

Analyse et gestion de risque

Risk Analysis and Management

Semaine 4 : Méthodes d'analyse de risque (partie II)

Chapitre 1/2

Point sur le programme

No	Date	Descriptif	Ens.
1	04.11	<p>Introduction et Notions de base Objectifs, organisation générale et évaluation du cours. Introduction au sujet des risques, échanges avec étudiants. Notion de gestion intégrée des risques. Le rôle des ingénieurs face au risque. Les types de risques. Courte histoire de la gestion des risques en ingénierie. Nature aléatoire des phénomènes & sources d'incertitudes. Distributions et rappels de statistique. Approches déterministes et probabilistes. Méthodes de Monte Carlo</p>	RD
2	11.11	<p>Principes de l'analyse de risque Phases de l'analyse et évaluation des risques. Événements et scénarios. Barrières de sécurité. Nécessité de l'analyse de risque (systèmes complexes, systèmes simples). Rôle de l'environnement. Analyse fonctionnelle. Organisation pratique de l'analyse de risque. Quels types de risques faut-il gérer ? Établissement de grilles de cotation. Cotation en fréquence / en gravité. Biais liés aux seuils. Limites et difficultés de l'analyse de risque <i>Intervention de J.Messerli et E.Garin – Gestion des incertitudes dans le Génie Civil</i></p>	RD
3	18.11	<p>Méthodes d'analyse de risque (partie I) Les familles de méthodes (déductives / inductives, qualitatives / quantitatives). L'Analyse Préliminaire des Risques (APR). Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets et Criticité (AMDEC). HAZard and OPerability study (HAZOP)</p>	RD
4	25.11	<p>Méthodes d'analyse de risque (partie II) et estimation des conséquences Arbres des causes (Arbre des défaillances). Arbres des événements. Le nœud papillon Évaluations des conséquences. Types de pertes. <u>Effets sur</u> : Milieux physiques et infrastructures, Écosystèmes, Santé et société, Économie, Vulnérabilité.</p>	RD
5	02.12	<p>Quantification et représentation des risques Représentation de l'aléa. Cartes de risque et de danger Risque individuel / collectif. Fatal Accident Rate (FAR). Statistiques des catastrophes et accidents <i>Intervention K.Essvad – Gestion des risques naturels</i></p>	RD

Analyse Préliminaire des Risques (APR)
AMDEC
HAZOP
Exercices

Arbre des causes
Arbre des événements
Exercices

Contenu

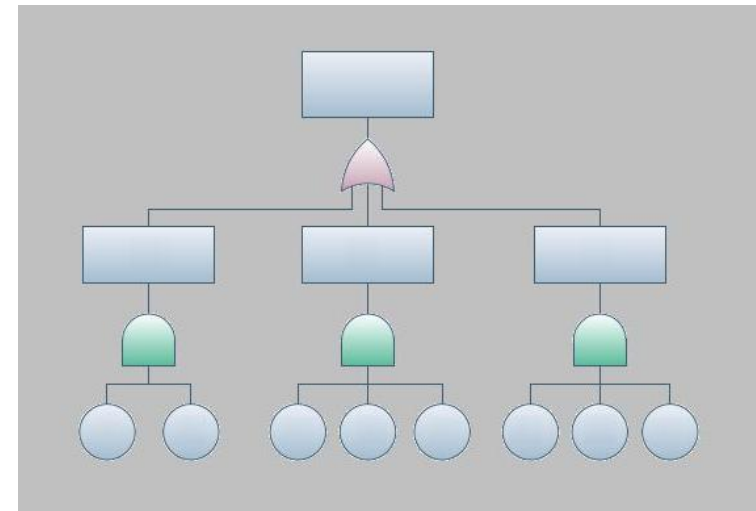
- **Exercice cocotte minute avec APR / AMDE / HAZOP**
- **Arbres des causes (Arbre des défaillances)**
- **Arbres des événements**
- **Nœud papillon**
- **Exercice tunnels routiers**

Exercice 4.1

APR / AMDE / HAZOP

cocotte minute

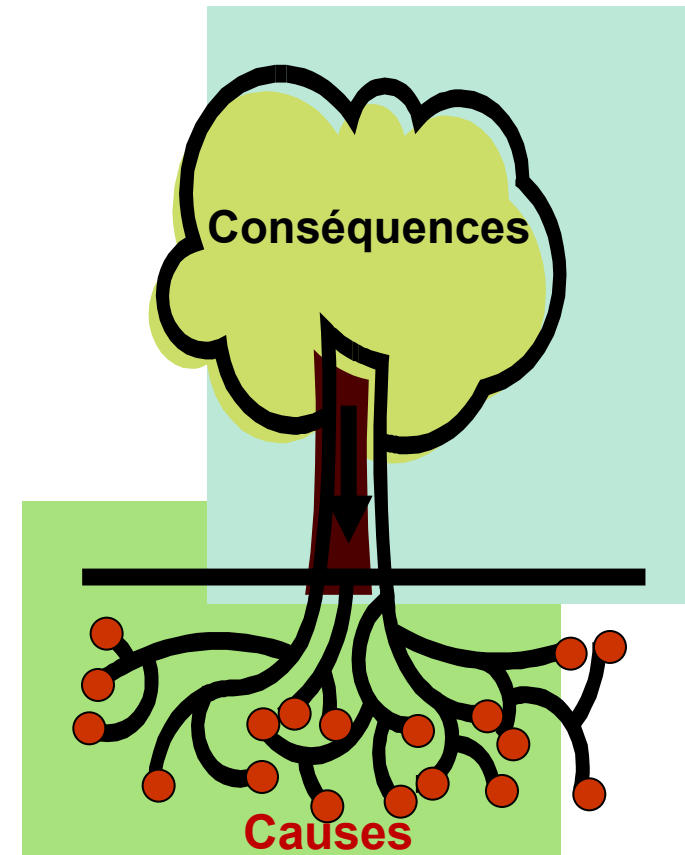
Arbres des causes (Arbre des défaillances)

