

# **SEMINAIRE DE FORMATION**

## **RISQUE BATIMENTAIRE**

**CADRE: FORMATION DES OFFICIERS  
SPECIALISTES RISQUE BATIMENTAIRE  
DE DETACHEMENT FRANCAIS INSARAG**

**SITE: ENTENTE ECASC VALABRE**

### **JOUR 1**

## **CAS DES AUTRES CHARGES ACCIDENTELLES (POUSSÉES HORIZONTALES)**

**INTERVENANT: JEAN-LUC REY**

**RÉVISION RB 2016 V01**



# **SOMMAIRE**

- 1. Contexte général**
- 2. Effets des explosions sur les structures**
- 3. Effets des Vents extrêmes**
- 4. Cas des Chocs accidentels sur porteur**
- 5. Synthèse: Tableau de comparaison des effets sur les structures (impacts)**
- 6. Crédits images**

# 1- CONTEXTE GÉNÉRAL

- 3 cas de charges exceptionnelles abordés
- 3 sollicitations différentes sur les structures
  - 3 cas de mode de rupture
- Approches empiriques des effets sur les structures (domaines d'études complexes et en évolution)
- Sources multiples et variées de dangers pour les USAR

**-2-**

# **EFFETS DES EXPLOSIONS SUR LES STRUCTURES**

## 2- LE CAS DES EXPLOSIONS

### A DEFINITION

**Explosion = en premier lieux c'est une onde de choc (se réfractant aussi à l'intérieur des volumes et des corps jusqu'à complet amortissement !) puis selon la nature de la charge suit l'effet ou thermique sur les parois.**

### B LES FACTEURS

**Importance en termes d'énergie dissipée fonction de la nature du fluide –**

- Réaction chimique de matières condensées, liquides ou solides, poussières, gaz,**
- Vaporisation instantanée, B.L.E.V.E.,(citerne, appareil..) Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion**
- Explosion pneumatique (détente de gaz sous pression)**

**3 régimes à différencier:**

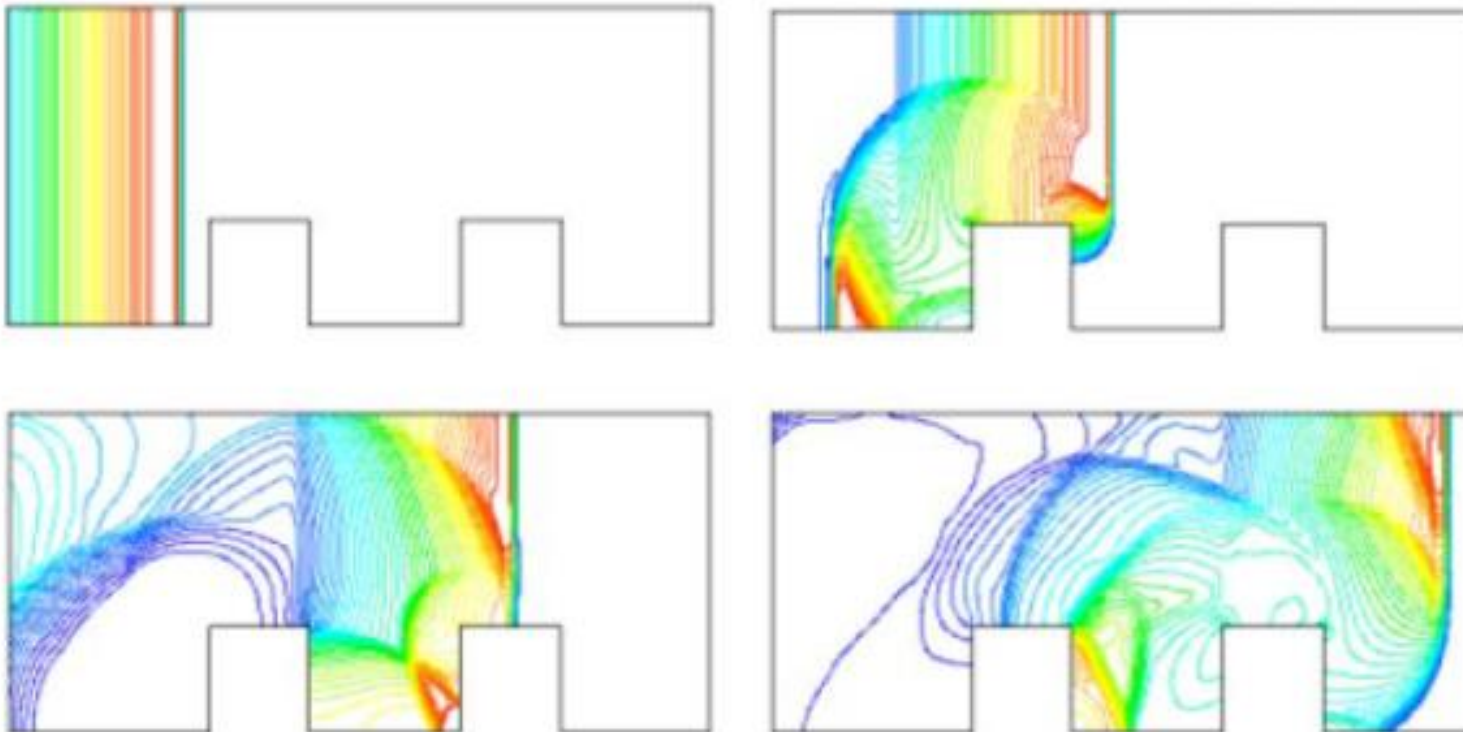
- Combustion =>  $V < 300 \text{ m/s}$**
- Déflagration =>  $V \text{ de } 300 \text{ à } 1500 \text{ m/s}$**
- Détonation =>  $> 1500 \text{ m/s}$  (cas des explosifs condensés militaires et civils)**

**L'impact sur la structure sera aussi fonction du milieu :**

- en champ libre ou en milieu confiné**

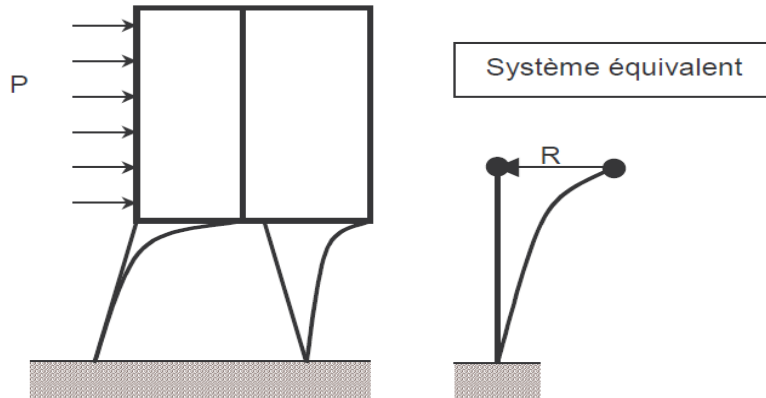
## 2- LE CAS DES EXPLOSIONS (EXTERNES)

