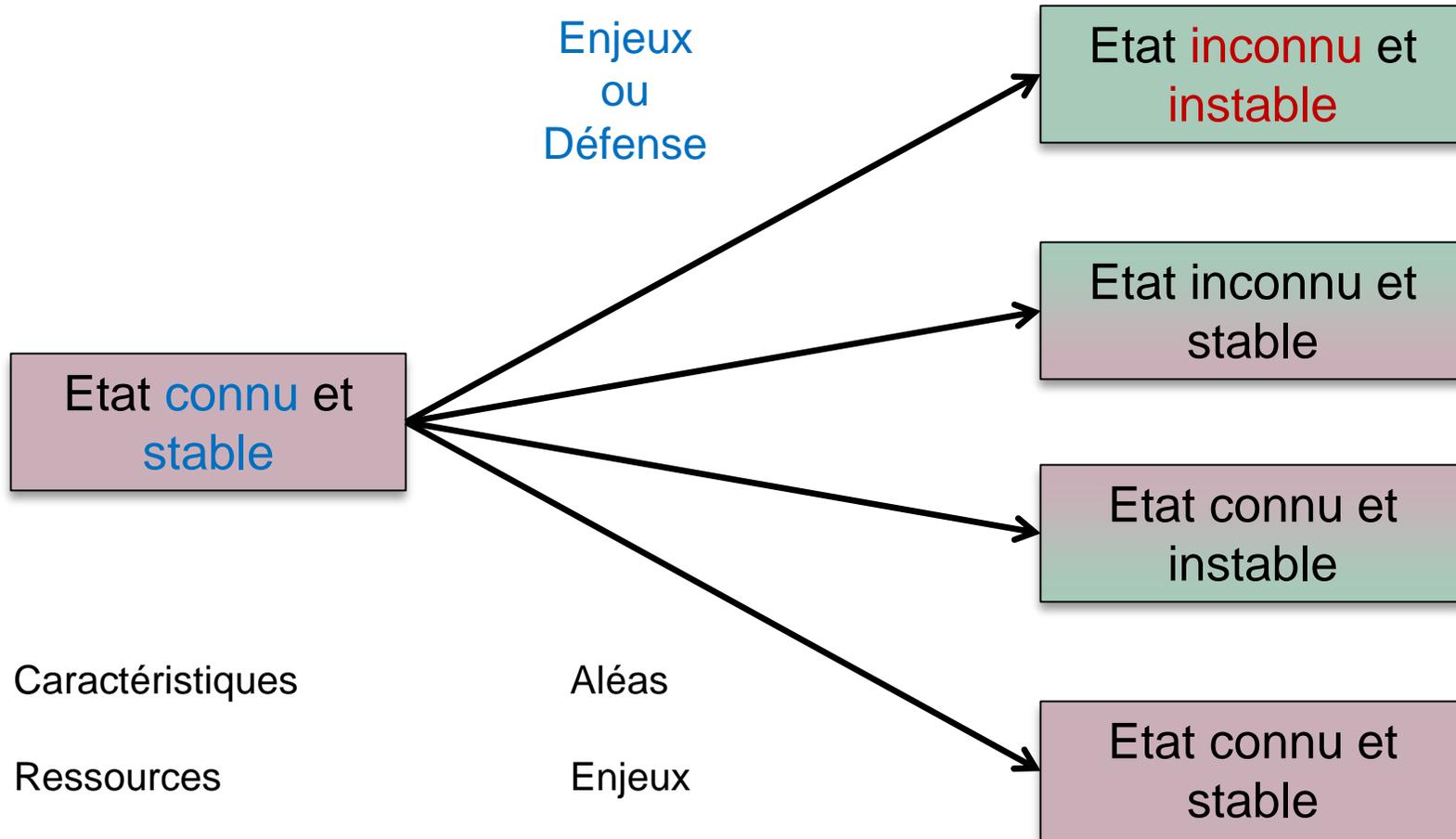


INTRODUCTION À L'ANALYSE ET LA GESTION DES RISQUES

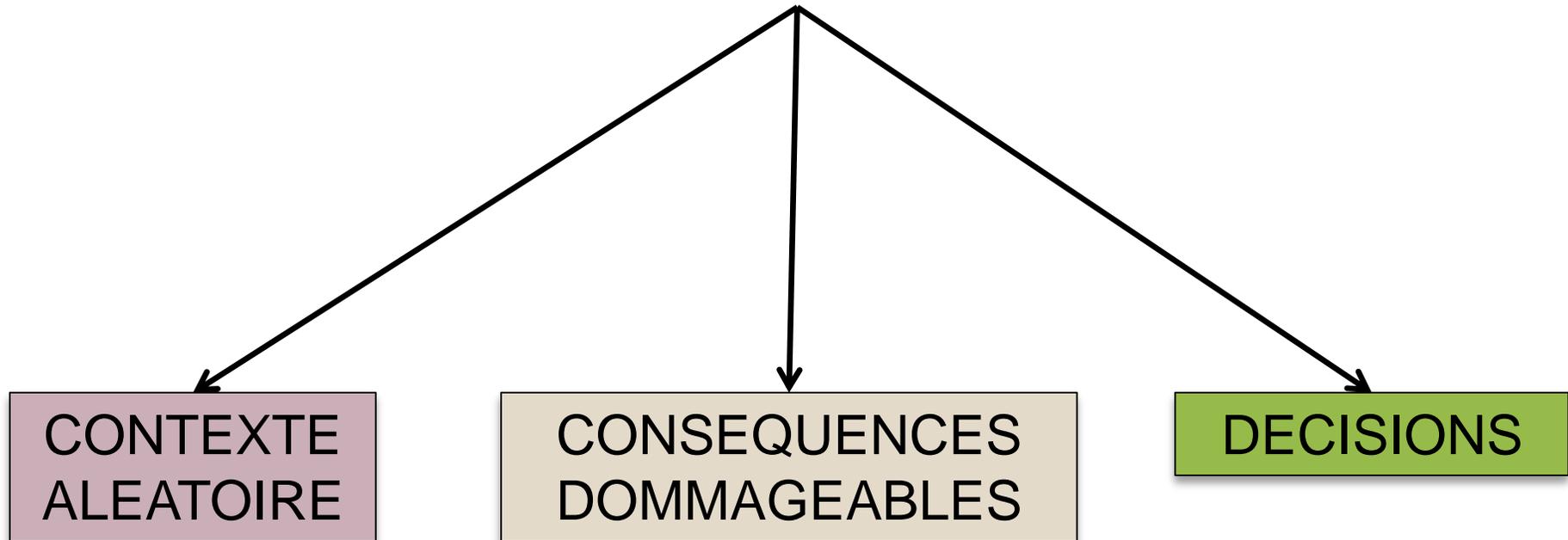
sebastien.delmotte@centralesupelec.fr



1- GENÈSE DU RISQUE



ACTIVITE A RISQUES ?





2- DÉCISION ET RISQUE

Prendre un Risque

c'est saisir une opportunité

et/ou s'exposer à un danger



Relativement à une activité,

une ***Décision*** est,

un choix comportant un **risque**,

parmi plusieurs *actions alternatives* possibles



Toute décision induit une prise de risque

Mais... l'absence de décision aussi...

Le rôle du décideur consiste à faire un choix

... et à en assumer les conséquences (risque induit)

RISQUE POSITIF ← OPPORTUNITE (intérêt et curiosité)

- *Il existe un enjeu qui justifie la prise de risque*

Un **bénéfice** peut être tiré mais une perte existe

Le risque peut être pris si et seulement si le bénéfice est supérieur à la perte

RISQUE NEGATIF ← DANGER (méfiance et peur)

- *Il n'existe pas d'enjeu qui justifie la prise de risque*

Aucun bénéfice ne peut être tiré mais une perte existe

Le risque est subi

➤ **Décisions stratégiques:** *impactant la politique (commerciale, financière,...) de l'activité*

- Décider de lancer un nouveau produit
- Décider de développer un réseau commercial à l'étranger

➤ **Décisions tactiques:** *impactant les décisions stratégiques*

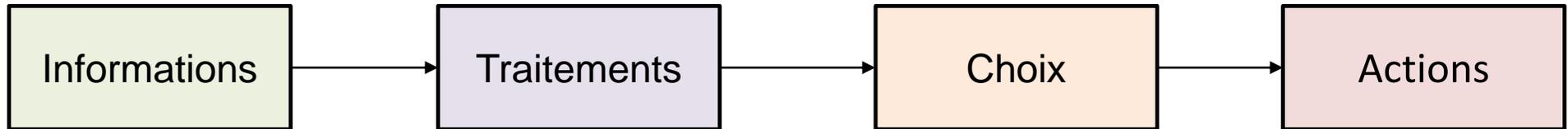
- Décider des actions à entreprendre pour développer ce réseau
- Décider de la procédure de recrutement des agents commerciaux

La tactique est l'art d'utiliser au mieux les moyens humains et logistiques pour atteindre les objectifs stratégiques

➤ **Décisions opérationnelles:** *impactant les décisions tactiques ou récurrentes*

- Le fournisseur de cartons d'emballage décide d'augmenter ses tarifs de 30%. Faut-il accepter, négocier ou changer de fournisseur?

Le processus de décision



SCENARIO DECISIONNEL	SOURCE D'INCERTITUDE OU D'ERREUR
INFORMATIONS	<ul style="list-style-type: none"> - Informations insuffisantes, biaisées ou erronées... - Informations trop nombreuses ou trop complexes... - Evolutions des conditions initiales (internes ou externes)... - Malveillance...
TRAITEMENTS	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle représentatif inadapté ou erroné - Corrélations sans causalité - Non prise en compte de l'ensemble des informations... - Mauvaise interprétation...
CHOIX	<ul style="list-style-type: none"> - Préférence a priori (jugement hâtif)... - Mauvaise présentation des résultats (confuse, complexe) ... - Mauvaise interprétation des résultats ou des recommandations... - Non prise en compte de l'ensemble des recommandations,,, - Mauvaise appréciations des pondérations...
ACTIONS	<ul style="list-style-type: none"> - Procédure incomplète ou mal adaptée ou trop complexe... - Mauvaise formation... - Erreur d'appréciation...

Le forage de pétrole

- **Incertitudes :**

- *coût du forage...*
- *importance du gisement ou du gaz sur le site...*
- *coût du pompage du pétrole...*
- *évolution des prix du marché*

- **Connaissances disponibles :**

- informations objectives sur des forages effectués dans le même bassin
- analyse des caractères propres du site de forage

- **Expériences pour acquisition d'informations complémentaires :**

- sondages sismiques pour obtenir d'autres informations sur la structure géophysique
(*coût important*)

- **Stratégies possibles :**

- 1 - Ne pas forer
- 2 - Ne pas effectuer de sondage et forer
- 3 - Effectuer des sondages et les analyser et forer si les résultats sont positifs



3 – NOTIONS DE GOUVERNANCE ET DE GESTION DES RISQUES

➤ JUSTIFICATION DE LA PRISE DE RISQUE

❑ Pourquoi prendre un risque?

Quel bénéfice peut-on en tirer?

❑ Jusqu'où doit-on le prendre?

A partir de quel seuil devient-il inacceptable?

Seuil à partir duquel la perte est supérieure au bénéfice

❑ Qui doit prendre le risque?

La gouvernance du risque est à la fois:

- le **processus de décision** relatif à l'acceptation de la prise d'un risque, qu'il soit **spéculatif** ou non
- l'**entité** qui réalise ce processus de décision et qui en porte la **responsabilité**

C'est la valeur d'un risque résultant d'une **décision explicite**
établie de **façon objective**
par comparaison avec des risques connus et admis,
naturels ou technologiques,
dans certaines branches d'activités

IL EST ASSOCIE A UNE ECHELLE DE VALEURS.

Il est conforme aux objectifs du référentiel d'acceptabilité, accepté en l'état ou suite à la mise en œuvre de mesures appropriées

On parle aussi de **risque admissible** ou de **risque limite** (qui n'est, dans certains secteurs d'activité, qu'acceptable temporairement)

Le risque acceptable peut varier :

- d'une époque à l'autre
- d'un pays ou d'une culture à l'autre

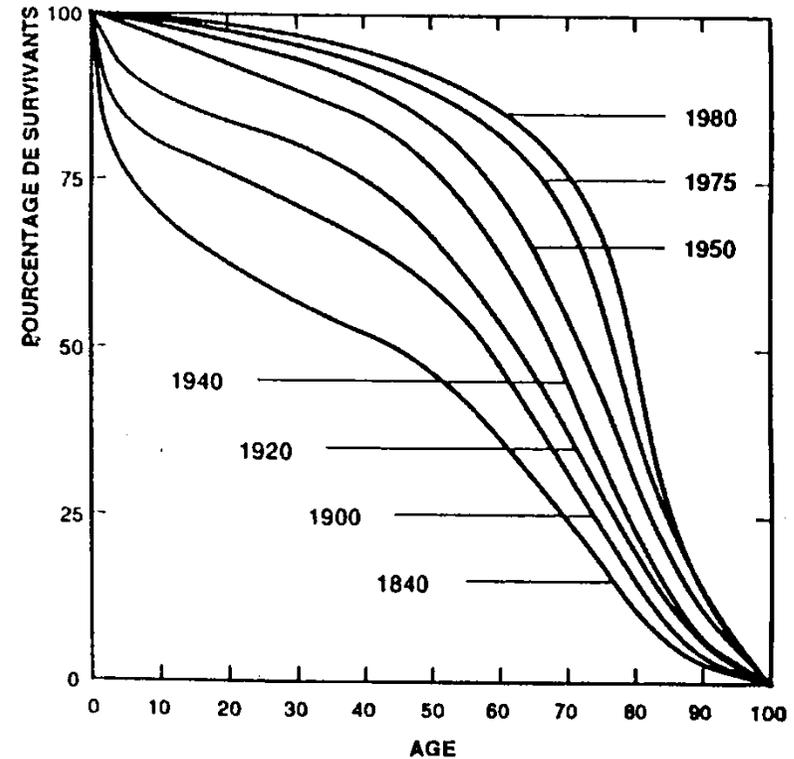
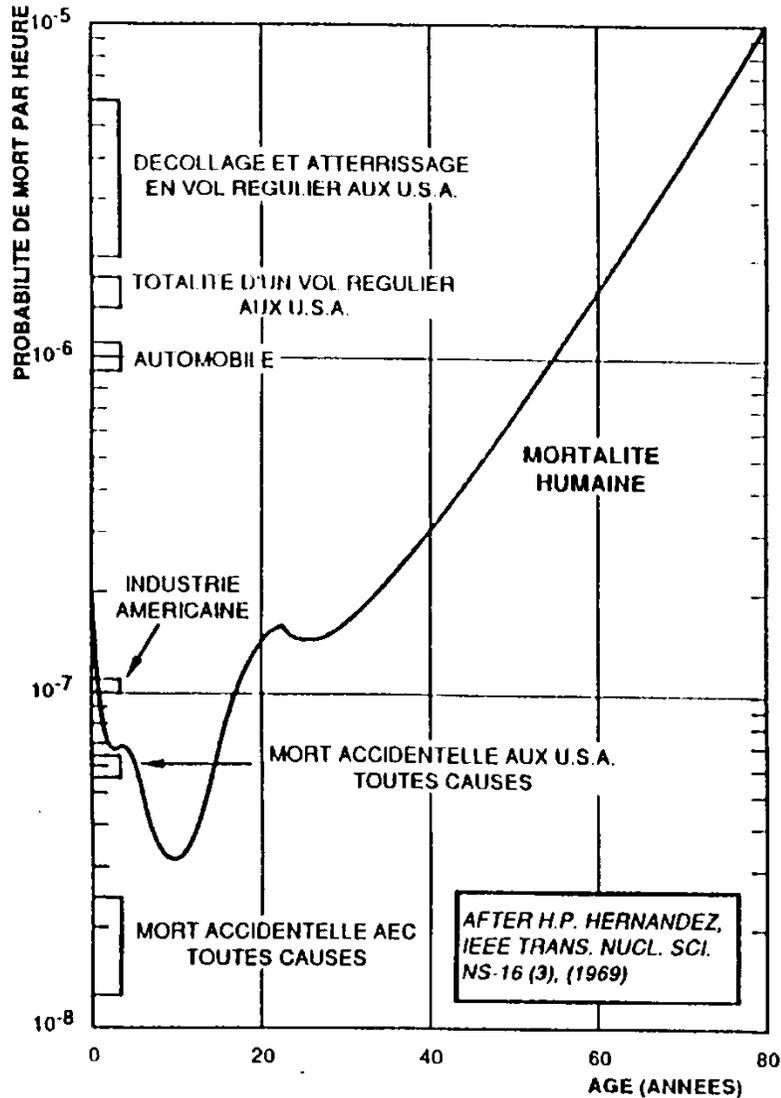
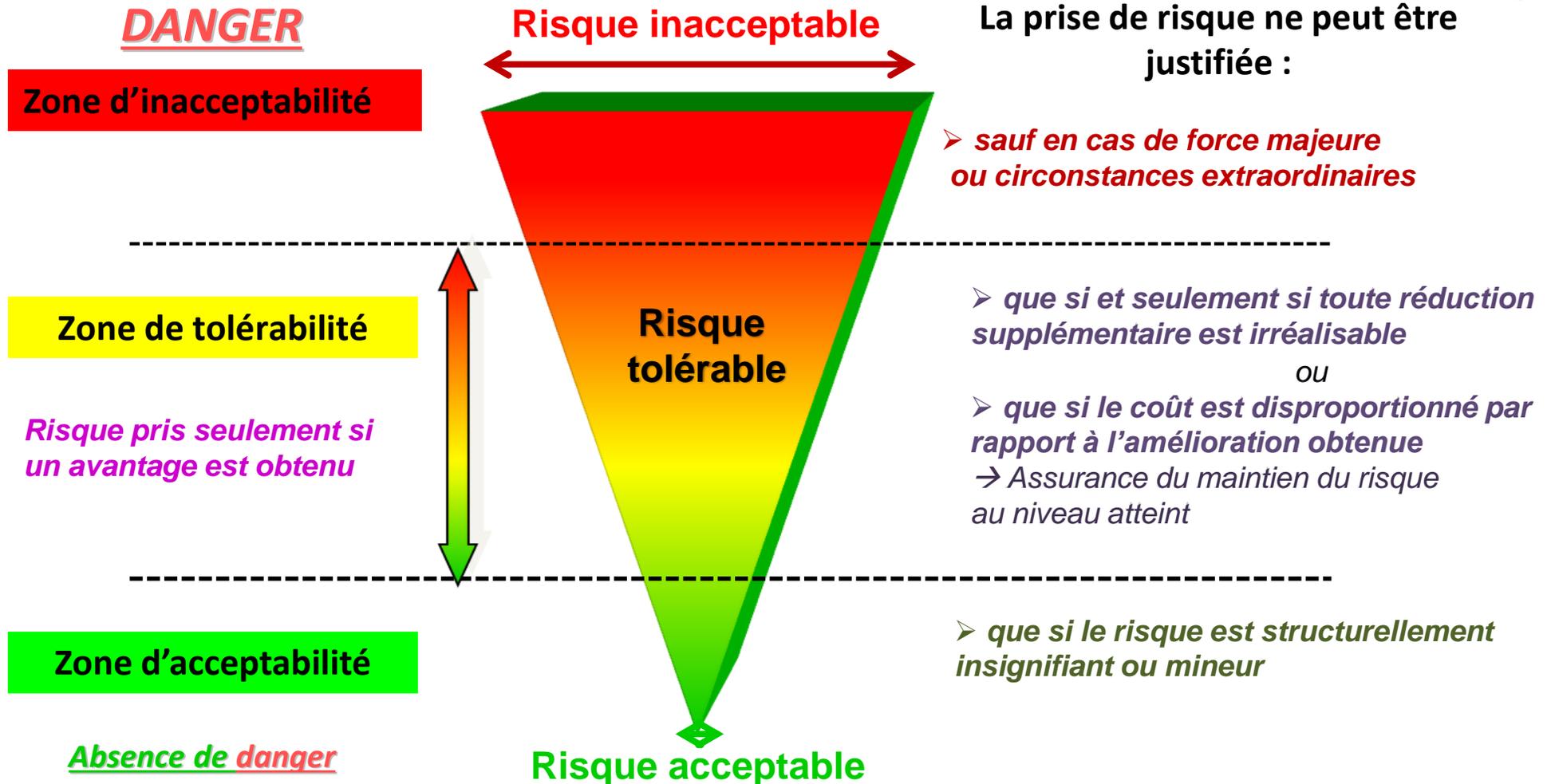


Table de mortalités



- Quels sont les risques de l'activité?
- Comment diminuer ces risques pour les rendre tolérables ou acceptables?
- Comment gérer les risques résiduels pour garantir leur acceptabilité?

Management Vs Gestion ?

➤ **Gestion *a priori***

Analyses : AGR, AMDEC, modélisation prédictive...

➤ **Gestion opérationnelle**

Contrôles : Vigilances, réseaux sentinelles, surveillance...

➤ **Gestion *a posteriori***

REX / RETEX, revue morbidité-mortalité...

