

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

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

Institut Pprime – Efectis France



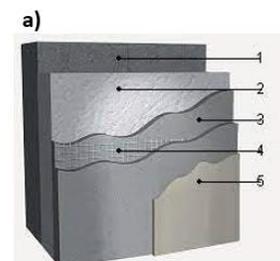
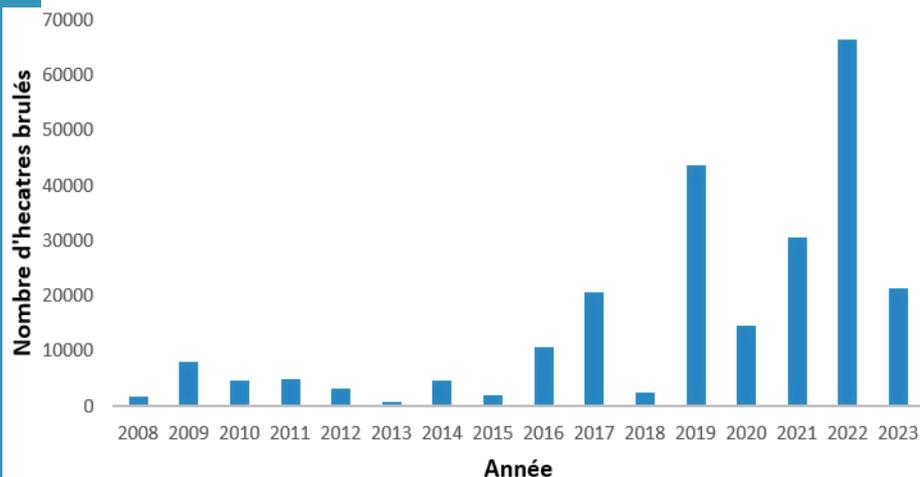
Sommaire

