



Institut pour la Maîtrise des Risques
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques

De la fatalité à la responsabilité, l'évolution historique du concept de risque et le défi de l'analyse de risque

André Lannoy

www.imdr.eu

V1.2 2014 11 16

Sommaire

1. L'évolution historique
2. Qu'apportent les grands accidents technologiques?
3. Le risque est une mesure...
4. Qu'est-ce qu'une analyse de risque?
5. L'analyse de risque, un outil d'aide à la décision
6. Le risque est l'effet de l'incertitude....
7. Conclusions
8. Quelques références

Quelques « risques » récents dans les médias...

- L'image du risque est souvent négative, bien que les accidents industriels font beaucoup moins de victimes que les « accidents de la vie ».
 - La crise économique et financière (depuis 2008)
 - Le Médiateur (2009)
 - Vols Malaysia Airlines
 - Fukushima, son séisme, son tsunami et sa crise nucléaire (mars 2011)
 - Costa Concordia (janvier 2012)
 - Les accidents ferroviaires de l'été 2013 : Lac-Mégantic, Brétigny-sur-Orge, Saint-Jacques de Compostelle, Granges-près-Marnand
- Tout progrès (technique, médical, économique...) amène des risques.
 - L'innovation : approche nouvelle → « audace » → risques
- Il faut donc savoir traiter les risques

1 - L'évolution historique



Sous la protection des dieux...

- depuis la **Préhistoire**: amélioration des méthodes et des outils par l'expérience
- **1780 av J-C**, le “Code” d’Hammurabi
- **vers 430 av J-C**: guerre du Péloponnèse, Périclès: aide à la décision, analyse de risque
- **90-20 av J-C**, M. **Vitruvius** Pollio : premières notions de fiabilité, *utilitas, firmitas*
- L. Annaeus **Seneca** (*Naturales quaestiones*, 63 apr J-C) et **G. Plinius Secundus** (*Naturalis historia*, 77 apr J-C)
 - *...dans l'ignorance où nous sommes de la vérité, tout nous épouvante; et la rareté de la chose augmente notre terreur. Des accidents habituels frappent moins; l'insolite effraye plus que tout le reste... (Seneca)*
- *Duecento - quattrocento*, développement des entreprises, apparition de la notion “saisir l'occasion”.

Le grand siècle ... les fondamentaux probabilistes

- **Blaise Pascal** (années 1650) : la « géométrie du hasard », le pari de Pascal
- **John Graunt** (1662) : retour d'expérience "moderne", analyse de données, quantification, interprétation
- **Daniel Bernoulli** (1738) : loi des grands nombres, aide à la décision, première définition du risque
- **Thomas Bayes** (ouvrage posthume, 1763) : probabilités conditionnelles
- (**David Hume** (1758): *Enquête sur l'entendement humain, An Enquiry Concerning Human Understanding*)

De la punition divine... à la notion de risque... L'homme responsable

- **1er novembre 1755** : tremblement de terre de Lisbonne
« Convenez que la nature n'avait point rassemblé là vingt mille maisons de six à sept étages, et que si les habitants de cette grande ville eussent été dispersés plus également et plus légèrement, le dégât eût été beaucoup moindre et peut-être nul » (Jean-Jacques Rousseau)
- Naissance de **l'approche scientifique du risque**, de l'étude de danger

La révolution industrielle

- 1776 – Buffon : premiers essais de fiabilité
- XIX^{ème} siècle – coefficients de sécurité
- 1930-1940 – Sir Alfred Grenville Pugsley : critères probabilistes (structures aéronautiques)

L'après-guerre ... Les trente glorieuses

- **Années 1940 :**

Waloddi Weibull, naissance de la fiabilité moderne (1939).

- **Années 1950 :**

guerre froide,

FMD, premiers recueils de données, premiers « *military standards* ».

- **Années 1960 :**

avènement des fiabilistes.

L'après-guerre ...

- **Années 1970 :**

Prise de conscience du risque technologique avec **Flixborough en 1974**

Publication du rapport **Wash 1400** en 1975 par l'US NRC

« *how safe is safe enough?* » (Slovic et al, 1978).

- **Années 1980 :**

RCM, meilleure compréhension du FH et du rôle de l'organisation

- **Années 1990 :**

guerre du Golfe ; « *citius, altius, fortius* » ; « *faster, better, cheaper* »,
la SdF concerne tous les secteurs industriels, économie de marché oblige
principe de précaution à Rio (1992) ;

Aujourd'hui, le retour des peurs...

