



BOILOVER

Mécanisme et modélisation

Stéphanie PATEJ - INVE/DRA

INERIS



Le Boilover

Définition

- phénomène de **moussage**
- concerne des **réservoirs atmosphériques en feu**
- **vaporisation d'un fond d'eau** liquide

Effets

- **projections** d'hydrocarbures en feu=> extension de l'incendie
- formation d'une **boule de feu** => Effets thermiques



Accidentologie

Dix accidents en l'espace de 40 ans

- Rareté de ce phénomène

Cinq accidents graves

- Yokkaichi (1955)
- Tacoma (1982)
- Milford Haven (1983)
- Thessalonique (1986)
- Port Edouard-Herriot (1987)

Base du modèle utilisée par l'INERIS



Cinétique du phénomène

Temps de déclenchement du boilover

- 4 h minimum (bacs de grande dimension)
- variable suivant la taille du réservoir (quantité de produit)

Conséquences

- retombées fluides au sol formant des feux de nappe
- **boule de feu de courte durée mais de forte intensité**

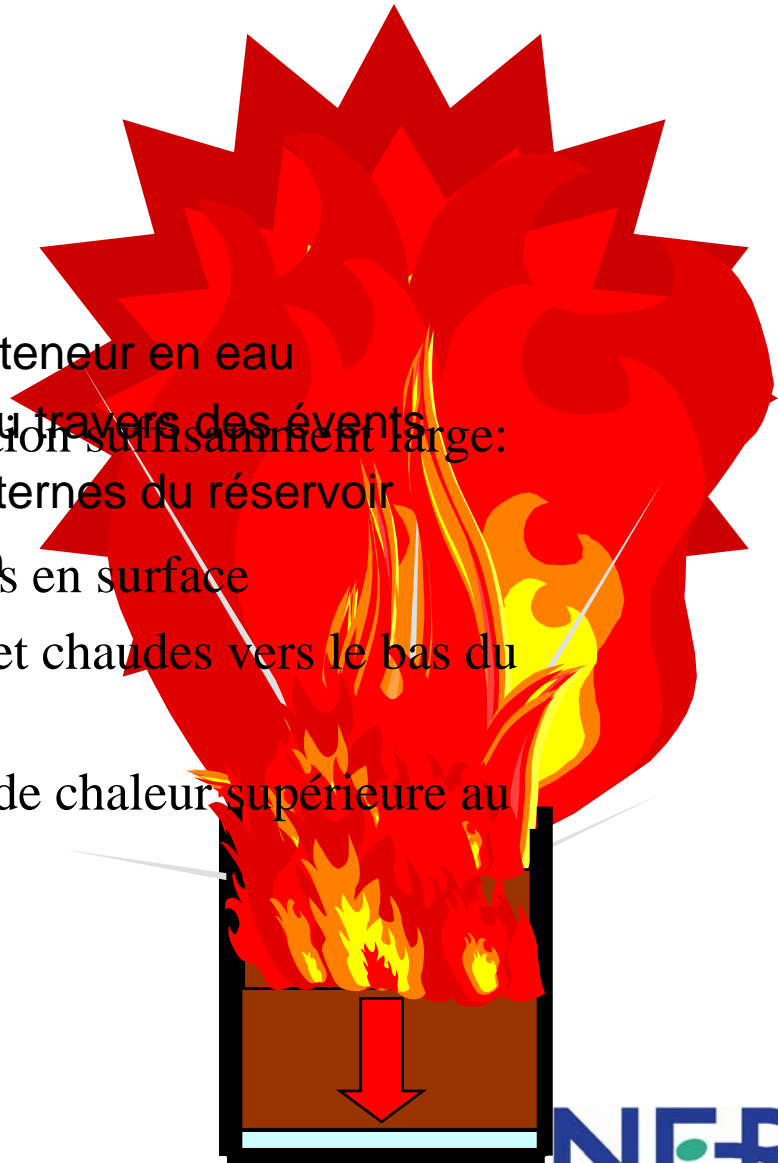
Boilover : phénomène

Préparation d'un fond de chaleur

- Nécessaire à une certaine teneur en eau
- Génération d'un film de vapeur
- Hydrocarbure à phase d'ébullition suffisamment large:
Génération sur les parois internes du réservoir
- Introduction d'eaux d'extinction

