

# Analyse thermique et spectrale d'un feu de nappe dans un compartiment moteur d'un véhicule militaire terrestre

A. Robinet<sup>1</sup>, K. Chetehouna<sup>1</sup> et A. Oger<sup>2</sup>

- ▶ <sup>1</sup>INSA Centre-Val de Loire, PRISME EA 4229, 88 boulevard Lahitolle, France, [antonin.robinet@insa-cvl.fr](mailto:antonin.robinet@insa-cvl.fr)
- ▶ <sup>3</sup>DGA Techniques Terrestres, Echangeur de Guerry, Bourges, France



1. Contexte de l'étude
2. Description du banc et des essais
3. Résultats et discussions

## 1. Contexte de l'étude

## 2. Description du banc et des essais

## 3. Résultats et discussions

## Contexte de l'étude

Les feux de véhicules sont courants et destructeurs. Ils causent des centaines de morts et des milliards d'euros de pertes matériels (Ahrens, 2020).

- ▶ **54 060** feux de véhicules en France en 2018.
- ▶ **212 500** feux de véhicules aux États-Unis en 2018.
- ▶ « Incendie d'un bus dans le tunnel de Bicêtre. » (mai 2024, Paris)



(a) avril 2022, Paris



(b) décembre 2023, Perpignan

Figure 1: Quelques incendies de véhicules récents.

# Contexte de l'étude

Un feu de moteur peut s'envisager comment un feu de compartiment soumis à une ventilation horizontale entrante.

- Quelle est la dynamique d'une flamme soumise à un flux d'air entrant horizontalement dans le compartiment ?



(a) Un camion de transport.



(b) Le VBMR (Véhicule de transport de troupes).

Figure 2: Quelques exemples de véhicules de transport.

1. Contexte de l'étude

2. Description du banc et des essais

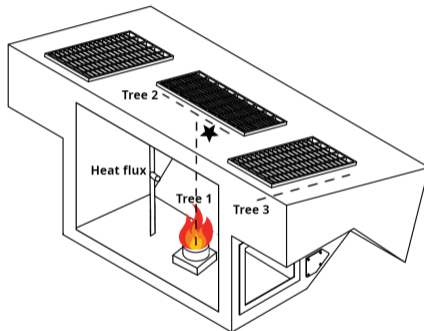
3. Résultats et discussions

# Description du banc et des essais

Les essais ont été menés dans un compartiment moteur représentatif d'un véhicule de transport de l'armée de terre française, d'un volume de  $2.4 \text{ m}^3$ .



(a) Banc d'essais avec la fenêtre ouverte.



(b) Schéma du banc d'essais.

Figure 3: Photographie et schéma du banc d'essais.

# Description du banc et des essais

## Matériel:

- ▶ Coupelle cylindriques
- ▶ 99% RE *n*-heptane
- ▶ Thermocouples type K 1 mm
- ▶ Balance Scaime AVX15
- ▶ ECOM J2KN gas analyzer
- ▶ Système PIV Dantec Dynamics

## Étude paramétrique:

- ▶ 2 diamètres de coupelle : 16, 24 cm
- ▶ 3 hauteurs de carburant : 5, 10, 15 mm
- ▶ 3 ventilations :  $0.0, 0.2, 0.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

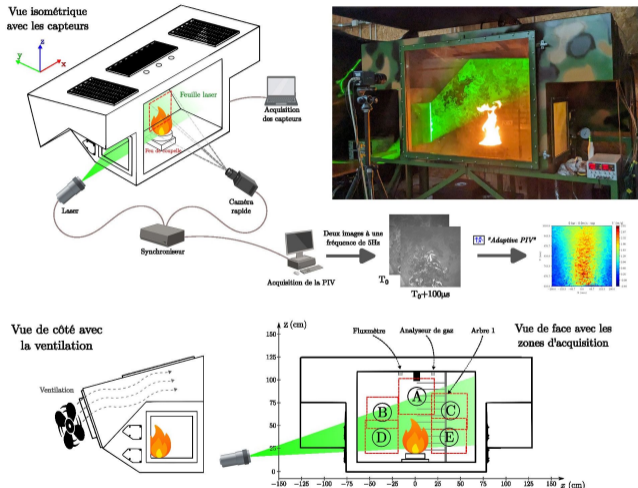


Figure 4: Schéma récapitulatif.



# Table des matières

1. Contexte de l'étude

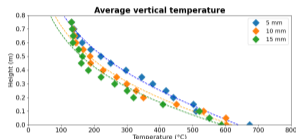
2. Description du banc et des essais

3. Résultats et discussions

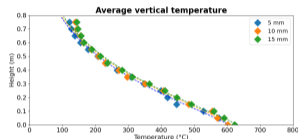
# Résultats et discussions

## Température verticale moyenne

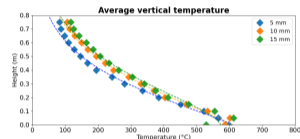
Décroissance exponentielle de la température verticale moyenne en fonction de la hauteur.



