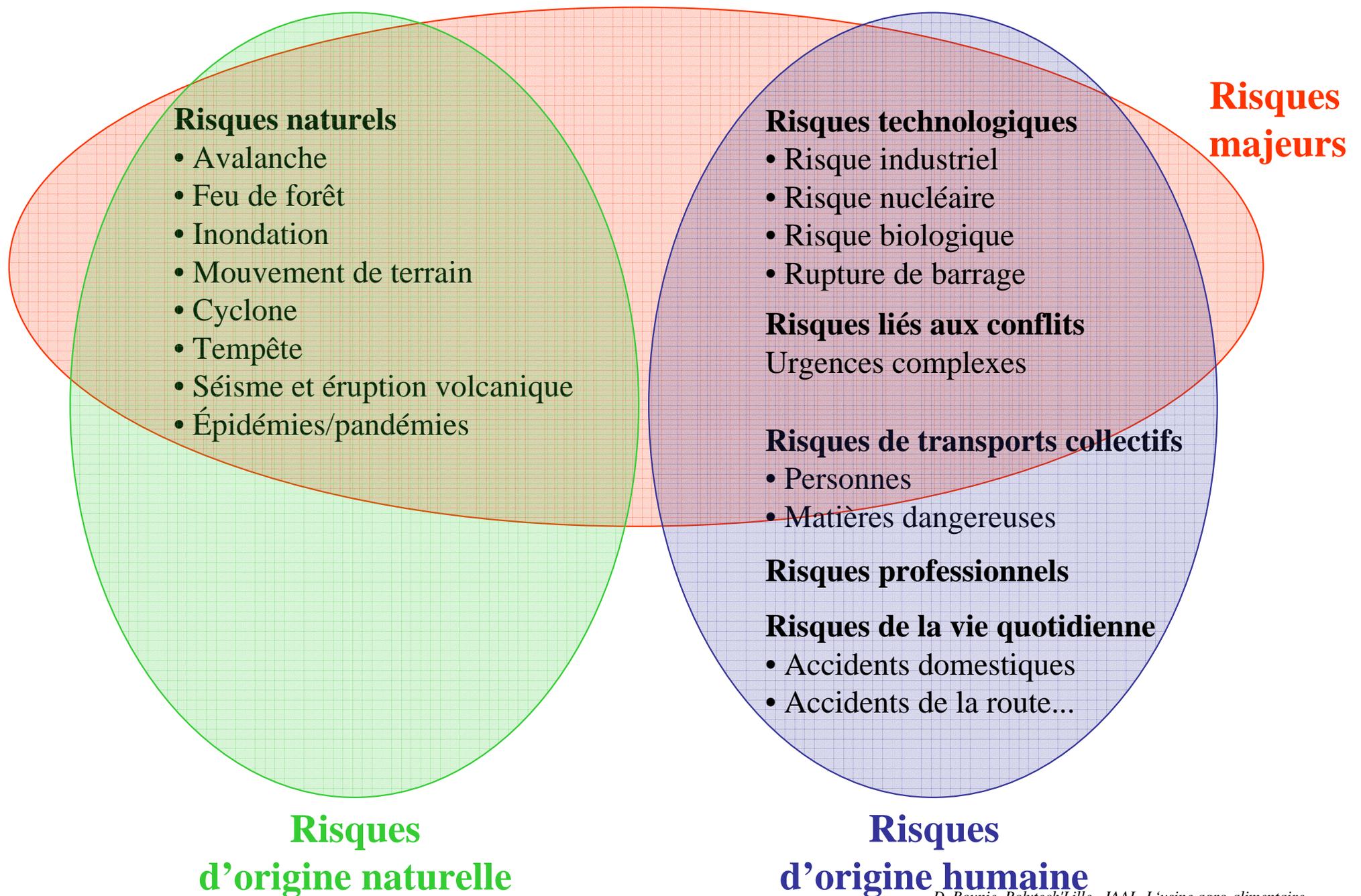
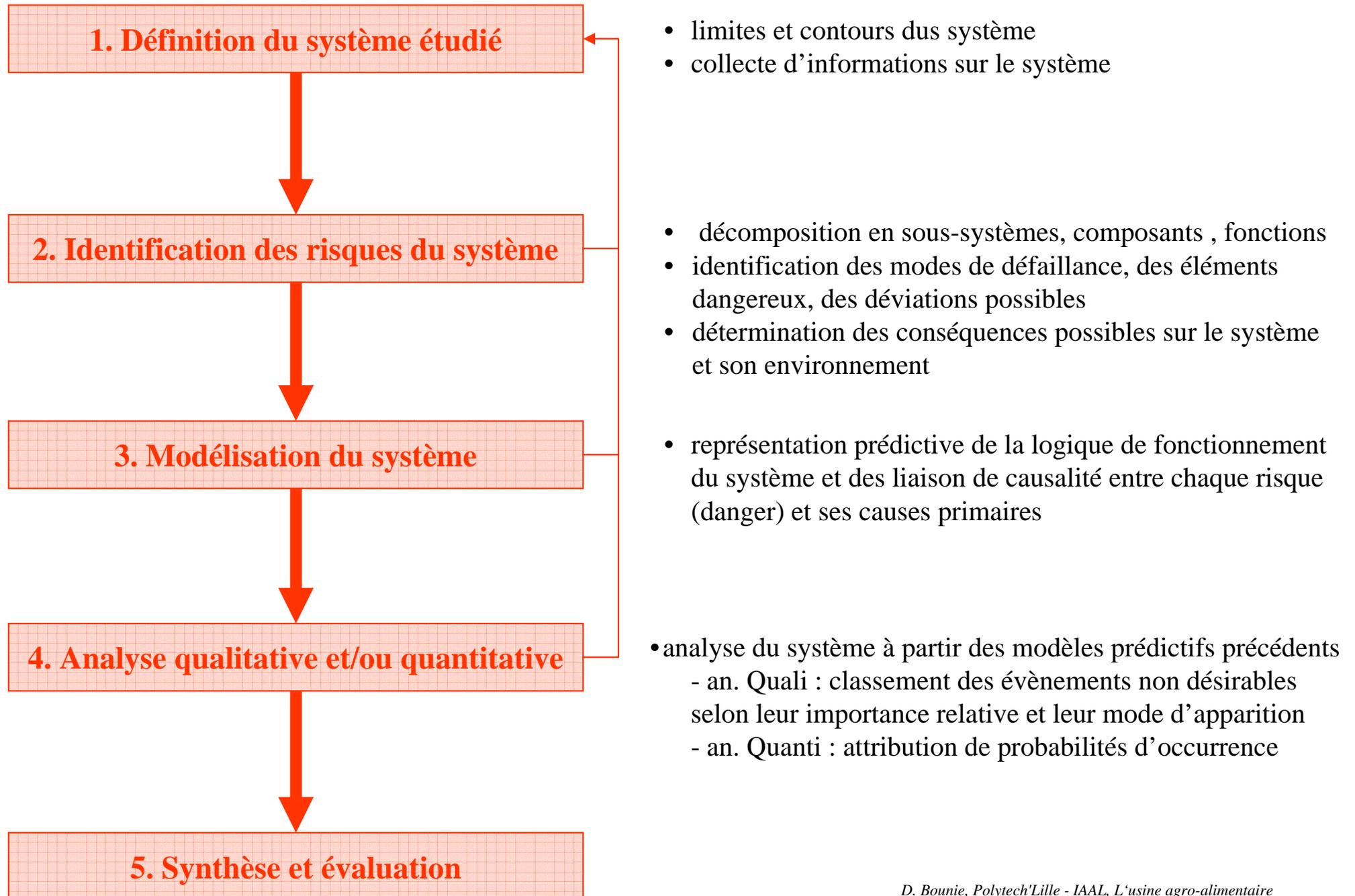


Les méthodes d'analyse de risques

Risques (dangers) : typologie générale



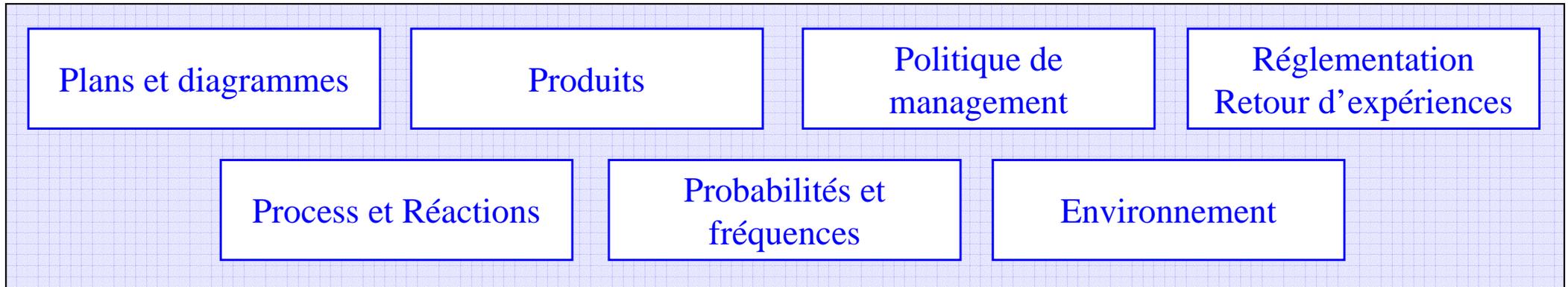
Méthodologie générale : étapes d'une analyse de risques



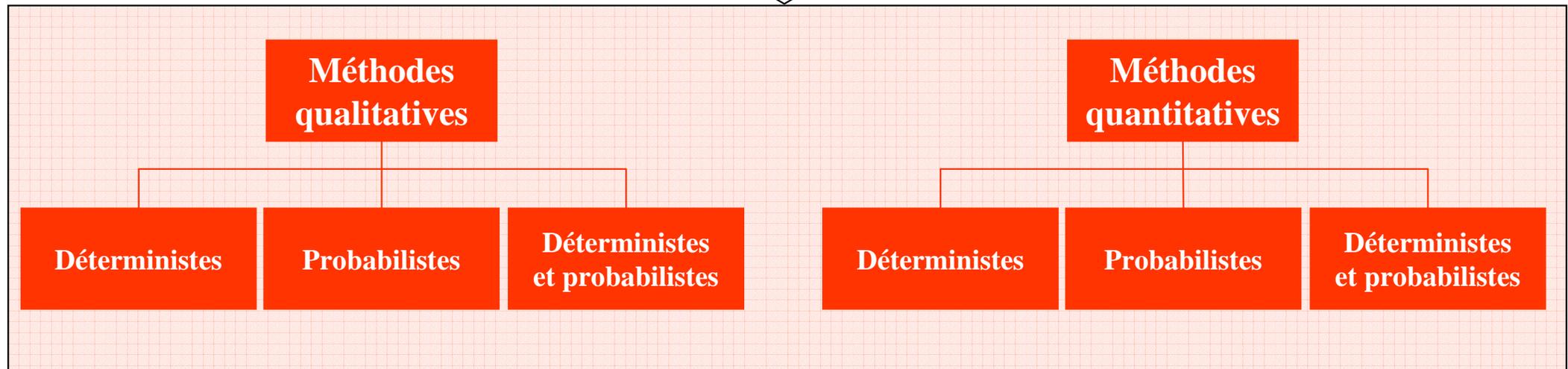
Classement des méthodes d'analyse des risques

(Tixier et al., 2002)

