

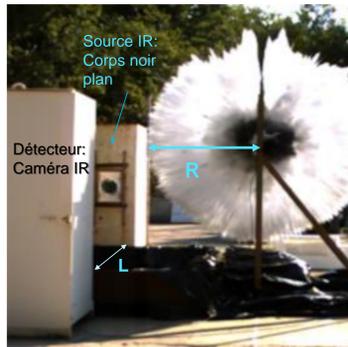
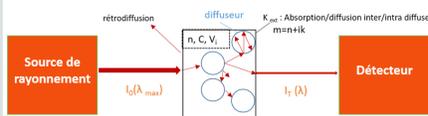
# Évaluation granulométrique d'un nuage de gouttes en expansion radiale rapide

Contexte de l'étude

## Développement et validation d'un moyen expérimental permettant de déterminer la granulométrie des gouttes d'un liquide dispersé par explosif

- ▶ **Dispositif terrain** : 1 conteneur de liquide (eau) + explosif au centre → détonation de l'ensemble → formation d'un nuage de gouttes
- ▶ **Fortes contraintes expérimentales (énergie et cinétique) (Explosif)**
- ▶ **Mesure dans l'infrarouge du champ de transmission du nuage de gouttes (Méthode d'extinction)**
- ▶ **Rayon effectif de gouttes (Modèle de Mie)** – Hypothèse : concentration du nuage connue (ou vice-versa).

## Principe de la méthode d'extinction



Instrumentation de la méthode d'extinction sur terrain

▶ **Mesure de transmission  $\tau$  dans un milieu diffusant** – Relier les caractéristiques du milieu (nature, concentration, distribution de tailles des tailles) aux niveaux de transmission

▶ **Loi de Beer-Lambert** :  $\tau(\lambda) = I_T(\lambda)/I_0(\lambda) = \exp(-K_{ext}(\lambda)L)$  avec  $Q_{ext} = Q_{abs}(\lambda) + Q_{diff}(\lambda)$

Où  $\tau$  : transmission du milieu ;  $K_{ext}$ ,  $K_{abs}$ ,  $K_{diff}$  : coefficient d'extinction, d'absorption et de diffusion spectral ;  $L$  : épaisseur du milieu [m]

▶ **Théorie de Mie** :  $K_{ext}(\lambda) = \int_{r_{min}}^{r_{max}} C(r)\pi r^2 Q_{ext}(m(\lambda), \lambda, r) dr$  avec  $K_{ext}(\lambda) = K_{abs}(\lambda) + K_{diff}(\lambda)$

Où  $C$  : concentration en gouttes du milieu [ $m^{-3}$ ] ;  $r$  : rayon des gouttes [m] ;  $Q_{ext}$  : fonction d'efficacité de Mie ;  $m(\lambda) = n(\lambda) + ik(\lambda)$  où  $m(\lambda)$  : indice complexe de réfraction (nature des gouttes)

▶ **Détermination du rayon moyen  $\bar{r}$  des gouttes (Approche simplifiée)** – Calcul de  $\bar{r}$  à partir de  $K_{ext}$  et la loi de Beer Lambert

Régime optique géométrique :  $Q_{ext} \rightarrow 2$  (caméra IR BII : [2-5]  $\mu m$ )

Hypothèse : monodispersion équivalente

$R_{eff}$

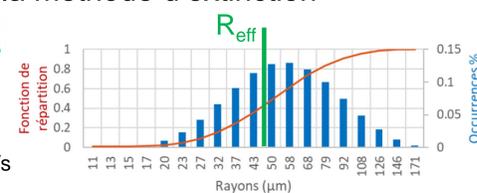
Notation :  $\bar{r}$  : rayon moyen ~  $R_{eff}$  : rayon effectif ;  $R_x$  : x pourcent des particules ont un rayon inférieur à  $R_x$

## Validation : Étude sur des sprays en laboratoire

▶ 1 mesure de distribution granulométrique avec le Spraytech + 1 mesure de rayon effectif via la méthode d'extinction

