



PRÉFECTURE DE POLICE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Laboratoire central de la préfecture de Police

Puissance dégagée par des feux de bagage



Mathieu Suzanne – LCPP
Pierre Carlotti – ARTELIA



Puissance dégagée par des feux de bagage

Sommaire

1. Introduction et motivations
2. Choix du type de bagages à tester
3. Protocole expérimental
4. Principaux résultats
5. Discussion

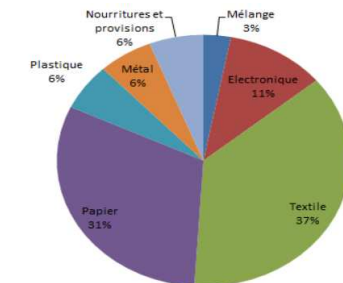
Sécurité incendie dans les transports ferrés

- ✓ Métro/RER : le débit calorifique du train est faible (cf. Norme européenne pour le matériel roulant, NF EN 45545) ;
- ✓ Une contribution majeure possible de la part des bagages ?
- ✓ Très peu de données existantes [Sherwood ; Kumm]
- ✓ Nécessité d'avoir une estimation de l'évolution possible/réaliste du débit calorifique en fonction du temps ;
- ✓ **Lancement d'une étude expérimentale**



Train de banlieue			Metro		
Jours de semaine (kg)	Week-ends et jours de voyage (kg)	Moyenne (kg)	Jours de semaine (kg)	Week-ends et jours de voyage (kg)	Moyenne (kg)
4,4	4,9	4,65	3,5	4,5	4,2

Tableau 1: Masses de bagages relevées dans le métro et train de banlieue de Stockholm (en kg).



Graphique 1: répartition massique du contenu des bagages dans le métro et le train de banlieue de Stockholm [7].

C. Sherwood. Why do design fires matter? In BRE Fire Conference, 2015

M. Kumm. Carried fire load in mass transport systems: a study of occurrence, allocation and fire behaviour of bags and luggage in metro and commuter trains in Stockholm. Research report, Mälardalen University, Sweden, 2010

Type de bagages testés

Décision de prendre en compte les valises dans les porte-bagages des trains à grande vitesse.

Données issues d'un panel de valises non réclamées par le Service des Objets Trouvés :

- ✓ 2 types de valises : moyenne et grande ;
- ✓ Mélange de vêtements et d'autres biens (pas d'ordinateur et autres équipements électroniques ! Contenants sous pression enlevés).

Type	Dimensions (cm ³)	Volume (l)	Masse à vide (kg)	Matériau	Masse totale (kg)
Moyenne	46 x 33 x 24	36	2,5	Polycarbonate	9
Grande	75 x 47 x 28	101	3,6	ABS	18

Protocole expérimental (1/2)

Au total, quatre configurations considérées :

- a) Une valise de taille moyenne isolée (type 1) en position verticale ;
- b) Une valise de grande taille (type 2) en position verticale ;
- c) Un rack ouvert de 2 niveaux, avec 2 valises de taille moyenne au sol et une grande valise sur le niveau supérieur ;
- d) Un rack semi-confiné de 2 niveaux, avec 2 valises de taille moyenne au sol et une grande valise sur le niveau supérieur

Nom	Configuration	Type de valise
a1i	a. Valise isolée	1
a1ii	a. Valise isolée	1
b2i	b. Valise isolée	2
b2ii	b. Valise isolée	2
c112ii	c. Rack ouvert	1 ; 1 ; 2
d112ii	d. Rack confiné	1 ; 1 ; 2

Protocole expérimental (2/2)

Site expérimental du LCPP au Fort de la Briche à Saint Denis (93)

Hotte calorimétrique pouvant atteindre ~4 MW

Protocole d'allumage :

- Pour les bagages seuls, deux méthodes utilisées :
 1. Déversement de 200 ml d'essence sur le dessus de la valise, et allumage avec une petite flamme ;
 2. Flamme de bruleur gaz (~5 kW) appliquée pendant 12 secondes sur la partie inférieure de la valise
- Pour la configuration « rack », même brûleur gaz appliqué sur la partie inférieure de l'une des valises moyennes pendant environ 20 secondes.



