorimetry Database
- SFPE Handbook



## 2.2. Courbes de puissance associées aux foyers secondaires issues de la littérature

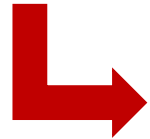
### Définition de courbes enveloppes



## 2. 3. Comparatif des expositions

Elles diffèrent de par :

- Les échelles de temps très différentes entre sources primaires et secondaires (5' pour les foyers primaires contre 20' à 30' pour les secondaires)
- La capacité à se propager ou non (ROS pour les foyers primaires, pas cette notion pour les foyers secondaires)
- Les niveaux des flux de chaleur rencontrés
- La durée des expositions



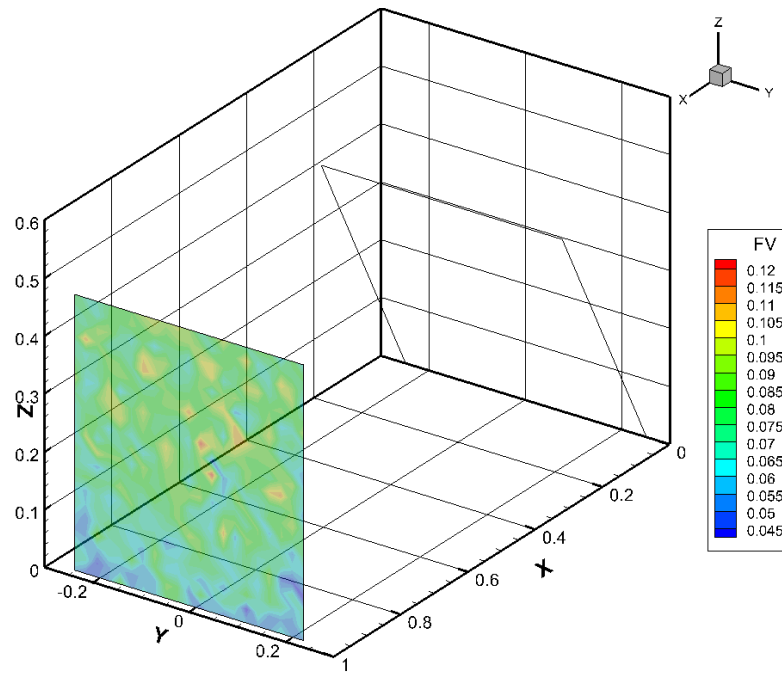
Nécessité de trouver un moyen de prendre en compte ces expositions très variées

### 3. Détermination du flux reçu par la cible

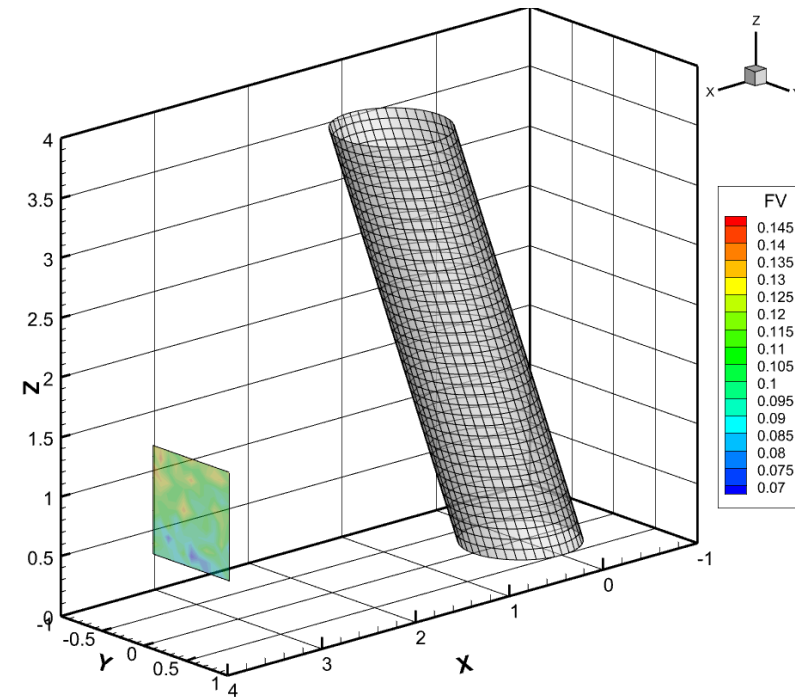
A partir des courbes de HRR : détermination du flux reçu par une cible à différentes distances à l'aide d'un algorithme type Monte-Carlo.

