



Principes généraux de la modélisation de la dispersion atmosphérique

Rémy BOUET- DRA/PHDS/EDIS – remy.bouet@ineris.fr

INERIS

La modélisation : Les principes



Modélisation en trois étapes :

- Caractériser un « **terme source** », conditions initiales de dispersion
 - Débit à la brèche, état physique, température, fraction liquide, vitesse, ...
 - Obstacles, dispositif de sécurité, ...

- Evaluer la « **propagation** » de ce terme source dans l'environnement, concentrations en fonction du temps et de l'espace
 - Météo, relief, rugosité, ...

- Estimer « **les distances d'effets** » du phénomène
 - Seuils d'effets, doses, ...

Modélisation de la dispersion : paramètres importants

Évolution du nuage dans l'atmosphère régie par 2 phénomènes physiques :

- Le déplacement du nuage
- La dilution du nuage

Paramètres influençant cette évolution :

- Types de gaz : lourd, léger...
- Conditions météorologiques : vitesse du vent, stabilité atmosphérique
- Conditions environnementales : obstacles, rugosité, relief, occupation du sol

Types de gaz

Gaz neutre ou passif

- Gaz de même densité que l'air ou très dilué
- Fluide uniquement soumis à l'action du fluide porteur, l'air
- Pas de modifications significatives des caractéristiques de l'air

Gaz denses ou lourds (effets de gravité prédominants)

- Gaz plus dense que l'air
 - Dichlore (Cl_2), Phosgène (COCl_2)....
- Gaz froid
 - Hydrogène cryogénique...
- Gaz issu d'un rejet diphasique
 - Flash d'un rejet d'ammoniac liquide sous pression



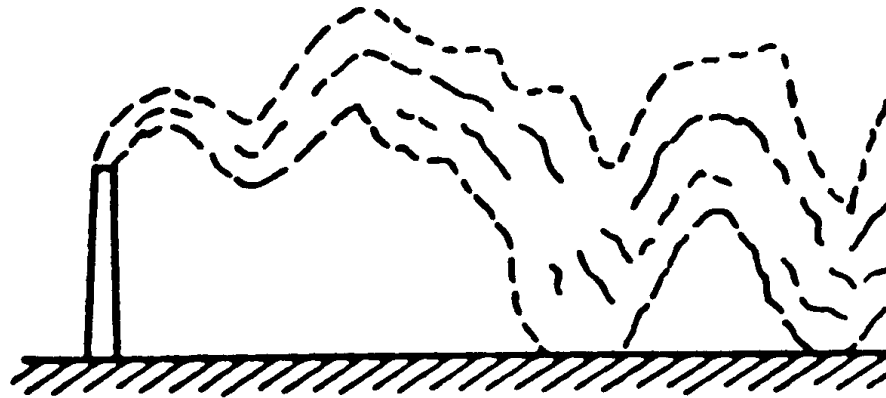
Gaz légers

- Gaz moins dense que l'air (Hydrogène (H_2), Méthane (CH_4)...)
- Gaz chaud (fumées d'incendie, ...)

La stabilité atmosphérique

Instabilité

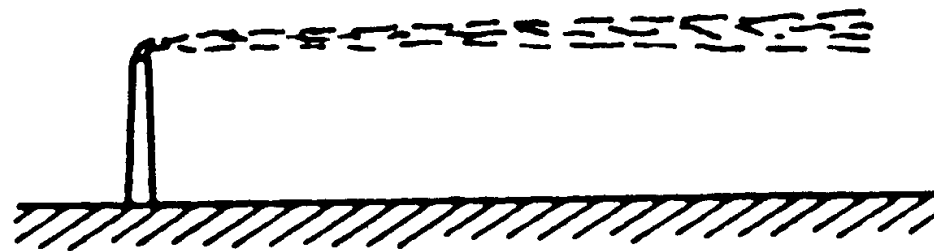
- *Si Gradient thermique atm. < Gradient thermique adiabatique*
- *Lors d'une journée ensoleillée*
- *Influence sur un rejet en altitude :*



La stabilité atmosphérique

Stabilité

- *Si Gradient thermique atm. > Gradient thermique adiabatique*
- *Lors d'une nuit claire avec un vent faible*
- *Influence sur un rejet en altitude :*



La stabilité atmosphérique

Classification

- Turbulence atmosphérique = phénomène complexe
- Nécessité d'utiliser des tables

➔ Classes de Pasquill : Méthode indirecte à partir des valeurs de vitesse du vent, du rayonnement solaire et de la nébulosité

Vitesse du vent à 10 m	JOUR			NUIT	
	Rayonnement solaire incident			Nébulosité	
[m/s]	Fort	Modéré	Faible	4/8 – 7/8	<3/8
< 2	A	A-B	B	F	F
2 - 3	A-B	B	C	E	F
3 - 5	B	B-C	C	D	E
5 - 6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

A : très instable

B : instable

C : peu instable

D : neutre

E : stable

F : très stable

Classes de stabilité de Pasquill

INERIS

La stabilité atmosphérique

Choix des conditions météorologiques

- Rejet horizontal au niveau du sol

D - 5 m/s

F - 3 m/s

- Rejet vertical ou rejet de gaz léger

A - 3 m/s

B - 3 m/s , B - 5 m/s

C - 5 m/s, C - 10 m/s

D - 5 m/s, D - 10 m/s

E - 3 m/s

F - 3 m/s



Choix d'un modèle



Méthodes de résolution

Numérique

- Modèles numériques
- Outils de calculs

Expérimentale

- Grande échelle
 - traceurs
 - gaz réels
- Échelle réduite
 - maquette
 - soufflerie

Choix d'un modèle numérique

Types de modèle

GAUSSIENS



La dispersion
est pilotée
uniquement
par la turbulence
atmosphérique !