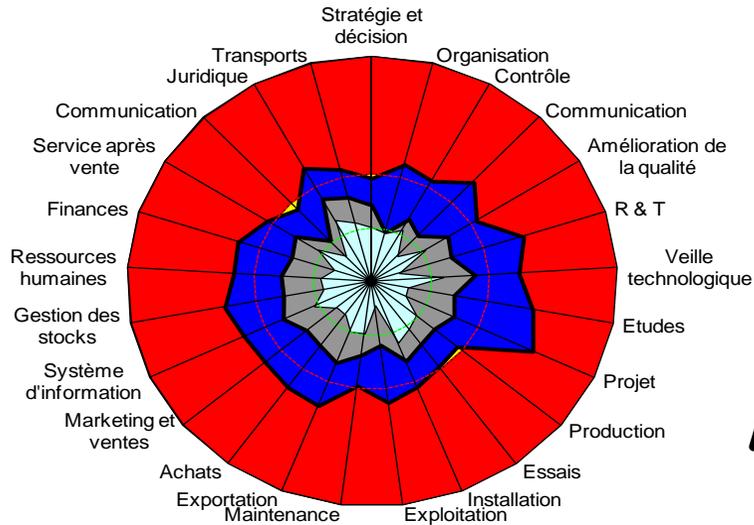
Analyse, évaluation et des gestion des risques

- ayant un impact sur la mission du système
- ayant un impact sur l'intégrité du système

Emboitement des activités à risques

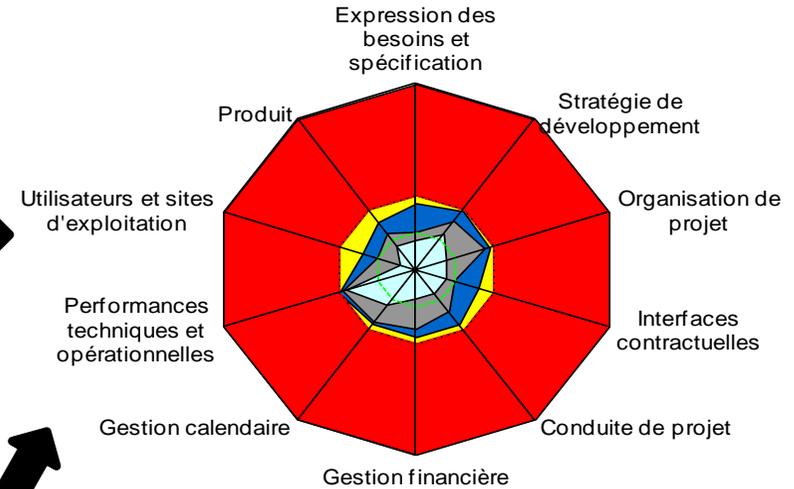


Cartographie des risques Entreprise



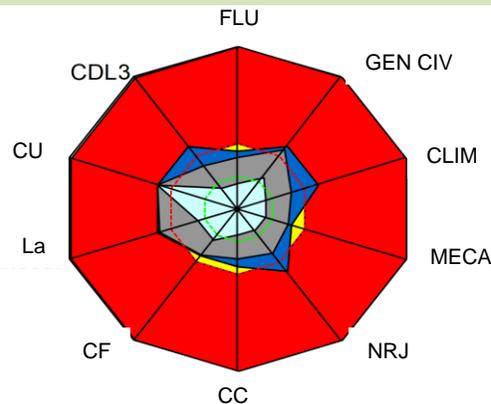
Objectifs de résultats et de pérennité de l'entreprise

Cartographie des risques Projet



Objectifs de performance et de sécurité du produit en cours de développement, ainsi que les objectifs de coûts et de délais de réalisation du projet

Cartographie des risques Produit

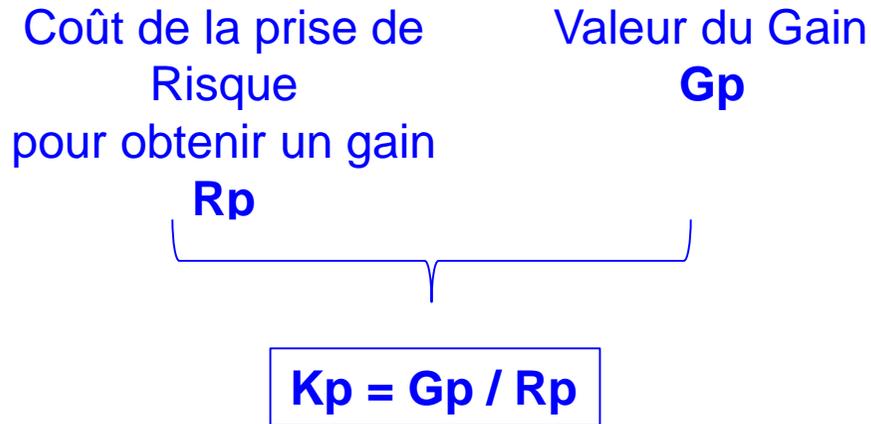


Objectifs de performance, de disponibilité et de sécurité

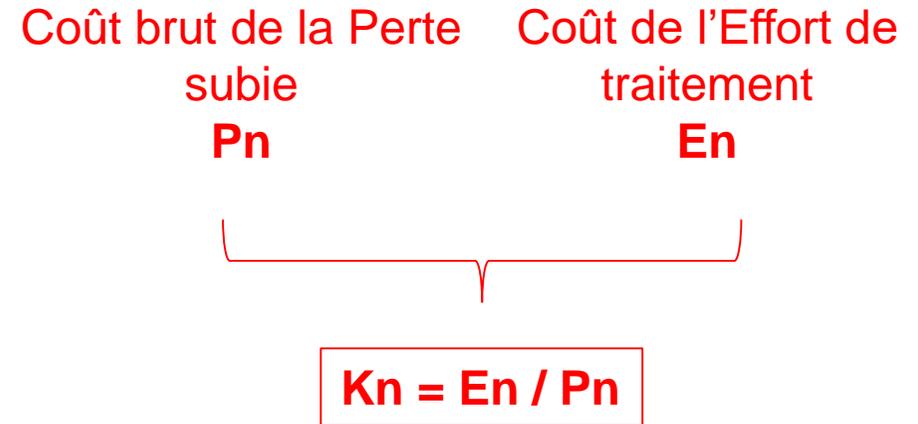


4- NOTIONS DE FINANCEMENT DU RISQUE

Risques positifs



Risques négatifs



Trois cas sont à considérer

$Kp > 1$ → Le risque mérite d'être pris

$Kp = 1$ → Il n'y a aucun bénéfice à prendre le risque

$Kp < 1$ → Le risque ne doit pas être pris

$Kn > 1$ → La décision de traiter le risque n'est
« systématiquement » pas à prendre

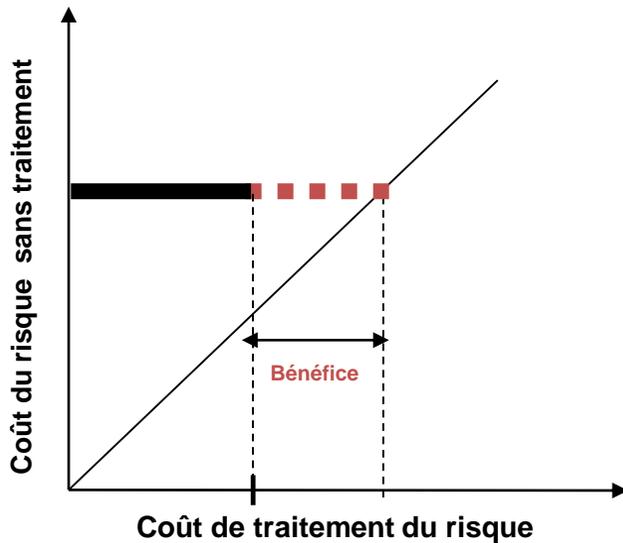
$Kn = 1$ → Il n'y a aucun intérêt à traiter le risque

$Kn < 1$ → La décision de traiter le risque est à
prendre

Rapport coût / risque Kn

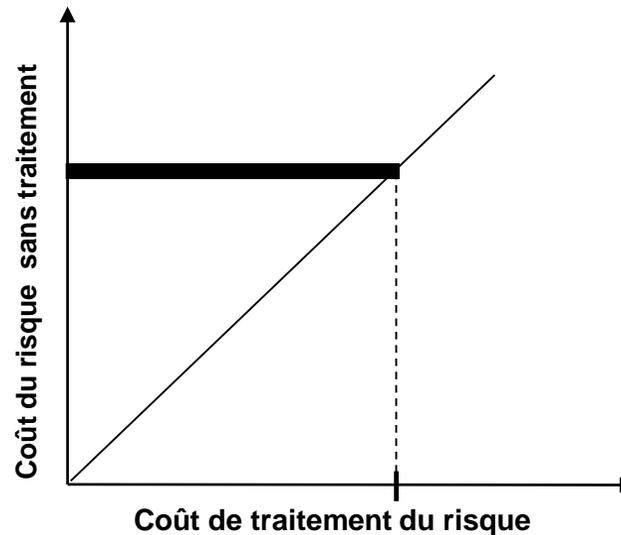
Coût de traitement du risque
<
Coût du risque sans traitement

$$Kn < 1$$



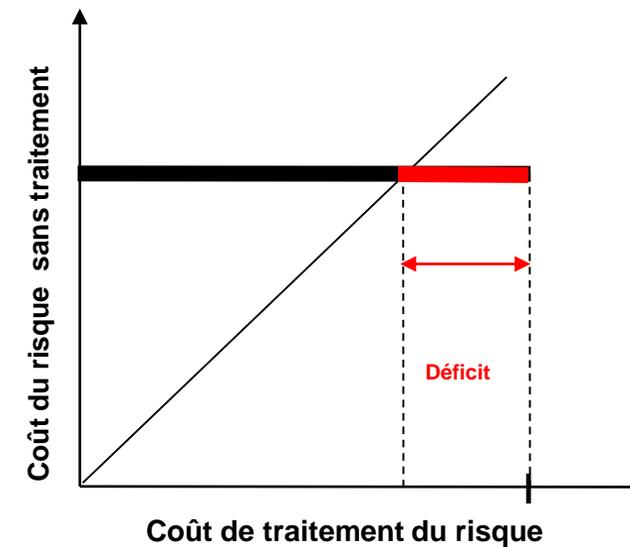
Coût de traitement du risque
=
Coût du risque sans traitement

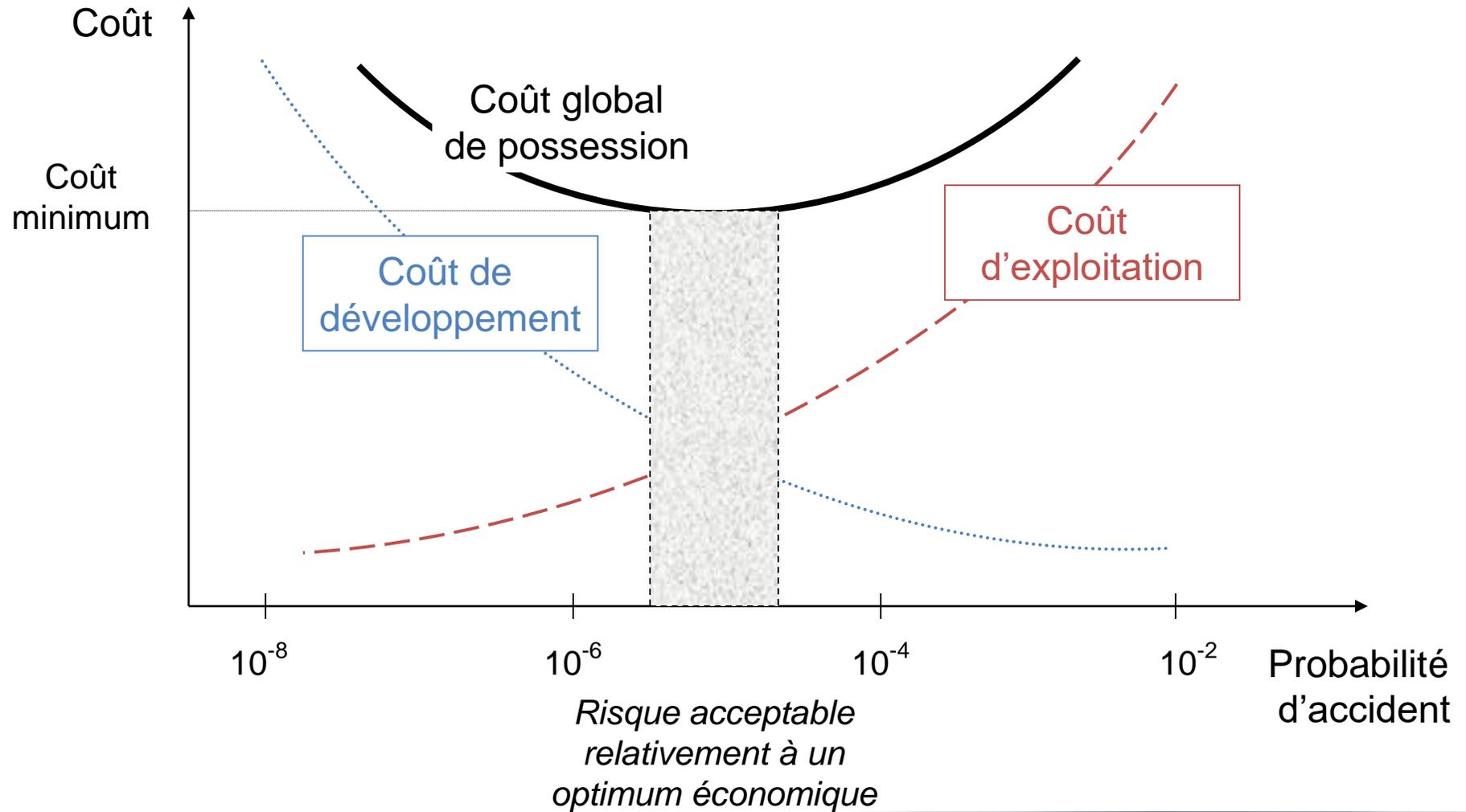
$$Kn = 1$$



Coût de traitement du risque
>
Coût du risque sans traitement

$$Kn > 1$$







1- Toute **prise de risque** doit être associée à une évaluation du bénéfice escompté par rapport à la perte subie correspondant au « prix à payer » sans action consécutive

De façon qualitative, à « bénéfice » est associé le mot « avantage » et à « perte » le mot « inconvénient »

2- Le **financement de risque** doit être prévu en début d'activité pour:

- réduire les risques *a priori* liés aux aléas des environnements externes mais aussi pour les risques internes générés par l'activité, en finançant les actions qui en découlent
- contrôler les risques résiduels *a posteriori* en finançant les ressources humaines et techniques nécessaires à la poursuite de l'activité
- transférer les risques résiduels en terme d'assurance

Le financement du risque est de la responsabilité de la gouvernance



3- La **décision de financement** est acceptable ou équitable si:

- la perte associée à la prise volontaire ou involontaire de risque n'est pas supérieure au gain attendu
- le coût du traitement du risque n'est pas supérieur au coût du risque encouru, sans traitement

La décision du financement du risque est de la responsabilité de la gouvernance

4- **Avant toute décision**, la réponse aux questions suivantes doit être donnée:

- a) Le bénéfice *a priori* escompté de la prise de risque est-il supérieur à la perte potentielle *a posteriori*?
- b) Le coût du traitement du risque est-il supérieur au coût de la perte consécutive en n'agissant pas?
- c) Le coût du traitement du risque est-il inférieur au coût brut des pertes associées aux dommages et aux préjudices?



5-ASPECTS CONCEPTUELS DU RISQUE

Un **système** est un ensemble d'éléments

- *naturels*
- *humains, sociaux*
- *techniques, matériels, logiciels*
- *financiers, commerciaux*

en **interaction**,

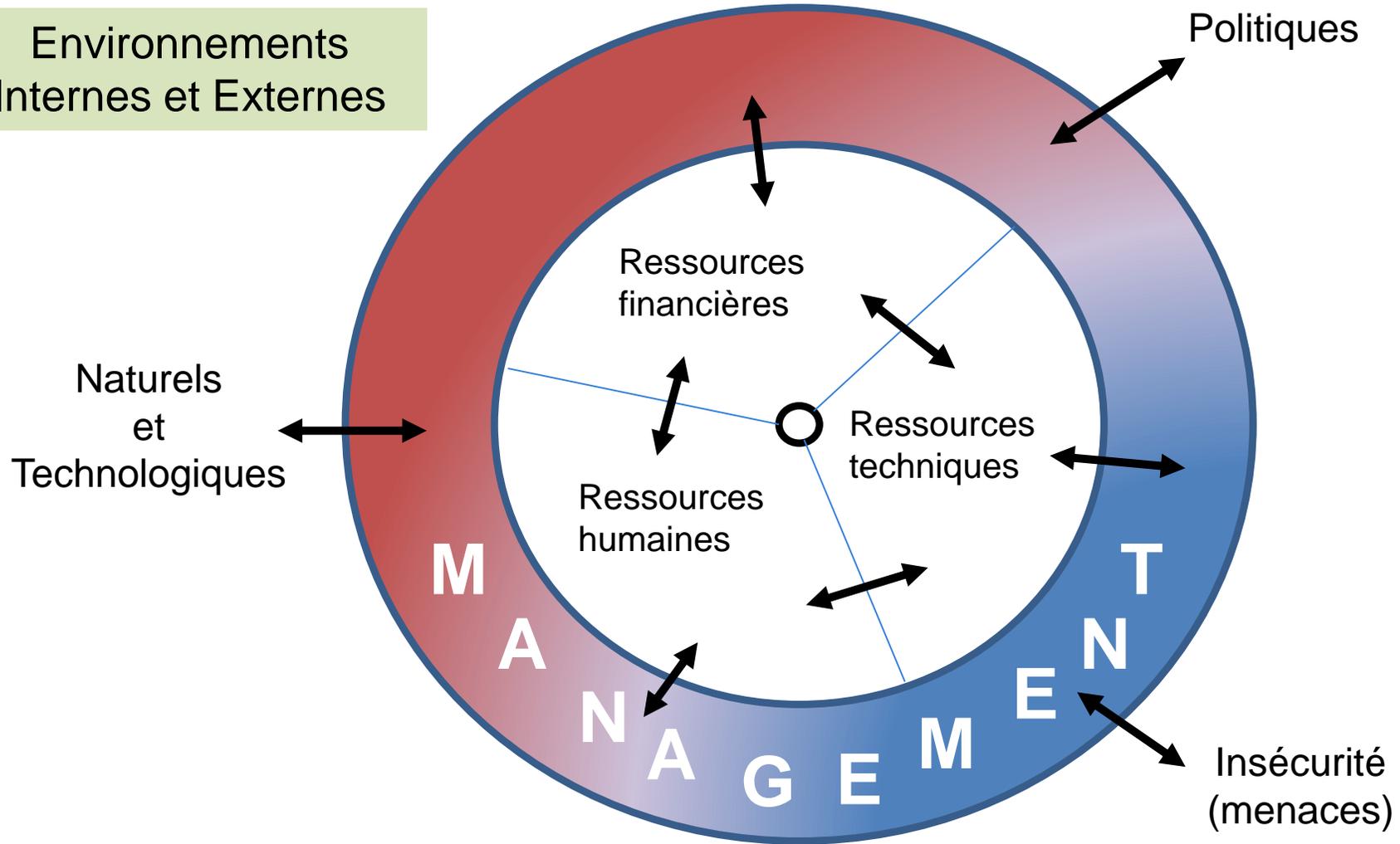
organisés pour remplir une **activité** donnée

*et atteindre des **objectifs** ...*

*... dans des **conditions données** (délais, financières, environnements...)*

Une activité est un système

Environnements
Internes et Externes



POTENTIEL

Le potentiel caractérise à la fois la nature, l'intensité et la probabilité d'occurrence du danger (ou de la menace)

DANGER vs MENACE?

- Le **danger** est caractérisé par un potentiel aléatoire
 - La **menace** est caractérisée par un potentiel déterministe

DANGER OU MENACE:

Potentiel de *dommage* ou de *préjudice* portant atteintes aux personnes, aux biens, ou à l'environnement

- ✓ **Objet (matériel, biologique...):** Couteau, machine tournante, virus, etc.
- ✓ **Substance:** Produit toxique, gaz inflammable, gaz radioactif, etc.
- ✓ **Phénomène:** Inondation, foudre, canicule, changement climatique, réaction chimique, etc.
- ✓ **Processus:** erreurs de décision, d'organisation, de stratégie, de diagnostic, de procédure, etc.

Le danger est inhérent à l'environnement externe ou interne au système. Il existe en dehors de toute exposition du système.