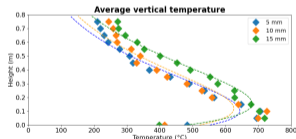
(a)  $16 \text{ cm} - 0.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



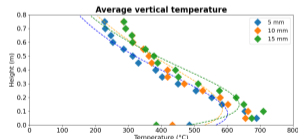
(b)  $16 \text{ cm} - 0.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



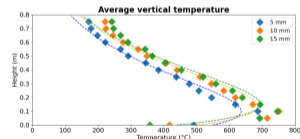
(c)  $16 \text{ cm} - 0.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



(d)  $24 \text{ cm} - 0.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



(e)  $24 \text{ cm} - 0.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



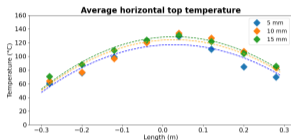
(f)  $24 \text{ cm} - 0.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Figure 5: Température verticale moyenne en fonction de la hauteur initiale de carburant, du diamètre de la coupelle et de la ventilation.

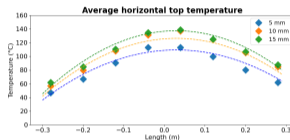
# Résultats et discussions

## Température horizontale moyenne

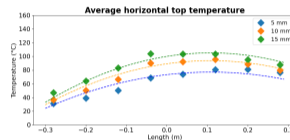
La température horizontale moyenne au-dessus de la flamme est maximale au centre puis décroît rapidement.



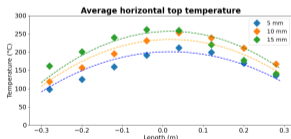
(a) 16 cm –  $0.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



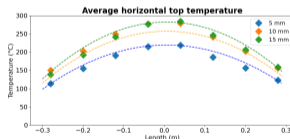
(b) 16 cm –  $0.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



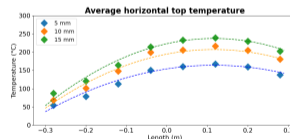
(c) 16 cm –  $0.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



(d) 24 cm –  $0.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



(e) 24 cm –  $0.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



(f) 24 cm –  $0.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Figure 6: Température horizontale moyenne en fonction de la hauteur initiale de carburant, du diamètre de la coupelle et de la ventilation.

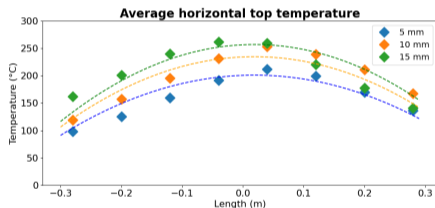


Figure 7: 24 cm – 0.0 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>

- ▶ Températures descriptibles grâce à une loi de puissance, valable proche de la source.

$$T = T_{max} \left( 1 + a_1 x + a_2 x^2 \right) \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha$$

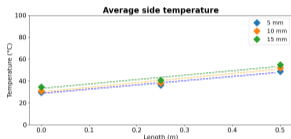
Table 1: Coefficients de la loi de puissance

Pan diameter (cm)	Ventilation flow (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	T <sub>max</sub> (°C)	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	α	R <sup>2</sup>
16	0.0	128	0.1	-0.4	0.1	0.91
	0.2	137	0.1	-0.5	0.2	0.94
	0.4	100	0.3	-0.3	0.3	0.93
24	0.0	257	0.1	-0.4	0.2	0.84
	0.2	282	0.1	-0.5	0.2	0.93
	0.4	223	0.3	-0.4	0.3	0.97

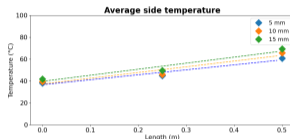
# Résultats et discussions

## Température transversale moyenne

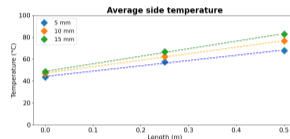
La température moyenne dans les passages de roues suit la pente du capot. La relation est linéaire.



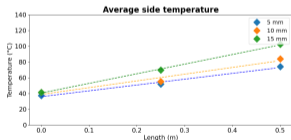
(a) 16 cm –  $0.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



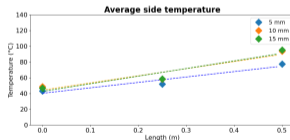
(b) 16 cm –  $0.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



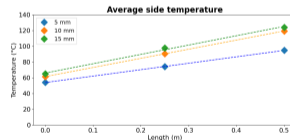
(c) 16 cm –  $0.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



(d) 24 cm –  $0.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



(e) 24 cm –  $0.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



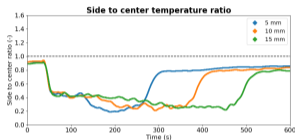
(f) 24 cm –  $0.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Figure 8: Température transversale moyenne en fonction de la hauteur initiale de carburant, du diamètre de la coupelle et de la ventilation.