Plusieurs configurations :

- Panneau radiant inclinable par rapport à la verticale
- Flamme cylindrique inclinable par rapport à la verticale, hauteur de flamme variable au cours du temps



Radiant de dimensions 0,5m\*0,5m,  $\alpha = 30^\circ$   
Cible de dimensions 0,5m\*0,5m

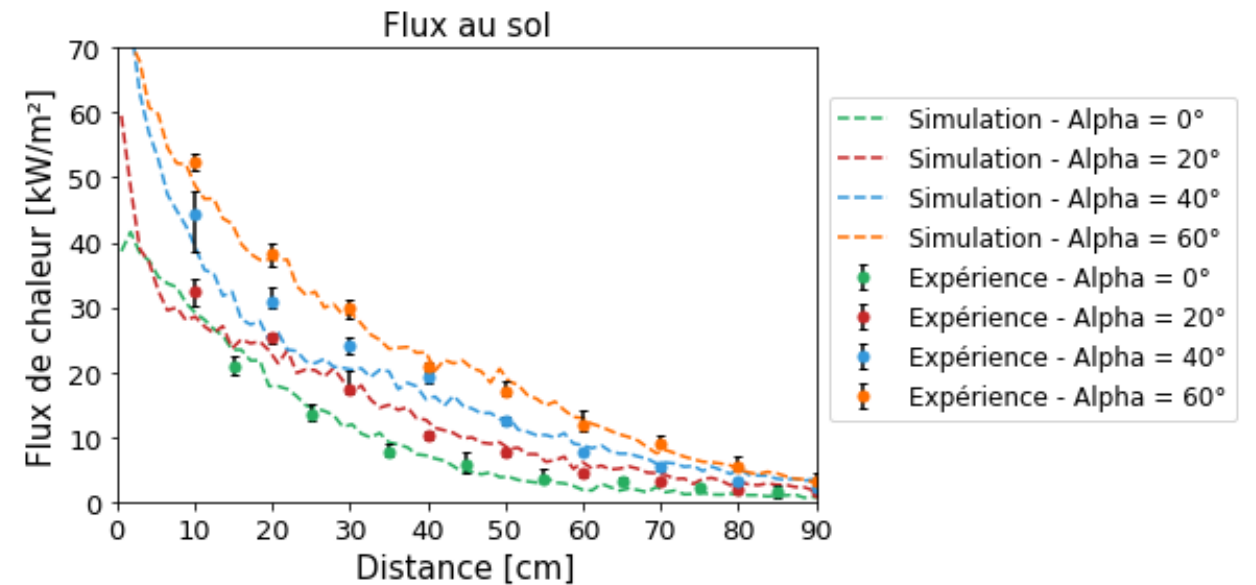
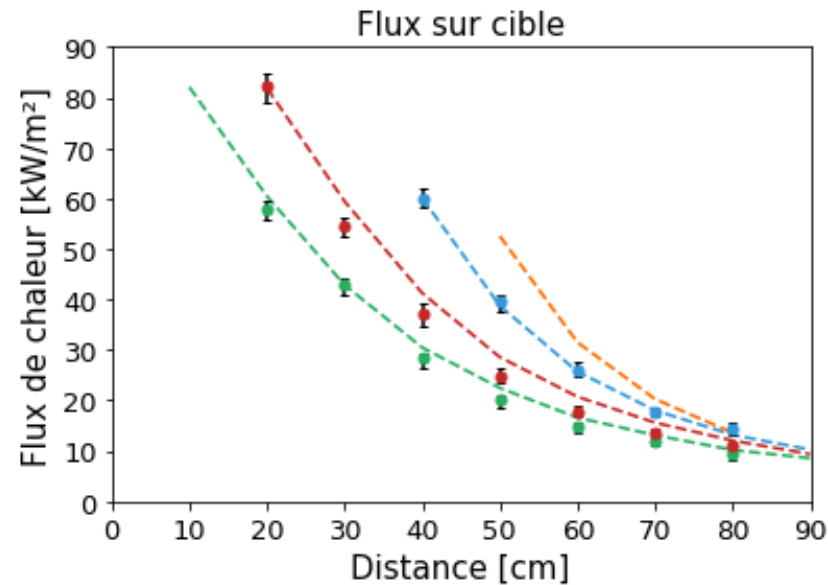


Flamme de 4m de haut, 1m de diamètre  
Cible de dimensions 1m\*1m



## Validation - Panneau radiant

Mesure de flux au sol et sur une cible pour des angles variant entre  $0^\circ$  et  $60^\circ$



