

# Analyse et management des risques industriels



# Généralités

- S-1: ?

- 1. Théorie pour les explosions (VCE)**
- 2. Théorie de la dispersion atmosphérique**

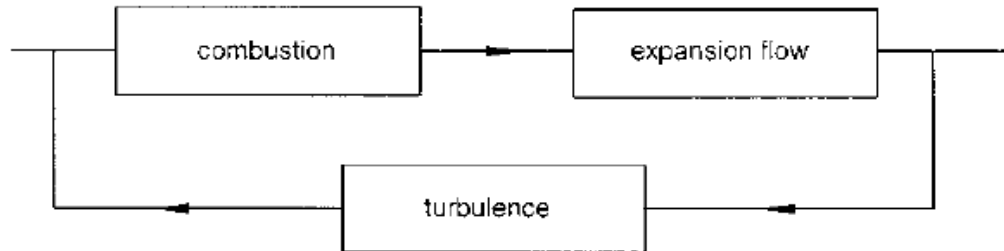
- 1. Théorie pour les explosions (VCE)**
2. Théorie de la dispersion atmosphérique

## 2. Théorie pour les explosions

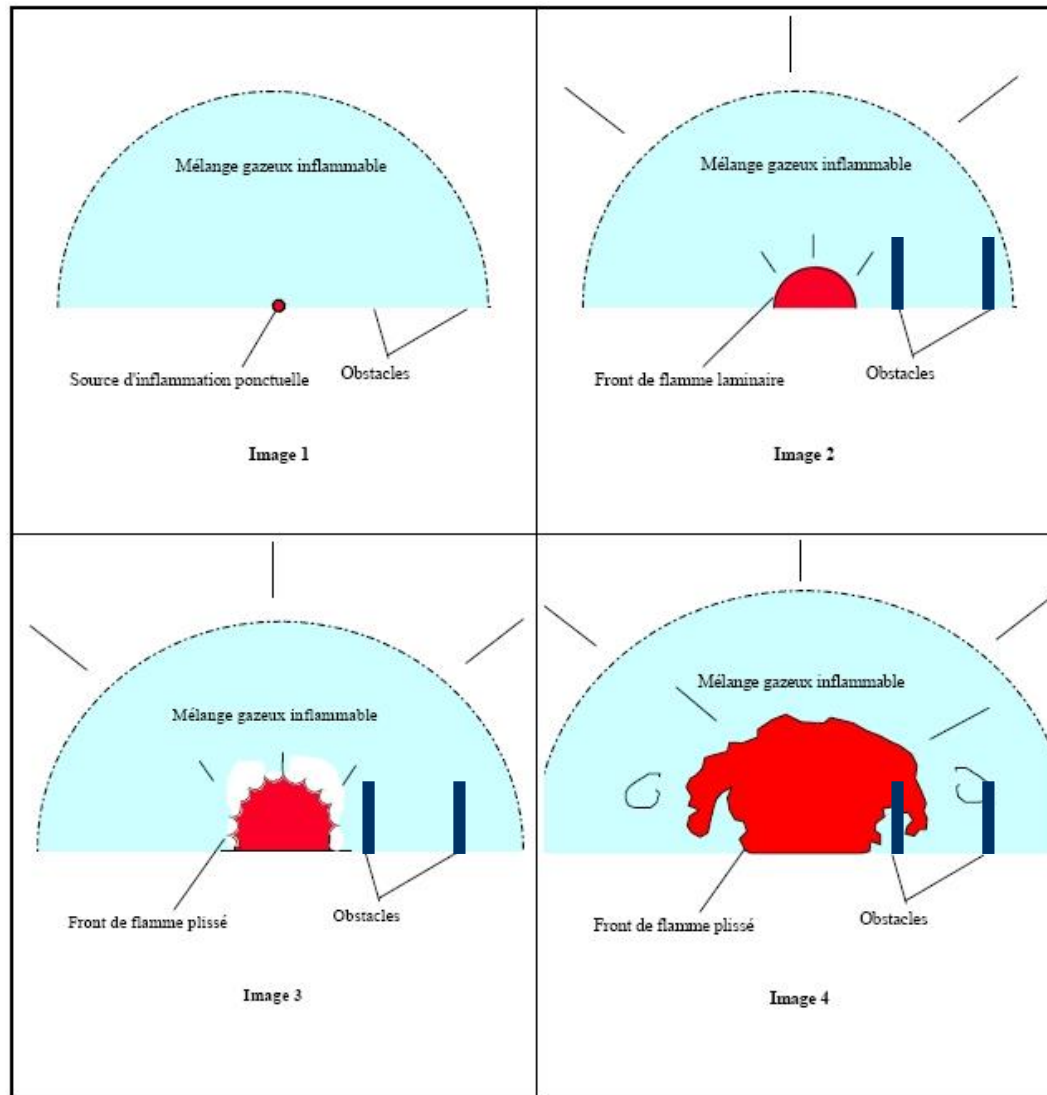
- **Conditions de base à un VCE**
  - 1. Composé inflammable**
  - 2. Formation d'un nuage avant allumage**
    - Si NON : feu de torche -> flux radiatif
  - 3. Conditions d'inflammation réunies**
  - 4. Conditions de propagation de flammes réunies (turbulence)**
    - Si NON : flash fire (combustion) -> flux radiatif