Modélisation de la  
propagation de l'onde  
de front en champ libre



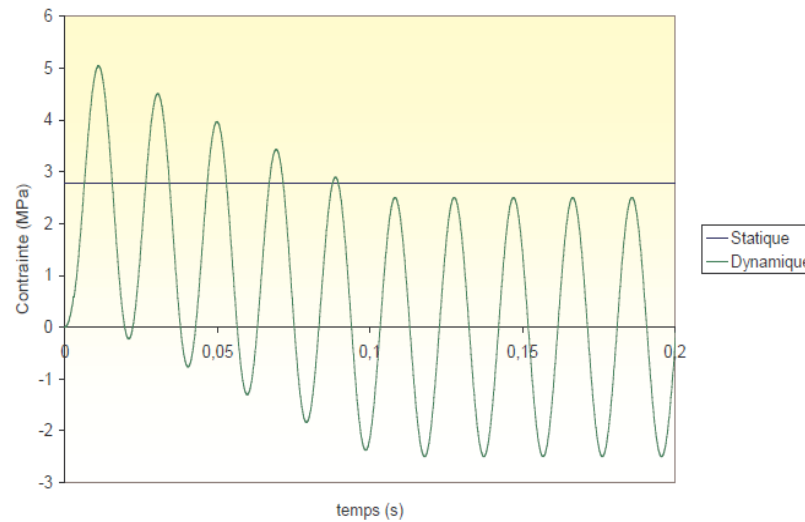
*Info:* Une variation supérieure à 1 kg/cm<sup>2</sup> en moins d'une milliseconde est considérée comme un **blast**.

## 2- LE CAS DES EXPLOSIONS : MODÉLISATION DU CHARGEMENT



*Représentation du comportement d'un système physique par un modèle masse-ressort*

Effet de Pression / dépression d'une explosion sur un mur linéaire en béton



## 2- LE CAS DES EXPLOSIONS : EFFET THERMIQUE SUR LES MATÉRIAUX BETON

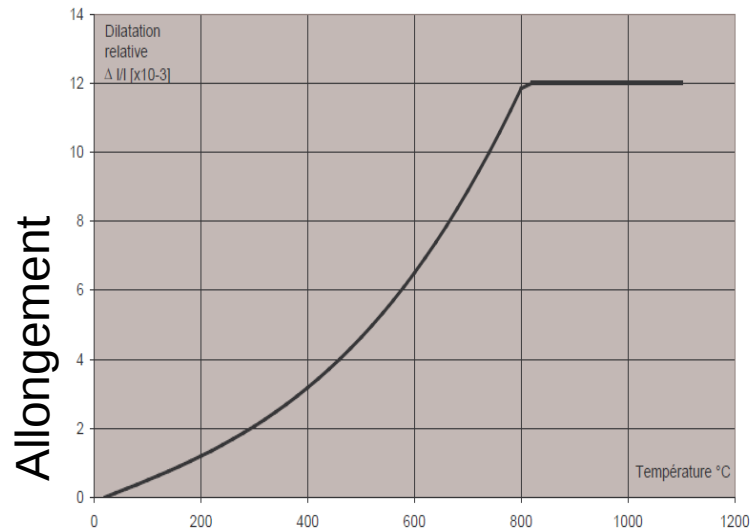


Figure 16 Dilatation thermique relative du béton à granulats calcaires d'après l'Eurocode 2, partie 1.2 [XP ENV 1992-1-2, 2001]

Courbe de dilatation du béton en fonction de la température  
Dilatation excessive = ruine par grand déplacement)

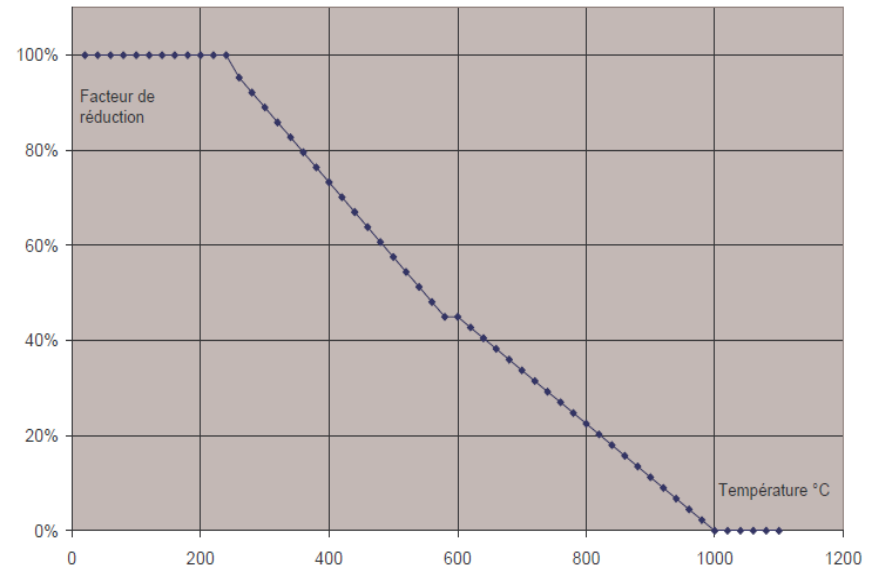


Figure 15 Facteur de réduction du béton d'après l'Eurocode 2, partie 1.2 [XP ENV 1992-1-2, 2001]