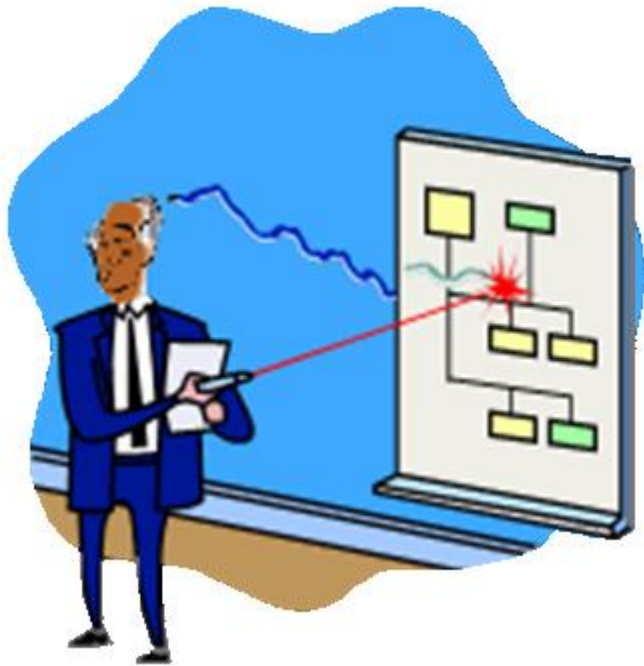


Principes de base

L'arbre des causes est l'une des méthodes les plus utilisées dans l'analyse de la fiabilité des systèmes

Il s'agit d'une méthode **déductive** permettant de déterminer les différentes **combinaisons d'événements** (défaillances, erreurs humaines, etc.) pouvant initier un événement indésirable





Les objectifs principaux =

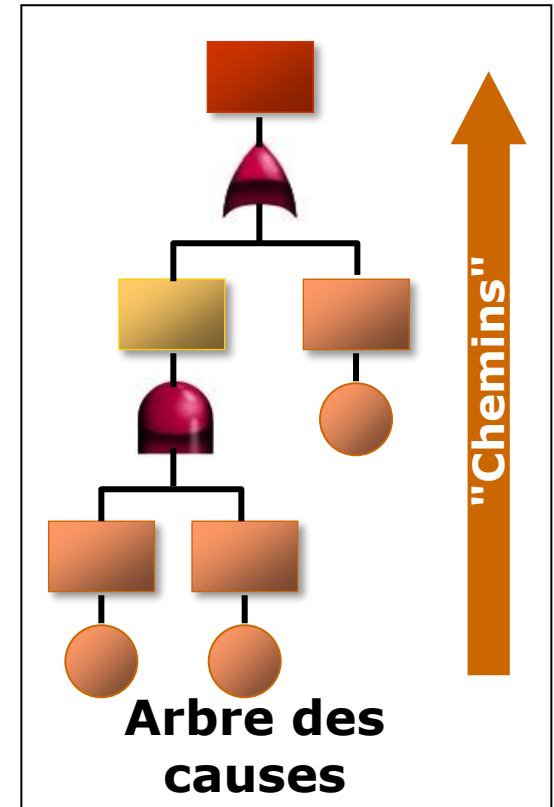
- représenter **graphiquement** les combinaisons d'événements au moyen d'une structure **arborescente**
- estimer la **fréquence de l'événement indésirable**, en utilisant des méthodes statistiques

Ceci nécessite de disposer de **données quantifiées** sur la fiabilité des composants & la fréquence des événements initiateurs (causes externes par exemple)

Cette méthode permet donc de fournir des indications très utiles sur les efforts à apporter pour **diminuer la fréquence de l'événement indésirable** (barrières de sécurité)

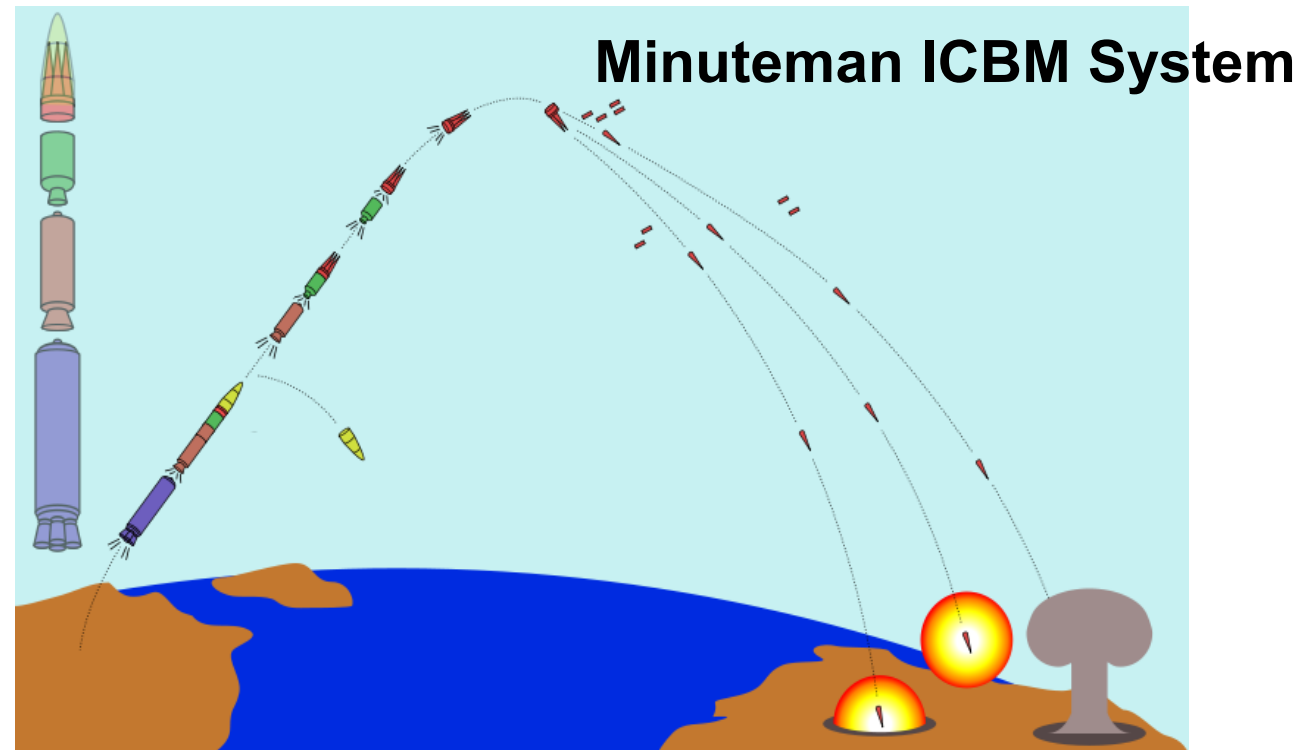
L'arbre des causes est la meilleure manière d'identifier et de représenter graphiquement les différents "**chemins**" menant à l'événement indésirable

Il peut y avoir de nombreuses racines !