## 2. Théorie pour les explosions

- **Entrainement positif**



## 2. Théorie pour les explosions



## 2. Théorie pour les explosions

- **Conditions de propagation de flammes réunies (turbulence)**
  - **Pas de turbulence (flash fire)**
  - **Turbulences faibles : déflagration**
    - **Source : rejet, obstacles**
  - **Turbulences fortes : détonation**



## 2. Théorie pour les explosions

- **Modèles**

- **Simple (semi-empiriques)**

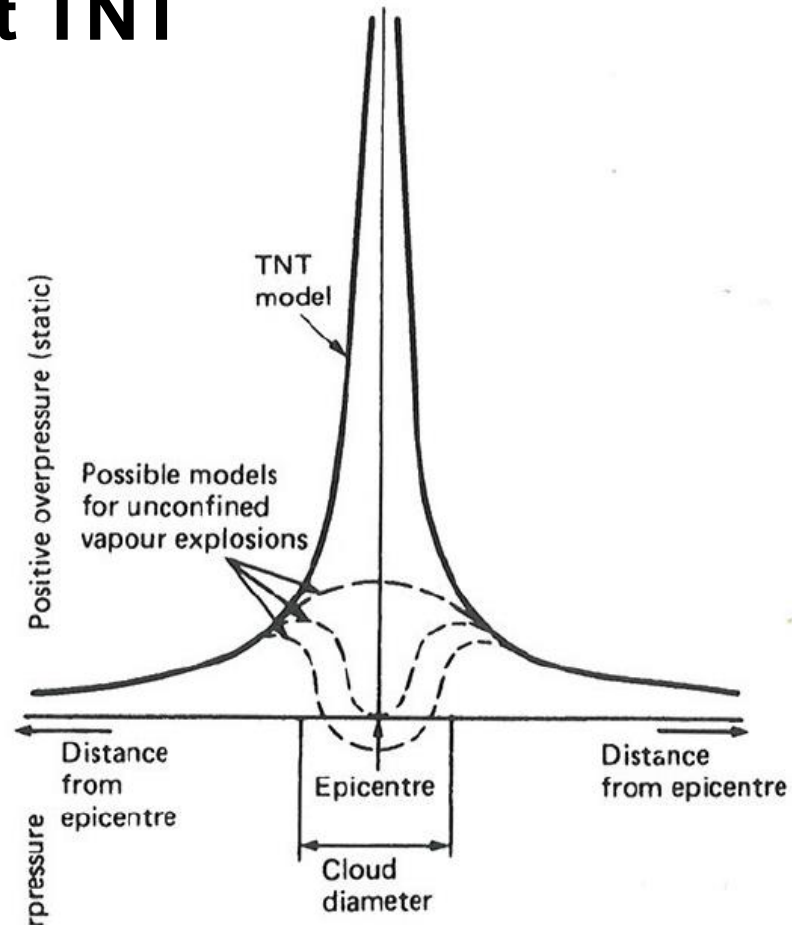
- **« Intégral »**

## 2. Théorie pour les explosions

- **Equivalent TNT**
  - **Relation Masse équiv TNT et Energie nuage**
  - **Lien statistique (accidents observés)**
  - **Effets proches surestimés**
