



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 207056 - 2750629 - v1.0

22/11/2022

Utilisation de l'outil Flumilog pour la planification des secours

Table des matières

1	Introduction	5
2	Hypothèses fondatrices de la méthode Flumilog	6
3	Illustration du calcul de la cinétique d'un incendie	8
3.1	Comparaison à l'essai à échelle 1 du projet Flumilog	8
3.2	Cas réel : l'incendie du site Carrefour de Crépy-en-Valois	10
3.3	Application sur une cellule 1510 type	14
3.3.1	Cas de référence	14
3.3.2	Influence du système d'extinction.....	16
4	Limites d'utilisation de Flumilog pour la planification de l'intervention	18

Figure 1 : En haut, projection des flammes sur les parois pour le calcul des flux thermiques ; En bas, influence du vent sur les flammes, vue de côté. 7

Figure 2 : Cartographie des flux calculées et mesurées, ligne continue : 5 kW/m², ligne pointillée : 3 kW/m² 8

Figure 3 : Courbe de puissance calculée pour l'essai à échelle 1 du projet Flumilog 9

Figure 4 : Evolution temporelle des flux thermiques sur deux façades, Ouest (gauche) et Nord (droite). Comparaison mesures (lignes noires) et valeurs calculées à 10 m des façades (points bleus). 9

Figure 5 : Plan de masse du site 10

Figure 6 : Cartographie des flux enveloppe calculée pour l'incendie de la cellule 2 lors de l'incendie de Crépy en Valois. 11

Figure 7 : Cartographie des flux pour un incendie propagé à 3 cellules 12

Figure 8 : Courbe de puissance calculée par Flumilog pour l'incendie de la cellule 2 12

Figure 9 : Comparaison des temps de survenue de différents phénomènes lors de l'incendie. Pour mémoire la notion de fin d'incendie diffère entre les deux lignes temporelles 13

Figure 10 : Photographie de la paroi métallique et des parois REI 120 à la fin de l'incendie 14

Figure 11 : Cartographie des effets thermiques pour une cellule 1510 de 6 000 m²..... 14

Figure 12 : Evolution de la puissance de l'incendie pour le cas d'une cellule 1510 de 6000 m² 15

Figure 13 : Flux thermiques à différents instants pour le cas e référence de l'incendie d'une cellule 1510 de 6 000 m² 16

Figure 14 : Evolution de la puissance pour la cellule 1510 de 6 000 m², illustration de l'influence du sprinkler 17

Résumé

Cette note revient sur les hypothèses fondatrices de l'outil Flumilog et, en se basant sur celles-ci et sur quelques exemples, explique les règles de prudence à tenir lors de l'interprétation des résultats. Il convient de souligner que le logiciel Flumilog a été développé dans le cadre de la maîtrise de l'urbanisation, soit donc pour la protection des tiers au regard de l'implantation des entrepôts. A ce titre, il a été fait notamment le choix d'une cinétique prudente dans l'outil, tant pour la propagation que pour le comportement des parois, afin de maximiser l'étendue des zones pour un flux thermique donné conduisant à accélérer le développement d'un incendie, jusqu'à l'atteinte de sa puissance maximale, en comparaison de situations réelles d'incendie. Ce choix d'une cinétique prudente, fait pour l'usage premier de Flumilog, rend son emploi délicat pour d'autres applications. Les hypothèses complémentaires de projection et d'inclinaison des flammes, dans le but de représenter toutes les configurations d'incendie possibles accentuent cette complexité d'exploiter les résultats de l'outil pour d'autres usages.

Deux comparaisons à des feux réels, l'incendie à grande échelle du projet Flumilog et un cas issu du retour d'expérience permettent de mieux appréhender l'influence de ces hypothèses sur le calcul des effets thermiques. Puis une mise en application sur une cellule type est proposée, elle permet de visualiser la dynamique des flux, selon les hypothèses de l'outil et d'évaluer la potentielle influence de la présence d'un système d'extinction sur cette dynamique. La représentation de cette dynamique des flux permet de visualiser les conséquences de l'hypothèse faite d'une propagation rapide de l'incendie dans la cellule.

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Utilisation de l'outil Flumilog pour la planification des secours, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 207056 - v1.0, 22/11/2022.

Mots-clés :

Flumilog, intervention des secours extérieurs

1 Introduction

Le logiciel Flumilog, développé par le consortium éponyme, a été mis en ligne en 2010. Construit pour permettre de quantifier l'étendue maximale des zones pour un flux thermique donné qui peut être générée durant un incendie. Ainsi, cet outil est utilisé pour la maîtrise de l'urbanisation, et est désormais cité par différents textes réglementaires, cet outil est désormais cité par différents textes réglementaires. L'origine de cet outil réside dans la variété des méthodes et hypothèses qui pouvaient être employées auparavant pour déterminer les zones de flux thermiques autour des incendies, en particulier pour les entrepôts soumis à la rubrique 1510. Pour ce type d'incendie, l'une des innovations de la méthode Flumilog réside dans l'évaluation d'une cinétique de développement de l'incendie permettant, sous certaines hypothèses, d'en déduire une durée de feu théorique. Son utilisation est aujourd'hui étendue pour de nombreuses autres applications comme les stockages d'aérosols ou de liquide inflammable sans introduire, pour ces configurations, de notion de cinétique.

La mise en application de cette méthode, via l'outil disponible, est devenue aujourd'hui systématique dans les études de dangers et les études de flux thermiques, notamment pour les entrepôts de stockage, mais pas seulement, tous types de combustibles confondus. De ce fait, les cartographies de flux sont disponibles, avec toutefois des représentations variées entre les cartographies pour chaque cellule prise individuellement et l'enveloppe des effets thermiques résultante.

Cette note a pour objet de rappeler les hypothèses fondatrices de la méthode Flumilog, hypothèses qu'il convient d'avoir à l'esprit pour toute utilisation des résultats de l'outil. Elle présente ensuite, pour quelques applications, l'évolution temporelle des flux thermiques calculés. Elle synthétise enfin l'interprétation qu'il convient de faire de ces résultats en comparaison d'un développement réel d'incendie.