Mesures

Fréquence d'acquisition 1 Hz

- ✓ Masse totale ;
- ✓ Piégeage de l'eau et des particules ;
- ✓ Monoxyde et dioxyde de carbone (IR)
- ✓ Oxygène (paramagnétique)
- ✓ Température
- ✓ Débit massique

Acide cyanhydrique (barbotage et colorimétrie) → dose sur un test

Photos et vidéos

Estimation par la vitesse de perte de masse

$$\dot{Q} = -\Delta H \frac{dM}{dt} \quad \Delta H \approx 19 \text{ MJ/kg} \quad (\text{le plus simple, en théorie, mais bruits sur la mesure de masse et valeur du } \Delta H)$$

Calorimétrie par dilution (C_1 obtenu par calibration)

$$\dot{Q} = C_1 \sqrt{\frac{\Delta P}{T}} (T - T_0) \quad (\text{très sensible aux pertes de chaleur non contrôlées, donc méthode la moins fiable})$$

Calorimétrie par consommation d'oxygène (C_2 obtenu par calibration)

$$\dot{Q} = C_2 \sqrt{\frac{\Delta P}{T}} \delta X \quad \delta X = 20.95 - [O_2] \quad (\text{supposé être la méthode la plus fiable lorsque réalisée avec soin})$$

Grande valise seule



Rack ouvert



Rack fermé



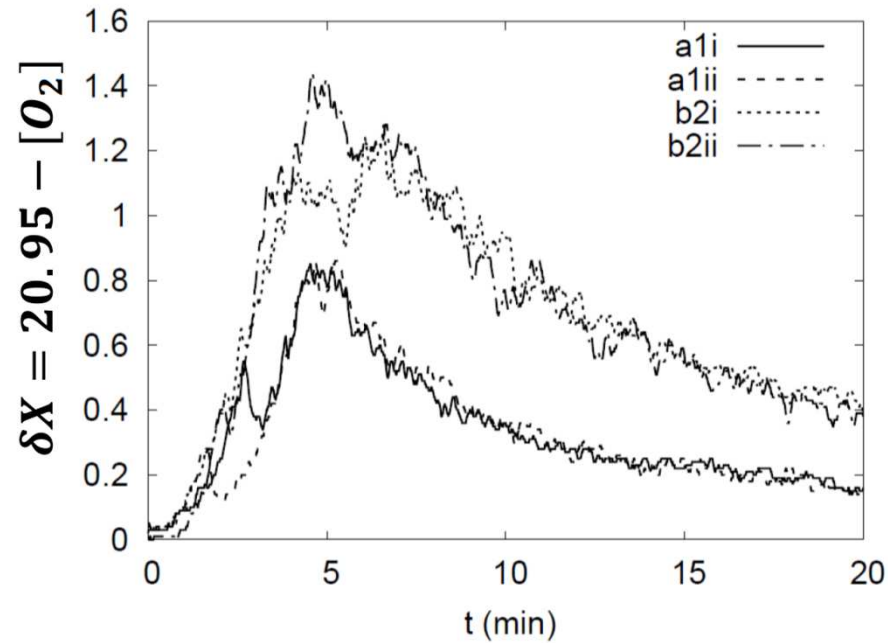


Figure 2: Oxygen concentration reduction $\delta X = 20.95 - [O_2]$ expressed in % vol for isolated suitcases tests.