Historique

La méthode de l'arbre des causes a été développée en 1961 pour évaluer le système de lancement de missile "Minuteman"

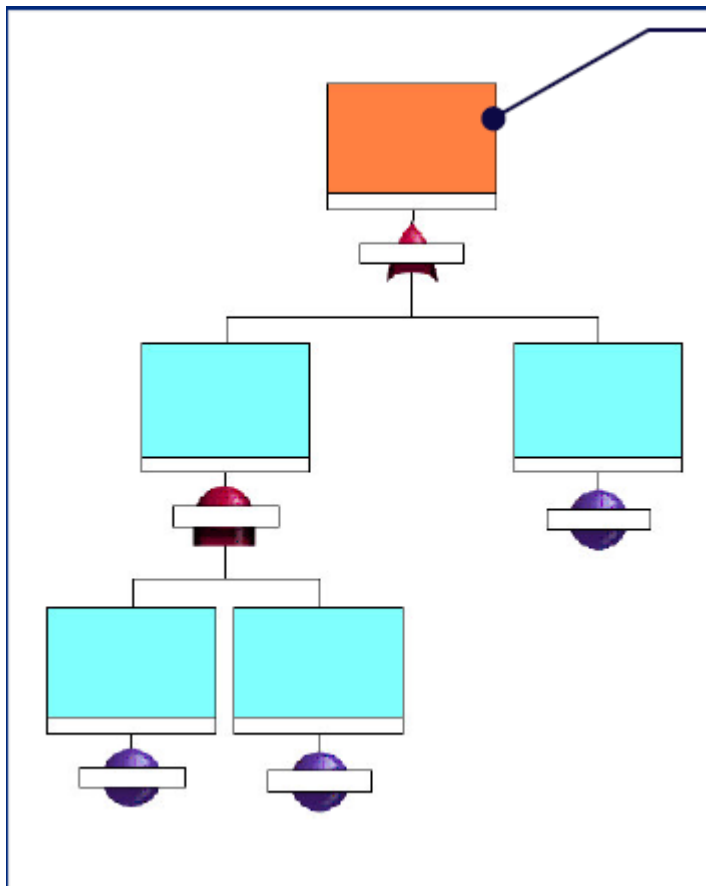


Plus tard, les centrales nucléaires américaines et la Société Boeing ont largement utilisé cette méthode

Initialement, cette méthode a été développée spécifiquement pour les projets dans lesquels l'échec n'était pas envisageable (ex. Industrie nucléaire)



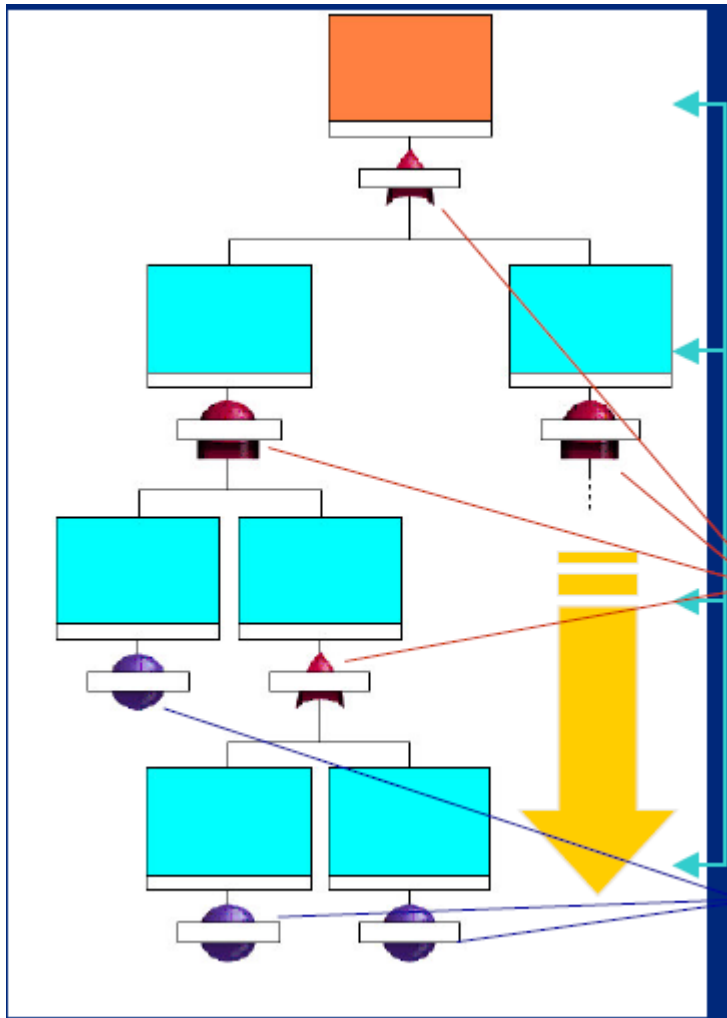
Événement Indésirable



Tête de l'arbre des causes :
représente la plupart du temps un **événement (indésirable)**, unique, mettant sérieusement en question la sécurité du système étudié

Afin de faciliter l'analyse, l'événement indésirable doit être précisément défini → il est recommandé d'effectuer une Analyse Préliminaire des Risques (**APR**) pour identifier ces événements indésirables

Structure de l'arbre



L'arbre des causes est formé de **niveaux successifs** d'événements, tels que chaque événement est généré à partir des événements du niveau inférieur par l'intermédiaire de divers **opérateurs (ou portes) logiques**

Ce processus est poursuivi jusqu'à ce que l'on obtienne des événements dits **événements de base** (de fréquence d'occurrence connue)

Structure de l'arbre des causes

Principaux symboles

PORTES

Une porte est utilisée pour décrire la **relation** entre des événements "**entrants**" et un événement "**sortant**" dans un arbre des causes. Il existe plusieurs types de portes, les deux principales sont les suivantes :



L'événement de sortie survient si **tous** les événements entrant surviennent

En terme de fiabilité, cela implique que **toutes les défaillances** doivent survenir