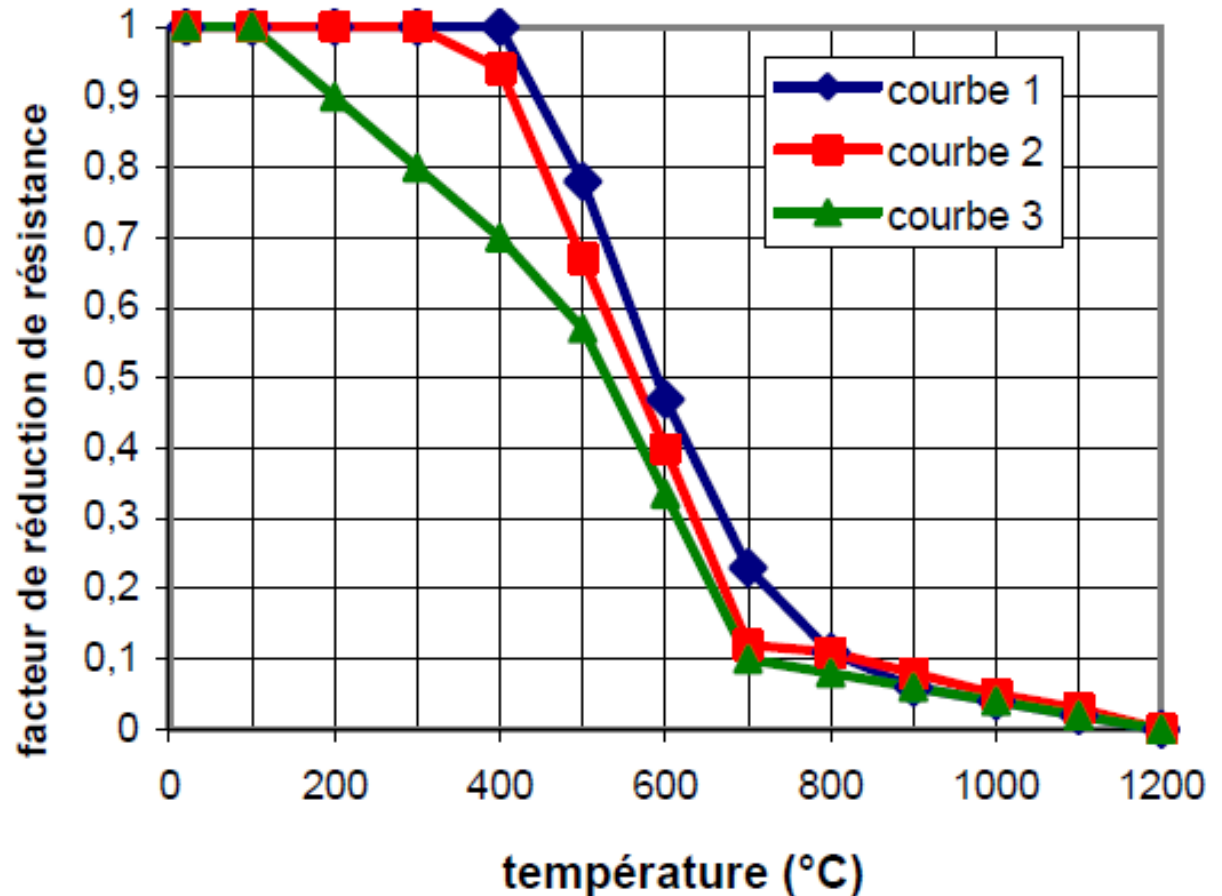
Facteur de réduction de résistance du béton  
-Palier remarquable à 500° c -

## 2- LE CAS DES EXPLOSIONS : EFFET SUR LES MATÉRIAUX

Courbes de dilatation  
des aciers d'armatures  
des BA

-courbes 1 et 2 =  
Armatures tendues  
(aciers laminés à chaud  
et à froid)

-courbe 3= Armatures  
comprimés



## 2- LE CAS DES EXPLOSIONS

### IMAGES DU CAS AZF- TOULOUSE 2001-



Effet Maximum du souffle dans une direction



Pression exercée sur les parois induisant une charge bien supérieure à la tenue des remplissages : nota= constat de la relative intégrité de la structure dans le sens longitudinal

## 2- LE CAS DES EXPLOSIONS

### IMAGES DU CAS AZF

Observons la signature de l'explosion sur les murs porteurs..



## 2- LE CAS DES EXPLOSIONS

CAS DU 119, COURS LAFAYETTE –LYON 2008- SDIS 69, CNE BEROARD/ LTN RIGAL

### 1- CONTEXTE

Explosion de gaz de ville



**RCCI:** opération de tirage de conduite de plomb ayant arraché une conduite de gaz



**Point d'origine:** RDC arrière du magasin



Souffle et projections face au 119

## 2- LE CAS DES EXPLOSIONS

### CAS DU 119, COURS LAFAYETTE –LYON 2008- SDIS 69, CNE BEROARD/ LTN RIGAL

#### 2- INTEGRITE DE LA STRUCTURE



Transparence du RDC (baies) ayant évité la surpression (front d'ondes peu réfléchi)

Poutrelles et hourdis BA ayant eu un comportement de diaphragme

Absorption de l'onde de choc verticale par l'escalier en pierre (forte rigidité)



L'extrémité du pâtre de maison a subi la poussée latérale due à l'explosion (lézarde à l'angle)

## 2- LE CAS DES EXPLOSIONS

INTERVENTION SDIS 11, VILLAGE DE ROUTIER, SEPTEMBRE 2016, ADJ BENOIT SANCHEZ

### Contexte

Explosion causée par une bouteille de gaz butane située à l'intérieur d'une maison de village de l'Aude.



Formation de bielles dans la maçonnerie des façades



Les chevrons sont désolidarisés des poutres



Fissuration en lézarde

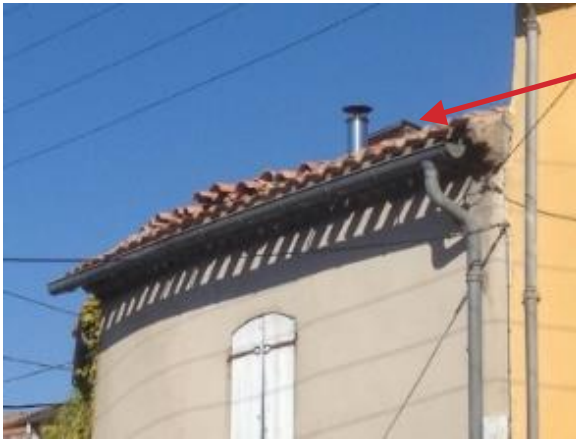
Attention aux apparences!  
Faire un check  
**structure !!!**

## 2- LE CAS DES EXPLOSIONS

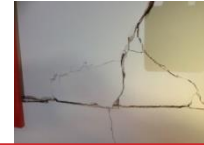
### INTERVENTION SDIS 11, VILLAGE DE ROUTIER, SEPTEMBRE 2016, ADJ BENOIT SANCHEZ

#### Contexte

Explosion causée par une bouteille de gaz butane située à l'intérieur d'une maison de village de l'Aude.