## 4. Flux-Time Product (FTP) méthode\*

Variable qui permet de décrire la quantité de flux de chaleur emmagasinée par le matériau au cours du temps

$$FTP = \int_0^{t_{ex}} (\dot{q}_i'' - \dot{q}_{cr}'')^{n*} dt$$

Avec :

- $\dot{q}_{cr}''$  : le flux critique d'inflammation
- $\dot{q}_i''$  : le flux incident reçu au cours de l'exposition
- $n$  : coefficient lié au matériau

Lorsque  $FTP > FTP_{cr}$  : inflammation du matériau

Les paramètres  $\dot{q}_{cr}'', n$  et  $FTP_{cr}$  peuvent être déterminés à l'aide d'essais en cône calorimètre

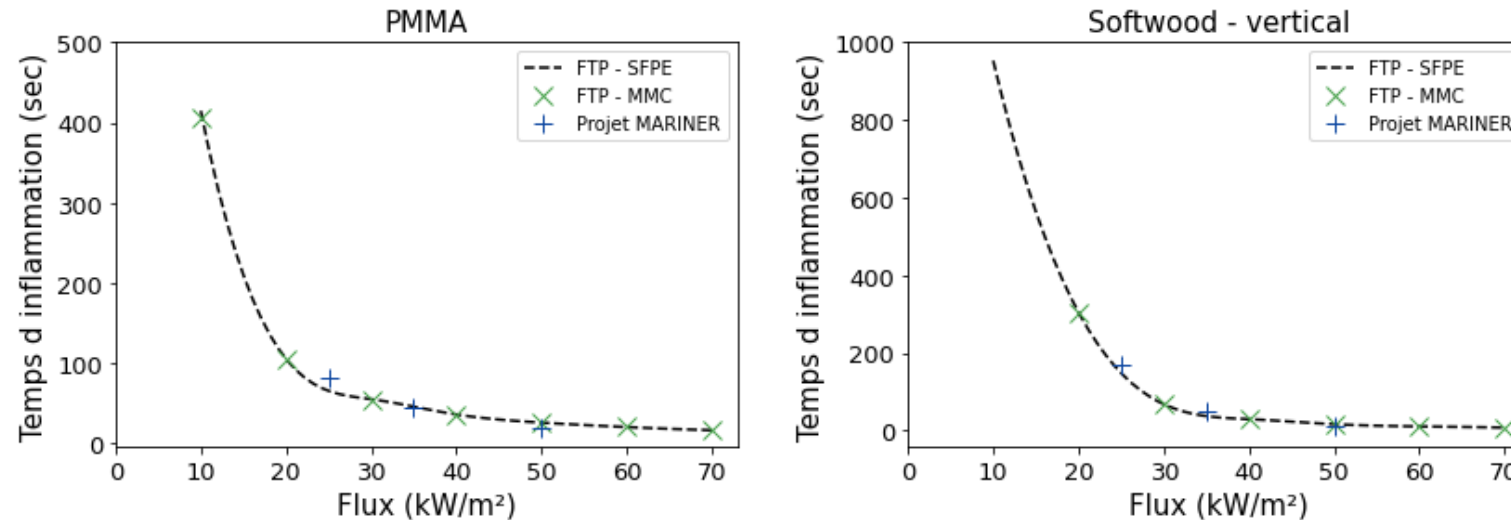
\* Smith, 1983 – Release rate model for developing fires  
Shields, 1994 – Evaluating ignition data using the Flux Time product

# 5. Introduction du critère FTP dans un code type Monte-Carlo

Réalisation de simulations sur du PMMA et du bois dans le cas d'une exposition face à un panneau radiant.

Comparaison des délais d'inflammation pour un flux imposé constant entre :

- Les données issues du SFPE
- Le couplage FTP - Monte Carlo
- Les données expérimentales dans le cadre d'essais en cône calorimètre





## 6. La suite

Sur les courbes enveloppes :