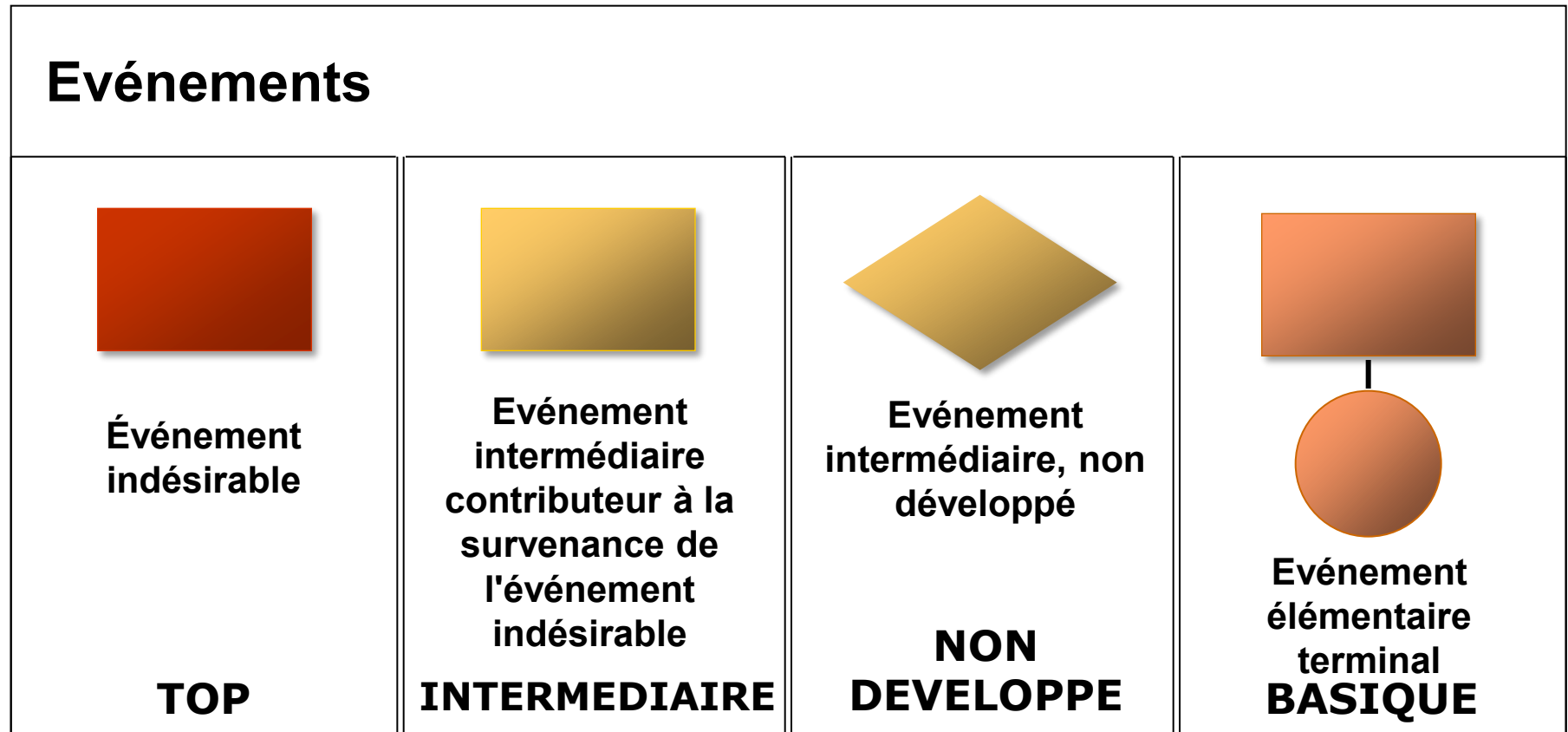


L'événement de sortie survient si **au moins un** événement entrant survient

En terme de fiabilité, cela implique **qu'une seule défaillance** suffit

Structure de l'arbre des causes

Principaux symboles

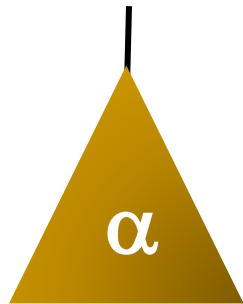


Structure de l'arbre des causes

Principaux symboles

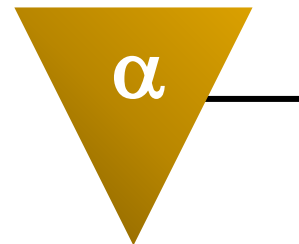
TRANSFERT

Les symboles suivants sont utilisés lorsqu'il n'y a pas assez de place pour développer d'avantage l'arbre sur une même page



TRANSFERE A

La partie “ α ” de l'arbre qui devrait se trouver à l'emplacement du triangle est développée par ailleurs (autre arbre)


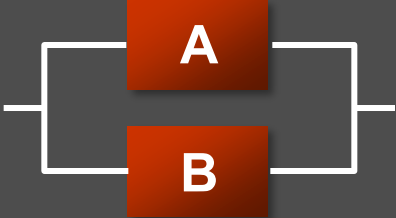
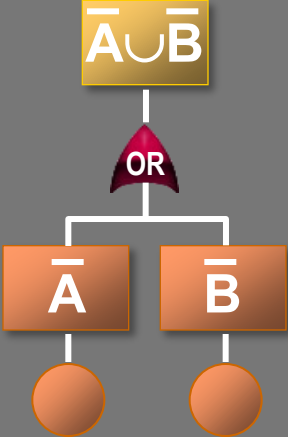
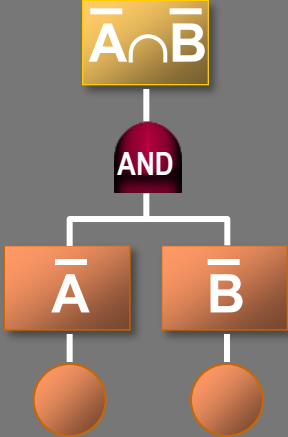