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



1. Support
2. Isolant PSE
3. Mortier de base
4. Maille
5. Mortier décoratif



1. Support
2. Montant de l'ossature
3. Rail de fixation
4. Isolant
5. Bardage



1. Support
2. Rail de fixation
3. Élément de vêture

- 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



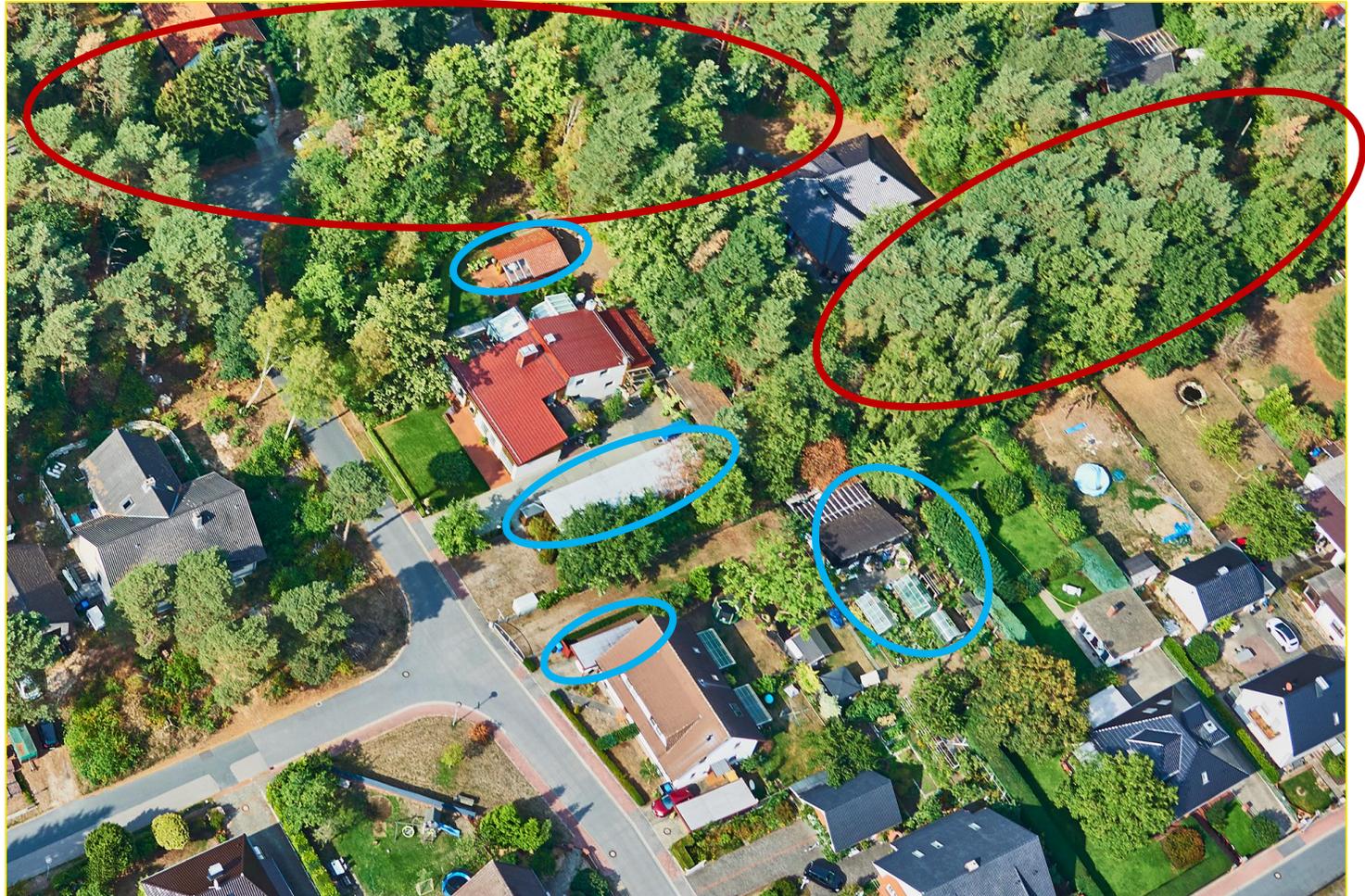
2. Les types d'exposition au feu

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



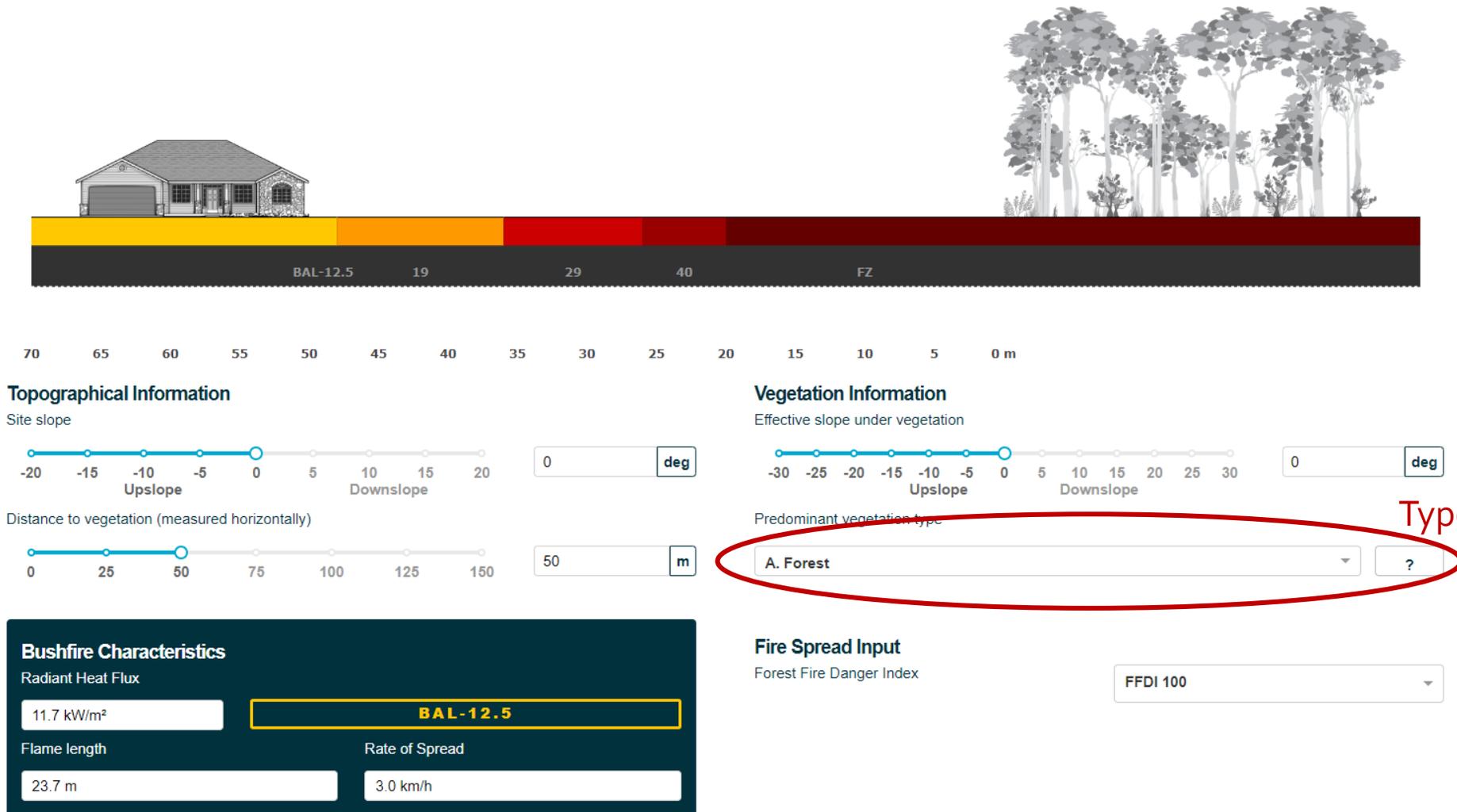
2. Les types d'exposition au feu

- 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

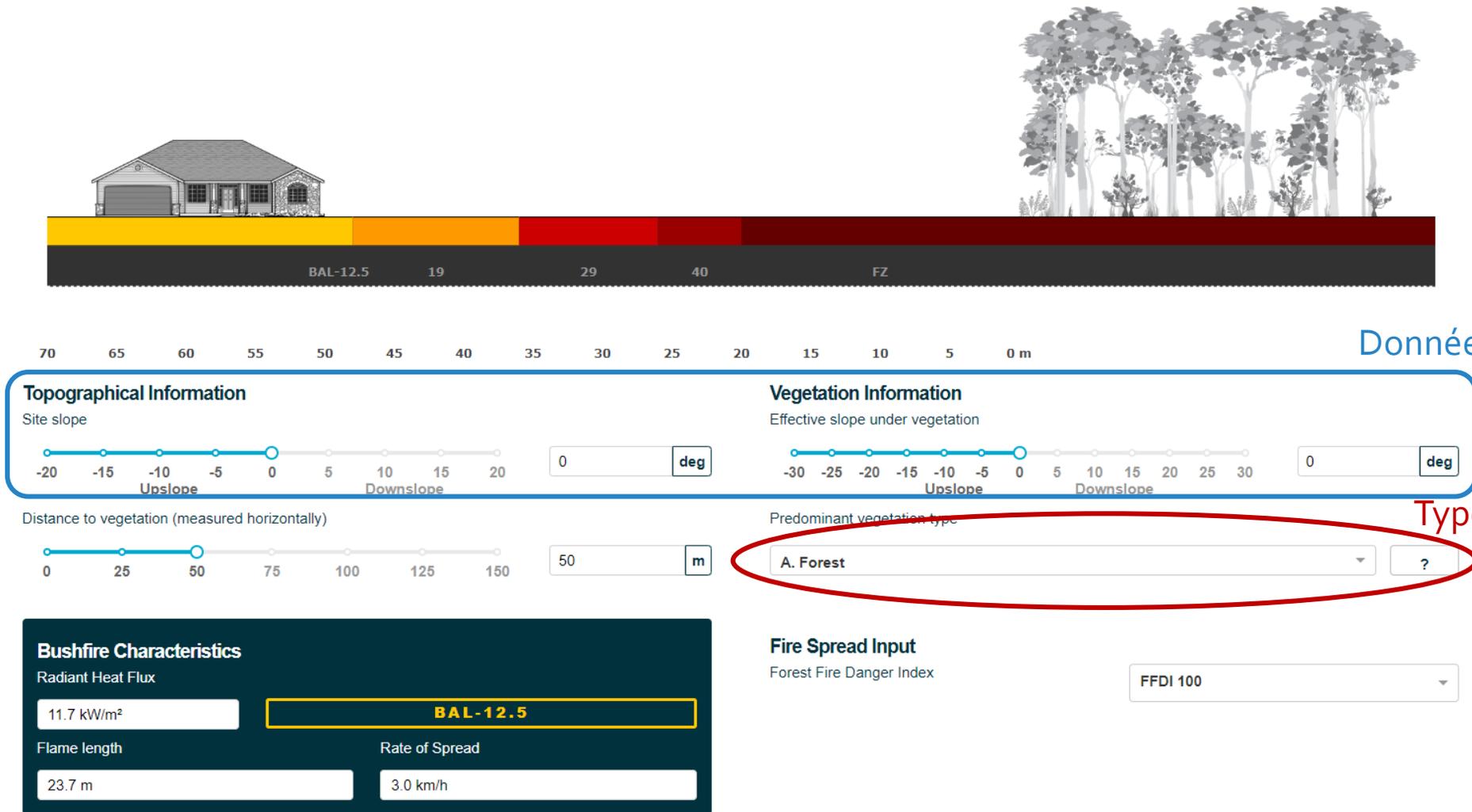
Données issues du calculateur australien



