



(ID Modèle = 454913)

Ineris-227274 -2715902 -v0.3

[Date d'approbation]

DRA 08 - Tâche de fond relative à la validation des outils de modélisation

Rapport d'auto-description de l'outil Feu de Nappe (FNAP) selon la procédure SAPHEDRA

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : DIRECTION INCENDIE DISPERSION EXPLOSION

Rédaction : TRUCHOT BENJAMIN

Vérification : GENTILHOMME OLIVIER

Approbation : Document non approuvé

Liste des personnes ayant participé à l'étude : -

Table des matières

Résumé	4
A0 - Contact DATA.....	6
A1 - Évaluation scientifique.....	6
A.1.1 Description du champ d'application	6
A.1.2 Organigramme général de l'outil et numéro d'identification des modèles	6
A.1.3 Description générale des bases de données.....	6
A.1.4 Processus de visualisation des entrées et sorties	6
A.1.5 Description détaillée de l'approche théorique des modèles	7
A.1.5.1 Évaluation de la hauteur de la flamme.....	7
A.1.5.2 Évaluation du pouvoir d'émission de la surface	8
A.1.5.3 Calcul des distances radiatives.....	9
A.1.6 Description détaillée de l'étalonnage du modèle	11
A.1.7 Description des approches mathématiques des modèles	11
A2 - Vérification	12
A.2.1 Description du développement dans le cadre de l'assurance qualité	12
A.2.2 Description des tests de cohérence du maillage	13
A.2.3 Gestion des interfaces entre les modèles.....	13
A.2.4 Tests sur les approches numériques pour les modèles N	13
A.2.5 Tests de comparaison entre les approches numériques pour les modèles N et la solution analytique	13
A3 - Analyse de sensibilité	14
A.3.1 Description du choix de la plage de valeurs pour les paramètres variables dans le champ d'application.....	14
A.3.2 Présentation détaillée des résultats pour chaque paramètre (p) afin de pouvoir faire la même modélisation	14
A.3.3 Interprétation des résultats et analyse des résultats par rapport au comportement physique attendu.....	15
A4 - Validation.....	16
A.4.1 Description du choix de l'ensemble de données (le champ d'application est couvert).....	16
4.1.1 Comparaison avec les données expérimentales.....	16
4.1.2 Comparaison avec les résultats de Flumilog.....	17
A.4.2 Description du choix du jeu de données (partie utilisée pour l'étalonnage)	18
A.4.5 Description de la comparaison qualitative et quantitative entre les résultats expérimentaux et numériques.....	18
A.4.6 Explication de la validité de l'outil en l'absence de données à comparer (informations enregistrées lors de l'accident et/ou données numériques)	18
A.4.7 Synthèse de toutes les comparaisons	18
A5 - Évaluation orientée vers l'utilisateur	19
A.5.1 Description de la documentation orientée vers l'utilisateur.....	19
A.5.2 Description et analyse des critères ergonomiques	19
A.5.3 Analyse de la clarté et de la souplesse des résultats obtenus	19
A.5.4 Description de l'assistance dans la définition des données d'entrée, aspects informatiques ..	20

FNAP - Prédiction du flux radiatif dans l'environnement d'un incendie, description SAPHEDRA

Résumé

Le document décrit la méthode de calcul FNAP (Prédiction des flux thermiques radiatifs d'un feu de nappe). Il s'agit d'un outil/modèle développé l'Ineris, destiné à la prédiction des flux thermiques radiatifs des feux de nappe pour différentes formes de nappe et deux familles de combustibles : les hydrocarbures et les alcools. Ce modèle a été initialement développé par le groupe de travail national français sur les liquides inflammables et proposé via une feuille Excel. La présente version intègre le calcul des effets dans un cas sans vent qui n'était pas réalisé dans la version précédente.

Description Générale et Portée d'Application

Le modèle FNAP est dédié à la prédiction des flux thermiques radiatifs des feux de nappe, qu'ils soient de forme rectangulaire, circulaire ou polyédrique, et pour deux types de combustibles : les hydrocarbures et les alcools. Il a été initialement développé sous forme de feuille Excel. L'outil est intégré à la plateforme PRIMARISK et dispose d'une interface utilisateur graphique (GUI) en français pour la saisie des données et la visualisation des résultats. Les résultats sont visualisés sous forme de liste des distances d'effet.

Méthode de calcul

La méthode de calcul du modèle FNAP comprend plusieurs étapes :

- **Évaluation de la hauteur de la flamme** : Cette étape distingue deux situations : sans vent et avec vent externe.
 - **Sans vent** : La corrélation de Thomas est utilisée pour déterminer la hauteur de la flamme (H) en fonction du débit massique de combustion du combustible, de la densité de l'air ambiant, de la constante de gravité et du diamètre représentatif du feu. Cette corrélation est valide pour un rapport H/D entre 3 et 10.
 - **Avec vent** : L'angle d'inclinaison de la flamme est estimé à l'aide du modèle de Welker, qui utilise le nombre de Reynolds (Re), le nombre de Froude (Fr) et le rapport des densités. La hauteur de la flamme est ensuite estimée à l'aide d'une corrélation de Thomas modifiée qui introduit la vitesse du vent et une vitesse caractéristique.
- **Calcul de la puissance surfacique émissive (SEP)** : La SEP est calculée à l'aide de l'équation proposée par Mudan et Croce. Les coefficients de la corrélation sont spécifiques à chaque combustible (hydrocarbures ou alcools).
- **Calcul de l'effet radiatif et des conséquences induites** : L'estimation du flux thermique radiatif incident dans l'environnement se fait en calculant le facteur de vue et en considérant la transmissivité atmosphérique à l'aide de la formule de Bagster. Le facteur de vue est calculé à l'aide de formulations algébriques. Des formules spécifiques sont utilisées pour une flamme plane parallèle à une cible plane et pour une flamme cylindrique et une cible plane parallèle. Le facteur de vue final pour une distance donnée est estimé en considérant les composantes horizontale, verticale et latérale.