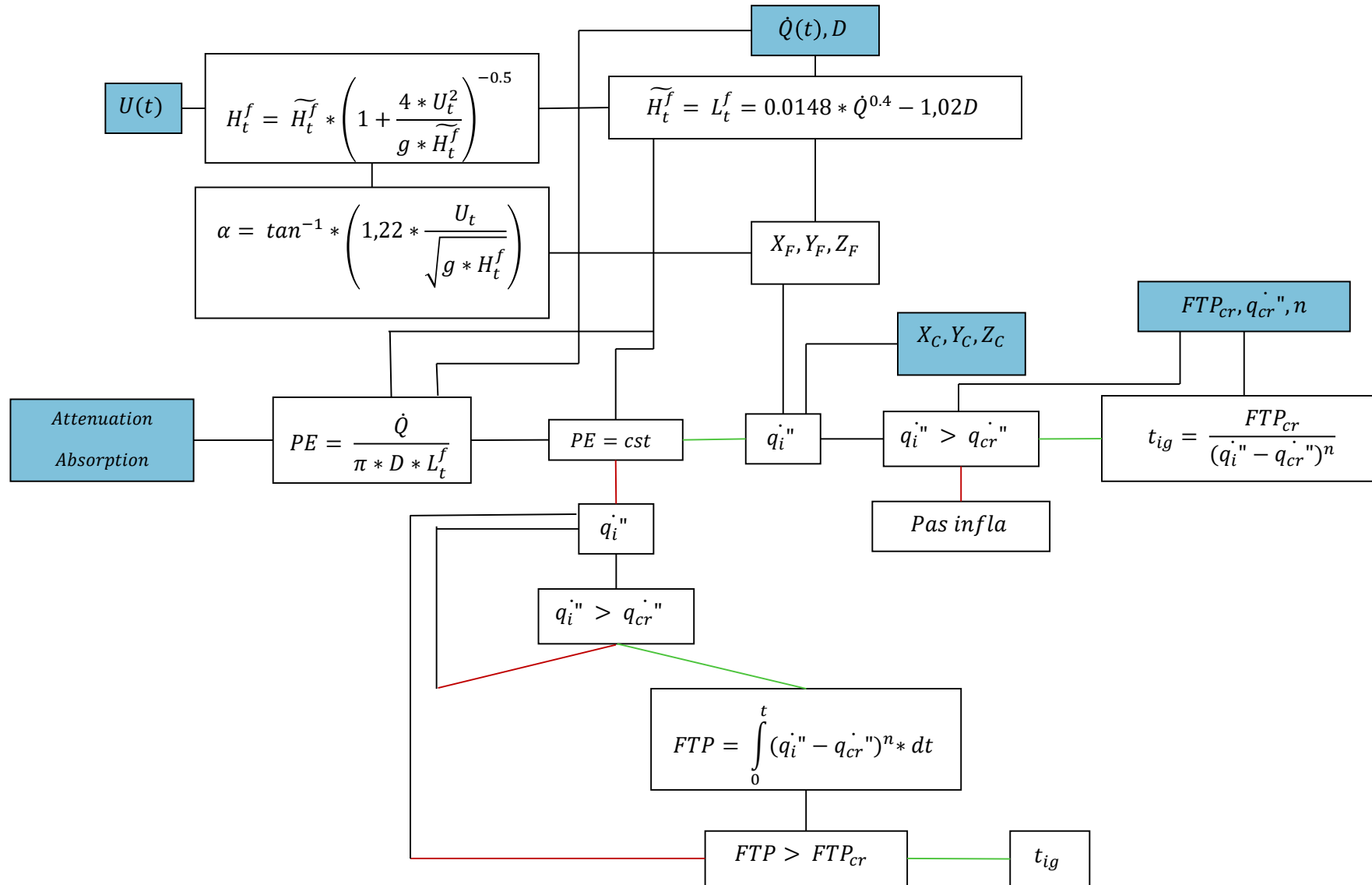
- Reproduire le même type de courbes que dans la norme australienne

Concernant le calcul des délais d'inflammation :

- Réalisation d'essais en cône calorimètre pour obtenir les paramètres du FTP des matériaux retenus
- Validation des modèles sur les matériaux retenus

