



33^{ÈMES} JOURNÉES DU GROUPE DU RÉSOFEUX

Comparaison de méthodes de granulométrie appliquées à un brouillard d'eau

Lucie Lapillonne

07 Décembre 2023



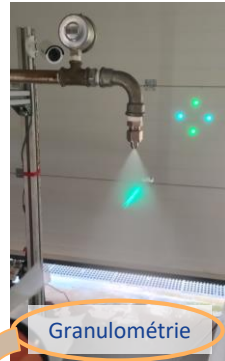
INTRODUCTION

Présentation de la problématique



Vidéo 1 : Brûleur propane exposé à une buse TG

Etude expérimentale des phénomènes d'extinction



Figures 1, 2 et 3 : Photos des dispositifs expérimentaux

Etude expérimentale des différents paramètres du spray



Nécessité de connaître en détail les paramètres de la buse pour représenter au mieux la situation expérimentale

Comparaison des méthodes de granulométrie

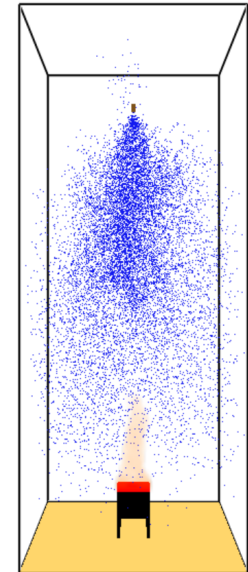


Figure 4 : Extrait SmokeView d'un brûleur exposé à une buse TG

Applications de ces données dans le code numérique

PRÉSENTATION DES APPAREILS DE MESURE

Méthodes de granulométrie

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer les tailles et les vitesses de particules :

- **Imagerie directe** (Particle Image Velocimetry and Scaling (PIVS), ombroscopie)
- **Interférométrie** (Phase Doppler Anemometry (PDA), Malvern)
- **Déphasage temporel** (SpraySpy)

2 méthodes de mesure à comparer

D'autres techniques existent pour mesurer seulement les tailles de gouttes (méthode d'immersion) ou la vitesse (caméra rapide).

Source : *Optical Particle Characterization in Flows*, C. Tropea, Annual Review of Fluid Mechanics, vol 43 2011, p399-426

Source : *Experimental Study on the Effectiveness of the Extinction of a Pool Fire with Water Mist*, X. Wang, Journal of Fire Sciences, Vol. 20 – July 2002

Source : Berrocal, *Multiple scattering of light in optical diagnostics of dense sprays and other complex turbid media*, PhD Thesis, Cranfield University, 2006

Source : Schäfer, *Validation of the Time-Shift Technique for Spray Characterization*, 2015

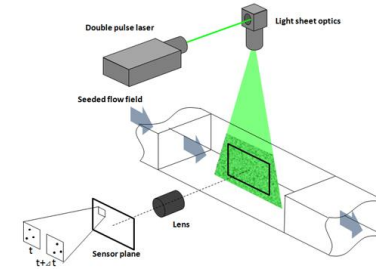


Figure 5 : Schéma de la PIV
(Source : Seika Digital Image)

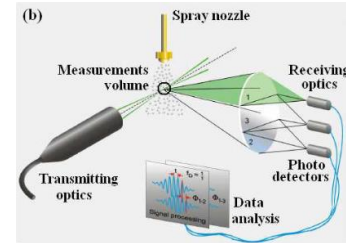


Figure 6 : Schéma du PDA
(Source : Berrocal)

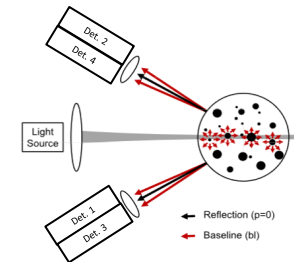


Figure 7 : Schéma du SpraySpy
(Source : Schäfer)

PRÉSENTATION DES APPAREILS DE MESURE

PDA (Phase Doppler Anemometry)

Interférences créées dans le volume de mesure.

Les gouttes qui traversent le volume de mesure renvoient la lumière, le signal renvoyé est détecté par les cellules photoréceptrices.

La vitesse des gouttes est obtenue avec l'effet Doppler.