  - **Uniquement surpression : pas de durée et de forme de l'onde**
  - **Très simple à utiliser**

## 2. Théorie pour les explosions

- **Equivalent TNT**

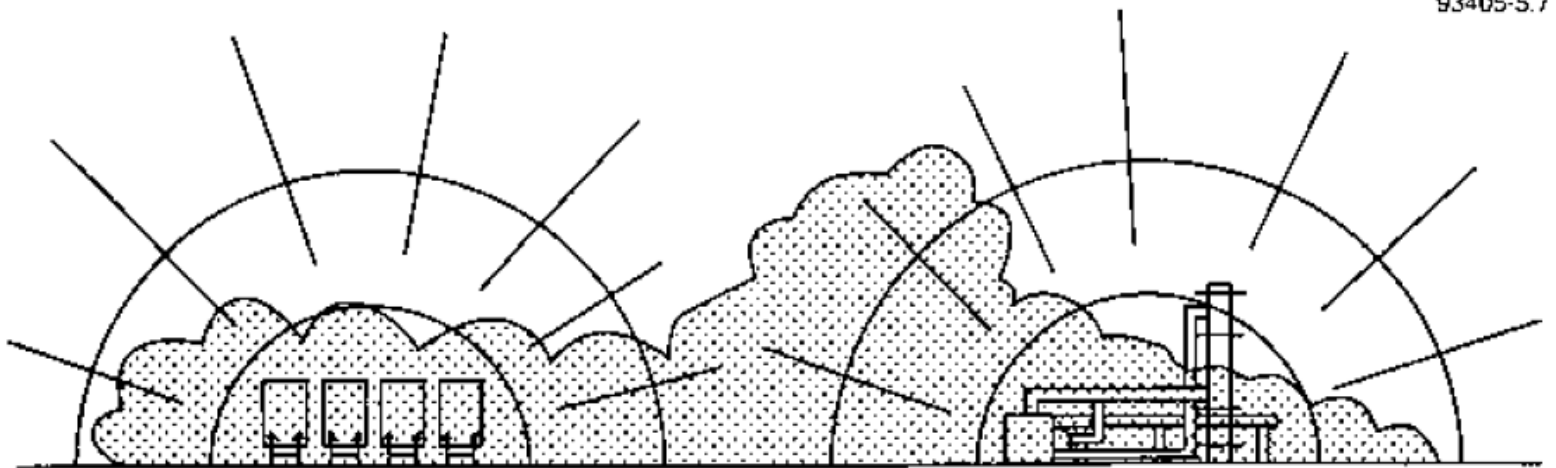


## 2. Théorie pour les explosions

- **Modèle Multi-Energies**
  - **Définition de sous-unités (partiellement obstruées ou confinées)**
  - **Traitement de sous-unités indépendamment**
  - **Surpression, durée, forme**

## 2. Théorie pour les explosions

- **Modèle Multi-Energies**



## 2. Théorie pour les explosions

- **Equivalent TNT**

On définit l'équivalent TNT d'un produit comme la masse de TNT (trinitrotoluène) dont l'explosion provoquerait le même champ lointain de surpression que l'explosion d'un kilogramme de ce produit.