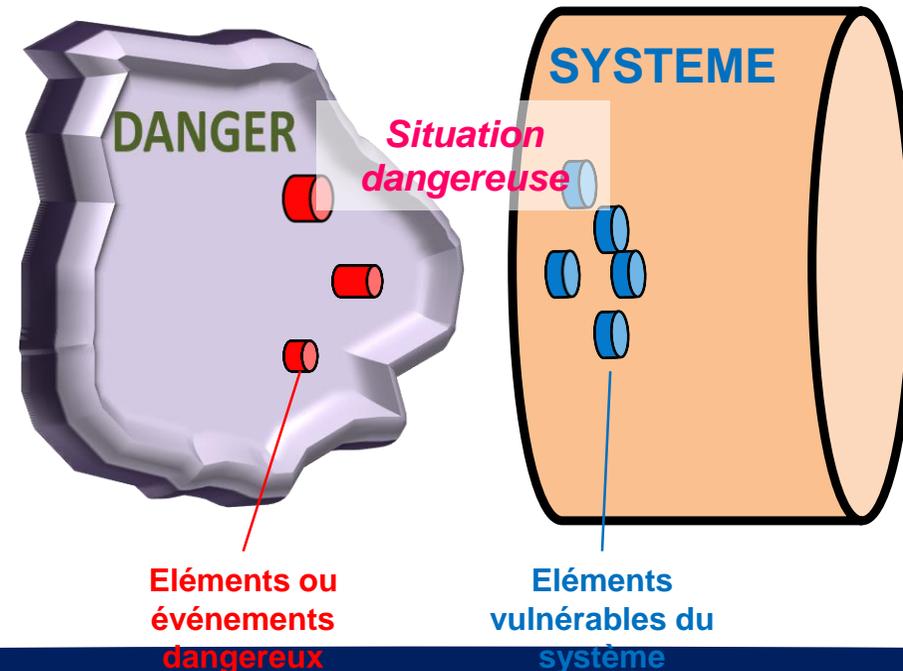
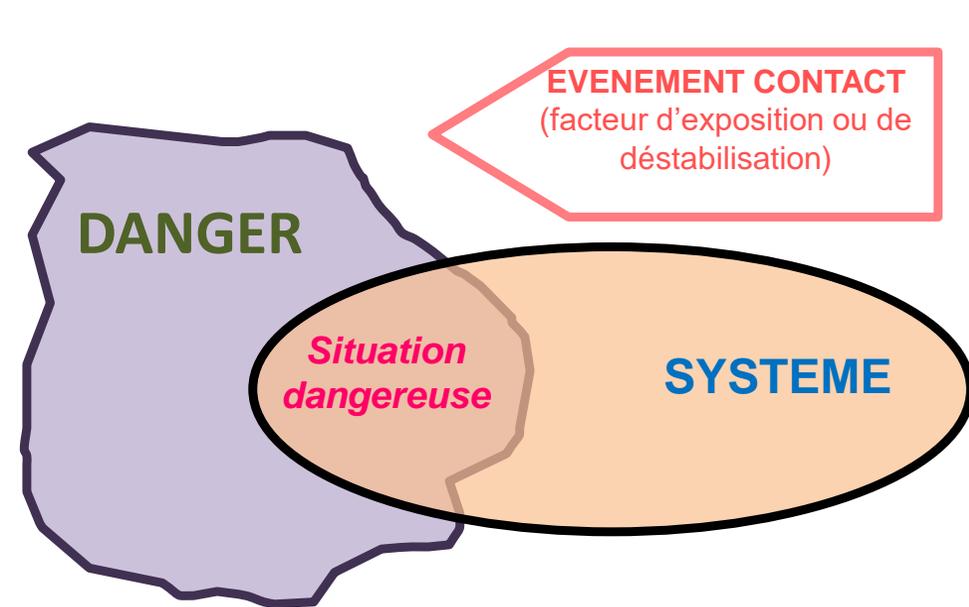
Événement dangereux: *Événement associé à l'occurrence d'un danger*

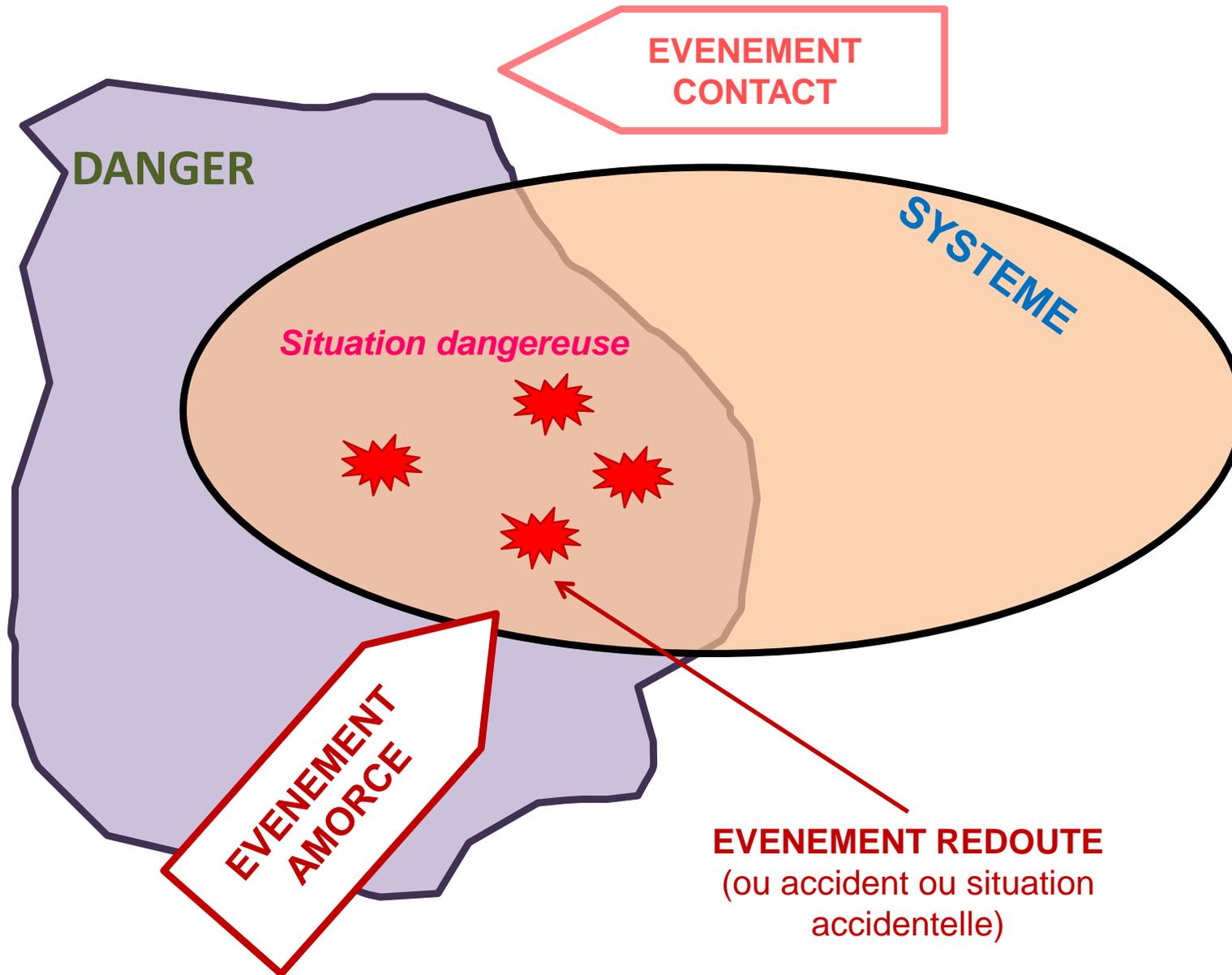
Élément dangereux: *Élément d'un système ou de son environnement présentant un danger*

SITUATION DANGEREUSE:

Etat d'un système en *présence* de danger ou de menace

Cet état a pour origine l'occurrence d'un événement appelé **événement contact (EC)** qui crée l'exposition, directe ou indirecte, totale ou partielle, des **éléments vulnérables ou sensibles du système**





- Evénements programmés ou attendus
- Evénements non programmés ou non attendus





Événement indésirable (inquiétude):

Événement susceptible de causer une perturbation du système par sa nature ou sa seule occurrence

Événement redouté (peur):

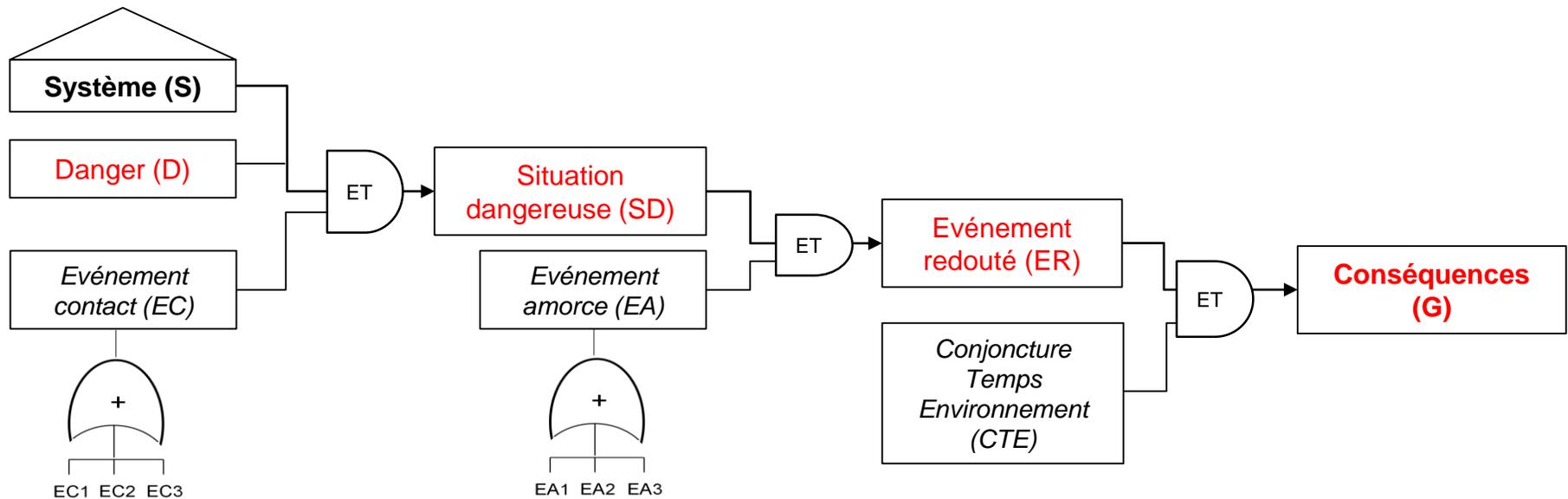
Événement indésirable susceptible de causer un dommage ou un préjudice système par le niveau de dangerosité qu'il véhicule

Accident:

Événement redouté correspondant à:

- la mort, invalidité ou blessure grave aux personnes ou
- la destruction partielle ou totale du système ou
- l'atteinte grave à son environnement

Enchaînement ou combinaison d'événements aboutissant à un accident (ou ER ou EI)

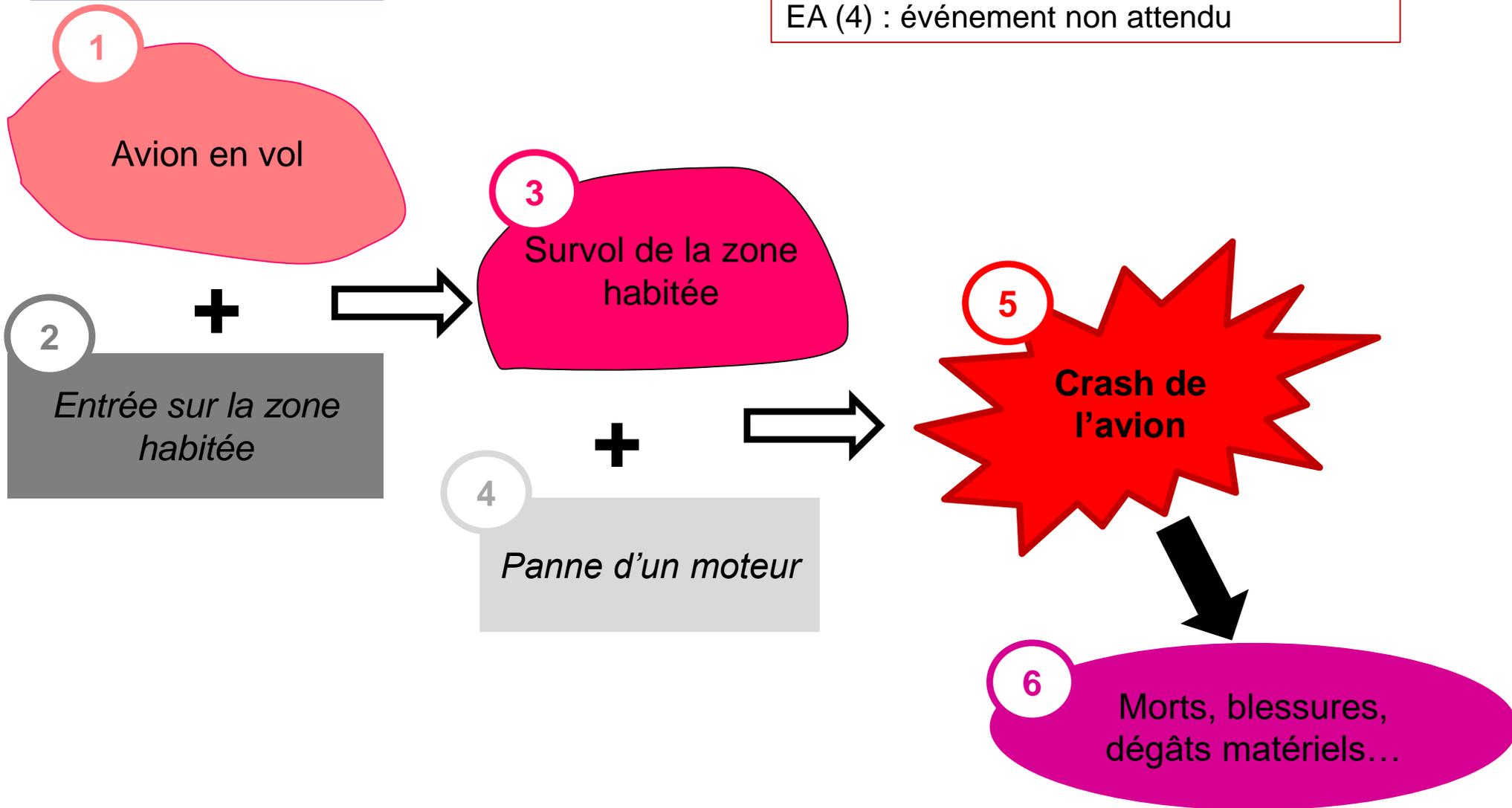


Scénario d'accident



Zone d'habitation

EC (2) : événement programmé et attendu
EA (4) : événement non attendu

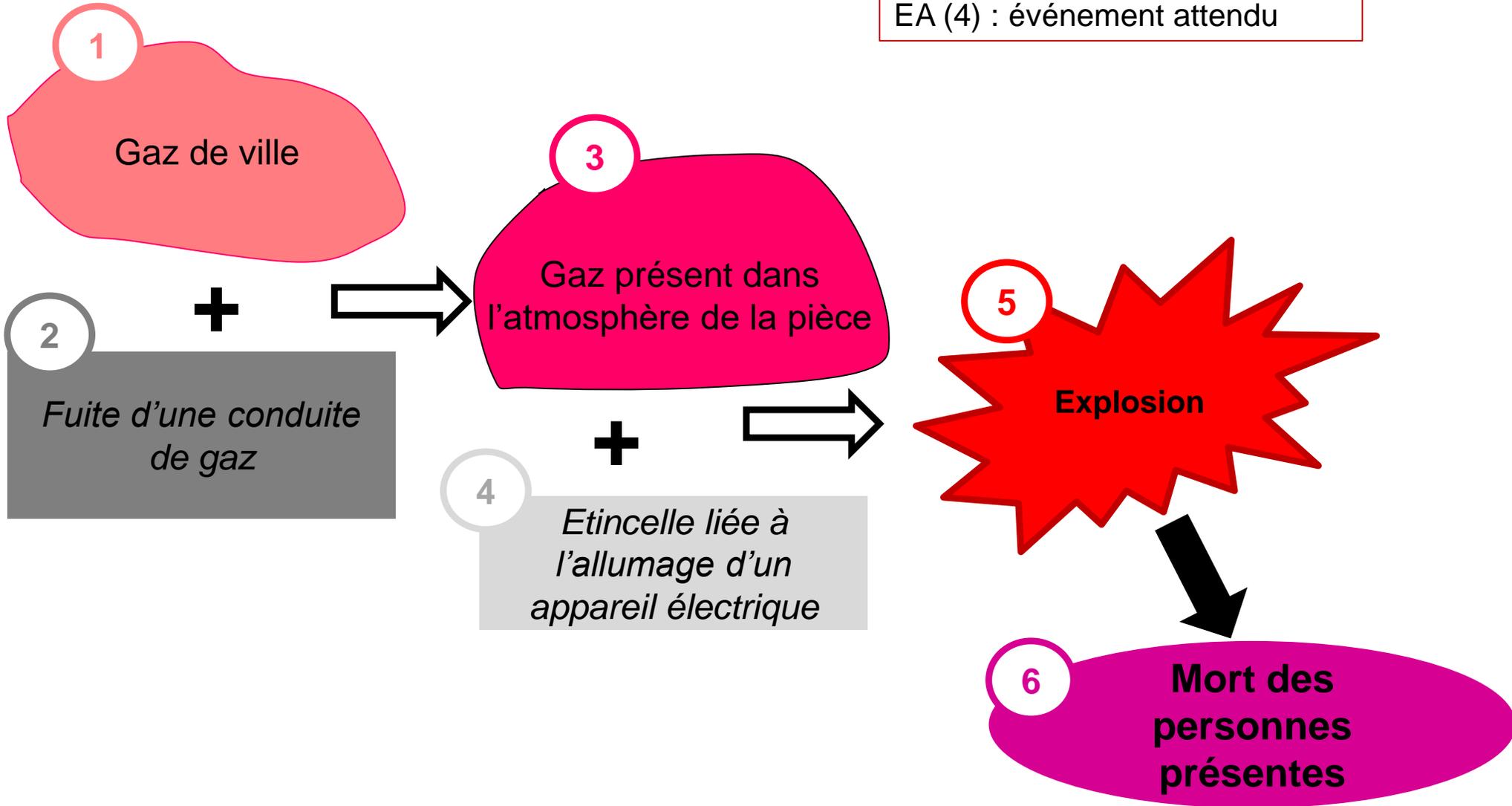


Scénario d'accident



Local fermé

EC (2) : événement non attendu
EA (4) : événement attendu

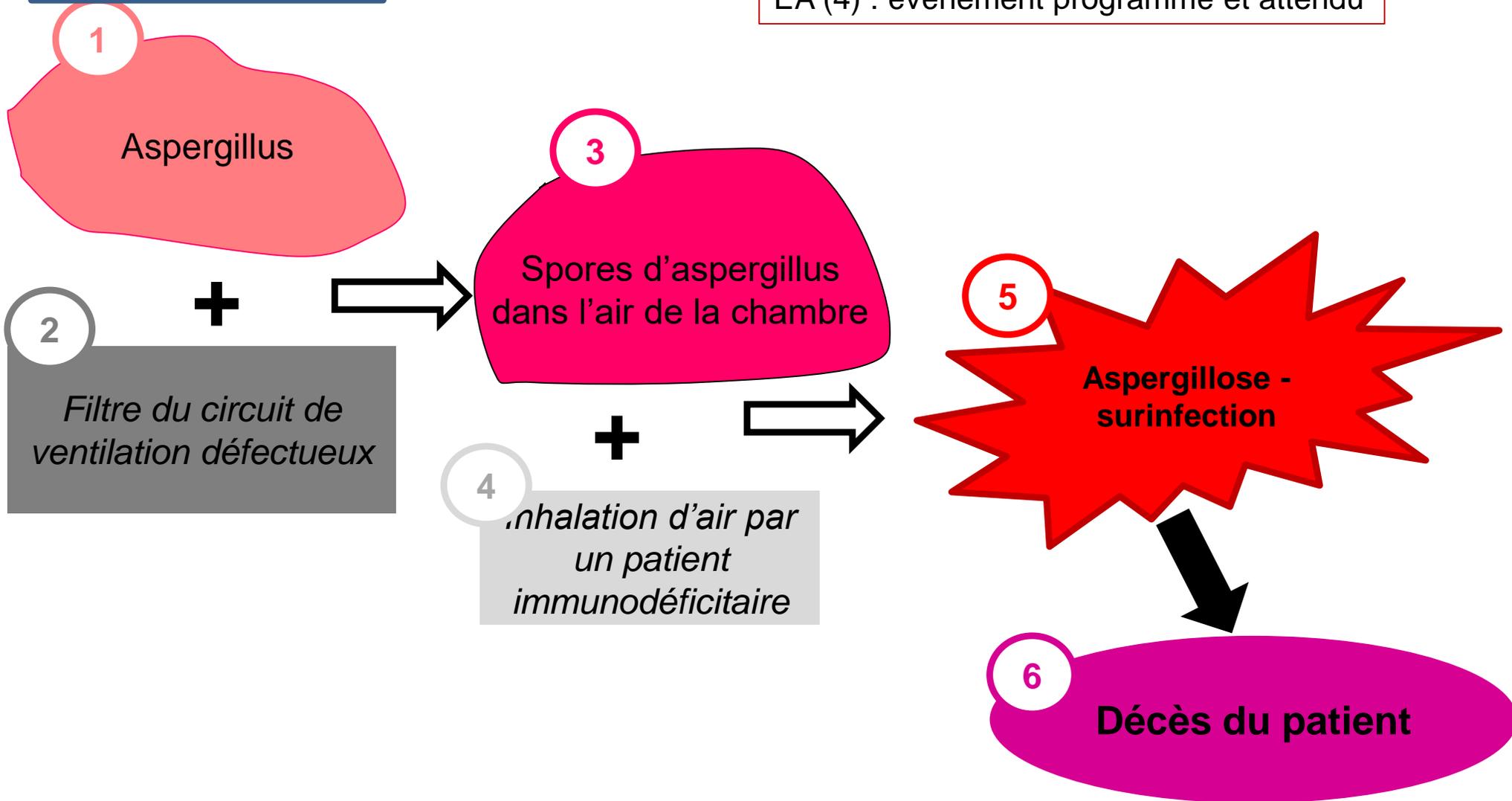


Scénario d'accident



Patient dans sa chambre

EC (2) : événement non attendu
EA (4) : événement programmé et attendu

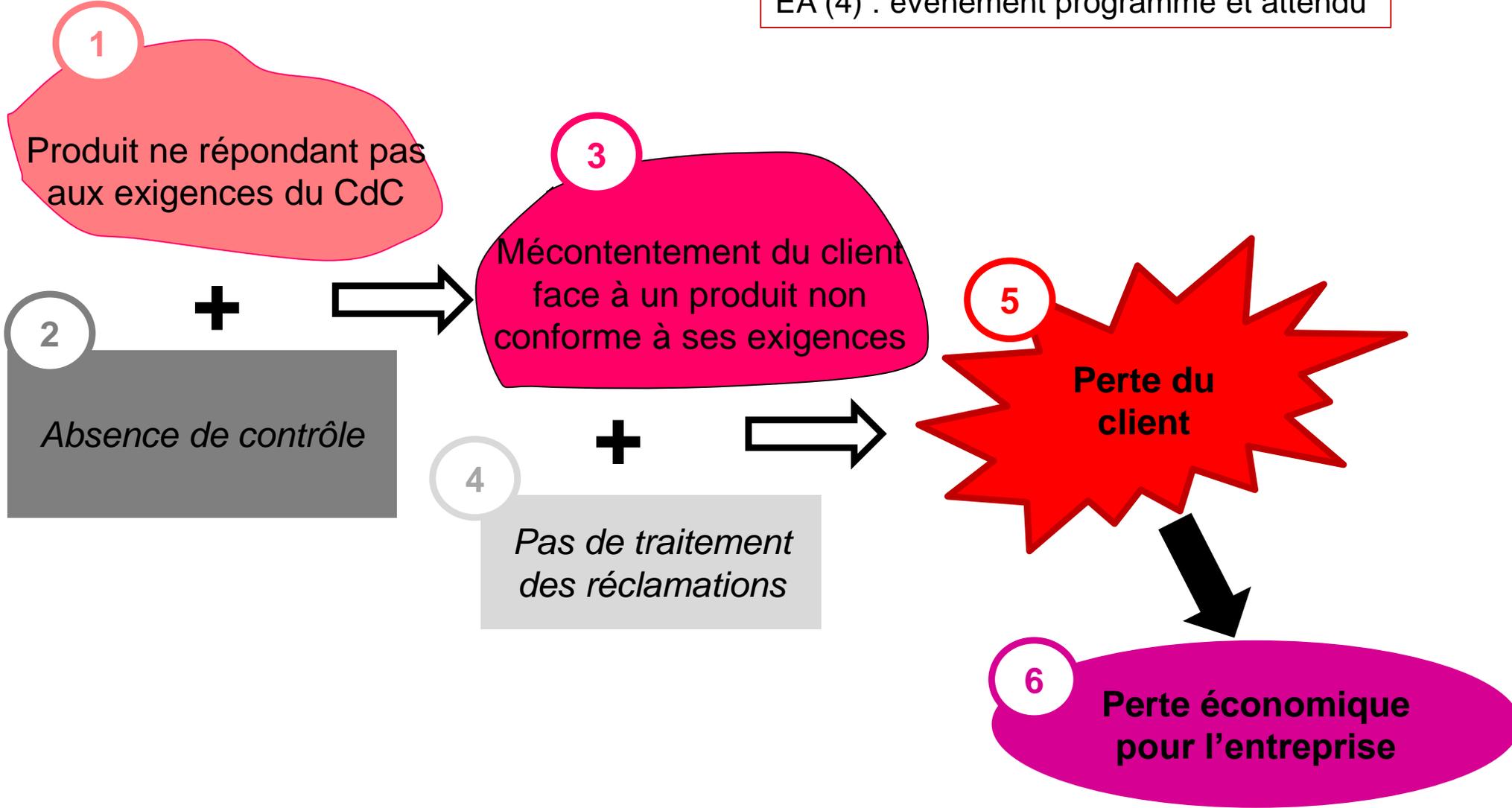


Scénario d'accident

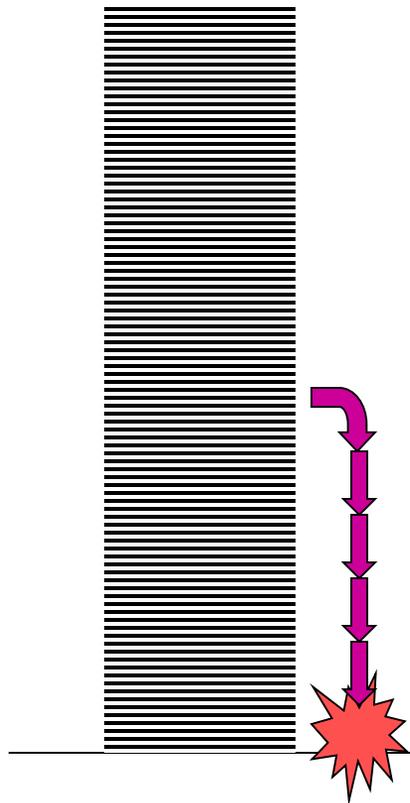


Production

EC (2) : événement programmé et attendu
EA (4) : événement programmé et attendu



EXEMPLE : *Ecrasement suite à une chute depuis le haut d'un immeuble*



1

DANGER : *Energie potentielle*

2

EVENEMENT CONTACT → : *Ascension par l'escalier ou l'ascenseur*
augmentation de l'énergie potentielle

