

Analyse et gestion de risque

Risk Analysis and Management

Semaine 2: Principes de l'analyse de risque

Point sur le programme

No	Date	Descriptif	Ens.
1	06.11	Introduction et Notions de base Objectifs, organisation générale et évaluation du cours. Introduction au sujet des risques, échanges avec étudiants. Notion de gestion intégrée des risques. Le rôle des ingénieurs face au risque. Les types de risques. Courte histoire de la gestion des risques en ingénierie. Nature aléatoire des phénomènes & sources d'incertitudes	RD
		Distributions et rappels de statistique. Approches déterministes et probabilistes. Méthodes de Monte Carlo	
2	13.11	Principes de l'analyse de risque Phases de l'analyse et évaluation des risques. Événements et scénarios. Barrières de sécurité. Nécessité de l'analyse de risque (systèmes complexes, systèmes simples). Rôle de l'environnement. Analyse fonctionnelle. Organisation pratique de l'analyse de risque. Quels types de risques faut-il gérer ? Établissement de grilles de cotation. Cotation en fréquence / en gravité. Biais liés aux seuils. Limites et difficultés de l'analyse de risque <i>Intervention de J.Messerli et E.Garin – Gestion des incertitudes dans le Génie Civil</i>	RD
3	20.11	Méthodes d'analyse de risque (partie I) Les familles de méthodes (déductives / inductives, qualitatives / quantitatives). L'Analyse Préliminaire des Risques (APR). Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets et Criticité (AMDEC). HAZard and OPerability study (HAZOP)	RD
4	27.11	Méthodes d'analyse de risque (partie II) et estimation des conséquences Arbres des causes (Arbre des défaillances). Arbres des événements. Le nœud papillon Évaluations des conséquences. Types de pertes. Effets sur : Milieux physiques et infrastructures, Écosystèmes, Santé et société, Économie. Vulnérabilité.	RD
5	04.12	Quantification et représentation des risques Représentation de l'aléa. Cartes de risque et de danger Risque individuel / collectif. Fatal Accident Rate (FAR). Statistiques des catastrophes et accidents <i>Intervention K.Essyad – Gestion des risques naturels</i>	RD

Gestion Intégrale des Risques

Analyse de Risques et Quantification

1

- **Analyses de risques**
 - Identification des dangers
- **Quantification des risques**
 - Fréquences & conséquences

Cours n°2 à n°5

Gestion de crise

- **Organisation opérationnelle**
- **Ressources**
(moyens humains et matériels)

4

Perception et évaluation des Risques

2

- **Perception**
 - Culture et environnement
 - Subjectivité
- **Évaluation**
 - Critères d'acceptabilité
 - Comparaison entre Risques et Critères d'acceptabilité

Réduction des Risques

- **Prévention**
 - Maîtrise de l'urbanisation
 - Systèmes de surveillance
 - Systèmes d'information
 - Plan d'intervention
- **Protection**
 - Dispositions constructives (normes)
 - Mesures physiques de protection
 - Services de secours publics

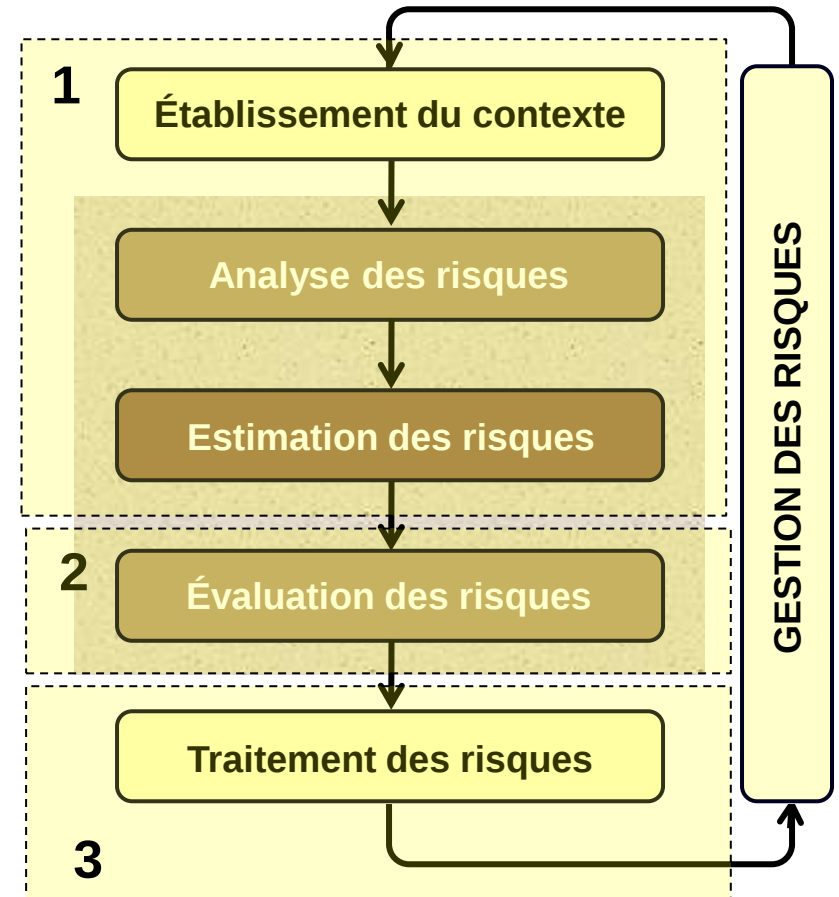
3

Contenu du cours – Semaine 2

- Phases de l'analyse et évaluation des risques
- Événements et scénarios
- Barrières de sécurité
- Nécessité ou non de l'analyse de risque
- Analyse fonctionnelle
- **Exercice découpage fonctionnel**
- Rôle de l'environnement
- Organisation pratique de l'analyse de risque
- Exemples d'accidents industriels majeurs
- Établissement de grilles de cotation
- Cotation en fréquence / en gravité
- **Exercice cotation**
- Notion de "Seuils d'effet"
- **Exercice tunnels routiers**
- Limites et difficultés de l'analyse de risque
- Le rôle du management & organisationnel dans l'analyse de risques

Processus d'amélioration de la sécurité

- L'analyse de risques permet d'identifier les situations de risques / scénarios et d'estimer leur fréquence et classes de conséquences
- L'estimation des risques (ou quantification des risques) permet de quantifier précisément les risques (fréquences et gravités)
- L'évaluation des risques met en vis-à-vis l'estimation des risques avec des critères d'acceptabilité
- Le traitement des risques permet de diminuer le niveau de risques



Processus d'amélioration de la sécurité (détaillé) :

1- L'analyse des risques

2- L'estimation des risques

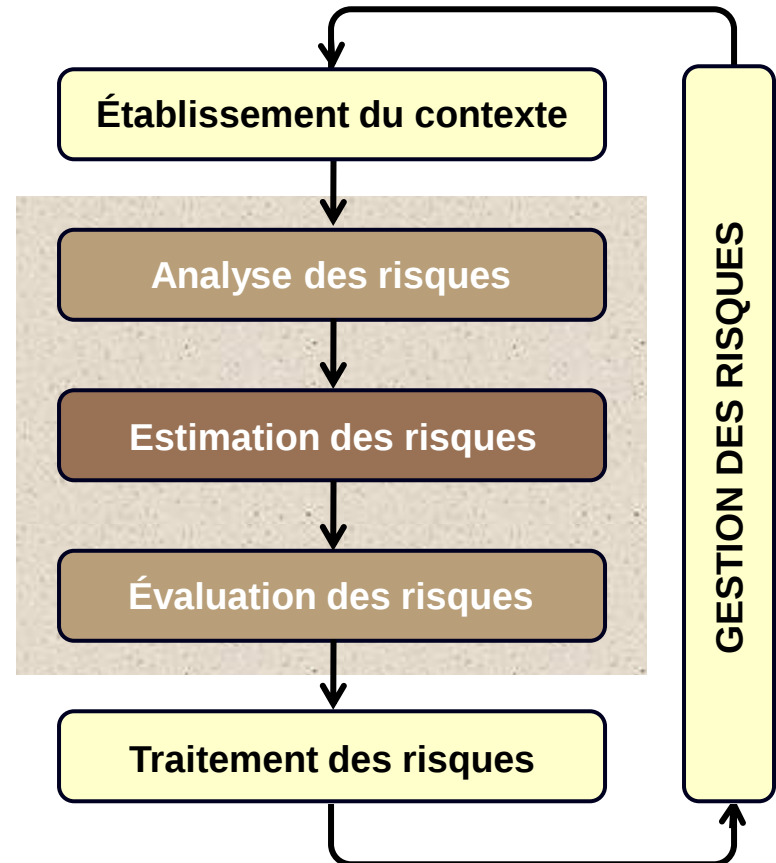
- Calculs de Fréquences via l'analyse des risques
- Calculs de Gravité via l'estimation de leur impact sur les cibles (conséquences)

3- L'évaluation des risques

Acceptabilité = résultat d'un "compromis" entre niveau de risques et contraintes/investissements pour y parvenir

4- Le traitement des risques passe par la recherche de barrières de prévention et de protection (si nécessaire)

Une fois ces étapes réalisées, on peut recommencer le processus pour vérifier que le risque est devenu acceptable

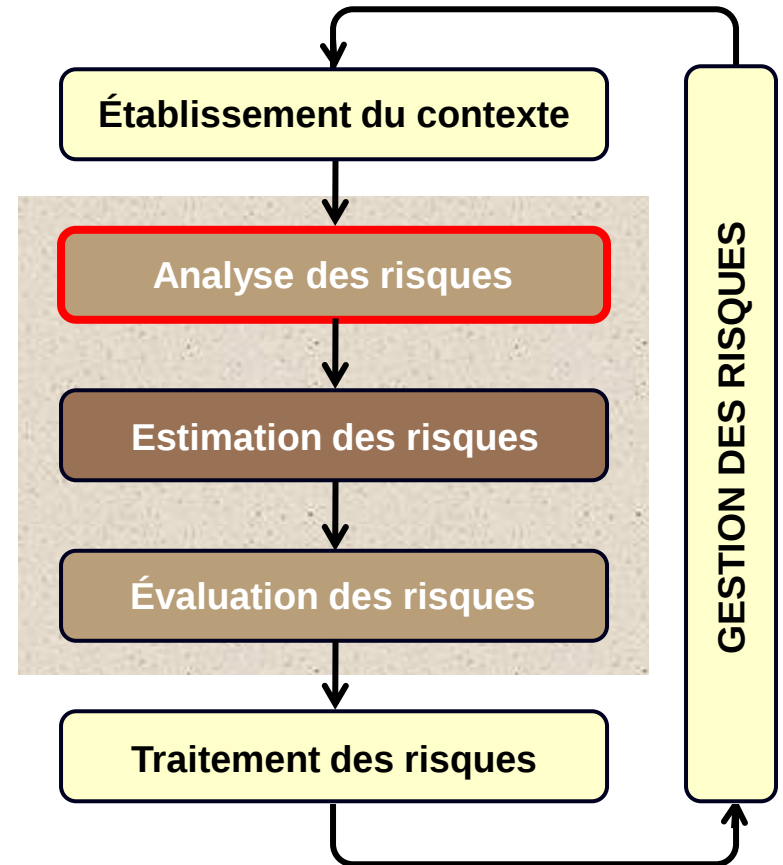


Méthodes d'analyse de risques plus ou moins sophistiquée :

1- **Identification des scénarios** = enchaînement d'événements pouvant conduire à des situations de danger / ENS (Événement Non Souhaité)

Méthodes les plus sophistiquées :

2- **Représentation des enchaînements d'événements** conduisant à l'ENS (arbres logiques). Ce travail permet aussi de calculer les fréquences des ENS et scénarios accidentels

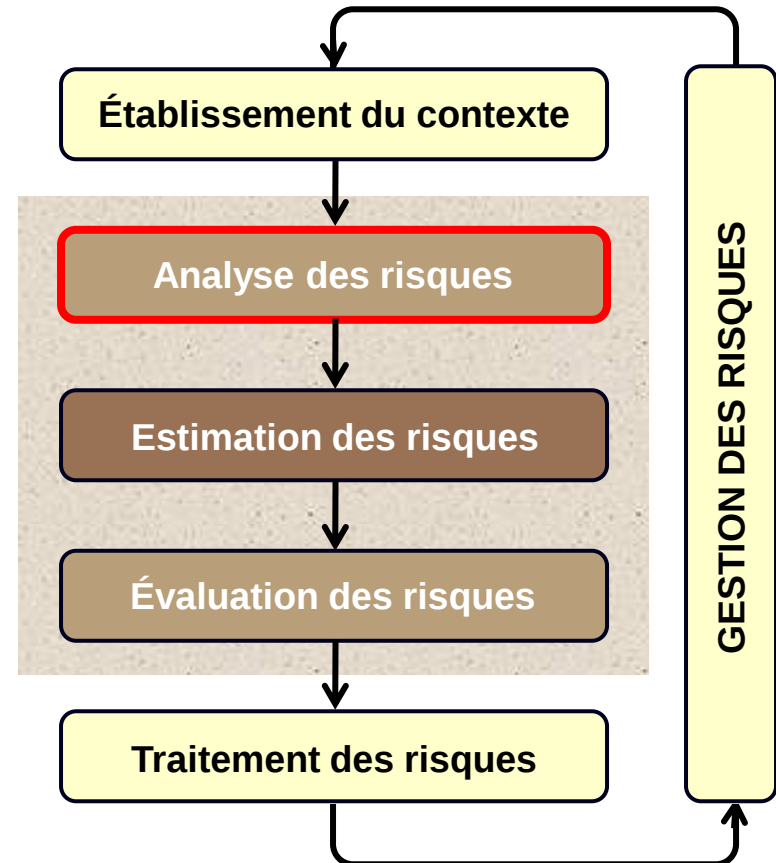


L'analyse de risques est un processus **plus ou moins sophistiqué et complexe** selon les objets étudiés.

