



Modélisation de la dispersion des aérosols liés à l'incendie d'un aéronef

INERIS – LNE – DGA – DCNS – AIRBUS HELICOPTERS

Guillaume LEROY

GDR FEU

Corte – 25 au 27 Juin 2014

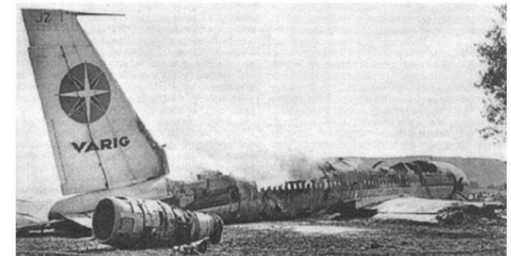


Plan

- Contexte
- Méthodologie générale
- Caractérisation de l'émission des fumées issues d'un incendie
- Modélisation
 - Approche CFD (FDS)
 - Approche GAUSSIENNE (ADMS)
- Conclusion / Perspectives

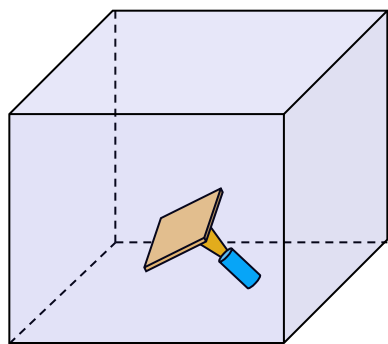
Contexte

- Matériaux composites de plus en plus utilisés dans le domaine aéronautique
- Problématique:
 - Quel impact des particules émises sur les personnes situées à proximité de la zone de crash et sur l'environnement
- Approche en deux étapes:
 - Campagne d'essais 2 échelles
 - Cône calorimètre / enceinte 100 m³
 - Méthode de calcul permettant d'évaluer, à l'aide d'outils numériques, la concentration des particules dans l'environnement de l'accident ⇒ ***Outil d'aide à la décision***