3

SITUATION DANGEREUSE : *Valeur critique de l'énergie potentielle*

4

EVENEMENT AMORCE → : *Chute*
libération " incontrôlée" de l'énergie potentielle

5

ACCIDENT → : *Choc*
absorption brutale de l'énergie potentielle

6

CONSEQUENCES : *Dommages corporels*



Facteur de risque

Événement interne ou externe au système contribuant à:

- *favoriser l'occurrence d'un risque (danger, événement contact, événement amorce)*
- *à augmenter sa vraisemblance et sa gravité*
- *à augmenter la propagation du scénario conduisant à l'événement redouté*

Barrière de sécurité

Artifice matériel, humain ou logiciel permettant d'arrêter ou de limiter la propagation d'un scénario d'accident

Risque associé à l'occurrence d'un événement indésirable ou redouté

Mesure de la situation dangereuse ou accidentelle

Grandeur à deux dimensions notée (p,g) associée à l'occurrence d'un événement indésirable ou redouté noté E

où

g est la valeur de la **gravité G des conséquences** de l'événement E en terme de dommage ou de préjudice ou d'écart à un résultat attendu

p est la **probabilité** qui mesure l'incertitude (sur le dépassement) de g

$$\text{tel que } p = \Pr(G \geq g)$$

Ces deux composantes du risque sont **INDISSOCIABLES**.

Selon la norme **ISO31000**, le risque est défini comme ***l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs***

⇒ Risque négatif (perte)

⇒ Risque positif (gain)



Perception des risques

Appréciation subjective des composantes **p** et/ou **g** du risque

(g, p_{\downarrow})

(g^{\uparrow}, p)

Corrosion (sociale) du risque: perception du risque par la seule composante probabilité sous-estimée

$(g, p_{\downarrow \varepsilon})$

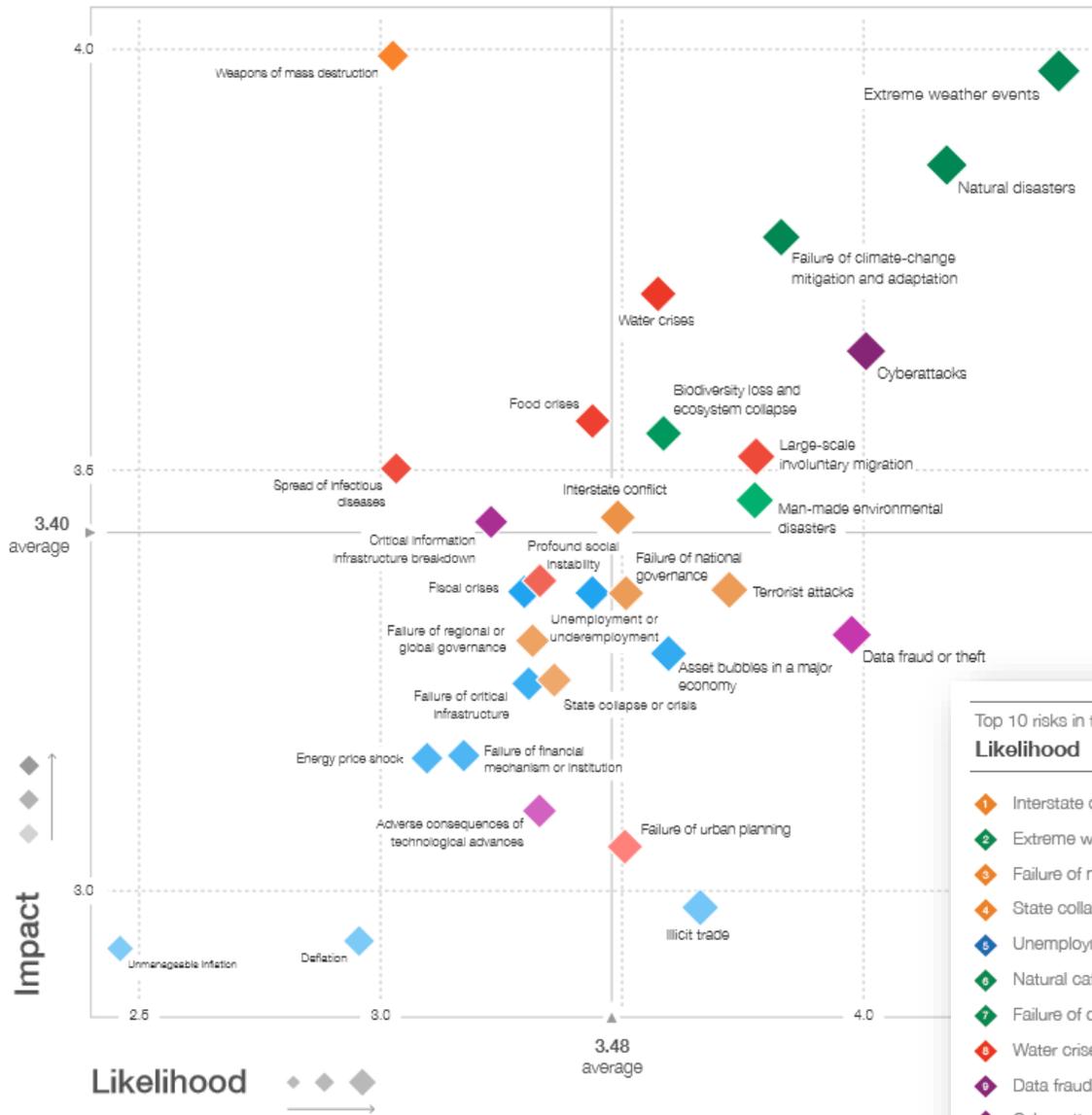
Aversion au risque: perception par la seule composante de gravité surestimée

(g^{\uparrow}, p)

EXEMPLE DE PERCEPTIONS DES RISQUES GLOBAUX



Source: Global Risks 2018.
World Economic Forum

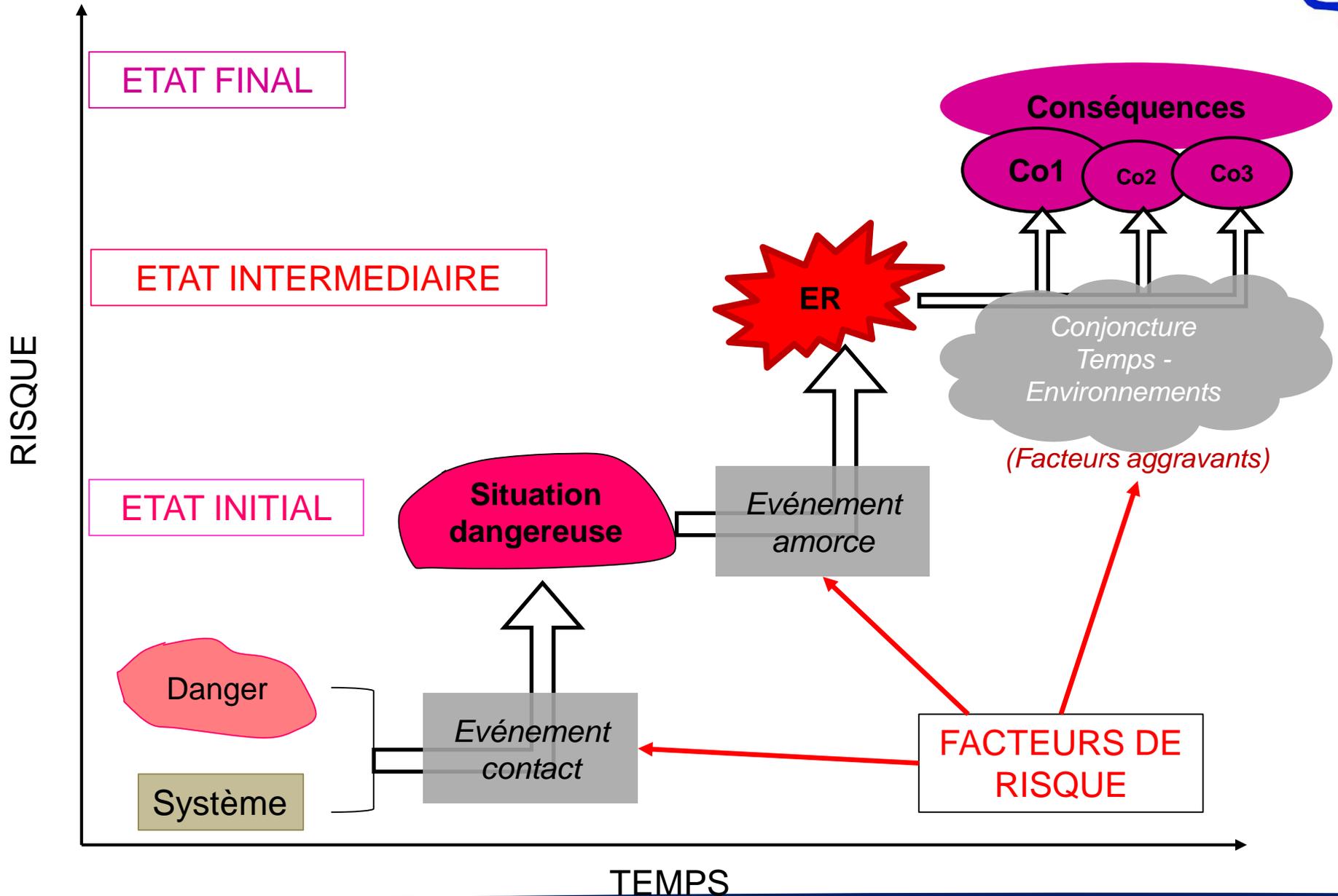


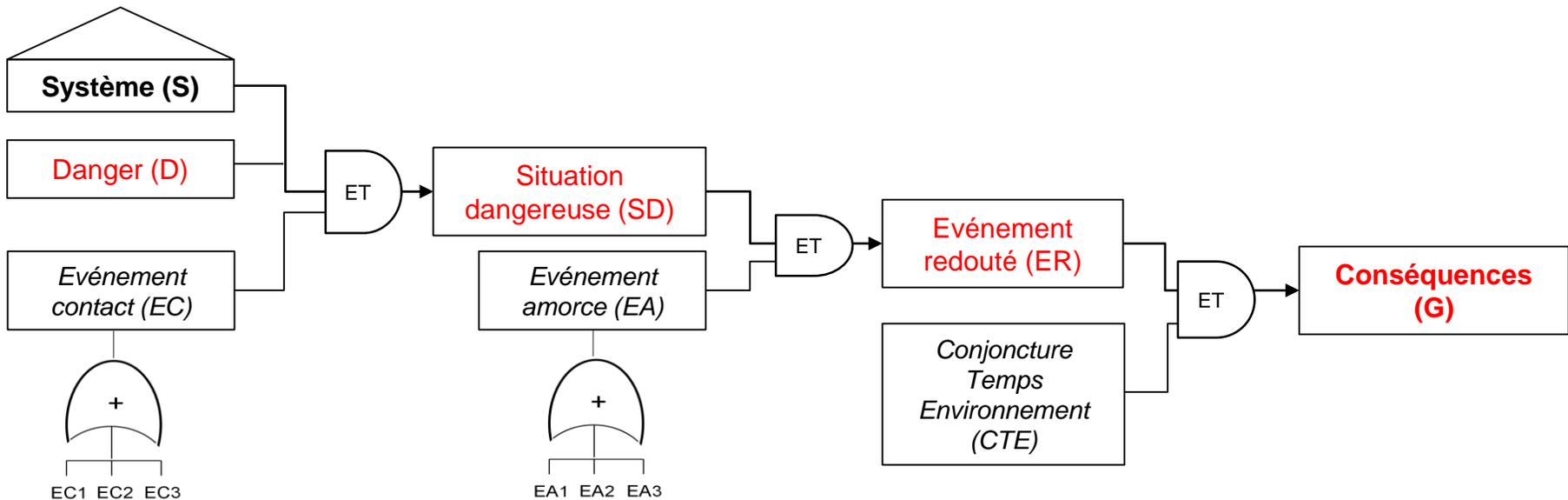
Top 10 risks in terms of
Likelihood

- 1 Interstate conflict
- 2 Extreme weather events
- 3 Failure of national governance
- 4 State collapse or crisis
- 5 Unemployment or underemployment
- 6 Natural catastrophes
- 7 Failure of climate-change adaptation
- 8 Water crises
- 9 Data fraud or theft
- 10 Cyber attacks

Top 10 risks in terms of
Impact

- 1 Water crises
- 2 Spread of infectious diseases
- 3 Weapons of mass destruction
- 4 Interstate conflict
- 5 Failure of climate-change adaptation
- 6 Energy price shock
- 7 Critical information infrastructure breakdown
- 8 Fiscal crises
- 9 Unemployment or underemployment
- 10 Biodiversity loss and ecosystem collapse





Situation Dangereuse (SD)

$$\Pr(SD) = \Pr(D, EC) = \Pr(D) \times \Pr(EC/D)$$

Evénement redouté (ER)

$$\Pr(ER) = \Pr(SD, EA) = \Pr(SD) \times \Pr(EA/SD)$$

Conséquences (G)

$$\Pr(G > g) = \Pr(ER, CTE) = \Pr(ER) \times \Pr(CTE/ER)$$

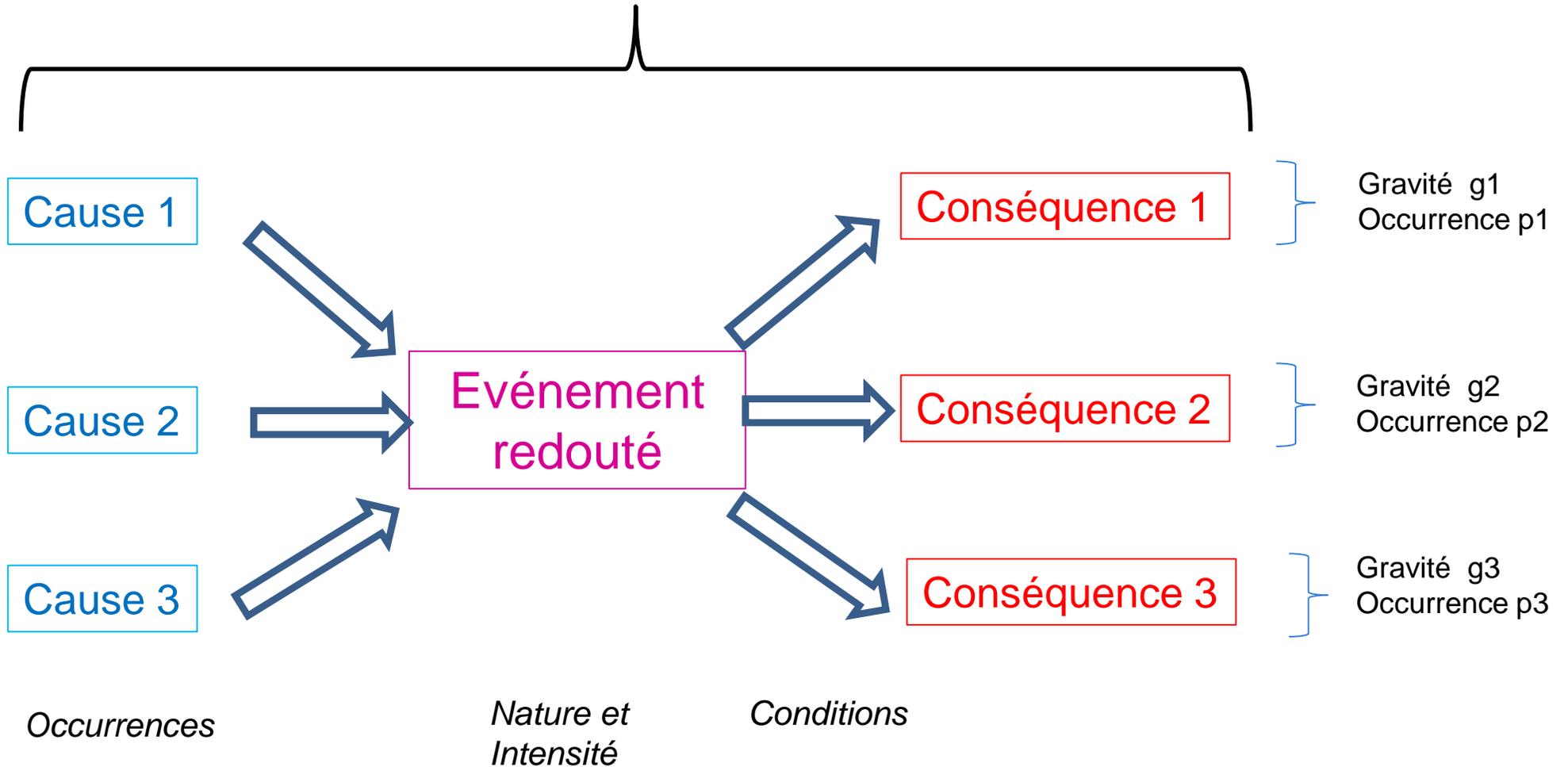
Facteurs de risque

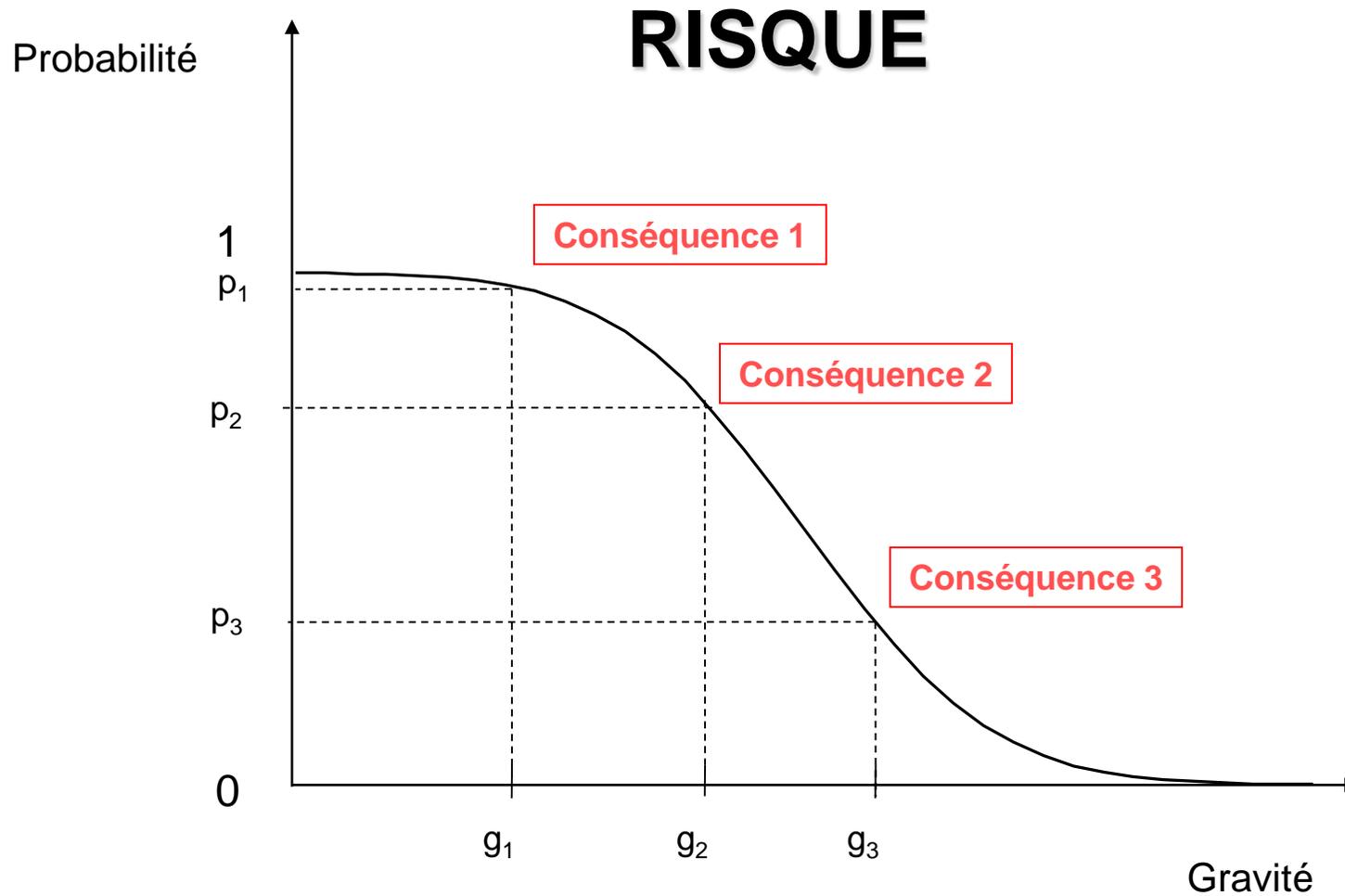
$$\Pr(FR) = \Pr(EC/D) \times \Pr(EA/SD) \times \Pr(CTE/ER)$$



$$\Pr(G > g) = \Pr(D) \times \Pr(FR)$$

RISQUE





En management global des risques d'une activité

- **RISQUE :**

Incertitude, menace ou opportunité que l'activité doit

- anticiper,
- comprendre et
- gérer

pour

- **protéger** ses actifs et sa valeur, et
- **atteindre** les objectifs définis dans le cadre de sa stratégie