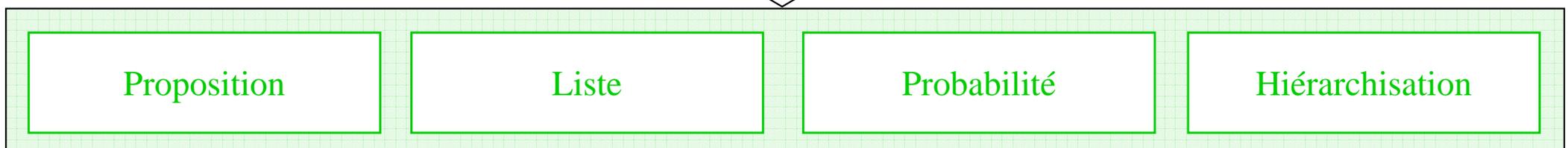
Données d'entrée



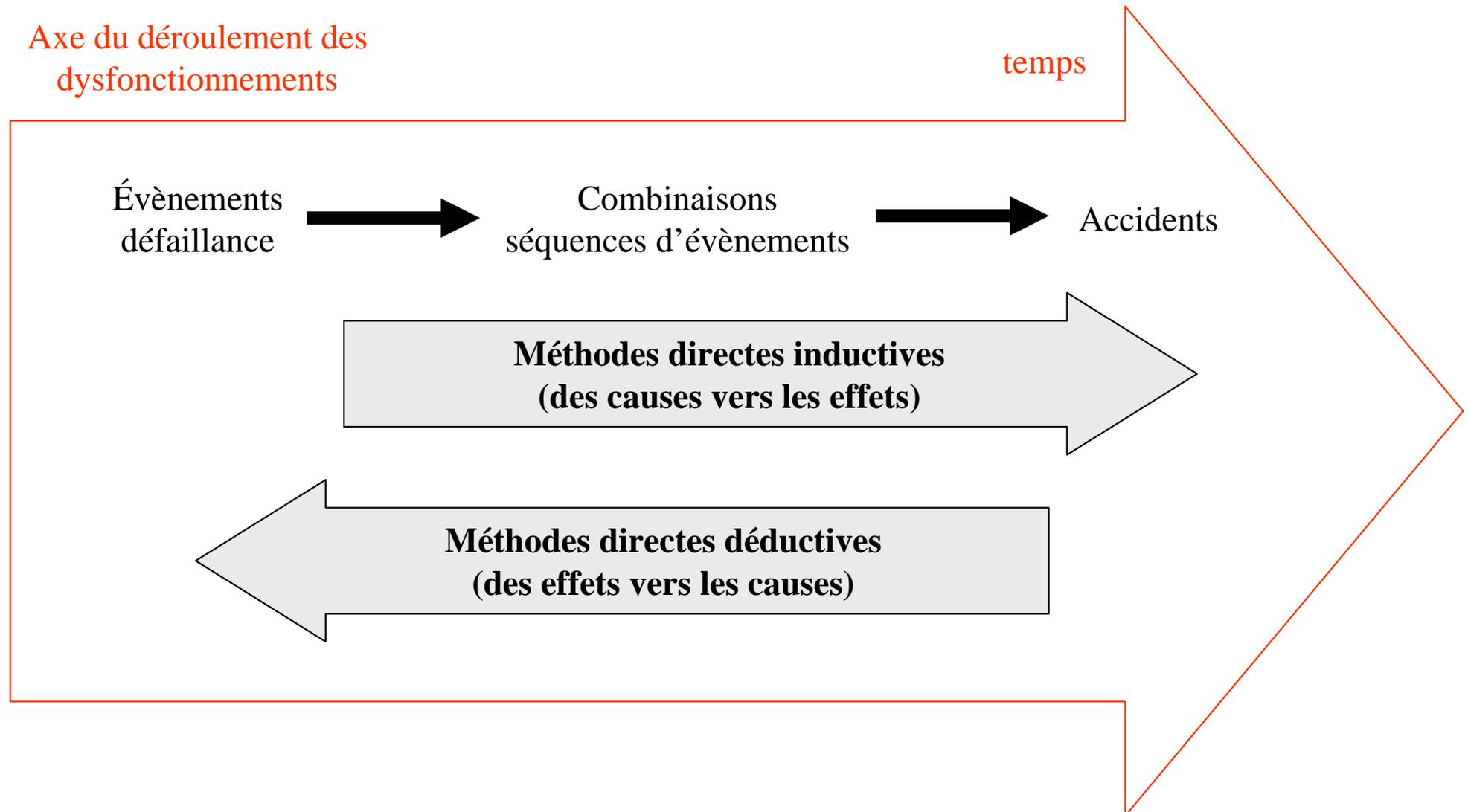
Méthodes



Résultats



Démarches inductives et déductives



Les différentes méthodes d'analyse de risques

METHODES

DEDUCTIVES

- Arbre des causes (arbre des défaillances, ou des défauts ou des fautes)

INDUCTIVES

- APR (Analyse Préliminaire des Risques)
- Arbre des conséquences
- AMDE/AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets et Criticité)
- HAZOP (HAZard and OPerability)
- Nœud papillon
- MADS- MOSAR (Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques)

Principes de quelques méthodes d'analyse de risques

- **Arbre des défaillances**
Permet de déterminer les diverses combinaisons d'évènements qui génèrent une situation indésirable unique, dont le diagramme logique est réalisé au moyen d'une structure arborescente
- **APR (Analyse Préliminaire des Risques)**
Consiste à identifier les divers éléments dangereux présents dans le système étudié et à examiner pour chacun d'eux comment ils pourraient conduire à une situation accidentelle plus ou moins grave, suite à un évènement initiant une situation potentiellement dangereuse
- **Arbre des conséquences**
Permet d'élaborer un diagramme présentant l'ensemble de éventualités résultant de diverses combinaisons d'évènements. Le développement de l'arbre débute par un évènement initiateur et progresse selon une logique binaire : chaque évènement conduit à identifier deux états successifs possibles, l'un acceptable et l'autre non. Cette démarche fournit ainsi la séquence logique des différents évènements susceptibles de se produire en aval de l'évènement primaire e permet donc leur évaluation.
- **AMDE et AMDEC**
 - AMDE : consiste à considérer systématiquement, l'un après l'autre, chacun des composants du système étudié et à analyser les causes et les effets de leurs défaillances potentielles
 - AMDEC : équivalent à l'AMDE, en y ajoutant la criticité du mode de défaillance, dont l'estimation nécessite la connaissance des probabilités d'occurrence des défaillances, et les gravités de leurs effets
- **Méthode HAZOP (HAZard and OPerability study)**
Étudie l'influence de déviations des divers paramètres régissant le procédé analysé par rapport à leurs valeurs nominales de fonctionnement. A l'aide de mots-clefs, les dérives imaginées de chaque paramètre sont examinées systématiquement afin de mettre en évidence leurs causes, leurs conséquences, les moyens de détection et les actions correctrices

Guide de sélection des méthodes d'analyse de risques

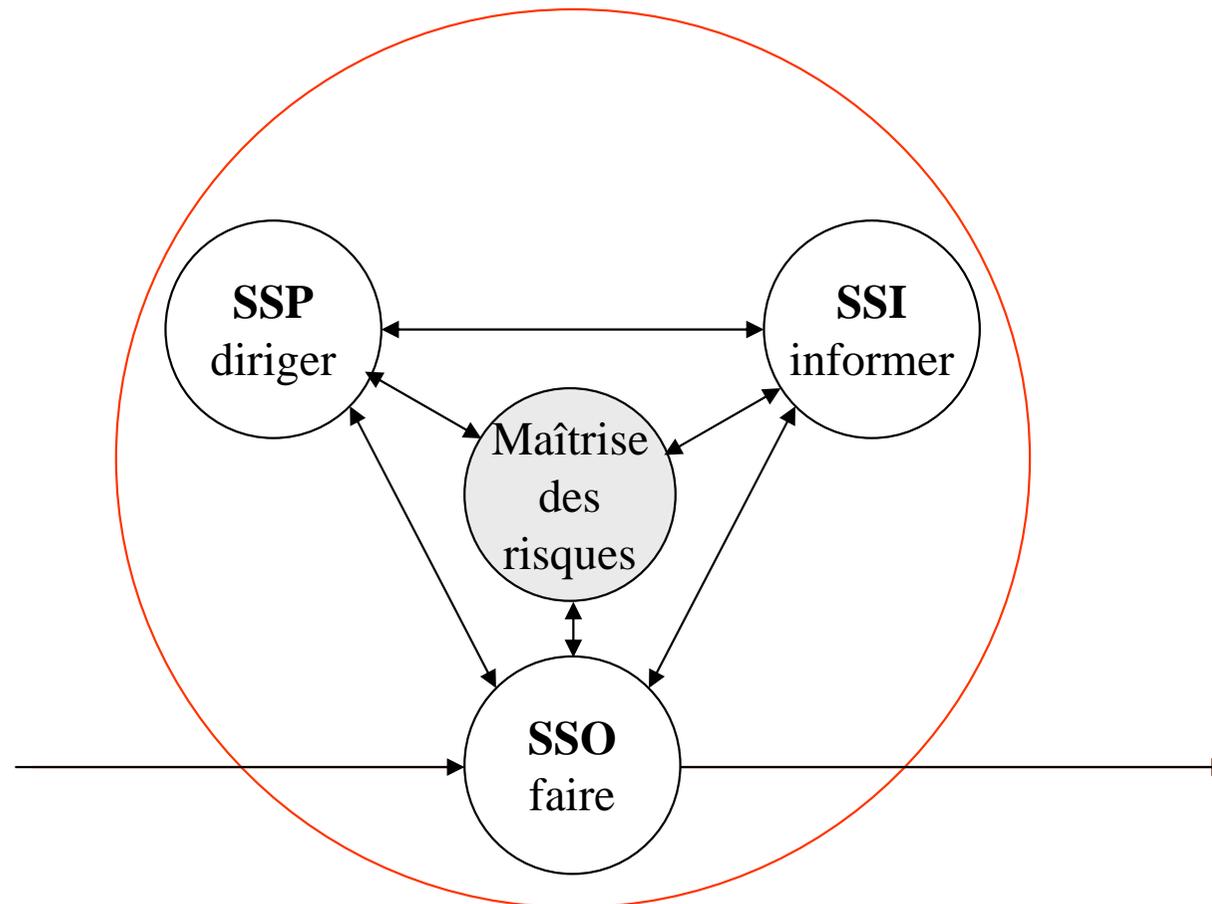
	Audit	Check list	APR	What-if	Check-list + What-if	HAZOP	AMDE / AMDEC	Arbre des causes	Arbre des conséquences	MDCC	Fiabilité humaine
Recherche-développement			○	○							
Conception procédés		○	○	○	○						
Unité pilote		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ingénierie		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Construction-démarrage	○	○		○	○						○
Exploitation	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○
Modification	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Phase d'audit-enquête après accident				○	○	○	○	○	○	○	○
Arrêt définitif/démontage	○	○		○	○						

○ : méthode couramment utilisée

Approche systémique

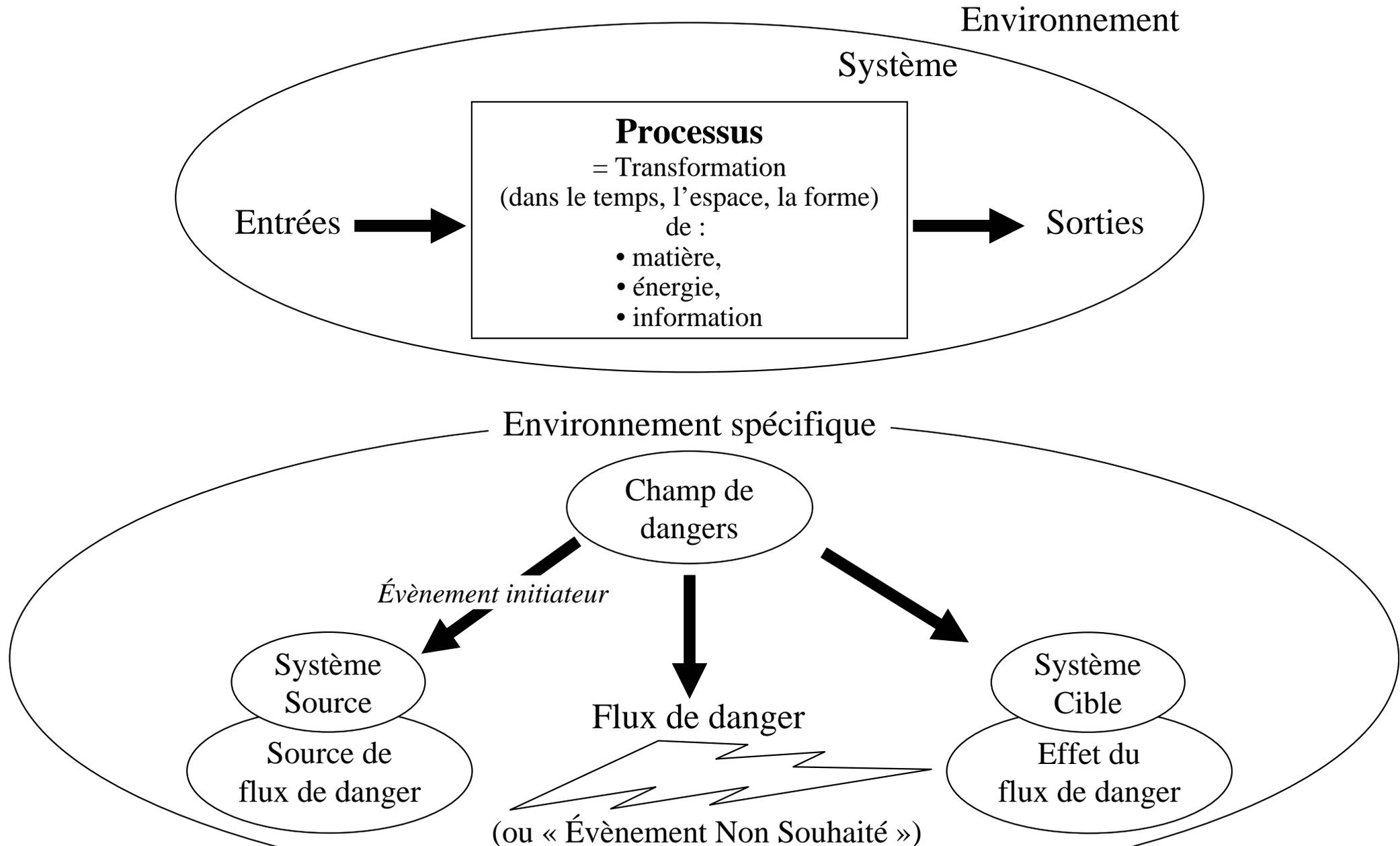
Décomposition du **système** en trois **sous-systèmes** :