Les tuiles de couvertures sont soulevées.  
Le Velux ouvert a permis l'effet de soupape de décharge, malgré tout!



Lézardes dans doublage brique:  
Effectuer un Curage local pour vérifier l'état du mur



Toujours Repérer le sens de portée du plancher !!

Plancher bois « souple » déformé par l'onde de choc: Vérifier l'état de ses liaisons aux murs porteurs.



Lézardes dans mur mitoyen (PORTEUR !!)

La bouteille de butane est restée intacte après l'explosion.



## 2- LE CAS DES EXPLOSIONS

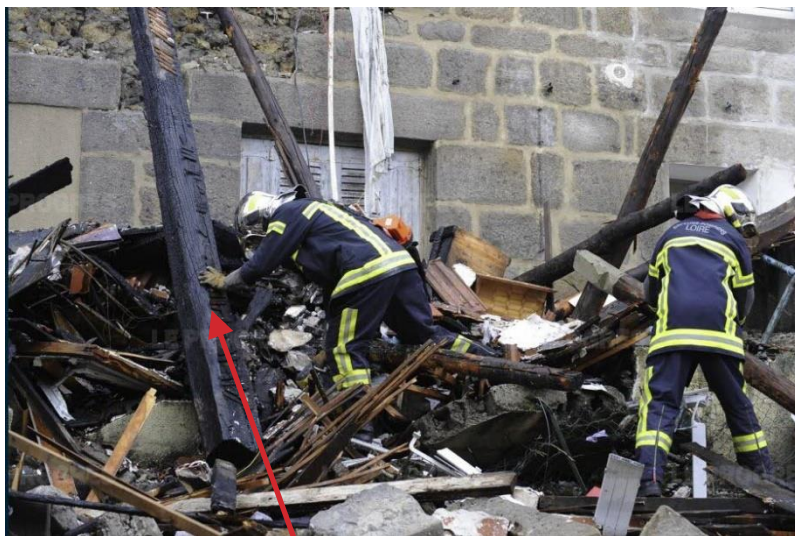
### INTERVENTION SDIS 42, ST ETIENNE, RUE DES TILLEULS , CNE FERDINAND CHAPELLE, 2010

#### Contexte

Explosion dans un immeuble ancien d'habitation R+3 suivie d'un incendie



Déversement complet, par effet de souffle, de la façade (non porteuse des planchers et de la charpente) en maçonnerie de gros appareils.



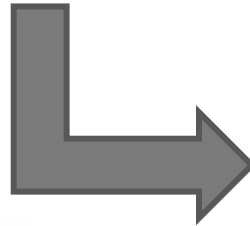
Poutre de charpente (relativement intègre) mais déchaussée de ses appuis



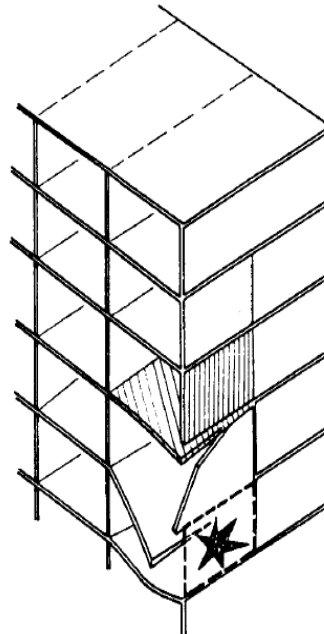
**Les immeubles accolés  
devront être vérifiés et  
surtout ceux en bout  
(aux poussées  
horizontales)**

# 1- LE CAS DES EXPLOSIONS : INTERNE

EXPLOSION DE GAZ (ANGLETERRE, 1968, RONAN POINT)



Naissance de la notion de « **Key Element** »  
(code de construction) indiquant:  
Si la disparition de l'élément porteur entraîne  
la perte de **+ de 15 %** de la surface de  
plancher, ou **+ de 70 m<sup>2</sup>** (le minimum de ces 2  
valeurs) alors probabilité d'effondrement en  
cascade

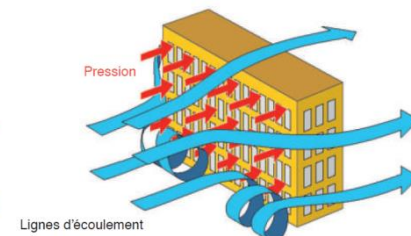
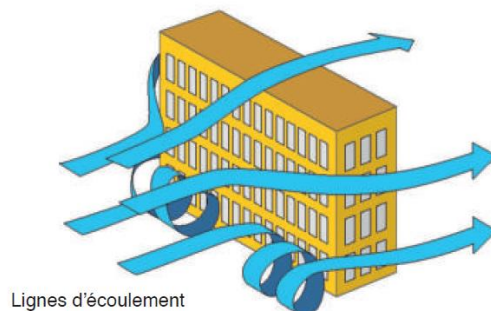
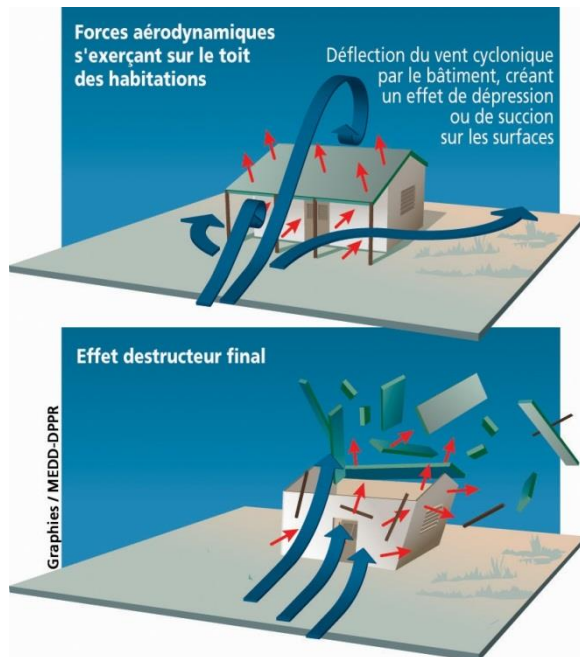