La taille des gouttes est obtenue avec le déphasage perçu entre les cellules photoréceptrices (le diamètre de la goutte est directement proportionnel à la différence de chemin optique)

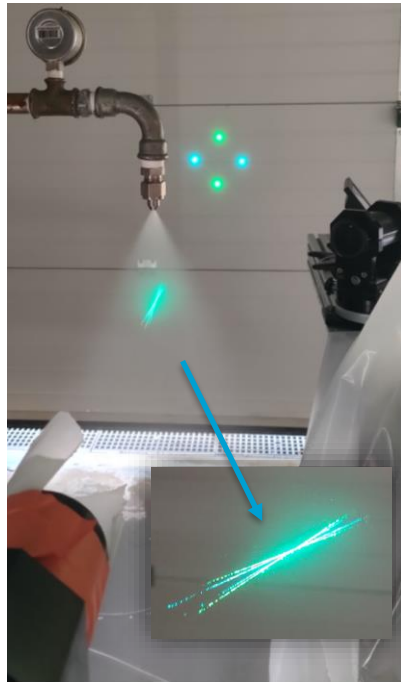


Figure 8 : Photo de l'installation du PDA

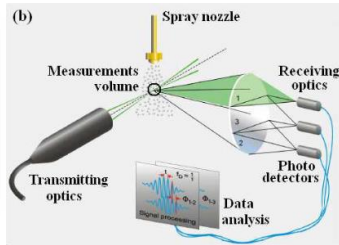


Figure 6 : Schéma de la configuration PDA standard (Source : BERROCAL)

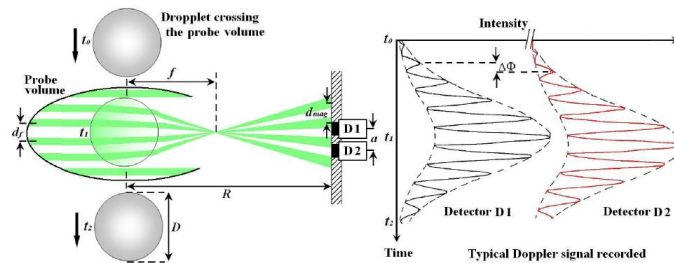


Figure 9 : Schéma du déphasage entre deux « Doppler burst » (Source : BERROCAL)

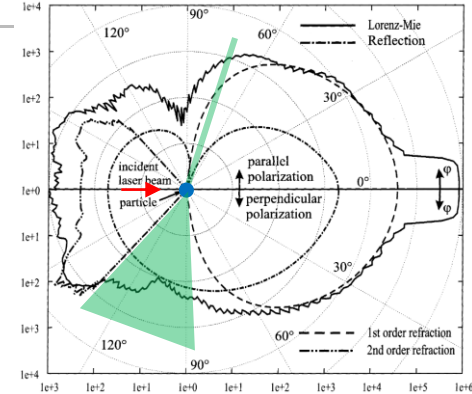


Figure 11 : Intensité lumineuse en fonction de l'angle diffusé par une particule (théorie de Mie) (Source : Mayinger)

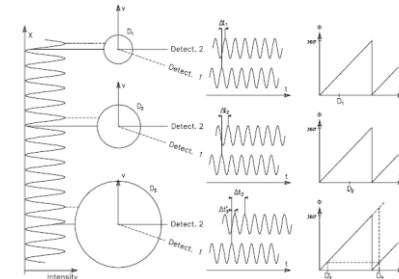


Figure 10 : Relation entre diamètre de particule et déphasage (Source : DANTEC)

Source : BERROCAL, "Multiple scattering of light in optical diagnostics of dense sprays and other complex turbid media", PhD Thesis, Cranfield University, 2006.
Source : DANTEC Dynamics, "LDA and PDA Reference Manual", 2011.
Source : Mayinger, Feldmann, "Optical measurements", Book Chap 9, 2001.

PRÉSENTATION DES APPAREILS DE MESURE



Figure 12 : SpraySpy® en fonctionnement avec une buse TG

SpraySpy®

L'angle de détection des gouttes est fixe.

La taille des gouttes est déterminée à partir du déphasage temporel des différents signaux lumineux perçus par les photorécepteurs entre les différents modes de diffusion.

La vitesse des gouttes est déterminée à partir de l'effet Doppler.