## 2. Théorie pour les explosions

- **Equivalent TNT**

$$Q_{\text{TNT}} = \alpha_e \times \frac{Q_f \times E_{\text{mf}}}{E_{\text{mTNT}}} = \alpha_m \times Q_f \quad (\text{kg})$$

in which:

$\alpha_e$	=	TNT equivalency based on energy	[-]
$\alpha_m$	=	TNT equivalency based on mass	[-]
$E_{\text{mf}}$	=	Combustion energy of fuel per unit mass	[J·kg <sup>-1</sup> ]
$E_{\text{mTNT}}$	=	TNT blast energy per unit mass	[J·kg <sup>-1</sup> ]
$Q_f$	=	Mass of fuel involved	[kg]
$Q_{\text{TNT}}$	=	Equivalent mass of TNT	[kg]

## 2. Théorie pour les explosions

- **Equivalent TNT**

$$Q_{\text{TNT}} = \alpha_e \times \frac{Q_f \times E_{\text{mf}}}{E_{\text{mTNT}}}$$

- Valeur max (alpha=1, hydrocarbure 46 900 kJ/kg, TNT : 4 690 kJ/kg)

soit 10 kg de TNT pour 1 kg d'hydrocarbures.

- théorique et maximaliste (pas de prise en compte de la production de flux thermiques)



## 2. Théorie pour les explosions

- **Equivalent TNT**

➤ « alpha - énergie »

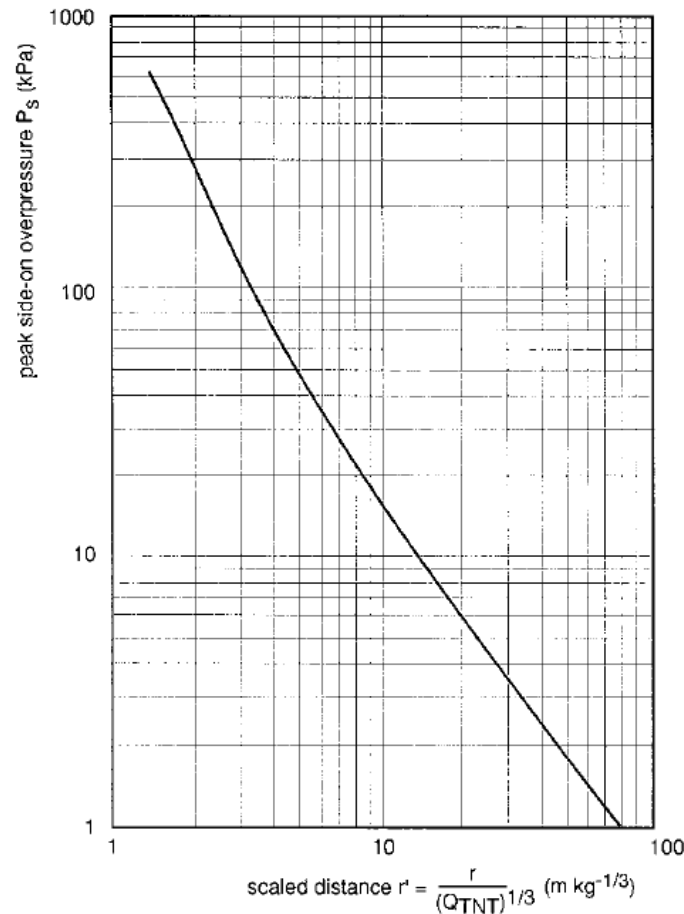
- Statistiquement (Lanoy) = 10 %
- Brasie & Simpson 2 à 5 %

Valeur pratique :

1 kg de TNT pour 1 kg d'hydrocarbures

## 2. Théorie pour les explosions

- **Equivalent TNT**



## 2. Théorie pour les explosions

- **Equivalent TNT**

$$L = C \cdot P^{0,33}$$

où

- **L est le rayon concerné en mètres**
- **C la constante relative au type de dégâts étudié**
- **P la masse de TNT équivalente à la quantité d'hydrocarbure stockée en kilogrammes**