Mécanisme de propagation des  
surcharges successives aux planchers  
inférieurs

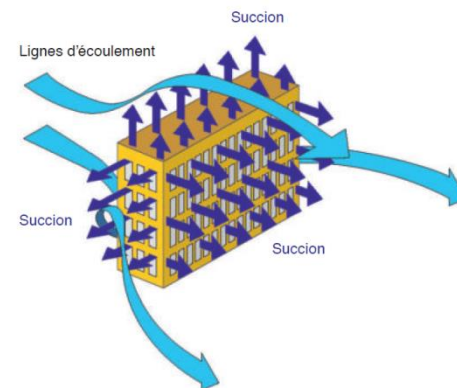
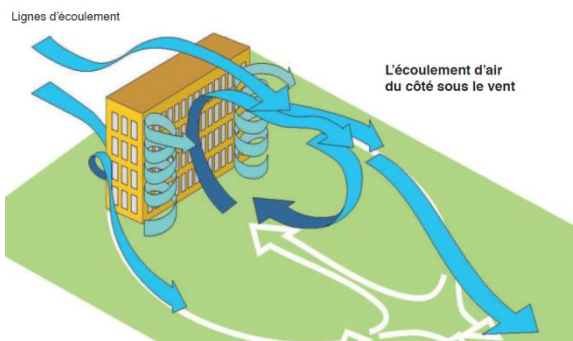
**-3-**

# **EFFETS DES VENTS EXTREMES SUR LES STRUCTURES**

### 3- LE CAS DES VENTS EXTREMES : PRINCIPE DE CHARGES



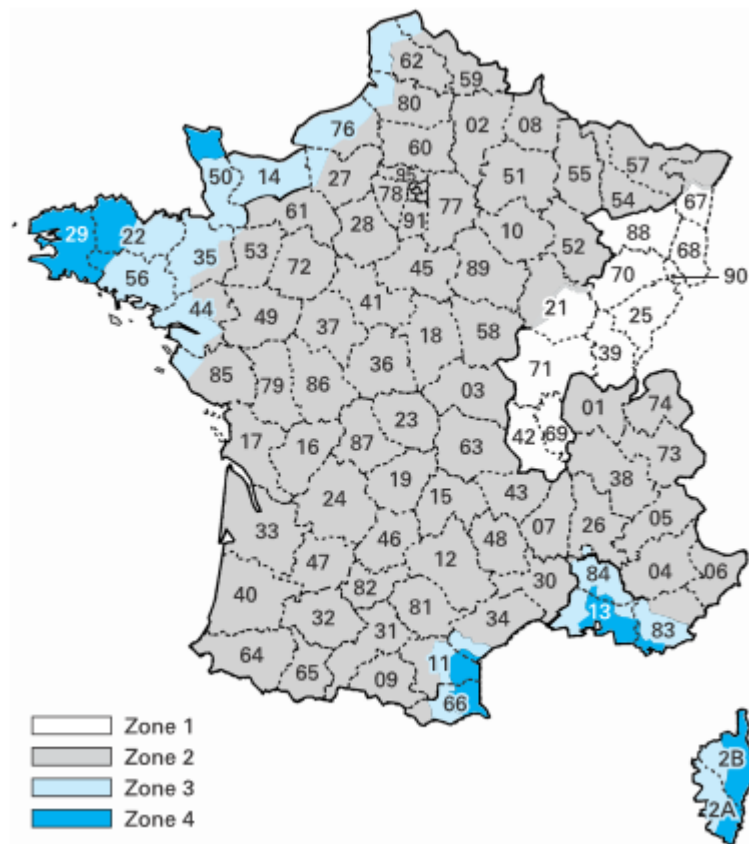
Pression exercée Face au vent



Pression exercée Sous le vent

### 3- LE CAS DES VENTS EXTREMES

#### LES DÉPARTEMENTS LES PLUS CONCERNÉS : CARTE NV65



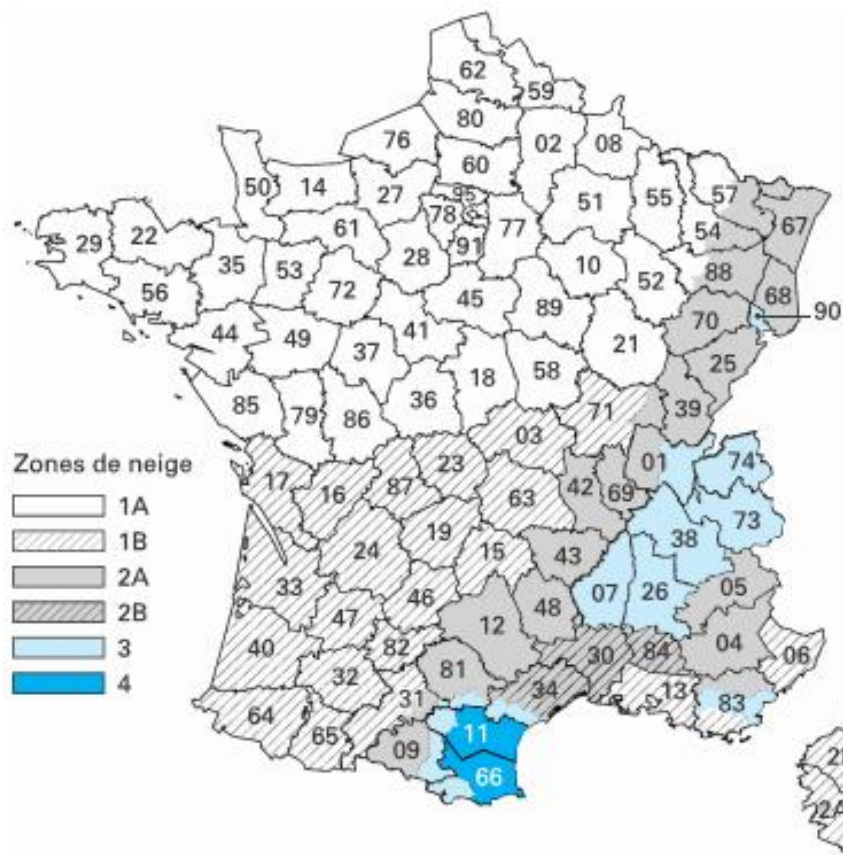
**Tableau 7 – Pressions dynamiques du vent pour une altitude inférieure à 1 000 m**

|                                                               | Zone 1 | Zone 2 | Zone 3 | Zone 4 | Zone 5 |
|---------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Pression dynamique de base normale .....(daN/m <sup>2</sup> ) | 50     | 60     | 75     | 90     | 120    |
| Pression dynamique de base extrême .....(daN/m <sup>2</sup> ) | 87,5   | 105,0  | 131,0  | 157,5  | 210,0  |