- **Années 2000 :**

succès de la SdF lors du passage à l'an 2k
l'inimaginable : 11 septembre 2001 ;
crise financière
développement durable

- **Années 2010 :**

le retour des peurs ancestrales :

- les agressions naturelles extrêmes (Fukushima (mars 2011)) ;
- les grandes peurs (maladie, chômage, krach...)
- l'aversion au risque, le refus du progrès.

Les différents courants du risque... (Lannoy, 2008, 2013 ; Magne, 2010)

- *L'école du risque maritime*

école historique; étymologie latine; le risque, de tout temps, a été associé au maritime

- *L'école moderniste*

apparition du capitalisme (XIII^e), marchands vénitiens, *condottieri*

- *L'école de la fatalité ou de l'engagement*

de l'arabe *rizq* : part de bien que Dieu attribue à chaque homme (Saint-Paul ; *aide-toi, le ciel t'aidera*, La Fontaine)



2 - Qu'apportent les grands accidents technologiques?

Les grands accidents sont souvent suivis de progrès importants (technologique, réglementaire, social, ...).

Quelques exemples...

- **Incendie de Rome** (64 AD) : règles de construction
- **Titanic** (1912) : systèmes de sauvegarde, matériaux, communications
- **Flixborough** (1974) : *prise de conscience*, étude de sûreté, étude des UVCE
- **Seveso** (1976) : classement des installations, étude de danger, réglementation
- **Challenger** (1986) : impact sur le processus de conception, développement des études FH-FO



Institut pour la Maîtrise des Risques
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cinématiques

3 - Risque et analyse de risque



Qu'est-ce que le risque?

Un très grand nombre de définitions

- Valeur moyenne des conséquences d'évènements affectés de leur probabilité (Bernoulli, 1738, *Specimen theoriae novae de mensura*)

- **Le risque est la mesure d'un potentiel de dommages**, nécessitant une quantification, **déterministe et probabiliste**.

- Deux dimensions : **Risque = (probabilité, gravité)**

« Depuis que les mathématiciens décidèrent d'étudier la mesure du risque, il y a eu un consensus général sur la proposition suivante: les valeurs attendues sont calculées en multipliant chaque gain possible par le nombre de cas qui peuvent se produire et en divisant la somme de ces produits par le nombre total de cas. »

Qu'est-ce que le risque?

- **Effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs**
(ISO 31000, 2009)

Objectifs fixés et partagés, menace ou opportunité

De la vulnérabilité va dépendre la criticité.

- Vulnérabilité (physique, économique, sociale, ...) : susceptibilité à des pertes potentielles , résistance ou résilience aux aléas
- Facteurs clés de la vulnérabilité (en vrac) :
 - densité de population et croissance démographique,
 - infrastructures et réseaux,
 - accès aux ressources (médicales, eau, financières, ...),
 - niveau d'éducation, d'information et de connaissances,
 - conditions socio-économiques,
 - niveau de perception du risque, ...

Risque ou opportunité ?

- Une notion évolutive
- Souvent vision **négative** du risque
- Mais la vision peut être **positive** : pour gagner ; *qui ne risque rien n'a rien ; la fortune sourit aux audacieux ; pour gagner, il faut risquer de perdre* (J-C Killy)
- **Opportunité** : fait de s'exposer à un danger dans l'espoir d'obtenir un avantage; exemple du champion de ski

Risque ou opportunité ?

- A ne pas confondre avec : **Danger** : situation pouvant nuire à l'homme, à la société et à l'environnement (Villemeur, 1988), menace, péril
- **Etude de danger** : recensement des situations dangereuses générées par l'activité
 - « *Un danger est une source de menaces, mais ce concept n'est pas lié à la probabilité que ce danger puisse avoir un impact sur les personnes ou sur l'environnement. Nous sommes souvent incertains sur le fait qu'un danger puisse ou non conduire à des conséquences négatives* ».

Le danger est un état, le risque est la mesure de cet état.