- sous-système opérant (fabrication) : **SSO**
 - sous-système de pilotage (direction) : **SSP**
 - sous-système d'information (contrôle-commande) : **SSI**
- (chaque sous-système peut, à son tour être décomposé en trois sous-systèmes)



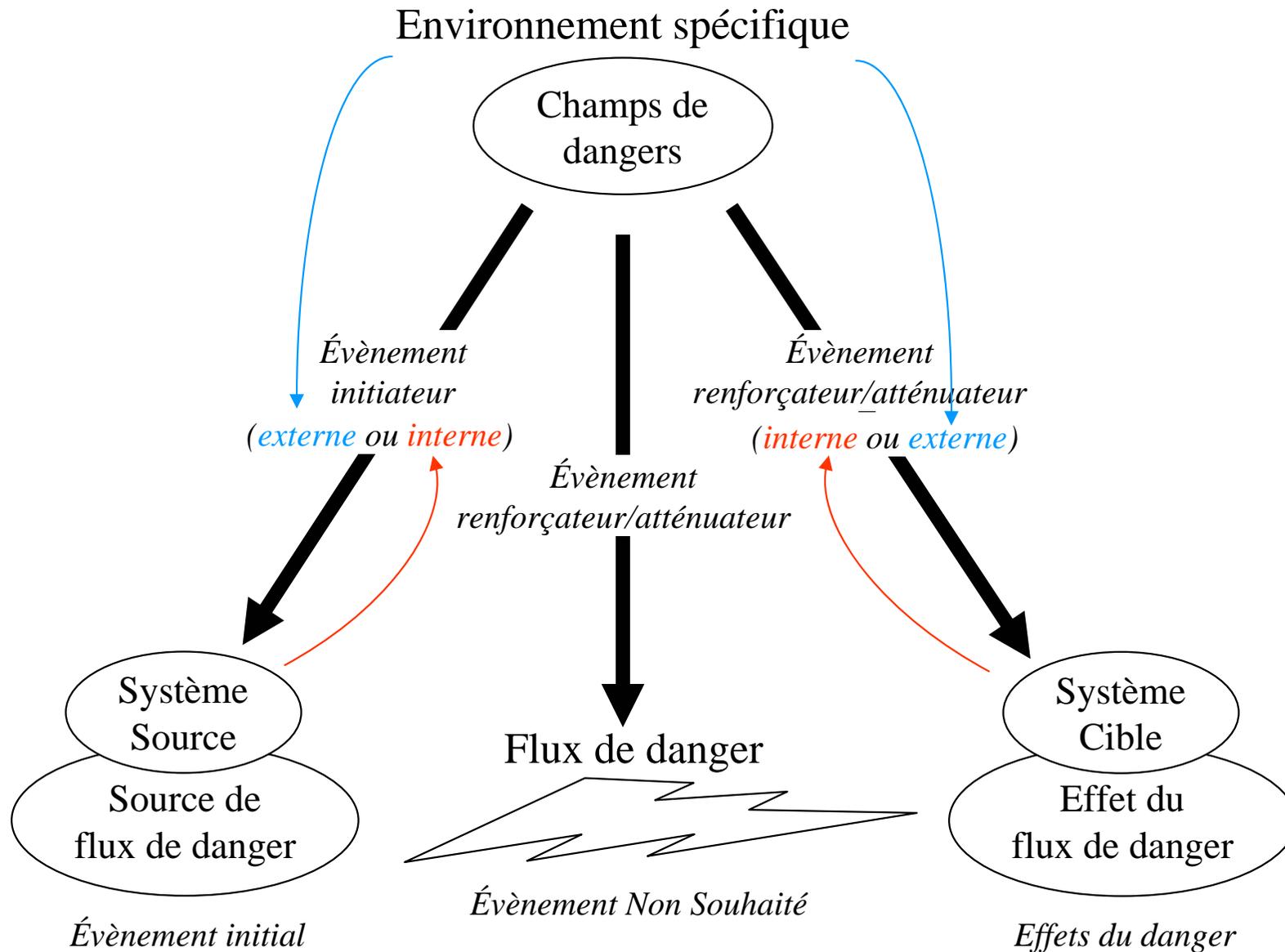
Approche systémique : le modèle MADS

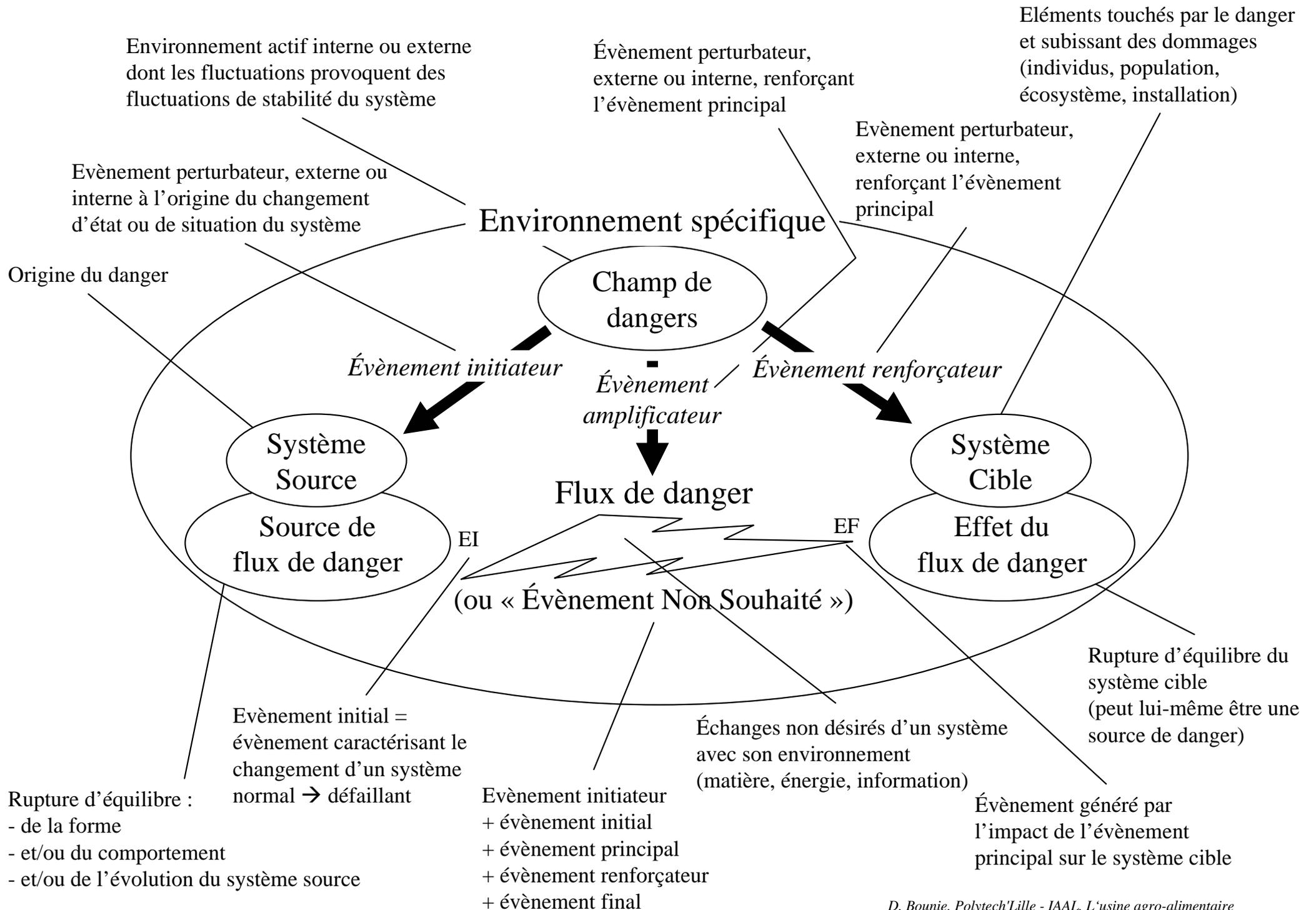
(Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes)