▶ **Résultats**

Condition expérimentale : Débit : 0,059mL/s



Débit (mL/s)	$R_{eff}$ ( $\mu m$ )	$R_x$ correspondant	$R_{50}$ du Spraytech
0,059	47	$R_{40}$	51
0,148	69	$R_{67}$	53
0,534	80	$R_{65}$	65

▶ **Pertinence de la méthode des rayons effectifs même pour les polydispersions**

## Densification des mesures de transmission pour la détermination de la loi de distribution de tailles de gouttes

▶ **Problème direct** – Identification avec la forme d'une équation de Fredholm de 1<sup>er</sup> espèce

$$\frac{\ln(\tau(\lambda))}{-\pi L} = \int_{r_{min}}^{r_{max}} r^2(t) Q_{ext}(n, k, \lambda, r) v(r) C dr$$

Avec :  $v(r)$  : loi de distribution ;  $C$  : concentration totale des particules ( $m^{-3}$ )

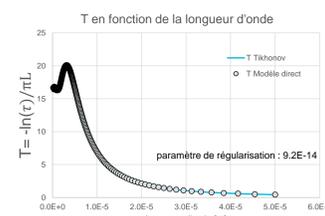
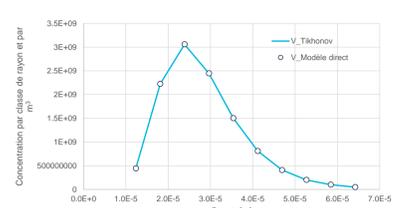
▶ **Écriture matricielle (discrète) :  $T_{exp} = SV$  → Déterminer V (granulométrie et concentration)**

▶ **Résolution du problème inverse par la méthode de Tikhonov**

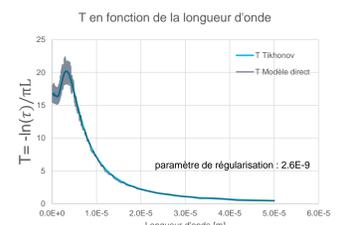
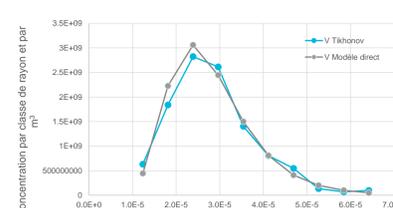


Spectromètre IRTF Vertex 70

▶ Exemple sur signal non bruité



▶ Exemple sur signal bruité (1.5%)



## Conclusions et perspectives

- ▶ **Méthode d'extinction** : estimation d'un rayon effectif et faisabilité de la méthode d'inversion avérée
- ▶ **Travaux en cours** : - étude des limites de la méthode numérique (robustesse au bruit, plage spectrale, etc.) - extension de la méthode à différentes gammes spectrales (spectromètre IRTF, caméras IR) → inversion mathématique → granulométrie détaillée et concentration → vers un/des dispositif(s) de terrain et ses futures caractéristiques

### Parties prenantes



### Partenaire



### Auteurs

Annise Rivière<sup>1</sup>  
Rémi Gilblas<sup>1</sup>  
Yannick Le Maoult<sup>1</sup>  
Frédéric Heymes<sup>4</sup>  
Nicolas Lecysyn<sup>2</sup>  
Philippe Accart<sup>3</sup>  
Clément Deberg<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Clément Ader (ICA) ; Université de Toulouse ; CNRS, IMT Mines Albi, INSA, ISAE-SUPAERO, UPS ; Campus Jarlard, F-81013 Albi, France

<sup>2</sup> Centre d'études de Gramat, Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, 46500 Gramat, France

<sup>3</sup> Université de Toulouse, IMT Mines Albi, UMR CNRS 5302, Centre RAPSODEE, Campus Jarlard, F-81013, Albi Cedex 09, France

<sup>4</sup> Génie de l'environnement industriel et des risques industriels et naturels (LGEI); IMT Mines Alès ; 6 Avenue de Clavières 30100 Alès, France