Institut pour la **Maîtrise des Risques**
Sûreté de Fonctionnement - Management - Chodynamiques

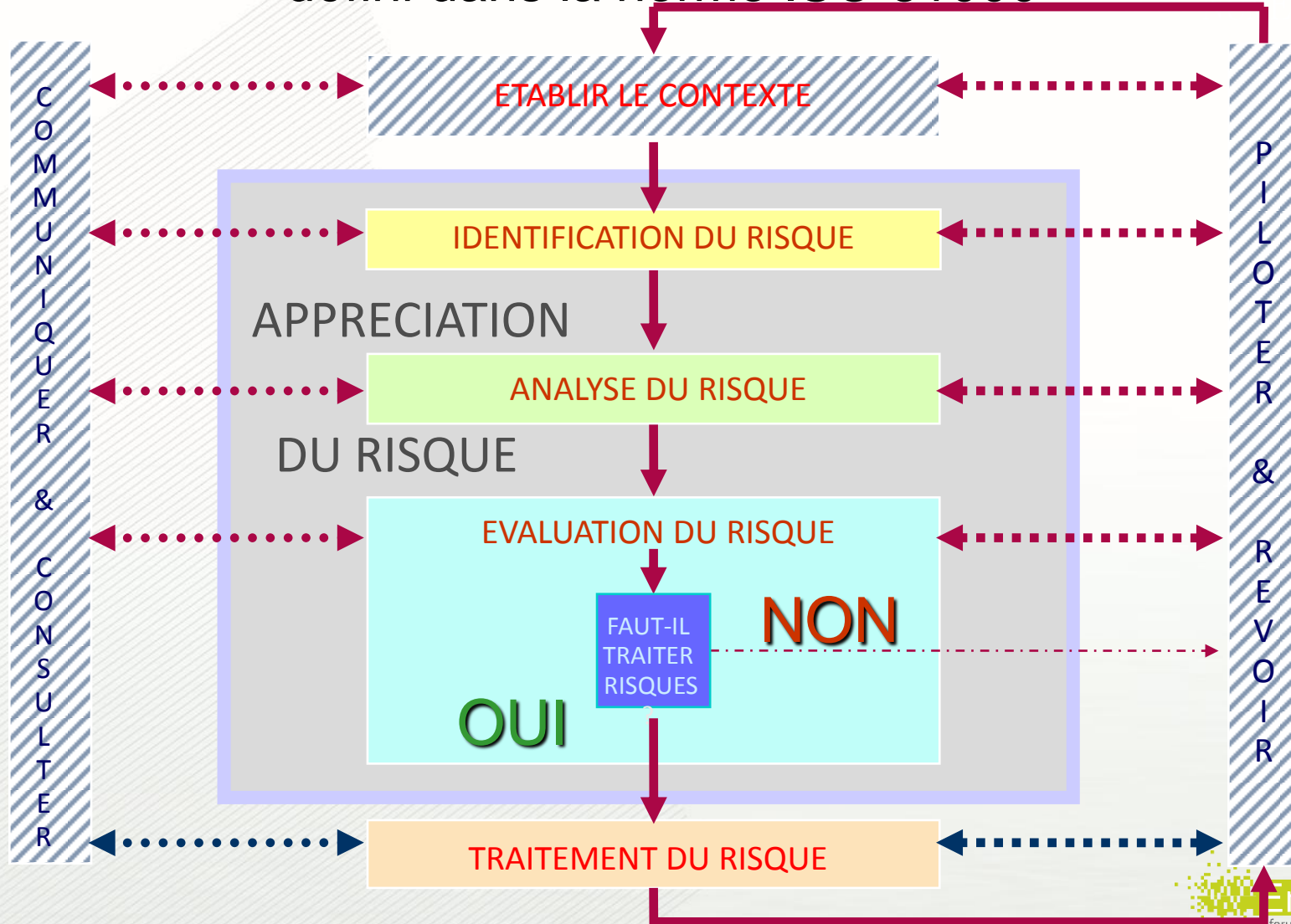
4 - Qu'est-ce qu'une analyse de risque?



Qu'est-ce qu'une analyse de risque ?

- Une analyse de risque tente de répondre aux questions suivantes:
 - que peut-il arriver ?
 - quelle est la probabilité d'occurrence ?
 - si cela se produit, quelles sont les conséquences ?
- L'analyse de risque est une aide à l'explicitation d'une décision.