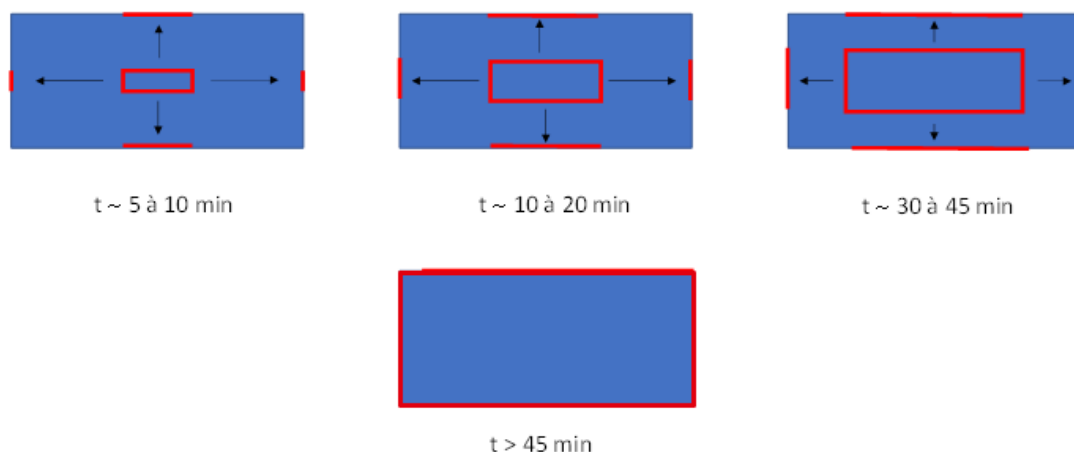
2 Hypothèses fondatrices de la méthode Flumilog

L'outil Flumilog a été développé à la fin des années 2000 pour les entrepôts 1510 dans l'objectif de proposer une méthode reconnue et standardisée pour le calcul des effets thermiques pour ces installations. Au regard des objectifs réglementaires de protection des cibles, au titre du code de l'environnement, l'outil a comme objectif de quantifier l'étendue maximale des zones pour un flux thermique donné. La méthode intègre donc des hypothèses dans le but de déterminer cette zone maximale de flux thermiques, toutes configurations possibles confondues.

La principale hypothèse réside dans une cinétique de propagation particulièrement rapide, dans l'objectif d'avoir la masse la plus importante possible impliquée dans l'incendie. En effet, en cas de cinétique trop lente, les premières palettes seraient éteintes à l'inflammation des dernières, conduisant à une moindre puissance de l'incendie et donc, par suite, à une minoration des flux calculés. L'énergie rayonnée étant directement proportionnelle à la puissance instantanée, maximiser la puissance permet d'évaluer les flux thermiques enveloppes. De plus, les effets des différents systèmes de lutte contre l'incendie ne sont pas pris en compte. Le système d'extinction automatique et l'intervention des services internes ou externes de secours ne sont pas pris en compte dans les hypothèses de modélisation. En conséquence, cette hypothèse est raisonnablement pénalisante par rapport à la cinétique de propagation en situation réelle.

Une autre hypothèse enveloppe de l'outil Flumilog réside dans les comportements modélisés des parois faisant obstacle au rayonnement thermique. En effet, afin d'être cohérent avec la cinétique rapide de propagation retenue pour le développement de l'incendie, la ruine des parois est également considérée comme très rapide, celle-ci étant évaluée sur la base d'une sollicitation thermique normalisée. Lors d'un incendie réel, la sollicitation thermique à l'échelle d'une paroi ne se comporte pas de manière identique à celle retenue pour la normalisation. Dans la majorité des incendies d'entrepôts 1510, la sollicitation thermique reçue par les parois est inférieure à la sollicitation normalisée, ainsi la durée de tenue au feu des parois s'avère être supérieure à celle garantie par la norme, qui est la durée retenue par l'outil Flumilog.

Une dernière hypothèse importante à garder en tête dans l'exploitation des résultats de l'outil Flumilog est la projection des flammes sur chacune des parois à chaque pas de temps de calcul des flux. En effet, pour favoriser le développement de l'incendie, le départ de feu est supposé se situer au centre de la cellule. Le feu se propage depuis le point d'inflammation vers les combustibles situés à proximité, conduisant, pour cette hypothèse, à un feu localisé au centre de la cellule. Le départ de feu pouvant cependant se situer n'importe où dans la cellule, les flammes sont projetées sur chacune des parois pour le calcul des flux thermiques, Figure 1. De plus, pour chaque flamme, le cas avec et sans vent est pris en compte, la flamme est ainsi penchée, pour chaque façade, vers l'extérieur du bâtiment et les flux sont comparés à une flamme droite. Les flux donnés par le logiciel sont le maximum entre le cas avec et le cas sans vent.



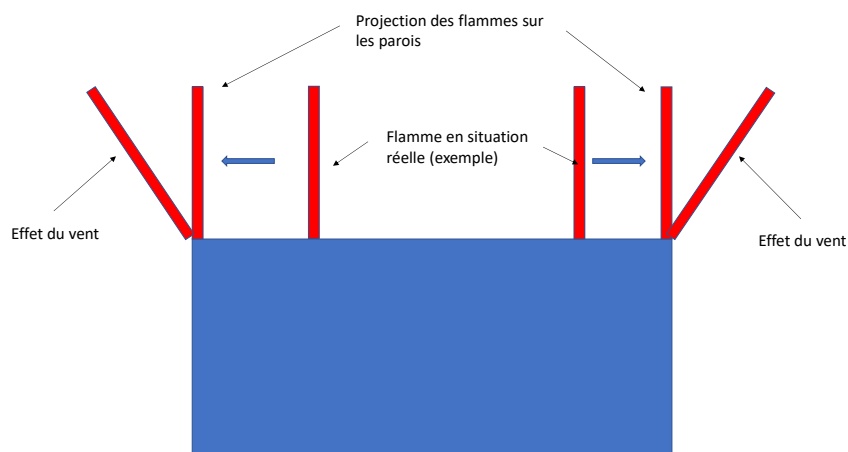


Figure 1 : En haut, projection des flammes sur les parois pour le calcul des flux thermiques ; En bas, influence du vent sur les flammes, vue de côté.