**BERNOUILLI : Pressions dynamiques exercées sur les parois**

### 3- LE CAS DES VENTS EXTREMES

#### LES DÉPARTEMENTS LES PLUS CONCERNÉS (NEIGE NV65)



Pression exercée Sous le vent

**Tableau 3 – Charges dues à la neige jusqu'à 200 m d'altitude suivant les zones (valeurs au sens des NV 65)**

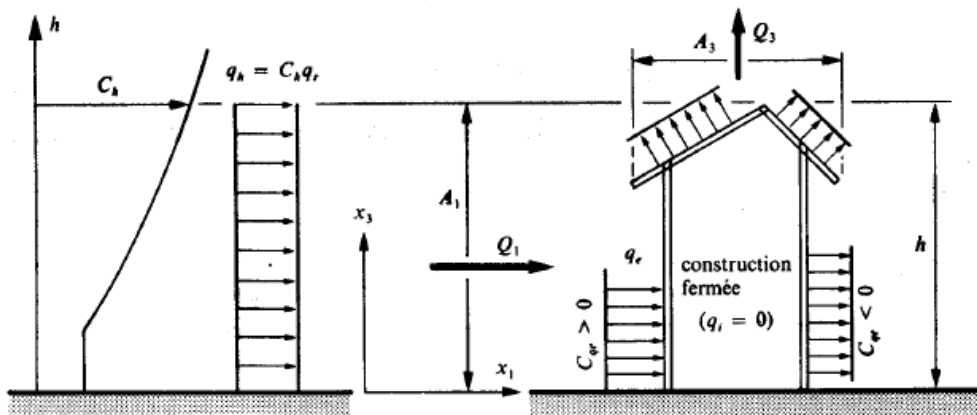
| Niveau de charge                                          | Zones |    |    |     |     |     |
|-----------------------------------------------------------|-------|----|----|-----|-----|-----|
|                                                           | 1A    | 1B | 2A | 2B  | 3   | 4   |
| Charge normale..... $p_{no}$ (daN/m <sup>2</sup> )        | 35    | 35 | 45 | 45  | 55  | 80  |
| Charge extrême ..... $p'_{no}$ (daN/m <sup>2</sup> )      | 60    | 60 | 75 | 75  | 90  | 130 |
| Charge accidentelle..... $p''_{no}$ (daN/m <sup>2</sup> ) |       | 80 | 80 | 108 | 108 | 144 |

L'alinéa « Pour Perpignan... majoration de 45 % » situé sous le tableau 1 des règles NV n'a pas à être appliqué compte tenu des nouvelles zones.

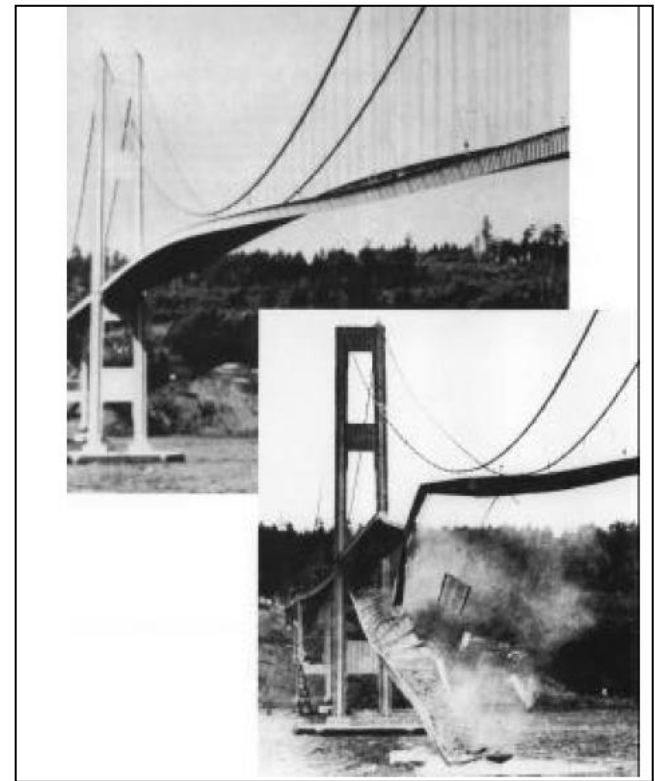
### 3- LE CAS DES VENTS EXTRÊMES : EFFETS PRINCIPAUX

#### EFFET STATIQUE (pression équivalente)

- dépend de la géométrie, de la direction, ...
- actions statiques (pressions, dépressions)



#### EFFET DYNAMIQUE (résonnance)



Pont de Tacoma, USA, 1940

### 3- LE CAS DES VENTS EXTREMES : EFFETS SUR LES STRUCTURES

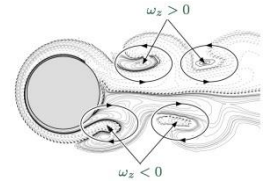
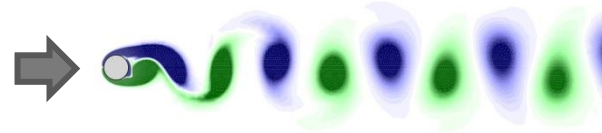


Suisse: tempête Lothar (image en temps réel)



Canada: effondrement d'une scène par vent en rafale de 90 km/h

Δ!!DANGER PARTICULIER  
sur les éléments élancés  
(cheminée d'usine,...)  
= oscillations transversales  
À la direction du vent



Simulation numérique de l'écoulement autour du cylindre :  
EFFET DE VON KARMAN



# 3- LE CAS DES VENTS EXTREMES : EFFET SUR D'AUTRES STRUCTURES



Port du Havre, hivers 2016, Image Twitter, Alexix L.



Bretagne, hivers 2016, 150 Km/h  
Image Twitter, Florian Jaquer



Février 2016, (tempête Susanna), PARIS,  
chute d'un panneau affichage 15 M²- 2 blessés dont 1  
coma, Image l'Express.fr

Très  
proche  
des limites  
NV65 (149  
KM/h) !!!