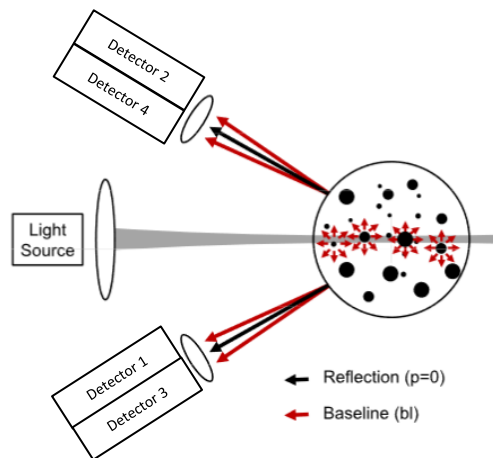


Figure 7 : Schéma du fonctionnement du modèle time-shift (Source : Schäfer)

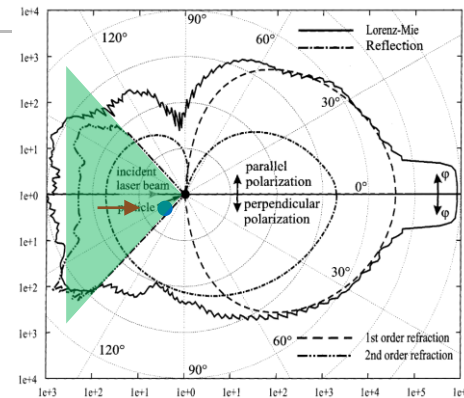


Figure 11 : Intensité lumineuse en fonction de l'angle diffusé par une particule (théorie de Mie) (Source : Mayinger)

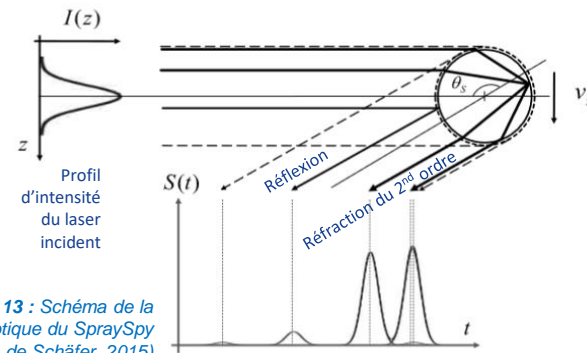


Figure 13 : Schéma de la configuration optique du SpraySpy (Adapté de Schäfer, 2015)

Source : Schäfer, Validation of the Time-Shift Technique for Spray Characterization, 2015
 Source : Schäfer, The Time-Shift Technique for Measurement of Size and Velocity of Particles, 2011
 Source : Mayinger, Feldmann, "Optical measurements", Book Chap 9, 2001.