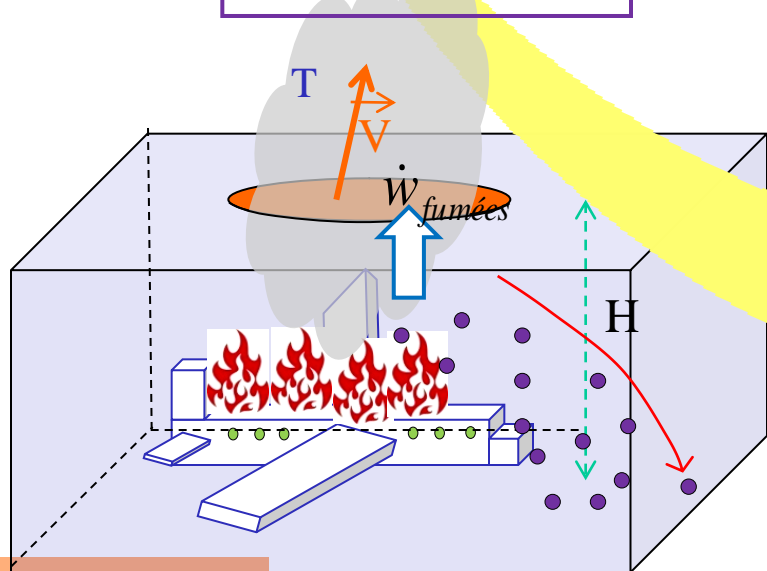
Méthodologie générale

EXPERIMENTATION



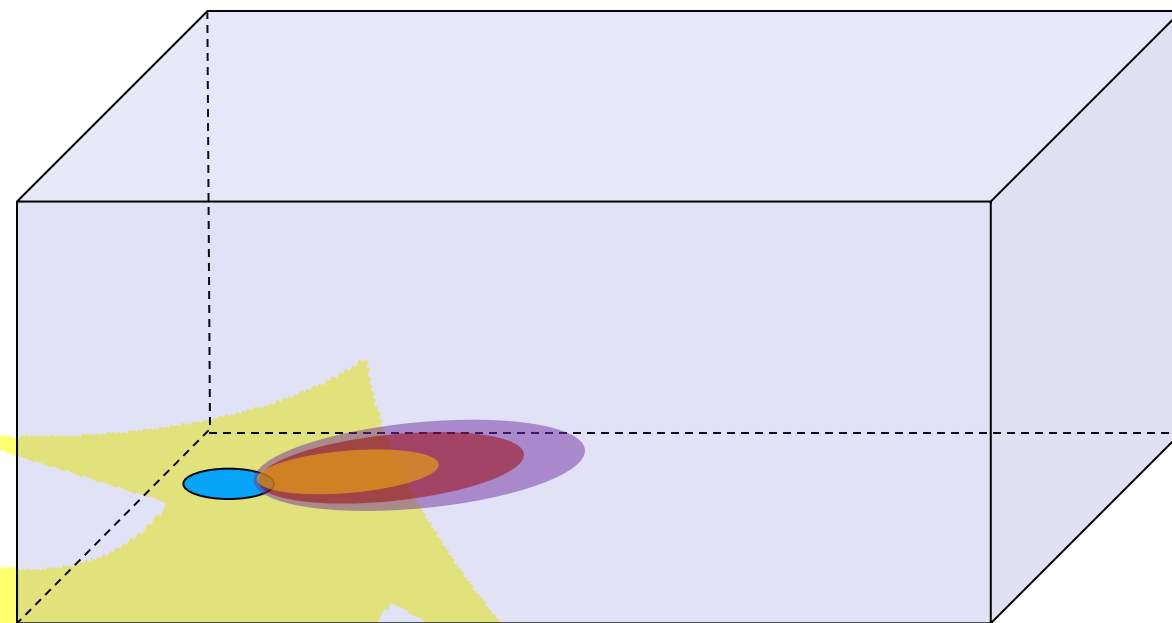
5 m

MODELISATION: FDS



50 m

MODELISATION: ADMS



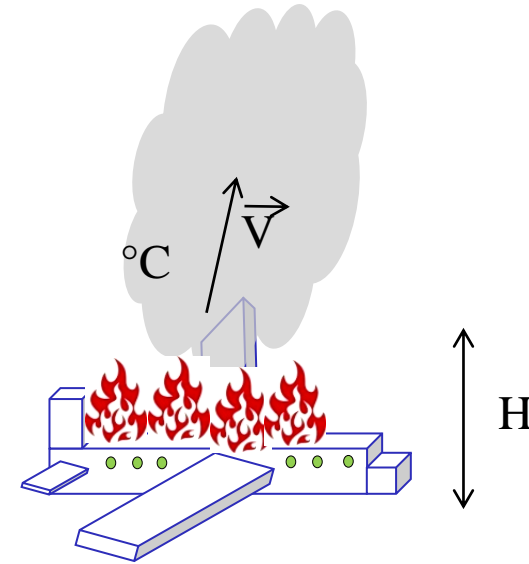
500 m



CARACTÉRISATION DE L'ÉMISSION DES FUMÉES ISSUES D'UN INCENDIE

Caractérisation des fumées

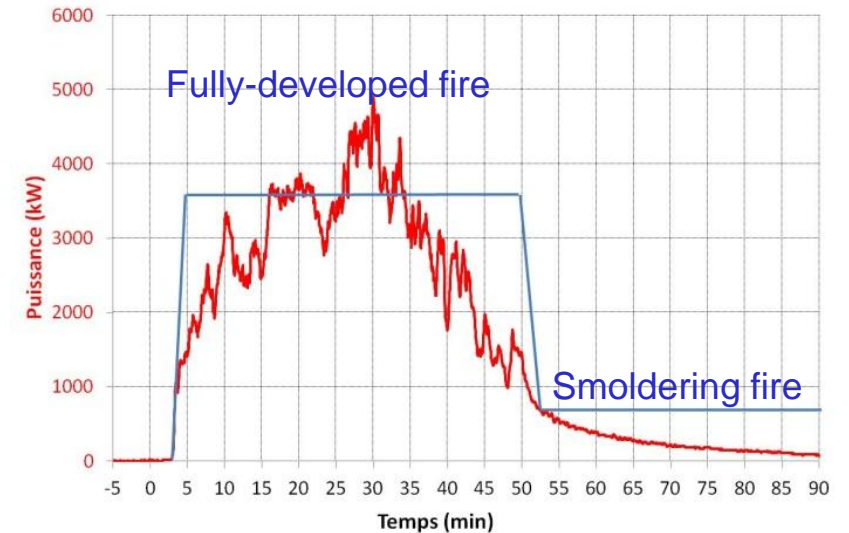
- Le comportement des fumées dans l'atmosphère se caractérise par:
 - Le terme source
 - Puissance de l'incendie
 - Hauteur d'émission