Bases de Données

L'outil de modélisation FNAP utilise des valeurs de propriétés des matériaux, telles que la vitesse de combustion pour les hydrocarbures (55 g/m²/s) et les alcools (25 g/m²/s).

Interface Utilisateur

L'interface utilisateur graphique (GUI) est en français et est intégrée à la plateforme PRIMARISK. Elle permet de saisir toutes les données d'entrée et de visualiser les résultats, notamment les distances atteintes pour différents seuils de flux radiatifs. L'outil fonctionne sur n'importe quel navigateur web.

Approche Théorique Détaillée

Le modèle utilise un modèle de flamme solide où la longueur de la flamme est considérée comme la longueur totale de la nappe en feu. La hauteur de la flamme est la principale dimension à calculer. Les corrélations de Thomas et Welker sont utilisées pour estimer la hauteur et l'inclinaison de la flamme, respectivement. La puissance surfacique émissive est calculée à l'aide de la corrélation de Mudan et Croce, qui tient compte de l'atténuation du flux en fonction d'un diamètre équivalent. Le calcul des distances radiatives repose sur la détermination du facteur de vue entre la flamme et la cible, en utilisant des formules algébriques pour différentes configurations géométriques (flamme plane, flamme cylindrique) et en tenant compte de l'inclinaison de la flamme et de la transmissivité atmosphérique via la formule de Bagster.

Vérification

Le modèle FNAP a été développé sous la procédure de qualité interne d'Ineris. Des tests basiques ont été effectués tout au long du développement pour s'assurer de la conformité des quantités intermédiaires avec les valeurs attendues. Des comparaisons ont été réalisées pour la hauteur de flamme (avec et sans vent) et l'angle de flamme pour les deux débits de combustion (hydrocarbures et alcool), ainsi que pour la puissance surfacique émissive. Le modèle n'utilise pas de maillage ; la discrétisation spatiale pour le calcul des flux thermiques est adaptée en fonction des dimensions du feu. Les échanges entre les sous-modèles sont simples et concernent des scalaires comme la hauteur de flamme et les dimensions du feu pour le calcul des facteurs de vue, et les facteurs de vue et l'émissivité pour l'évaluation des flux thermiques. Les approches numériques ne sont pas pertinentes pour FNAP car il repose principalement sur des formules algébriques.

Analyse de Sensibilité

Les paramètres d'entrée pour le modèle FNAP sont les dimensions de la nappe ou du réservoir, sa hauteur, la hauteur du liquide à l'intérieur et la température de fonctionnement, ainsi que le choix du produit (hydrocarbures ou éthanol). L'analyse de sensibilité explore l'évolution des distances atteintes pour des flux thermiques de 3, 5 et 8 kW/m² en fonction de la variation de ces paramètres, notamment la forme de la nappe (rectangulaire, circulaire, polyédrique), les dimensions de la nappe et le produit. Les résultats de cette étude paramétrique sont conformes au comportement physique attendu.

Validation

Très peu de données d'essais de feux de nappe à grande échelle sont disponibles pour la validation. Des comparaisons ont été effectuées avec des données existantes basées sur de grands feux de nappe d'essence, ainsi qu'avec les résultats du modèle Flumilog. Pour les feux de nappe d'éthanol, un essai de la série de tests ETANKFIRE (feu d'un mélange d'éthanol à 97% et d'essence à 3% de 18 m de diamètre) a été utilisé pour la comparaison. La hauteur de flamme expérimentale (environ 27 m) était plus proche de la hauteur calculée sans vent pour les hydrocarbures (24 m) que pour l'éthanol pur (15 m). La comparaison avec les données d'essai met en évidence le caractère non majorant de l'approche pour ce type de feu. Une intercomparaison avec les résultats de Flumilog pour plusieurs configurations de feux de nappe rectangulaires d'hydrocarbures et d'éthanol (différentes tailles : 93x54 m², 93x36 m², 93x18 m²) a également été réalisée, montrant une bonne cohérence entre les deux outils.

Évaluation Orientée Utilisateur

Une brève documentation, principalement axée sur la description des paramètres d'entrée, est fournie dans le rapport INERISΩ -2¹. L'interface graphique (GUI) est développée dans la plateforme PRIMARISK. Le principal résultat disponible dans l'interface est la distance atteinte pour différents seuils de flux radiatifs. Des valeurs intermédiaires sont également fournies dans le tableau des résultats pour permettre à l'utilisateur de comprendre le comportement physique du produit pendant le feu de nappe et de réaliser une analyse critique. L'outil est accessible via un navigateur web.

¹ Rapport Ineris Omega 2 - Modélisations de feux industriels, 2014.

A0 - Contact DATA

Nom de l'outil/modèle	FNAP
Version de l'outil	2.00
Références de la dernière évaluation	Première évaluation
Coordonnées et références du développeur du modèle	Benjamin TRUCHOT Benjamin.truchot@ineris.fr +33(0)3 44 61 81 50

A1 - Évaluation scientifique

A.1.1 Description du champ d'application

Le modèle FNAP est dédié à la prédiction des flux thermiques radiatifs de l'incendie de piscine pour différentes formes de piscine et deux familles de combustibles, les hydrocarbures et les alcools. Ce modèle a été initialement développé par le groupe de travail national français sur les liquides inflammables et proposé sous la forme d'une feuille Excel.

A.1.2 Organigramme général de l'outil et numéro d'identification des modèles

Le modèle FNAP est basé sur plusieurs calculs. La méthode de calcul peut être décrite par les étapes suivantes :

- L'évaluation de la hauteur de la flamme,
- le calcul de la puissance d'émission de la surface,
- le calcul de l'effet radiatif et des conséquences induites.