Type de végétation

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

Données issues du calculateur australien

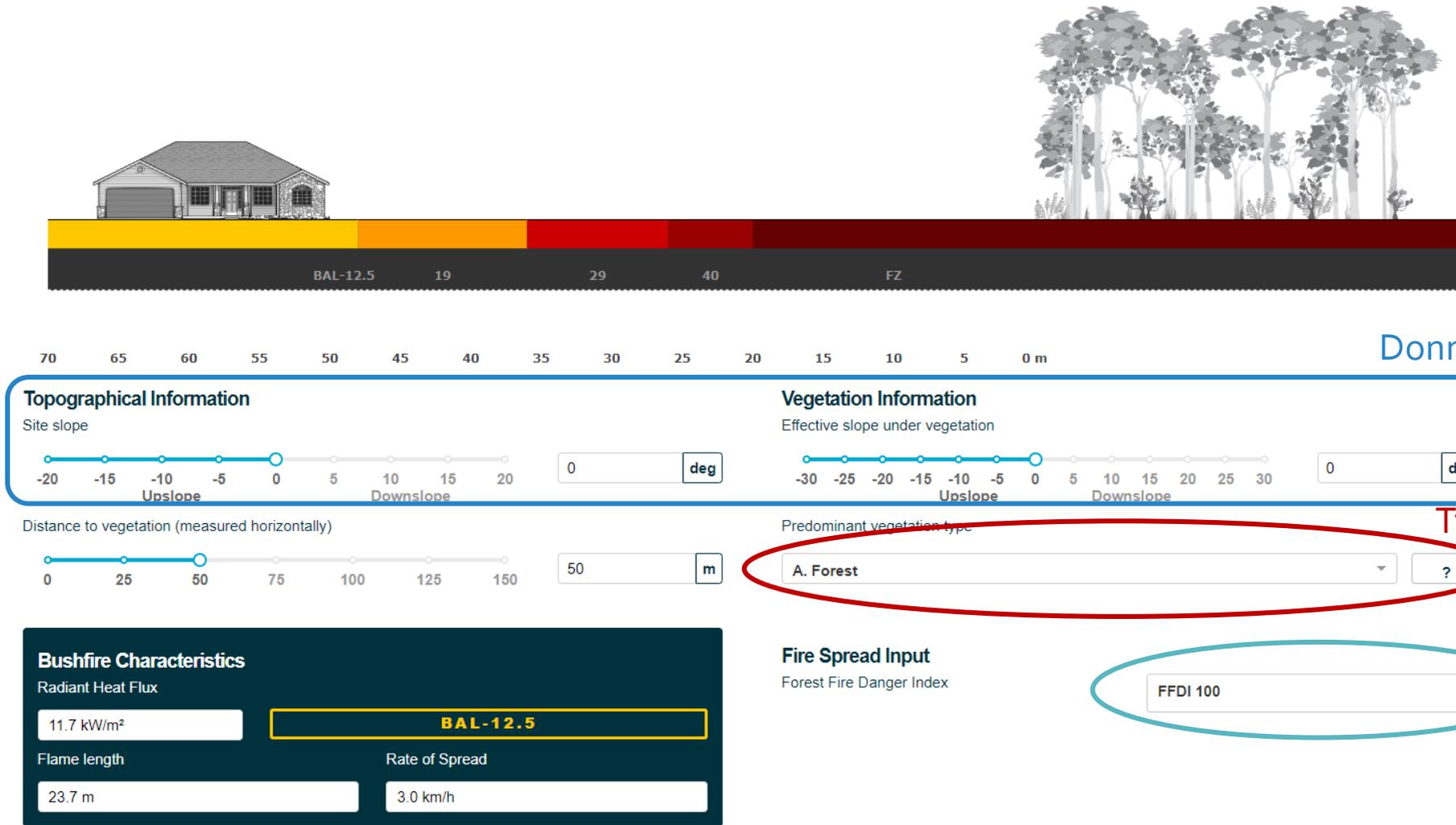


Données topographiques des lieux

Type de végétation

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

Données issues du calculateur australien



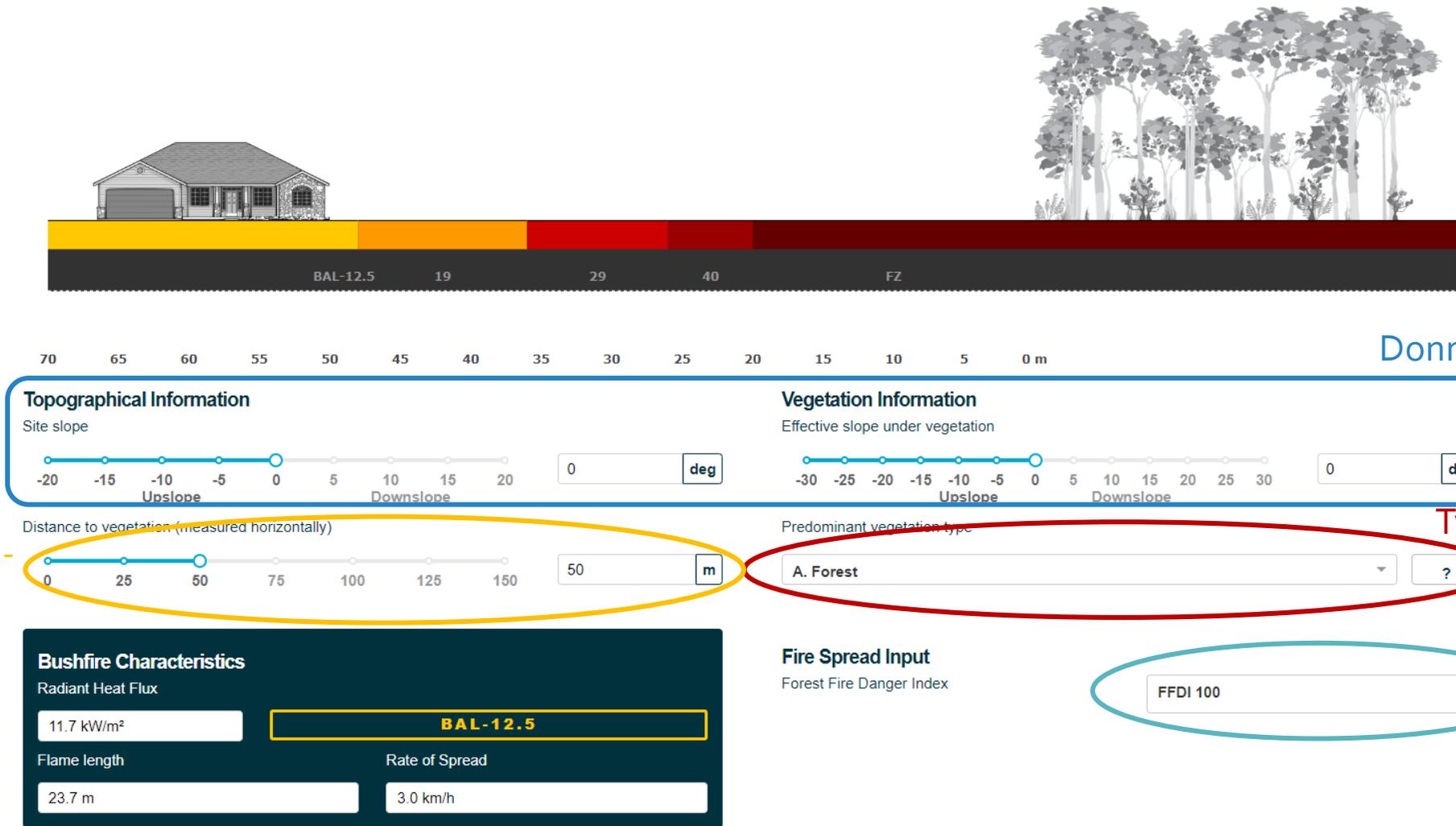