 - Température à l'émission
 - Débit de fumées (gaz + particules)
 - La dispersion atmosphérique
 - Vitesse du vent,
 - Stabilité atmosphérique.



Puissance d'un incendie

■ 2 phases

STEP	1	2
Fire	Fully-developed	Smoldering
Duration	50 min	2-3 h
Main combustible	Kerosen	Aircraft materials (polymers, composites ...)
Heat release	High (MW)	Low (few kW)
Smokes	Rising	Smoldering
Gas and particles release rate	High	Low



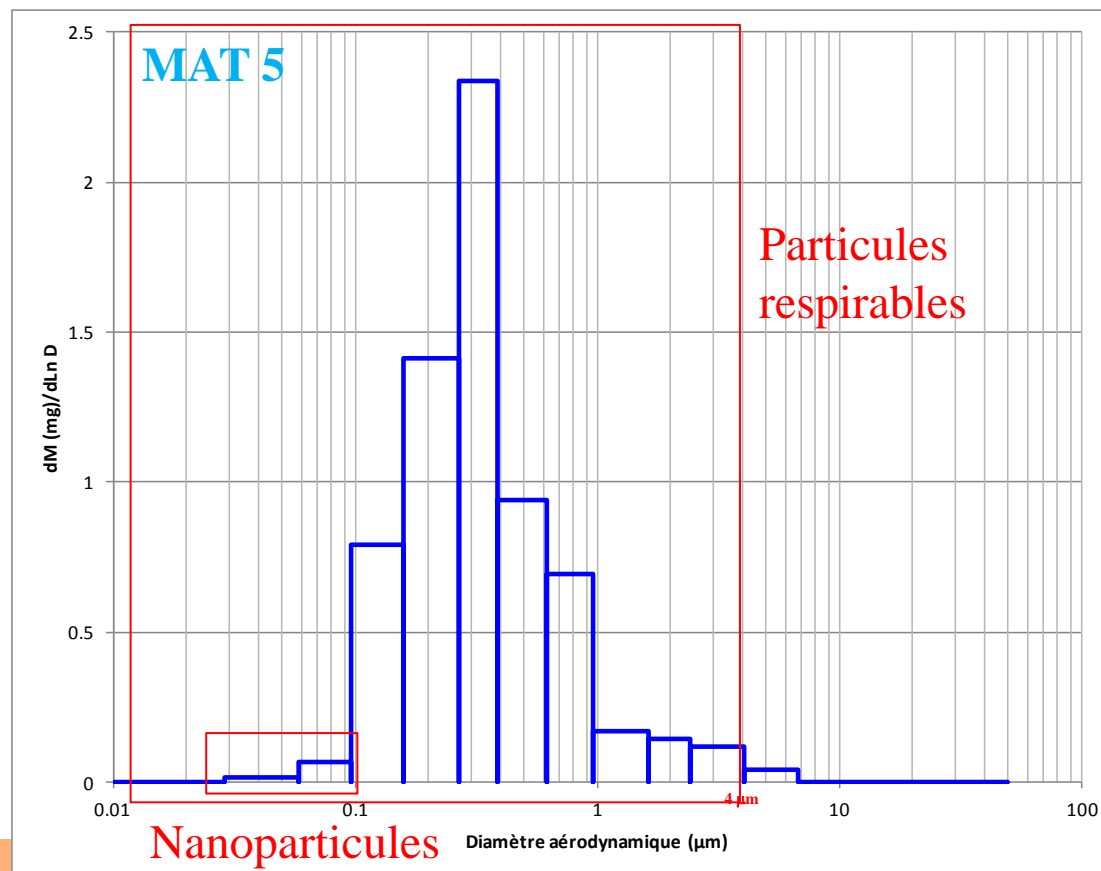
Taux d'émission des particules et fibres (1)