TRANSFERE DE

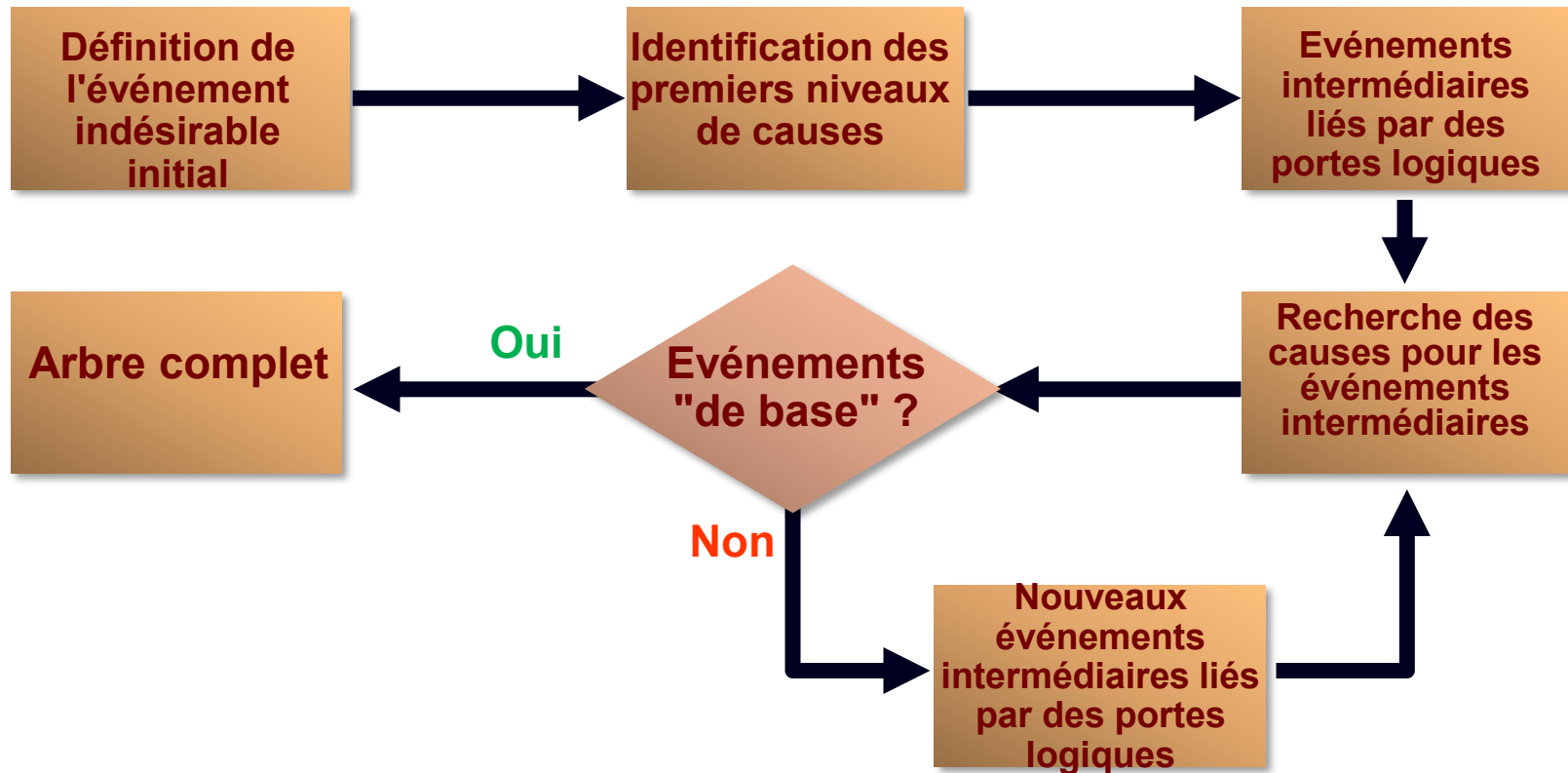
L'arbre développé sous ce symbole (triangle inverse) appartient à l'arbre principal, à la position signalée par le triangle “ α ”