Validité

$100\text{ m} < d < 10\text{ km}$

INTEGRAL



Équations de la
mécanique des
fluides
simplifiées !

Validité

$20\text{ m} < d < 10\text{ km}$

« 3D » ou CFD



Équations de la
mécanique des
fluides « moins »
simplifiées ...

Validité

$1\text{ cm} < d < 2\text{ km}$

INERIS

Choix d'un modèle numérique

Modèle Gaussien

Principe

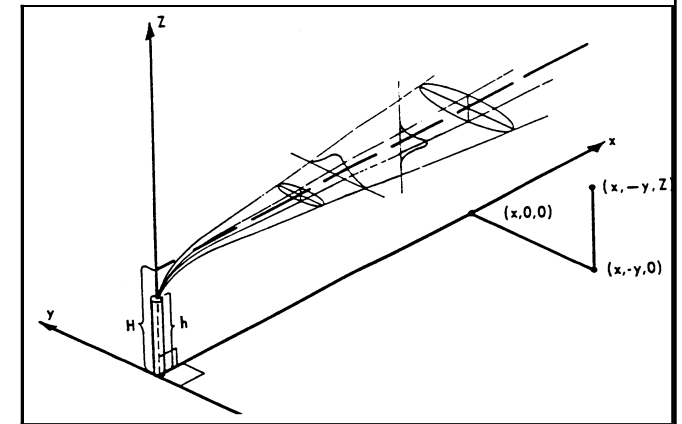
- Solution de l'équation de dispersion est une loi de distribution gaussienne dans l'espace

Applications

- Gaz passif

Hypothèses simplificatrices et limitations

- Néglige la diffusion moléculaire
- Champs de vent uniforme (en vitesse et direction) dans le temps et l'espace
- Pas d'obstacles, pas de relief
- Turbulence homogène et isotrope
- Distances supérieures à 100 m



$$\bar{C}(x, y, z, t) = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right)$$

Choix d'un modèle numérique

Modèle Intégral

Principe

- Résolution simplifiée des équations de la mécanique des fluides

Applications

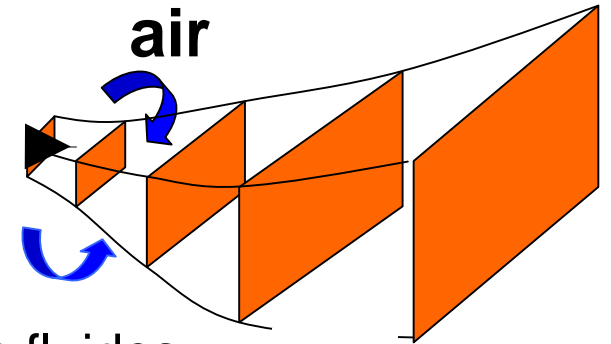
- Gaz neutres, gaz denses, et parfois les gaz légers

Hypothèses

- Intègre différents modèles (modèle de jet, de gaz dense, de gaz léger...)
- Modèle gaussien conservé dans la phase finale de la dispersion

Limites

- Approche paramétrique
- Limitations des modèles gaussiens (météo constante, ni relief, ni obstacles)
- Inadapté pour des rejets faible vitesse / vent faible (diffusion moléculaire négligée)



Choix d'un modèle numérique

Modèle CFD

Principe

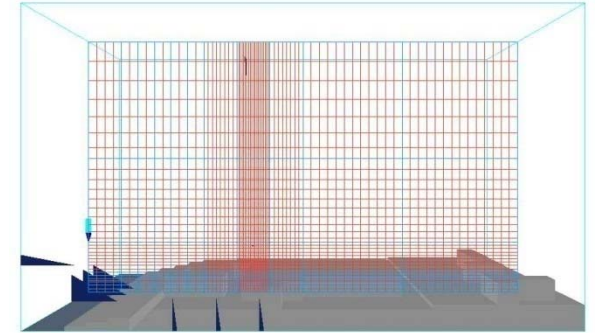
- Résolution des équations de la mécanique des fluides

Applications / Hypothèses

- Prise en compte de l'ensemble des phénomènes intervenant de façon significative sur la dispersion (qu'ils soient liés à l'atmosphère comme la turbulence, ou au site comme les obstacles et le relief)

Limites

- Nombreuses données d'entrée à collecter
- Temps de calcul important
- Complexité des modèles numériques : nombreux paramètres numériques de « calage »
- Précision dépendant de la méthode de résolution, du maillage utilisé, du choix des modèles...



Calage et validation

- Nécessité d'avoir des essais pour caler des modèles + d'autres essais pour valider ces modèles
- Analyse des campagnes expérimentales difficiles : manque de données, pas assez de capteurs, contexte de réalisation,
- Comparaison entre concentrations moyennes calculées et concentrations réelles mesurées difficile à interpréter
- Problème de reproductibilité d'un essai dans des conditions pourtant quasiment identique
- Lors des essais, des conditions météo peu fréquentes : stable, vent faible

Quelques noms de logiciels

■ Gaussien

Aloha - Cameo (EPA) : logiciel pour situation d'urgence

ADMS : logiciel de nouvelle génération (tient compte de la topographie)

■ Intégral

Fred (SHELL) : logiciel adapté plus particulièrement pour le GPL

Phast (DNV) : logiciel rencontré dans les études de dangers

Effects (TNO) : logiciel utilisant les formules du Yellow Book

■ CFD

Fluent (ANSYS) : logiciel générique de mécanique des fluides

CFX (ANSYS) : logiciel générique de mécanique des fluides

Flacs (Gexcon) : logiciel adapté aux risques industriels

Mercurie (EDF) : logiciel adapté aux risques industriels

Panache (Fluidyn) : logiciel adapté aux risques industriels

INERIS