A.1.3 Description générale des bases de données

L'outil de modélisation FNAP utilise les valeurs décrites dans le Tableau 1.

Grandeur physique	Hydrocarbures	Alcool
Vitesse de combustion [g/m ² /s]	55	25

Tableau 1 : Propriétés des matériaux utilisés dans le modèle FNAP.

A.1.4 Processus de visualisation des entrées et sorties

Toutes les données d'entrée sont remplies à l'aide d'une interface graphique dédiée, en français, incluse dans la plateforme PRIMARISK. Une capture d'écran de cette interface est reproduite dans la Figure 1.

Feu de nappe



Etape préalable

[Lire la description et les limites d'utilisation](#)

Sélection du produit

- Sélectionner -

Forme du réservoir

Choisissez une forme de Réservoir

- ☐ Circulaire
- ☐ Rectangulaire
- ☐ Quelconque

Conditions ambiantes et paramètres

Donnée	Valeur
Température ambiante (valeur entre 253 et 323 °K)	288 k
Vitesse du vent (valeur entre 0 et 10 m/s)	5
Humidité relative	0.7

SUIVANT >

Figure 1 : Capture d'écran de l'interface graphique (en français) pour le modèle FNAP dans la plateforme PRIMARISK.

L'interface permet également de visualiser les résultats sous la forme d'une liste de distances de conséquence.

A.1.5 Description détaillée de l'approche théorique des modèles

Les principales caractéristiques des modèles physiques sont détaillées dans les paragraphes suivants.

A.1.5.1 Évaluation de la hauteur de la flamme

La première étape de l'estimation des conséquences radiatives de l'incendie consiste à évaluer la taille de la flamme. Dans FNAP, un modèle de flamme solide est utilisé, en supposant que la longueur de la flamme, de chaque côté du feu, est la longueur totale de la piscine ou du stockage, c'est-à-dire la piscine à la surface d'un réservoir. La seule dimension à calculer est la hauteur de la flamme. Il convient de distinguer deux situations : la hauteur de la flamme en l'absence de vent et la hauteur de la flamme en présence d'un vent extérieur.

Dans le modèle FNAP, pour une situation sans vent, la corrélation de Thomas² est utilisée pour déterminer la hauteur de la flamme, H :

$$H = 42. D \left(\frac{\dot{m}}{\rho_a \sqrt{g \cdot D}} \right)^{0.61} \quad \text{Eq 1}$$

Cette relation permet d'estimer la hauteur de la flamme en utilisant le débit massique de combustion du combustible, $\dot{m}$, la densité de l'air pour les conditions ambiantes, 20°C et 101325 Pa, ρ_a , la constante de gravité, g , et le diamètre représentatif du feu, D . Cette corrélation est rigoureusement valable pour un rapport H/D compris entre 3 et 10.

Lorsque le vent souffle, la forme de la flamme est influencée et un angle d'inclinaison, θ , doit être introduit, et la hauteur de la flamme doit être calculée dans cette situation spécifique.

L'angle d'inclinaison de la flamme est estimé à l'aide du modèle de Welker³. Ce modèle estime l'angle d'inclinaison en utilisant le nombre de Reynolds, Re , le nombre de Froude, Fr , et un rapport de densité :

$$Re = \frac{D \cdot u_w}{\nu}$$

$$Fr = \frac{u_w^2}{g \cdot D}$$

$$\frac{\tan(\theta)}{\cos(\theta)} = 3.3 \cdot Re^{0.07} \cdot Fr^{0.8} \cdot \left(\frac{\rho_g}{\rho_a} \right)^{-0.6}$$

La hauteur de la flamme est ensuite estimée à l'aide d'une corrélation de Thomas modifiée¹ qui introduit la vitesse du vent :

$$H = 55. D \left(\frac{\dot{m}}{\rho_a \sqrt{g \cdot D}} \right)^{0.61} \cdot u^{*-0.21} \quad \text{Eq 2}$$

Où u^* est donné par :

$$u^* = \frac{u_w}{\left(g \cdot D \cdot \frac{\dot{m}}{\rho_a} \right)^{1/3}}$$

A.1.5.2 Évaluation du pouvoir d'émission de la surface

La puissance d'émission de surface (SEP), ϕ , est calculée à l'aide de l'équation proposée par Mudan et Croce⁴:

$$\phi = \phi_{max} \cdot e^{-S \cdot Deq} + \phi_{smoke} \cdot (1 - e^{-S \cdot Deq})$$

Les coefficients correspondants sont alors fixés pour chaque carburant, hydrocarbures ou alcools, tableau 2.

² THOMAS, The size of flames from natural fires, 9th international symposium on combustion, p 844-859, 1963

³ WELKER, SLIEPCEVICH, *Technologie du feu*, 2, 1966

⁴ Mudan et Croce, Fire hazards calculations for large open hydrocarbon fires, SFPE Handbook of fire protection engineering, 1986.

Carburant	ϕ_{max} [kW/m ²]	ϕ_{smoke} [kW/m ²]	S [1/m]
Hydrocarbures	140	20	0.12
Alcools	68.5	31	0.15

Tableau 2 : Valeurs numériques de la corrélation entre Mudan et Croce.

A.1.5.3 Calcul des distances radiatives

Le flux de chaleur radiatif incident dans l'environnement est ensuite estimé en calculant le facteur de vue, à l'aide d'une formule analytique, et en tenant compte de la transmissivité atmosphérique à l'aide des formules de Bagster⁽²⁾.

Le facteur de visibilité est calculé à l'aide de formules algébriques⁵. Pour une flamme plane, avec une cible parallèle à cette flamme, Figure 2 le facteur de vue est estimé par :

$$F_d = \frac{1}{2 \cdot \pi} \left\{ \frac{A}{\sqrt{1+A^2}} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{B}{\sqrt{1+A^2}} \right) + \frac{B}{\sqrt{1+B^2}} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{A}{\sqrt{1+B^2}} \right) \right\}$$

Dans cette relation, A est le rapport entre la hauteur de la flamme et la distance entre la cible et la flamme et B est le rapport entre la moitié de la longueur de la flamme et la distance, le facteur de visibilité totale pour les deux côtés de la flamme est alors le double de la valeur calculée.