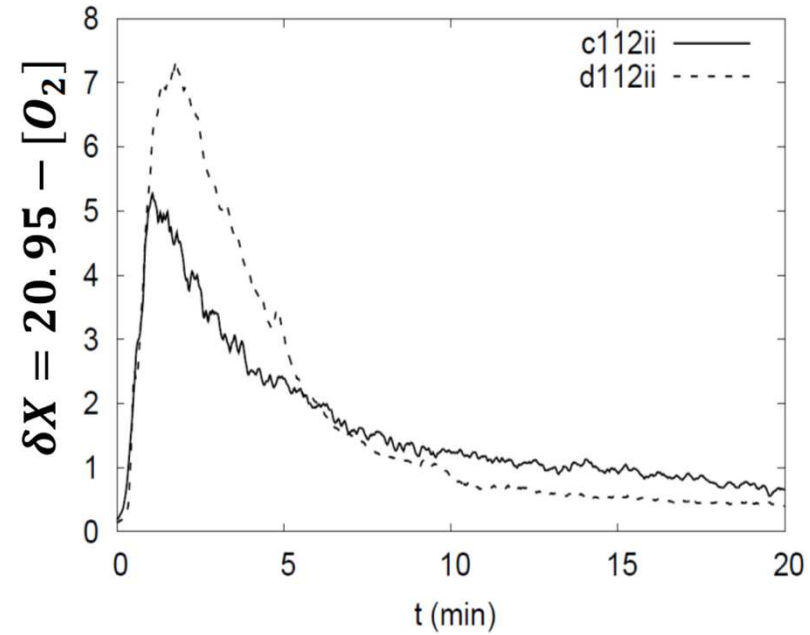
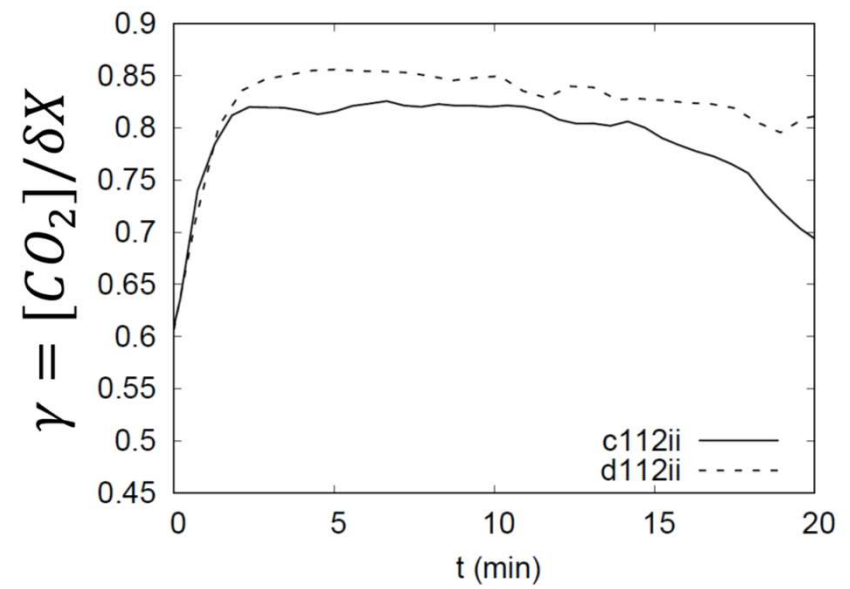
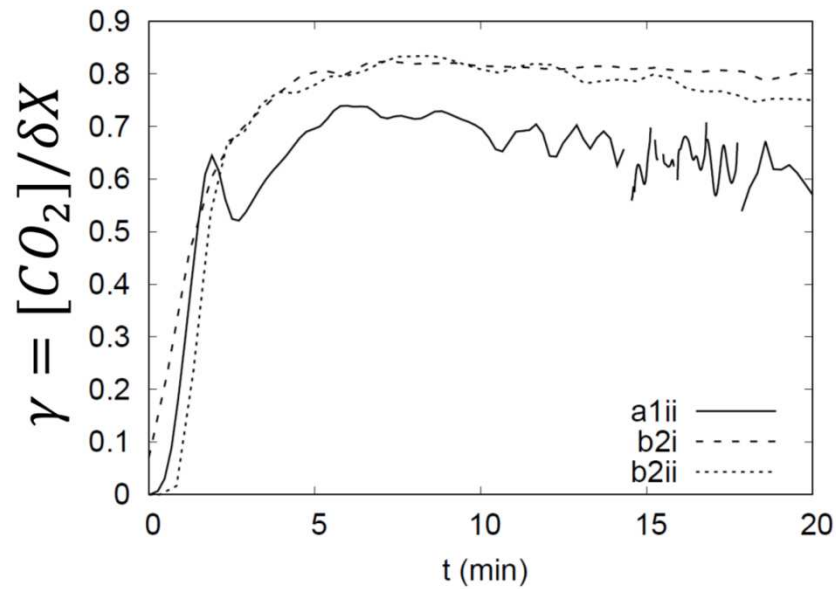


Figure 3: Oxygen concentration reduction $\delta X = 20.95 - [O_2]$ expressed in % vol for rack tests.