Enfin, il convient de souligner que les cartographies présentées par le logiciel correspondent à la cartographie des flux maximaux atteints en chaque point pendant toute la durée du calcul, les flux présentés peuvent donc correspondre à des instants différents.

3 Illustration du calcul de la cinétique d'un incendie

Comme indiqué en introduction, l'une des innovations principales de l'outil Flumilog réside dans la prise en compte d'une cinétique d'incendie. Au regard des objectifs visés, à savoir la quantification de l'étendue maximale des zones pour un flux thermique donné dans le cadre de la maîtrise de l'urbanisation, les hypothèses ont été choisies pour maximiser la puissance de l'incendie, et donc les flux calculés. De plus, l'absence de prise en compte des systèmes de lutte incendie (sprinkler puis intervention par les services de secours) contribue à la fois à maximiser les flux thermiques par rapport à un incendie réel et à réduire les durées de feu prédites en regard des durées de feu observées sur le terrain. Il est toutefois intéressant de comparer les résultats de l'outil Flumilog avec des configurations réelles. La comparaison à l'essai à échelle 1 réalisé dans le cadre du projet Flumilog tout d'abord, sans sprinkler et sans extinction, permet d'estimer la pertinence de la méthode sur une configuration avec les mêmes hypothèses. La comparaison à des incendies réels permettra ensuite de débattre de son extrapolation aux situations réelles.

3.1 Comparaison à l'essai à échelle 1 du projet Flumilog

La première comparaison présentée est la prédiction, par l'outil Flumilog, de l'essai à échelle 1 réalisé dans le cadre du projet. Cet essai consistait à incendier un bâtiment de 860 m² rempli de bois, sous forme de palettes et à mesurer les caractéristiques du feu. Au regard de l'objectif, à savoir l'évaluation des flux pour la maîtrise de l'urbanisation et la protection des cibles au sens du code de l'environnement, c'est-à-dire dans la configuration d'une propagation optimale de l'incendie, le bâtiment n'était pas sprinklé et aucune intervention n'a été réalisée. Cette configuration a été modélisée dans le logiciel en représentant les différentes parois au regard de leurs caractéristiques, le combustible est représenté au moyen du combustible bois palette de l'outil en respectant la quantité totale de bois présente.

La cartographie des flux calculée, résultat principal de l'outil de modélisation, et la comparaison aux valeurs mesurées sont représentées sur la Figure 2. Cette comparaison met en évidence le caractère prudent de l'approche. Elle montre également que, du fait du vent, les flux à l'Est du bâtiment sont surestimés par l'outil de modélisation.

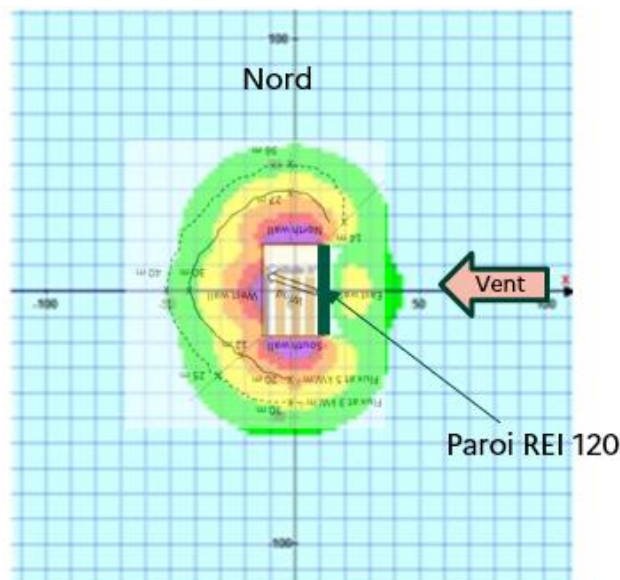


Figure 2 : Cartographie des flux calculés et mesurés, ligne continue : 5 kW/m², ligne pointillée : 3 kW/m²

La courbe de puissance calculée pour cet essai, Figure 3, montre une durée de feu d'environ 80 min.

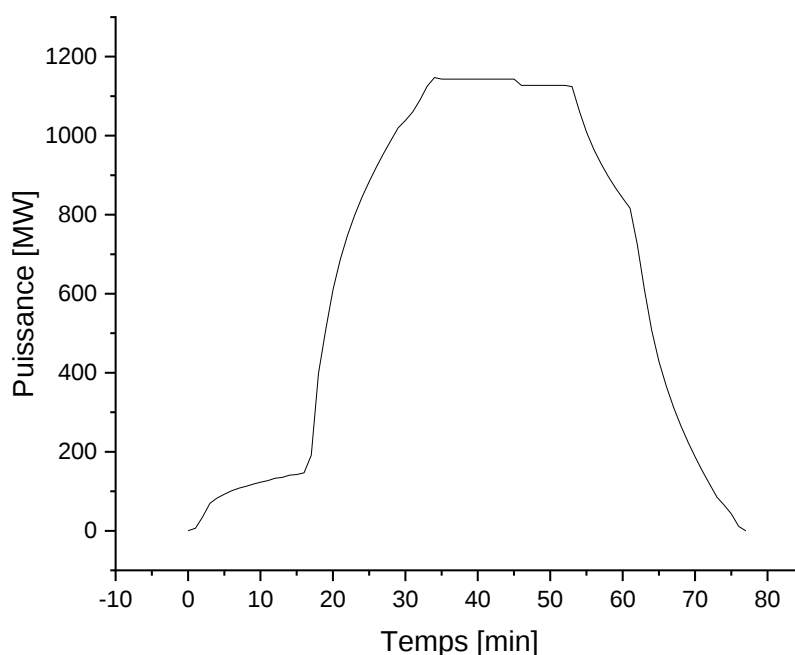


Figure 3 : Courbe de puissance calculée pour l'essai à échelle 1 du projet Flumilog

La courbe de puissance expérimentale étant délicate à reconstruire pour un tel essai à l'air libre, il est possible de comparer les flux thermiques au cours du temps. Cette évolution temporelle des flux est représentée sur la Figure 4, montrant la cohérence, outre des valeurs de flux, de la cinétique de montée en puissance et de la durée de l'incendie.