- Données expérimentales (cône calorimètre)

Matrice organique	Echantillon	Fibres (% mass)	Total mass collected in impactor (mg)	Yield (mg/g burnt)	Relative uncertainty U=2k, %
-	MAT1*	100	0.06	-	-
Epoxy resin	MAT2	0	7.74	0.67	7.5
	MAT3	50	1.94	0.74	11.9
	MAT4	62	1.63	0.62	13.6
	MAT5	71	0.81	0.41	25.4
Vinyl ester resin	MAT6	65	2.45	0.60	8.8
	MAT7	66	3.62	0.59	7.8
	MAT8	70	2.56	0.55	8.0

Taux d'émission des particules et fibres (2)

- Graphe de distribution par tailles mesurées au cône calorimètre + impacteur



Dont 17 % de fibres maximum

Taux d'émission des particules et fibres (3)

- Convertir les données expérimentales en données d'entrée dans les codes de calcul
- Loi appliquée :

$$\dot{\omega} = \frac{M \sum_j \dot{\tau}_j \beta_j}{t_{\text{feu}}}$$

$\dot{\omega}$ = Taux d'émission de particules et fibres (kg/s)

$\dot{\tau}_j$ = Taux de production de particules et fibres (kg/kg)

M = Masse de l'aéronef (kg)

β_j = Proportion du matériau j dans l'aéronef (-)

t_{feu} = Durée du feu (s)

⇒ Facteur d'échelle ???

Phénomène de déposition (1)

- Deux modes de dépôt sec
 - Dépôt par diffusion
 - Transport aérodynamique,
 - Mouvement brownien,
 - Adhésion à la surface
 - Dépôt par gravité
 - Significative pour les particules de grande taille ($>10\mu\text{m}$)