Le choix de la méthode repose sur des paramètres tels que :

- **Nature** du système étudié
- **Complexité** du système
- **Retour d'expérience & statistiques** disponibles sur la fiabilité des composants
- **Moyens** à disposition (temps, budget, etc.)
- **Objectifs** attendus

Il n'y a pas de **bons ou mauvais outils**.
L'objectif est de suivre une approche appropriée (pour essayer de tendre vers l'exhaustivité)



Quelques définitions complémentaires

Evénements / Taux d'événement

Evénement Redouté (ER) / Evénement Non Souhaité (ENS) :

L'événement redouté résulte de la [combinaison de dérives](#) de paramètres de fonctionnement ou de [défaillances](#) d'éléments (équipements ou actions humaines), appelés **Evénements Indésirables (EI)**

Taux d'événement :

Nombre d'événements par unité de temps et par objet

Exemple : taux d'incendie de voiture = $3 \cdot 10^{-8}$ / véh.km

→ 3 incendies pour 100 millions de véhicules parcourant 1 km



Scénarios

Scénario d'accident :

Dans une démarche d'analyse de risques, un scénario d'accident peut être défini comme **l'enchaînement d'événements indésirables (EI)**, aboutissant à un Événement Redouté (ER), caractérisé par des conséquences propres



Barrières (de sécurité)

Barrière organisationnelle de sécurité / de défense :

Est constituée d'une **activité humaine** qui s'oppose à l'enchaînement d'évènements susceptible d'aboutir à un accident

Barrière technique de sécurité / de défense :

Est constituée d'un **dispositif de sécurité** (physique) qui s'oppose à l'enchaînement des Evènements Indésirables (EI) susceptibles d'aboutir à un ENS (ou qui réduit ses conséquences)

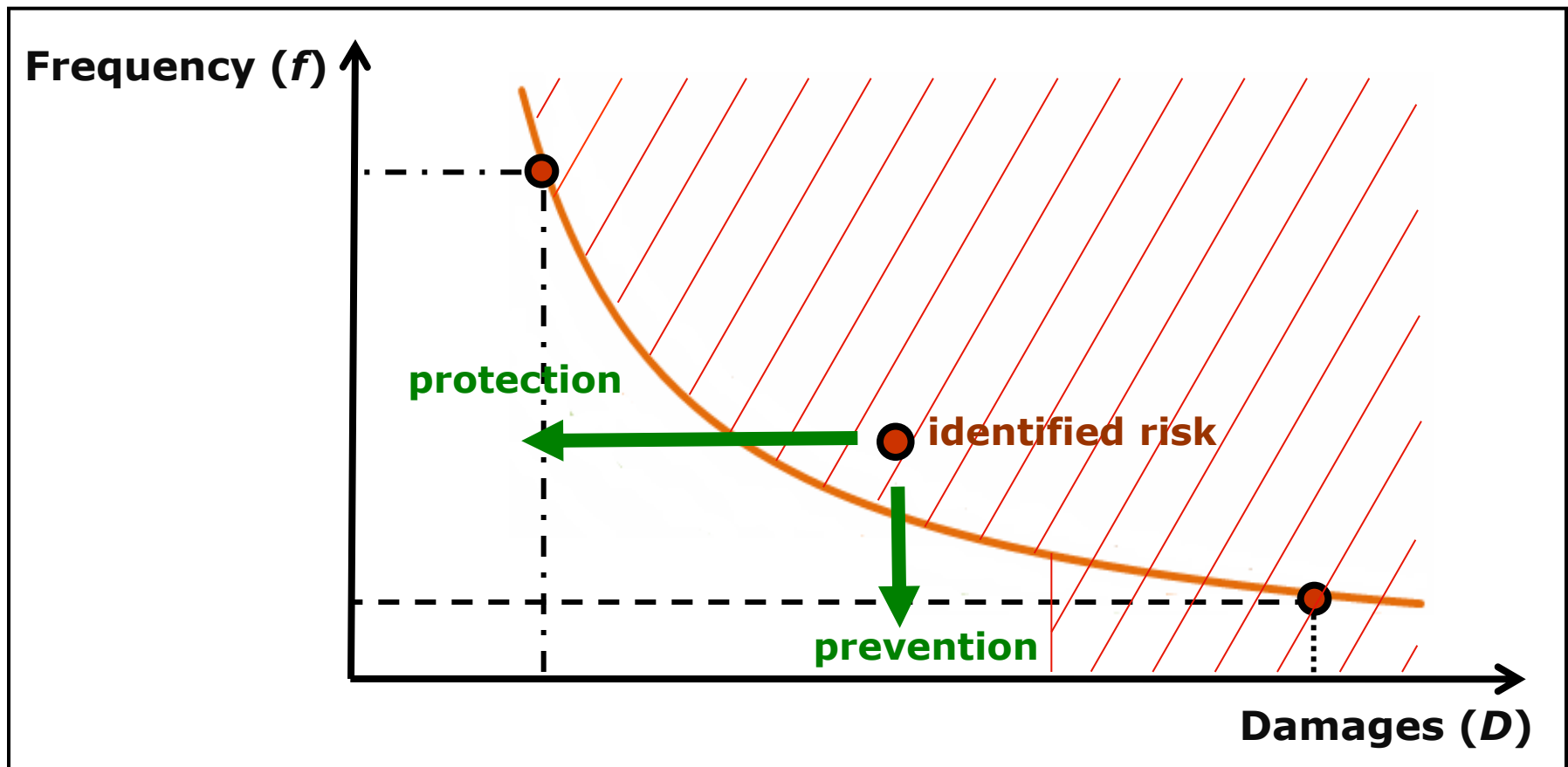
Barrière de sécurité / de défense :

Terme regroupant à la fois les barrières techniques de sécurité et les barrières organisationnelles de sécurité

- Une barrière de **prévention** permet de **limiter** l'occurrence de l'événement redouté
- Une barrière de **protection** permet de diminuer les **conséquences** de l'événement redouté



Illustration de l'effet des barrières de sécurité



Nécessité de l'analyse de risque

L'analyse de risque est-elle systématiquement nécessaire ?

→ Selon les domaines d'activités / systèmes étudiés

→ analyse de risques formelle **non pertinente / utile**

- Systèmes **complexes**
- Systèmes **uniques**
- Données statistiques sur la **fiabilité** des composants

→ Analyse de risque **indispensable**



- Systèmes **simples / linéaires**
- **Retour d'expérience** sur les accidents suffisant pour établir des statistiques / taux

→ Analyse de risque **non indispensable / générique**



- Systèmes complexes
- Systèmes uniques
- Données statistiques sur la fiabilité des composants
- Systèmes simples / linéaires
- Retour d'expérience sur les accidents suffisant pour établir des statistiques / taux



- L'analyse des risques permet d'identifier les risques spécifiques au système
- Elle permet de décrire les scénarios et ainsi de déterminer des fréquences propres au système
- Elle tient compte des barrières de sécurité propres au système
- Les scénarios sont "génériques"
- Les fréquences d'accidents sont déterminées sur la base de statistiques à grande échelle (taux, facteurs correcteurs...)
- Le travail d'estimation des risques porte essentiellement sur la détermination des gravités propres au lieu étudié, liées à la vulnérabilité locale & environnement

Exemples de familles types de résultats (selon les attentes) :

Management

(actions, recommandations, procédures, formation)

Connaissance du risque

(erreurs, effet domino, panne, activités critiques, initiateurs d'accidents, lieu vulnérable, scénarios d'accidents majeurs)

Probabilités

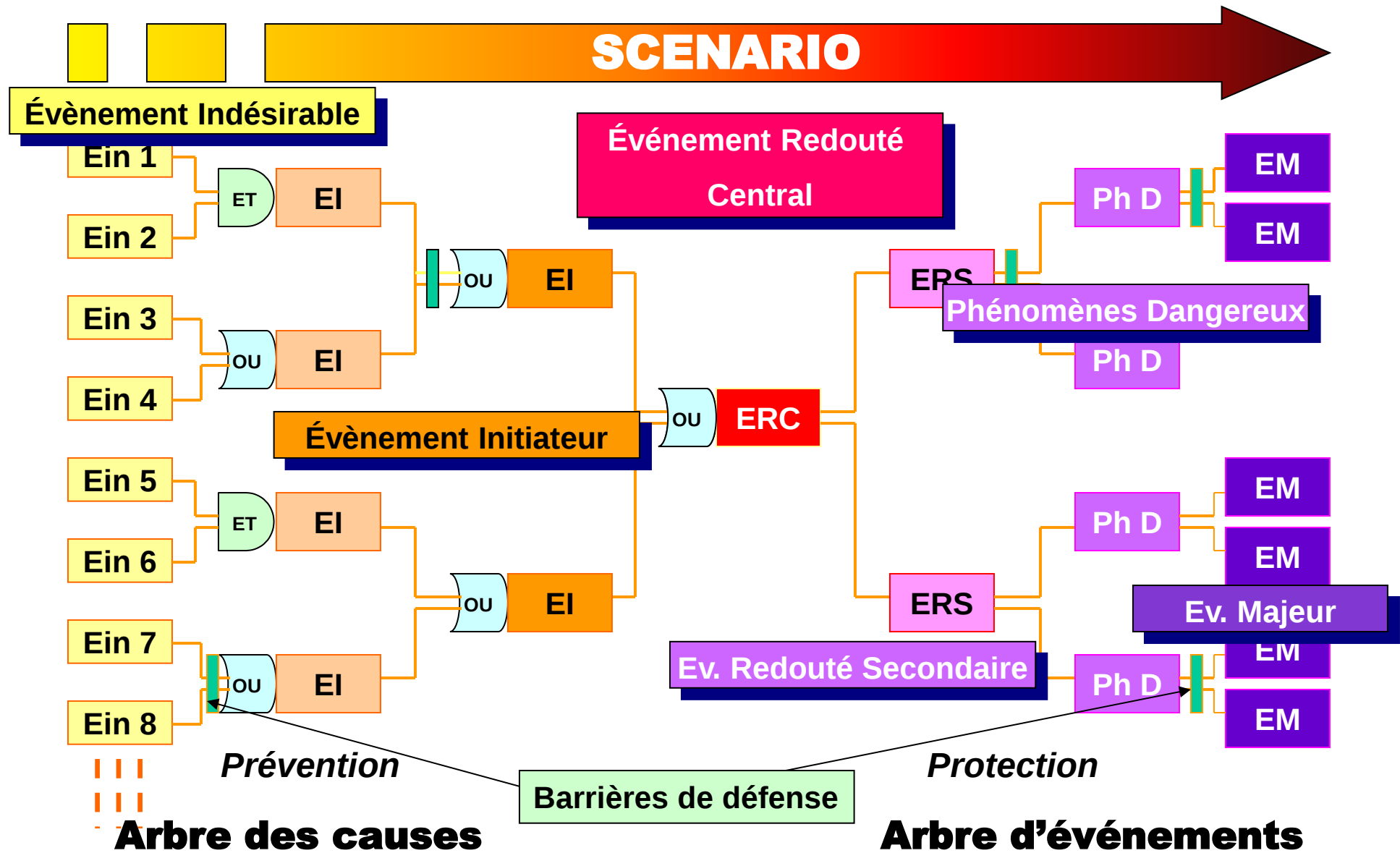
(taux de panne, fiabilité, probabilité d'occurrence d'un accident, probabilité de dommages, fréquence d'accident)

Mesures de réduction des risques

(barrières de prévention et de protection)

Vue complète de gestion du risque → "Nœud papillon"
(illustration sur slide suivante)





Quelles sont les étapes de l'analyse de risques ? Comment réaliser pratiquement une analyse de risques ?