Données topographiques des lieux

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

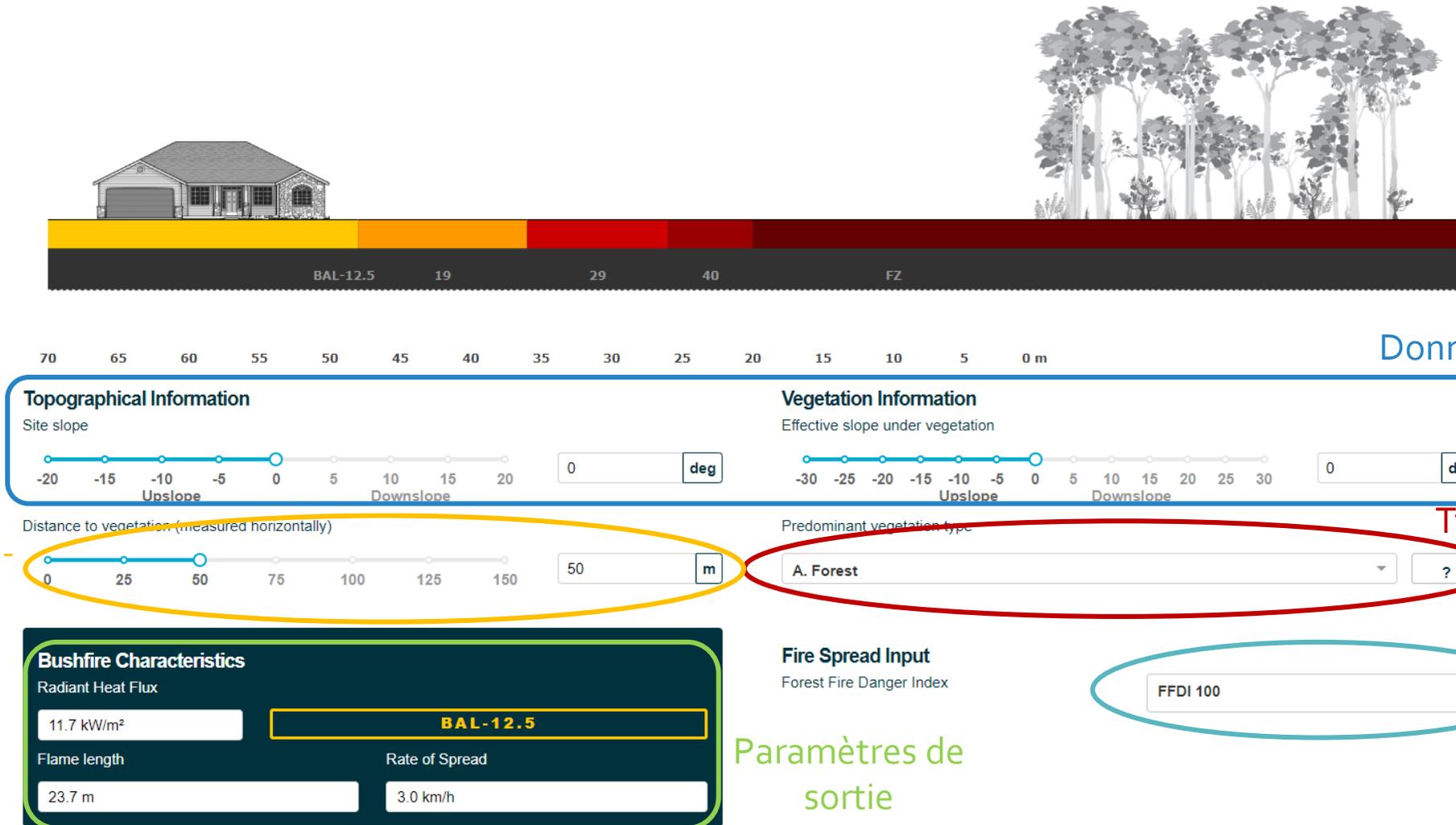
Type de végétation

Distance cible - 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

Type de végétation

Distance cible - végétation

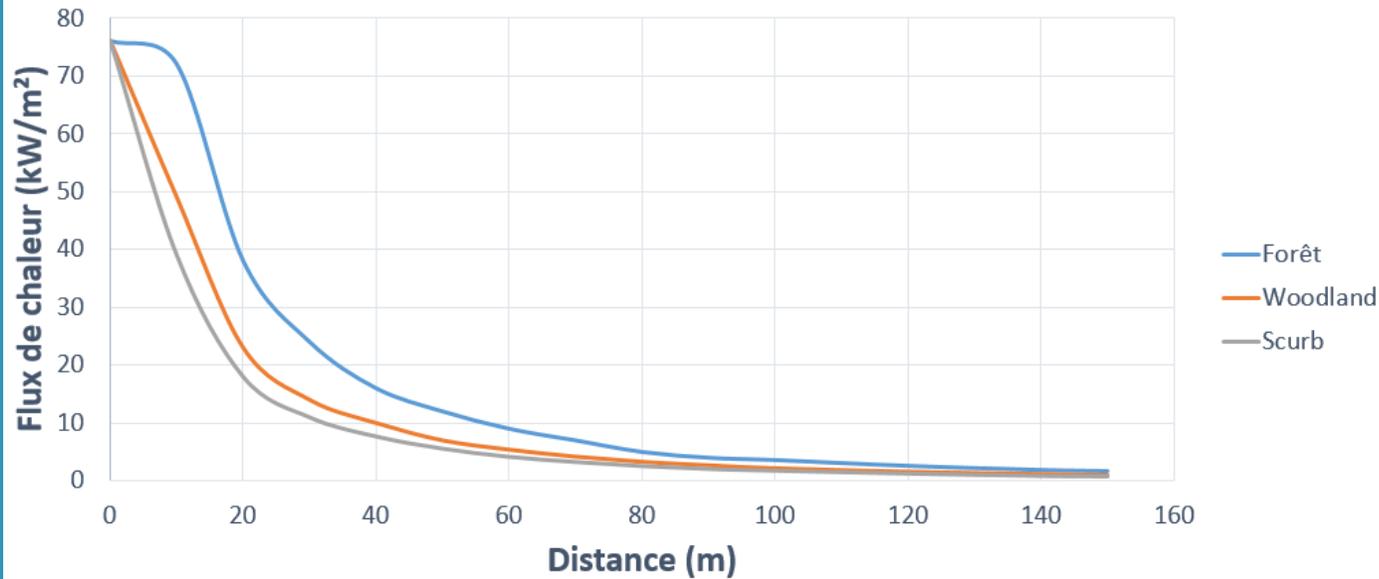
Indice de dangerosité « feu-météo »