Dioxyde de carbone



γ est compris entre 0,7 et 0,85 lors de la phase active du brûlage

Monoxyde de carbone

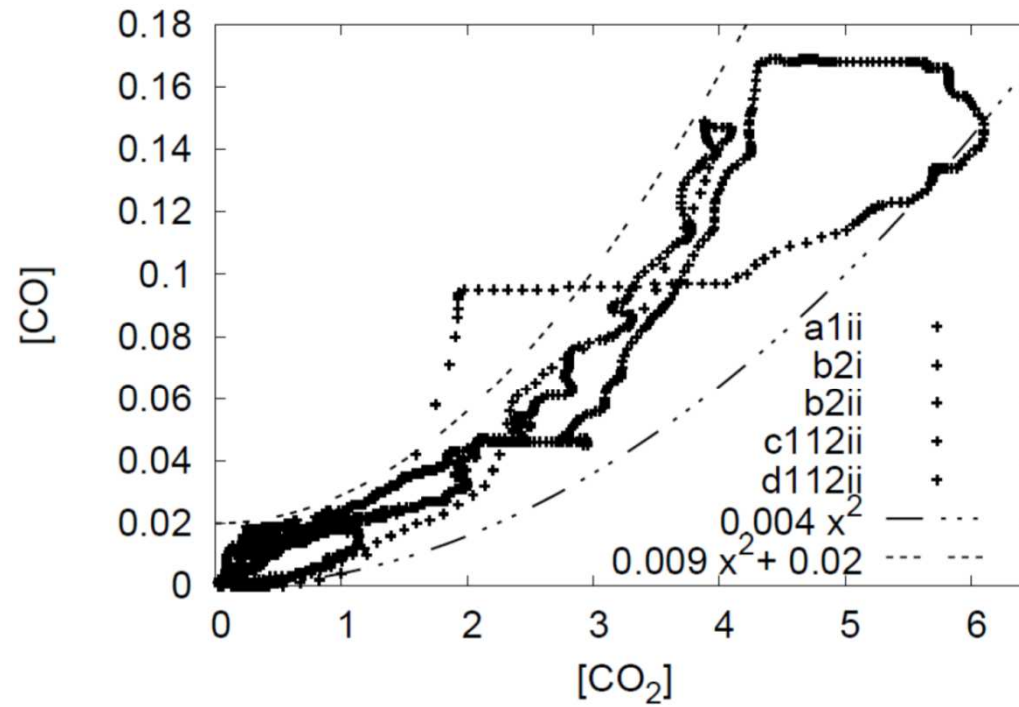
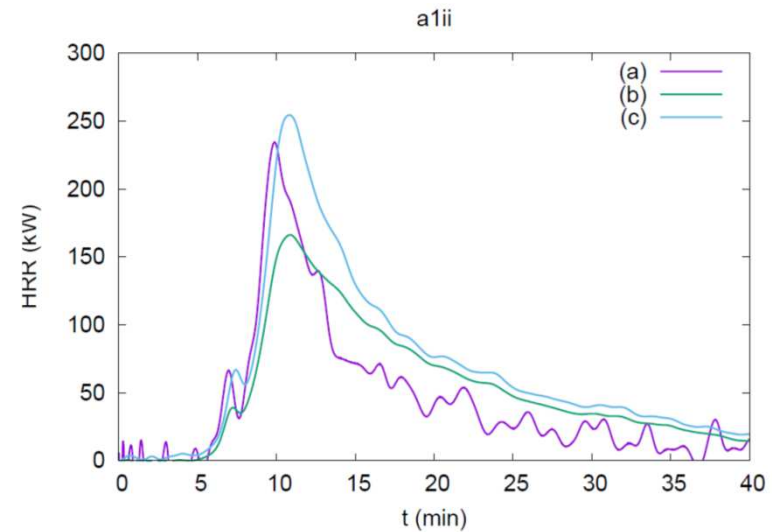
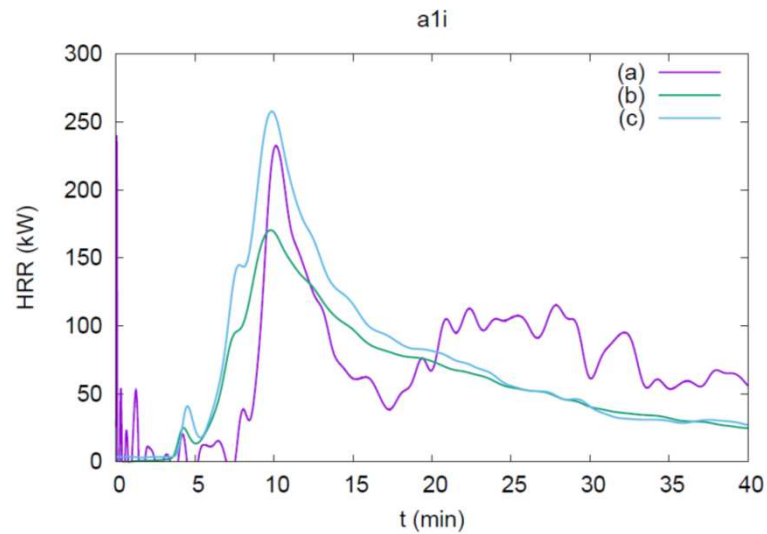