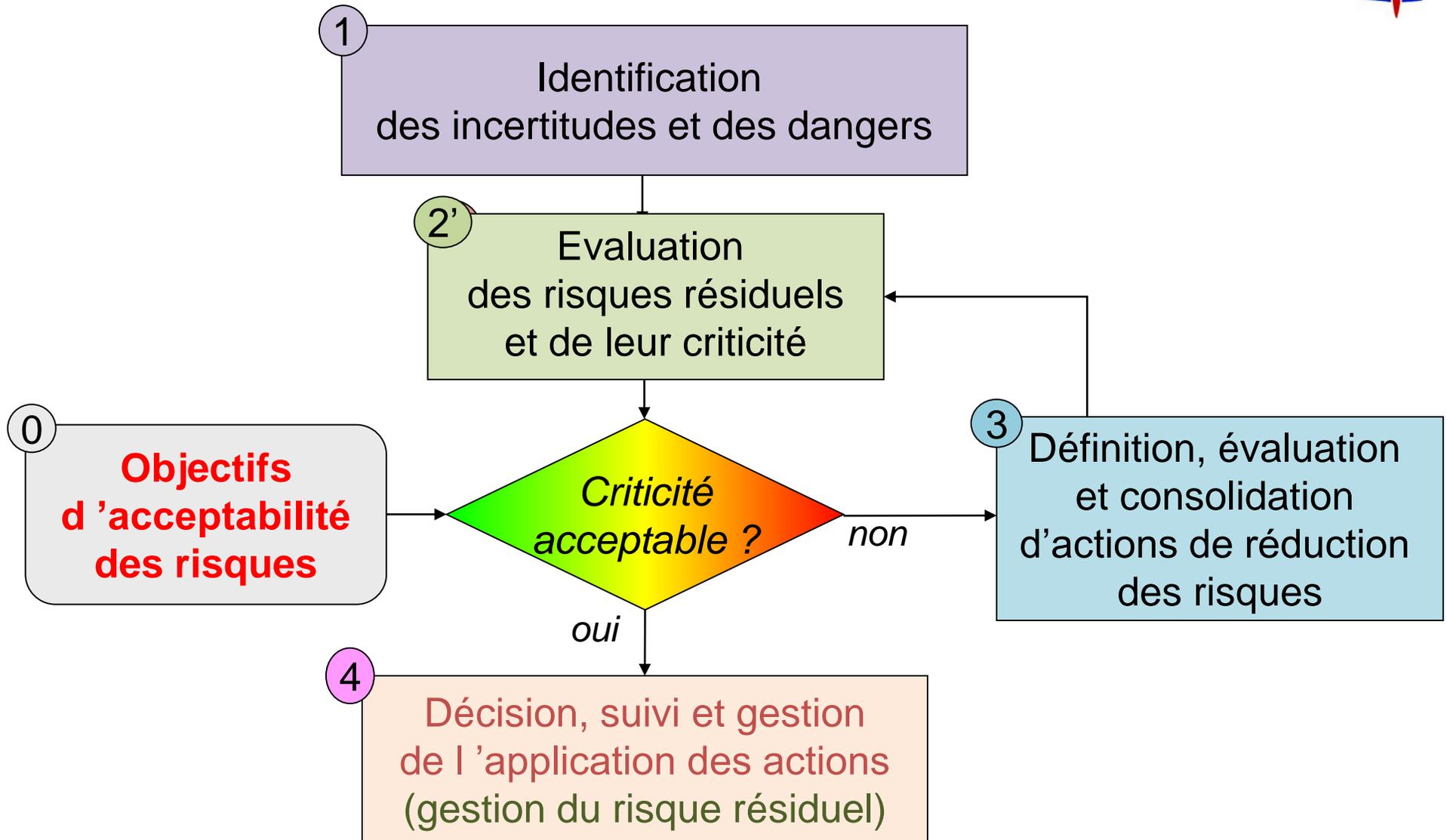
CARTOGRAPHIE DES RISQUES D'UNE ACTIVITE

Diagnostic présentant les *vulnérabilités* de l'activité

→ Visualisation par diagrammes

PÉRIMÈTRE DE LA CARTOGRAPHIE DES RISQUES

Délimitation géographique, juridique, fonctionnelle, ...
du champ d'investigation



→ **A partir du référentiel de criticité de l'activité :**

1

**Identifier
les causes et
conséquences
d'anomalie**

- les incertitudes, les dangers et les menaces
- les situations incertaines, dangereuses ou menaçantes
- les événements indésirés ou redoutés

➤ ***pour identifier les scénarios d'événements indésirés ou redoutés ...***

2

**Evaluer
leurs impacts**

- la gravité des conséquences (*montant des dommages, pertes...*)
- la probabilité des causes et des conséquences

➤ ***pour hiérarchiser les risques ... et en déduire les priorités ...***

3

**Définir et
consolider
les actions
de réduction**

- éliminer les incertitudes, dangers ou menaces,
- diminuer la probabilité des causes ou des conséquences de l'événement redouté
- diminuer la gravité de l'événement redouté,

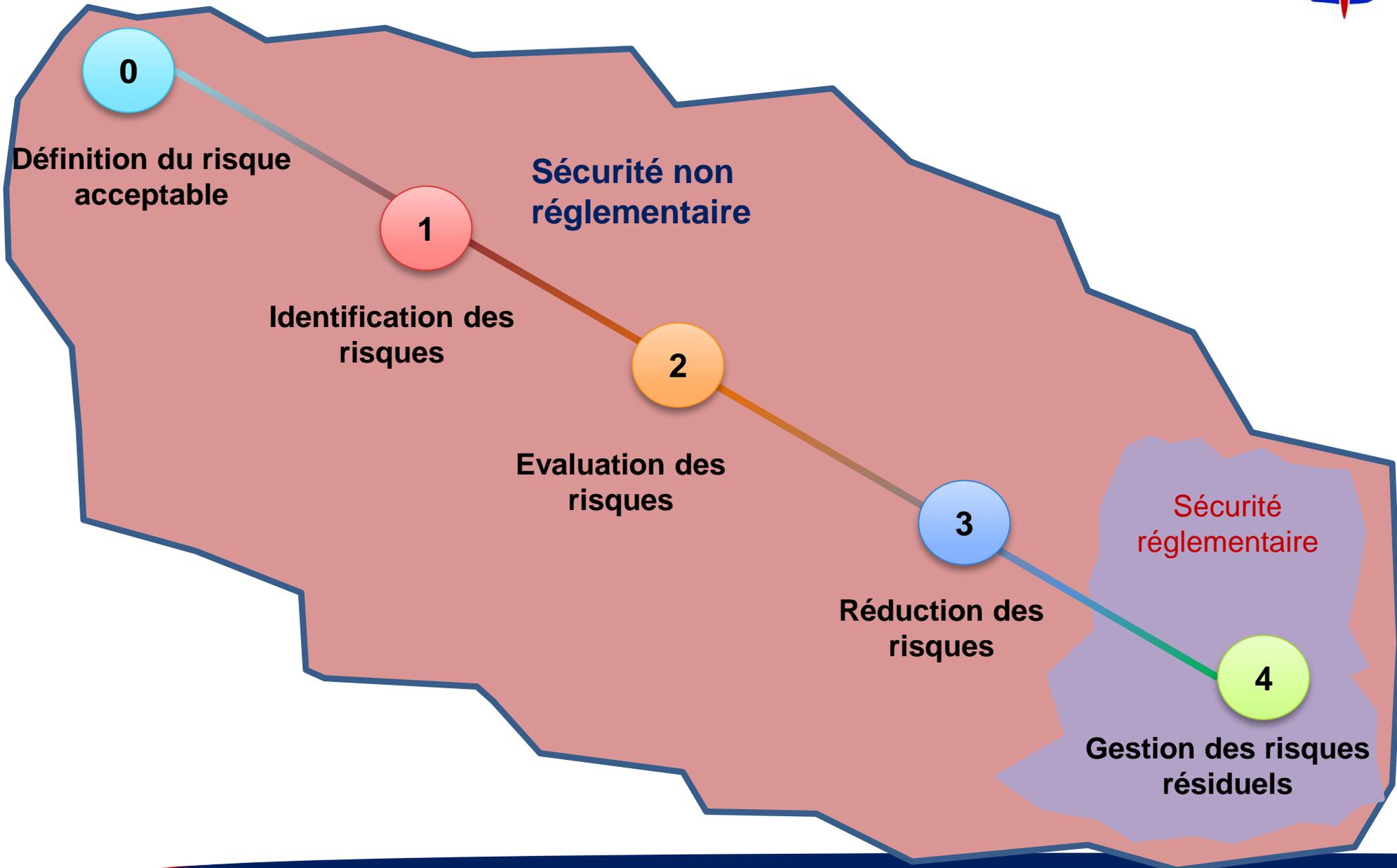
➤ ***pour rendre les niveaux des risques conformes aux objectifs spécifiés. ..***

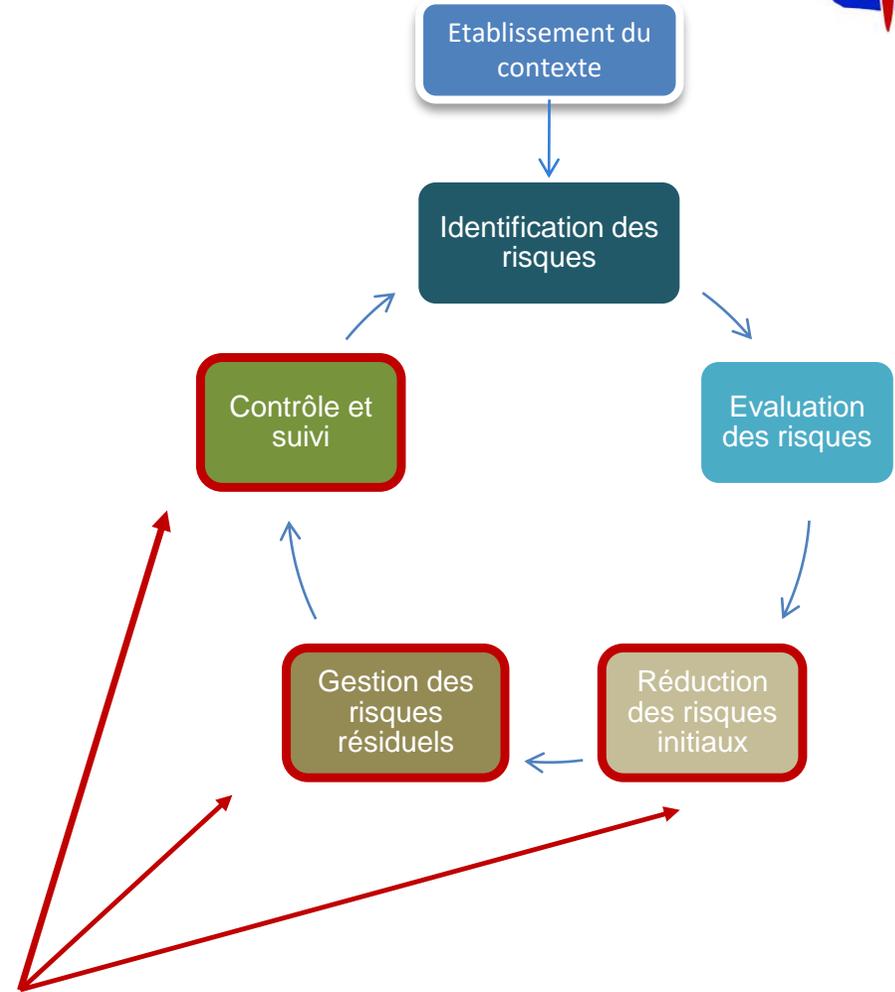
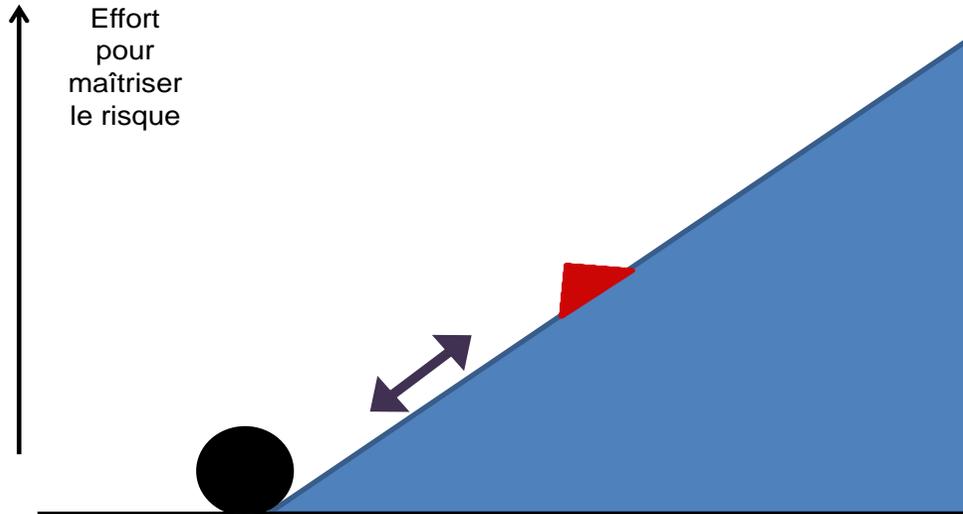
4

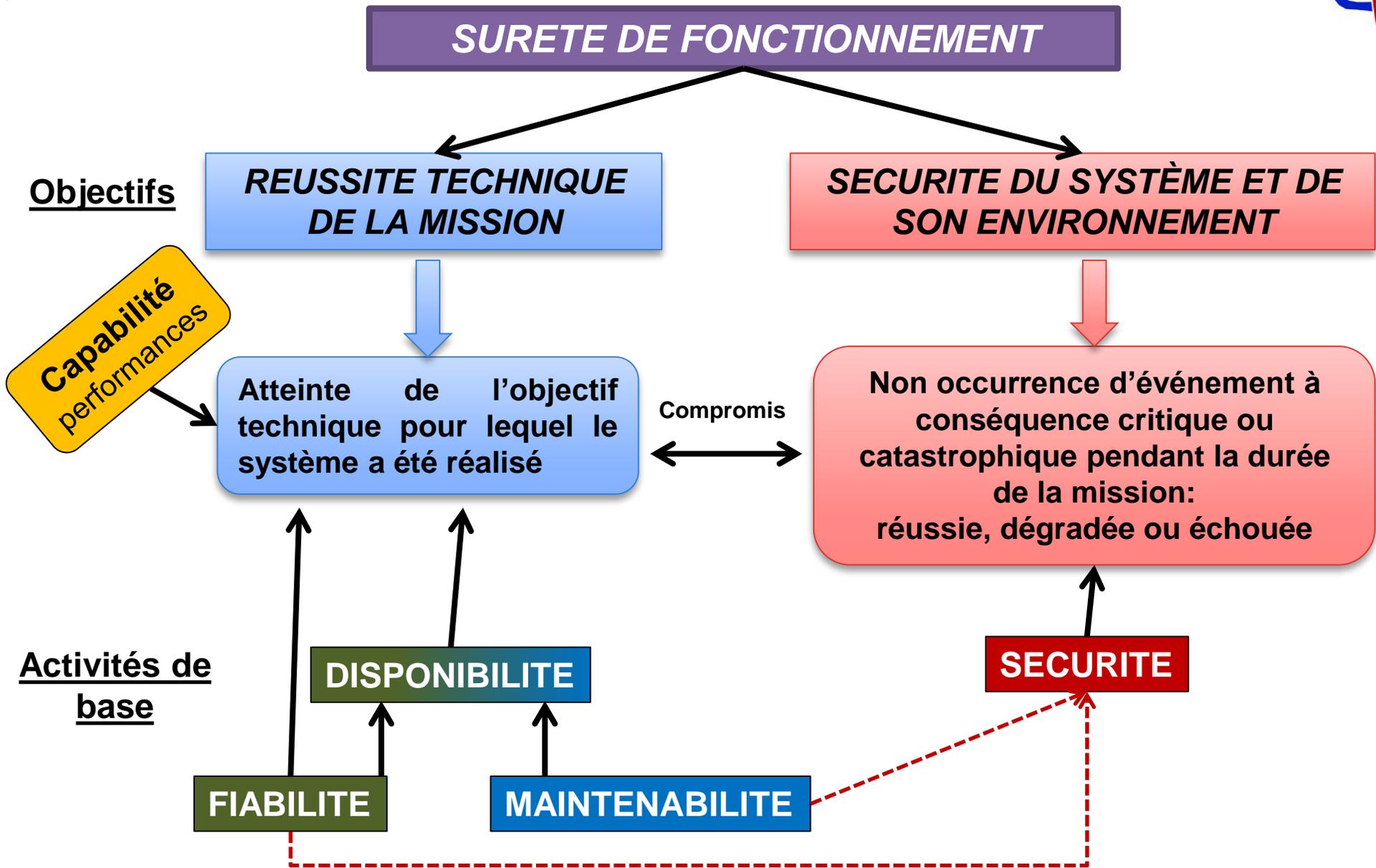
**Suivre et
contrôler leur
application**

- gérer les risques résiduels pendant toute la durée de vie du système (*actions de traçabilité, de contrôle, d'anticipation, et de gestion des dérives et des situations nouvelles*)

➤ ***pour maintenir dans le temps le niveau de risque conforme aux objectifs spécifiés***









FIABILITE

Concept d'aptitude à la non défaillance

Aptitude d'un système à accomplir une fonction requise dans des conditions opérationnelles données pendant un intervalle de temps donné

MAINTENABILITE

Concept d'aptitude à la réparation

Dans des conditions données, aptitude d'un élément ou d'un système à être rétabli, dans un intervalle de temps $[t_0, t_1]$, dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction donnée, sachant qu'il peut être en panne à l'instant t_0

DISPONIBILITE

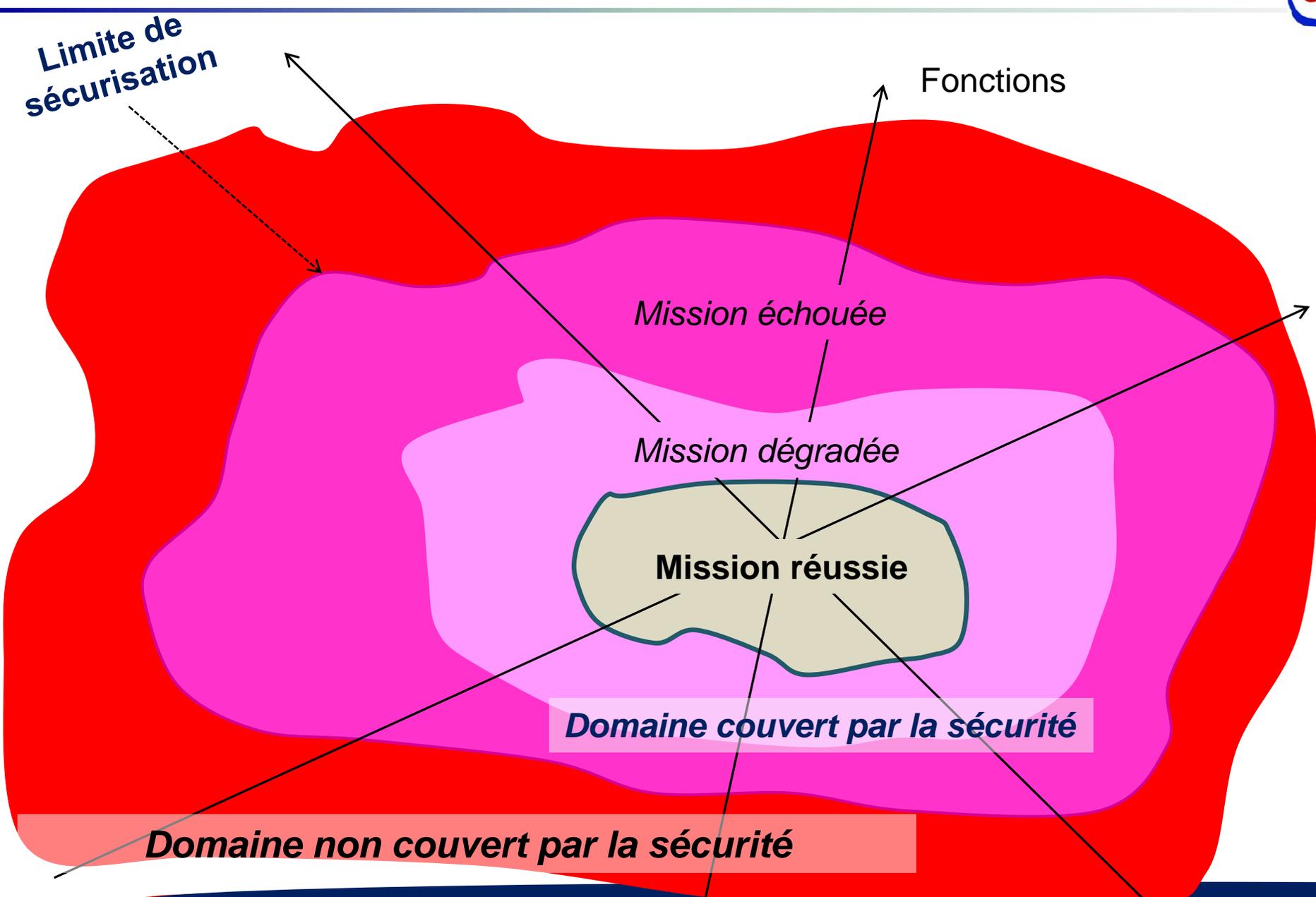
Concept d'aptitude à l'emploi

Aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données à un instant donné

SECURITE

Concept d'aptitude à la non agression des personnes, des biens et de l'environnement