PRÉSENTATION DES DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

PDA

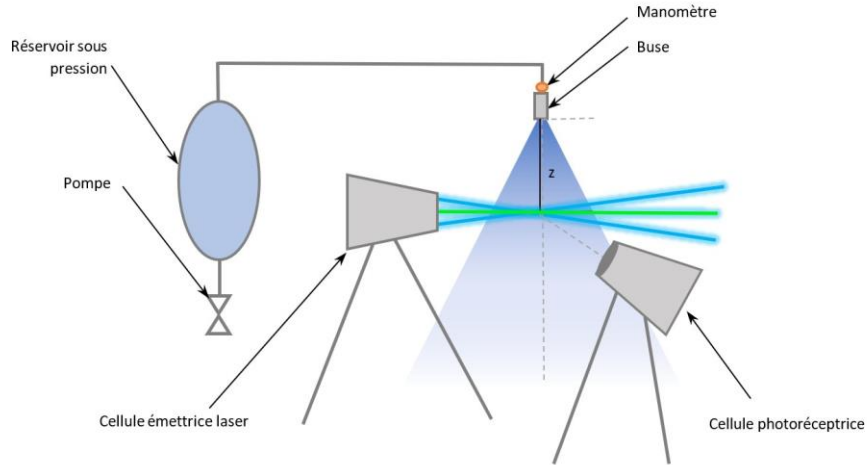


Figure 14 : Schéma de l'installation PDA

SpraySpy

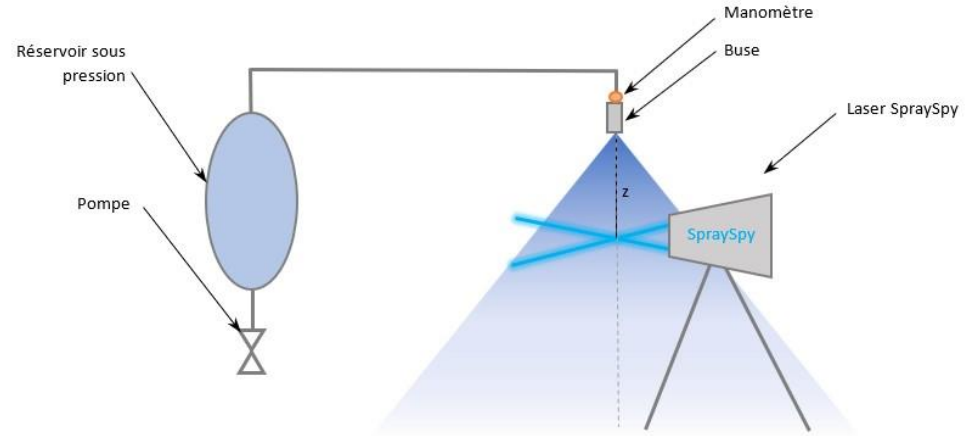


Figure 15 : Schéma de l'installation SpraySpy

PRÉSENTATION DE LA BUSE

Buse TG5

	TG05
Pression de fonctionnement (bar)	6
Débit injecté (L/min)	5
Facteur K	2
Diamètre de l'orifice (mm)	2,08
Angle du spray (°)	59
Forme du spray	Cône plein
Intervalle des diamètres de gouttes (µm)	Entre 100 et 1000

Tableau 1 : Données fournisseur des TG05

Données fournisseur peu précises

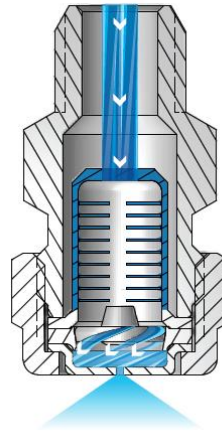


Figure 16 : Schéma de la buse
(Source: Spraying Systems & CO)



Figure 17 : Photo de la buse
TG05



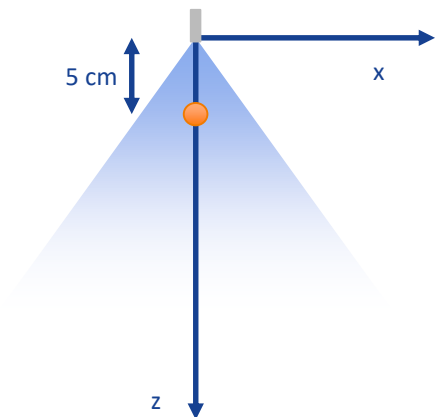
Figure 18 : Photo d'une buse TG en fonctionnement

ETUDE EXPÉRIMENTALE

COMPARAISON DES RÉSULTATS

Objectif : Comparer les résultats obtenus au PDA avec ceux du SpraySpy

On se place au centre du spray à 5 cm pour la TG5



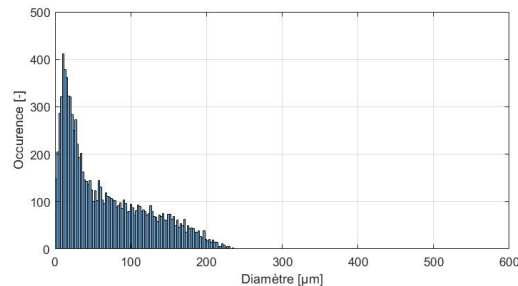
$$D_{jk} = \left(\frac{\sum_i n_i d_i^j}{\sum_i n_i d_i^k} \right)^{\frac{1}{j-k}}$$

Avec :

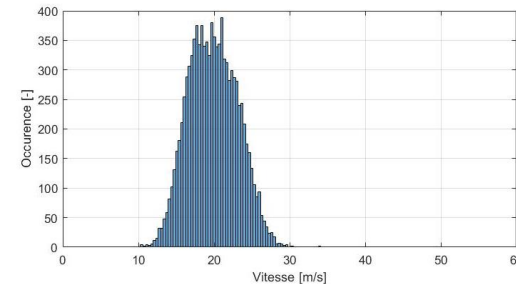
- n_i le nombre de gouttes
- d_i le diamètre de la goutte i