Processus de management du risque défini dans la norme ISO 31000



Mettre en place une démarche structurée d'analyse de risque

0. Etablir le contexte

Dans un premier temps :

- Description, caractéristiques
- Application des codes – normes – recommandations – réglementations – bonnes pratiques
- Examen du retour d'expérience historique

Les 4 phases de l'analyse de risque

1. Identification du risque

Compréhension physique, attention sur les facteurs de risque (les causes), les cibles (la vulnérabilité)

Les 4 phases de l'analyse de risque

2. Analyse du risque : estimation et hiérarchisation, criticité, évaluation

Démarche qualitative **et** quantitative (caractérisation probabiliste et déterministe ; modélisation physico-fiabiliste)

Les 4 phases de l'analyse de risque

3. Traitement du risque (les parades)

- Options de maîtrise des risques (l'occurrence des causes (*prévention*) ou la gravité des conséquences (*protection*))
- Plan de sécurité, barrières, programme de maintenance et de soutien
- Optimisation, aide à la décision
- Couverture du risque résiduel (assurance, auto-assurance)

Les 4 phases de l'analyse de risque

4. **Piloter et revoir** : contrôle et retour d'expérience

- **Suivi des actions**, retour d'expérience, efficacité, efficience
- Importance de la communication et de la préparation à la gestion de crise

Les situations à risque (Klinke, Renn, 2002 ; Kermisch, 2011)

- Les situations « **risquées** » : conséquences connues, probabilités objectives ;
 - ex : accidents de la route, maladies courantes
- Les situations « **incertaines** » : conséquences connues, probabilités inconnues ;
 - ex : H1N1
- Les situations « **ambigües** » : conséquences inconnues, les probabilités peuvent être estimées ;
 - ex : risque sismique
- Les situations d'« **ignorance** » : conséquences et probabilités inconnues ;
 - ex : réchauffement climatique

L'ambigüité dans les probabilités

- **La probabilité « classique »**, à l'origine des jeux de hasard (dite quelquefois *a priori probability*) ; la probabilité est le rapport du nombre de cas favorables sur le nombre de cas possibles, elle est fondée sur les dénombrements, elle est **peu utilisée en analyse de risque et en sûreté de fonctionnement** ; l'ouvrage de base est l'ouvrage de Pierre-Simon Laplace (1820) ;
- **La probabilité fréquentielle** (*statistical probability*) (Richard von Mises, 1919)) ; on considère que l'on peut répéter une expérience indéfiniment dans des conditions identiques ; c'est la loi des grands nombres ; **la probabilité d'un événement est approchée par la fréquence** d'observation ;
- **La probabilité subjective ou bayésienne** (*judgement/ knowledge based probability* (Bruno de Finetti, 1937)) ; **la probabilité est définie comme un degré de croyance** que l'on a dans l'occurrence d'un événement ; cette probabilité est « corrigée », actualisée par l'observation du retour d'expérience.
- **La probabilité difficilement calculable de l'évènement rare, unique**, extrême, catastrophique et que l'on « ne reverra pas » ; le cas est souvent considéré enveloppe; le milieu est fort censuré (aléatoirement à droite); peut-être une expérience existe sur des situations analogues ; une fdp objective n'existe pas; une estimation peut être effectuée (estimateur de Hill, 1975; Deheuvels, 2013).

Les territoires de l'incertain

- **Domaine du médianistan** (Taleb, 2010 ; Lemaire, 2014): valeurs proches de la médiane ; un nombre limité d'observations suffit pour estimer le risque (*fréquentiel* ou *bayésien*); on utilise des lois à décroissance exponentielle (Gauss, Poisson, ...)
- **Domaine de l'extremistan : le « *cygne noir* »** (Taleb, 2010) : probabilités très faibles, conséquences très graves ; la catastrophe ou le gros lot ; importance de l'estimation des scénarii et des conséquences ; l'investissement peut valoir la peine ; caractères d'imprévisibilité, d'asymétrie, de non linéarité ; on utilise des lois « leptokurtiques » à décroissance puissance (Pareto, ...)
- Domaine de l'ignoristan : *terra incognita*
- Domaine de l'idealistan : connaissance parfaite ! Y-aurait-il risque ?

Les méthodes classiques de la sûreté de fonctionnement

- AMDE - AMDEC (fin des années 1940, 1967)
- Analyse des causes profondes (1970)
- Analyse fonctionnelle (Vitruvius, début des années 1950)
- APR, Analyse préliminaire des risques (début des années 1960)
- Arbre de décision (1963)
- Arbre de défaillance (arbre de faute) (1965)
- Arbre d'évènement (1975)
- Diagramme de fiabilité (1948)
- Graphes de Markov (1964)
- HAZOP (1974)
- Méthodes bayésiennes, fréquentielles et résistance – contrainte (depuis le XVIIIe)
- Méthodes multicritères (début des années 1990)
- Méthode du nœud papillon (1979)
- Optimisation de la maintenance par la fiabilité (1989)
- Réseaux bayésiens (1994)
- Réseaux de Petri (1962)
- Simulation de Monte Carlo (1947)