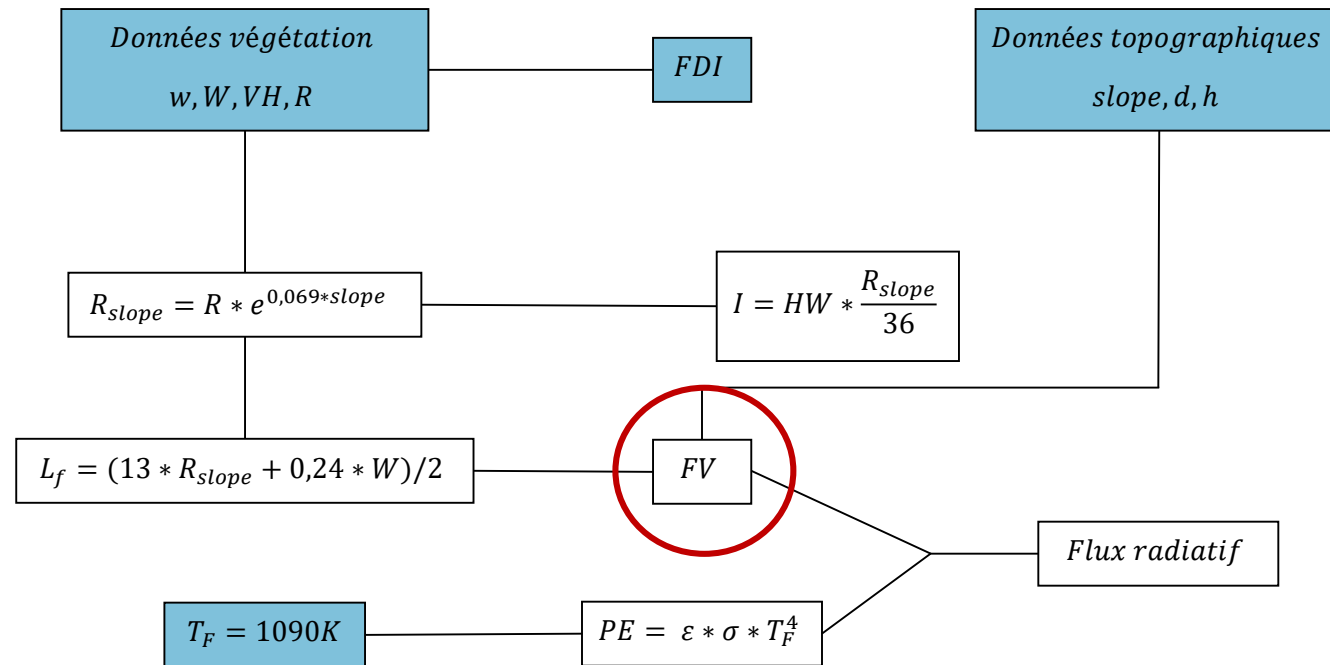
**Merci**  
**Des questions ?**


# Logigramme – Algorithme Monte-Carlo + FTP





# Calcul de flux – AS3959:2018



 Boucle itérative pour calculer le FV le plus grand

$w$  : charge combustible partie basse (t/ha)  
 $W$  : charge de combustible totale (t/ha)  
 $VH$  : hauteur végétation (m)  
 $R$  : vitesse de propagation (m/sec)  
 $I$  : intensité ligne de feu (kW/m)  
 $H$  : enthalpie de combustion (18,6 MJ/kg)

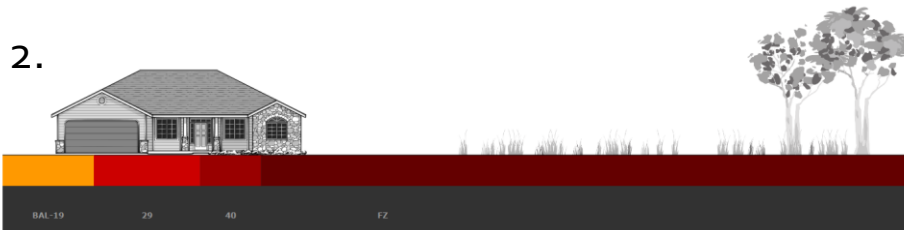
# Les types de végétations dans l'AS3959:2009

1. Forêt : composée principalement d'eucalyptus et de pins, hauteur des arbres entre 10m et 30m, couvert végétal entre 30 et 70%, différents étages de végétation.
2. Woodland : composé principalement d'eucalyptus et de callistris, hauteur des arbres entre 10m et 30m, couvert végétal entre 10 et 30%, un étage de végétation, présence d'arbustes au sol.
3. Maquis : arbres de moins de 2m de haut, présence d'herbe au sol.
4. Forêt de broussailles : arbres de plus de 2m, végétation continue depuis le sol. Composé souvent de banksia et melaleuca.
5. Forêt tropicale : arbres avec un couvert végétal supérieur à 90%, de nombreuses espèces au sol peuvent être présentes.
6. Herbe

1.



2.



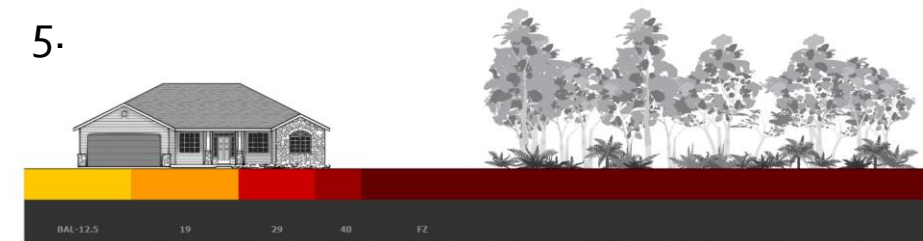
3.



4.



5.



# Fire Index Danger