Résultats obtenus au PDA

Répartition des diamètres



Répartition des vitesses



Statistiques

$D_{10} = 67 \mu\text{m}$
 $D_{20} = 87 \mu\text{m}$
 $D_{30} = 102 \mu\text{m}$
 $D_{32} = 141 \mu\text{m}$

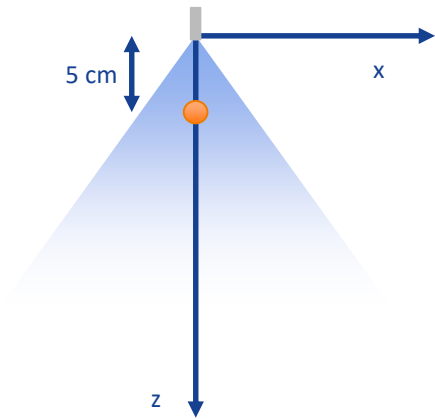
$D_{v0,5} = 48 \mu\text{m}$

$V_{\text{moy}} = 19,9 \text{ m/s}$

ETUDE EXPÉRIMENTALE

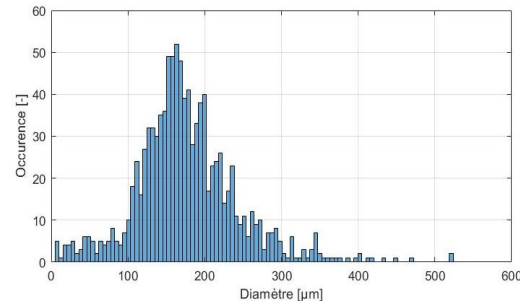
COMPARAISON DES RÉSULTATS

Objectif : Comparer les résultats obtenus au PDA avec ceux du SpraySpy
On se place au centre du spray à 5 cm pour la TGS

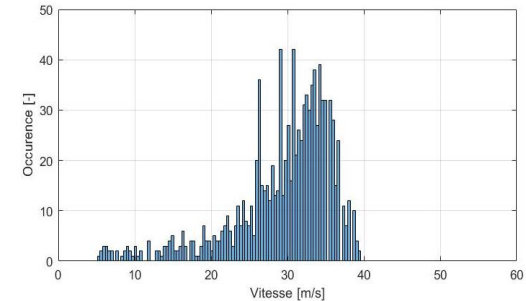


Résultats obtenus au SpraySpy

Répartition des diamètres



Répartition des vitesses



$$D_{jk} = \left(\frac{\sum_i n_i d_i^j}{\sum_i n_i d_i^k} \right)^{\frac{1}{j-k}}$$

Avec :

- n_i le nombre de gouttes
- d_i le diamètre de la goutte i

$D_{10} = 177 \mu\text{m}$
 $D_{20} = 189 \mu\text{m}$
 $D_{30} = 201 \mu\text{m}$
 $D_{32} = 227 \mu\text{m}$

$D_{v0,5} = 169 \mu\text{m}$

Statistiques

$V_{\text{moy}} = 29,4 \text{ m/s}$

ETUDE EXPÉRIMENTALE

COMPARAISON DES RÉSULTATS

Objectif : Comparer les résultats obtenus au PDA avec ceux du SpraySpy
On se place au centre du spray à 5 cm pour la TG5

	Répartition des diamètres	Répartition des vitesses	Statistiques
PDA			$D_{10} = 67 \mu\text{m}$ $D_{20} = 87 \mu\text{m}$ $D_{30} = 102 \mu\text{m}$ $D_{32} = 141 \mu\text{m}$ $D_{v0,5} = 48 \mu\text{m}$ $V_{\text{moy}} = 19,9 \text{ m/s}$
SpraySpy			$D_{10} = 177 \mu\text{m}$ $D_{20} = 189 \mu\text{m}$ $D_{30} = 201 \mu\text{m}$ $D_{32} = 227 \mu\text{m}$ $D_{v0,5} = 169 \mu\text{m}$ $V_{\text{moy}} = 29,4 \text{ m/s}$