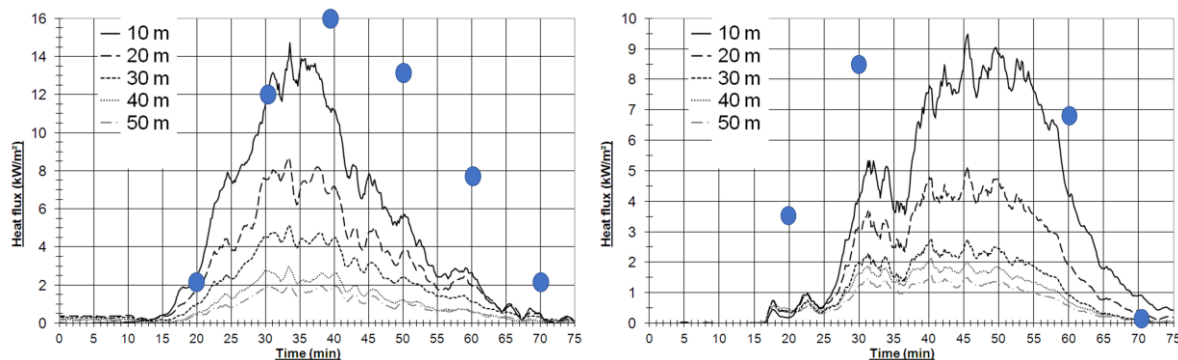


Figure 4 : Evolution temporelle des flux thermiques sur deux façades, Ouest (gauche) et Nord (droite). Comparaison mesures (lignes noires) et valeurs calculées à 10 m des façades (points bleus).

En conclusion, pour cette configuration de feu relativement puissant, incendie de palettes bois, sans sprinkler ni intervention, les niveaux de flux calculés ainsi que la cinétique, le développement du feu et la durée sont cohérentes avec les mesures.

3.2 Cas réel : l'incendie du site Carrefour de Crépy-en-Valois

Afin d'illustrer la mise en application de l'outil Flumilog sur une configuration réelle, le cas de l'incendie du site Carrefour de Crépy-en-Valois (60), survenu le 5 décembre 2013 a été exploité. Cet incendie est survenu dans le bâtiment entrepôt sec d'un site comportant un entrepôt frigorifique et un entrepôt produits secs dédié au stockage de différents types de denrées alimentaires. L'entrepôt sec comporte trois cellules, la cellule 1, à gauche de l'entrepôt sec sur la représentation de la Figure 5, comporte un stockage d'aérosols, les 2 autres cellules divers produits alimentaires secs.

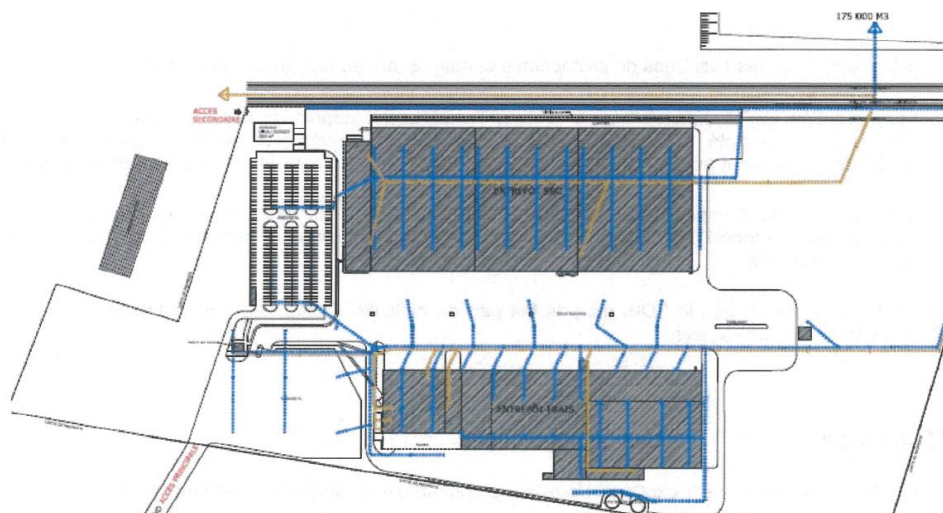


Figure 5 : Plan de masse du site

Le premier résultat exploitable est la cartographie enveloppe des flux calculée au moyen du logiciel Flumilog, pour l'incendie de la seule cellule 1, Figure 6. A noter que dans certains cas, seule la représentation de l'enveloppe correspondant à un incendie propagé pourra être joint à l'étude de dangers, Figure 7. Il est souligné qu'une telle cartographie pour un incendie propagé, survenant, s'il doit survenir, après plusieurs heures, n'est nullement représentatif des flux constatés à un instant T pendant la durée d'un incendie, et notamment pendant la phase de déploiement.