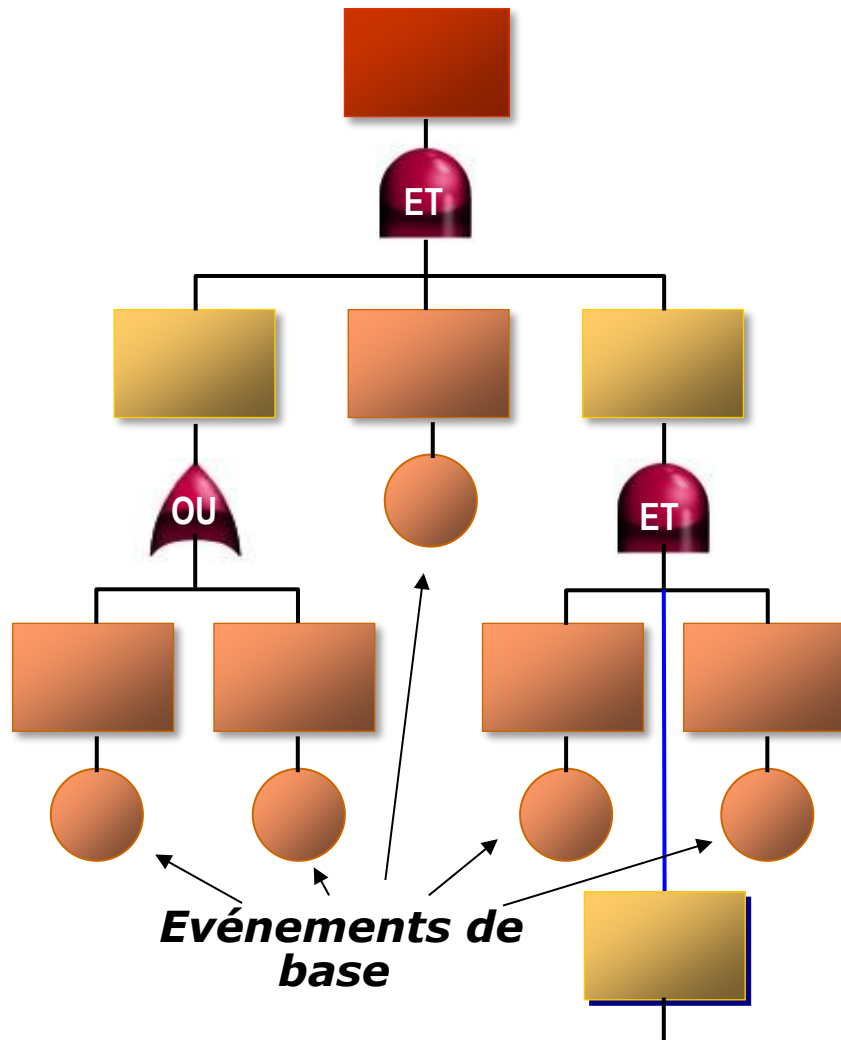
Construction de l'arbre des causes

Schémas de base

Schémas→	Séries	Parallèle
Représentation		
Arbres logiques		

Procédure pas-à-pas





1. Identifier l'événement principal (1 arbre \leftrightarrow 1 événement principal)

3. Relier les contributeurs de 1^{er} niveau à l'événement principal, par des portes logiques

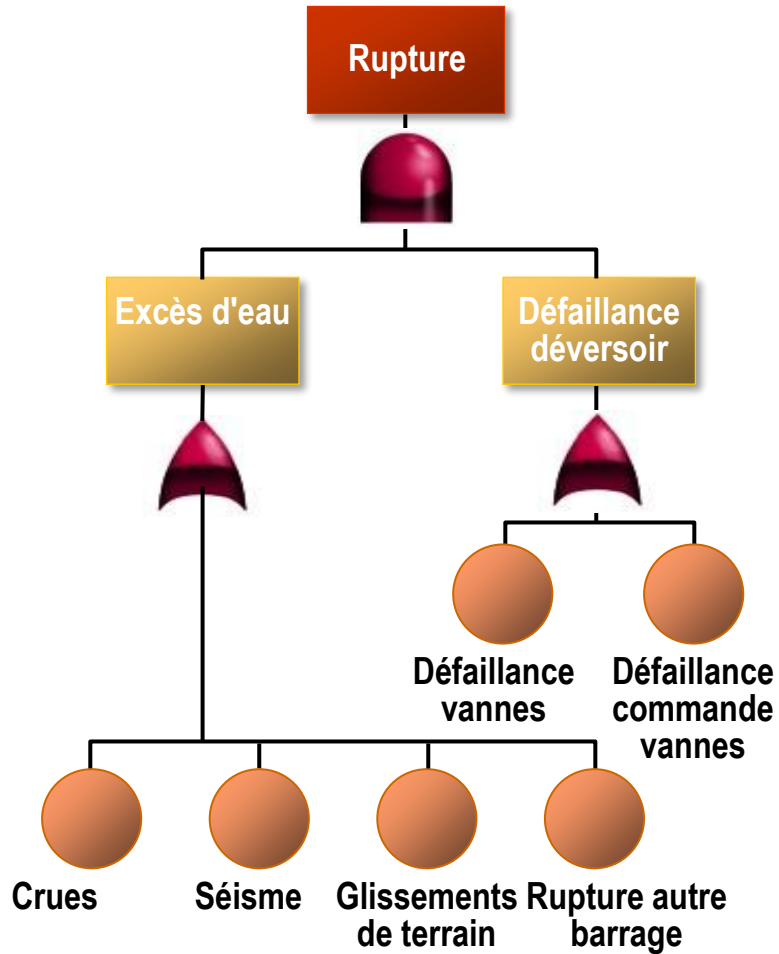
2. Identifier les potentiels contributeurs de 1^{er} niveau (INS)

5. Relier les contributeurs de 2nd niveau aux contributeurs de 1^{er} niveau

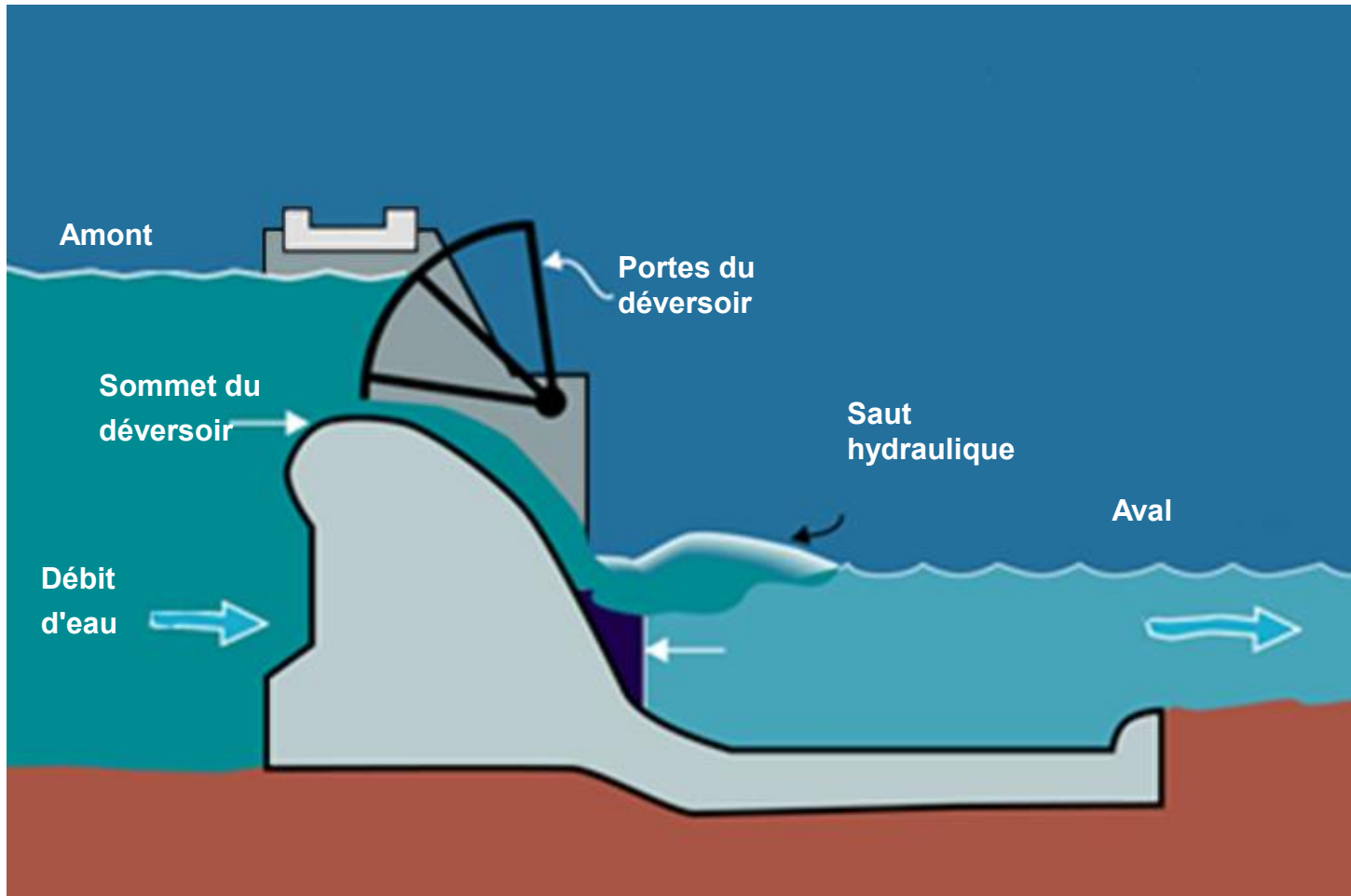
4. Identifier les contributeurs de 2nd niveau potentiels (INS)