## 2. Théorie pour les explosions

- Equivalent TNT**

C	DEGATS AUX PERSONNES	DEGATS AUX CONSTRUCTIONS
5	Lésions mortelles dans plus de 50% des cas par : <ul style="list-style-type: none"> <li>- onde de choc</li> <li>- éclats</li> <li>- effondrement des constructions</li> </ul>	Dégâts très importants gros œuvre approchant la destruction totale
8	Lésions graves pouvant être mortelles par : <ul style="list-style-type: none"> <li>- éclats ou débris</li> <li>- projection par onde de choc des personnes sur des surfaces dures possibilité de lésion aux tympans par onde de choc</li> </ul>	Dégâts graves (gros œuvre) dont le coût de réparation est $\geq 30\%$ du coût du neuf
15	Lésions par : <ul style="list-style-type: none"> <li>- éclats ou débris</li> <li>- projection par onde de choc des personnes sur des surfaces anguleuses.</li> </ul> Possibilité de surdité temporaire par onde de choc	Dégâts moyens (toiture, intérieur) dont le coût de réparation est 10% du coût du neuf
22	Possibilités de lésions par : <ul style="list-style-type: none"> <li>- éclats ou débris</li> <li>- bris de verre</li> </ul>	Dégâts légers (portes, fenêtres...)
44	Très faibles possibilités de lésions légères par : <ul style="list-style-type: none"> <li>- éclats ou débris</li> <li>- bris de verre</li> </ul>	Dégâts très légers (rupture de vitres de grandes dimensions)

# Analyse et management des risques industriels

1. Théorie pour les explosions (VCE)
- 2. Théorie de la dispersion atmosphérique**

### 3. Théorie de la dispersion atmosphérique

5'

- **Conditions de dispersion atmosphérique :**
  - **les conditions de rejet**
    - nature du produit,
    - mode d'émission continu ou instantané, réactivité du composé,
    - présence de particules solides,
    - vitesse initiale
  - **les conditions météorologiques (champ de vent, de température, turbulences atmosphériques...)**
  - **l'environnement (nature du sol, présence d'obstacles, topographie...).**

### 3. Théorie de la dispersion atmosphérique

- **Modèles gaussien**

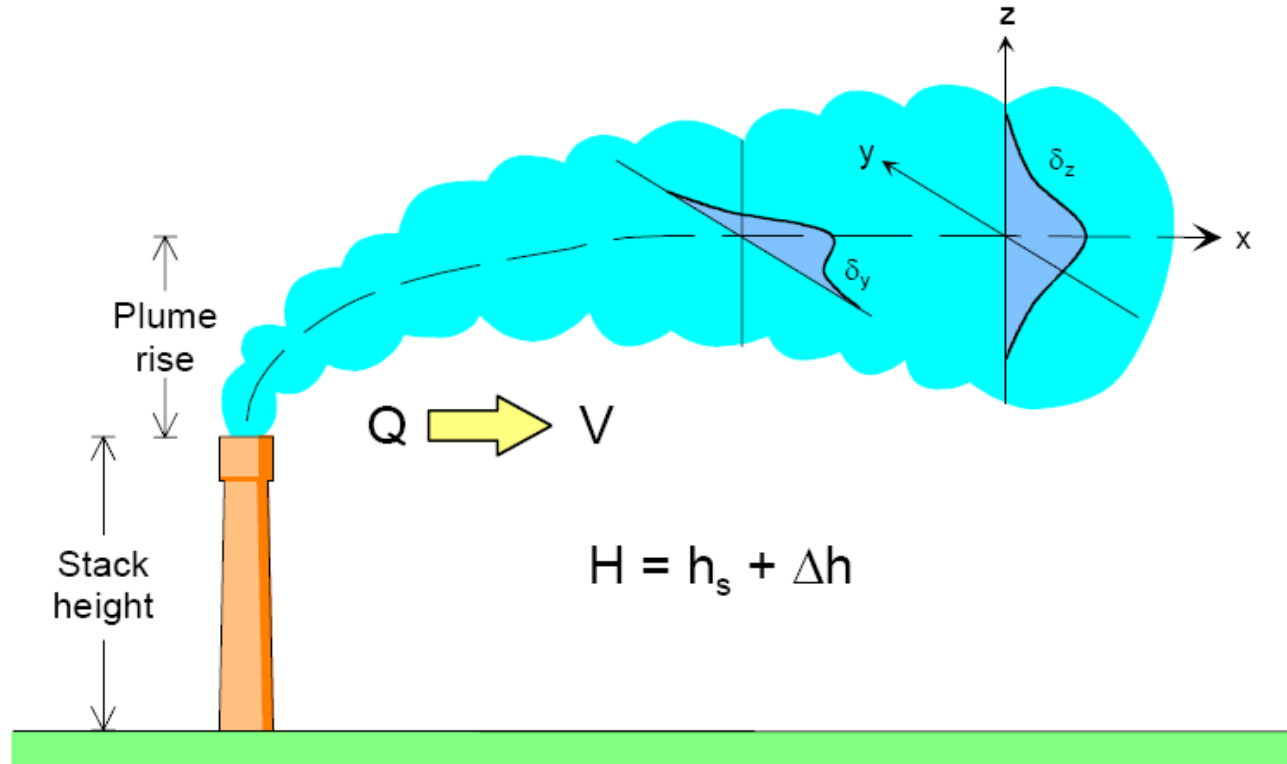
$$C(x,y,z;H) = \frac{Q}{2\Pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