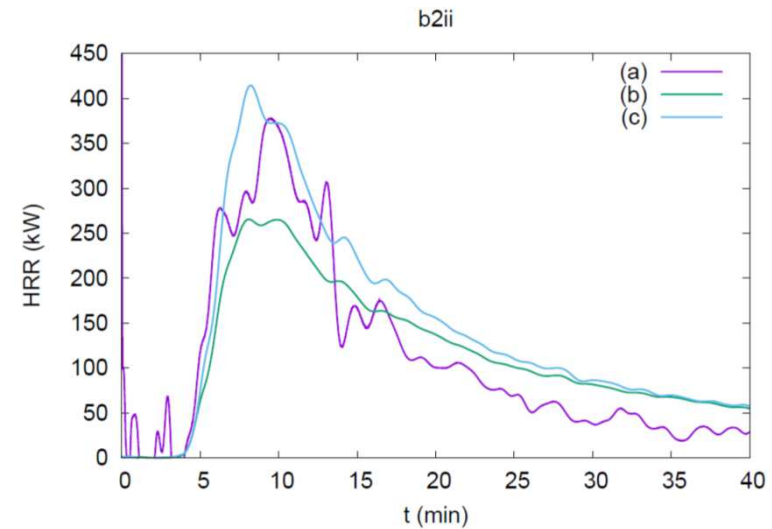
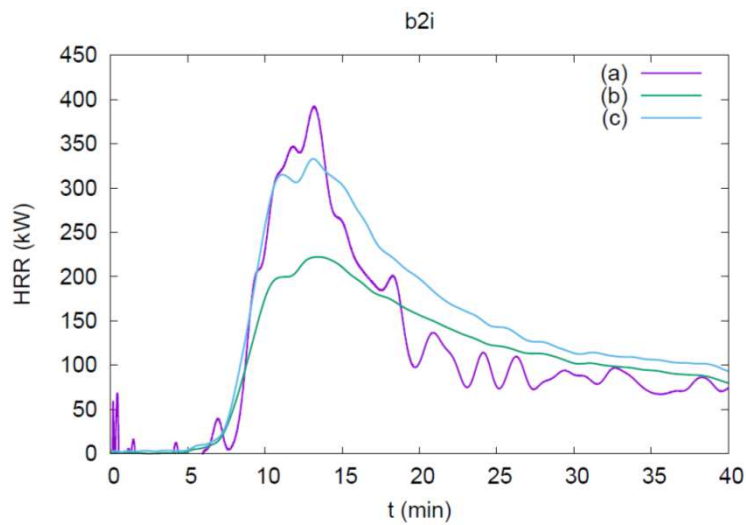
Figure 4: [CO] as function of [CO₂] expressed in % vol.