ETUDE EXPÉRIMENTALE

COMPARAISON DES RÉSULTATS

Objectif : Comparer les résultats obtenus au PDA avec ceux du SpraySpy
On se place au centre du spray à 5 cm pour la TGS

D'après **Pilch (1987)**, le nombre de Weber We critique pour l'atomisation de l'eau dans l'air est 12.

$$We = \frac{\rho v^2 D}{\sigma} \leftrightarrow D = \frac{We \sigma}{\rho v^2}$$

Avec :

- ρ la masse volumique du liquide atomisé (kg/m^3)
- v la vitesse des gouttes (m/s)
- D le diamètre critique des gouttes (m)
- σ la tension superficielle des gouttes (N/m)

Avec le PDA, $v=19,9$ m/s → Le diamètre critique calculé est $D = 1,8$ mm (0,048 mm mesuré)

Avec le SpraySpy, $v= 29,4$ m/s → Le diamètre critique calculé est $D = 0,8$ mm (0,169 mm mesuré)

Ce diamètre calculé correspond au diamètre le plus élevé pour lequel les gouttes sont stables → donne une indication sur la taille de goutte recherchée

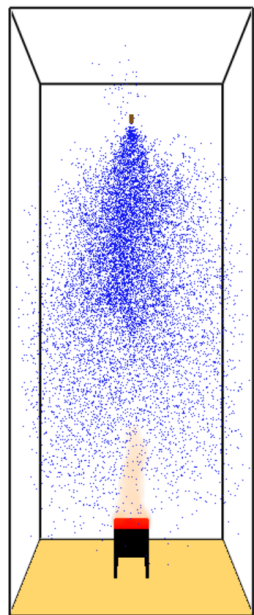
Source : Pilch, "Use of breakup time data and velocity history data to predict the maximum size of stable fragments for acceleration-induced breakup of a liquid drop", article, International Journal of Multiphase Flow, 1987.

ETUDE NUMÉRIQUE

IMPACT DES INCERTITUDES DE MESURES

Objectif : Etudier l'influence des tailles de gouttes sur un cas numérique d'extinction par brouillard d'eau

Cas simple d'un brûleur propane exposé à un brouillard d'eau à partir de 10 secondes

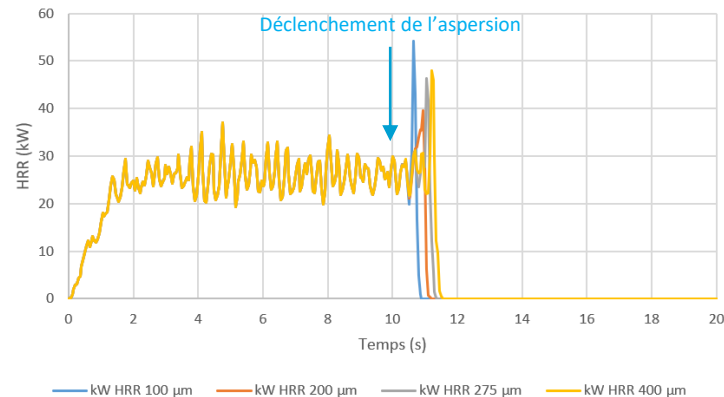


4 tailles de diamètres moyens de gouttes simulés :