$$v_d = \frac{v_s}{1 - e^{-v_s/v'_d}}$$

$$\frac{1}{v'_d} = r_a + r_b$$

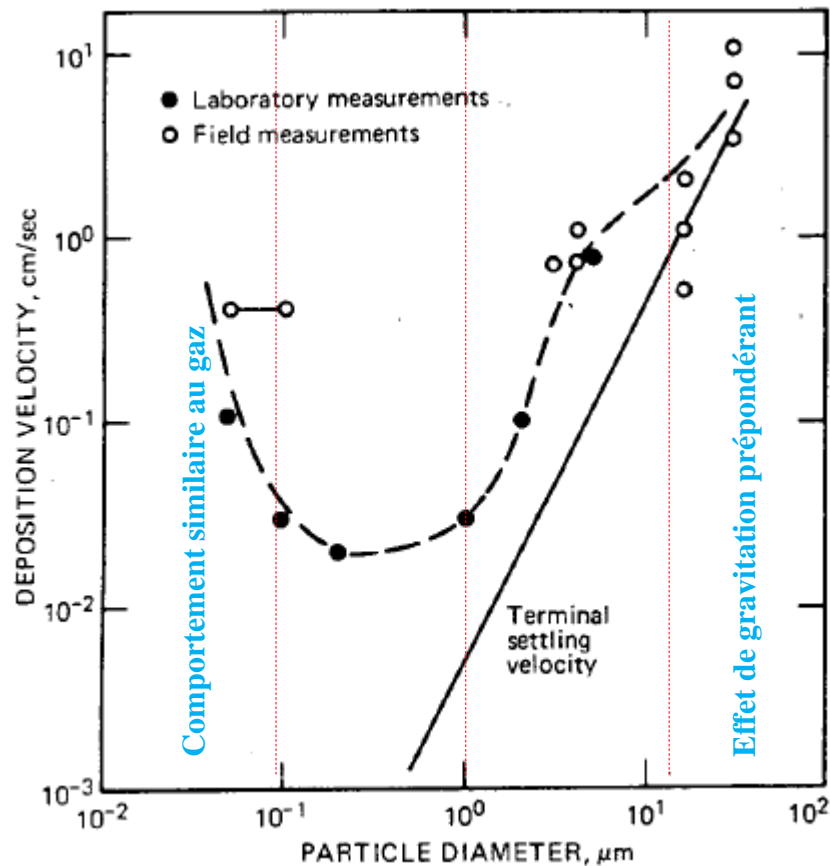
v_s : vitesse gravitaire

r_a : résistance aérodynamique

r_b : résistance quasi-laminaire

Phénomène de déposition (2)

■ Vitesse de dépôt de particule en fonction du diamètre



- $D < 0,1 \mu\text{m}$
 - Comportement similaire à celui du gaz
- $0,1 \mu\text{m} < D < 1 \mu\text{m}$
 - Aucun mécanisme de dépôt n'est efficace
- $1 \mu\text{m} < D < 20 \mu\text{m}$
 - Inertie
- $D > 20 \mu\text{m}$
 - Effet de gravitation prépondérant

McMahon et P.J. Denison, Empirical Atmospheric Deposition Parameters – A survey, Atmos/ Environ., 13: 1000 (1979)

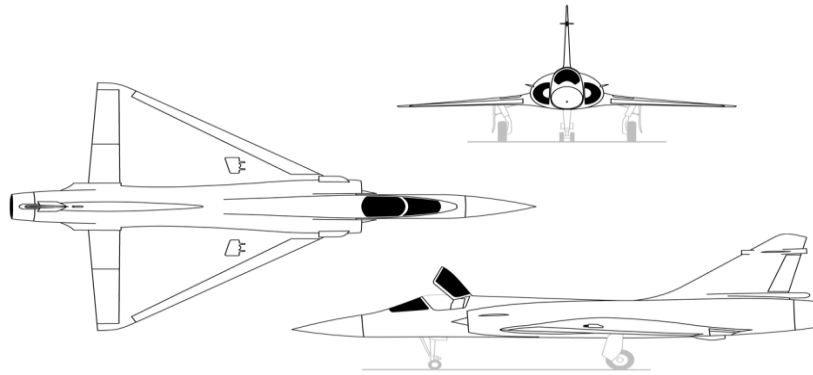
Notion de seuils d'effet des fibres

- La littérature présente généralement des valeurs avec une notion d'exposition chronique
 - Valeurs pénalisantes pour des expositions ponctuelles dans le temps
- VME: Valeurs moyenne d'exposition (8 h)
 - Fibres de carbone: 3 fibres / cm³ (NIOSH) ⇒ 5,8 µg / m³
 - Nanotubes de carbone: 2 µg / m³
- Valeur limite déposée au sol
 - Aucune valeur aujourd'hui

CALCUL GAUSSIEN - ADMS

Hypothèses

- **Mirage 2000**



- **Terme source**

- Taux d'émission de particules issu des essais
- Débit de fumées
- Température d'émission
- Hauteur d'émission

estimés au moyen
d'un calcul FDS

Conditions atmosphériques

Quand?