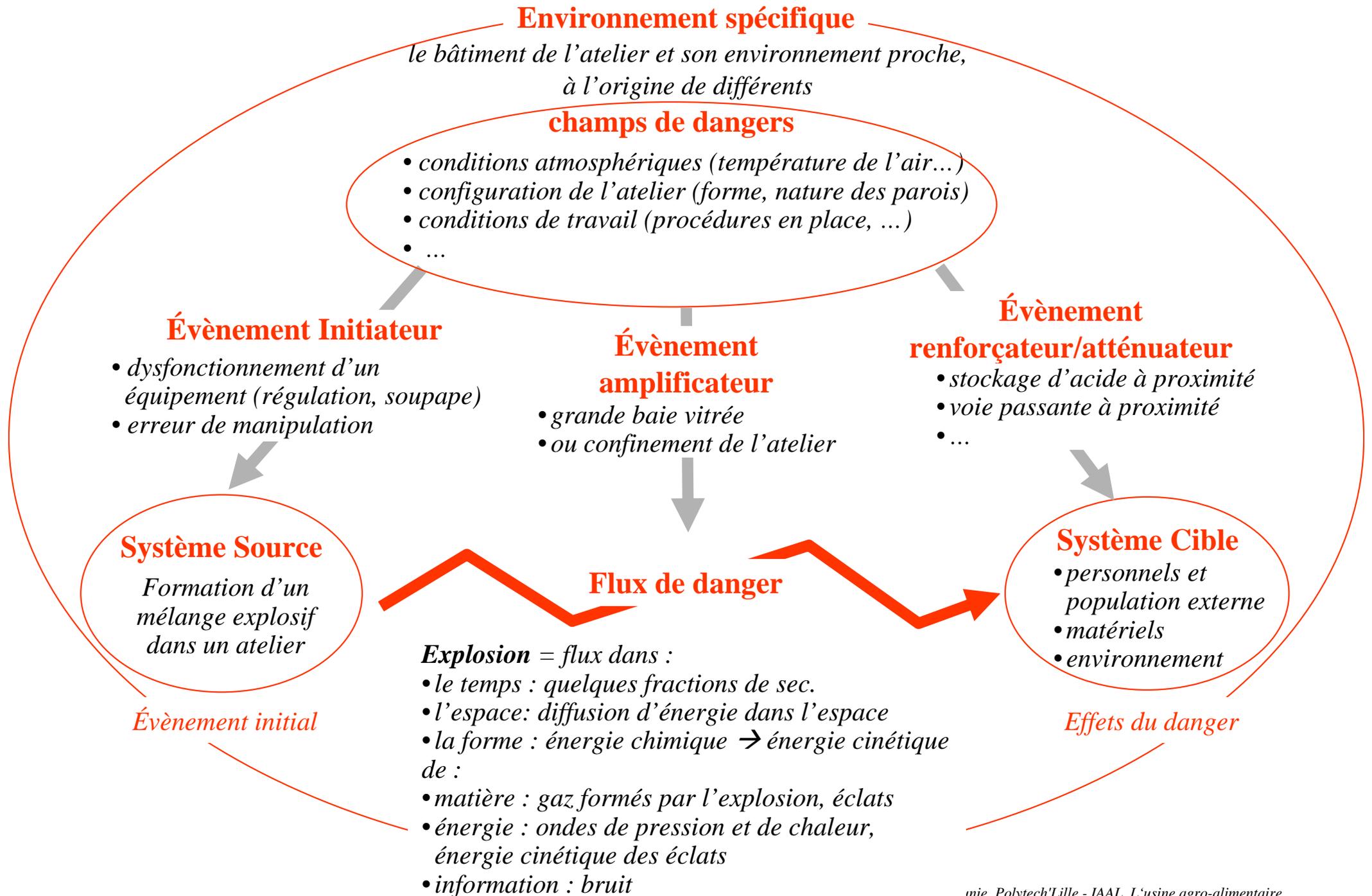
Modèle MADS

Enchaînement des évènements menant au dysfonctionnement



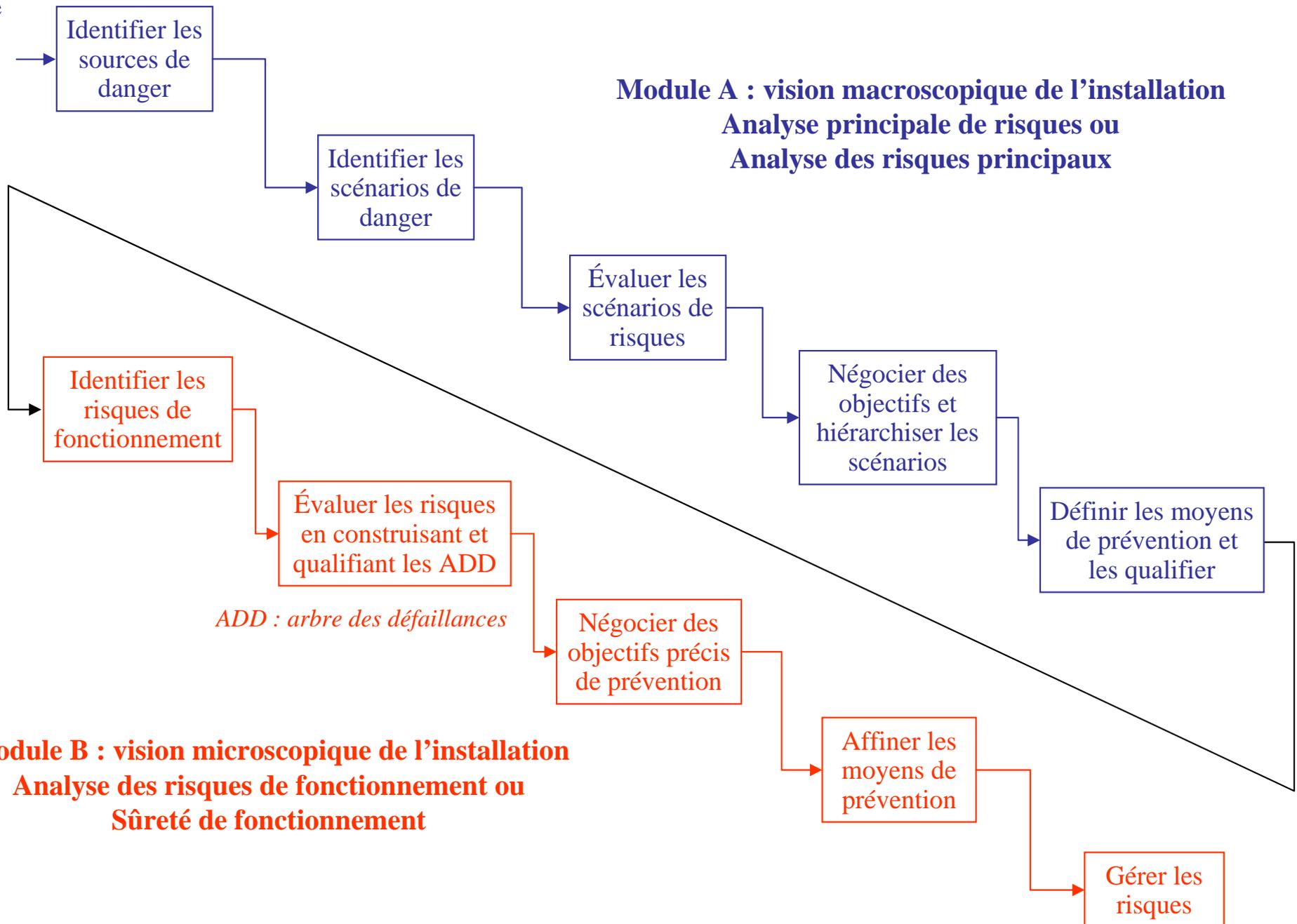


Modèle MADS : exemple d'une explosion dans un atelier



Les deux modules et les dix étapes de MOSAR (Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques)

A partir d'une
modélisation
de
l'installation



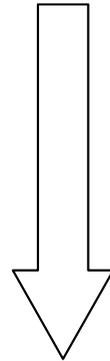
Déroulement pas à pas du module A de MOSAR

1. Décrire le système (modélisation de l'installation) → système + sous-systèmes
2. Identifier les sources de danger → grille des sources de danger
3. Identifier les ENS (Evènements Non Souhaités) → tableau A
4. Représenter sous forme de boîtes noires → boîtes noires (scénarios courts)
5. Établir les scénarios d'enchaînements d'ENS → scénarios de défaillance
6. Présenter les scénarios sous forme de pré-arbres logiques → arbre des causes
7. Évaluer les risques → quantification du risque
8. Hiérarchiser les risques → grille de criticité
9. Définir les barrières de prévention et de protection → tableau B
10. Qualifier les barrières de prévention / protection → tableau C

MOSAR – 1. Décrire le système (modélisation de l'installation)

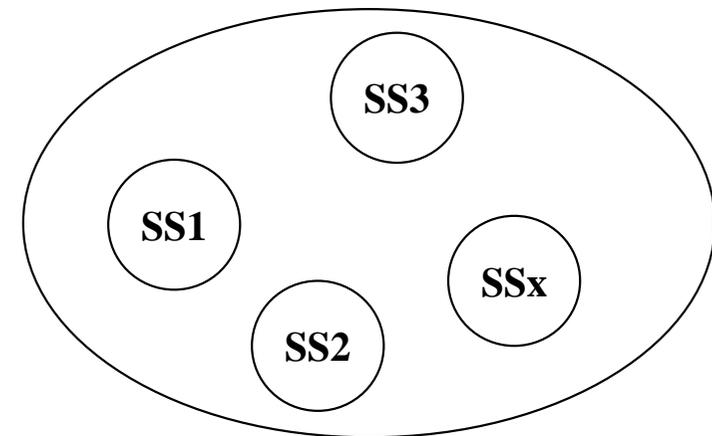
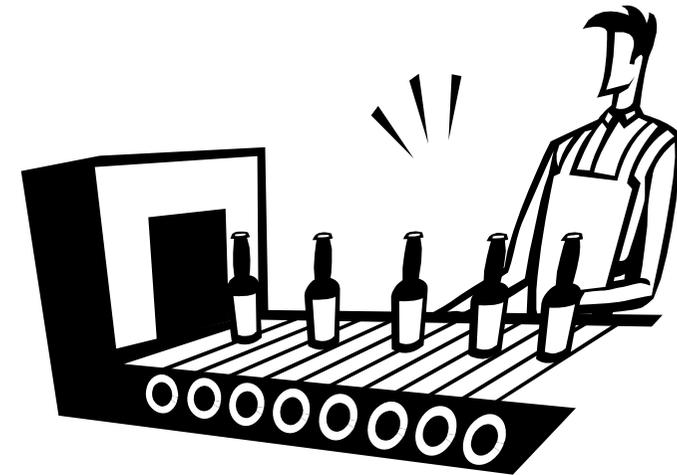
1. Observer / représenter le système :

- en phase de conception
- ou en phase d'exploitation



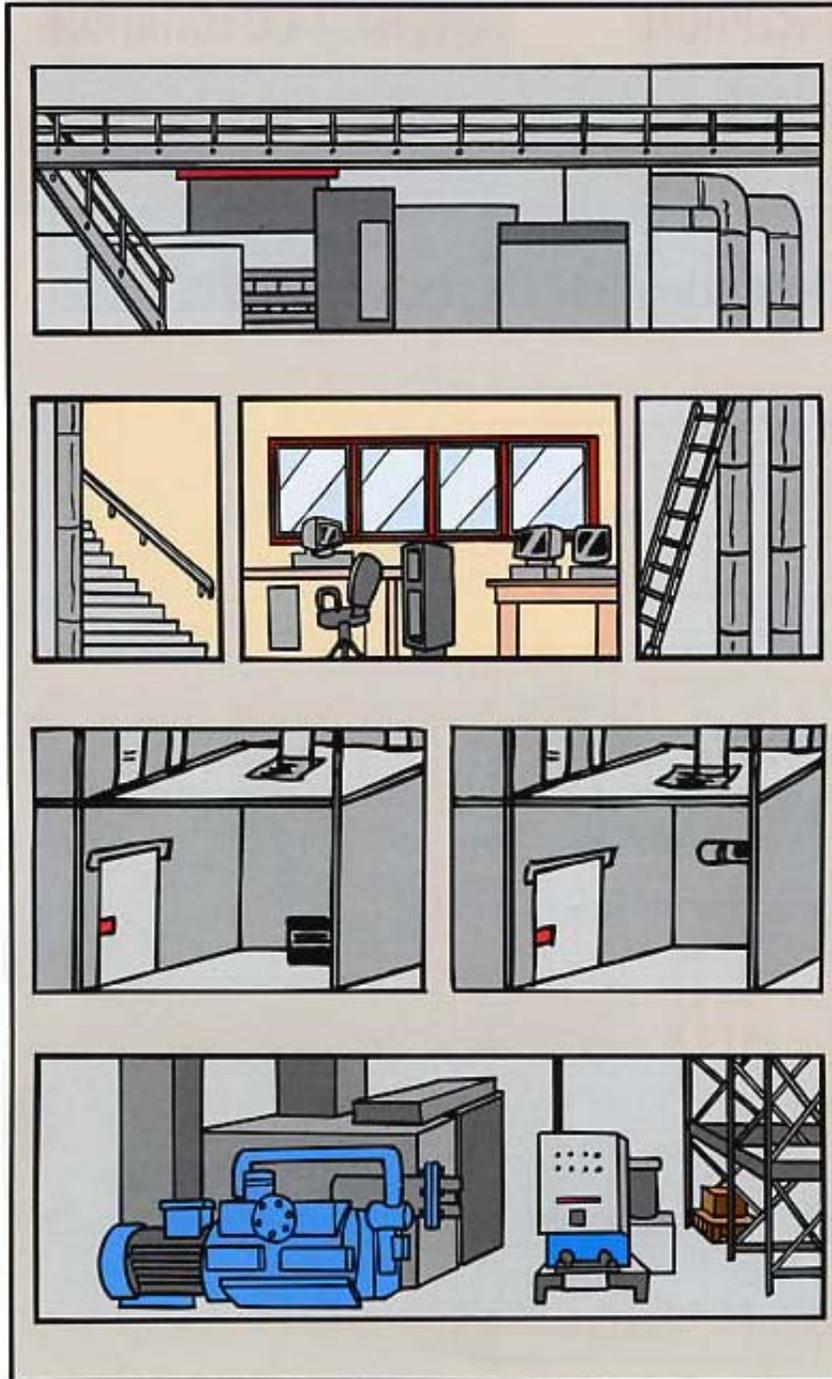
2. Découper le système en sous-systèmes :

- découpage géographique (ne pas oublier les opérateurs)
- ou découpage fonctionnel



MOSAR – 1. Décrire le système

Exemple Climatest, une installation destinée au test de matériels de climatisation



Des combles, qui abritent les éléments de traitement d'air, accessibles à partir d'une passerelle et d'échelles.

Un deuxième niveau constitué des bureaux et des accès aux combles.