Absence de risque inacceptable pendant le déroulement d'une activité





- ***Tout ce qui peut aller mal ira mal***
- Si plus d'une chose peut aller mal, celle qui ira mal est celle qui peut être la plus catastrophique
- Un défaut caché deviendra très apparent dans les pires circonstances possibles
- Un raccourci pour entreprendre une opération dangereuse est le chemin le plus rapide qui mène à un désastre
- Toute tâche qui peut être accomplie d'une manière incorrecte – peu importe que la possibilité en soit faible – sera un jour accomplie de cette manière
- Toute pièce susceptible d'avoir une défaillance, faillira – on peut s'y attendre – au moment le plus inopportun et le plus préjudiciable
- Quelle que soit la difficulté pour endommager un équipement, on trouvera un moyen de le faire
- ***Prédire le pire est, en général, ce qu'il y a de mieux***
- Un nombre infini de gens apparaîtra d'un nombre infini d'endroits, dans un intervalle infinitésimal, APRES un accident, pour dire ce qu'il aurait fallu AVANT que l'accident n'arrive afin de le prévenir
- Rien ne peut être fait à l'épreuve des imbéciles parce que les imbéciles sont si ingénieux
- Des unités identiques, avec un fonctionnement identique sous des conditions d'essai identiques fonctionneront différemment dans leur utilisation opérationnelle
- Après avoir fixé un couvercle en place avec trente six boulons, on s'apercevra que l'on a oublié le joint
- Tout fil coupé à la longueur est trop court



- La sécurité absolue est un **MYTHE**
- L'**activité étudiée** peut être perçue, avec profit, comme un **systeme**
- La sécurité fait **partie intégrante** des caractéristiques du système



6- INCERTITUDE ET RISQUE

CE QUI NE DEPEND PAS DE NOTRE VOLONTE

OU

CE QUE L'ON NE PEUT PAS PREVOIR

- Aléatoire, Aléa
- Stochastique

≠ Hasardeux (≈ présence d'un danger = Hazard)

CINDYNIQUE (kindynos) = science du danger (et du risque)

Le hasard est associé à l'*éventualité* d'un événement futur

- soit **incertain**: on ne sait pas s'il se produira
- soit d'un **terme indéterminé**: on ne sait pas quand il se produira

Domaines de Connaissance et d'Inconnaissance



Les éléments du domaine *ne peuvent être définis* de façon **qualitative** et **exhaustive**

DOMAINE DE L'INCONNAISSABLE

A un événement donné peuvent correspondre **plusieurs prédécesseurs** ou **plusieurs successeurs** possibles (surjectivité ou injectivité)

Les éléments du domaine *peuvent être définis* de façon **qualitative** et **exhaustive**

Zone d'incertitude

DOMAINE DU CONNAISSABLE

Zone de certitude

LE HASARD

A un événement donné correspond un **seul prédécesseur** et/ou un **seul successeur** (bijektivité)

Déterminisme théorique
Déterminisme statistique

Management des
risques



Maîtrise des incertitudes

Situation de crise



Basculement vers l'inconnu

- **Soudaineté** du phénomène et **urgence** des mesures à prendre
- **Complexité** de la situation due à l'accumulation pêle-mêle des informations
- **Irrationalité** due à la désagrégation du système,
à la déréglementation,
à la perte des références

LA MESURE COMPTABLE → statistique descriptive ou exploratoire

- Estimation de la tendance, position, dispersion

LA FREQUENCE → statistique inférentielle

- Estimation des quantiles, paramètres de lois de distribution, intervalle de confiance

LA VRAISEMBLANCE → statistique décisionnelle

- Estimation de la confiance dans une information

La **probabilité** $\Pr(E)$ d'un événement est définie

comme la limite

de la **fréquence** $\text{Frq}(E)$ relative de sa réalisation

*lors n épreuves aléatoires **identiques et indépendantes***

Lorsque n tend vers l'infini

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Pr (\text{Frq}(E) - \Pr(E) > \varepsilon) = 0$$

Pratiquement, elle admet qu'il existe une relation de proximité entre

la **probabilité** d'un événement

Et

la **fréquence** relative de sa réalisation

dans une suite longue mais finie de n épreuves aléatoires **identiques et indépendantes**.

avec n **supérieur** à une certaine valeur pour que l'**erreur de mesure** ε entre probabilité et fréquence soit inférieure à une **valeur** η

$$\Pr [\text{Frq}(E) - \text{Pr}(E) > \varepsilon] < \eta$$

(loi faible des grands nombres)

Les objectivistes considèrent que cette **mesure approchée de la probabilité est en pratique assez précise.**



Cette probabilité mesure **la confiance** ou **le degré de croyance rationnel** d'un individu vis à vis de la vérité d'une proposition donnée.

Elle s'appuie sur **les connaissances initiales** (avant observations) **a priori** disponibles et sur **la vraisemblance des observations**.

On en déduit une **probabilité a posteriori** plus riche, moins incertaine

Keynes (1921) l'interprète comme la représentation logique R définie entre toutes les paires de propositions p, q appartenant à un ensemble K qui représente les connaissances premières, appelé corps des connaissances. Pour Keynes, toute probabilité est conditionnelle. Cette interprétation ne nie pas la possibilité de construire des probabilités en l'absence de séries statistiques. Cependant, Keynes lui-même classe cette approche dans une démarche objective et non subjective en prenant le terme « subjectif » comme associé à « irrationnel ».



Fondée sur cette notion de probabilité subjective, « la » théorie de la décision a été développée essentiellement par Ramsey (1926), De Finetti (1930) et Savage (1954)

Dans le cadre subjectiviste:

- la probabilité est personaliste (Savage) : des sujets différents peuvent affecter des **probabilités différentes** à un même événement
- l'évaluation des probabilités **change en fonction des informations recueillies: on apprend par l'expérience** (De Finetti)
- des **règles de cohérence internes** vont permettre de **parier sur la probabilité** d'un événement aléatoire en fonction de l'ensemble des informations disponibles
(ex: règle de transitivité dans l'expression des préférences)
- Pour De Finetti et Savage, la probabilité subjective qui représente un degré de confiance dans une information n'est pas fondée sur une démarche logique mais sur la **rationalité économique** des décisions associées aux croyances
- **Le poids** relatif de l'évaluation **a priori** va s'amenuiser en fonction de **la fréquence des événements observés**



C'est une ***approche décisionnelle***

Quand on ne sait rien on ne décide rien

*Le point de vue du décideur est conforté ou
infirmé par les observations*



Limites de la démarche fréquentielle

- La mesure de la fréquence n'est jamais fondée sur une suite infinie d'épreuves
- Elle peut être biaisée par une mauvaise maîtrise du processus statistique d'échantillonnage due à la mauvaise connaissance du phénomène étudié
- En gestion des risques, on traite le plus souvent d'événements rares (catastrophiques). Il arrive même souvent qu'on doive raisonner sur une occurrence unique: échec d'un projet, perte d'un système
- La complexité des situations liée aux inconnues ou à la difficulté de traiter les informations lorsqu'elles sont disponibles fait que les événements ne sont jamais totalement répétables ni indépendants
- Elle ne tient pas compte de la connaissance empirique, experte ou non mesurable



Limites de la démarche Subjectiviste:

- Influence des *a priori* psychologiques et des biais de perception des individus
- La question de la rationalité est primordiale: Keynes parle de croyance rationnelle fondée sur la logique, De Finetti et Savage de la rationalité économique des choix engendrés par les croyances supposant un « homme raisonnable » dont le système de croyance serait fondé sur une cohérence interne
- Poids de l'information *a priori* dont il est parfois difficile de juger de la pertinence (il existe des méthodes d'élicitation comme la méthode Delphi)
- Poids du choix des experts

Les deux pensées cohabitent puisqu'aucune n'a pu l'emporter sur l'autre

D'un point de vue pratique,

- la gestion des risques étant fondamentalement un **problème de décision dans l'incertain**, les **probabilités subjectives** sont nécessairement **utiles et utilisées** (*consciemment ou inconsciemment*)
- Les **données mesurées** doivent cependant rester **au cœur** de l'évaluation probabiliste autant que possible: études, essais, plans d'expérience, monitoring
- **Tout modèle** doit être confronté à la réalité par un **processus de validation**
- **Toute source d'information**, qu'elle soit mesurée, empirique ou de l'ordre de l'expertise, doit être **référéncée, accessible, questionnée et critiquée**.
- **Toutes les sources d'incertitude** doivent être clairement **identifiées et explicitées**

- **En Théorie de probabilités**

- Ω : Ensemble de toutes les " éventualités (e) "
= Ensemble du « *possible* »
- \mathfrak{a} : Ensemble des " événements (E) " = combinaison des éventualités
- p : Probabilité $\mathfrak{a} \rightarrow [0,1]$

- **En Sécurité des systèmes**

- Ω_S : Ensemble de toutes les " éventualités " relatives aux configurations et états du système
- \mathfrak{a}_S : Ensemble des " événements (E_S) " associés
- p_S : Probabilité $\mathfrak{a}_S \rightarrow [0,1]$

$p_S = \Pr (E_S / K)$, K : Corps des connaissances ou corps de

Keynes

X Variable aléatoire réelle sur $[x_0, x_1]$

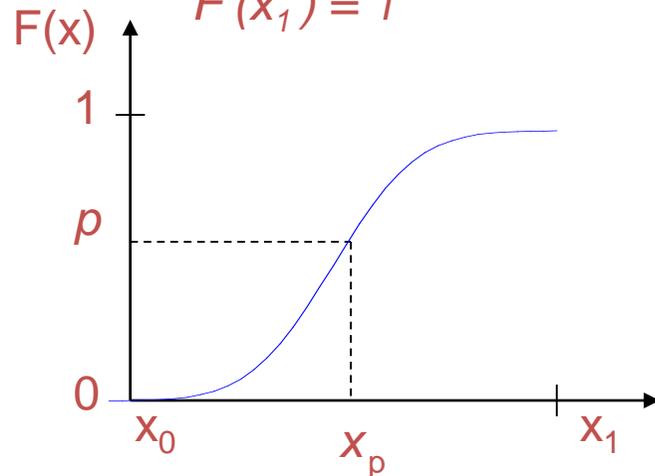
Fonction de répartition
au non dépassement

$$F(x) = \Pr(X \leq x)$$

$$F(x_p) = \Pr(X \leq x_p)$$

$$F(x_0) = 0$$

$$F(x_1) = 1$$



Fonction de répartition
au dépassement

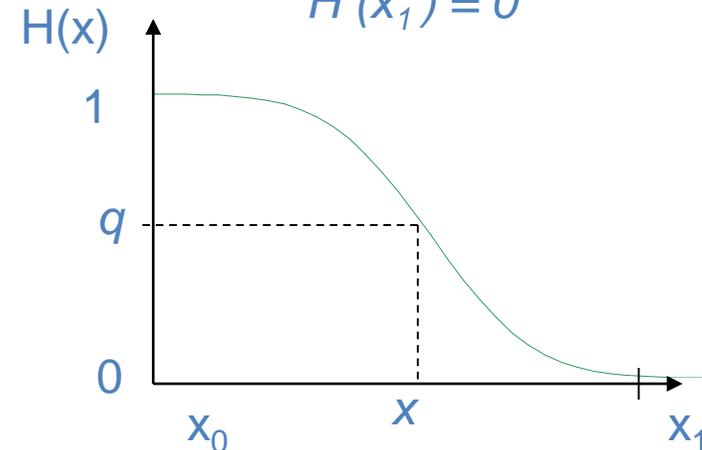
$$H(x) = 1 - F(x)$$

$$H(x) = \Pr(X > x)$$

$$H(x_p) = \Pr(X > x_p)$$

$$H(x_0) = 1$$

$$H(x_1) = 0$$



5 niveaux

<i>Intitulé</i>	<i>Probabilité</i>
➤ Impossible à improbable	0
➤ Très peu probable	
➤ Peu probable	
<i>Possible</i>	0,5
➤ Probable	
➤ Très probable à certain	1

→ $T(\varepsilon)$

Intervalle de temps moyen entre deux occurrences de l'événement ε

Nombre moyen de réalisation d'une activité entre deux occurrences de l'événement ε

Nombre moyen de sollicitations d'un dispositif entre deux occurrences de l'événement ε

A partir de quel *seuil de probabilité de « non vraisemblance »* peut-on *négliger* dans les études de sécurité, des événements ou des scénarios d'événements *déjà identifiés* donc connus et... par la suite les *ignorer* dans les *décisions* qui auraient dû en tenir compte?

➤ Fixation des objectifs de sécurité

- *intitulé d'un événement redouté parfois décrit comme le dépassement d'un seuil de nuisance*
 - *fréquence ou vraisemblance associé à et événement*
- ⇒ Crédibilité des objectifs de sécurité?

➤ Choix des scénarios retenus

➤ Définition d'un seuil absolu de probabilité négligeable

Rien de plus catastrophique que la disparition de l'Univers => entre 10^{-11} et 10^{-12} par an, soit entre 10^{-15} et 10^{-16} par heure

Soit la variable aléatoire T représentant la durée de vie de l'univers et F sa fonction de répartition au non dépassement $F(x_p) = \Pr(X < x_p)$.

Alors si $t_2 > t_1$, la probabilité que l'univers survive au bout de t_2 années sachant qu'il a survécu t_1 années est égale à:

$$\Pr\left(\frac{T \geq t_2}{T \geq t_1}\right) = \frac{\Pr(T \geq t_2)}{\Pr(T \geq t_1)} = \frac{1 - F(t_2)}{1 - F(t_1)}$$

1- Par suite, en faisant l'hypothèse d'équiprobabilité de disparition annuelle p , alors

$$\Pr(T \geq t_2) = (1-p)^{t_2}$$

2- Si on admet que l'univers existe depuis $t_1 = 15 \cdot 10^9$ années

Et que $\Pr(T \geq t_1) = 1$ (à ce jour l'univers existe encore)

3- Si on fait l'hypothèse gratuite qu'il y a une chance sur 2 que l'univers existe encore l'année prochaine, c'est-à-dire que $\Pr(T \geq t_1+1) = 0.5 = (1-p)^{t_1+1}$

Alors on en déduit que $p = 4,6 \cdot 10^{-11}/\text{an}$

Si on fait l'hypothèse que $\Pr(T \geq t_1+1) = 0.99$, alors $p = 10^{-12}/\text{an}$

Systeme S :

- $A = \{ \text{Accident du système S} \}$
- $N = \{ \text{S fonctionne nominalement} \}$
- $\bar{N} = \{ \text{S est défaillant} \}$

$$\begin{aligned} \Pr(A) &= \Pr((A \cap \bar{N}) \cup (A \cap N)) \\ &= \Pr(A \cap \bar{N}) + \Pr(A \cap N) \end{aligned}$$

$$\Pr(A) = \Pr(\bar{N}) * \Pr(A/\bar{N}) + \Pr(N) * \Pr(A/N)$$

En sécurité des systèmes :

« *Un événement rare* est un événement pouvant entraîner des conséquences catastrophiques auxquelles les décisions qui sont prises doivent permettre d'assigner une probabilité très faible »

- ⇒ • Probabilité très faible au regard d'une échelle préalablement établie
- ⇒ • L'événement est dit improbable ou hautement improbable

- ❑ Il est absurde de chercher à ***probabiliser l'inconnu***
- ❑ La proximité d'un événement n'est ***pas reflétée par sa probabilité d'occurrence***
- ❑ Un scénario d'accident ne doit pas être exclu de l'analyse par la seule justification qu'il n'a ***jamais été observé*** donc considéré comme ***impossible***



7- FORMALISATION DU RISQUE

- En fonction du **systeme**
- En fonction de **l'instant, de la durée et du lieu**
- En fonction de **l'évolution de la gravité**
- En fonction de **l'impact**

Concept de risque intrinsèque ou structurel

Dans un système

- *la nature même des éléments dont il est constitué,*
- *la nature des éléments qu'il utilise,*
- *la nature des éléments qu'il produit*

peuvent être considérés *a priori* comme **source de danger**

en dehors de toute autre **considération de fonctionnement**

Concept de risque fonctionnel

Pour réaliser une mission dans un environnement donné, un système doit:

- *posséder de l'énergie*
- *être capable d'en acquérir*
- *pouvoir filtrer, réduire ou éliminer tout excédent d'énergie*

La **mauvaise gestion** des flux d'énergies peut entraîner un **dysfonctionnement** du système et aboutir à une **situation dangereuse**



Concept de risque conjoncturel

Un système réalise une mission dans un environnement donné.

En un lieu donné à un instant donné, les interactions entre l'état du système et l'état de son environnement peuvent générer une situation dangereuse ou accidentelle susceptible de générer des conséquences à court, moyen et long termes



En fonction de l'ÉVOLUTION de la GRAVITE

- **Risque à effet convergent**
 - ❖ rapide (grisou, rupture...)
 - ❖ lent (nucléaire, chimie...)

- **Risque à effet divergent**
 - ❖ pollution, contamination

En fonction de l'IMPACT

- **Risque à effet direct**
 - ❖ humain (mort, invalidité, blessures graves)
 - ❖ économiques (destruction, pertes,...)
 - ❖ environnemental (pollution, dégradation,...)

- **Risque à effet indirect**, induisant un enchaînement de différentes natures
 - ❖ Sociaux
 - ❖ Économiques
 - ❖ Financiers
 - ❖ Commerciaux
 - ❖ Politiques

Catégories de dangers



Externes	Internes liés à la gouvernance	Internes liés aux moyens techniques	Internes liés à la production
Environnements	Commercial	Infrastructures et locaux	Etudes et projets
Politique	Communication et crises	Matériels et équipement	Opérationnel
Insécurité	Economique	Système d'information	Fonctionnel
Image	Entreprise		Facteur humain
Client	Ethique		Professionnel
	Financier		Produit
	Juridique		Physico-chimique
	Management		<i>Clinique</i>
	Programmatique		
	Social		
	Stratégique		
	Technologique		

Exemple: les dangers physiques



Nature des dangers	Événements dangereux ou redoutés
Dangers mécaniques	<ul style="list-style-type: none">•Choc, collision•Cisaillement, coupure, sectionnement•Arrachement•Coincement
Dangers physico-chimiques	<ul style="list-style-type: none">•Liés aux produits:<ul style="list-style-type: none">-Inflammabilité, incendie-Explosivité-Rayonnement, brûlure-Dégradation, corrosion•Liés aux procédés<ul style="list-style-type: none">-Retard à la réaction-Réaction intempestive-Dissémination
Dangers biologiques	<ul style="list-style-type: none">•Toxicité•Contamination, infection•Irritation•Ionisation, brûlure
Dangers électriques	<ul style="list-style-type: none">•Electrocution•Coup d'arc, décharge électrostatique•Brûlure, échauffement
Dangers physiologiques	<ul style="list-style-type: none">•Statique: mauvaise posture (ergonomie)•Dynamique: fatigue corporelle ou visuelle•Sensoriel: bruits, vibrations
Dangers psychologiques	<ul style="list-style-type: none">•Stress, angoisse, dépression, burn-out...
Dangers médicaux	<ul style="list-style-type: none">•Erreur diagnostique, erreur d'analyse, erreur thérapeutique...•Surinfection, infection nosocomiale...

Nature des dangers	Événements dangereux ou redoutés
Dangers sociaux (dans l'entreprise)	<ul style="list-style-type: none">• Arrêt de travail, grèves• Démotivation, absentéisme, sabotage• Stress, mauvaise ambiance de travail
Dangers économiques	<ul style="list-style-type: none">• Perte de production• Coût de remise en état ou de remplacement d'équipement• Manque à gagner suite à un sinistre
Dangers financiers	<ul style="list-style-type: none">• Déficit d'exploitation• Dommages et intérêt des victimes• Pénalités: sécurité sociale, assurances....• Pénalités de retard dans un contrat
Dangers commerciaux	<ul style="list-style-type: none">• Perte de marché• Image de marque de l'entreprise
Dangers politiques et sociaux	<ul style="list-style-type: none">• Accident mortel, catastrophe naturelle ou écologique• Crise politique, révolution• Crise économique sectorielle• Disparition de l'entreprise• Chômage....