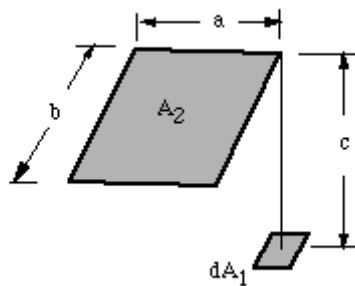


Figure 2 : Flamme plane parallèle à une surface plane pour le calcul du facteur de vue.

Cette formule peut être étendue à d'autres inclinaisons de la flamme en introduisant les angles d'orientation définis sur la Figure 3, par la relation suivante :

$$F_d = \frac{1}{2 \cdot \pi} \left\{ \begin{aligned} & \frac{\tan^{-1}(B) \cdot \cos(\theta_i) + \tan^{-1}(A) \cdot \cos(\theta_j)}{A \cdot \cos(\theta_k) - \cos(\theta_i)} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{B}{\sqrt{1+A^2}} \right) \\ & + \frac{B \cdot \cos(\theta_k) - \cos(\theta_j)}{\sqrt{1+B^2}} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{A}{\sqrt{1+B^2}} \right) \end{aligned} \right\}$$

A et B restent inchangés dans cette formule.

⁵ Howel, C., A catalog of radiation heat transfer configuration factors, 3rd edition

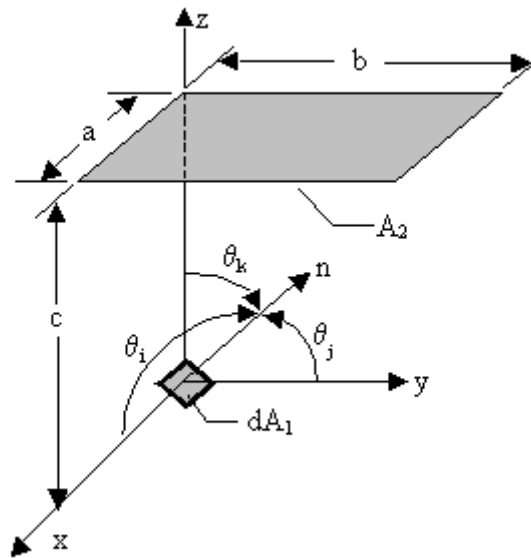


Figure 3 : Flamme plane et cible plane avec inclinaison.

Pour un cylindre, on utilise le même type de formules que pour un cylindre vertical et l'élément plan vertical associé, Figure 4. Pour cette configuration, selon les définitions suivantes :

$$L = \frac{l}{r}; H = \frac{h}{r}; X = (1 + H)^2 + L^2; Y = (1 - H^2) + L^2$$

Le facteur de vue est calculé grâce à :

$$F_d = \frac{1}{\pi \cdot H} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{L}{\sqrt{H^2 - 1}} \right) + \frac{L}{\pi} \left[\frac{X - 2H}{H \cdot \sqrt{XY}} \cdot \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{X(H-1)}{Y(H+1)}} \right) - \frac{1}{H} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{H-1}{H+1}} \right) \right]$$

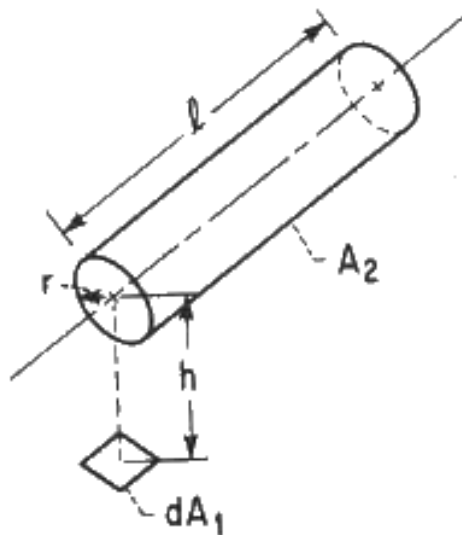


Figure 4 : Flamme cylindrique et cible plane parallèle.

Le facteur de vue final pour une distance donnée est alors estimé en considérant une norme 2 du vecteur de flux :

$$Fv = \sqrt{F_h^2 + F_v^2 + F_l^2}$$

Dans cette relation, F_h est le facteur de vue maximal sur les deux faces horizontales de la cible, F_v , le maximum pour les deux faces latérales verticales parallèles à la flamme et F_l , le maximum pour les deux faces latérales perpendiculaires.

A.1.6 Description détaillée de l'étalonnage du modèle

Il n'y a pas d'étalonnage dans le modèle, les résultats sont basés sur les caractéristiques des formules algébriques utilisées.

A.1.7 Description des approches mathématiques des modèles

Le modèle FNAP est principalement basé sur des formules algébriques qui ne nécessitent pas de méthode numérique spécifique.

A2 - Vérification

A.2.1 Description du développement dans le cadre de l'assurance qualité

Le modèle FNAP a été développé selon la procédure de qualité interne de l'Ineris.

Des tests de base ont été réalisés tout au long de la procédure de développement afin de s'assurer que les quantités intermédiaires sont conformes aux valeurs attendues. Certaines comparaisons ont été effectuées pour les valeurs intermédiaires. Certains de ces tests unitaires sont détaillés ci-après.

A.2.1.1 Caractéristiques de la flamme

La hauteur de flamme calculée avec et sans vent a été comparée aux valeurs attendues déduites de la corrélation de Thomas (Eq 1), respectivement modifiées ou non, en gardant à l'esprit que seuls deux débits de combustion sont utilisés dans le modèle, 55 et 25 g/m²/s respectivement pour les hydrocarbures et l'alcool.