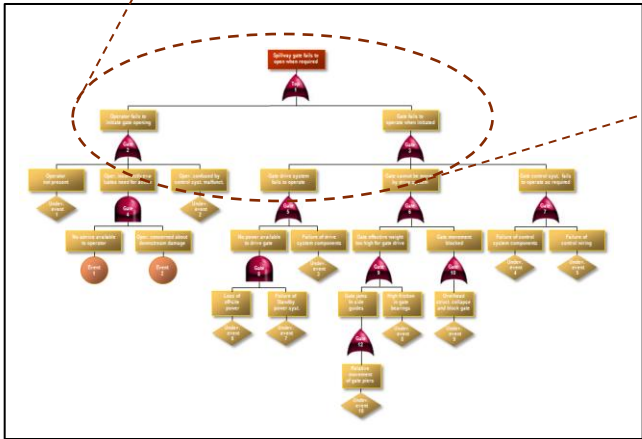
6. Répéter jusqu'à atteindre tous les événements de base

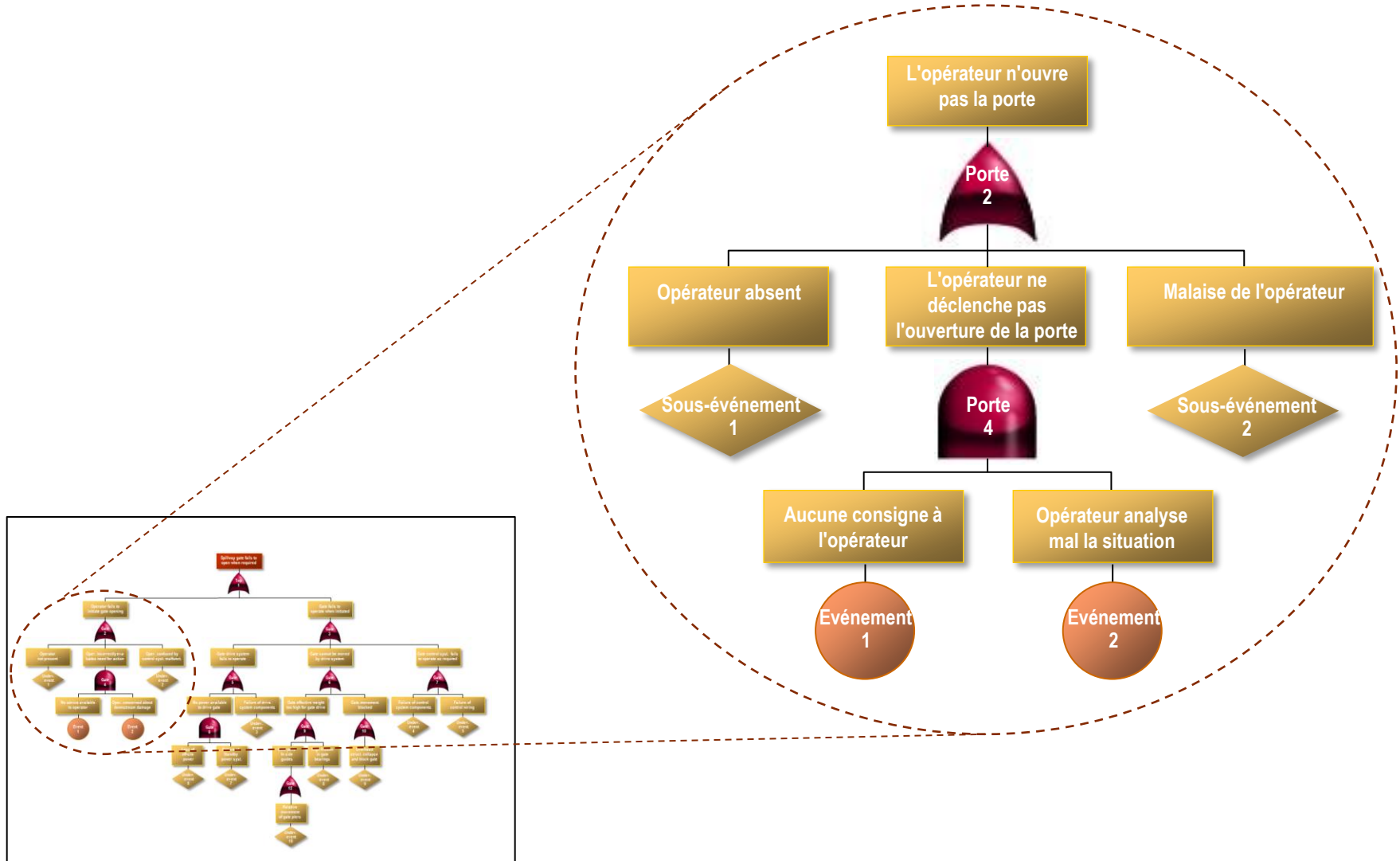
Exemple simple