1. Une analyse de risques nécessite d'établir un **vrai dialogue** entre les concepteurs / exploitants, et les ingénieurs en analyse de risques

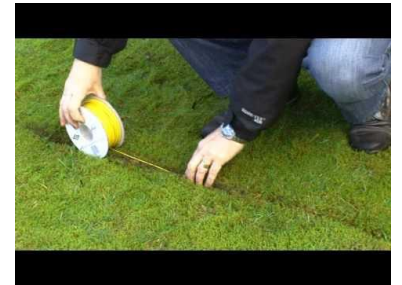
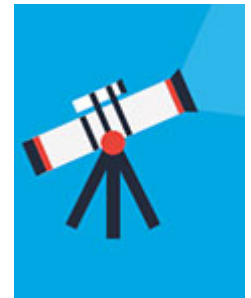
→ **Groupe de travail & organisation du travail**
(échanges d'information, réunions, responsabilités, etc.)



Quelles sont les étapes de l'analyse de risques ? Comment réaliser pratiquement une analyse de risques ?

2. Définition du **système** à étudier et des **objectifs** à atteindre

- **Horizon d'étude**
(aujourd'hui ? Dans 2 ans ? Dans 10 ans ?)
- **Limites du périmètre** des installations ?
Selon responsabilités des donneurs d'ordre
- Que cherche-t-on ?
 - Répondre à une **obligation réglementaire** ?
 - **Sécuriser** des installations (démarche volontaire)
 - **Fiabiliser** des installations ?

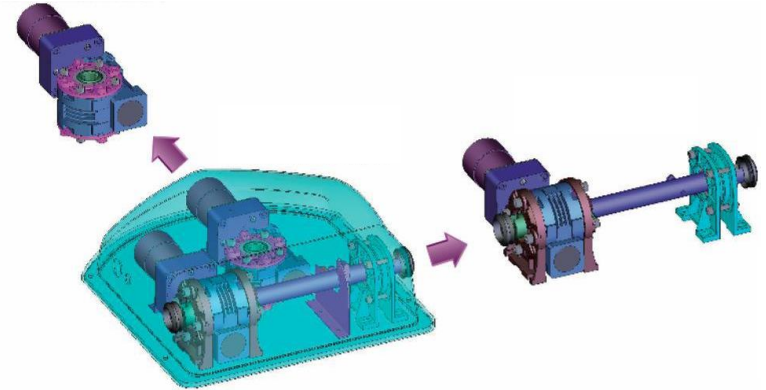


Quelles sont les étapes de l'analyse de risques ? Comment réaliser pratiquement une analyse de risques ?

3. Découpage en sous-systèmes :

- Découpage géographique
- Découpage fonctionnel
- Découpage selon l'organisation du personnel / maintenance

...



Le découpage en sous-systèmes doit être réalisé jusqu'à un niveau de granularité adapté, correspondant à des équipements élémentaires

Il doit être :

- Suffisamment **détaillé** pour tenir compte des spécificités des équipements
- Sans être **excessif** si la conséquence fonctionnelle est toujours la même (sinon l'exercice est fastidieux)

Quelles sont les étapes de l'analyse de risques ? Comment réaliser pratiquement une analyse de risques ?

4. Recueil des informations

- Descriptions techniques, plans, schémas, tableaux...
- Documents & analyse sur **l'environnement** du système
- **Analyses fonctionnelles**, process, conditions de fonctionnement
- Le cas échéant : **dangers des produits** et **incompatibilités** produits/matériaux
- **Retour d'expérience** (ce système, systèmes similaires) :
 - Liste des événements répertoriés
 - Mémoire du personnel
 - Bibliographie, bases de données d'événements / d'accidents
- **Procédures d'exploitation** et **consignes de sécurité**
- **Politique** de gestion de la sécurité / des risques de l'Exploitant

Quelles sont les étapes de l'analyse de risques ?

Comment réaliser pratiquement une analyse de risques ?

5. Choix de la méthode, grilles de cotation, organisation générale

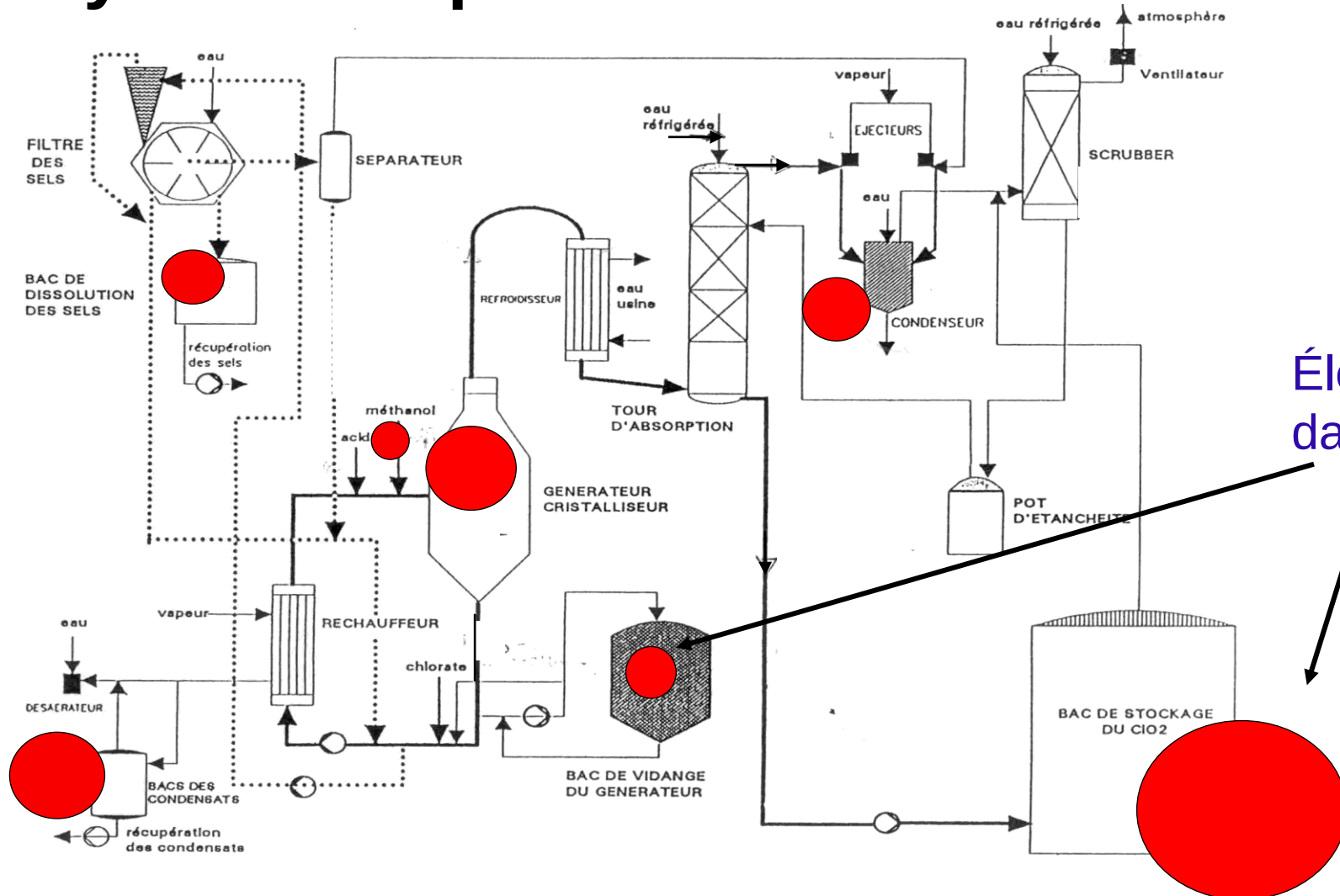
→ Slide 65 et suivantes

Quelles sont les étapes de l'analyse de risques ? Comment réaliser pratiquement une analyse de risques ?

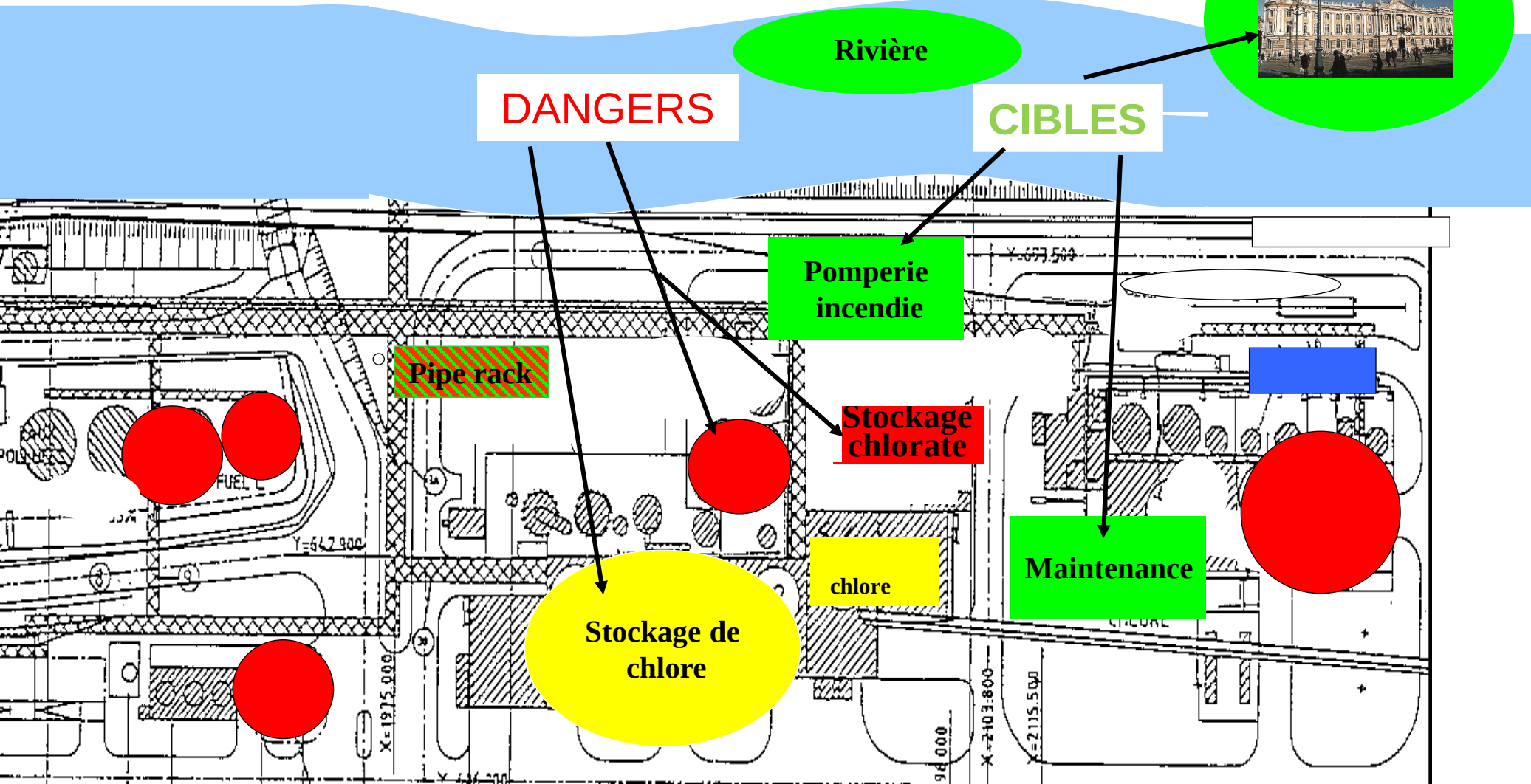
Synthèse :

1. **Groupe** de travail
2. Définition du **système** à étudier et des **objectifs** à atteindre
3. Découpage en **sous-systèmes**
4. Recueil des informations
5. Choix de la méthode, grilles de cotation, organisation générale