Effet piston combustion des coupes légères en surface

- Migration des soufflantes et chaudes vers le bas du réservoir à la vapeur d'eau
- Émission d'une onde de chaleur supérieure au foyer
- La viscosité doit être supérieure à celle du kérosène à 393°K (120°C) soit $> 0,73$ cSt



Accident du port Edouard Herriot (1987)



Document SEI

Lyon, port E. Herriot (1987).



Conditions nécessaires à l'occurrence d'un boilover

- * Présence d'un fond d'eau
- * Création d'une onde de chaleur => $\Delta T_{\text{ébul}} > 60^{\circ}\text{C}$
- * Hydrocarbure de température d'ébullition moyenne suffisamment élevée => $T_{\text{ébul}} > 120^{\circ}\text{C}$
- * Hydrocarbure suffisamment visqueux => $\nu_{\text{HC}} > 0,73 \text{ cSt}$

Facteur de propension au Boilover

$$P_{BO} = \left[\left(1 - \frac{393}{T_{\text{ebul}}} \right) \left(\frac{\Delta T_{\text{ebul}}}{60} \right)^2 \left(\frac{v_{\text{HC}}}{0,73} \right) \right]^{\frac{1}{3}}$$

Si $P_{BO} \gg 0,6 \Rightarrow$ Boilover à considérer

Si $P_{BO} \ll 0,6 \Rightarrow$ Boilover très improbable

Attention à son utilisation



Modélisation du boiler

* Partenariat entre TOTAL, INERIS et EDF-CLI

* Modèle semi-empirique

- travaux expérimentaux (Broeckmann, Risinger, Kasegawa,...)
- grandeurs mesurées lors de cinq accidents graves (Yokkaichi, Tocoa,...)



Modélisation du boilover

- * Détermination de la quantité d'hydrocarbure participant à la formation de la boule de feu
 - Masse d'hydrocarbures présent dans le bac au moment du Boilover
 - Fraction de liquide se vaporisant

- * Caractérisation de la boule de feu (taille, élévation, durée,...)

- * Caractérisation du flux thermique reçu
 - Corrélations impliquant les charges thermiques associées aux effets létaux et irréversibles pour les phénomènes de courte durée

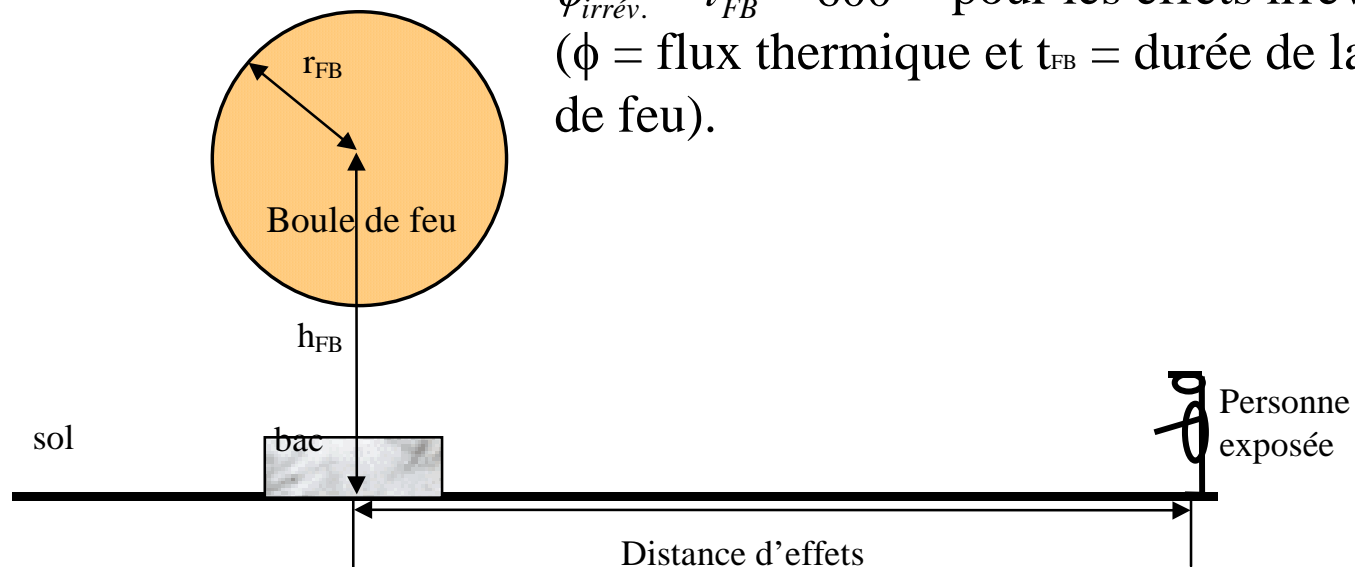
- * Détermination des distances d'effets