Paramètres de sortie

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

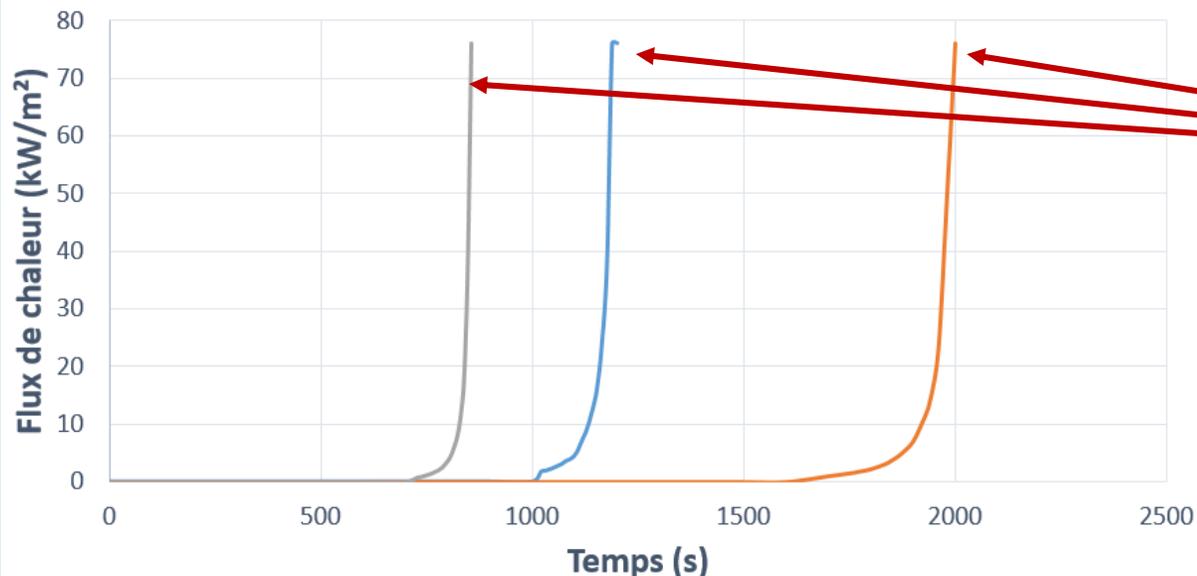


32 èmes journées du Groupe du RésoFeux - Juillet 2023

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

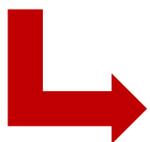
2.1. Courbes de flux de chaleurs associées aux foyers primaires issues de l'AS3959:2009