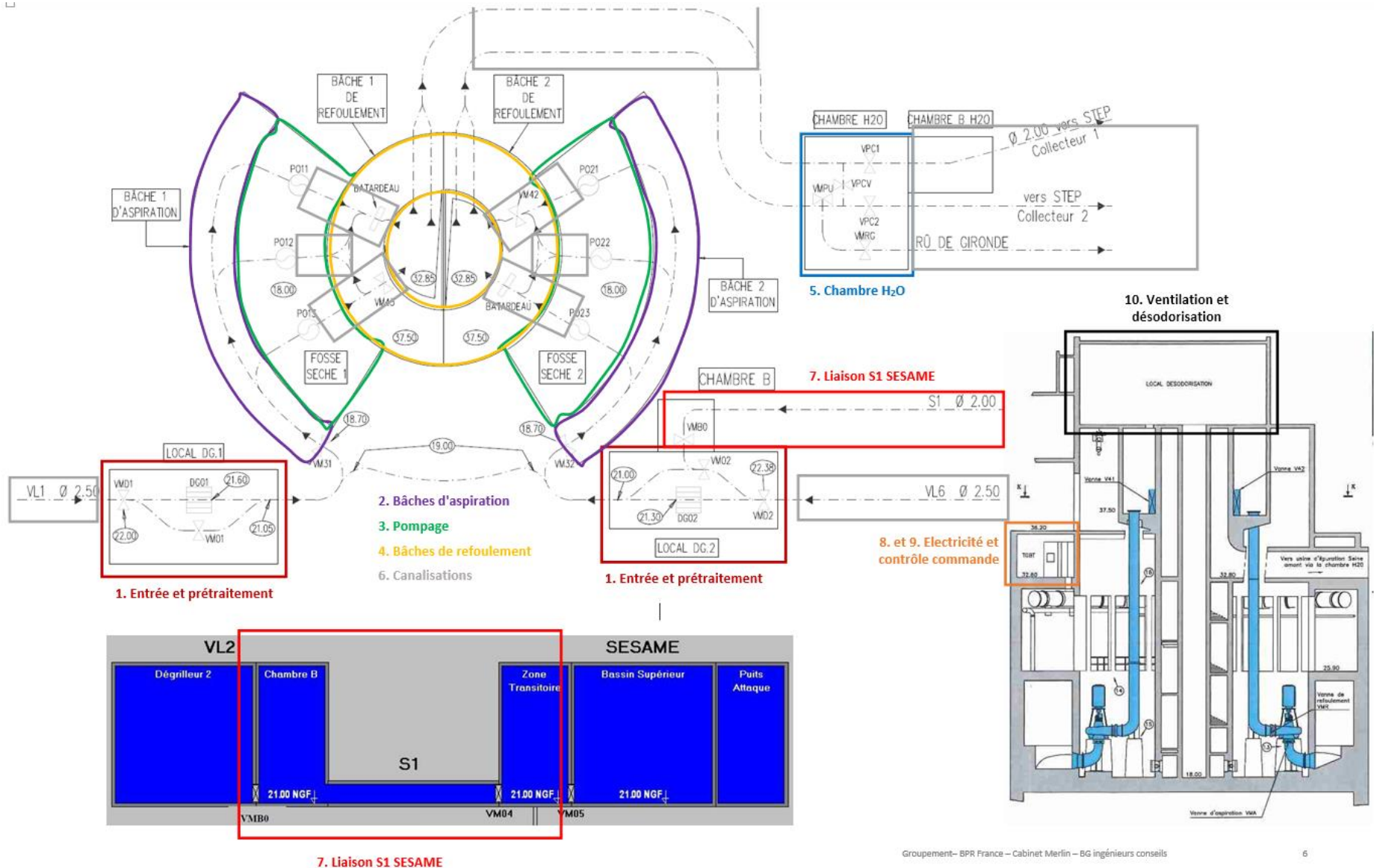
Exemple d'analyse préliminaire avant l'analyse de risques



Identification des dangers / cibles



Découpage fonctionnel



Qu'est ce qu'une description / analyse fonctionnelle ?

Fonctions du système

- A quoi sert... ?
- Fonctions → défaillances possibles

Structure du système

- Différents éléments qui le composent :
 - Fonctions et performances
 - Connexions et interactions

Conditions de fonctionnement / d'exploitation

- Caractériser les gammes de fonctionnement des composants
- Surveillance et maintenance de ces composants

Exercice 2.1

Découpage en sous-systèmes et premières analyses

Rôle de l'environnement dans l'analyse de risques

Environnement = extérieur au système

- L'environnement peut être **source d'agression externe**
- L'environnement est potentiellement **vulnérable** aux dangers représentés par le système

Exemples de sources d'agression externes :

- Autres installations (industrielles)
- Infrastructure de transport (ex. sortie de route véhicule)
- Malveillance / attentat
- Événements météo (vent, foudre, grêle...)
- Mouvements de terrain / séismes
- Inondations
- Autres / catastrophes (rupture de barrage, météorite...)
- ...



Quel est le rôle de l'environnement dans l'analyse de risques ?

Exemples d'éléments vulnérables :

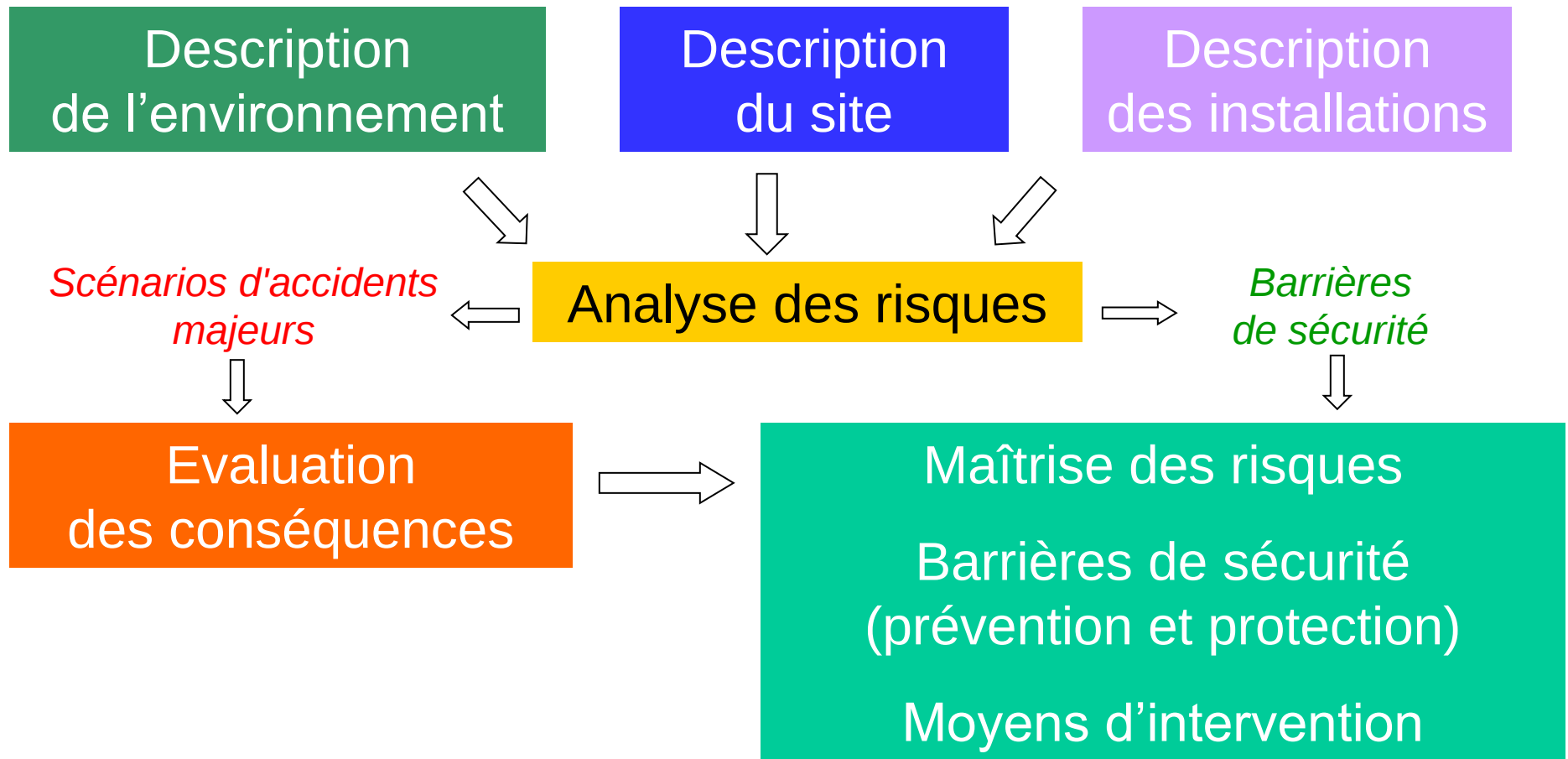
- Les personnes (habitants, travailleurs, etc.)
- L'environnement naturel (cours d'eau, végétation, animaux...)
- Biens et structures (ouvrages d'art)
- Installations & équipements
- ...



Analyse des incidents / accidents passés

- **Permet d'identifier les événements susceptibles de se produire :**
 - Sur le site étudié
 - Sur des systèmes comparables
- **Met en lumière les causes les plus fréquentes**
- **Enseignement sur les performances des barrières de sécurité**
- **Parfois, elle fournit des données quantifiées (probabilités / fréquences)**





Risques liés aux produits

*Inflammabilité
Toxicité
Incompatibilité*

Risques liés à l'exploitation des installations

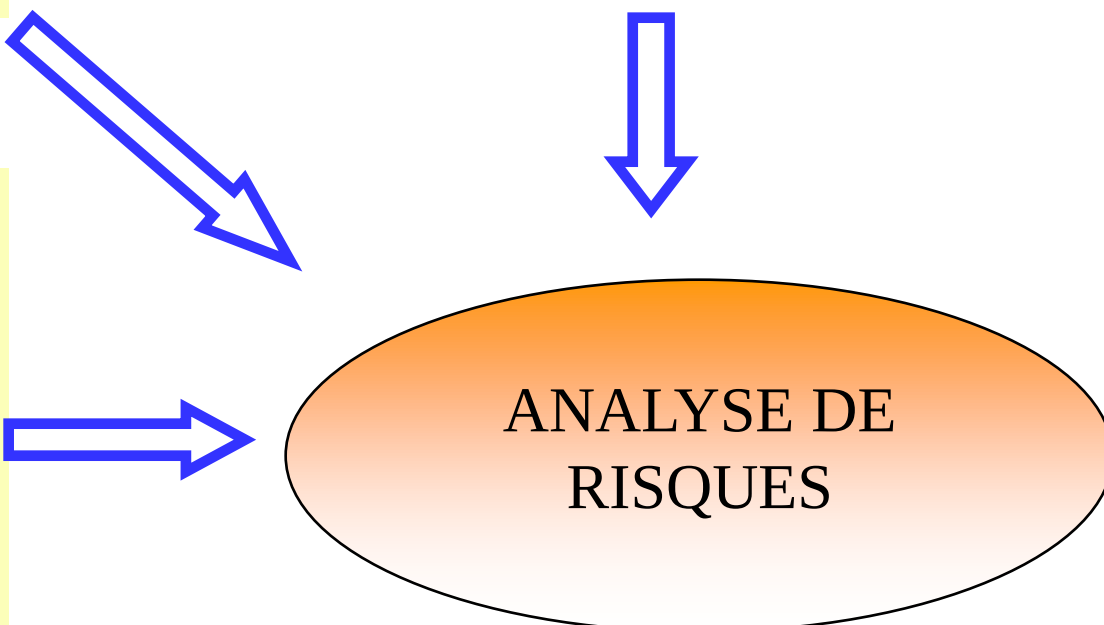
*Retour d'expérience
Outils d'analyse de risques
(HAZOP, AMDEC...)*

Risques liés à l'environnement

*Origine naturelle
(séisme, inondations,
intempéries, foudre)*

*Origine non naturelle
(voies de communication,
sites industriels,
malveillance)*

ANALYSE DE
RISQUES



Comment réaliser pratiquement une analyse de risques ?

- Constitution d'un **groupe de travail pluridisciplinaire**
- Mixité des participants :
 - **Animateur** :
 - Garant de la méthode
 - Indépendant & neutre
 - **Responsable d'exploitation** :
 - Peut prendre des engagements (investissements)
 - Peut s'approprier les résultats de l'AR
 - **Responsable sécurité** :
 - Vision globale de la sécurité d'exploitation
 - Responsable de la politique de management des risques
 - **Agent de maintenance / Spécialiste process** :
 - Connaissance du terrain et des défaillances
 - Rôle "éducatif" de l'AR
 - **Expert** :
 - Compétence technique & expérience (autres systèmes)



Comment réaliser pratiquement une analyse de risques ?