Analyse des conséquences, évaluation déterministe

- 1. Les **scénarii** sont construits à partir du retour d'expérience ou de la compréhension physique
- 2. **Evaluation des conséquences** par approches analytiques ou modélisation EF.
 - Impossibilité d'un modèle entièrement déterministe
 - Nécessité de prendre en compte la **variabilité** des paramètres (propriétés des matériaux, conditions météorologiques, amplitude et nombre de cycles de fatigue, amplitude et fréquence des inondations, ...)
- 3. **Couplage de codes physique et probabiliste** (direct ou indirect) ; exemples : mécanique (analyse de fiabilité des structures), thermo-mécanique, détonique, hydraulique, etc...
- 4. Développement de codes de **dispersion** (gaz lourds, éléments radioactifs, gaz toxiques, ...)
- A partir des évaluations probabiliste et déterministe, il sera possible de **juger de la criticité du risque** (par exemple par la matrice de criticité).

5 - L'analyse de risque, un outil d'aide à la décision



« ... je hais l'incertitude, et j'aime qu'on me décide. »
Mme de Sévigné (Lettre 337, 12 janvier 1674)

Risque et réglementation

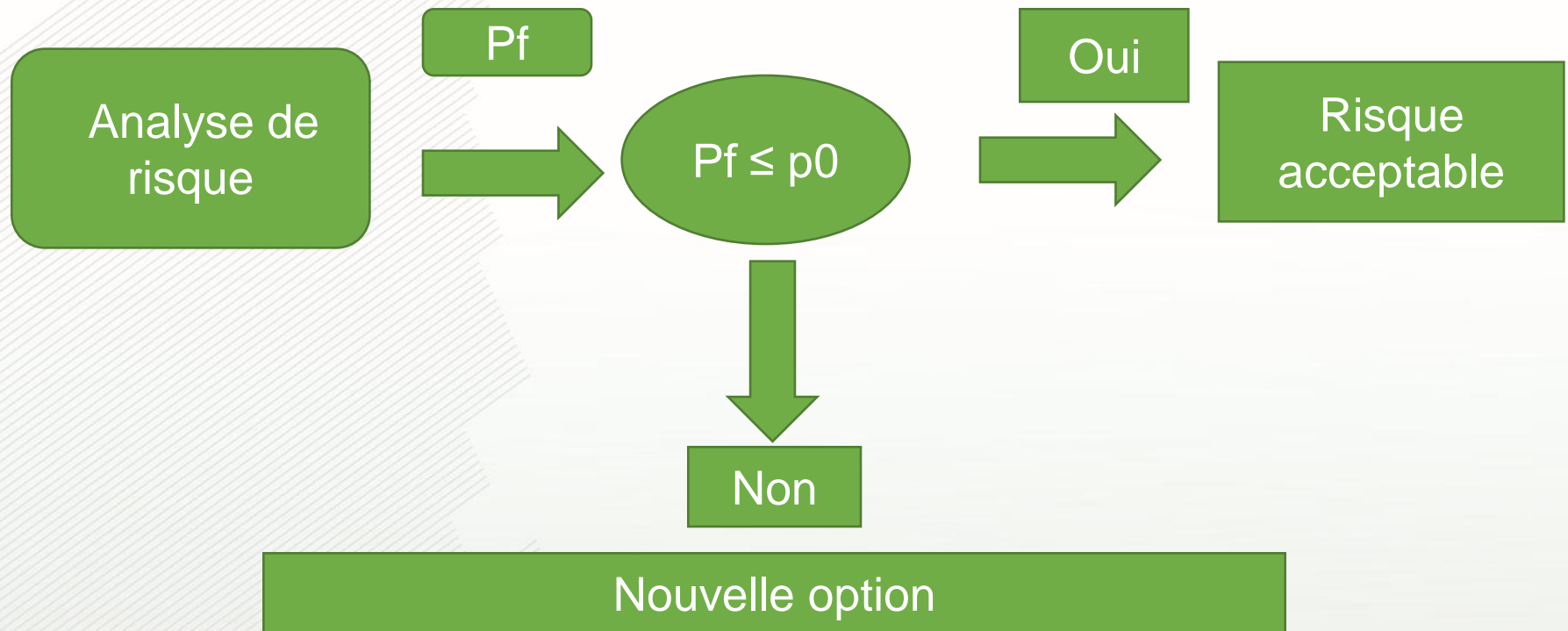
- **Innovation rarement couverte par le prescrit**
- **Principe de précaution :**
 - s'applique aux risques environnementaux et de santé publique
 - concerne les cas où il y a possibilité de dommage grave ou irréversible en présence d'incertitude scientifique ne permettant pas de caractériser le risque
 - décision basée sur une analyse de risque et analyses coûts-bénéfices *ou* absence d'action *ou* obligation de sortir de l'incertitude (retour d'expérience, R&D)...
- **Responsabilité juridique**, civile et pénale de l'entreprise