Évaluation du flux thermique reçu

$$\phi_{\text{létal}}^{4/3} t_{\text{FB}} = 1000 \quad \text{pour les effets létaux}$$

$$\phi_{\text{irrév.}}^{4/3} t_{\text{FB}} = 600 \quad \text{pour les effets irréversibles}$$

(ϕ = flux thermique et t_{FB} = durée de la boule de feu).





Autre méthode de calcul

Formules de l'instruction technique du 9 novembre 1989

- $d_{EL}=5,86.M^{1/3}$
- $d_{BS}=8,23.M^{1/3}$

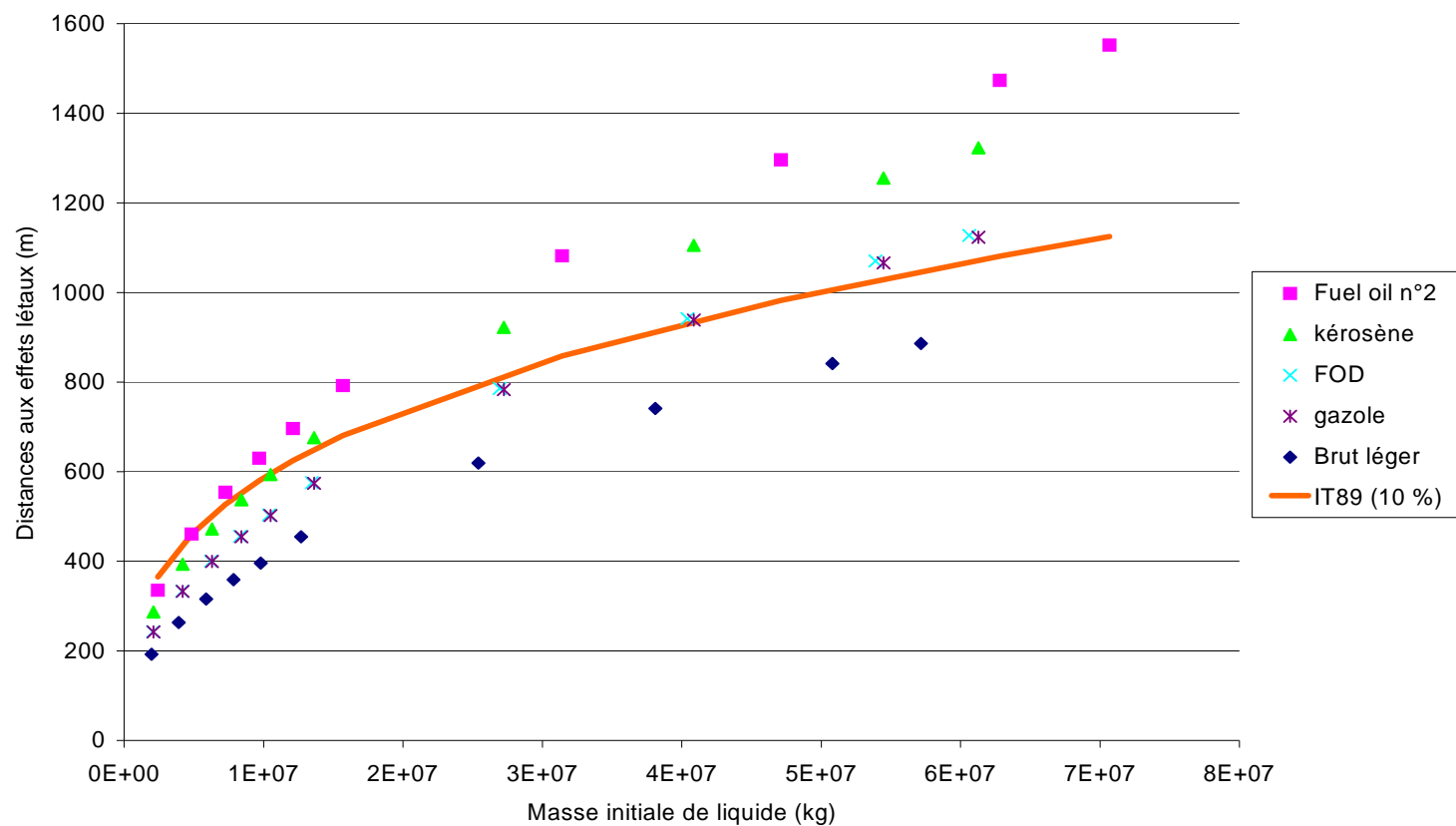
avec $M=10\%$ de la masse initialement présente dans le bac