100 μm
200 μm
275 μm
400 μm

Influence minimale sur le temps d'extinction du foyer

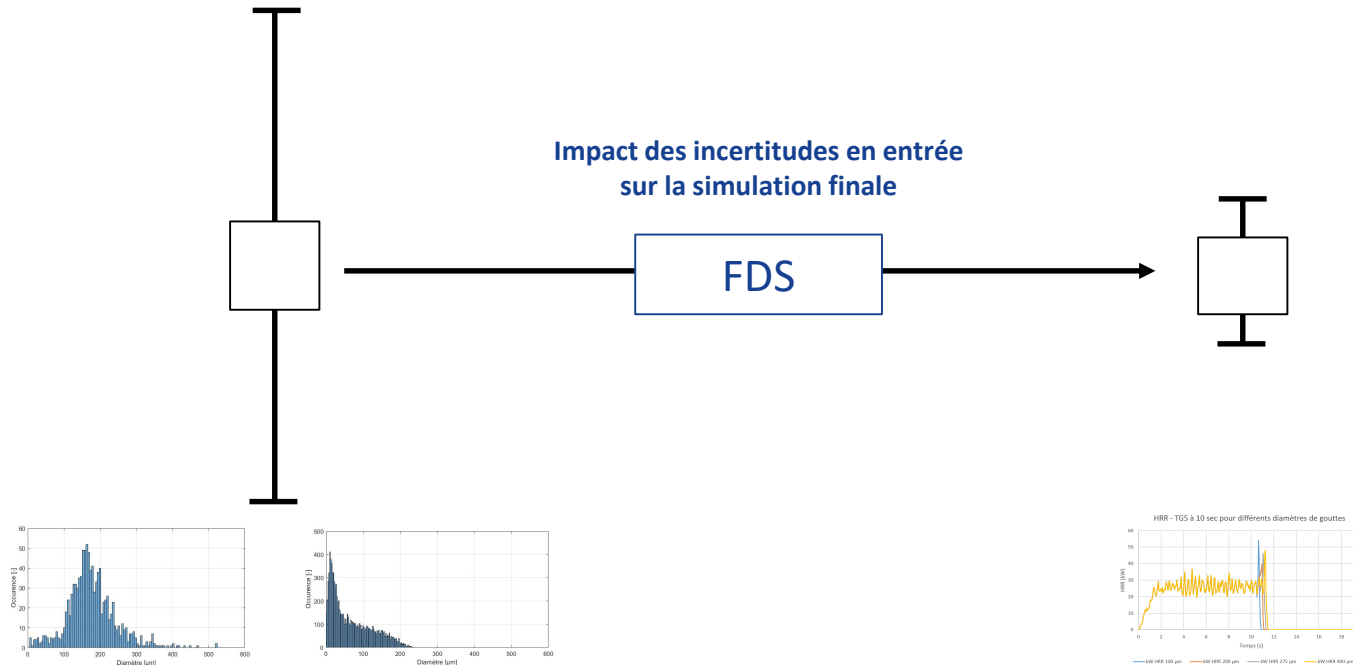
HRR - TG5 à 10 sec pour différents diamètres de gouttes



ETUDE NUMÉRIQUE

IMPACT DES INCERTITUDES DE MESURES

Objectif : Etudier l'influence des tailles de gouttes sur un cas numérique d'extinction par brouillard d'eau



Grandes disparités entre les résultats expérimentaux

Faible impact sur les résultats numériques

Comparaison des différents appareils

	PDA	SpraySpy®
+	<ul style="list-style-type: none"> • Choix de la lentille et de l'angle de diffusion • Peut mesurer des gouttes de liquide dans un gaz, des bulles de gaz dans un liquide et des particules solides dans un gaz • Intensité lumineuse réglable en fonction du mode de diffusion 	<ul style="list-style-type: none"> • Facile à transporter • Facile à utiliser • Peut-être positionné dans l'écoulement • Parfois fastidieux de détecter suffisamment de gouttes • Peut mesurer des gouttes de liquide dans un gaz, des bulles de gaz dans un liquide et des particules solides dans un gaz
-	<ul style="list-style-type: none"> • Les lentilles ne doivent pas être exposée à l'écoulement (limite le volume de mesure) • Difficile à prendre en main (beaucoup de paramètres) • Nécessite un banc de taille conséquente et plusieurs lentilles de différentes distances focales 	<ul style="list-style-type: none"> • Lentille et angle de diffusion figés • Boîte noire (aucun détail sur la qualité du signal, sur les critères de validation)

CONCLUSIONS

- Trouver la fenêtre de mesure adaptée à un écoulement est difficile.
- Les incertitudes de mesure sur la granulométrie sont importantes d'une méthode de mesure à une autre → ne pas négliger les incertitudes sur les autres paramètres mesurés expérimentalement
- Ne pas négliger l'impact des incertitudes sur d'autres codes de calculs (OpenFoam?)

Perspectives:

- Comparer les résultats avec d'autres appareils de granulométrie pour conclure sur les diamètres de gouttes des sprays (Ombroscopie (LaVision); méthode d'immersion; Malvern (Ineris, Lemta); ...)
- Étudier l'influence de la granulométrie sur d'autres cas numériques (Sous ventilés? Autres codes?)

Merci pour votre attention!
Avez-vous des questions?