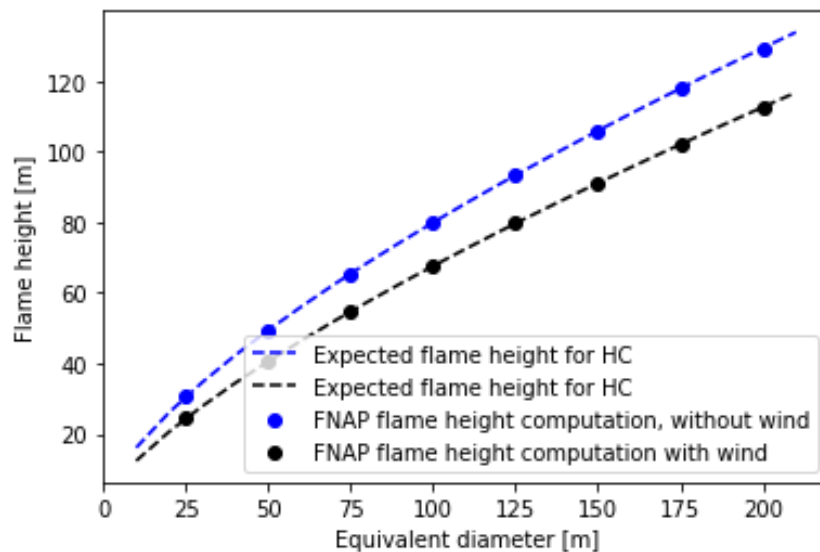


Figure 5 : Comparaison de la hauteur de flamme, des valeurs attendues et calculées pour les hydrocarbures.

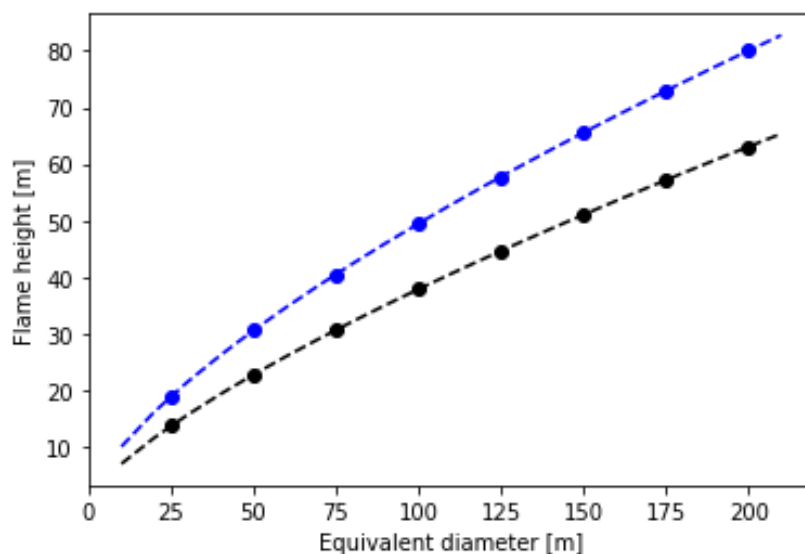


Figure 6 : Comparaison de la hauteur de la flamme, des valeurs attendues et des valeurs calculées pour l'alcool.

A2.1.2 Puissance d'émission de la surface de la flamme

Une comparaison entre la SEP calculée et la SEP attendue, déduite de l'étude de Mudan & Croce présentée ci-après pour les deux produits, Figure 7.

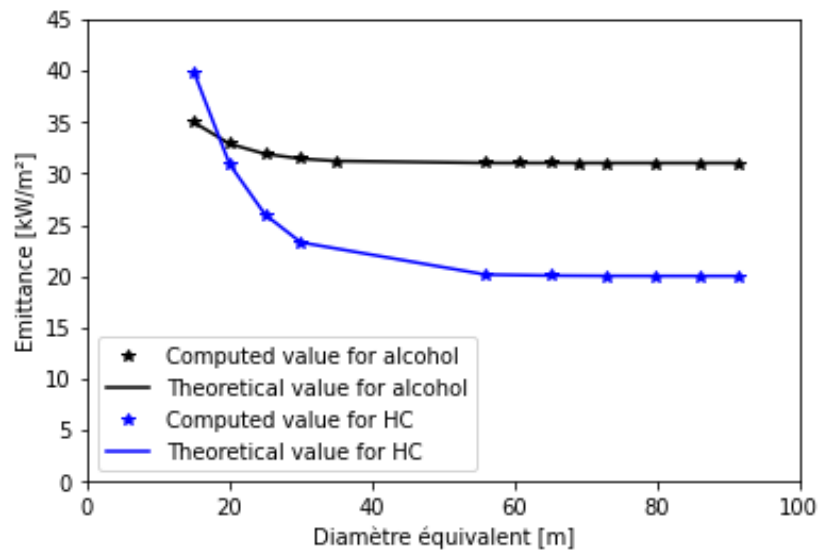


Figure 7 : Comparaison des valeurs SEP, attendues et calculées pour les hydrocarbures et les alcools.

A.2.2 Description des tests de cohérence du maillage

Aucun maillage n'est utilisé dans le modèle. La discrétisation de l'espace pour calculer les flux thermiques est adaptée en fonction des dimensions de l'incendie.

A.2.3 Gestion des interfaces entre les modèles

Les échanges entre les sous-modèles sont très simples, seuls des scalaires sont utilisés, la hauteur de la flamme et les dimensions du feu de nappe sont utilisées pour calculer les facteurs de vue et les facteurs de vue et l'émissivité sont utilisés pour évaluer les flux thermiques.

A.2.4 Tests sur les approches numériques pour les modèles N

Cette section n'est pas pertinente pour l'outil FNAP puisqu'il ne nécessite pas de modèles numériques.