Défauts de ces formules

- Quel que soit le produit, % se retrouvant dans la boule de feu toujours le même
- Pas de prise en compte des propriétés intrinsèques du produit

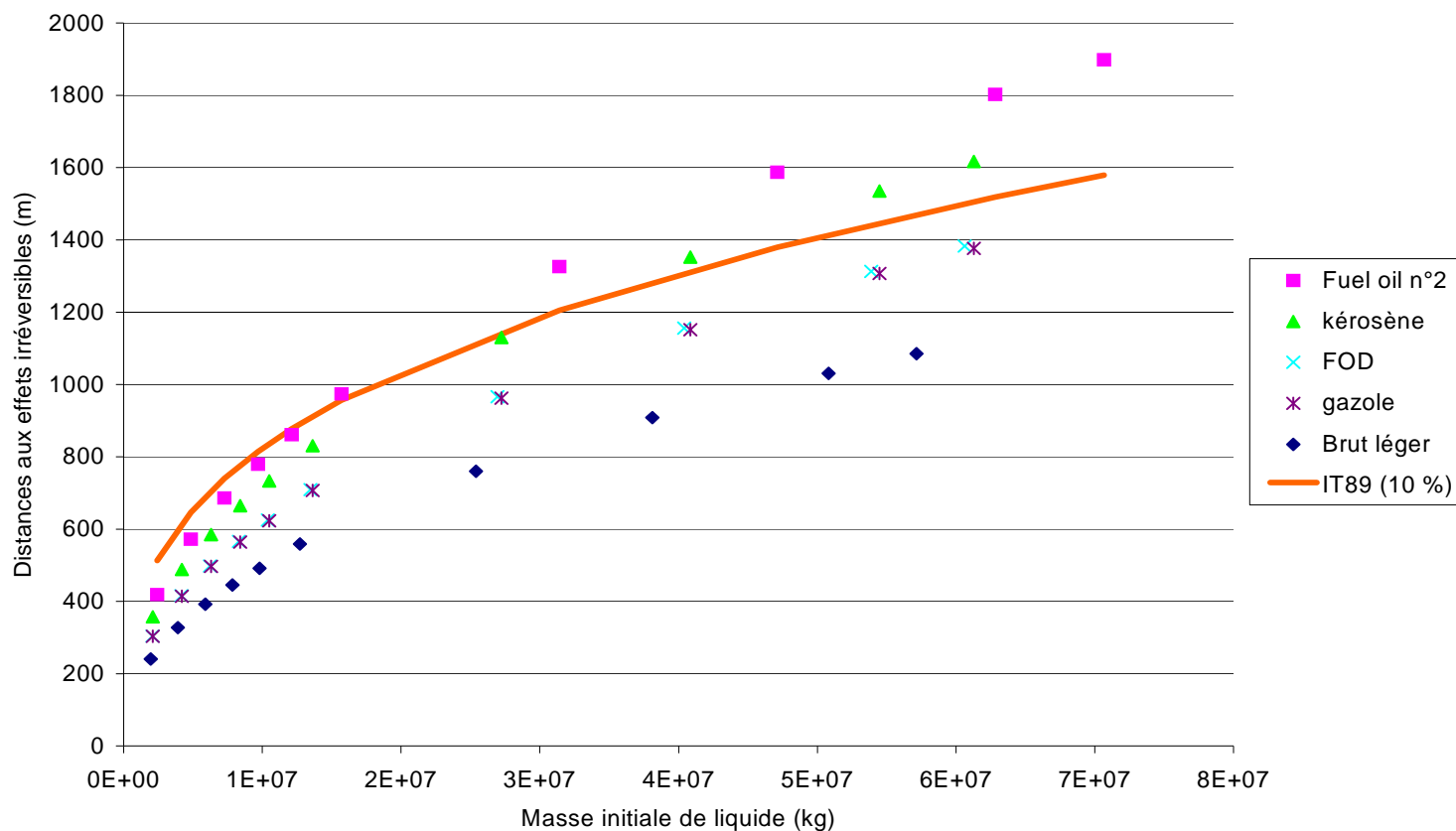
Etude comparative de ces deux méthodes

Distances d'effets létaux



Etude comparative de ces deux méthodes

Distances d'effets irréversibles



Formules simplifiées issues du modèle utilisé par l'INERIS

$$\left. \begin{aligned} DIST_{l\acute{e}tal} &= A_{l\acute{e}tal} MLIQ^{B_{l\acute{e}tal}} \\ DIST_{irr\acute{e}v.} &= A_{irr\acute{e}v.} MLIQ^{B_{irr\acute{e}v.}} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &MLIQ : \text{Masse d'hydrocarbure contenu dans} \\ &\text{le bac au d\acute{e}but de l'incendie (kg),} \\ &(A_{l\acute{e}tal}, B_{l\acute{e}tal}), (A_{irr\acute{e}v.}, B_{irr\acute{e}v.}) : \text{Couples de} \\ &\text{constantes \u00e0 d\acute{e}terminer suivant le produit} \\ &\text{stock\acute{e}} \end{aligned}$$