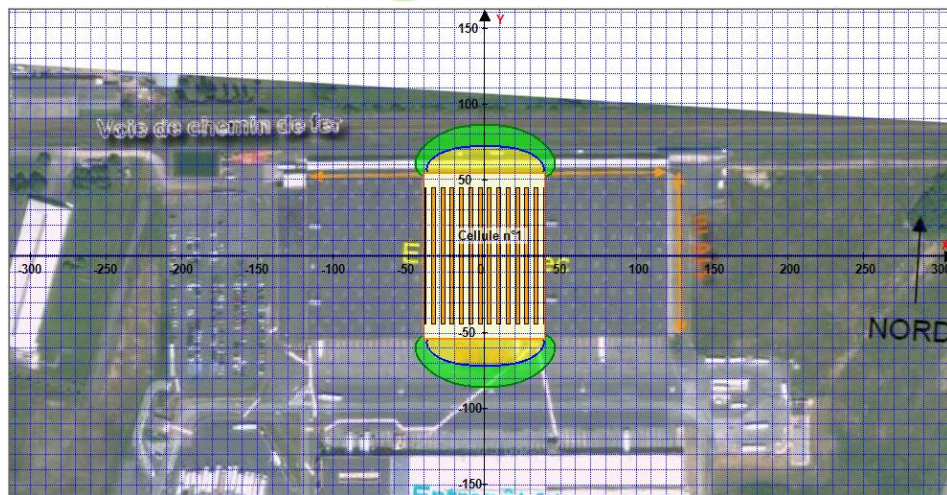


Figure 6 : Cartographie des flux enveloppe calculée pour l'incendie de la cellule 2 lors de l'incendie de Crépy en Valois.

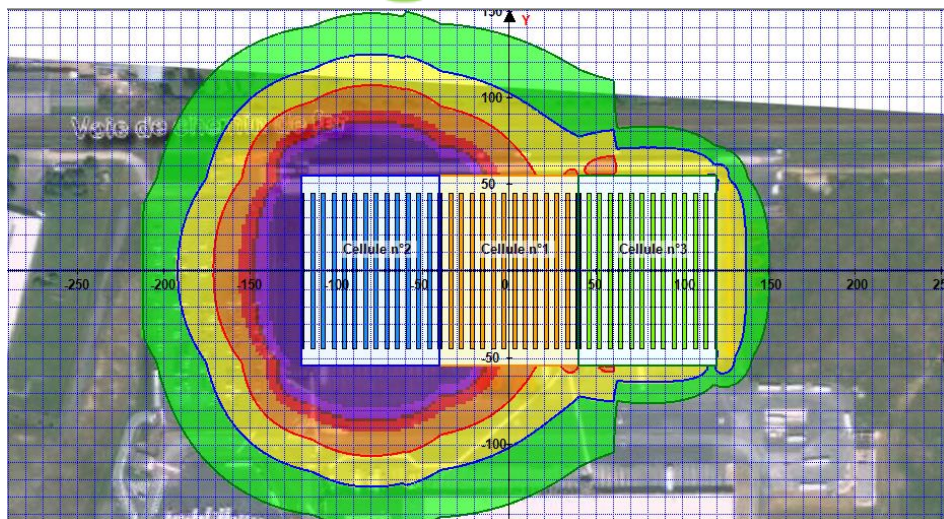


Figure 7 : Cartographie des flux pour un incendie propagé à 3 cellules

Pour cet incendie, la courbe de puissance calculée par le logiciel Flumilog, *Figure 8*, montre une durée de feu prédite d'environ 140 min, durée de présence de flux thermiques, à comparer à la durée réelle observée de 420 min, durée après laquelle les services de secours ont maîtrisé l'incendie. Une analyse plus détaillée des temps auxquels surviennent différents phénomènes, *Figure 9*, montre que les différents phénomènes sont bien effectivement accélérés dans la modélisation. Il convient de rappeler, de plus, que la notion de feu terminé diffère entre Flumilog et la réalité. Dans l'outil de modélisation, un feu est considéré comme terminé lorsqu'il n'est plus susceptible de générer des effets radiatifs sur le voisinage, ce qui n'est clairement pas la définition d'une fin de feu sur le terrain.

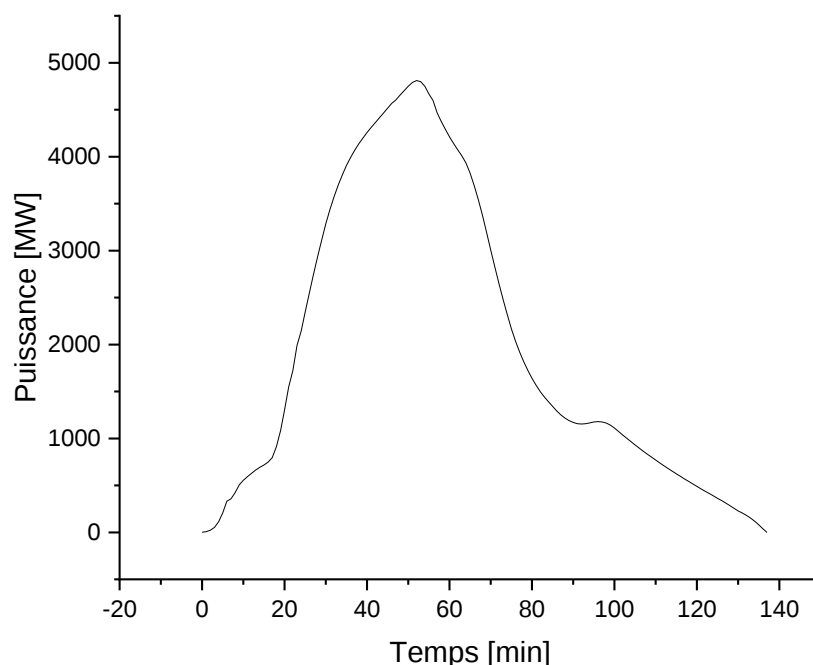


Figure 8 : Courbe de puissance calculée par Flumilog pour l'incendie de la cellule 2