Débit calorifique : valise moyenne isolée



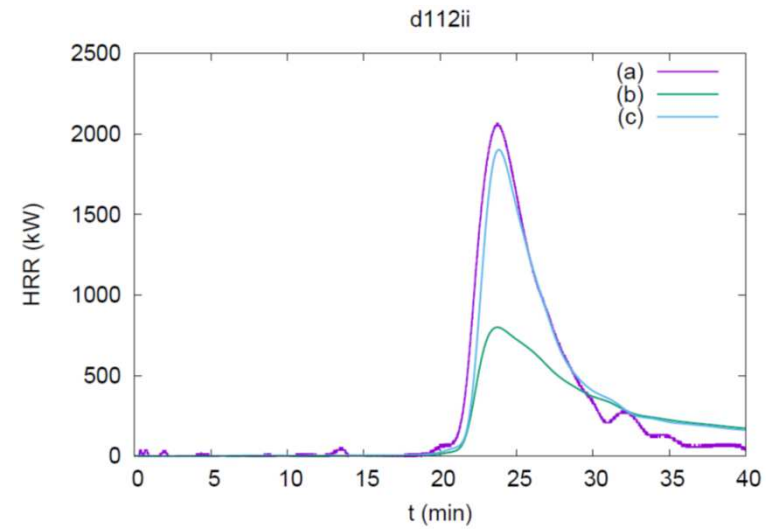
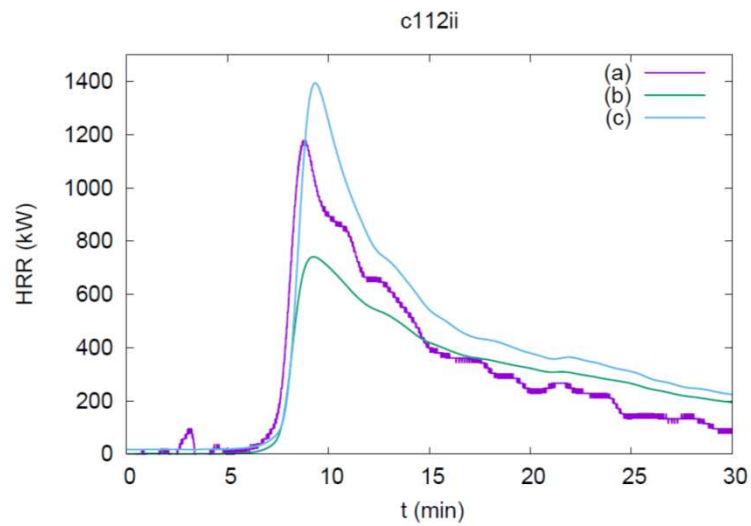
(a): méthode par vitesse de perte de masse (b): méthode par dilution (c) méthode par consommation d'O₂

Débit calorifique : grande valise isolée



(a): méthode par vitesse de perte de masse (b): méthode par dilution (c) méthode par consommation d'O₂

Débit calorifique : rack ouvert ou fermé



(a): méthode par vitesse de perte de masse (b): méthode par dilution (c) méthode par consommation d'O₂

Equation empirique

$$\dot{Q} = c\dot{Q}_{max} \times \begin{cases} \frac{t}{t_p} & \text{for } (t < t_p) \\ \left(\frac{t_p}{t}\right)^\alpha & \text{for } (t > t_p) \end{cases}$$

Avec :

- ✓ $t_p = 5$ minutes
- ✓ $\dot{Q}_{max} = 28 \cdot M$, M étant la masse totale du bagage en kg, et \dot{Q}_{max} est en kW
- ✓ C = 1 pour des bagages isolés, 1,5 pour le rack ouvert, et 2,3 pour le rack fermé.
- ✓ $\alpha = \frac{4,4 + c}{4,4 - c}$

Acide cyanhydrique

	a1i	a1ii	b2i	b2ii	c112ii	d112ii
Production d'HCN (g/kg)	0,23	0,75	0,18	0,20	0,37	0,57

K est la production massique d'acide cyanhydrique par kg de combustible

r est la production d'acide cyanhydrique par unité de temps :

$$r = k\dot{Q} \text{ avec } k = K / \Delta H$$

Avec k variant de 0,01 g/MJ à 0,035 g/MJ

Discussions (1/2)

Valeurs obtenues de maximum de débit calorifique pour une valise isolée :

- ✓ 250 kW pour une valise de taille moyenne ;
- ✓ 400 kW pour une grande valise.