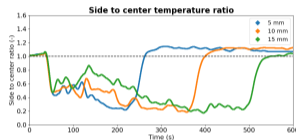
# Résultats et discussions

## Rapport entre la température des passages de roues et au centre du compartiment

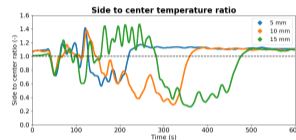
Lorsque la ventilation augmente, la chaleur est tirée du foyer par la ventilation est amenée dans les passages de roues, où elle stagne.



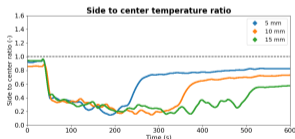
(a) 16 cm –  $0.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



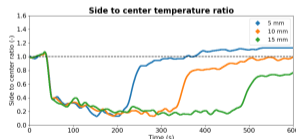
(b) 16 cm –  $0.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



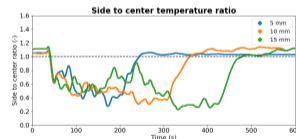
(c) 16 cm –  $0.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



(d) 24 cm –  $0.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



(e) 24 cm –  $0.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



(f) 24 cm –  $0.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Figure 9: Rapport entre la température des passages de roues et au centre du compartiment en fonction de la hauteur initiale de carburant, du diamètre de la coupelle et de la ventilation.

## Acquisition de la fréquence d'oscillation de la flamme

La hauteur de flamme est acquise grâce à un algorithme de segmentation  $k$ -moyennes, la fréquence d'oscillation de la flamme grâce à la densité spectrale de puissance.



(a) Phénomène d'oscillation de la flamme



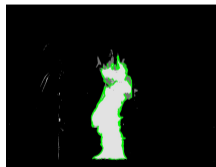
(b) Image réelle



(c) Couleurs YCbCr



(d) Niveaux de gris



(e) Segmentation

Figure 10: Prises de vue et traitement des images de la caméra.

Table 2: Fréquences d'oscillation de la flamme.

Pan diameter (cm)	Fuel depth (mm)	0.0 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	0.2 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	0.4 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
16	5	4.0	3.8	3.9
	10	4.0	4.1	3.8
	15	4.1	3.9	3.9
24	5	3.2	3.0	2.8
	10	2.9	2.9	2.8
	15	2.8	3.1	2.6

- ▶ Les fréquences sont insensibles aux variations de l'étude paramétrique car les amplitudes sont trop faibles (Hu et al., 2015; Liu et al., 2020).
- ▶ Les fréquences observées dépendent uniquement du diamètre et collent bien à la loi  $f = 0.48\sqrt{g/D}$  de (Cetegen & Ahmed, 1993).



Dynamique du panache de la flamme avec une hauteur de carburant de 5 mm

Les lignes de courant sont calculées pendant une période stable de 30 secondes.

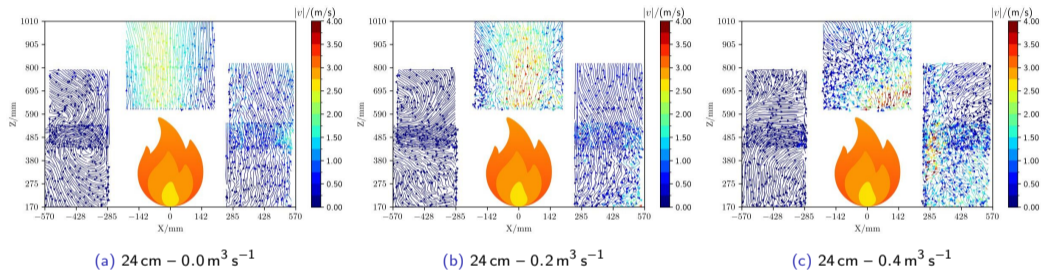


Figure 11: Lignes de courant en fonction de la ventilation.

- ▶ Sans ventilation, l'écoulement atteint des vitesses maximales proches de  $2.5 \text{ m s}^{-1}$ .
- ▶ On observe des circulations d'air sur la gauche de la flamme.
- ▶ Avec ventilation, l'écoulement devient très turbulent, la flamme est de plus en plus confinée.

- ▶ La ventilation joue un rôle important sur la flamme à partir de  $0.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .
- ▶ Les mesures par PIV confirment que sous ce débit, le panache de la flamme est l'écoulement dominant.
- ▶ La ventilation réalise un transfert de masse et de chaleur important. Les fumées peuvent être confinées.
- ▶ Le confinement des fumées dans les passages de roues est d'autant plus important que la ventilation est forte.
- ▶ L'étude paramétrique peut être étendue pour obtenir des variations sur des grandeurs comme la fréquence d'oscillation de la flamme.

# Remerciements

Le travail présenté a été rendu possible grâce au financement de l'Agence Innovation Défense et de la Région Centre Val de Loire.



**AGENCE  
INNOVATION  
DÉFENSE**



Merci !