Atmosphère neutre

Transition jour/nuit
Forte couverture nuageuse
Vent fort

Conséquence?

masse d'air déplacée
"reste à sa nouvelle place"

Turbulence moyenne
⇒ **dilution "normale"**
(Classe D de Pasquill)



Atmosphère instable (ou "convective")

Journée ensoleillée, vent faible
(sol chauffé par rayonnement
solaire)

masse d'air déplacée + chaude
que son environnement
⇒ s'élève encore

Forte turbulence
⇒ **dilution forte**
(Classes A à C de Pasquill)

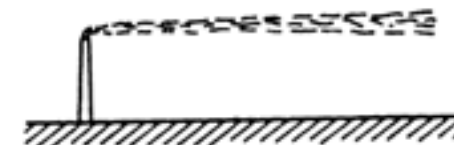


Atmosphère stable

Nuits claires, vent faible
Le sol refroidit plus vite que l'air

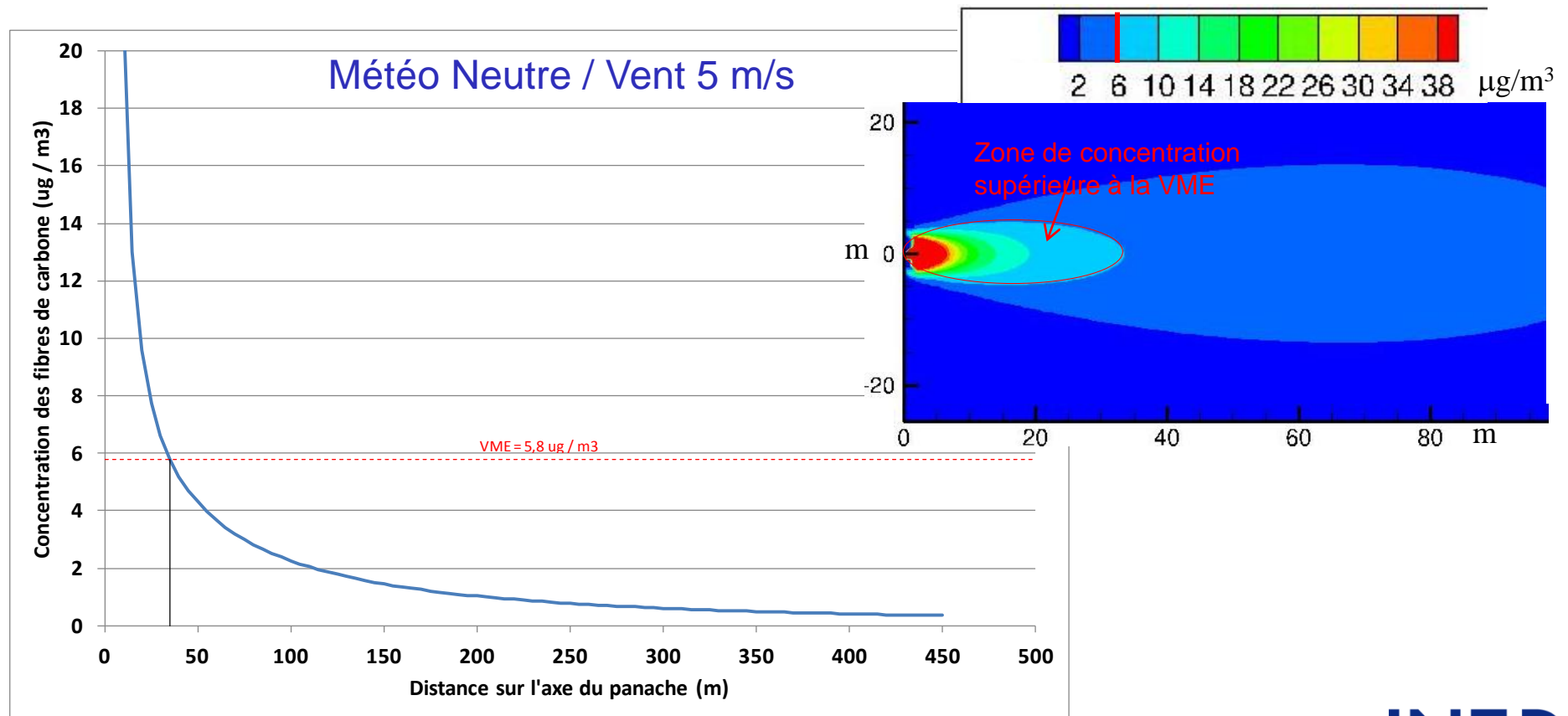
masse d'air déplacée + froide
que son environnement
⇒ revient à sa position initiale