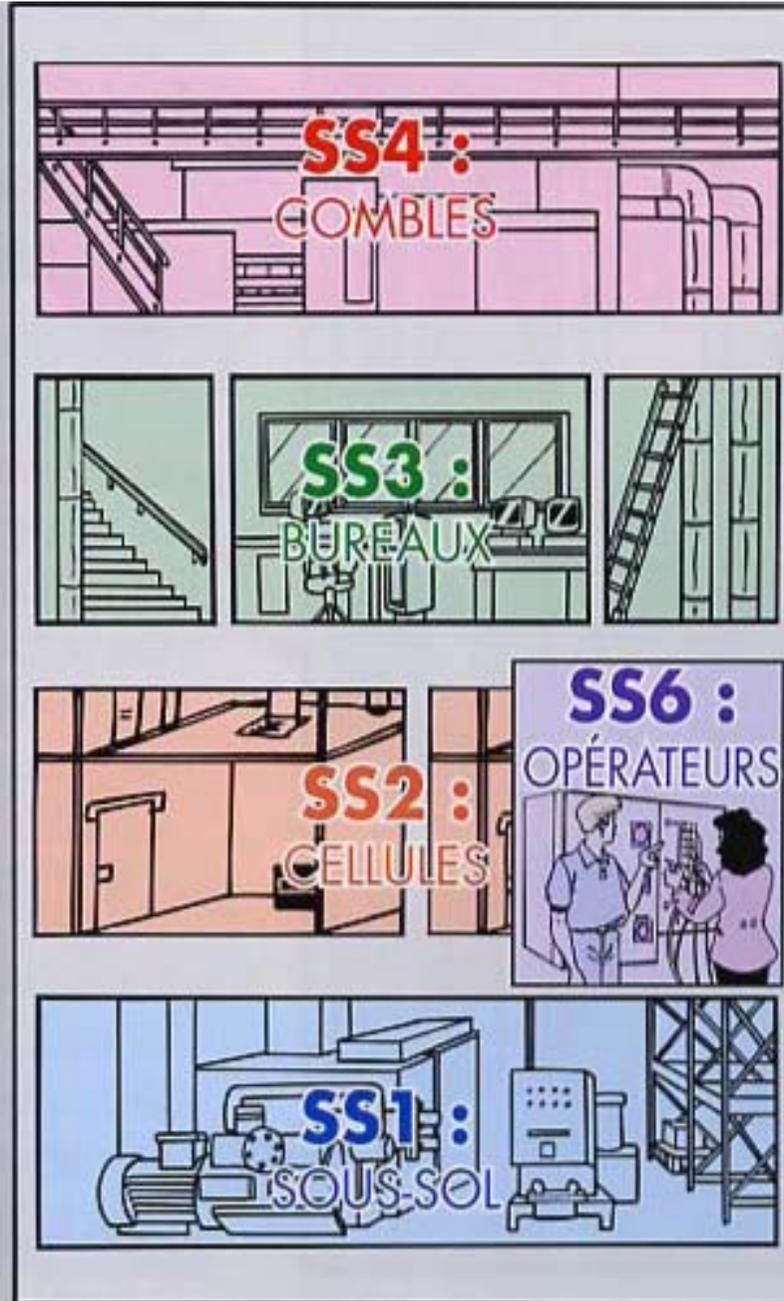
Un premier niveau constitué de cellules d'essais avec leurs propres ventilations d'extraction. Ces cellules ont des cloisons amovibles ainsi qu'une structure métallique. Les matériels à tester sont accrochés sur les cloisons ou sur la structure.

Un sous-sol qui abrite les centrales de climatisation, deux chaudières électriques à vapeur et un stockage de matériels.

MOSAR – 1. Modélisation de l'installation

Exemple Climatest

SS5 :
ENVIRONNEMENT
ACTIF



SS5 :
ENVIRONNEMENT
ACTIF



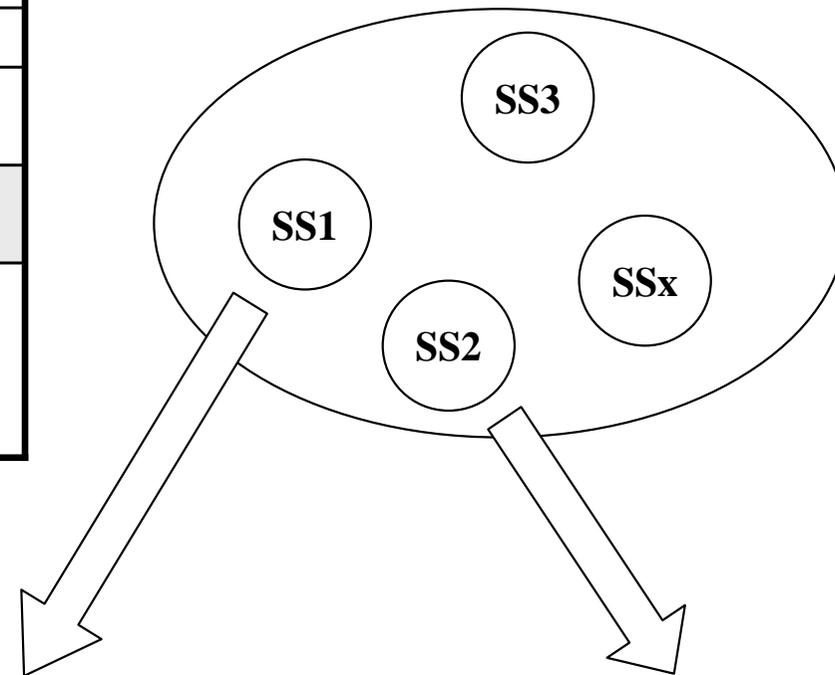
MOSAR – 2. Identifier les sources de danger à partir d'une liste préétablie = Grille 1

A	Systèmes sources de dangers d'origine mécanique	C	Systèmes sources de dangers d'origine électrique
A1	Appareils sous pression <ul style="list-style-type: none"> – gaz – vapeur mixte – hydraulique 	C1	Électricité à courant continu ou alternatif
A2	Éléments sous contraintes mécaniques	C2	Électricité statique
A3	Éléments en mouvement <ul style="list-style-type: none"> – solides – liquides – gaz 	C3	Condensateurs de puissance
A4	Éléments nécessitant une manutention <ul style="list-style-type: none"> – manuelle – mécanique 	C4	Hautes fréquences
A5	Systèmes sources d'explosion d'origine physique autre que A1	D	Systèmes sources de dangers d'incendie
A6	Systèmes sources de chute de hauteur	E	Systèmes sources de dangers thermiques et de rayonnement
A7	Systèmes sources chute de plain-pied	E1	Ionisants <ul style="list-style-type: none"> – E1.1: Alpha, Béta, Gamma X – E1.2 : Neutrons – E1;3 : Contamination – E1.4 : Criticité (domaine nucléaire)
A8	Autres systèmes sources de blessures	E2	Sources thermiques <ul style="list-style-type: none"> – E2.1 : conduction thermique – E2.2 : rayonnement UV – IR – visible
A9	Systèmes sources de bruit et de vibrations	E3	Lasers
B	Systèmes sources de dangers d'origine chimique	E4	Micro-ondes
B1	Systèmes sources de réactions chimiques	E5	Champs magnétiques
B2	Systèmes sources d'explosions <ul style="list-style-type: none"> – en milieu condensé – en phase gazeuse 	F	Systèmes sources de dangers biologiques
B3	Systèmes sources de toxicité et d'agressivité	F1	Virus – bactéries
B4	Systèmes sources de pollution de l'atmosphère et d'odeurs	F2	Toxines
B5	Systèmes sources de manque d'oxygène	G	L'homme source de dangers
		G1	Situation normale
		G2	Malveillance

MOSAR – 2. Identifier les sources de danger (suite)

H	Systèmes sources de dangers liés à l'environnement actif
H1	Inondations
H2	Foudre
H3	Circulation aérienne, routière
H4	Autres industries environnantes
H5	Séismes
H6	Autres sources de dangers naturels : gel, glissement de terrain, chutes diverses
I	Systèmes sources de dangers d'origine économique et sociale
	<ul style="list-style-type: none"> - Finances - Migration - Conflits - Criminalité – violence - Grands rassemblements

A l'aide du tableau des sources de danger, établir, pour chaque sous-système, la liste des sources de danger (« Grille 1 »)



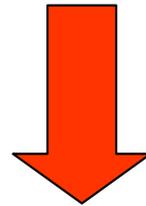
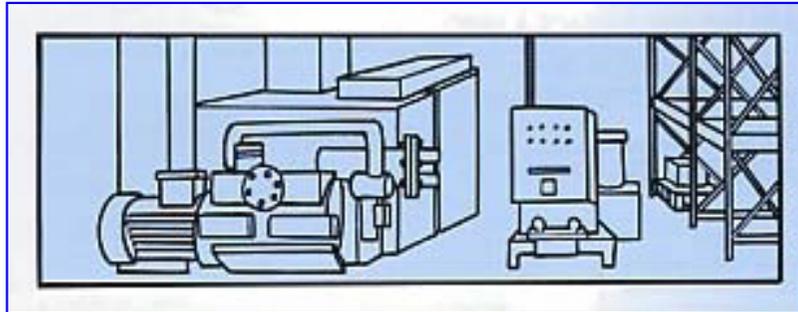
Grille des sources de danger de SS1	
A1	
A2	
A3	
...	

Grille des sources de danger de SS2	
A1	
A2	
A3	
...	

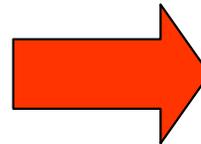
MOSAR – 2. Identifier les sources de danger (suite)

Exemple Climatest

SS1 Sous-sol



Grille 1



GRILLE DES SYSTÈMES SOURCES DE DANGER DE SS1

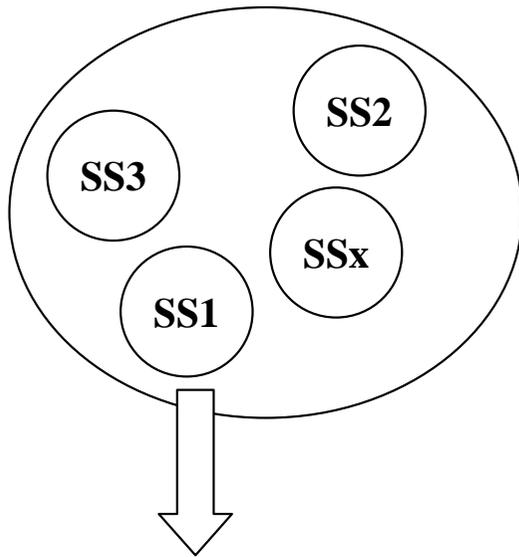
A1	2 CHAUDIÈRES ÉLECTRIQUES À VAPEUR P = 4 bar 4 GROUPES FRIGO FRÉON R22 ET R502 P = 22 à 23 bar BÂCHES DE STOCKAGE AVEC UNE CONTRE-PRESSION D'AZOTE à 1 bar EAU INDUSTRIELLE 8 bar BOUTEILLES FRÉON 10 bar (maintenance)
A2	STRUCTURE DU BÂTIMENT ACCROCHAGE DE GAINES DE TUYAUTERIES CHEMINS DE CÂBLES
A3	VENTILATEURS COMPRESSEURS, POMPES ROUE D'ÉSHYDRATEUR EAU, FRÉON, AIR, SAUMURE
A4	PALAN EXTERNE ÉLECTRIQUE PALAN INTERNE À MAIN POUR COUVERCLE DE CHAUDIÈRE BOUTEILLES FRÉON APPAREILS EN STOCKAGE FÛTS DE SAUMURE APPAREIL À CHANGER
A5	ARMOIRE ÉLECTRIQUE 1000A -380V
A6	ESCALIER 2 TRAPPES
A7	MURETS DE RÉTENTION-SOCLES BÉTON
A8	GAINES-SUPPORTS
A9	COMPRESSEURS-VENTILATION-MESURE > 80 dB(A)
B1	FLAMME + FRÉON (RECHERCHE DE FUITE) FRÉON + SAUMURE ? FRÉON + Cl Li ?
B3	SAUMURE
B4	EAU GLYCOLÉE-FRÉON
B5	FRÉON SI FUITE (concentration supérieure à 3 %)
C	ARMOIRE-CÂBLES-CHAUDIÈRE
D	MATÉRIAUX-CÂBLES LOCAL DE STOCKAGE : CLOISONS EN CONTREPLAQUÉ OU AGGLOMÉRÉ + CARTONS + ÉTAGÈRES BOIS + PALETTES CALORIFUGE (STÉROFORME)-GAINES + CAISSONS MATÉRIELS STOCKÉS : MATIÈRES PLASTIQUES FILTRES EN MOUSSE CHARGE THERMIQUE CONCENTRÉE SUR 70 m ² SOURCES D'ALLUMAGE : RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES CIGARETTES, SOUDURES, FLAMME OUTIL CONTRÔLE FRÉON CLOISONNEMENT : CAGE D'ESCALIER NON CLOISONNÉE VENTILATION D'EXTRACTION de 3 à 4000 m ³ /h à 1 mètre du sol
F	EAU STAGNANTE GAINES DE VENTILATION ANIMAUX, RONGEURS-CÂBLES, ISOLATION CHATS-ARMOIRES ÉLECTRIQUES



MOSAR – 3. Identifier les ENS (Evènements Non Souhaités)

Pour chaque sous-système, préciser, les évènements dont l'enchaînement conduit à l'ENS
(« Tableau A »)

(Attention : ne pas tenir compte des barrières de protection / prévention déjà en place)



Grille 1 Sources de danger de SS1	
A1	
A2	
A3	
...	



TABLEAU A : processus de danger pour le SS1							
Type de système source de danger		Phase de vie*	Évènement initial		Évènement initiateur		Évènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A1	chaudière	Ex	Rupture	Surpression	Choc Corrosion	Surpression	Explosion
A2							
...							