- Utilité des "externes" : plus on est investi dans un projet, moins on est réceptif aux "avertissements qui dérangent" et moins on reconnaît les faiblesses d'un système
- Nécessité de remise en question, écoute...
- Nécessité de valoriser les rôles de chacun et les efforts entrepris
- Nécessité d'équilibrer les rôles (attention aux positions hiérarchiques)
- Plus-value de l'expert avec une vue transversale (ex. : connaissance d'incidents chez d'autres exploitants...)
- Séances de travail collectives, brainstorming



"Histoire" de quelques accidents industriels :

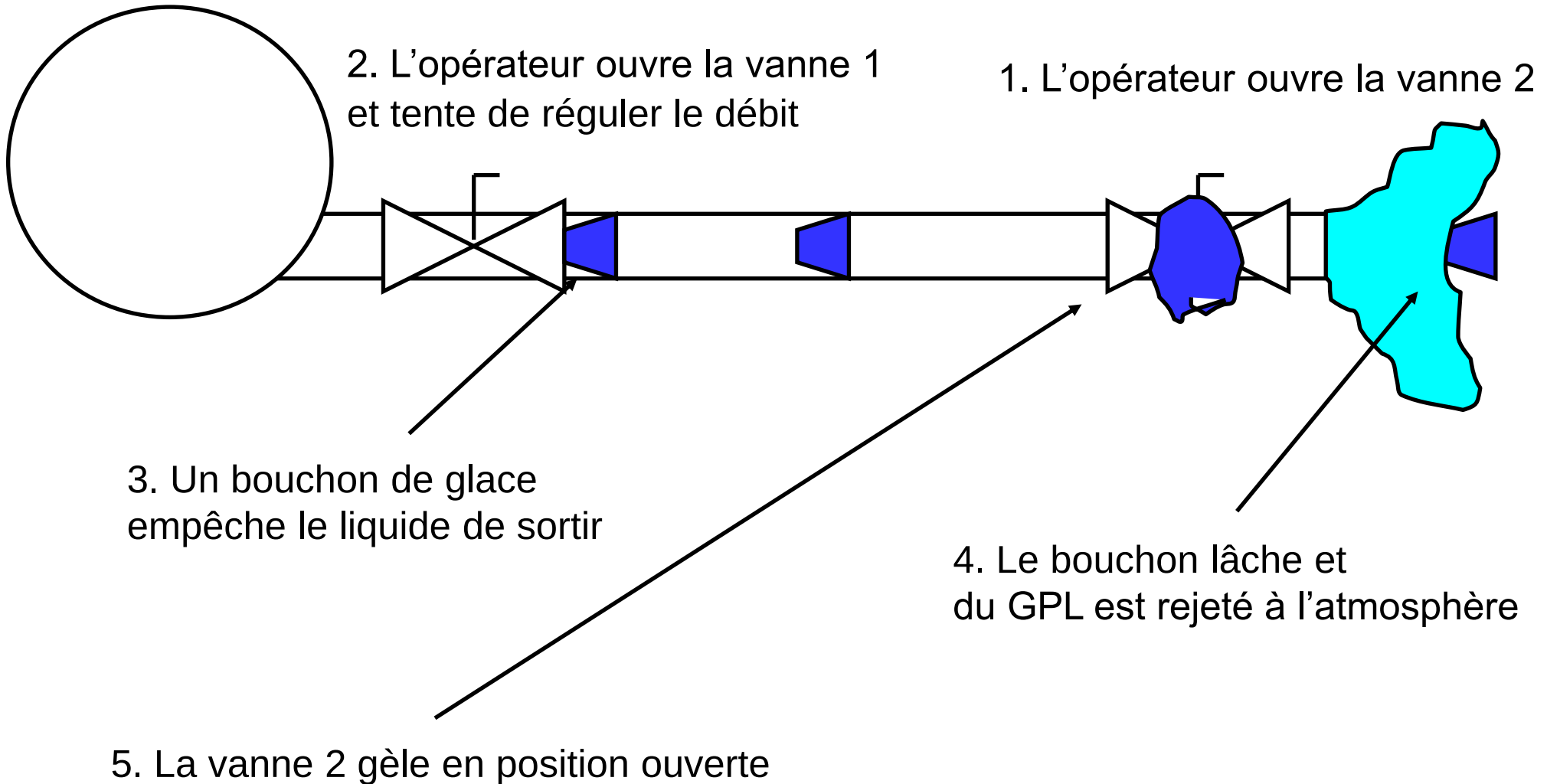
- FEYZIN, France, 1966
- FLIXBOROUGH, UK, 1974
- MEXICO CITY, Mexique, 1984
- BHOPAL, Inde, 1984



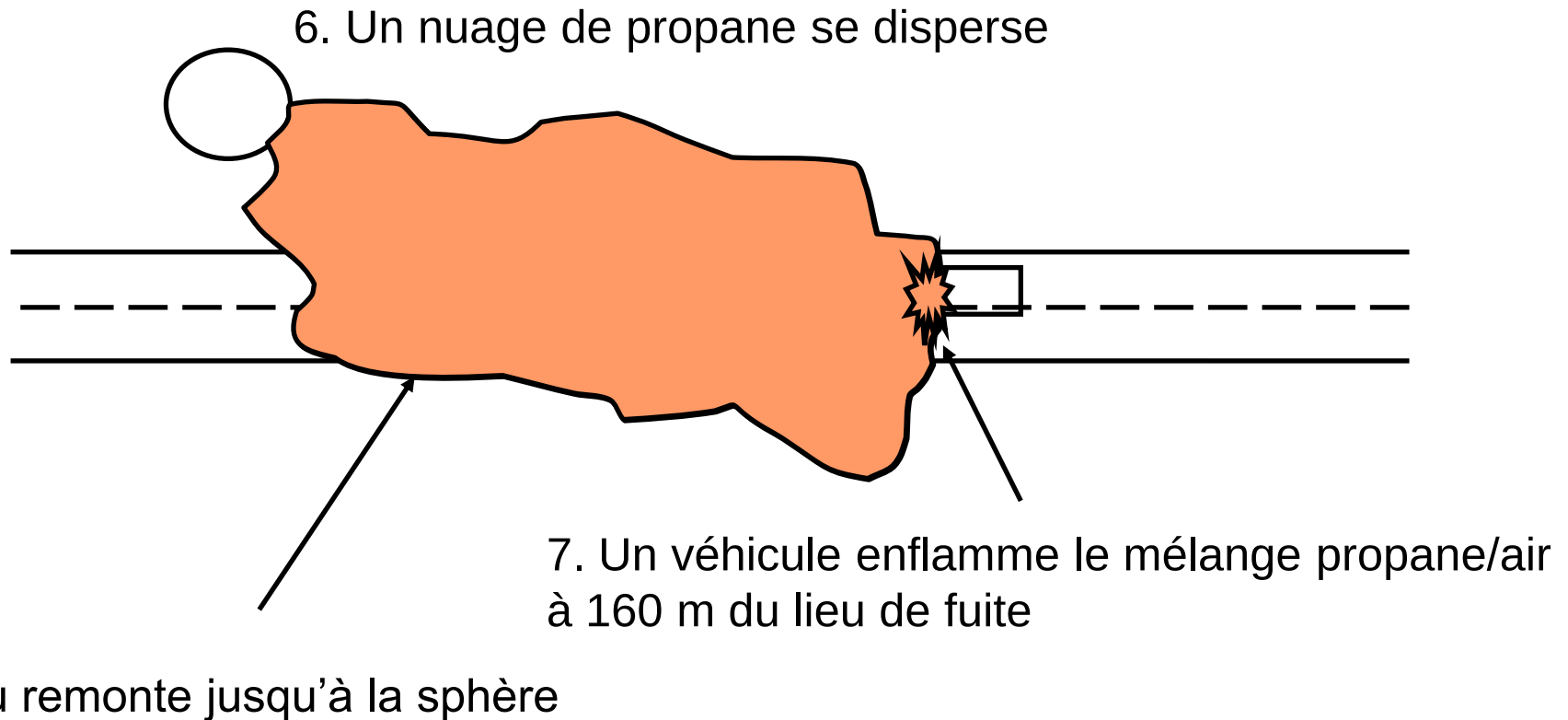
L'accident de FEYZIN (France)

- ✓ Raffinerie avec notamment :
 - 4 sphères de propane de 1.200 m³
 - 4 sphères de butane de 2.000 m³
 - deux cylindres horizontaux (butane et propane)
- ✓ Les stockages de GPL sont situés à 450 m de la raffinerie et 300 m des premières habitations
- ✓ Date de l'accident : 4 janvier 1966

L'accident de FEYZIN (France)



L'accident de FEYZIN (France)



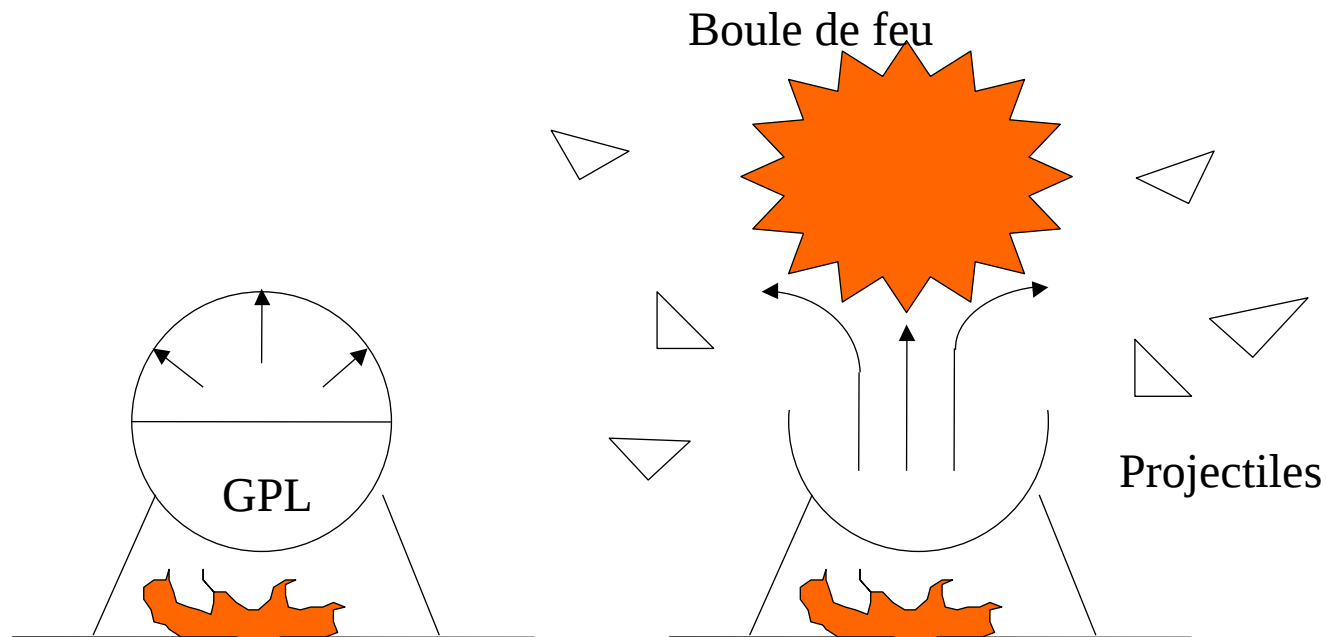
L'accident de FEYZIN (France)

- ✓ La sphère à l'origine de la fuite est prise dans les flammes
- ✓ Alors que les pompiers tentent de refroidir les réservoirs voisins, la sphère explose (BLEVE)
- ✓ Quelques instants plus tard, une seconde sphère explose provoquant la rupture des canalisations d'une troisième sphère qui se vidange
- ✓ Trois autres réservoirs s'ouvrent sans exploser

L'accident de FEYZIN (France)

Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion ou Ébullition à caractère explosif d'un liquide surchauffé

Un BLEVE correspond à la ruine complète d'un réservoir pressurisé

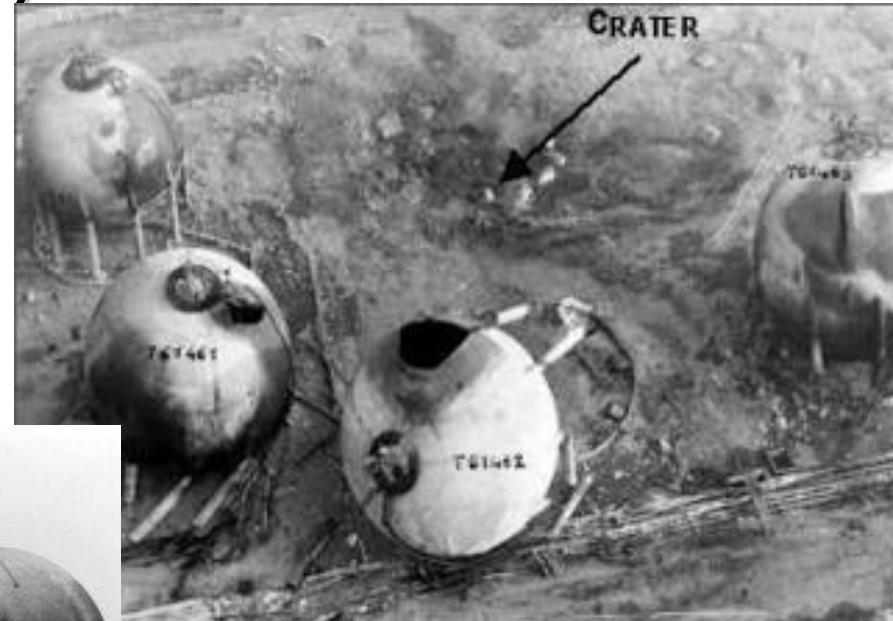


L'accident de FEYZIN (France)

BLEVE



L'accident de FEYZIN (France)



L'accident de FEYZIN (France)

- ✓ 18 morts et 84 blessés essentiellement lors du premier BLEVE
- ✓ Au total, 11 réservoirs sont détruits
- ✓ Des projectiles sont retrouvés à plus de 800 m de leur lieu d'émission

L'accident de FLIXBOROUGH (UK)