**RAFALES (EN PLAINE) DU 09 FEVRIER 2016 (JUSQU'À 19 H)**  
*Source : Météo-France*

| Ordre | Station météo           | Département       | Rafale en km/h |
|-------|-------------------------|-------------------|----------------|
| 1     | TOUR EIFFEL             | Paris             | 158            |
| 2     | ILE DE GROIX            | Morbihan          | 149            |
| 3     | POINTE DE PENNMARCH     | Finistère         | 138            |
| 4     | ST CLEMENT DES BALEINES | Charente Maritime | 134            |
| 5     | PLOUGONVELIN            | Finistère         | 133            |
| 6     | POINTE DU RAZ           | Finistère         | 130            |
| 7     | CAMARET SUR MER         | Finistère         | 130            |
| 8     | POINTE DE CHEMOULIN     | Loire Atlantique  | 128            |
| 9     | BELLE ILE               | Morbihan          | 126            |
| 10    | GUERANDE                | Loire Atlantique  | 125            |
| 11    | BALE MULHOUSE           | Haut Rhin         | 124            |
| 12    | ILE D'YEU               | Vendée            | 123            |
| 13    | SAULIEU                 | Côte d'Or         | 119            |
| 14    | RODALBE                 | Moselle           | 119            |
| 15    | CHAMBERY AIX LES BAINS  | Savoie            | 117            |

meteo-villes.com

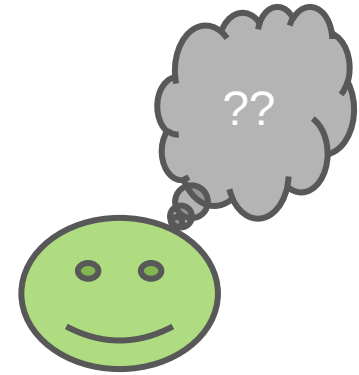
### 3- LE CAS DES VENTS EXTREMES : EFFET SUR D'AUTRES STRUCTURES

#### PETITE MISE EN APPLICATION.....

Le Ltn Albert Degarde reçoit l'appel CTA du SDIS 77

Le maire (d'une petite commune) a un doute sur la résistance au vent d'un panneau d'affichage temporaire en bord de voirie, sans possibilité d'haubanage.

(...Le Maire a en mémoire l'épisode venteux de Paris...)



#### **Données communiquées (ou recherchées..)**

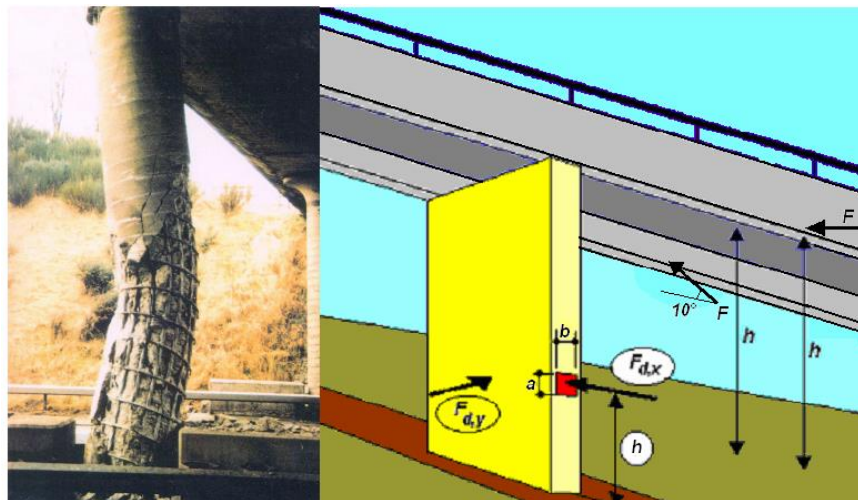
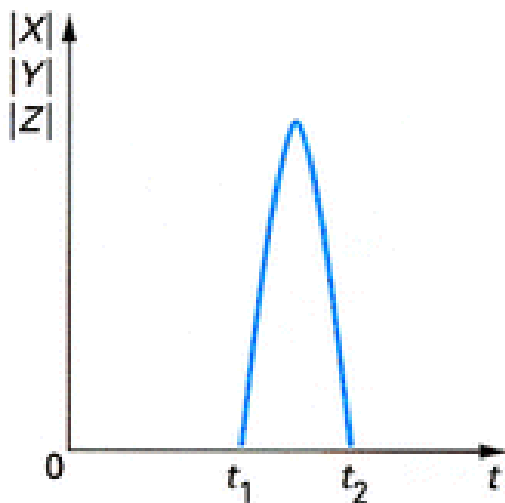
- Surface du panneau =  $12 \text{ m}^2$  ( $h = 3\text{m}$  ,  $L=4\text{m}$ ), vissé sur madriers
- 2 madriers de pin sylvestre de section  $16 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$
- Longueur de portée des madriers sous panneau =  $2\text{m}$
- encastremements des madriers dans massifs de béton
- $1/150^\circ$  de la portée pour valeur de flèche admissible

PS: Nous traiterons ensemble ce TP après la RdM

# **-4- EFFETS DES CHOCS SUR PORTEUR**

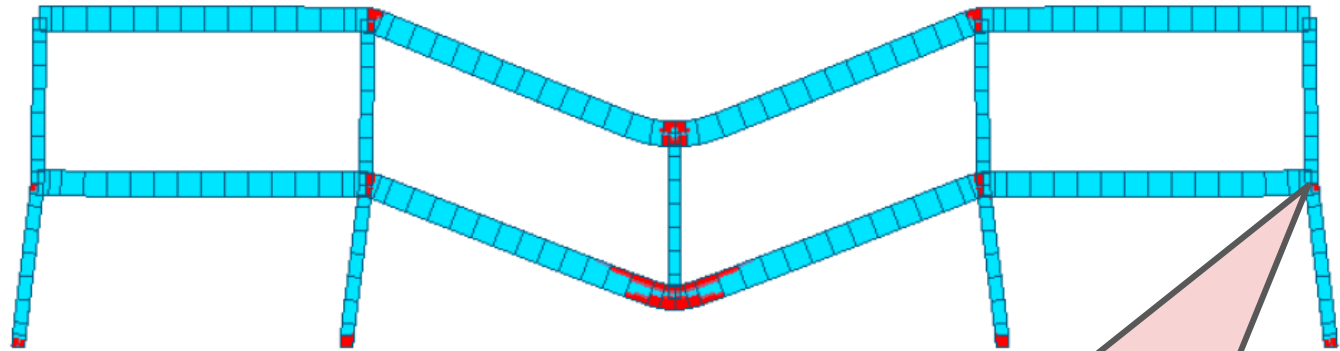
## 4- LE CAS DES CHOCS ACCIDENTELS

**Définition:** Action mécanique de contact de très haute énergie (J) sur une impulsion (choc mou) ayant pour conséquence la dissipation de son énergie (cinétique) dans la structure (les 2 objets ne formant plus qu'un). C'est alors la capacité d'amortissement (absorption) de la structure qui déterminera son niveau d'endommagement.