*Phases de vie : CO (conception), MO (montage), SE (essai), EX (exploitation), FN (fonctionnement normal), M (maintenance), DEP (dépannage), EN (entretien), FD (fonctionnement dégradé), IN (incident), AR (arrêt), TR (transformation), DEM (démantèlement)

MOSAR – 3. Identifier les ENS

Exemple Climatest

Grille des systèmes sources de danger de chaque sous-système

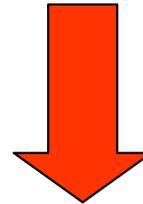


TABLEAU A Établissement des processus de danger SOUS-SYSTÈME SOURCE SS1 : SOUS-SOL		Glossaire Événement initial : événement qui caractérise le changement d'un système qui passe d'un état ou situation normale vers un état ou situation défailante. Événement initiateur : événement perturbateur qui est à l'origine du changement d'état ou de situation d'un système. Événement principal : événement qui manifeste le flux de matière, d'énergie et d'information émis par un système en état ou en situation défailante.		 <i>Processus de danger</i>			
				TYPE DE SYSTÈME SOURCE DE DANGER (Grille 1)	PHASE DE VIE*	ÉVÉNEMENT INITIAL	
			LIÉ AU CONTENANT	LIÉ AU CONTENU	EXTERNE	INTERNE	
A1	2 CHAUDIÈRES ÉLECTRIQUES À VAPEUR	EX EX	RUPTURE ENVELOPPE	SURPRESSION	CHOC CORROSION	SURPRESSION DISFONCTIONNEMENT SÉCURITÉ+RÉGULATION	EXPLOSION CHAUDIÈRE
A2							
A3							
A4							

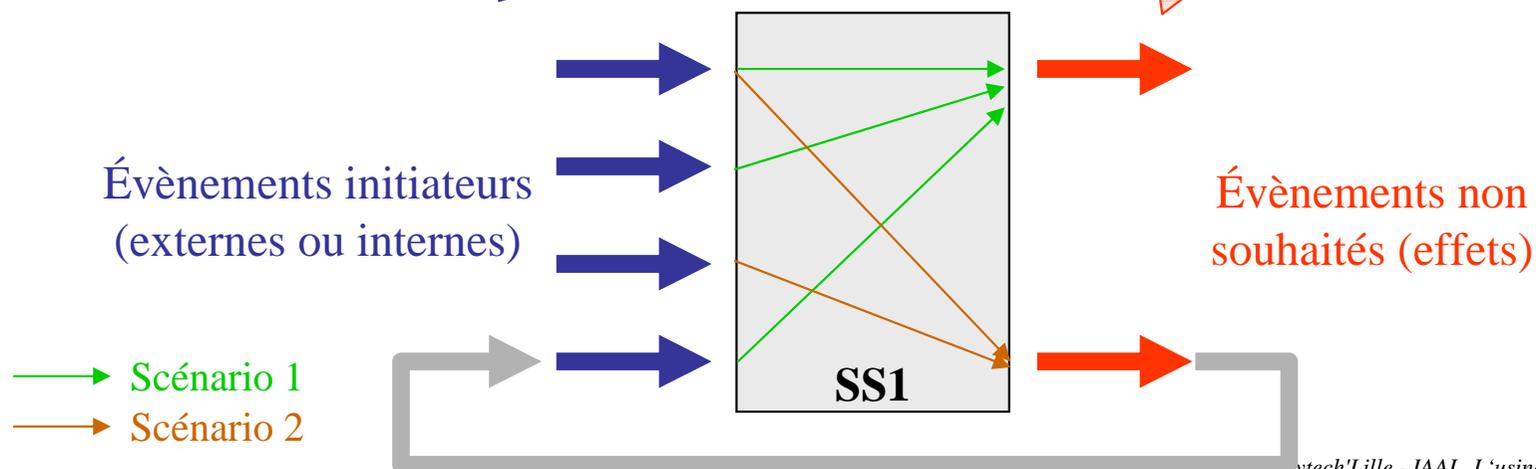


MOSAR – 4. Représenter sous forme de boîtes noires

Pour chaque sous-système, représenter le tableau A sous forme de boîte noire et y faire apparaître les scénarios « courts »

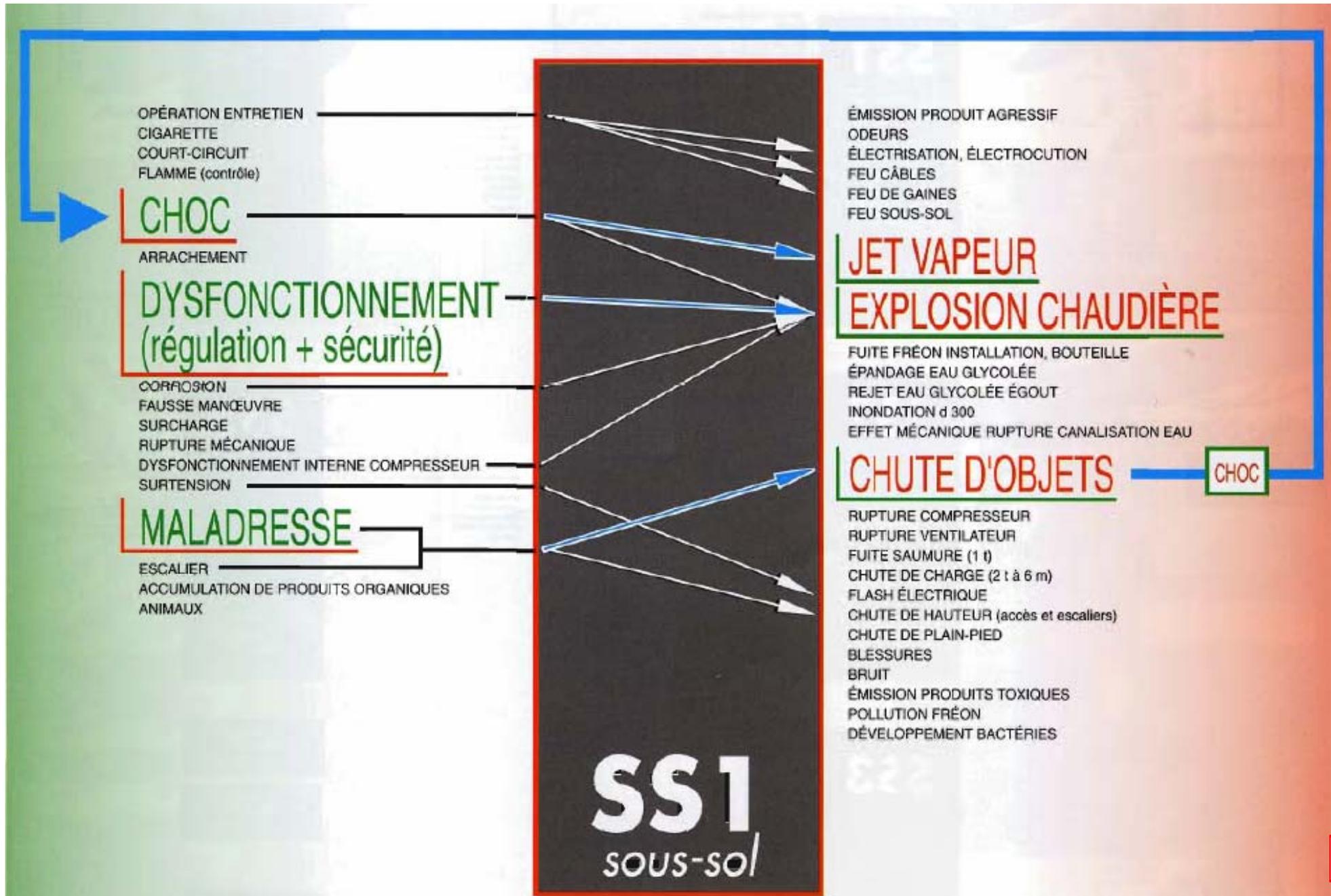
TABLEAU A : processus de danger pour le SS1

Type de système source de danger		Phase de vie*	Évènement initial		Évènement initiateur		Évènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A1	chaudière	Ex	Rupture	Surpression	Choc Corrosion	Surpression	Explosion
A2							
...							