Risque et société

- **Evolution sociétale : aversion au risque...**
 - Tout nouveau projet soulève des oppositions accrues (systématiquement).
- **Protection de l'environnement**
- **Image de marque**
- **Preuve de l'acceptabilité**

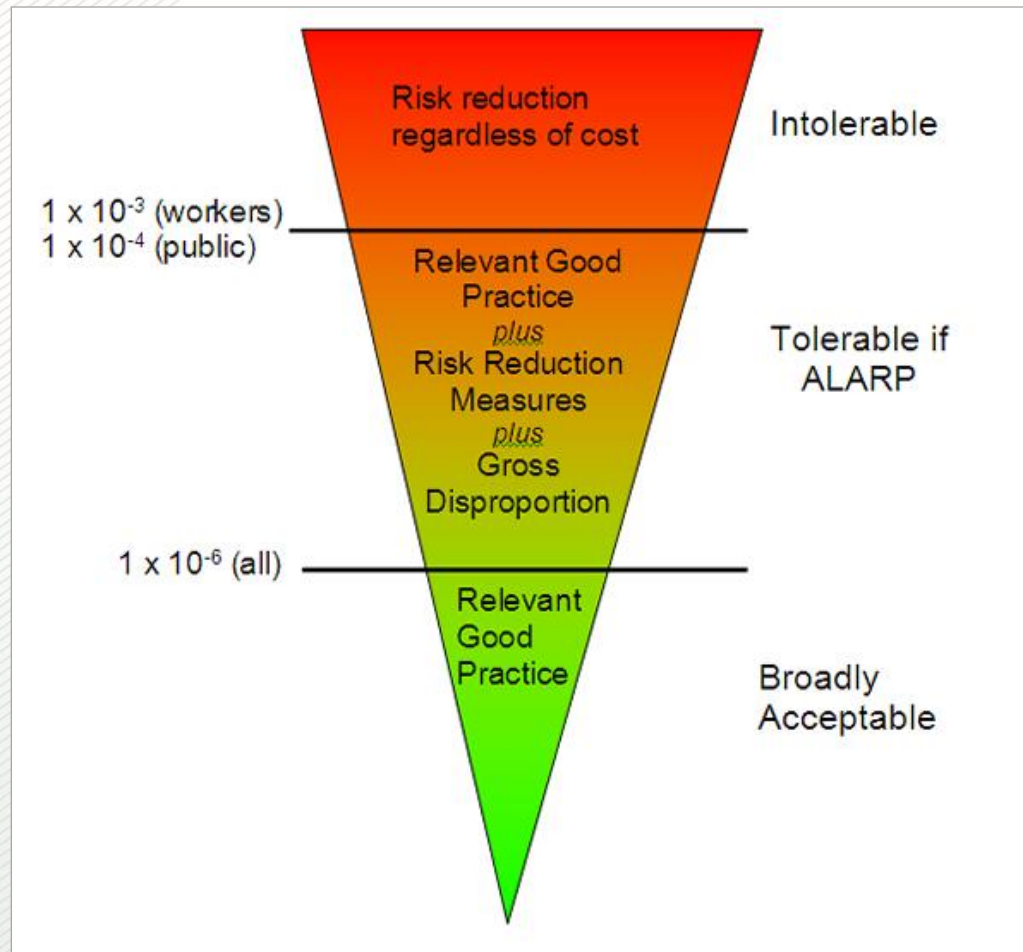
L'analyse de risque : une aide à la décision

(Critère probabiliste d'acceptation p_0 , rôle prédominant de la sécurité/ sûreté)