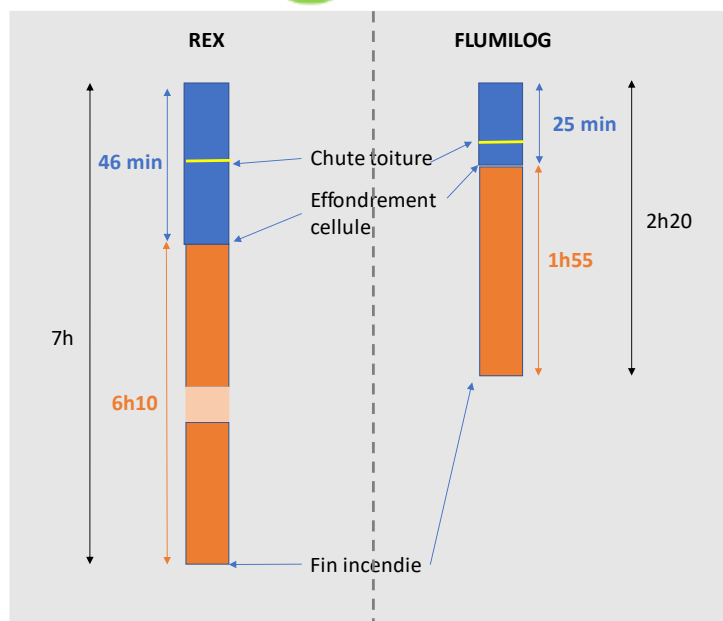


Figure 9 : Comparaison des temps de survenue de différents phénomènes lors de l'incendie. Pour mémoire la notion de fin d'incendie diffère entre les deux lignes temporelles

Au-delà des aspects cinétiques pour le comportement de la cellule, cette figure met en évidence que le choix d'une propagation rapide dans Flumilog conduit à des puissances de feu, et donc des flux, effectivement surestimés. En effet, la quantité d'énergie présente étant identique, celle-ci est dégagée plus rapidement dans la modélisation, soit donc bien une puissance de feu et des flux plus importants dans la simulation qu'en situation réelle.

Enfin, il est possible de souligner que le comportement des parois lors de cet incendie confirme également les hypothèses de l'outil, *Figure 10*. La paroi métallique est effondrée vers l'intérieur du bâtiment avec recouvrement et recul de la zone de flamme résultant, il convient de noter également que les parois REI 120 séparatrices sont toujours présentes après 7 h d'incendie, ce qui est cohérent avec les éléments présentés dans la note propagation¹.



¹ https://www.flumilog.fr/system/files/ressources/FAQ_Propagation_v2.pdf

Figure 10 : Photographie de la paroi métallique et des parois REI 120 à la fin de l'incendie

3.3 Application sur une cellule 1510 type

L'objectif de ce paragraphe est de présenter les résultats du calcul de flux et l'interprétation qui peut en être faite pour une cellule type 1510.

3.3.1 Cas de référence

Afin de fournir une vision plus générique, il a été choisi de modéliser une cellule de stockage de produits 1510, au sens palette type 1510 de la méthode Flumilog. Le calcul présenté ici a été réalisé pour une cellule de 6000 m² environ, 70 m de longueur, 85 m de largeur, et une hauteur de 11,2 m. Les parois Nord (haut) et Ouest, sont supposées REI 120, les parois Sud et Est sont en bardage. L'étendue maximale des zones pour un flux thermique donné est reproduite sur la Figure 11.

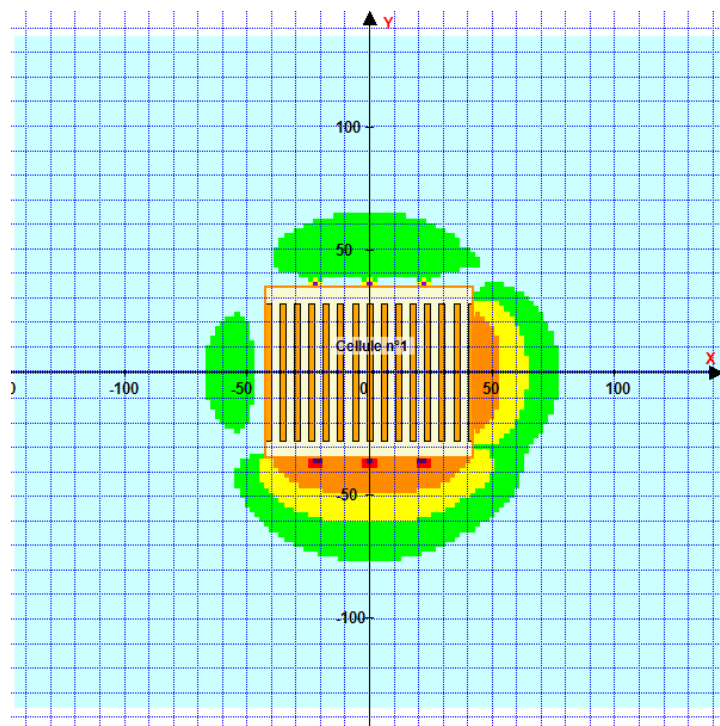


Figure 11 : Cartographie des effets thermiques pour une cellule 1510 de 6 000 m²

L'évolution de la puissance au cours du temps pour cet incendie est reproduite sur la Figure 12.