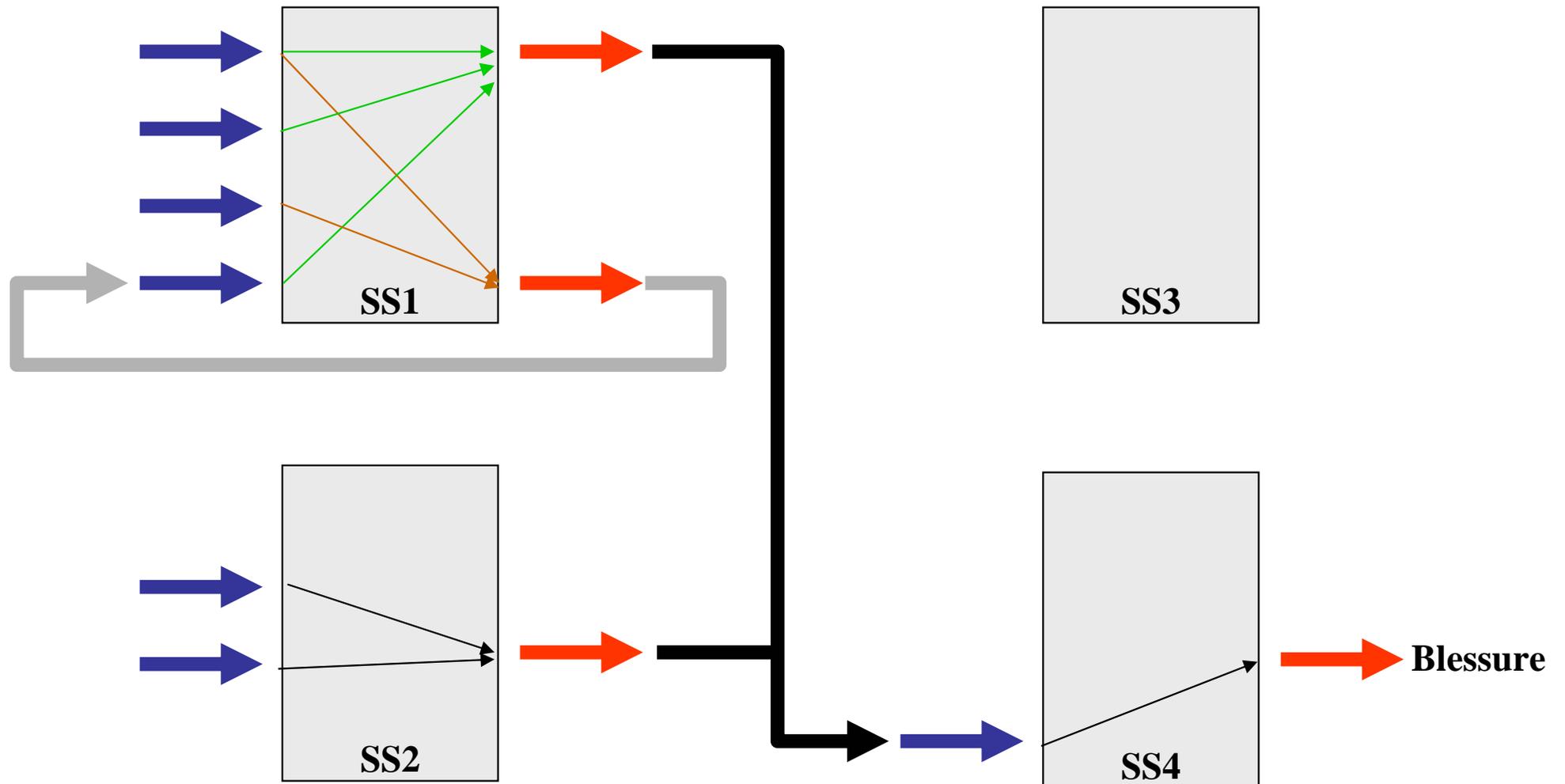


MOSAR – 4. Représentation simplifiée sous forme de boîtes noires

Exemple Climatest

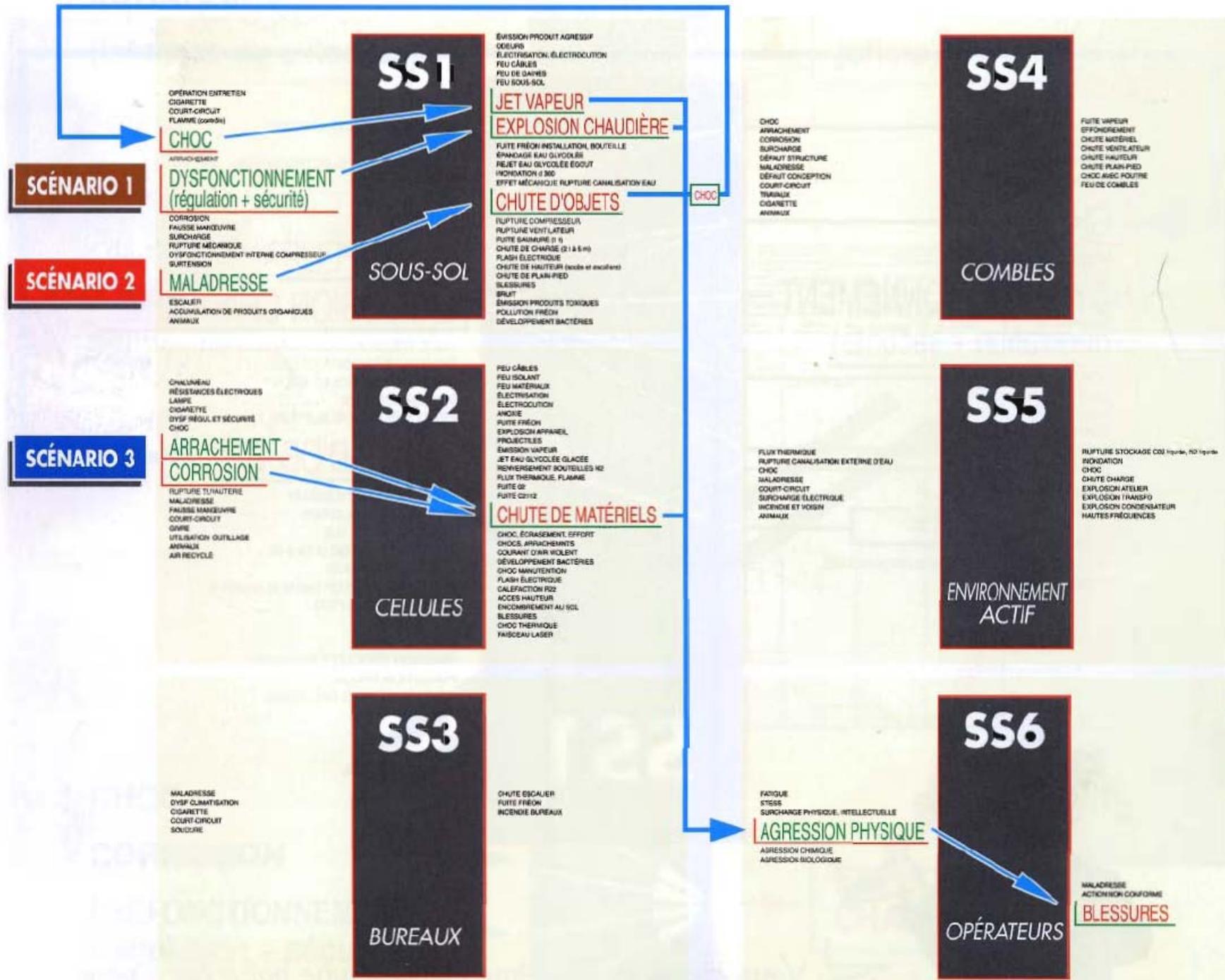


MOSAR – 5. Établir les scénarios d'enchaînements d'ENS



MOSAR – 5. Établir les scénarios d'enchaînements d'ENS (1/2)

Exemple Climatest

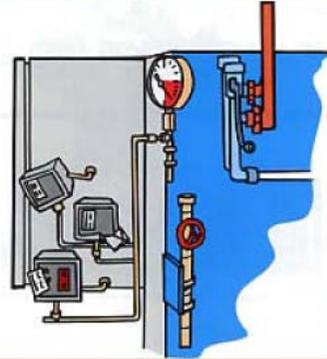


MOSAR – 5. Établir les scénarios d'enchaînements d'ENS (2/2)

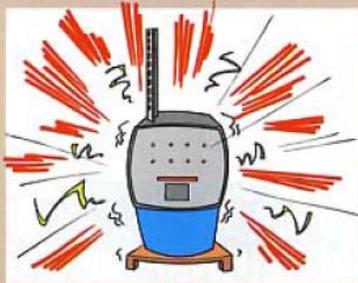
Exemple Climatest

SCÉNARIO 1

DYSFONCTIONNEMENT
(régulation + sécurité)



EXPLOSION CHAUDIÈRE



BLESSURES
OPÉRATEURS

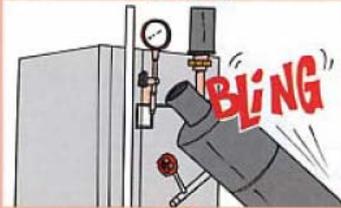


SCÉNARIO 2

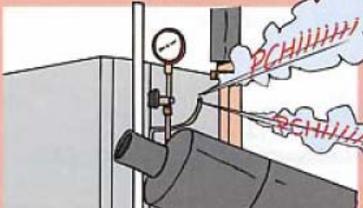
MALADRESSE
CHUTE D'OBJET



CHOC



JET VAPEUR

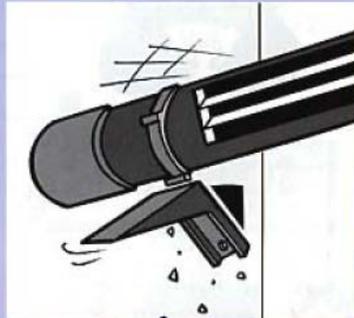


BLESSURE
OPÉRATEUR



SCÉNARIO 3

ARRACHEMENT
CORROSION
(rupture fixations)



CHUTE DE MATÉRIELS

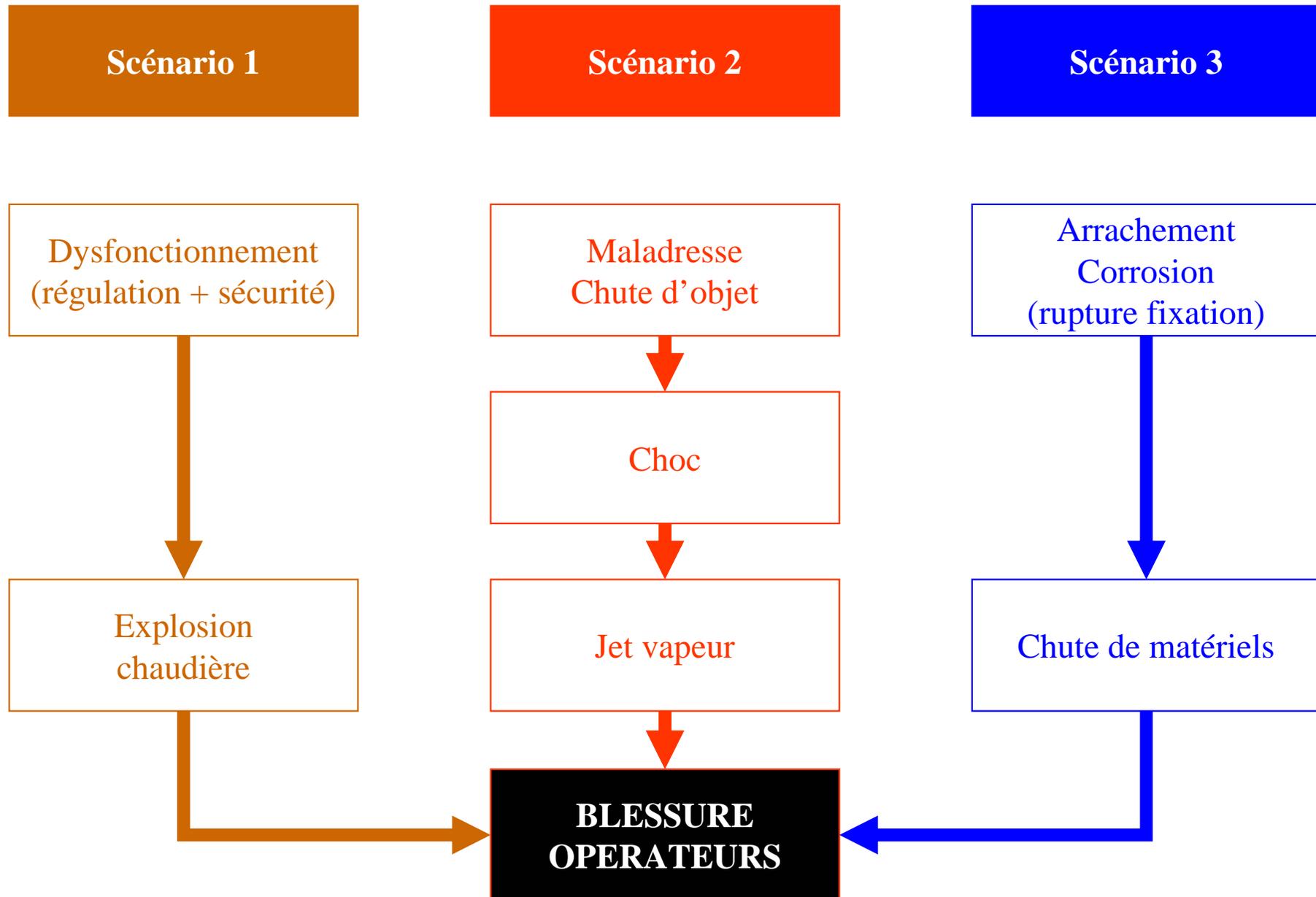


BLESSURE
OPÉRATEUR



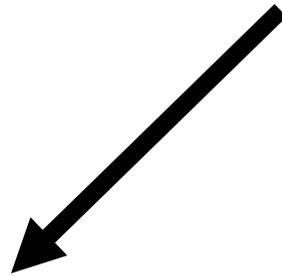
MOSAR – 6. Présenter les scénarios sous forme de pré-arbres logiques

Exemple : explosion chaudière

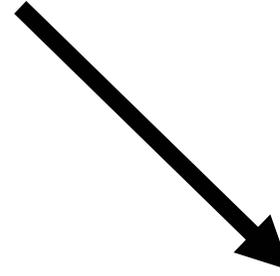


MOSAR – 7. Évaluer les risques

Pour chaque scénario, évaluer l'importance des évènements et leur impact sur les cibles



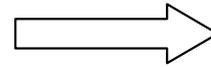
Évaluation quantitative
(calculs)



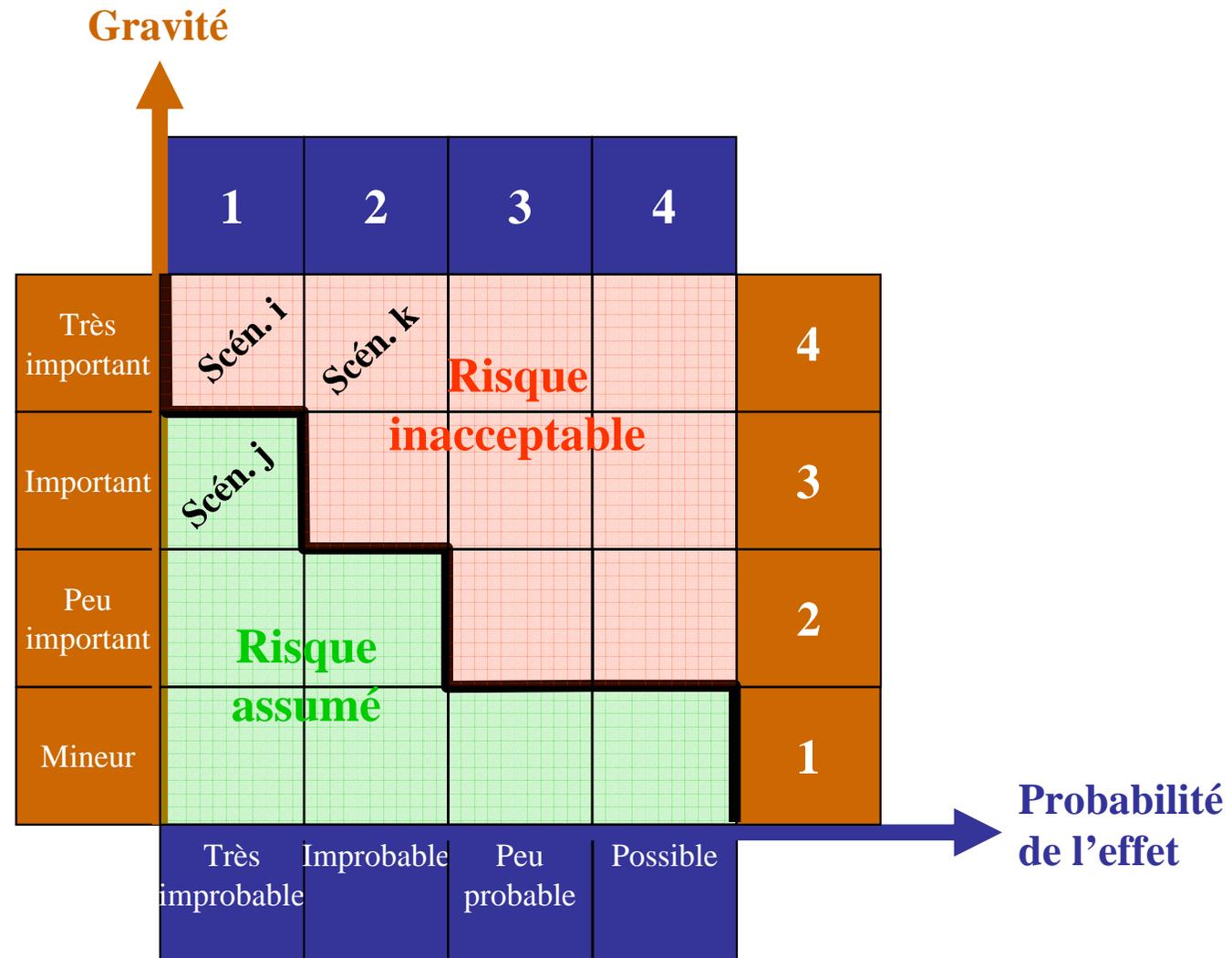
Évaluation qualitative
(jugement par groupe d'experts)