La somme de 2 valises moyennes et d'une grande ~900 kW

Valeurs de maximum de débit calorifique pour les racks :

- ✓ 1 300 kW pour le rack ouvert ;
- ✓ 2 100 kW pour le rack fermé

Discussions (2/2)

Valeurs de maximum de débit calorifique obtenues pour la configuration rack de l'ordre de 2 MW.

Valeurs classiques^{a,b} pour des installations techniques ou du matériel roulant inférieures à 1 MW.

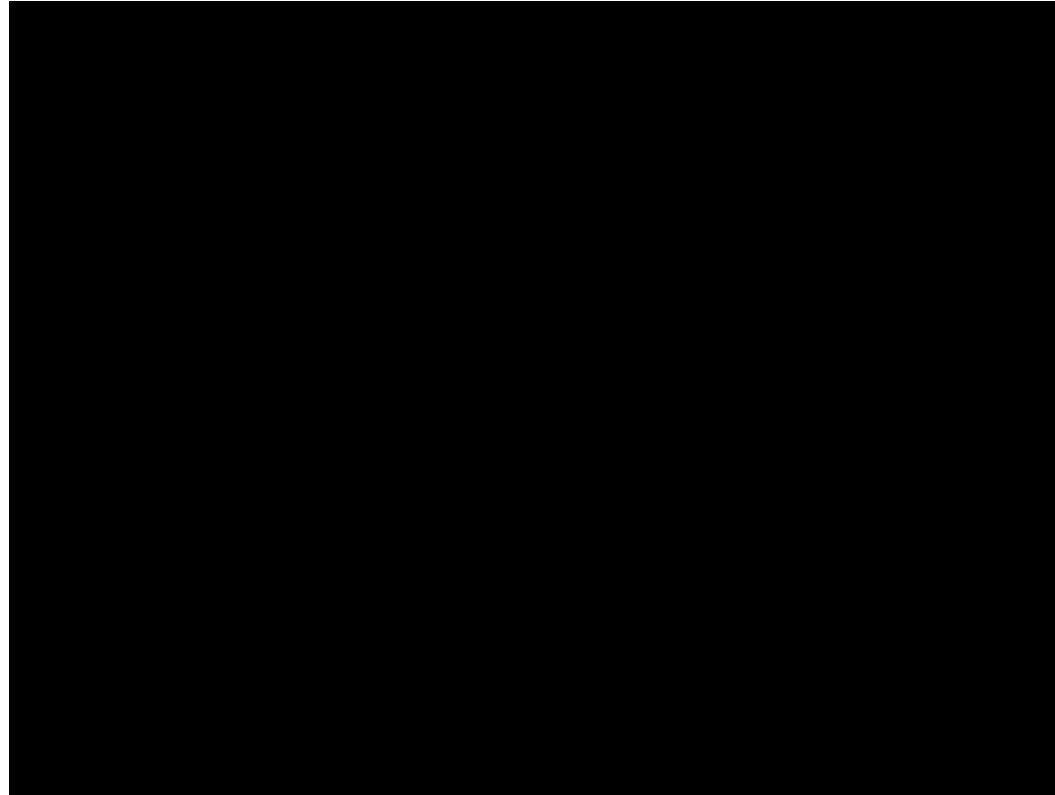
La contribution des bagages est loin d'être négligeable !

Article disponible : Heat release rate of burning luggage in trains. ISAVFT, Sep 2022, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03791841>

^a Xavier Ponticq and Joël Guivarc'h. Design fires for railway and metro tunnels. In Proceedings of the Fourth International Conference on Fire in Vehicles, 2016.

^b CETU, STRMTG, and IFSTTAR. Etude des feux de référence en tunnel de transports guidés urbains. Technical report, 2019. ISBN 978-2-11-155676-8.

Echanges



Remerciements à l'ensemble des personnels ayant permis la réalisation des essais.



PRÉFECTURE DE POLICE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Laboratoire central de la préfecture de Police