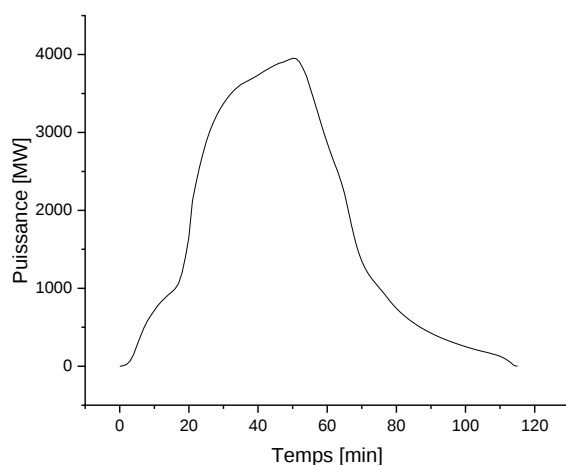
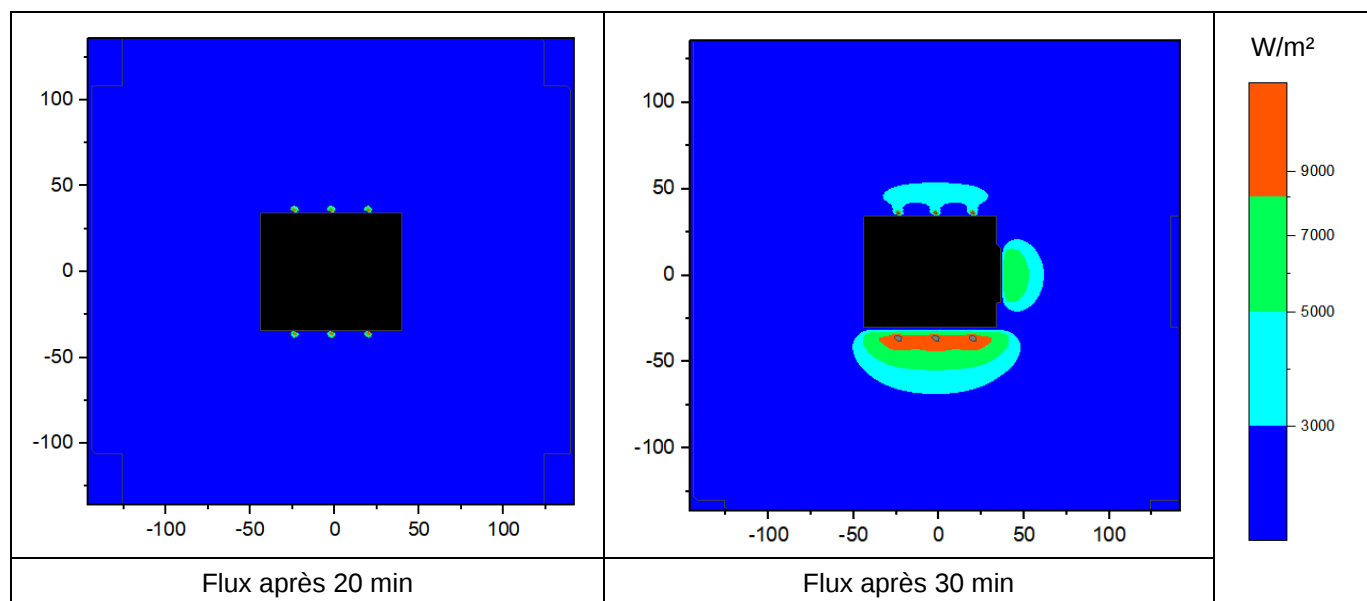


Figure 12 : Evolution de la puissance de l'incendie pour le cas d'une cellule 1510 de 6000 m²

Pour cette configuration, au regard des hypothèses faites pour la modélisation dans l'outil Flumilog, le pic de puissance est atteint après environ 50 min.

L'évolution des flux au cours de la phase de montée en puissance est présentée sur la Figure 13.



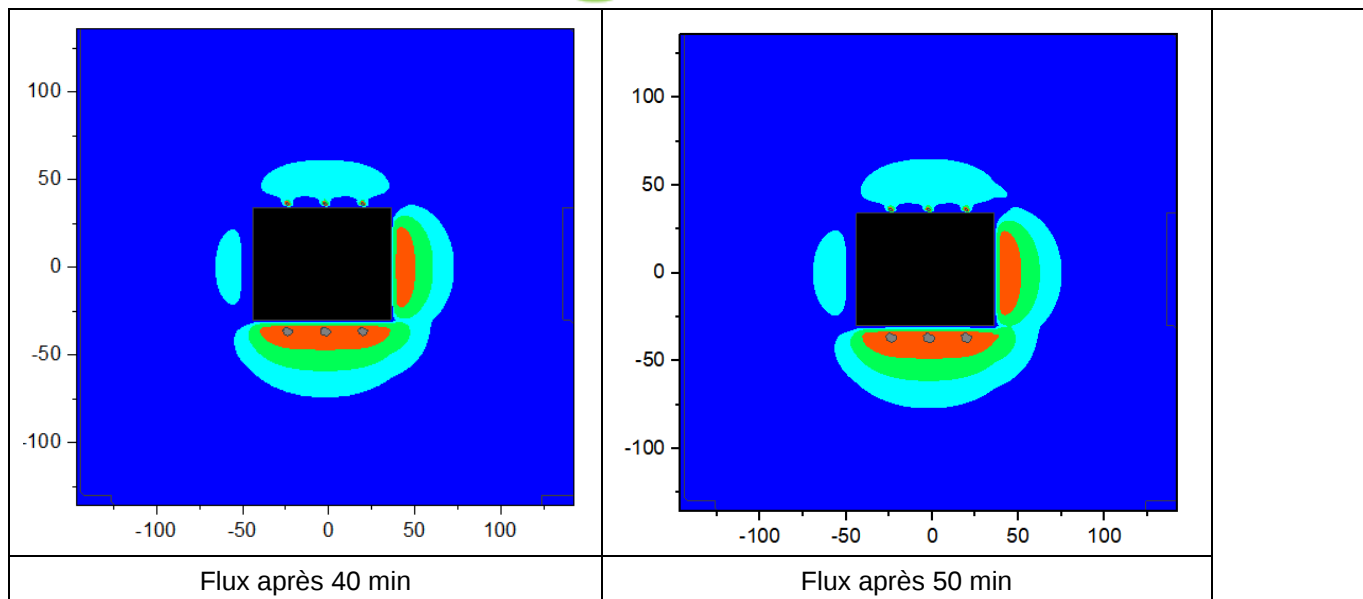


Figure 13 : Flux thermiques à différents instants pour le cas e référence de l'incendie d'une cellule 1510 de 6 000 m²

Dans cet exemple, les flux thermiques sont pour la majorité établis entre (seulement ?) 30 et 50 min, encore une fois, du fait des hypothèses prudentes sur la cinétique de propagation de l'incendie.