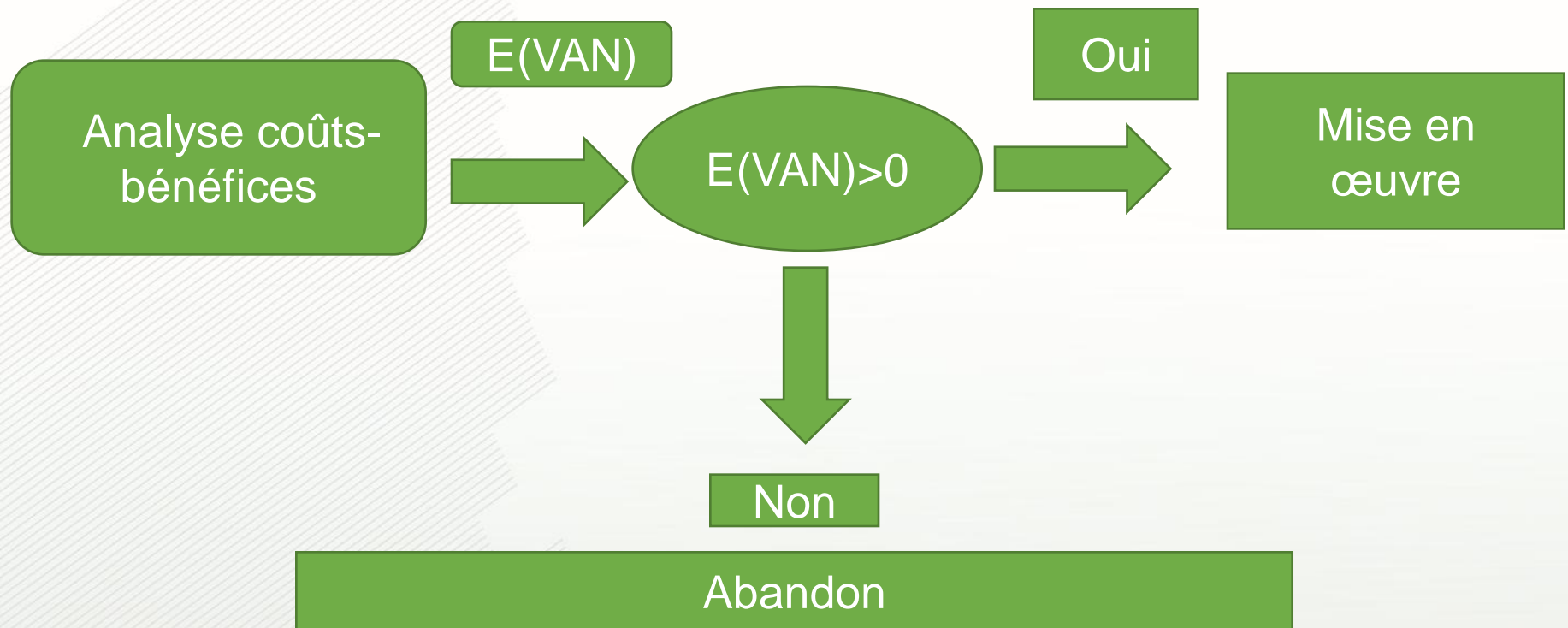
Le principe ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*)

ALARP pose le problème des critères d'acceptation (HSE, 1992)



L'analyse de risque : une aide à la décision

(ici point de vue économique-financier, mais multiples points de vue : sociétal, environnemental, ...; nécessité de disposer de méthodes multicritères)





Institut pour la Maîtrise des Risques
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques

6 - Le risque est l'effet de l'incertitude...



L'incertitude

- L'incertitude disparaît lorsque nous sommes certains. Il n'y a alors aucun risque.
- **Le risque est l'effet de l'incertitude sur les objectifs. Cet effet est un écart (positif ou négatif) par rapport à la valeur attendue.**
- **L'incertitude est liée au futur** : on cherche à la mesurer ; elle est souvent difficile à évaluer faute de données passées fiables et représentatives, permettant de définir la probabilité d'occurrence d'un événement redouté futur.

Les différentes incertitudes

- **Variabilité : incertitude aléatoire**
 - dans le temps (variabilité d'une température...)
 - dans l'espace (variabilité d'une résistance à la rupture, ...)
 - due à la mesure (performances des moyens de mesure, ...)
- **Manque de connaissance : incertitude épistémique**
 - statistique (taille d'échantillon ...)
 - nature de la distribution (choix subjectif)
 - nature du modèle (compréhension physique insuffisante, propagation des incertitudes, ...)
- **Complexité** (l'incertitude liée aux connaissances est prédominante)
- **Ambigüité** (elle peut être supprimée par une information précise, adaptée)
- **Indétermination**



Institut pour la Maîtrise des Risques
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques