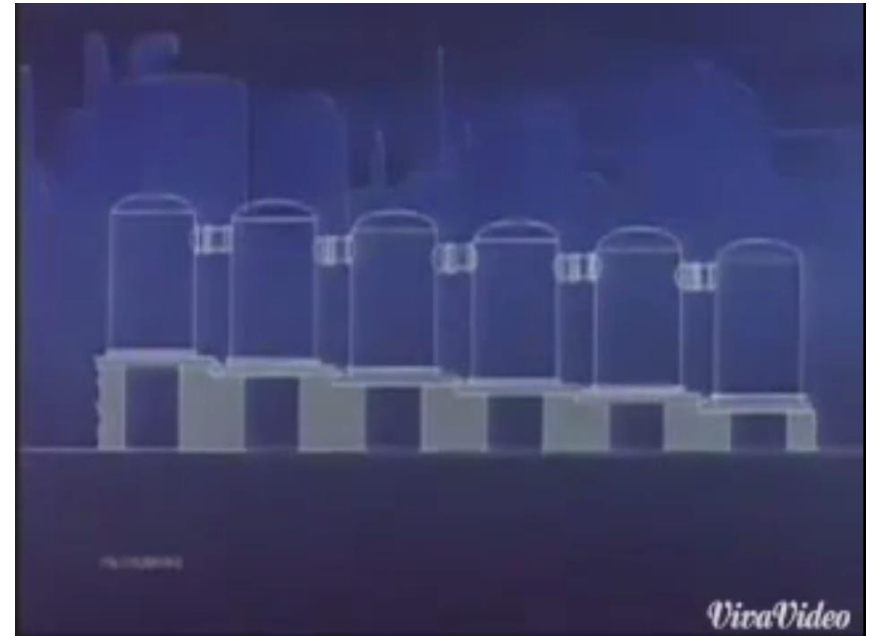
- ✓ Société NYPRO spécialisée dans la synthèse du caprolactam, un composant pour la fabrication du Nylon
- ✓ NYPRO ne possède que ce site. Elle est donc de taille relativement limitée avec un process particulièrement dangereux
- ✓ NYPRO connaît des problèmes économiques et a le souci aiguë de la productivité



L'accident de FLIXBOROUGH (UK)

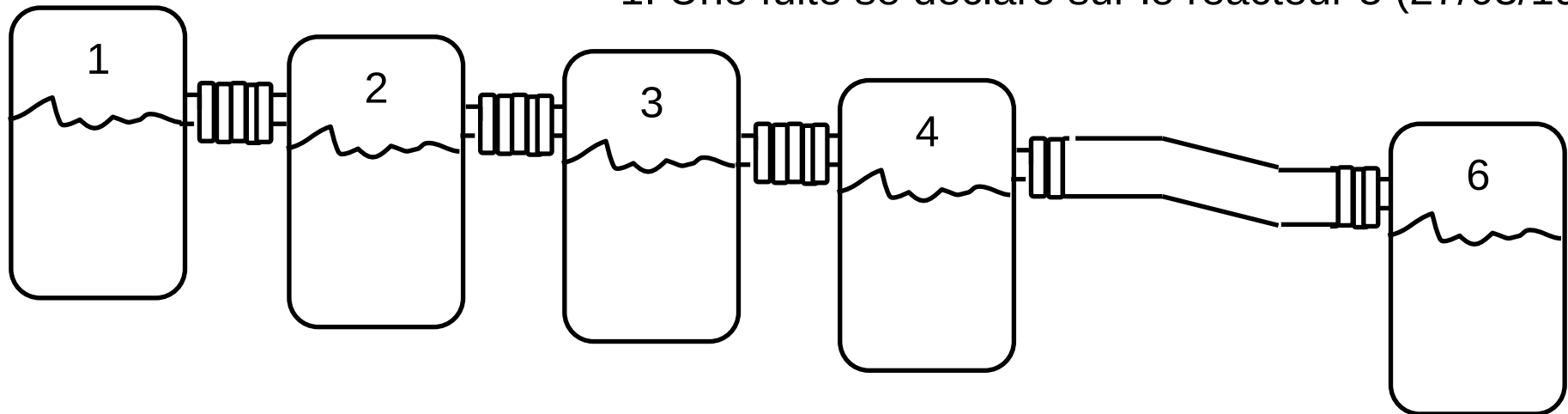
- ☑ Le 01/06/1974, le coude se détache, libérant de larges quantités de cyclohexane
- ☑ Une explosion s'en suit, causant de larges dégâts et tuant 28 personnes dont 18 dans la salle de contrôle

L'accident de FLIXBOROUGH (UK)



L'accident de FLIXBOROUGH (UK)

1. Une fuite se déclare sur le réacteur 5 (27/03/1974)



2. Décision de by-passer le n°5 et de relier le 4 et 6 par un coude

Aucun calcul concernant la résistance de la canalisation n'a été réalisé

Aucune épreuve du système n'est effectuée

L'accident de Mexico City

- ✓ Le terminal PEMEX est utilisé pour le stockage et la distribution de GPL
- ✓ Le GPL est acheminé par pipelines depuis 3 raffineries
- ✓ A proximité du site se trouvent de nombreuses habitations



L'accident de Mexico City

- ✓ Le 19/11/1984, l'installation est en cours de remplissage, une canalisation se rompt, libérant le gaz inflammable
- ✓ Le nuage s'enflamme sur une torchère. Cette inflammation provoque la destruction de plusieurs maisons
- ✓ A 5h45 (15 min après la rupture de canalisation), un premier BLEVE survient, suivi, 1 minute plus tard, du BLEVE de deux sphères donnant lieu à une boule de feu de 300 m de diamètre
- ✓ Alerte donnée à la population 15 min plus tard, trafic interrompu
- ✓ Des BLEVEs en série se succèdent (près de 15 explosions en 1 h ½)

PEMEX 2012



L'accident de Mexico City

- ✓ Dans un rayon de 300 m, toutes les personnes ont été tuées ou blessées (effets thermiques)
- ✓ Plus de 500 morts, 7000 blessés, 39'000 personnes évacuées et 6000 personnes impliquées dans les services de secours
- ✓ Seuls 4 réservoirs sur les 48 présents sont restés intacts
- ✓ Des fragments ont été retrouvés sur des distances de plusieurs centaines de mètres. Le plus lointain a été projeté à 1'200 m de son lieu d'émission

**LE BILAN EST TRES LOURD DU FAIT DE
LA PROXIMITE DES ZONES HABITEES**

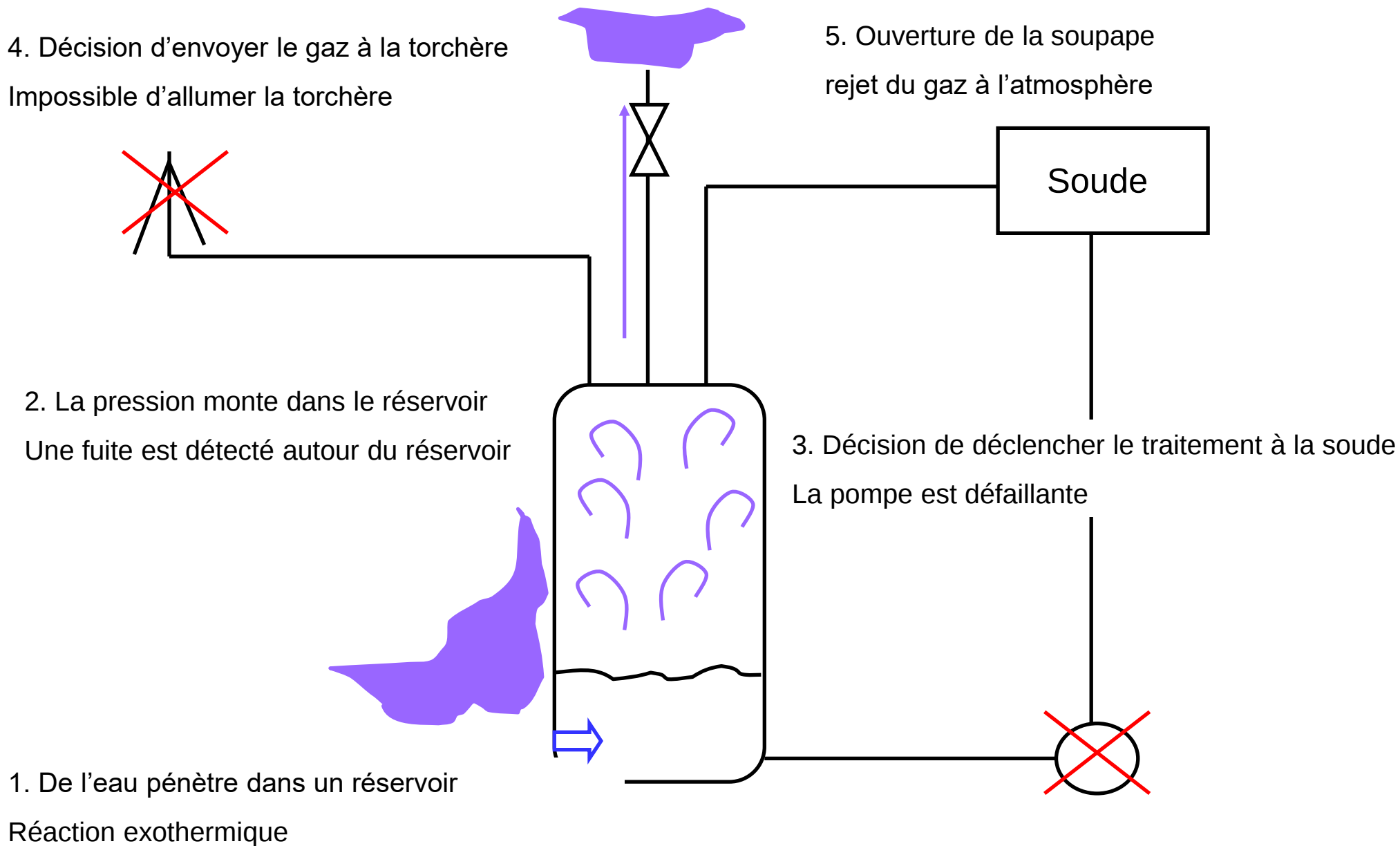


L'accident de BHOPAL (Inde)

- ✓ La société Union Carbide India Ltd est spécialisée dans la fabrication de pesticides
- ✓ Située dans un environnement urbain dense
- ✓ Suite à la concurrence forte d'une autre entreprise, la fermeture de l'usine est envisagée par la maison mère américaine
- ✓ Maintien de l'activité au prix d'économies drastiques
- ✓ La qualification des opérateurs est abaissée, l'encadrement est réduit, les travaux de maintenance réduits au strict nécessaire

L'accident de BHOPAL (Inde)

- ☑ Pour sa production, Union Carbide manipule des produits très dangereux dont l'isocyanate de méthyle
- ☑ L'isocyanate de méthyle = gaz très toxique par inhalation
- ☑ Suite aux réaménagements, plusieurs accidents se produisent causant près de 50 personnes intoxiquées parmi les ouvriers sur une période d'1 année



L'accident de BHOPAL (Inde)

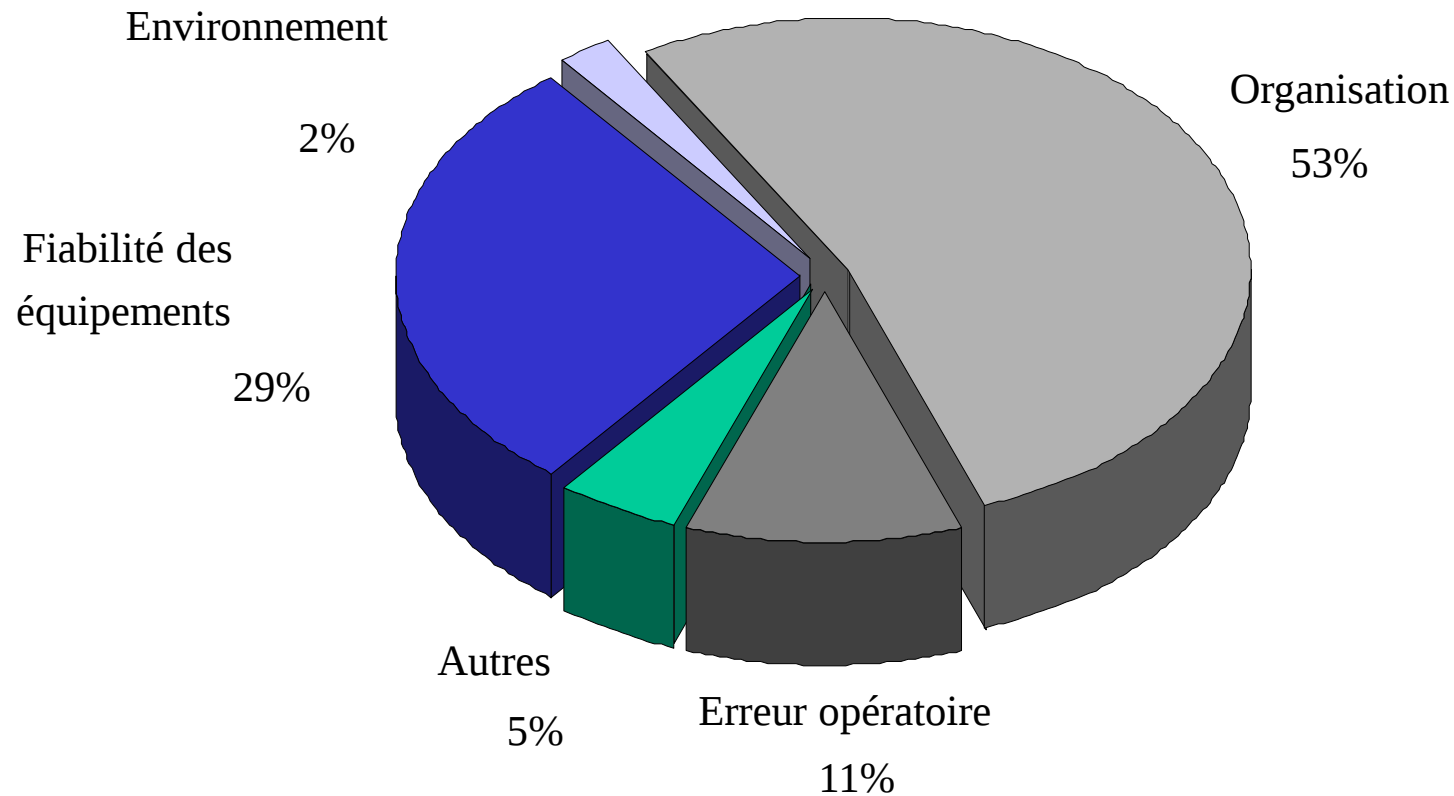
- ✓ La fuite a lieu au petit matin du 03/12/1984
- ✓ A 2 km du site, en 4 minutes, 150 morts, 200 personnes paralysées, 600 personnes perdent conscience
- ✓ Au final, près de 2.000 morts et 10.000 personnes intoxiquées