Produit stock\acute{e}	Constantes associ\eees \u00e0 $DIST_{l\acute{e}tal}$		Constantes associ\eees \u00e0 $DIST_{irr\acute{e}v.}$	
	$A_{l\acute{e}tal}$	$B_{l\acute{e}tal}$	$A_{irr\acute{e}v.}$	$B_{irr\acute{e}v.}$
Fuel oil n\u00b02	0,42	0,455	0,573	0,449
K\ros\ene	0,387	0,454	0,525	0,448
FOD	0,317	0,457	0,439	0,45
Gazole	0,319	0,456	0,439	0,449
Brut l\eger	0,267	0,454	0,363	0,448

$B_{l\acute{e}tal}$ et $B_{irr\acute{e}v.} \approx 0,45$ quel que soit le produit

$A_{l\acute{e}tal}$ et $A_{irr\acute{e}v.}$ d\acute{e}pendent du produit

Couples de constantes ($A_{l\acute{e}tal}$, $B_{l\acute{e}tal}$) et ($A_{irr\acute{e}v.}$, $B_{irr\acute{e}v.}$) suivant le produit stock\acute{e}.



Avantages de ces formules simplifiées

- * Modèle utilisé par l'INERIS basé sur l'état de l'art et le retour d'expérience
- * Formulations proposées aussi simples que l'IT de 1989
- * Formules tiennent compte des propriétés intrinsèques des produits