## 4- LE CAS DES CHOCS ACCIDENTELS

**Mécanisme de ruine par effondrement du à la rupture d'un porteur (effet domino)**



**Affectation des zones indirectement affectée : plastification des zones de connexion en rouge**

**Adaptation plastique des zones connexes non réalisé**

**Rotulage excessif des connexions allant jusqu'à la rupture locale des éléments**

**Effondrement progressif et généralisé de la structure**

La capacité d'Adaptation Plastique que peut posséder une structure est la meilleure barrière contre l'effondrement soudain !!!

**-5-**

**SYNTHÈSE DES EFFETS  
SUIVANT CES 3 CAS DE  
CHARGES**

## 5 SYNTHÈSE

### COMPARAISON DES EFFETS DES CHARGES ACCIDENTELLES (cas des ELU) \*

#### Partie 1

\*synthèse réalisée principalement pour les structures acier et béton

| EFFETS-FACTEURS       | SEISMES                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | EXPLOSIONS                                                                                                                                                                                                                            | VENTS EXTREMES                                                                                                                                                                                                                       | CHOCS                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Direction des charges | 5 directions<br>X et -X<br>Y et -Y et Z                                                                                                                                                                                                                                                                    | 2 directions<br>X et -X                                                                                                                                                                                                               | 2 directions<br>X et -X                                                                                                                                                                                                              | 1 direction<br>X                                                                                                                                                                                                            |
| Modes de Ruine        | -déformations et déplacements excessifs des éléments élancés (instabilité globale)<br>-ruptures fragiles des porteurs<br>-cisaillement des poteaux<br>-rotulages excéssifs des liaisons et ancrages<br>- basculement des structures<br>-possibilité de rupture par fatigue oligocyclique (séismes répétés) | -déformations et déplacements excessifs ,rupture fragile des éléments porteurs et de franchissement<br>-arrachement des ancrages<br>-déformations par allongement ( $\Delta L$ ) des éléments de structure dues aux effets thermiques | -déformations et déplacements excessifs des éléments entraînant une instabilité globale de la structure<br>-arrachement des ancrages<br>-possibilité de rupture par fatigue oligocyclique des porteurs<br>-par résonnance (possible) | -Dégradation locales des éléments porteurs par cisaillement ou allongement au-delà des limites admissibles<br>-déformation excessive due à la faible résilience (résistance aux chocs) des matériaux de construction usuels |
| Mode de chargement    | Torseur des efforts appliqué au CdG de chacun des éléments structuraux et non struturaux                                                                                                                                                                                                                   | Charges réparties linéaires sur toutes les surfaces (+ en pression qu'en depression)                                                                                                                                                  | Charges réparties linéaires sur les surfaces s'opposant aux vents<br>-dynamique (si résonnance)                                                                                                                                      | Charge ponctuelle concentrée (et à haute énergie) sur le lieu d'impact                                                                                                                                                      |
| Endommagement         | Généralisé                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Généralisé                                                                                                                                                                                                                            | Généralisé                                                                                                                                                                                                                           | Localisé                                                                                                                                                                                                                    |

# 5 SYNTHÈSE

## COMPARAISON DES EFFETS DES CHARGES ACCIDENTELLES (cas des ELU) \*

### Partie 2-suite-

\*synthèse réalisée principalement pour structures portiques acier et béton

| EFFETS-FACTEURS                                    | SEISMES                                                                                                                                                                                                                                                             | EXPLOSIONS                                                                                                                                                                                                                                                                         | VENTS EXTREMES                                                                                                 | CHOCS                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Thermique                                          | Non<br>(sauf effets induits)                                                                                                                                                                                                                                        | Oui                                                                                                                                                                                                                                                                                | Non                                                                                                            | Non                                                                                                                                                                        |
| Pression-Depression                                | Non                                                                                                                                                                                                                                                                 | Oui                                                                                                                                                                                                                                                                                | Oui                                                                                                            | Non                                                                                                                                                                        |
| Inerties mises en jeu<br>(de la structure)         | Oui                                                                                                                                                                                                                                                                 | Non<br>(surfaces Ecrans en 1° ordre)                                                                                                                                                                                                                                               | Non<br>(Surfaces Ecrans)                                                                                       | Non                                                                                                                                                                        |
| Oscillations                                       | Oui                                                                                                                                                                                                                                                                 | Oui                                                                                                                                                                                                                                                                                | Oui                                                                                                            | Non                                                                                                                                                                        |
| Durée des sollicitations<br>(moyennes)             | Longues<br>15 à 40 s<br>(Main shock)                                                                                                                                                                                                                                | Très courtes<br>0,02 s pour détonation<br>0,1 s pour déflagration                                                                                                                                                                                                                  | Très longue<br>Plusieurs heures                                                                                | Très Courtes<br>(1 impulsion = ~120 ms)                                                                                                                                    |
| Risques potentiels pour Individus et environnement | -Effondrement rapide<br>-Instabilité globale ou locale de la structure ou de ses éléments<br>-éclatement des murs de remplissages et des cloisons<br>-chute des éléments non structuraux et des équipements<br>-basculement des constructions sur sols liquéfiables | Effondrement rapide de la structure par déformations excessives<br>fluage,flambement,cisaillement,compression..<br>Dues aux sur-contraintes mécaniques puis thermiques<br>-projections des éléments structuraux et non structuraux<br>-impact (souffle) sur l'environnement proche | -Instabilité globale ou locale de la structure ou de ses éléments<br>-projections des éléments non structuraux | Effondrement progressif de la structure par effet Domino (rupture d'un ou plusieurs porteurs= surcharges localisées sur autres éléments)<br><br>Descente de charge brutale |

# CREDITS

## *Crédits images, photos et illustrations*

- Sécurité civile (images AZF)
- SDIS 69
- INERIS
- ParisTech - école des ponts
- Université de Liège- Clara Huvelle
- TECHNIP- Jean-Pierre Languy
- SDIS 11- Adc Benoit Sanchez
- Presse Le progrès .fr
- Presse L'express.fr / MaxPPP/EPA
- Les techniques de l'Ingénieur, traité de construction
- Météo Paris.com