Enseignements pour l'Analyse des Risques

- ✓ Cohabitation d'activités industrielles et de zones d'habitation pose problème si elle n'est pas contrôlée
- ✓ Premières victimes = souvent les opérateurs du site à l'origine de l'accident / services d'intervention
- ✓ Les accidents industriels, voire les incidents, sont riches d'enseignements → Nécessité d'exploiter le retour d'expérience pour progresser
- ✓ Les grands accidents industriels ont souvent conduit à des révisions de la réglementation (cas de la directive SEVESO)

Répartition des causes d'accidents industriels : rôle / poids de l'organisation !

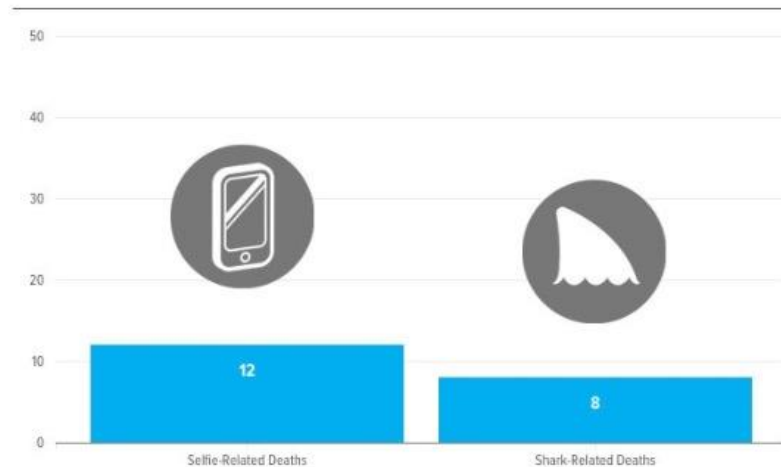


Grilles de cotations

(APPARTE SUR L'EVOLUTION DES RISQUES)

Sharks vs. selfies

So far in 2015, more people around the world have died as a result of selfie mishaps than have died from shark attacks.



Source: news24.com, aljazeera.com, timesofindia.com, independent.co.uk, theguardian.com, rt.com, mirror.co.uk, huffingtonpost.com
Credit: Donte Neal/Mashable

Mashable



Statistiques 2013-2017 (sur la base de coupures de presse) :

- 2013 : 2
- 2014 : 13
- 2015 : 50
- 2016 : 70
- > 2017 : 90
- 2023 : 110



(APPARTE SUR L'EVOLUTION DES RISQUES)

Selfie Fatalities by Gender

Sex	# Deaths	% of Total
Females	13	26.5%
Males	36	75.5%

Zachary Crockett / Priceonomics



Selfie Fatalities by Age

Age	# Deaths	% of Total
14	2	4%
15	2	4%
16	1	2%
17	2	4%
18	3	7%
19	4	9%
20	5	11%
21	12	27%
22	3	7%
23	4	9%
24	0	0%
25	2	4%
26	0	0%
27	1	2%
28	0	0%
29	1	2%
30	0	0%
31	1	2%
32	2	4%

Zachary Crockett / Priceonomics

(APPARTE SUR L'EVOLUTION DES RISQUES)

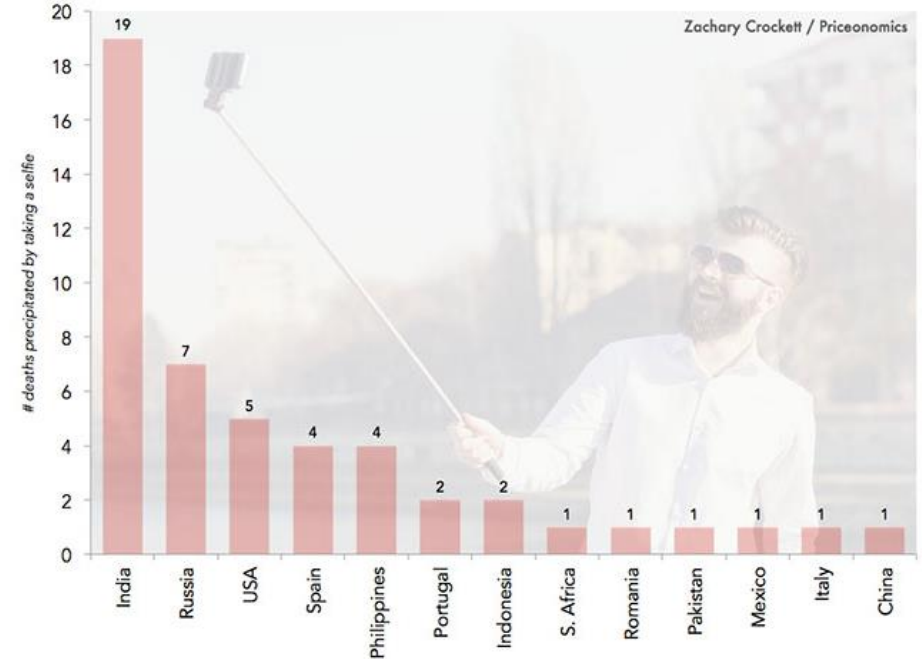
How Do Selfie-Related Fatalities Happen?

It is particularly dangerous to take a selfie while swimming, or while standing on a cliff/tall building



Where Do Selfie-Related Fatalities Occur?

Since 2014, 49 deaths have been precipitated by selfies; 40% of them occurred in India



Établissement de grilles de cotation

- En amont des analyses de risques, il convient de définir des **échelles / grilles de cotation** des risques :
 - Probabilité / fréquence
 - Gravité
- Objectif = pouvoir **hiérarchiser** et gérer les risques de manière adaptée
(Une **fréquence faible** avec une **gravité importante** n'est pas équivalente à une **fréquence forte** avec une **gravité faible**....)
- Permet ensuite de situer les scénarios selon les **critères d'acceptabilité** du risque



Exemples de cotation en fréquence

- **F1 – Peu fréquent**
Ne s'est jamais produit sur le site, rarement sur d'autres sites
- **F2 – Fréquent**
S'est déjà produit sur le site
- **F3 – Très fréquent**
Se produit souvent sur le site (au moins une fois par an)
- **F4 – Répété**
Se produit très souvent sur le site

Exemple de cotation en fréquence (quantification)

FREQUENCY OF OCCURRENCE PER YEAR		CLASS
Qualitative definition	Quantitative definition	Ranking
Very Low probability Unlikely to occur.	$P \leq 10^{-4} \text{ /year}$	P_4
Low probability The critical event (for the given cause) might happen. It has already happened in similar installations (once by 1000 years)	$10^{-4} \text{ /year} < P \leq 10^{-3} \text{ /year}$	P_3
Medium probability The critical event (for the given cause) might happen. It has already happened in similar installations or on the site (once by 100 years)	$10^{-3} \text{ /year} < P \leq 10^{-2} \text{ /year}$	P_2
Possible – High probability May happen. Has already happened in the site (once during 10 years)	$10^{-2} \text{ /year} < P \leq 10^{-1} \text{ /year}$	P_1

Exemple de cotation en fréquence (quantification)

Fréquence	Evaluation qualitative	Evaluation probabilité
F4	Possible Se produit de façon récurrente sur le site pendant une période de temps courte (quelques mois – une année)	$10^{-1}/10^{-2}$
F3	S'est déjà de produit sur le site de manière irrégulière (plusieurs années) S'est déjà produit régulièrement sur d'autres sites similaires	$10^{-3}/10^{-4}$
F2	Ne s'est jamais produit sur le site et quelques fois sur des sites similaires	$10^{-5}/10^{-6}$
F1	Ne s'est jamais produit sur le site et très rarement sur des sites similaires	$>10^{-6}$

Avantage & inconvénients de la quantification

- **Avantages :**

- Plus précis, plus rationnel
- Permet de hiérarchiser

- **Inconvénients :**

- Nécessite plus de temps (calcul)
- Nécessite de disposer de données (fiables)

Exemple de cotation en gravité

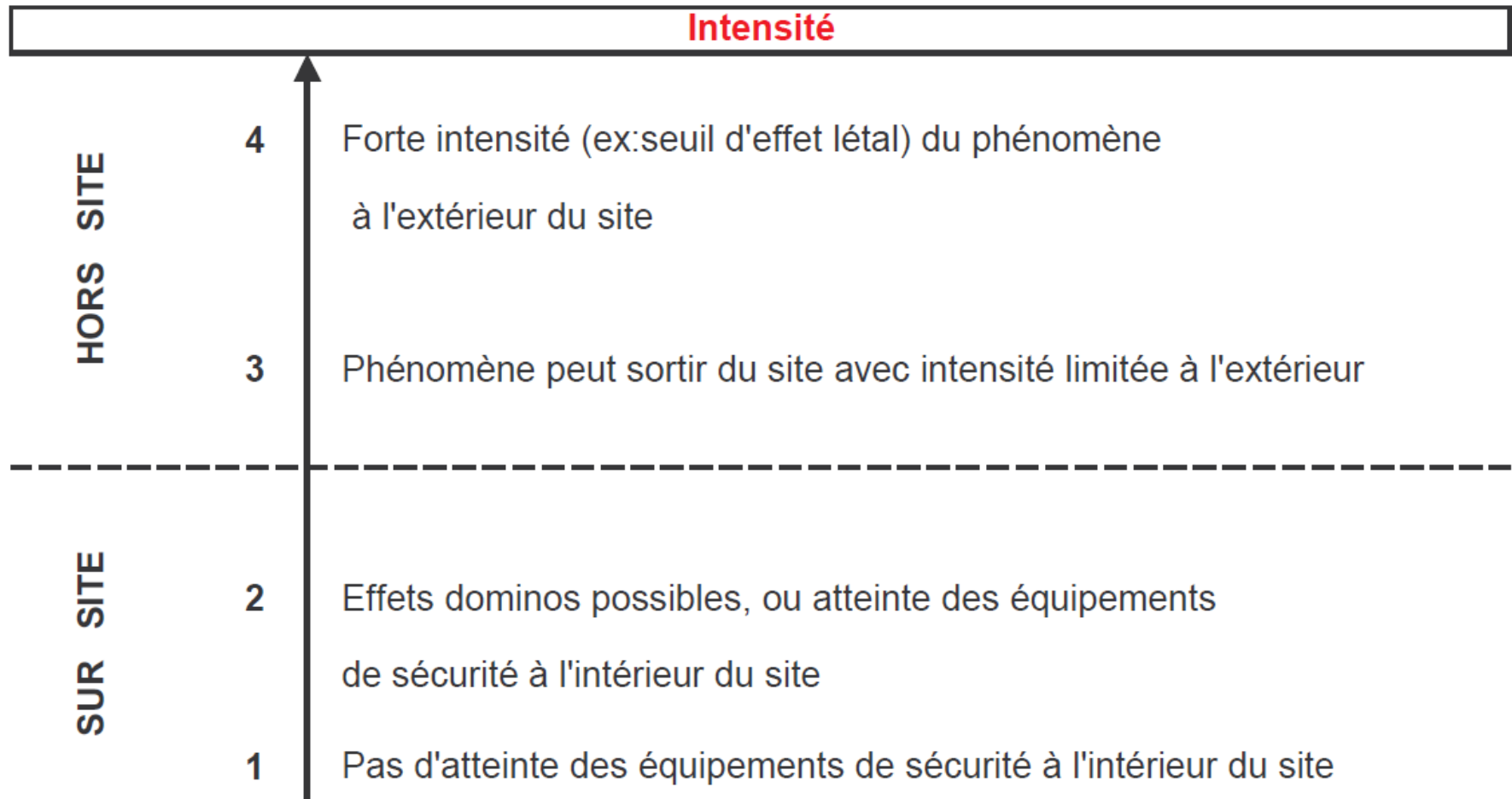
- Événement **mineur** (perte de production)
- Événement **significatif** (blessé léger, perte de clients, dégâts aux installations)
- Événement **grave** (blessé grave, destruction de l'outil de production, atteinte grave à l'environnement...)
- Événement **catastrophique** (morts, destruction totale de l'installation, atteintes catastrophiques à l'environnement)