MOSAR – 8. Hiérarchiser les risques

1. Établir une grille de criticité
(probabilité, gravité)



2. Placer les scénarios
sur la grille de criticité



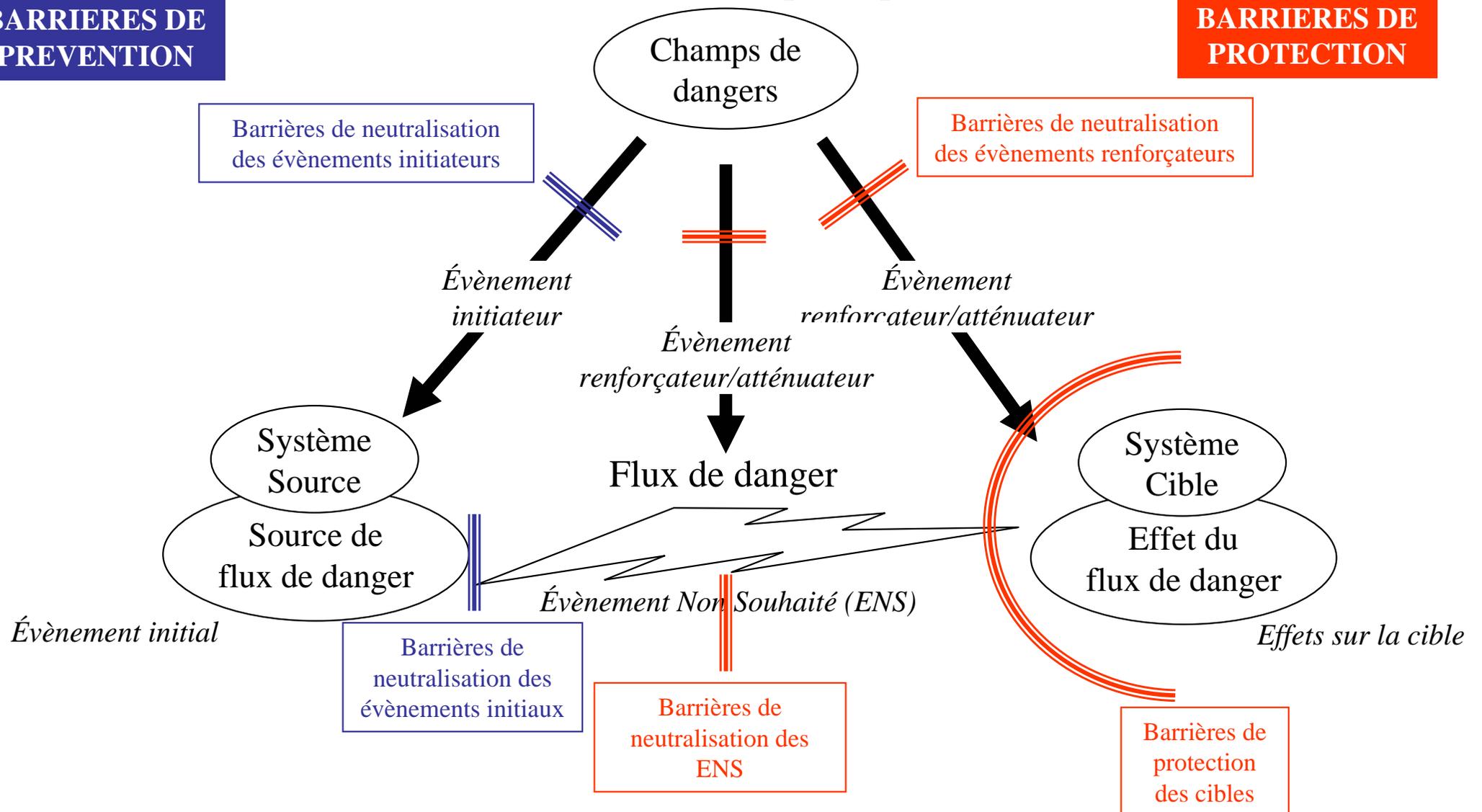
MOSAR – 9. Définir les barrières de prévention et de protection

Les barrières peuvent être des barrières d'utilisation ou des barrières technologiques (plus fiables)

Environnement spécifique

BARRIERES DE PREVENTION

BARRIERES DE PROTECTION



MOSAR – 9. Définir les barrières de prévention / protection – Tableau B (recherche des solutions pour éliminer les sources de dangers ou en diminuer les risques)

1. Module de conception	1.1	Solutions principales concernant la conception de construction (étude protection collective)
	1.2	Climatisation – Ventilation (Elément important d'une installation en matière de prévention - Recherche de son adéquation aux sources de dangers (diagnostic) ou recherche de conception pour répondre aux sources de dangers)
2. Module concernant le personnel	2.1	Protection individuelle du personnel
	2.2	Surveillance médicale
	2.3	Formation du personnel - Habilitation
	2.4	Facteur d'ambiance
	2.5	Comportement humain
3. Module technique et réglementaire	3.1	Consignes et consignations - Procédures
	3.2	Réglementation applicable
	3.3	Contrôles et vérifications techniques : contrôle Qualité
	3.4	Télésurveillance, télédétection, télémessure, réseaux de communication
	3.5	Maintenance

MOSAR – 8. Définir les barrières de prévention / protection – Tableau B (suite)

4. Module des postes de travail	4.1	Définition et étude des postes de travail	
5. Module concernant le champ spécifique et l'environnement	5.1	Implantation (choix) – Balisage – Accès – Circulation (interne ou externe)	
	5.2	Environnement : influence de l'installation sur :	
		5.2.1 eau	FN – IN (Fonctionnement Normal – Incident)
		5.2.2 air	FN - IN
		5.2.3 déchets	FN - IN
		5.2.4 flore	FN – IN
		5.2.5 faune	FN - IN
5.2.6 population	FN – IN		



MOSAR – 9. Tableau B : exemple Climatest

BT : barrière technologique

BU : barrière d'utilisation

Scénarios (par ordre de criticité)	Scénario 2 (chute d'objet lors de manutention)	Scénario 3 (chute matériel)	Scénario 1 (explosion chaudière)
Phases	EX (Exploitation) EN (Entretien)	EX	EX EN
1.1 Conception	Prévoir un système d'accrochage des bouteilles sur le chariot de manutention (BT)	Surdimensionner les systèmes de fixation	Puissance limitée (BT) Doublage sécurité (disque de rupture (BT)
1.2 Ventilation			Evacuation vapeur (BT)
2.1. Protection individuelle du personnel			
2.2. Surveillance médicale			
2.3 Formation du personnel	A la manutention mécanique et manuelle d'objets (BU)	Sensibilisation à ce risque (BU)	Sensibilisation aux risques des chaudières (BU)
2.3 Habilitation			Intervention réservée au personnel autorisé (BU)
2.4. Identification des facteurs d'ambiance		Corrosivité de l'air	
2.5 Comportement humain	Pour entreprises extérieures, intérimaires et stagiaires : rappel des risques et des règles d'utilisation du chariot et des autres moyens de manutention utilisés dans cette zone (BU)		Pour entreprises extérieures, intérimaires et stagiaires : rappel des risques et consignes relatifs aux chaudières

MOSAR – 9. Tableau B : exemple Climatest (suite)

Scénarios (par ordre de criticité)	Scénario 2 (chute d'objet lors manutention)	Scénario 3 (chute matériel)	Scénario 1 (explosion chaudière)
3.1 Consignes	Consigne d'utilisation du chariot de manutention (BU)	Consigne de fixation du matériel (BU)	Consigne de mise en œuvre de la chaudière (BU)
3.1. Consignations		Consignation électrique du matériel en cas d'intervention (BU)	
3.1. Procédures			
3.2 Réglementation applicable	Manutention		NFC 15 100 DTU
3.3 Contrôles et vérifications techniques		Trimestriel (état des fixations) (BU)	
3.4. Télésurveillance			
3.5. Maintenance	Politique de maintenance à définir	Politique de maintenance à définir	Politique de maintenance à définir
5.1 Implantation			
5.1 Balisage, accès, signalisation	Marquage des voies de circulation	Charge maximale à afficher (BU)	
5.2 Influence sur l'environnement			Rejet vapeur
FN (Fonctionnement normal)			
IN (Incident) ou FD (Fonctionnement dégradé)	IN	IN	FD



MOSAR – 10. Tableau C : exemple Climatest

BARRIÈRES	SCÉNARIO	TYPE	CONCEPTION	VENTILATION	PROTECTION INDIVIDUELLE	SURVEILLANCE MÉDICALE	FORMATION HABILITATION	FACTEURS D'AMBIANCE
1.1 CONCEPTION Puissance limitée	1	BT	Limiteur de puissance					
Disque de rupture		BT	Choisir un disque normalisé					
1.2 VENTILATION Évacuation vapeur	1	BT	Ventilation					
2.3 FORMATION DU PERSONNEL Sensibilisation aux risques des chaudières	1	BU	Réunion courte 1 heure					

...

... (suite)

COMPORTEMENT HUMAIN	CONSIGNES CONSIGNATION PROCÉDURES	RÈGLEMENTATION	CONTRÔLE TECHNIQUE	TÉLÉ-SURVEILLANCE	MAINTENANCE	IMPLANTATION	EFFET SUR ENVIRONNEMENT	RETOUR D'EXPÉRIENCE
		NFC 15 100	Périodique		Périodique	Sur l'alimentation de la chaudière		Fiabilité
		DTU	Périodique		Périodique	En parallèle à la soupape		Fiabilité
	Consignation en cas de maintenance		Périodique		Périodique	Sous-sol	Rejet vapeur	
Tout le personnel	Obligation de suivi		Réactualisation périodique			Sur l'installation		

Bibliographie

- M. FAVARO. Bilan des méthodes d'analyse à priori de risques. 2 – Principales méthodes de la sécurité des systèmes. **Cahier de notes Documentaires INRS**, n° 139, 1990, 363-389.
- A. VILLEMEUR. Sûreté des systèmes industriels – Fiabilité – Facteurs humains – Informatisation. **Collection de la Direction des Études et Recherches d'Électricité de France**, Eyrolles, Paris, 1988.
- A. LAURENT. Sécurité des Procédés Chimiques – Connaissances de Base et Méthodes d'Analyse des Risques. Lavoisier, Tech & Doc., 2003.
- Techniques de l'Ingénieur, dossier «Sécurité et gestion des risques » (http://www.techniques-ingenieur.fr/traite/securite_et_gestion_des_risques/TI112)
 - P. PERILHON. MOSAR : Présentation de la méthode. Techniques de l'Ingénieur SE 4060, 2003.
 - P. PERILHON. MOSAR : Cas industriel. Techniques de l'Ingénieur SE 4061, 2003
- **Rezorisque**, la plateforme du risque développée par le réseau ARI et l'INRS
<http://www.rezorisque.org>
- Les modules de formation de Rezorisque, en accès direct et séquentiel :
 - module 1 : <http://lms-rezorisque.paris.ensam.fr/module1/>
 - module 2 : <http://lms-rezorisque.paris.ensam.fr/module2/>