7 - Conclusions

*Penser probabiliste,
agir déterministe.*

Conclusions

- **Le risque est une combinaison bidimensionnelle de (i) événements et gravité des conséquences de ces événements, (ii) incertitudes associées.**
- L'analyse de risque (pourtant évolutive) est un **outil d'aide à la décision**. C'est un outil objectif.
- L'impact des incertitudes doit être évalué. Ceci comprend notamment : **l'analyse de sensibilité**, les facteurs d'importance.
- Les **études probabilistes** peuvent être utilisées avec profit, même dans les cas d'événements rares et extrêmes ou de fortes incertitudes.
- Des mesures de prévention face au risque et des mesures de résilience face aux incertitudes scientifiques doivent être prises en compte par les décideurs.
- La maîtrise des risques répond aux enjeux de la société et des entreprises, elle est **un défi** que l'homme doit relever, elle nécessite de nombreux efforts de R&D.



Institut pour la Maîtrise des Risques
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques

8 – Quelques références

Quelques références (1)

- Aven Terje (2010), *Misconceptions of Risk*, Wiley, 2010.
- Bedford T., Cooke R. (2001), *Probabilistic Risk Analysis*, Cambridge University Press.
- Civet Rodolphe (2013), *Mise en œuvre d'un système de management des risques et de la norme ISO 31000 : retour d'expérience et témoignages*, Journée AFNOR – IMdR du 18 avril 2013, ESTP, Cachan.
- Deleuze Gilles, Ipperti Patrick (2013), *L'analyse des risques – Concepts, outils, gestion, maîtrise*, Editions ems – management & société, Collection Pratiques d'entreprises, Avril 2013.
- Efron B. (1986), *Why isn't everyone a bayesian?* (with discussion and a reply by the author), *American Statistics* 40, n°1, 1-11, 1986.
- HSE (1978), Health and Safety Executive, *Canvey Island, an Investigation*.
- HSE (1988). Health and Safety Executive: *The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations*. Discussion Document, HMSO, London. Revised edition, 1992.

Quelques références (2)

- ISO 31000: 2009 (2009), *Management du risque – Principes et lignes directrices* – Risk management – principles and guidelines (voir aussi ISO/ TEC 31010 (2009) – Risk management-risk assessment techniques).
- IMdR, tutoriels des conférences $\lambda\mu$, en particulier le tutoriel « Maîtrise des risques et risques technologiques », Jean-Luc Chabot, Hervé Challiol.
- Kaplan E.L., Garrick B.J. (1981), *On the Quantitative Definition of Risk*, Risk Analysis, 1, 11-27, 1981.
- Kermisch Céline (2011), *Le concept de risque – De l'épistémologie à l'éthique*, Collection SRD, Lavoisier, Editions Tec&Doc.
- Kervern G-Y., Rubise P. (1991), *L'archipel du danger – Introduction aux cindyniques*, Paris, Economica.
- Lannoy A. (1984), *Analyse des explosions air-hydrocarbure en milieu libre*, Electricité de France, Série Nucléaire-Hydraulique-Thermique, n°4.
- Lannoy André (2008), *Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement – Repères historiques et méthodologiques*, Lavoisier, Editions Tec&Doc, 2008.
- Lannoy A. (2013), *Danger ou risque: quelle(s) différence(s)?*, Document IMdR, 05 janvier 2013.

Quelques références (3)

- Lannoy A. (2013), *Le risque acceptable: panorama des méthodes existantes pour le déterminer*, document IMdR (www.imdr.eu), février 2013.
- Lannoy A., Procaccia H. (2014), *Expertise, safety, reliability, and decision making: practical industrial experience*, Environment Systems & Decisions, Volume 34 Number 2: 259-276, june 2014, Springer.
- Lemaire M. (2014), *Mécanique et incertain*, Collection Génie mécanique et mécanique des solides, iSTE Editions, Wiley.
- Montmayeul René (2013), *L'accident de l'usine chimique de Flixborough*, La mémoire vivante des catastrophes, Editions Préventique, Bordeaux.
- Procaccia Henri (2009), *Introduction à l'analyse probabiliste des risques industriels*, Lavoisier, Editions Tec&Doc.
- Taleb Nassim Nicholas (2010), *Le cygne noir – la puissance de l'imprévisible*, Les Belles Lettres, Paris.
- US NRC (1975), *Reactor Safety Study: an Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants*, **WASH-1400**, NUREG675/014, 1975.
- US NRC (1983), *PRA Procedures Guide*, NUREG/CR-2300, 1983.
- Villemeur Alain (1988), *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*, collection de la direction des études et recherches d'Electricité de France, 67, Eyrolles.