Exemple de cotation en gravité

Conséquences	Personnes	Environnement	Biens/ Equipements
G4	Effets létaux observés à l'extérieur du site Mise en danger du personnel du site	Conséquence extérieure majeure Pollution à l'échelle régionale/nationale	Dommages majeurs à des équipements dangereux à l'extérieur de l'établissement
G3	Effets irréversibles observés à l'extérieur du site Accident corporel avec arrêt de travail et séquelles sur site	Conséquence extérieure importante Pollution à l'échelle de la localité	Dommages légers à l'extérieur du site ou dommages importants à d'autres équipements dangereux ou importants pour la sécurité sur le site
G2	Accident corporel avec arrêt de travail sans séquelles	Conséquences interne importante ou extérieur limitée	Dommages limités à des équipements non dangereux sur site
G1	Accident corporel sans arrêt de travail	Conséquence interne limitée	Dommages limités au site et n'entraînant pas de défaillances significatives

→ G4

Exemple de cotation en gravité



Seuils d'effets

- Seuil des Effets Irréversibles (SEI)
Zone de dangers significatifs pour la vie humaine
- Seuil des Effets Létaux (SEL)
Zone de dangers graves pour la vie humaine
→ statistiquement 1% de décès dans la population
- Seuil des Effets Létaux Significatifs (SELS)
Zone de dangers très graves pour la vie humaine
→ statistiquement 5% de décès dans la population



Exemple de cotation en gravité (avec quantification)

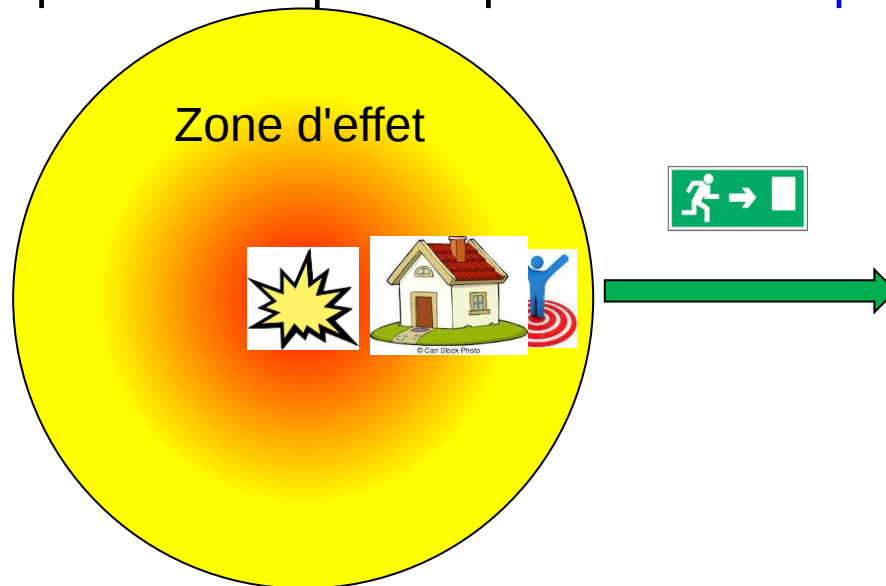
Niveau de gravité des conséquences	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
Désastreux	Plus de 10 personnes exposées ⁽¹⁾	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées.	Entre 100 et 1000 personnes exposées.
Important	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.
Sérieux	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
Modéré	Pas de zone de létalité hors de l'établissement		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure à « une personne »

Nécessite une étude de dangers quantifiant les personnes présentes dans différentes zones d'effet....

Limites de cette quantification de la gravité

On parle de "Entre X et Y personnes exposées"

- Effet de **seuil**
Exemple : limite à 100 personnes → si 99 ou 101 personnes, on change de classe....
- **Limites** dans la notion "exposées"
- Ne prend pas en compte les possibilités **d'évacuation**
- Ne prend pas en compte les possibilités de **protection**



Établissement de grilles de cotation

- Il existe une infinité de grilles de cotation...
- L'objectif est de définir des grilles :
 - Adaptées aux niveaux de fréquences & gravités prévisibles (peuvent être adaptées en cours d'analyse)
 - Cohérentes avec les critères d'acceptabilité
- Dissocier les différents types de cibles (personnes, dégâts matériels, etc.)



Exercice 2.2

Grilles de cotation

Quels actions sont possibles à l'issue de l'analyse de risques ?

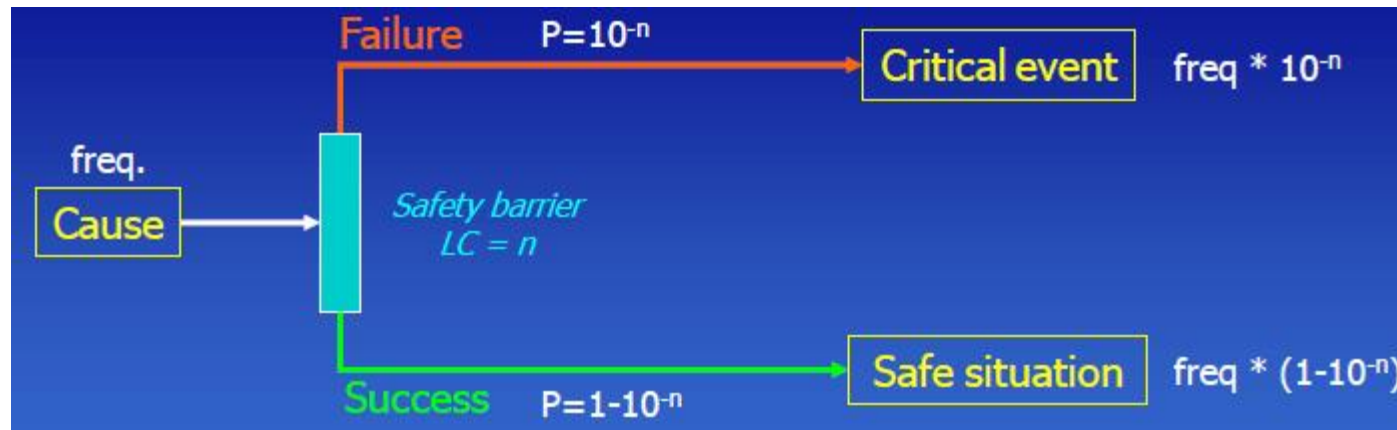
- Actions de **prévention**
Ajouter l'ABS réduit la probabilité d'accident suite à blocage des roues au freinage
- Actions de **protection**
L'air-bag réduit les conséquences d'un choc frontal sur les occupants
- Actions **d'élimination**
Remplacer des pneumatiques par des roues pleines élimine le risque de crevaisson
- Actions de **transfert**
Assurer sa responsabilité civile en cas d'accident ne réduit pas ce risque, mais lisse le coût

Mesures de réduction des risques :

- Le choix entre **prévention et protection** est avant tout un choix **d'efficacité**.
Les mesures qui réduisent le plus le risque au meilleur prix sont toujours les meilleures
- Question de point de vue :
 - En général, dans les **industries "à risques"**, **la prévention joue un rôle prépondérant** et la **protection plutôt un rôle complémentaire**. Les industriels tentent d'obtenir par la seule prévention un niveau de sécurité suffisant. Des mesures de protection complémentaires permettent de réduire encore le niveau de risque
 - **Les services de secours**, partant du principe qu'un accident peut toujours arriver, ont pour mission d'assurer de la protection et misent entièrement leurs efforts sur les **moyens de réduire les conséquences d'un accident**

Mesures de réduction des risques :

- A l'issue de l'analyse de risques, une fois les barrières de sécurité identifiées sur les arbres (scénarios), il est nécessaire de mesurer l'influence & l'efficacité de ces barrières
- Il est également nécessaire de déterminer un "niveau de confiance" à la barrière
- Ce niveau de confiance est fonction du type de barrière, de sa qualité intrinsèque, de sa redondance, de son environnement, du niveau de maintenance, etc.



Mesures de réduction des risques :

- Le **temps de réponse** est également un paramètre important (délai entre la nécessité et l'action effective)
- Si possible, les barrières de sécurité devraient être **indépendantes** entre elles (éviter les modes communs de défaillance)
- Le coût des barrières est également un paramètre crucial (coût d'installation et de maintenance) → **critère d'efficacité coût / bénéfice**



Mesures de réduction des risques :

- Il existe différents types de barrières :
 - Barrières **passives** (par ex. une structure)
 - Barrière **actives** (par ex. un capteur électronique)
 - Barrières **humaines** (procédure, surveillance, maintenance...)

Exercice 2.3

Tunnels routiers

Limites & difficultés de l'Analyse de Risques (1/2)

- Le **découpage** du système doit être bien adapté (sinon trop complexe ou lacunes dans la gestion des interactions)
- Si l'analyse de risque est **trop générique** → ne prend pas en compte les spécificités du système
- Si l'analyse de risque est **trop spécifique** → non transposable
- Repose parfois sur des **jugements d'experts** (nécessite compétences...)
- Difficultés à obtenir des **statistiques fiables** sur la défaillance des composantes
- Problématique de **validité dans le temps** / mises à jour / suivi des risques
- Temps et moyens nécessaires à la réalisation des analyses de risques (**investissement**)

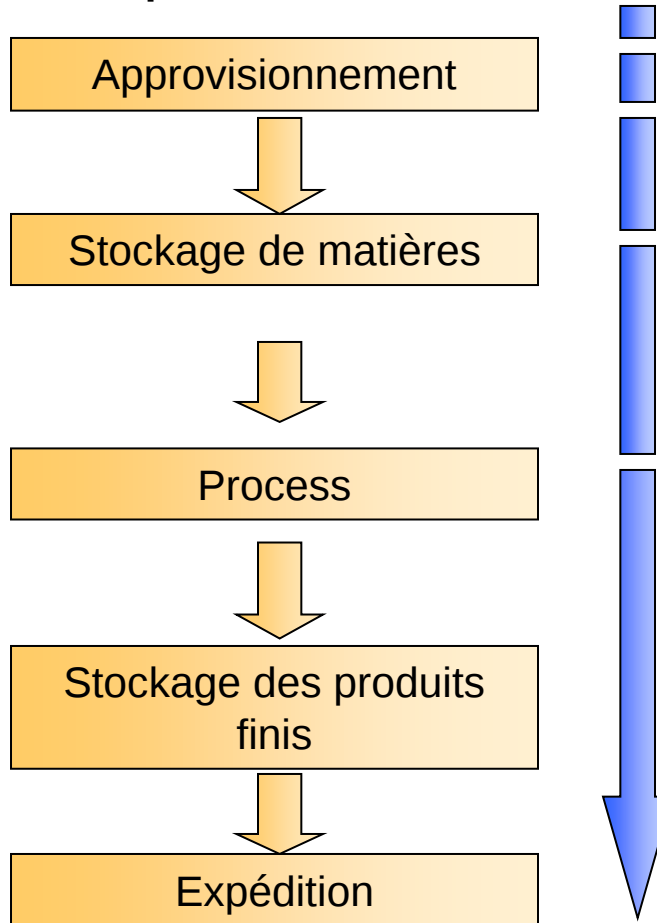
Limites & difficultés de l'Analyse de Risques (2/2)

- L'analyse de risque doit être **concentrée dans le temps & efficace** (tous les acteurs au même rythme)
- Veiller à **prioriser les actions et les planifier dans le temps** → sinon la Direction n'adhérera pas au projet
- Nécessité de bien identifier les **RESPONSABLES** pour chaque action

Place du management & organisationnel dans l'Analyse de Risques

Analyse "technique"

Description fonctionnelle



Méthodes d'analyses
de risques

Place du management & organisationnel dans l'Analyse de Risques

Analyse "organisationnelle"

1. Identification des tâches

Activités

	Équipe 1	Équipe 2	Équipe 3
Stockage		X	
Production	X	X	
Expédition	X		X
...		X	

Opérateurs, responsables, etc

Tâches

2. Analyse des pratiques organisationnelles

Informel

Communications
Compétences
Management
.....

Formel

Organigramme
Liste des contrôles
Plans d'urgence
Audits
....