3.3.2 Influence du système d'extinction

La majorité des entrepôts étant équipée d'un système automatique d'extinction et celui-ci n'étant pas pris en compte dans les évaluations des flux présentées précédemment, une simulation a été réalisée pour en évaluer l'influence. Pour un tel cas, il est envisageable d'évaluer l'influence du système d'extinction automatique avec, toutefois la nécessité de supposer son insuffisance pour la maîtrise de l'incendie. En effet, en cas de fonctionnement du système, et donc la maîtrise de l'incendie, le feu ne se développerait pas, conduisant à l'absence de flux thermique à l'extérieur du bâtiment. Il est fait ici l'hypothèse que le système d'extinction se déclenche mais ne fait que ralentir la propagation du feu dans les premiers instants : par exemple pendant 10 ou 20 min. Puis, il est mis en échec et le feu reprend une propagation identique à la situation sans extinction. Les conséquences s'observent sur les courbes de puissance de la Figure 14.

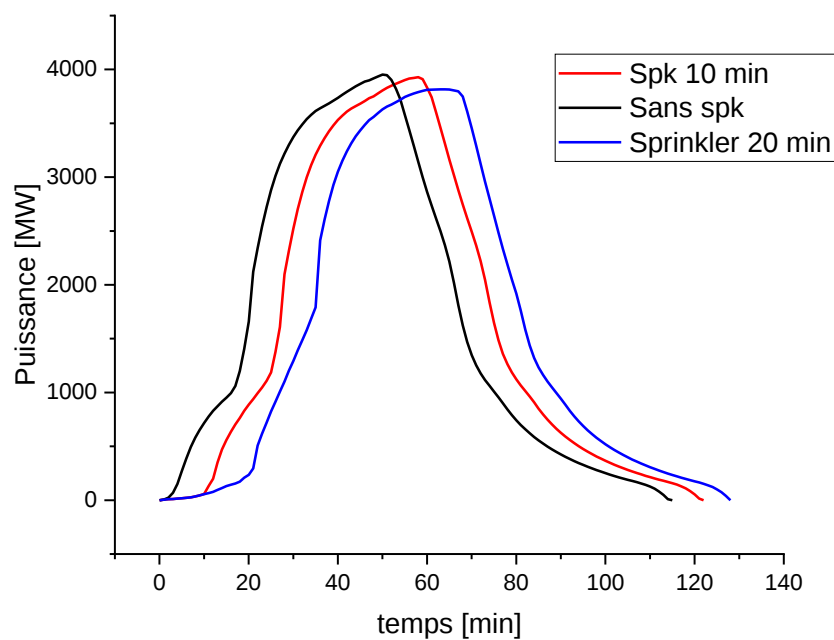


Figure 14 : Evolution de la puissance pour la cellule 1510 de 6 000 m², illustration de l'influence du sprinkler

Cette courbe montre que le sprinkler, dans l'hypothèse où il se déclenche mais ne permet pas de contenir l'incendie, conduit à un décalage de quelques minutes du pic de puissance mais ne modifie pas sensiblement celui-ci.

4 Limites d'utilisation de Flumilog pour la planification de l'intervention

En préparation d'une intervention sur un sinistre, les services de secours ont besoin de connaître la cinétique de développement de l'incendie et des flux thermiques associés afin de définir une stratégie d'intervention et le positionnement des véhicules. En situation réelle, il est clair que les conditions réelles rencontrées le jour du sinistre (position de départ de feu, taux de remplissage du bâtiment, conditions météorologiques, ...) influenceront fortement sur les caractéristiques de l'incendie. Le logiciel Flumilog, développé pour la maîtrise de l'urbanisation, ne représente que l'enveloppe maximale des zones de flux thermiques pour l'ensemble des configurations possibles, c'est-à-dire pour toutes les positions de départ de feu, toutes les situations de vent, ... A ce titre, il intègre plusieurs hypothèses rendant son usage, en dehors de celui de la maîtrise de l'urbanisation, particulièrement délicat.

Ainsi, les hypothèses du logiciel sont faites pour favoriser une propagation rapide de l'incendie, conduisant de fait à des flux thermiques maximaux atteints rapidement et une durée de feu limitée. Dans ces conditions, les flux maximaux tels que calculés par le logiciel sont atteints après 30 à 50 minutes selon les configurations. Pour mémoire, la durée de l'incendie au sens de l'outil Flumilog est la durée pendant laquelle des flux thermiques importants, i.e. pouvant induire des effets sur les cibles, sont à considérer, ce qui diffère de la durée de feu observée sur le terrain. En cas d'activation du système d'extinction, la cinétique de développement du feu vers un incendie généralisé serait ralentie. L'influence de son déclenchement sans maîtrise de l'incendie a été appréhendée dans le cadre de cette note. Il conduit, selon les hypothèses faites, à décaler les flux thermiques observés de quelques minutes environ.

De plus, il faut rappeler que, dans le logiciel, les flammes sont projetées sur les parois et que les flux correspondent au maximum de la situation avec et sans vent. En configuration réelle, lors de l'arrivée des secours sur le site, le vent pourrait souffler dans une direction unique. Cela signifie que si des flammes sont penchées vers l'extérieur, sur la face située à l'opposé, les flammes seraient repoussées vers le bâtiment, limitant de fait les flux thermiques pour ces façades et permettant ainsi un déploiement des services de secours sur ces parois, comme ce fut le cas par exemple lors de l'incendie sur le site d'Allopieu.

Enfin, il convient de rappeler que, souvent, dans les études de flux thermiques, les flux sont tracés au maximum de leur intensité pour un incendie propagé aux cellules voisines. En cas d'incendie réel, considérant les cinétiques de propagations, les cellules ne seront pas en feu développé à pleine puissance de manière simultanée, ce qui permet d'adapter l'intervention en conséquence.

En conclusion, au regard des hypothèses actuellement faites dans l'outil, l'usage des résultats de modélisation obtenus au moyen de l'outil Flumilog n'est pas pertinent pour la planification de l'intervention.

FLUM *ilog*