Faible turbulence
⇒ **dilution faible**
(Classes E et F de Pasquill)



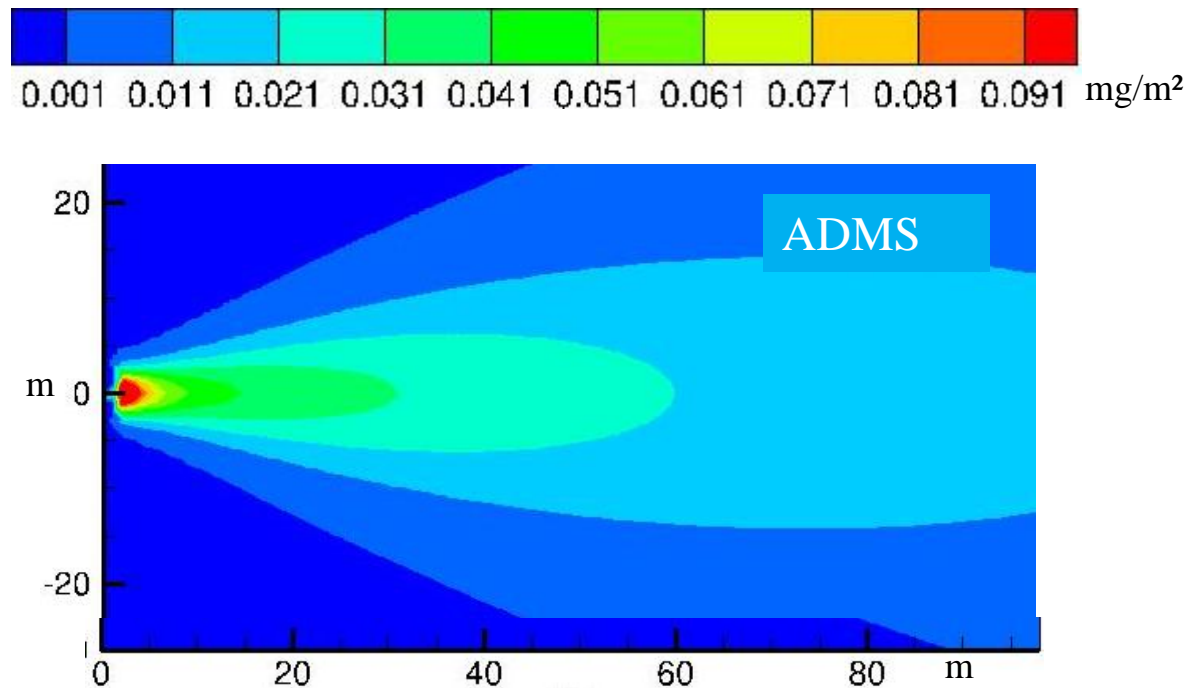
Résultats (1)

- Concentration des fibres (tous diamètres confondus) à hauteur d'homme en fonction de la distance dans l'axe du panache



Résultats (2)

- Concentration des fibres (tous diamètres confondus) déposées sur le sol 30 min après le début du feu



- Risques non quantifiables directement (pas de seuils limite de dépôt)
- Cartographies utiles pour les plans d'échantillonnage (prélèvements)

Conclusion / perspectives

- Mise en place d'une méthode pour évaluer les distances d'effets toxiques suite à un crash d'aéronef
 - Méthode hybride expérimental / simulation
 - Avantages de la méthode
 - Rapidité d'exécution (800 calculs à traiter)
 - Limites de la méthode
 - Remise en suspension des particules non prise en compte
-
- Validation au moyen de la CFD en cours
 - Incorporation d'un modèle de déposition des particules
 - Meilleure prise en compte des spécificités des écoulements atmosphériques
 - Limites: temps de calcul importants