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



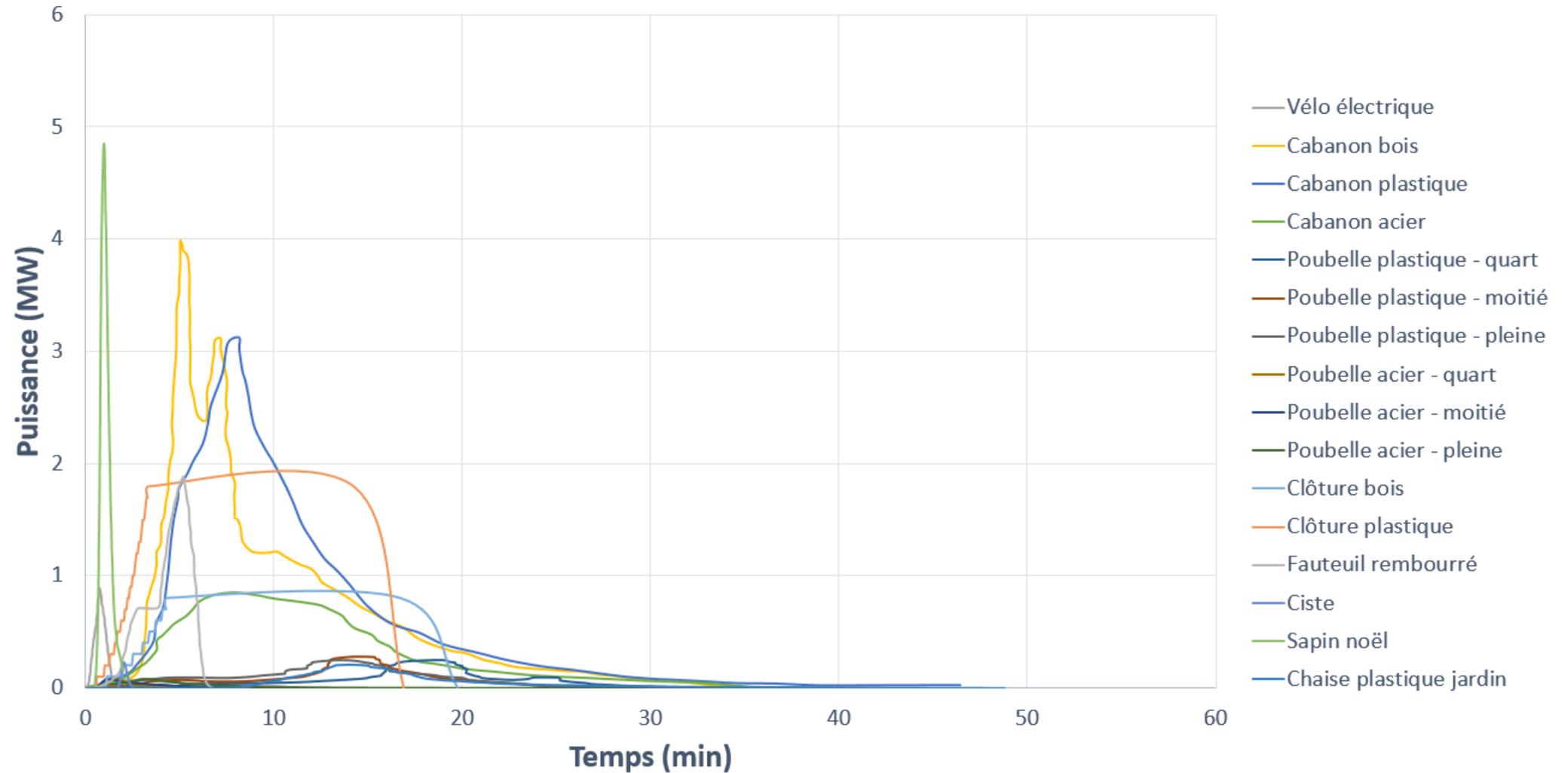
Contact flammes-façade

- **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

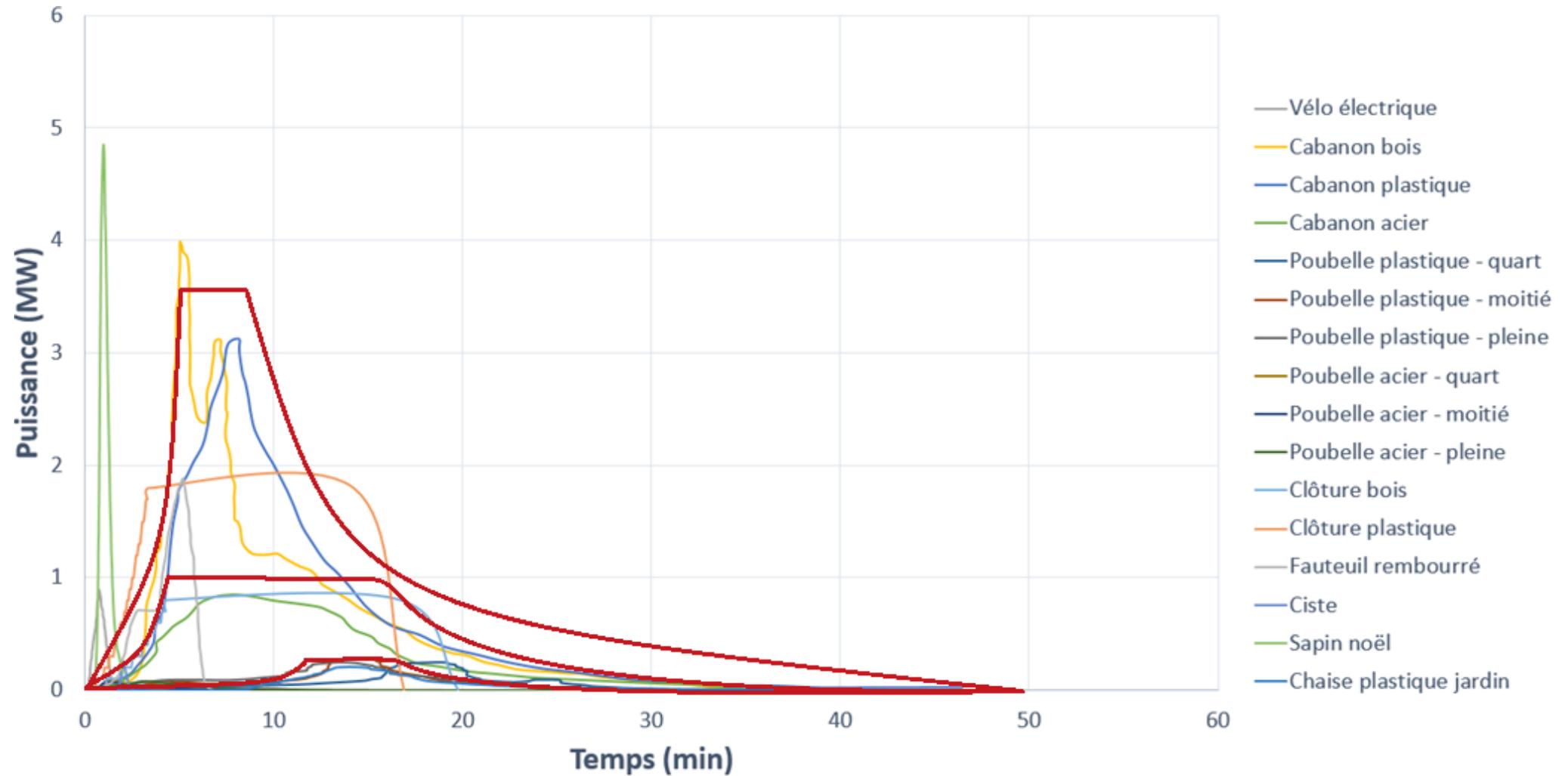
2.2. Détermination de courbes de puissance associées aux foyers secondaires issues de la littérature*



- 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

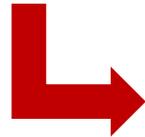
Définition de courbes enveloppes



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



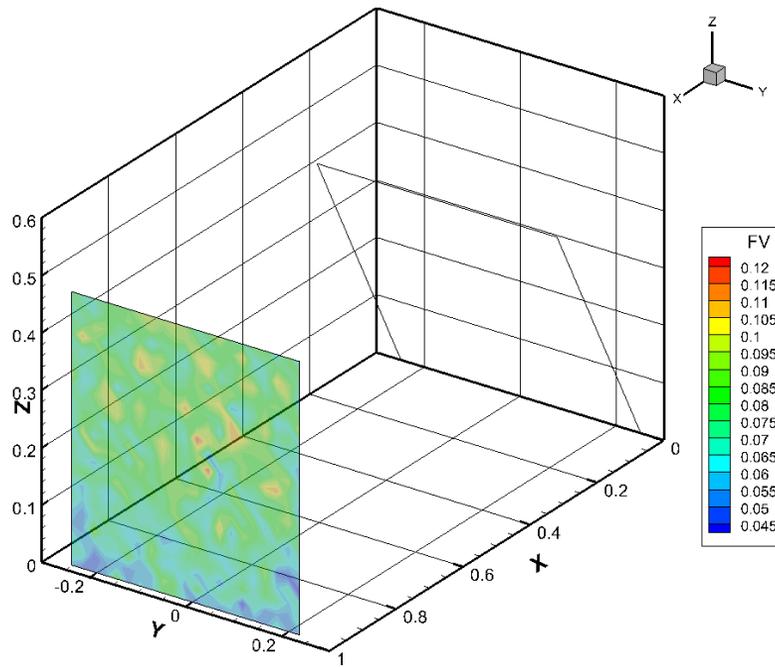
Nécessité de trouver un moyen de prendre en compte ces expositions très variées

3. Détermination du flux reçu par la cible

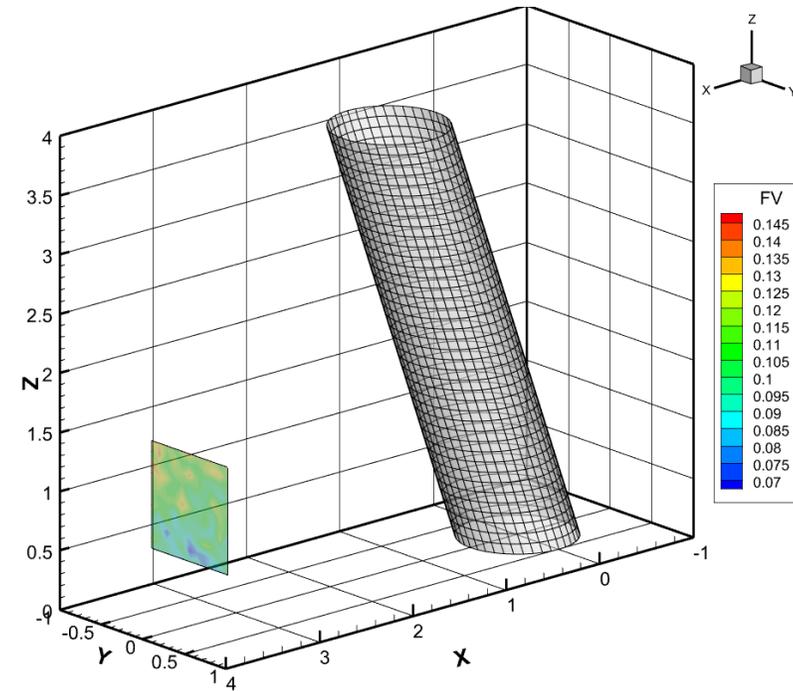
A partir des courbes de HRR : détermination du flux reçu par une cible à différentes distances à l'aide d'un algorithme type Monte-Carlo.