Exemple de dangers multiples



Événement indésirable	Risque(s) direct(s)	Risques indirects					
		Médiatiques	Sociaux	Economiques	Financiers	Commerciaux	Politiques
<p>Rupture mécanique ou erreur de procédure</p> <p>et</p> <p>Présence humaine (transport de voyageurs)</p> <p>et</p> <p>Grande vitesse</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Catastrophe (routière, ferroviaire) • Décès •Destruction de matériel 	Campagne de presse	Grève des personnels	Arrêt de la ligne, perte d'exploitation	Indemnités dues aux victimes	Perte de clientèle	Démission du directeur
<p>Contamination microbienne d'un produit alimentaire</p> <p>Elle peut être due à un procédé (ex: fromage à base de lait cru)</p>	Décès	Campagne de presse dans le pays producteur ou à l'étranger	Grève des personnels	<p>Arrêt des ventes</p> <p>Perte de stock</p> <p>Coûts des contrôles</p>	<p>Indemnités dues aux victimes</p> <p>Campagne de publicité pour retrouver l'image</p>	<p>Perte de marché pour:</p> <ul style="list-style-type: none"> • le produit •des produits voisins 	<p>Protectionnisme sectoriel à l'étranger</p> <p>Mesures de rétorsion dans le pays producteur</p>



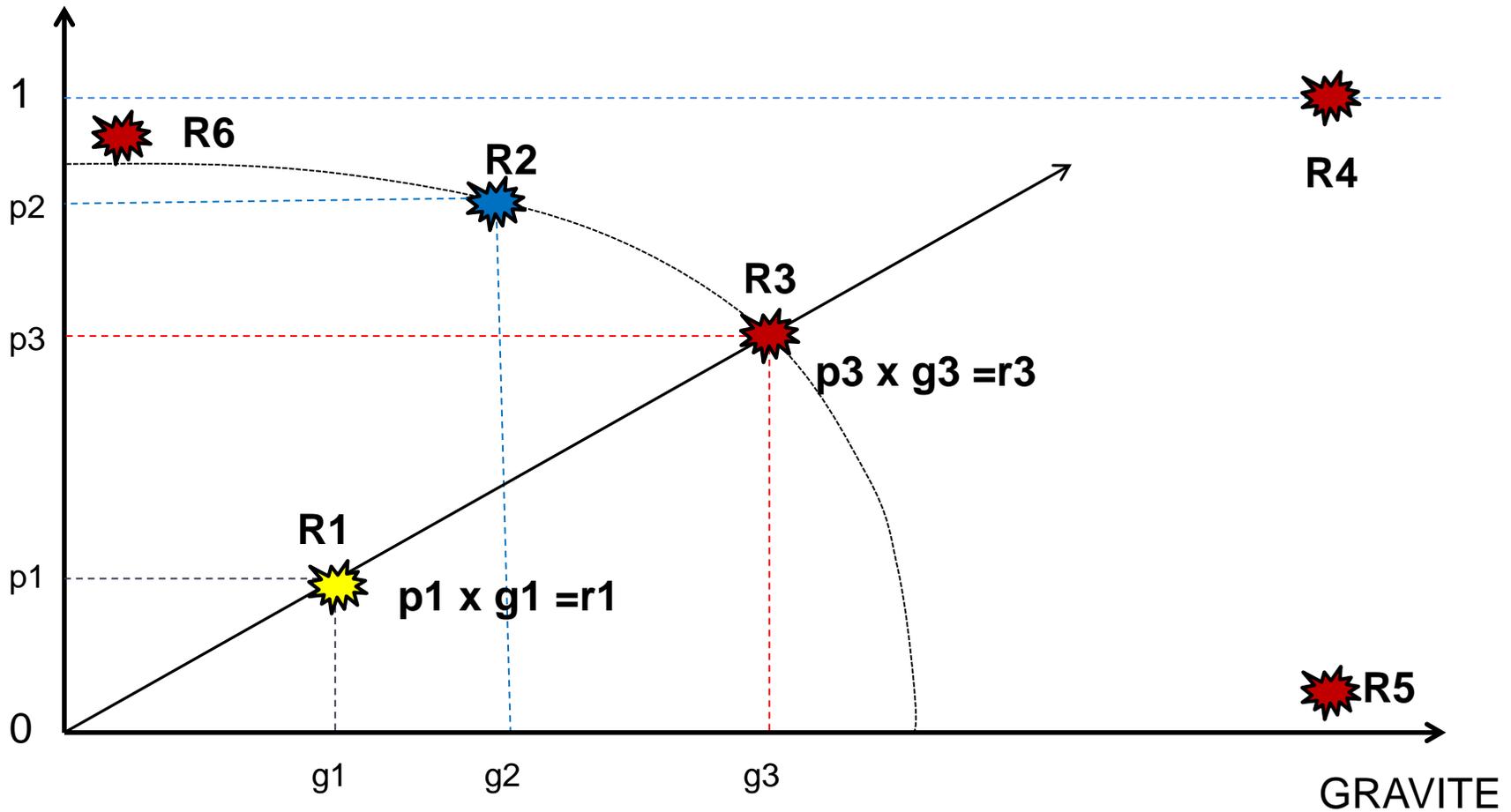
- leur vraisemblance: p ?
- leur gravité: g ?
- leur espérance: $p \times g$?
- leur perception: (p', g')

Hiérarchisation des risques



1 mort, probabilité 10^{-3}
100 morts, probabilité 10^{-5} } Même risque moyen

PROBABILITE



$R1 < R2$ si et seulement si $p1 < p2$ ET $1 < g2$



- Risque catastrophique
 - Risque critique
 - Risque grave
 - Risque significatif
 - Risque mineur
- **RISQUE MAJEUR**
 - **RISQUE EXTRÊME**
 - **RISQUE MAXIMUM**
 - *Risque minimum*
 - *Risque insignifiant*

 Typologie des conséquences sur le système

I	Aucune conséquence
II	Impact sur la mission ou la performance
III	Impact sur la sécurité et l'intégrité

Classe de gravité	Intitulé de la classe	Intitulé des conséquences	Données quantitatives
G1	Mineure	Aucun impact sur les performances et la sécurité de l'activité	$g < g_1$
G2	Significative	Dégradation des performances du système sans impact sur la sécurité	$g_1 < g < g_2$
G3	Grave	Forte dégradation ou échec des performances du système sans impact sur la sécurité	$g_2 < g < g_3$
G4	Critique	Dégradation de la sécurité ou de l'intégrité du système	$g_3 < g < g_4$
G5	Catastrophique	Forte dégradation ou échec de la sécurité ou perte du système	$g > g_5$

- ❑ **Niveaux G2-G3:** Fiabilité/Disponibilité (impacte les performances)
- ❑ **Niveaux G4-G5:** Sécurité de l'intégrité structurelle et fonctionnelle du système

- **G5 Gravité catastrophique** correspond à des conséquences telles que
 - dommage important sur l'homme (mort, invalidité, blessures graves)
 - destruction totale du système et de son environnement

⇒ *Pas d'action possible suite à l'ampleur du phénomène*
- **G4 Gravité critique** correspond à des conséquences telles que
 - blessures graves non permanentes
 - destruction partielle du système

⇒ Procédure d'urgence permettant de minimiser les conséquences
- **G3 Gravité grave** correspond à des conséquences telles que
 - blessures légères
 - arrêt ou dégradation importante de la mission sans destruction
- **G2 Gravité significative** correspond à des conséquences telles que
 - dégradation de la mission sans destruction ou indisponibilité importante
- **G1 Gravité mineure**

Probabilité	Valeur		Fréquence	Intitulé
<p1	10^{-6} /unité		<t1	< 1 fois par 10 ans
<p2	10^{-4} /unité		<t2	<1 fois par an
<p3	10^{-3} /unité		<t3	<1 fois par mois
<p4	10^{-1} /unité		<t4	<1 fois par semaine

Objectifs système
(bornes des
classes)

Unité= de temps, nombre
d'opération, durée de la
mission....

Evaluation des
scénarios

Classe de Vraisemblance	Intitulé de la classe
V1	Impossible à improbable
V2	Très peu probable
V3	Peu probable
V4	probable
V5	Très probable à certain

Paramètres d'évaluation : G et V

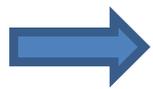
G : GRAVITE des conséquences du risque (ER): 5 classes (G1 à G5)

V : Vraisemblance du risque (ER) ou de ses conséquences: 5 classes (V1 à V5)

Classe de gravité	Intitulé de la classe
G1	Mineure
G2	Significative
G3	Grave
G4	Critique
G5	Catastrophique

X

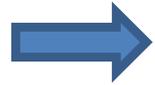
Classe de Vraisemblance	Intitulé de la classe
V1	Impossible à improbable
V2	Très peu probable
V3	Peu probable
V4	probable
V5	Très probable à certain



Espérance mathématique

$$RM = G \times V$$

- **Domaine de définition de RM** : ensemble des 25 couples (G,V)
- **Domaine des valeurs de RM** : domaine continu de **G** (mêmes unités)



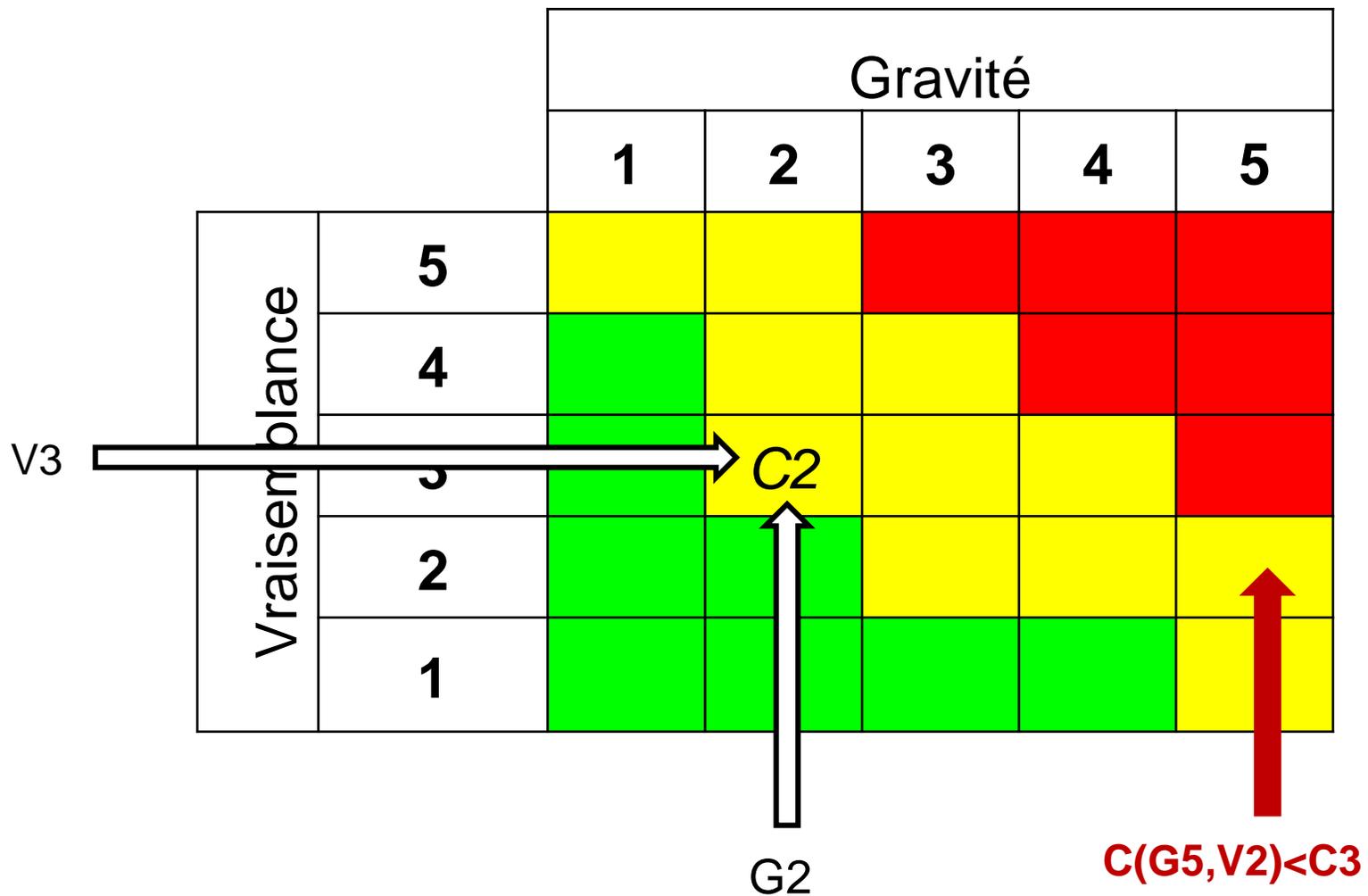
Résultat de la fonction de décision:

$$C = f_d(G, V)$$

f_d est associée à une échelle de contraintes de nature politique, sociale, religieuse, éthique, économique....

- **Domaine de définition de f_d :** ensemble des 25 couples (G,V)
- **Domaine des valeurs de f_d :** {C1,C2,C3}

Classe de criticité	Intitulé de la classe	Intitulés des décisions et des actions
C1	Acceptable	Aucune action n'est à entreprendre
C2	Tolérable sous contrôle	On doit organiser un suivi en termes de gestion du risque
C3	Inacceptable	On doit refuser la situation et prendre des mesures en réduction des risques sinon ... on doit refuser toute ou partie de l'activité



		Gravité				
		1	2	3	4	5
Vraisemblance	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

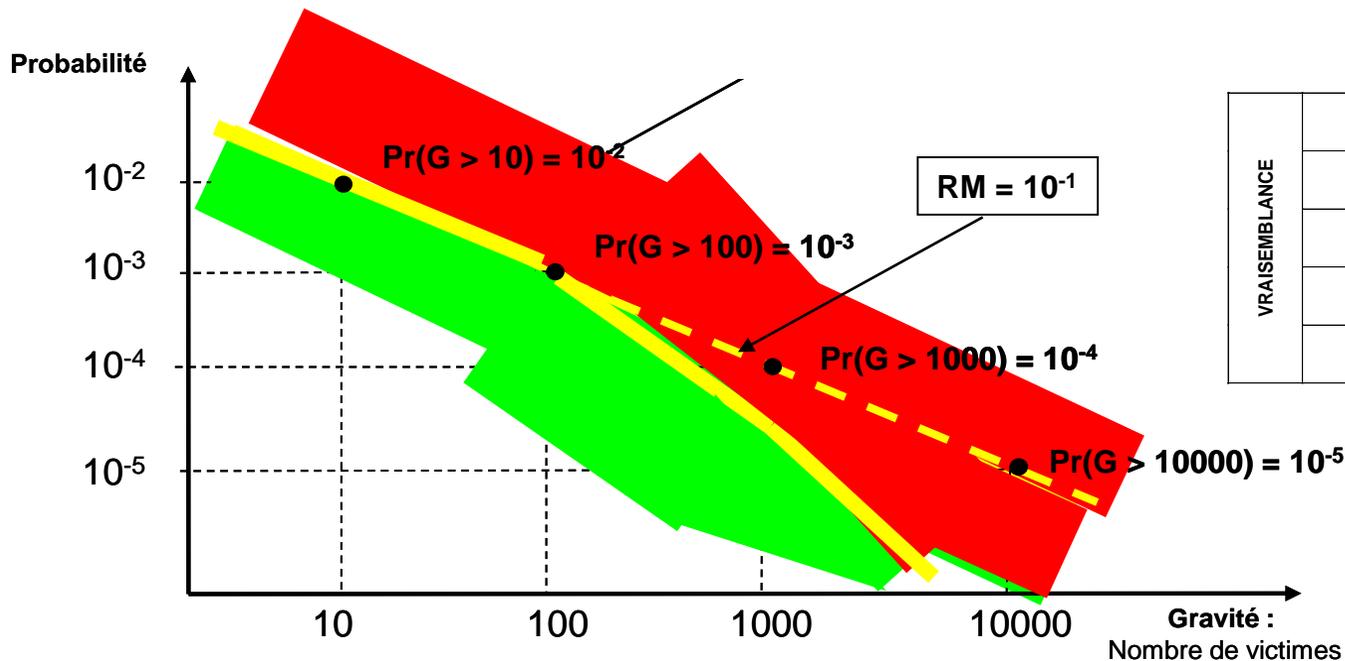
C1: $I \leq 4$

C2: $4 < I \leq 12$

C3: $I > 12$

- Un événement redouté A a pour conséquence plus de 10 victimes avec une probabilité de 10^{-2}
Le risque moyen calculé est de 10^{-1} victime par occurrence de A
- Un événement B a pour conséquence plus de 10000 victimes avec une probabilité 10^{-5}
Le risque moyen calculé est de 10^{-1} victime par occurrence de B

⇒ A et B doivent-ils être considérés de même **criticité**?



		GRAVITE DES CONSEQUENCES				
		G1	G2	G3	G4	G5
VRAISEMBLANCE	V5	5	10	15	20	25
	V4	4	8	12	16	20
	V3	3	6	9	12	15
	V2	2	4	6	8	10
	V1	1	2	3	4	5

$C = f_D(G, V) \neq G \times V = RM$

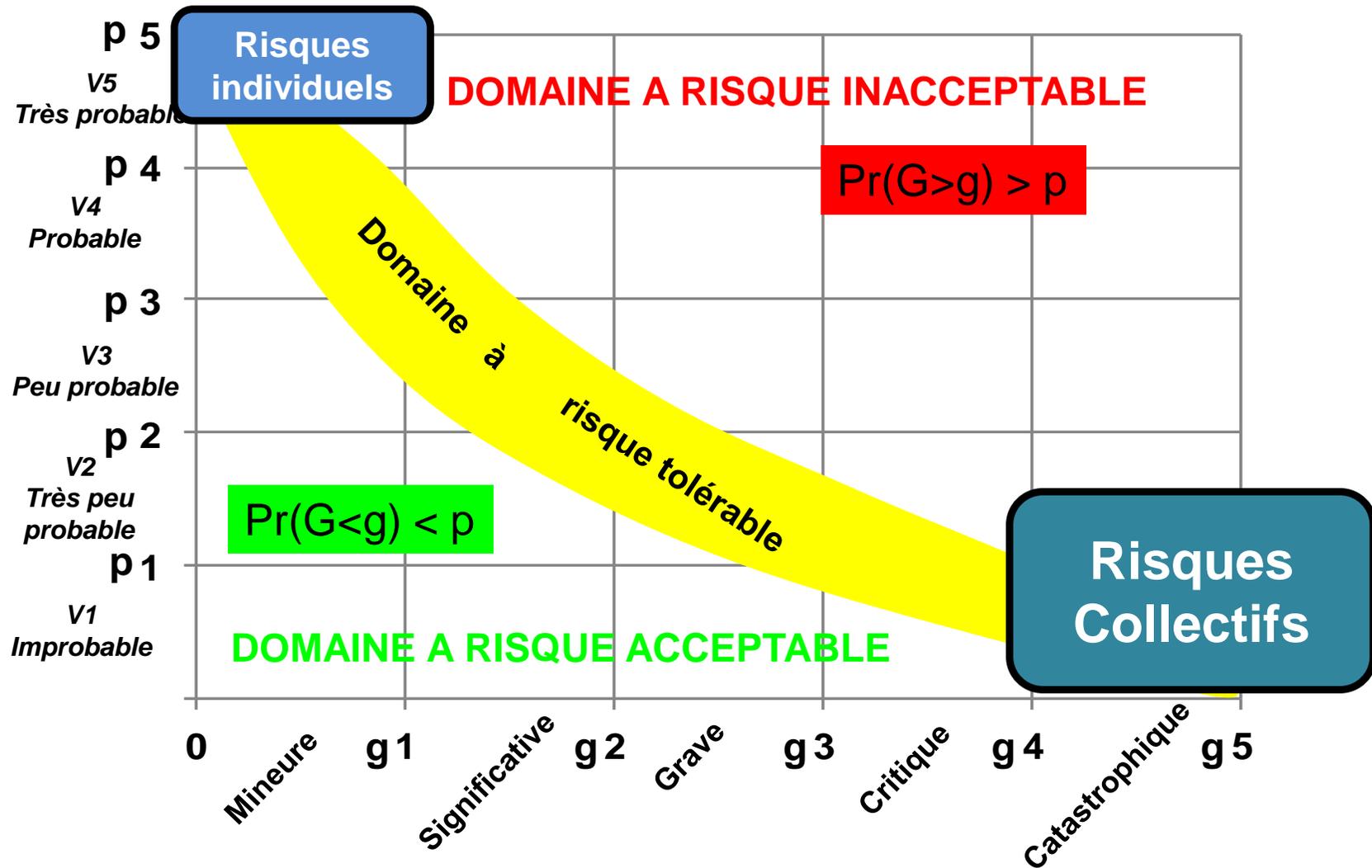
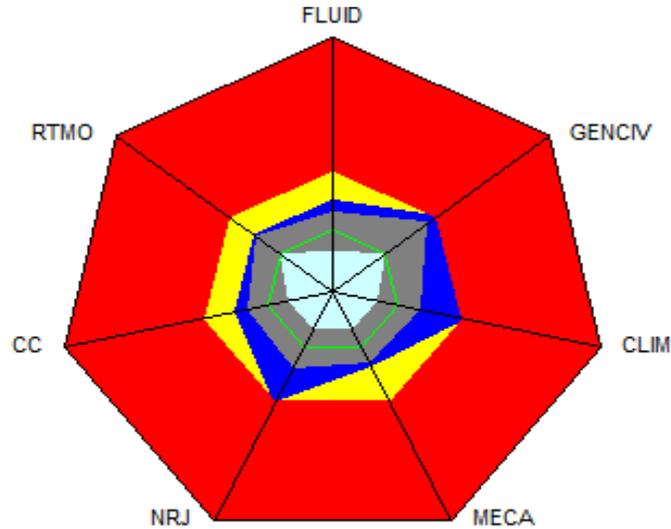




Diagramme des risques / criticités (KIVIAT)



		Gravité				
		1	2	3	4	5
Vraisemblance	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

C1
C2
C3

Diagramme des risques / gravités-vraisemblances (FARMER)

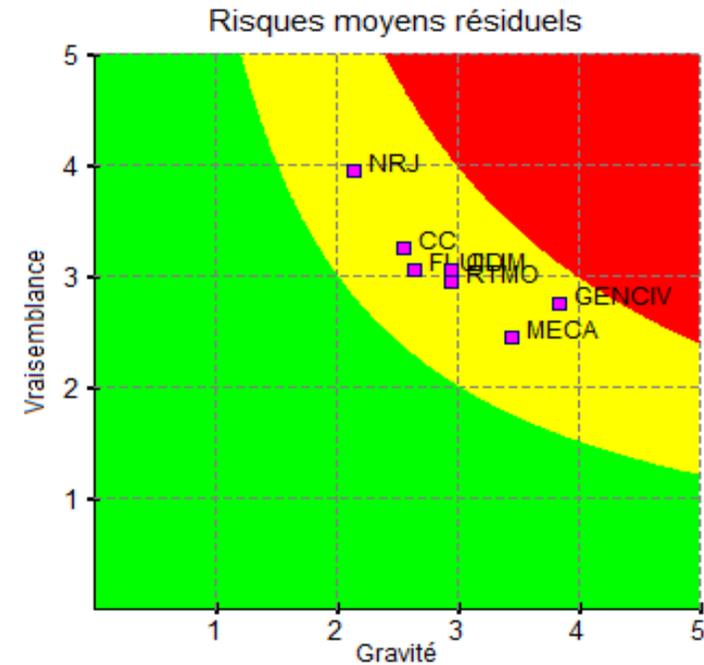
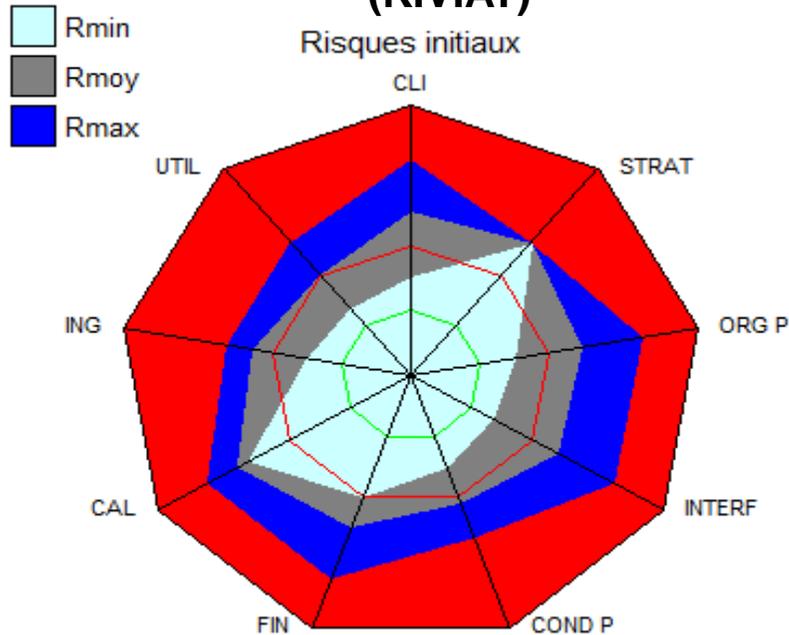