A.2.5 Tests de comparaison entre les approches numériques pour les modèles N et la solution analytique

Cette exigence n'est pas pertinente pour le FNAP étant donné qu'aucune EDP (équation différentielle partielle) ne doit être résolue.

A3 - Analyse de sensibilité

A.3.1 Description du choix de la plage de valeurs pour les paramètres variables dans le champ d'application

Les paramètres d'entrée du modèle FNAP sont le diamètre du bassin et sa hauteur. Le produit hydrocarbure doit également être choisi.

Les paramètres variables, la description et les plages de variabilité sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Paramètres	Valeur de référence	Plage de variabilité
Caractéristiques de l'incendie		
Forme de la piscine	Rectangulaire	Rectangulaire, circulaire et polyédrique
Longueur du feu de piscine / Diamètre	93 m	20 à 100 m
Largeur du feu de la piscine / -	40 m	15 à 90 m
Feu de piscine 3 ^e dimension (polyédrique) / -	-	-
Caractéristiques du produit		
Nom du produit	Hydrocarbures	Hydrocarbures et éthanol

A.3.2 Présentation détaillée des résultats pour chaque paramètre (p) afin de pouvoir faire la même modélisation

L'évolution de la distance atteinte de 3, 5 et 8 kW/m², prise à partir du bord de la piscine, pour la variation des paramètres mentionnés ci-dessus est présentée dans les graphiques suivants. Il convient de noter que, puisque toutes les dimensions sont équivalentes, la largeur a été prise en compte pour la variation paramétrique.

Dans la Figure 8, l'influence de la largeur est étudiée pour une piscine rectangulaire d'une longueur constante de 98 m pour les HC et l'éthanol.

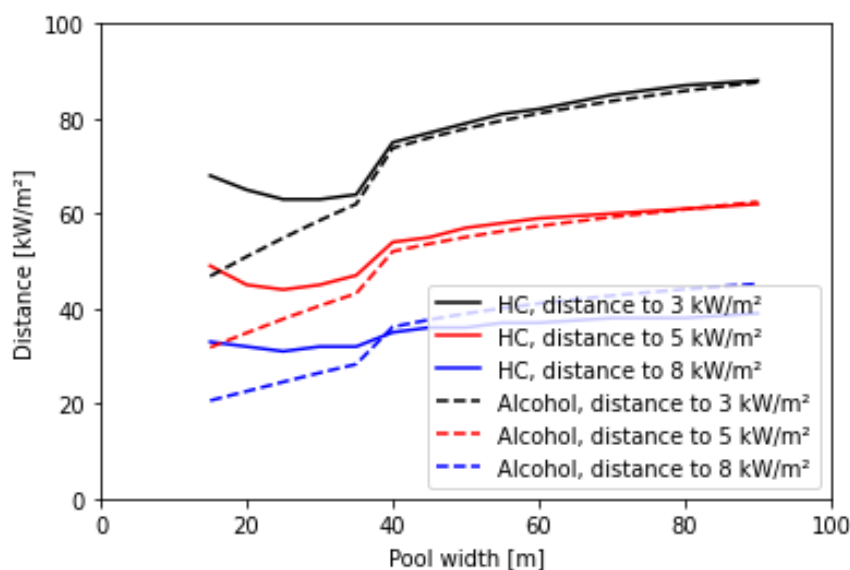


Figure 8 : Evolution de la distance correspondante de 3, 5 et 8 kW/m² en fonction de la largeur pour une piscine rectangulaire de 98 m de long feu, HC et alcool.

Cette comparaison met en évidence que, pour un feu assez petit, les distances calculées pour les hydrocarbures sont plus grandes. Lorsque l'incendie devient suffisamment important, les distances calculées sont du même ordre de grandeur. A proximité du feu, les distances à 8 kW/m² deviennent plus importantes pour l'alcool que celles calculées pour les hydrocarbures. Ceci est en accord avec la forte diminution de la flamme des hydrocarbures pour un grand diamètre équivalent. En effet, plus le diamètre est important, plus il est difficile pour l'air frais d'alimenter la combustion en plein milieu du bassin, ce qui favorise la formation de fumée et, à son tour, réduit le SEP. Cet effet est plus prononcé pour les HC que pour l'éthanol.

Cette courbe montre également une augmentation régulière de la distance calculée avec la largeur du feu, sauf pour les hydrocarbures lorsque la largeur est inférieure à 2,5 fois la longueur, où le diamètre équivalent est limité à la largeur. Il est intéressant de noter que, dans cette zone, l'énergie totale émise par la flamme est plus ou moins constante, Figure 9.

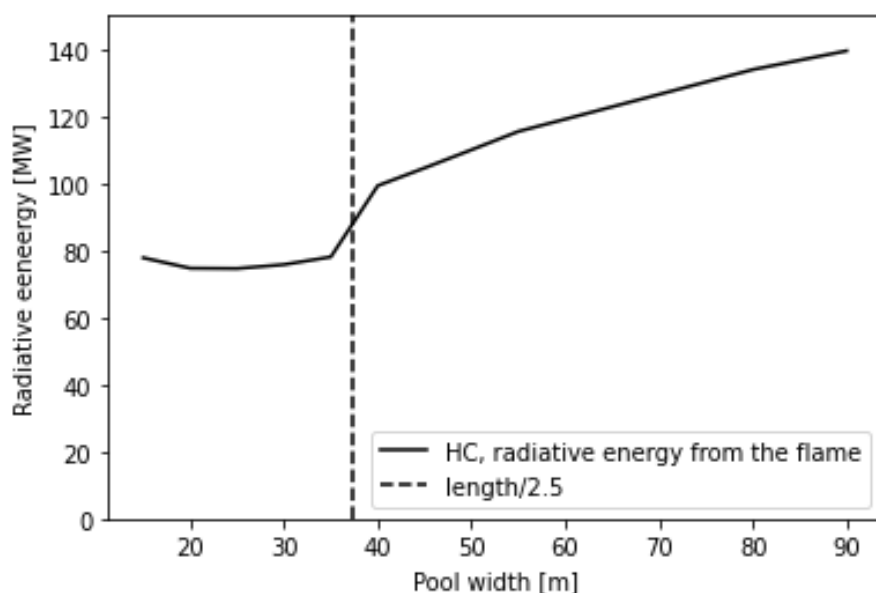


Figure 9 : Evolution de l'énergie radiative émise par la flamme pour les hydrocarbures en fonction de la largeur du feu de nappe.