- **Modèles « intégral »**

- **EFFECTS (TNO)**

- **PHAST (DNV)**

### 3. Théorie de la dispersion atmosphérique



$$C(x, y, 0; H) = \frac{Q}{\Pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right]$$



### 3. Théorie de la dispersion atmosphérique

- **Modèle gaussien**
- **Hypothèses de base**
  - émissions continues, ce qui permet de négliger la diffusion dans l'axe du panache ;
  - conservation de la masse par réflexion complète du panache par le sol ;
  - vitesse et direction de vent constantes dans tout le domaine.

### 3. Théorie de la dispersion atmosphérique

- **Modèle gaussien**
- **Turbulence atmosphérique**

#### Classes de Pasquill

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

### 3. Théorie de la dispersion atmosphérique

- **Modèle gaussien**
- Classes de Pasquill

$$\sigma = a \cdot x^b + c$$

Stabilité atmosphérique (Pasquill)	a	b	c
A	0,215	0,858	0
B	0,155	0,889	
C	0,105	0,903	
D	0,068	0,908	
E	0,05	0,914	
F	0,034	0,908	

Tableau 4 : Coefficients relatifs à  $\sigma_y$

Stabilité atmosphérique (Pasquill)	a	b	c
A	0,467	1,89	0,01
B	0,103	1,11	0
C	0,066	0,915	0
D	0,0315	0,822	0
E si $x < 1$ km	0,0232	0,745	0
E si $x > 1$ km	0,148	0,15	-0,126
F si $x < 1$ km	0,0144	0,727	0
F si $x > 1$ km	0,0312	0,306	-0,017

Tableau 5 : Coefficients relatifs à  $\sigma_z$

### 3. Théorie de la dispersion atmosphérique

- **Modèle gaussien**
- **Avantages**
  - Faibles puissances de calcul ;
- **Inconvénients**
  - Valable pour des vitesses initiales quasi nulles
  - Fortes hypothèses simplificatrices (obstacles : relief ou bâtiment) ;
  - Validité : 100 m à 10 km
  - Uniquement pour gaz neutre densité proche air  
donc peu efficace pour les gaz chauds ou froids et les particules

### 3. Théorie de la dispersion atmosphérique

- **Modèle gaussien**
- **Adaptation possibles pour :**
  - Surélévation du panache
  - Prise en compte partiellement le relief, les bâtiments, l'occupation du sol (rugosité)
  - Réflexion sur couches limites
  - Obstacles proches
  - Dépôts