Plusieurs configurations :

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



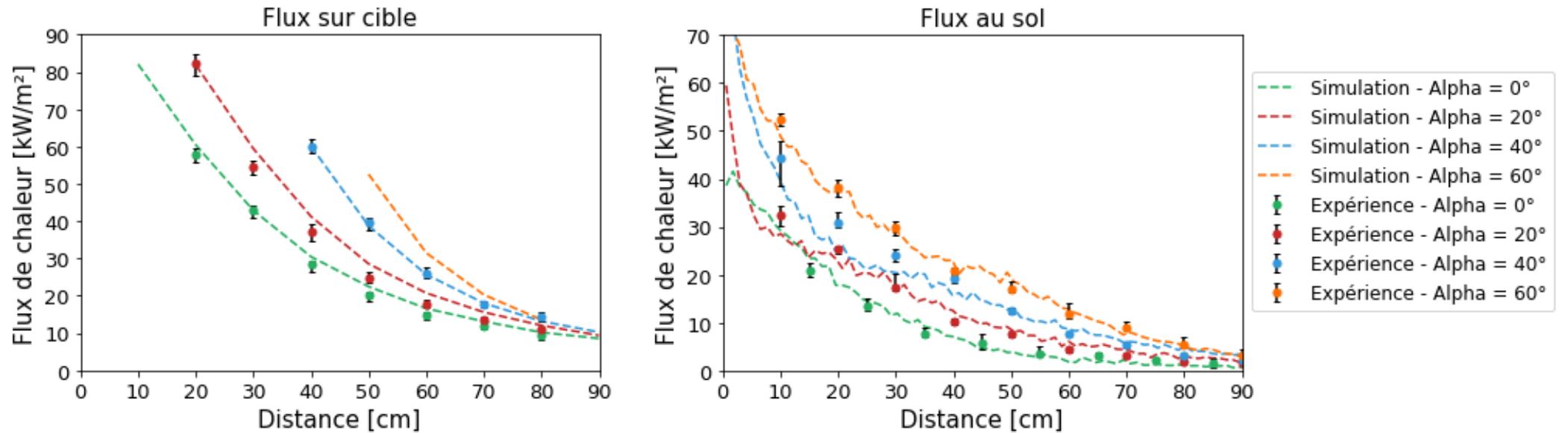
Radiant de dimensions 0,5m*0,5m, $\alpha = 30^\circ$
Cible de dimensions 0,5m*0,5m



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° et 60°



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

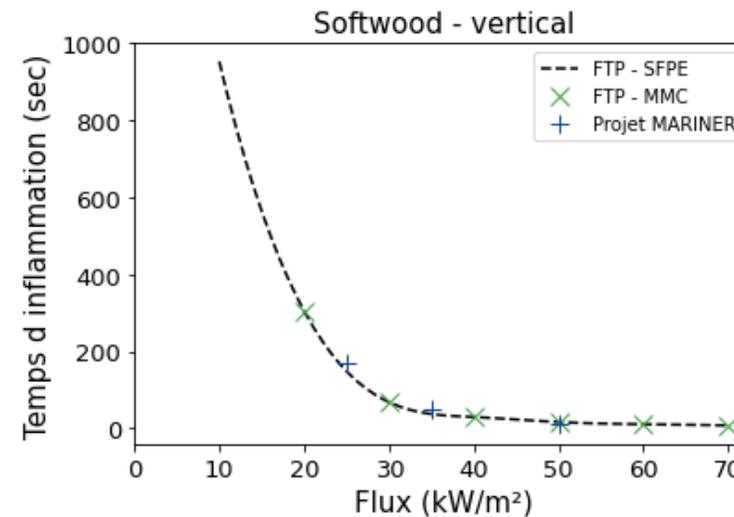
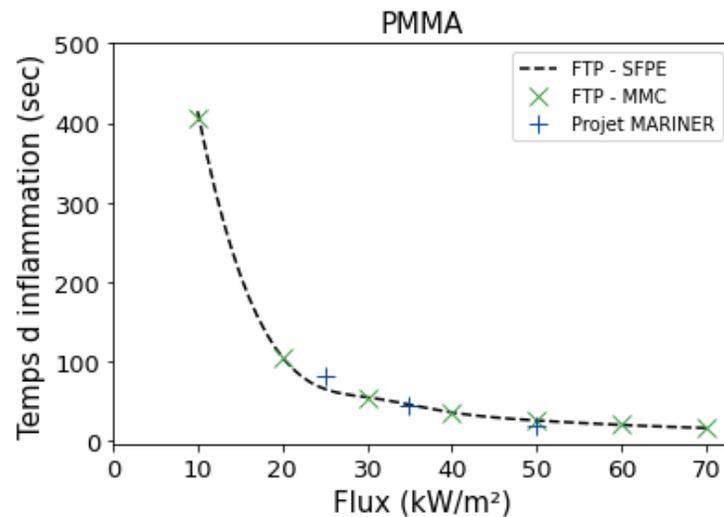
* Smith, 1983 – Release rate model for developing fires
Shields, 1994 – Evaluating ignition data using the Flux Time product

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 :

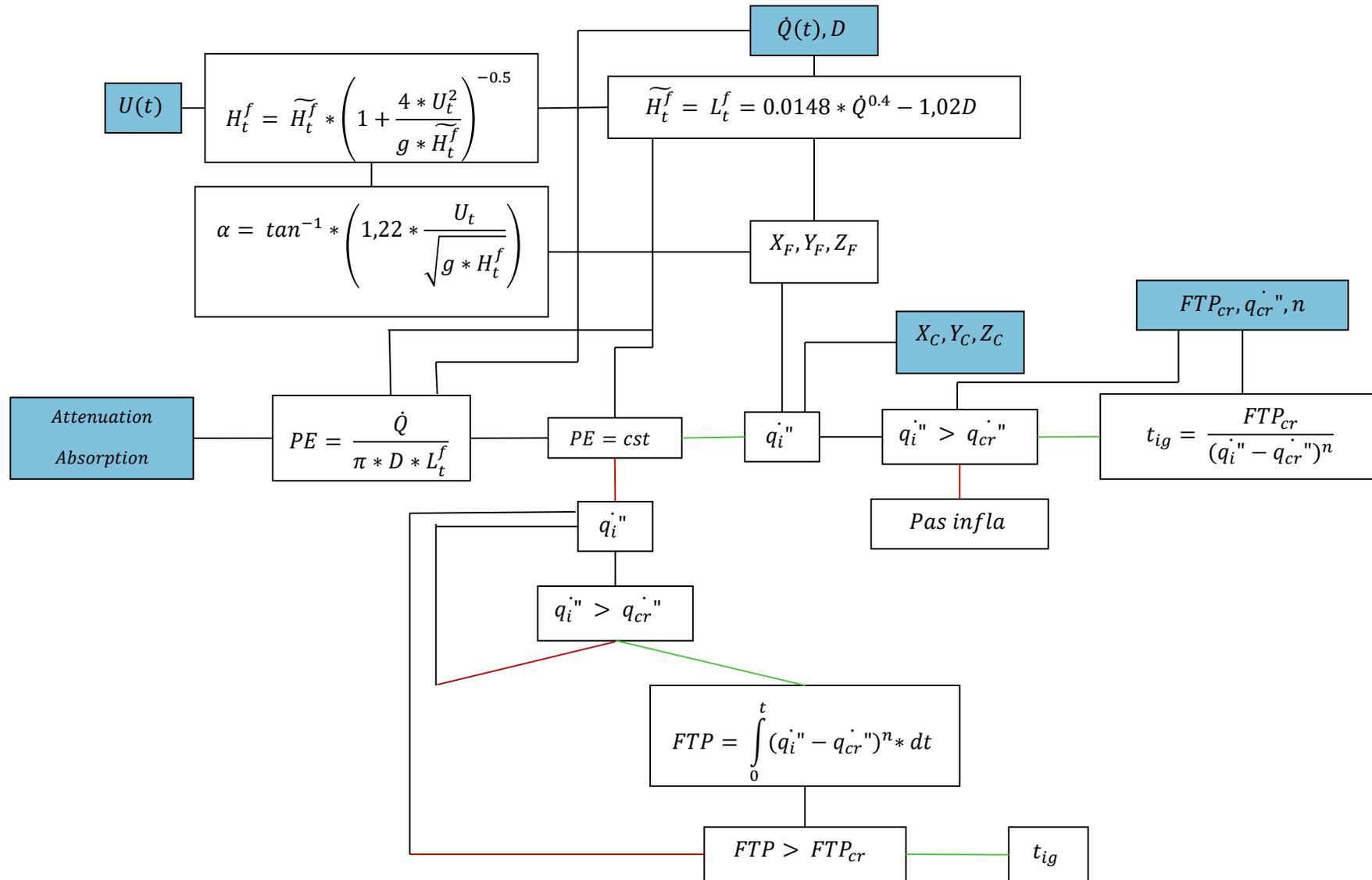
- Reproduire le même type de courbes que dans la norme australienne