A.3.3 Interprétation des résultats et analyse des résultats par rapport au comportement physique attendu

L'étude paramétrique présentée est en accord étroit avec les phénomènes physiques attendus.

A4 - Validation

A.4.1 Description du choix de l'ensemble de données (le champ d'application est couvert)

Il existe très peu de données d'essais d'incendies de piscines à grande échelle à des fins de validation. En plus du modèle existant basé sur les incendies de grandes piscines d'essence, certaines comparaisons ont été effectuées avec l'autre outil de modélisation Flumilog⁶ v6.0, en gardant à l'esprit que ce modèle devrait conduire aux mêmes résultats que le modèle FNAP actuel.

4.1.1 Comparaison avec les données expérimentales

Pour les feux de nappe d'alcool, la série de tests ETANKFIRE a été utilisée à des fins de comparaison. Au cours de cette campagne d'essais, des feux de nappe de 18 m de diamètre de E97 (97 % d'éthanol, 3 % d'essence) ont été gérés.

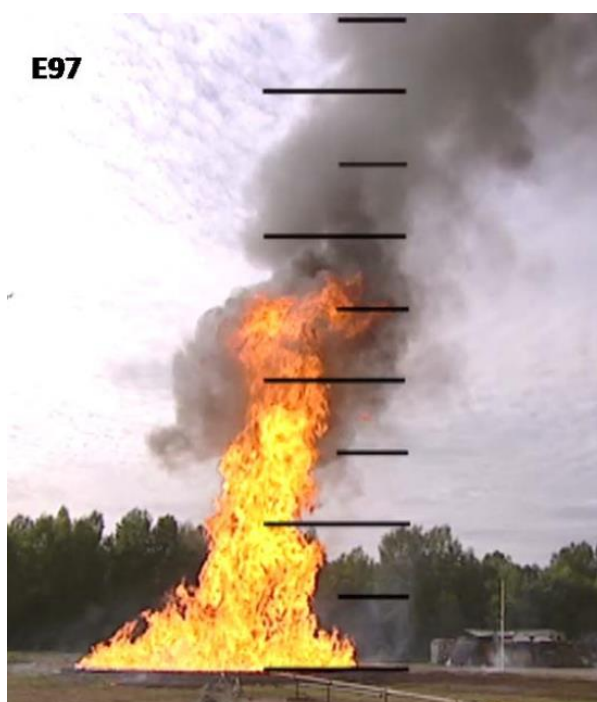


Figure 10 : Image de l'essai expérimental de l'incendie de la piscine E97.

La hauteur expérimentale de la flamme se situe entre 15 et 25 à 27 m alors que la hauteur calculée, sans tenir compte du vent, est estimée par FNAP à 24 m pour l'hydrocarbure et à 15 m pour l'éthanol. De plus, l'effet du vent semble négligeable sur l'image, démontrant l'importance d'avoir un calcul sans vent.

La comparaison entre les flux mesurés et calculés est représentée sur le site Figure 11.

⁶ Voir www.flumilog.fr

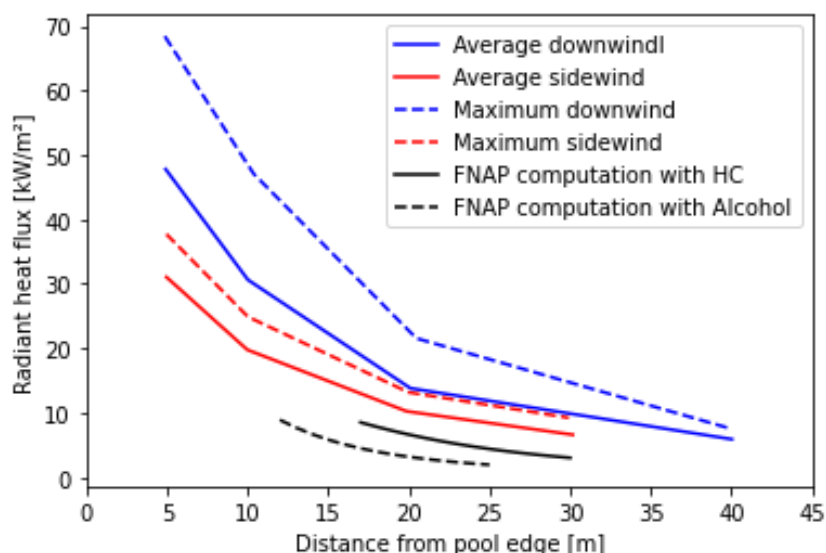


Figure 11 : Comparaison entre le flux thermique mesuré et calculé pour un feu de piscine E97 de 18 m dans des conditions sans vent.

4.1.2 Comparaison avec les résultats de Flumilog

Les deux outils étant basés sur le même modèle et les mêmes hypothèses, une intercomparaison a été réalisée pour plusieurs cas. Les configurations modélisées pour cet exercice d'intercomparaison sont celles choisies dans la fiche de non-régression de Flumilog :

- 3 hydrocarbures rectangulaires feux de piscines extérieures :
 - 93x54 m²,
 - 93x36 m²,
 - 93x18 m² ;
- 3 feux rectangulaires en éthanol pour la piscine extérieure :
 - 93x54 m²,
 - 93x36 m²,
 - 93x18 m².