Diagramme des risques / criticités (KIVIAT)



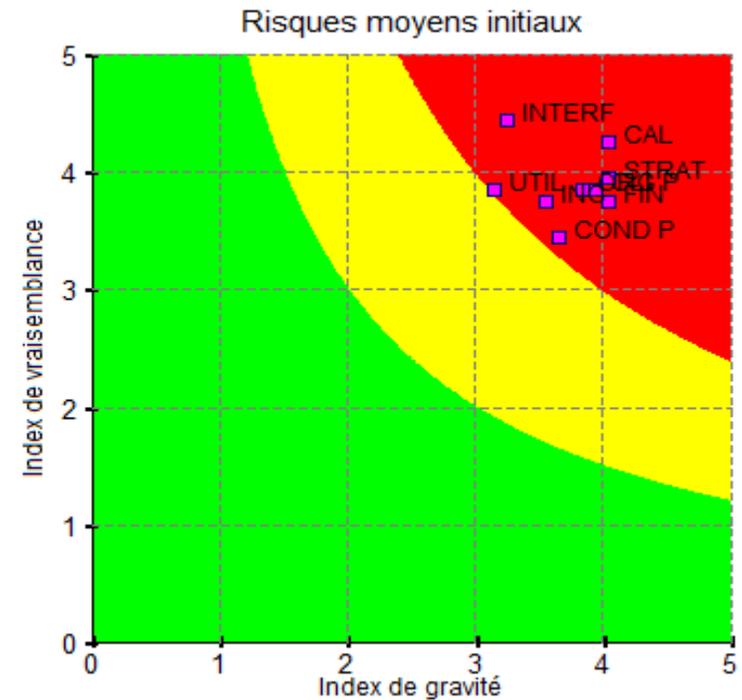
		Gravité				
		1	2	3	4	5
Vraisemblance	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

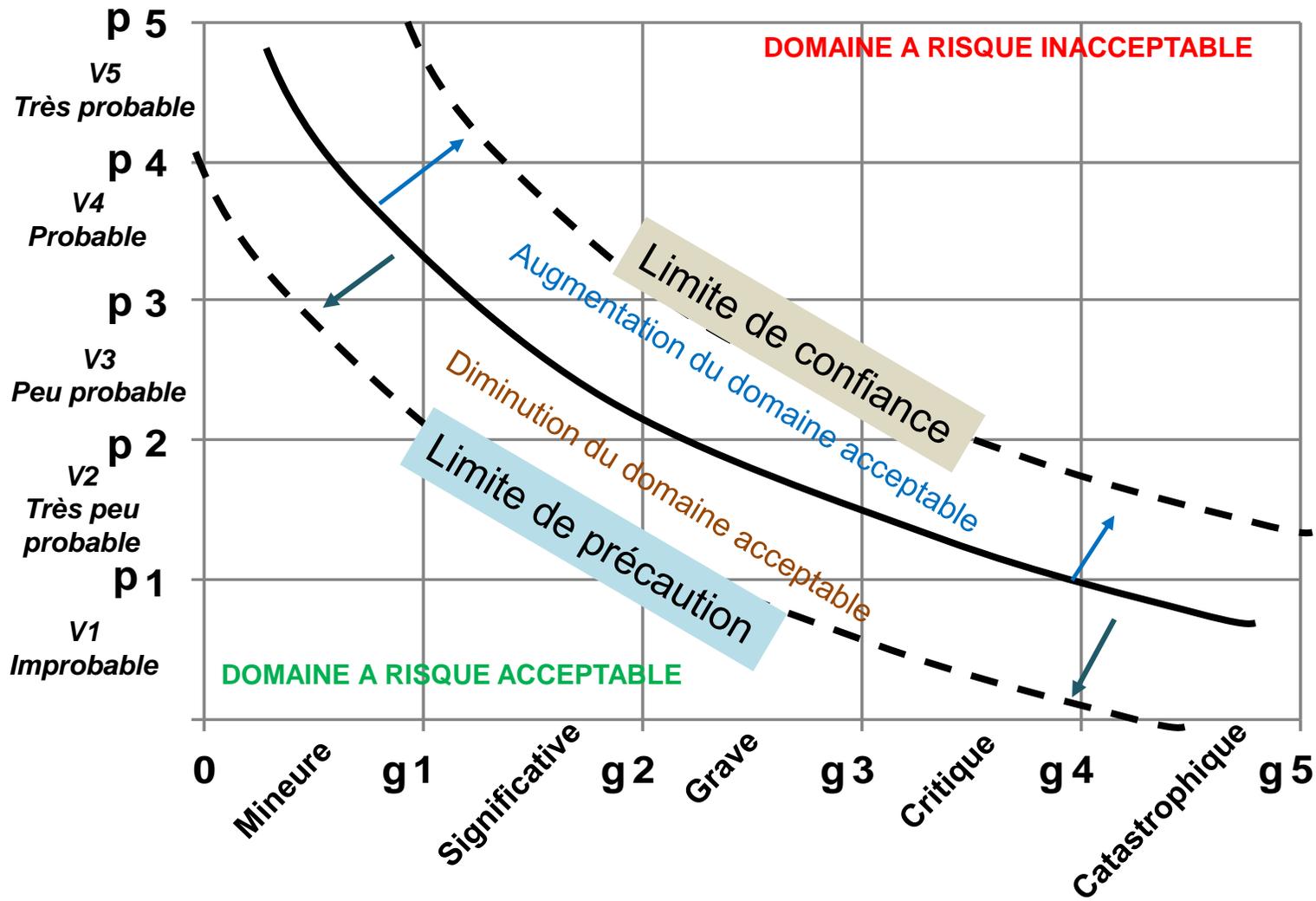
C1 (Green)

C2 (Yellow)

C3 (Red)

Diagramme des risques / gravités-vraisemblances (FARMER)

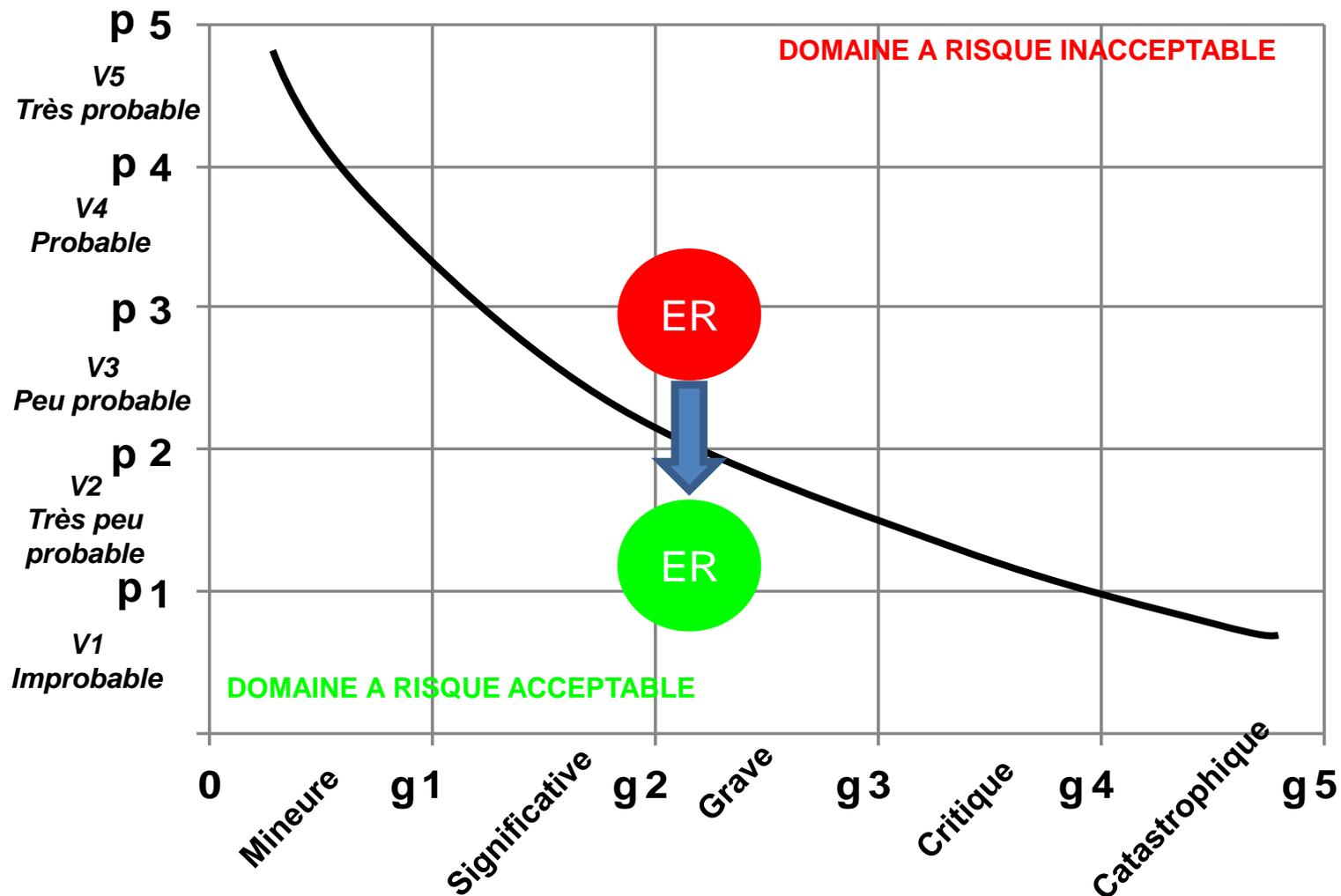




Passage d'un risque inacceptable à un risque acceptable: la PREVENTION



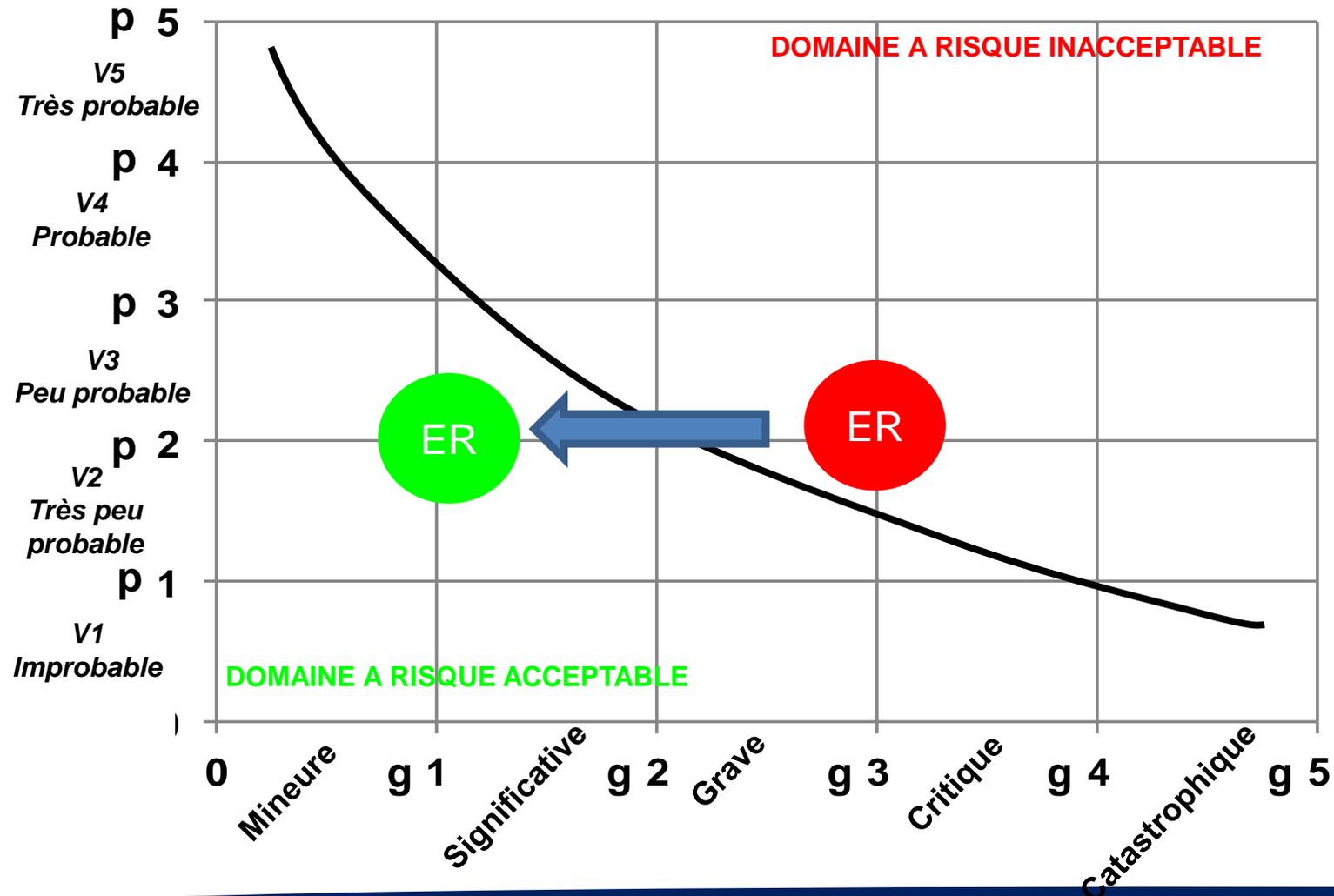
Modifier le système ou son exploitation pour diminuer la probabilité d'occurrence de ER et rendre le risque acceptable



Passage d'un risque inacceptable à un risque acceptable: la PROTECTION

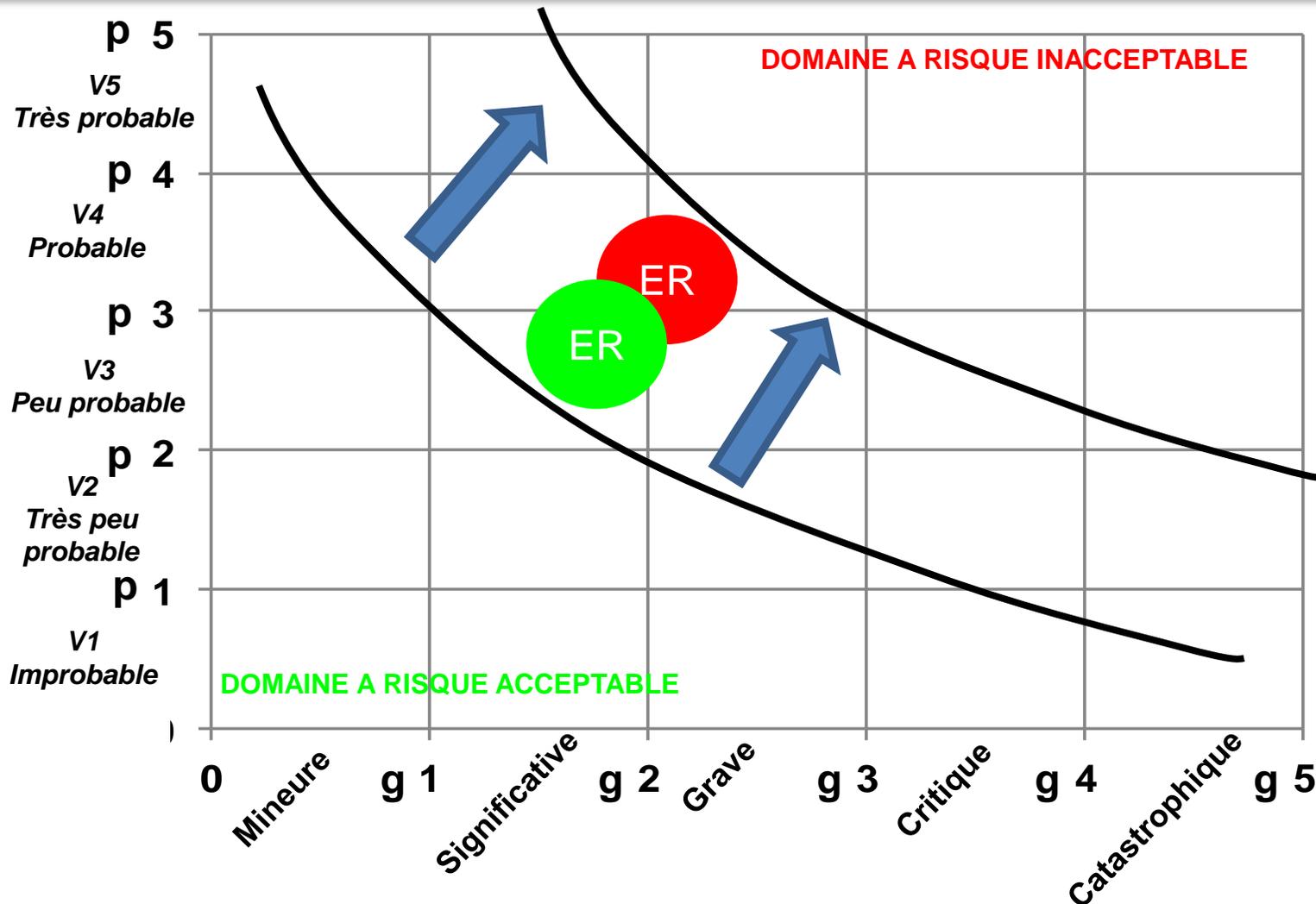


Modifier le système ou son exploitation pour diminuer la gravité de ER et rendre le risque acceptable

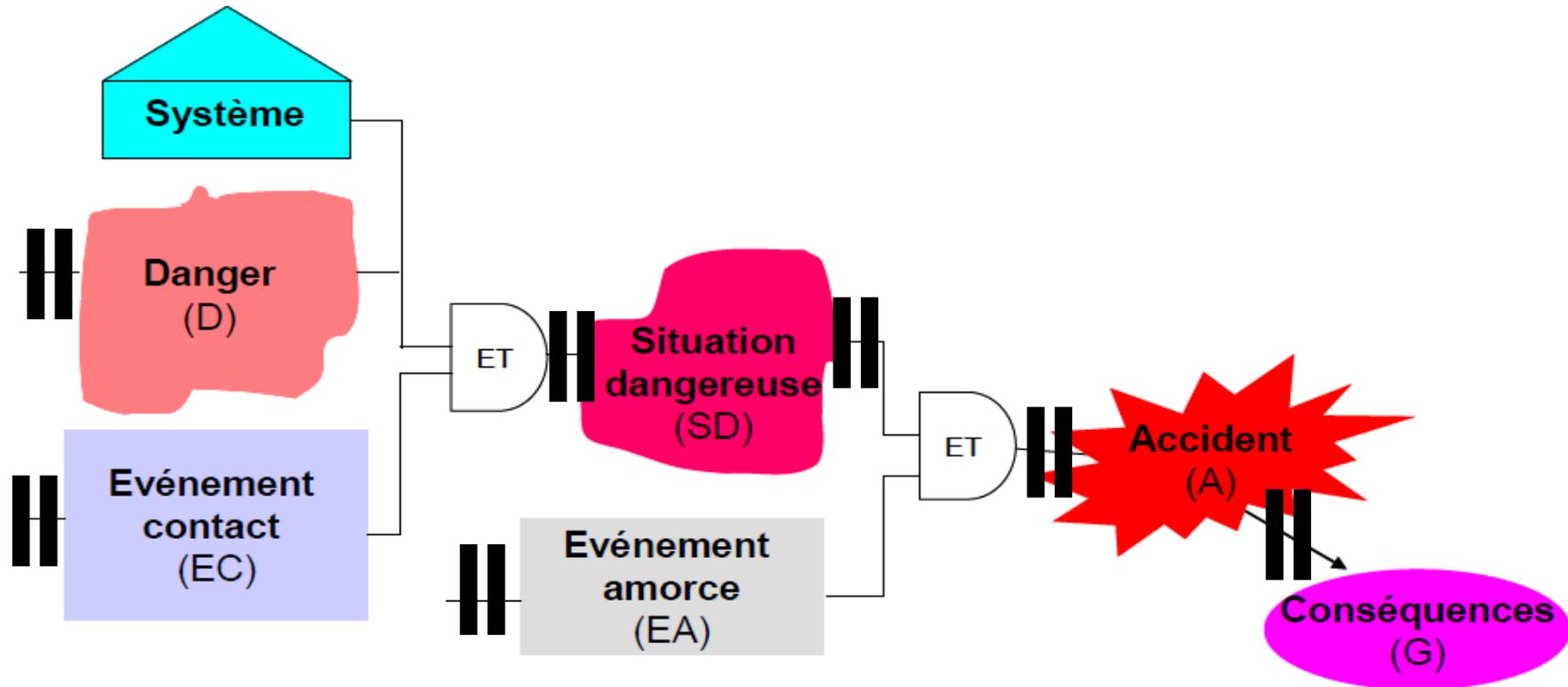




Rendre le risque acceptable en augmentant artificiellement le domaine à risque acceptable



Passage d'un risque inacceptable à un risque acceptable





Principe N°1: La sécurité des personnes doit primer sur toute autre considération

Principe N°2: il vaut mieux prévenir que guérir

Principe N°3: La voix de la sécurité est indépendante

Principe N°4: La sécurité d'ensemble est la résultante organisée des efforts de chacun

Principe N°5: Errare humanum est, perseverare diabolicum

Principe N°6: L'effort de sécurité doit être adapté aux objectifs

Principe N°7: Les résultats de l'effort se mesurent



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES UTILISEES DANS CE COURS

- Alain Desroches et al, 2014. **La gestion des risques – Principes et Pratiques**, 3^{ième} édition, Ed Hermès Science – Lavoisier.
- Alain Desroches, Aguin N., Dadoun M et Delmotte S., 2016. **L'Analyse Globale des Risques – Principes et Pratiques**, Ed Hermès Science – A paraître.
- ISO / IEC GUIDE 51- **Safety aspects - Guidelines for their inclusion in standards**
- ISO / IEC GUIDE 73 - **Risk management — Vocabulary**
- ISO 31000:2009 - **Risk management — Principles and guidelines**