Concernant le calcul des délais d'inflammation :

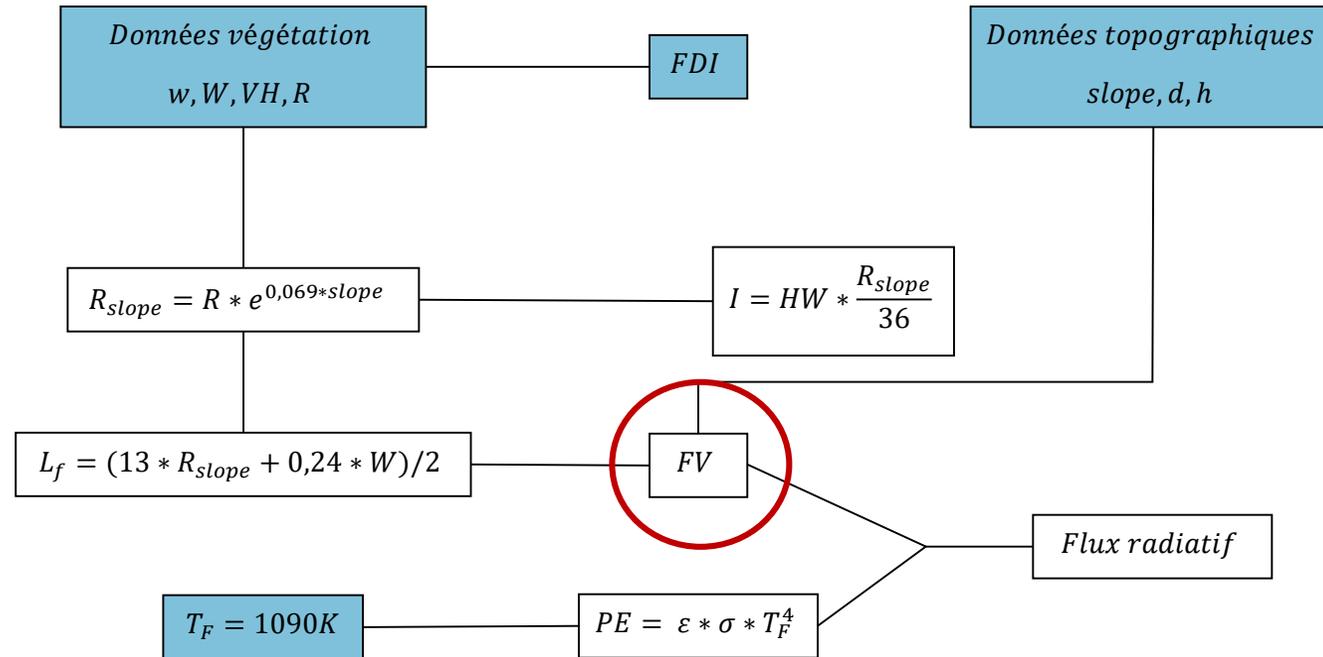
- Réalisation d'essais en cône calorimètre pour obtenir les paramètres du FTP des matériaux retenus
- Validation des modèles sur les matériaux retenus

Merci
Des questions ?

Logigramme – Algorithme Monte-Carlo + FTP



Calcul de flux – AS3959:2018

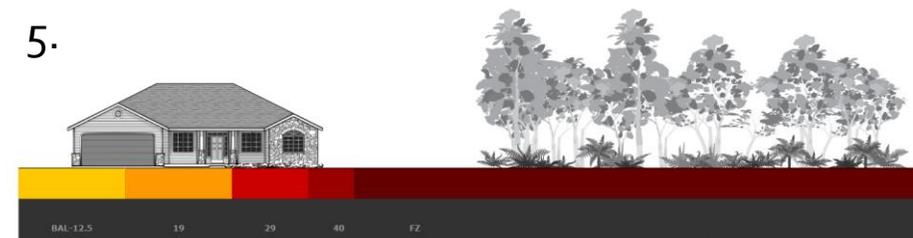
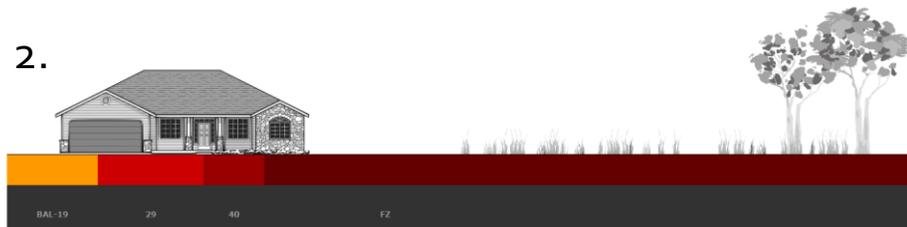
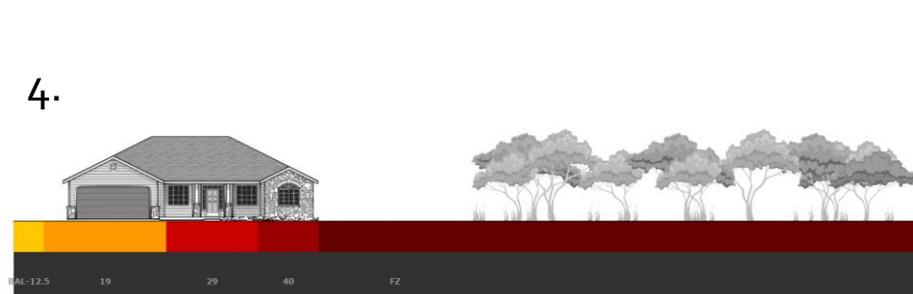


w : charge combustible partie basse (t/ha)
 W : charge de combustible totale (t/ha)
 VH : hauteur végétation (m)
 R : vitesse de propagation (m/sec)
 I : intensité ligne de feu (kW/m)
 H : enthalpie de combustion (18,6 MJ/kg)

 Boucle itérative pour calculer le FV le plus grand

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



Fire Index Danger