Il convient de noter que ces cas sont ceux permis par les deux outils, le feu doit être rectangulaire pour le modèle Flumilog et FNAP ne réalise que le feu externe. Le tableau suivant résume les distances calculées avec les deux outils pour chaque cas. Pour chaque ligne et chaque flux, 2 distances sont données, la première correspond à la distance atteinte par le flux cible pour la plus grande dimension, la seconde, pour la plus petite. Toutes les distances calculées sont du même ordre de grandeur. Quelques différences peuvent être générées par la résolution numérique.

	Outil	FNAP			Flumilog V6.0 ⁷		
	Distance par rapport à	3 kW/m ²	5 kW/m ²	8 kW/m ²	3 kW/m ²	5 kW/m ²	8 kW/m ²
HC	93x54 m ²	81 / 64	57 / 42	37 / 29	77/64	53/46	33/30
HC	93x36 m ²	65 / 46	47 / 35	32 / 24	62/46	44/34	26/24
HC	93x18 m ²	67 / 33	47 / 26	32 21	63/32	43/24	29/20
Éthanol	93x54 m ²	80 / 61	56 / 46	40 / 34	87/72	63/54	45/38
Éthanol	93x36 m ²	63 / 41	44 / 31	29 / 24	66/48	46/34	32/26
Éthanol	93x18 m ²	49 / 25	34 / 19	22 / 15	51/28	35/22	23/16

Tableau 3 : Comparaison des distances calculées entre FNAP et Flumilog v6.0.

⁷ Selon la NOTE D'INFORMATIONS AUX UTILISATEURS DE FLUMILOG DU 15/10/24 MISE EN LIGNE DE LA VERSION V6.0

A.4.2 Description du choix du jeu de données (partie utilisée pour l'étalonnage)

Comme mentionné ci-dessus, aucune donnée de référence n'était disponible pour l'étalonnage, les hypothèses ont été faites sur la base de la littérature disponible.

A.4.5 Description de la comparaison qualitative et quantitative entre les résultats expérimentaux et numériques

Aucune comparaison n'est possible en l'absence de données expérimentales.

A.4.6 Explication de la validité de l'outil en l'absence de données à comparer (informations enregistrées lors de l'accident et/ou données numériques)

L'évaluation du modèle a été réalisée en estimant le comportement physique grâce à l'étude paramétrique.

A.4.7 Synthèse de toutes les comparaisons

Le modèle nécessite une comparaison expérimentale plus rigoureuse dès que les données expérimentales seront publiées.

A5 - Évaluation orientée vers l'utilisateur

A.5.1 Description de la documentation orientée vers l'utilisateur

Une brève documentation, principalement axée sur la description des paramètres d'entrée, est fournie dans le rapport de l'Ineris $\Omega 2^8$.

A.5.2 Description et analyse des critères ergonomiques

L'interface graphique a été développée sur la plate-forme PRIMARISK.

The screenshot displays the PRIMARISK graphical interface, which is a multi-page tool for risk assessment. At the top, there are three navigation tabs: "A PROPOS DE PRIMARISK", "OUTILS PRIMARISK", and "LIENS UTILES". Below these, a progress bar indicates the current step, with "1 Page 1" highlighted and "2 Page 2" visible. The main content area is titled "Etape préalable" and includes a link "Lire la description et les limites d'utilisation". Under "Sélection du produit", there is a dropdown menu currently set to "- Sélectionner -". The "Forme du réservoir" section asks the user to "Choisissez une forme de Réservoir" with three radio button options: "Circulaire", "Rectangulaire", and "Quelconque". The "Conditions ambiantes et paramètres" section contains a table for inputting environmental data.

Donnée	Valeur
Température ambiante (valeur entre 253 et 323 °K)	288 k
Vitesse du vent (valeur entre 0 et 10 m/s)	5
Humidité relative	0.7

At the bottom of the form, there is a blue button labeled "SUIVANT >".

Figure 12 : Exemple de l'interface graphique intégrée de PRIMARISK.

A.5.3 Analyse de la clarté et de la souplesse des résultats obtenus

Le principal résultat disponible dans l'interface graphique est la distance atteinte pour les différents seuils de flux radiatif, Figure 13. Plusieurs valeurs intermédiaires sont données dans le tableau des résultats pour donner à l'utilisateur des éléments concernant le comportement physique du produit lors des phénomènes de feu de piscine et lui permettre de réaliser une analyse critique.

⁸ Omega 12 - Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels - Dispersion atmosphérique (mécanismes et outils de calcul), 2021.

Feu de nappe - résultats

↪ Lancer un nouveau calcul

Exporter les résultats en PDF

Produit : DLI-Hydrocarbures

Résultats simples

[Lire la description et les limites d'utilisation](#)

Calcul des distances d'effets thermiques pour un feu de forme rectangulaire

Effets en mètres	Seuils (kW/m2)	Longueur	Largeur
Seuil des effets létaux significatifs (5%)	8	31	22
Seuil des effets létaux (1%)	5	42	27
Seuil des effets irréversibles	3	57	34
Autre seuil d'effet	-	-	-

Rappel des données d'entrée

Conditions atmosphériques

Données	Valeurs	Unité
Température ambiante	288	K
Vitesse du vent	5	m/s
Humidité relative	0.7	-

Géométrie du bac de forme Rectangulaire

Données	Valeurs	Unité
Longueur	93	m
Largeur	18	m
Hauteur du bac	0	m

Données relatives à la cible

Données	Valeurs	Unité
Hauteur de la cible	1.5	m

Figure 13 : Exemple de visualisation des résultats dans l'interface graphique intégrée de PRIMARISK pour FNAP.

A.5.4 Description de l'assistance dans la définition des données d'entrée, aspects informatiques

L'outil fonctionne avec n'importe quel navigateur web.