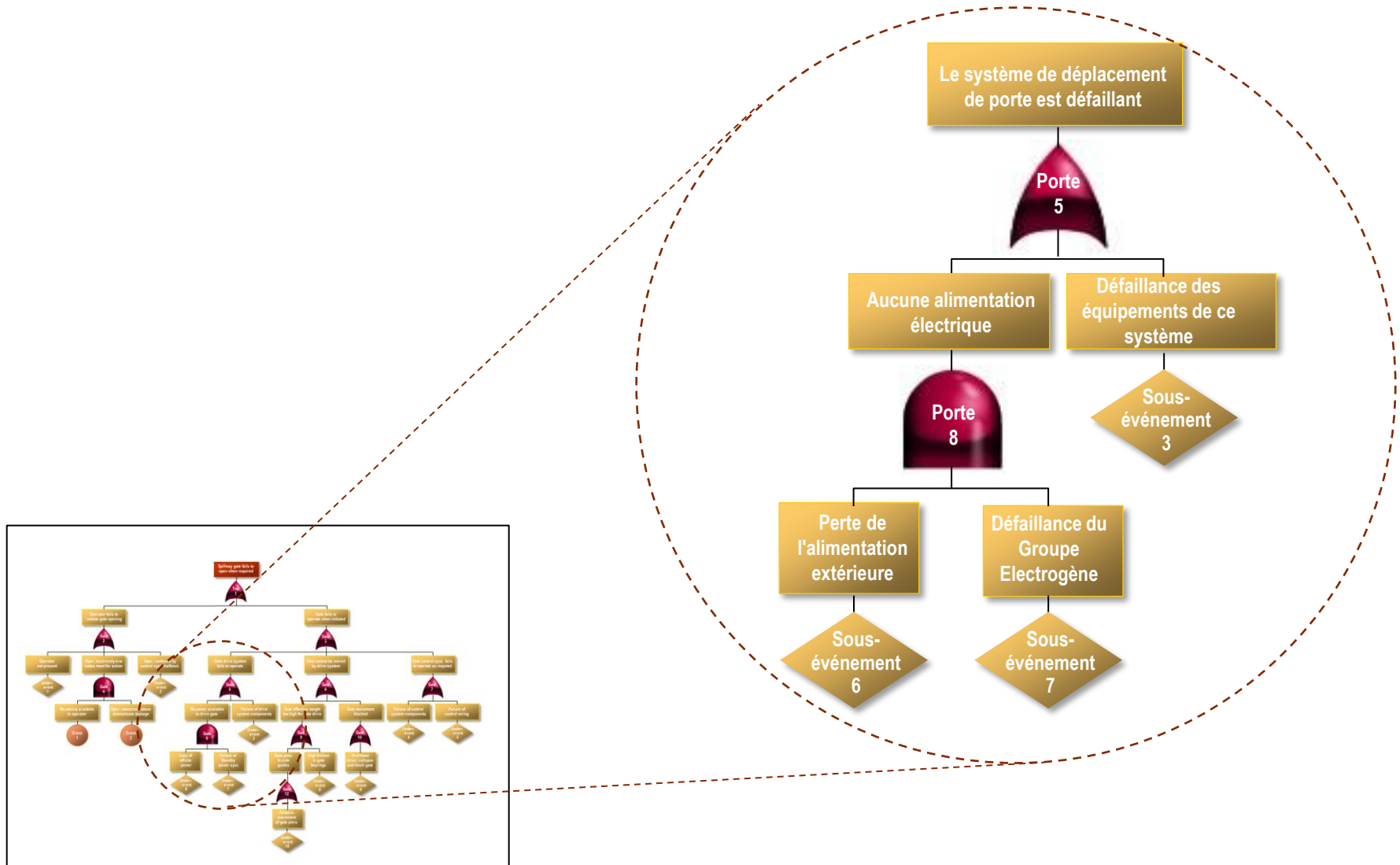


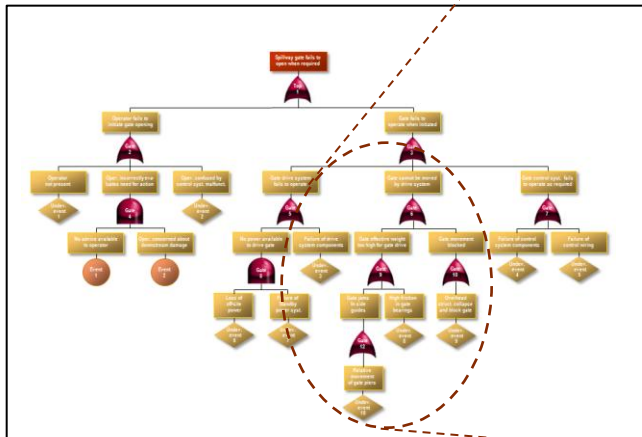
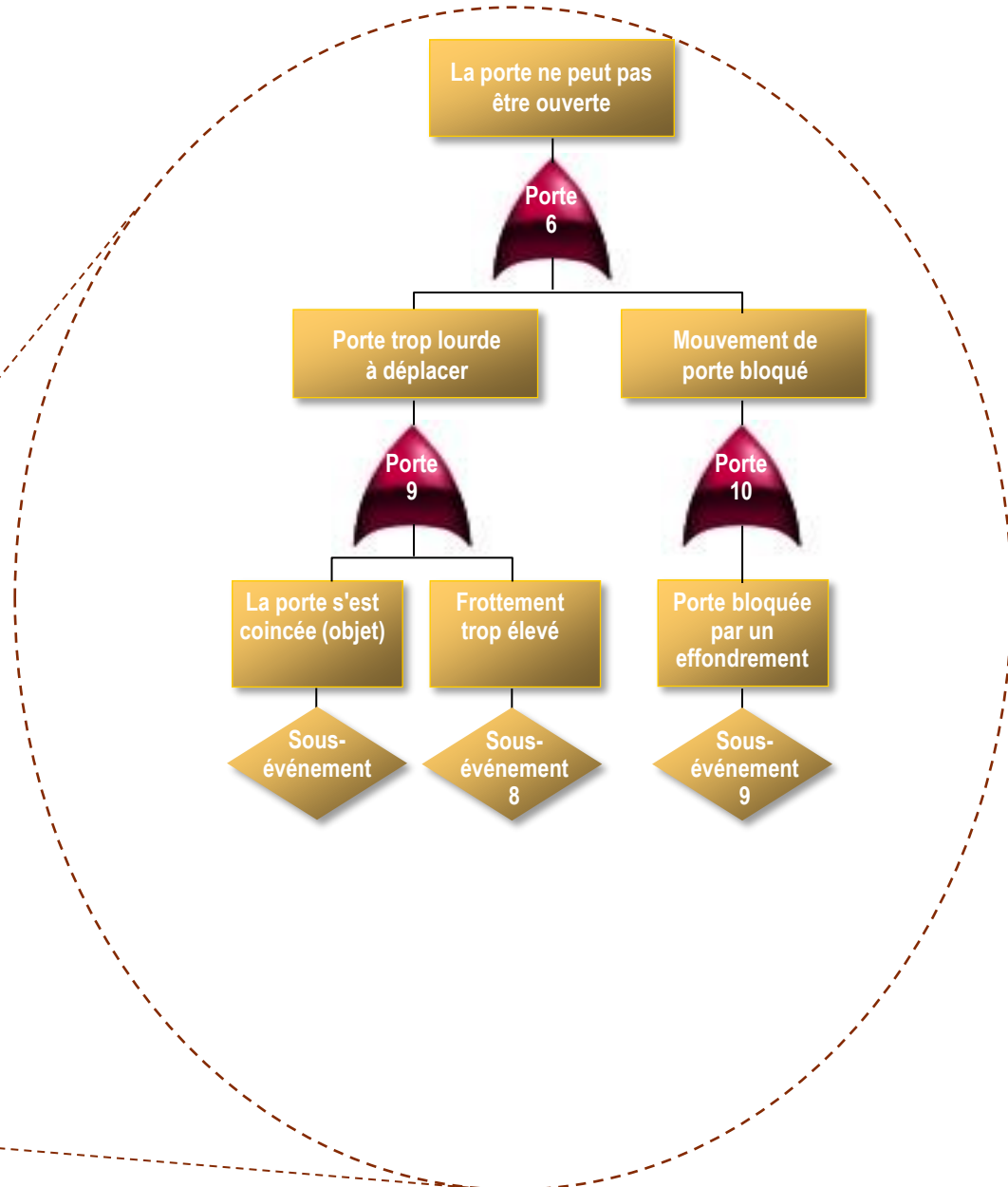
Analyse détaillée :

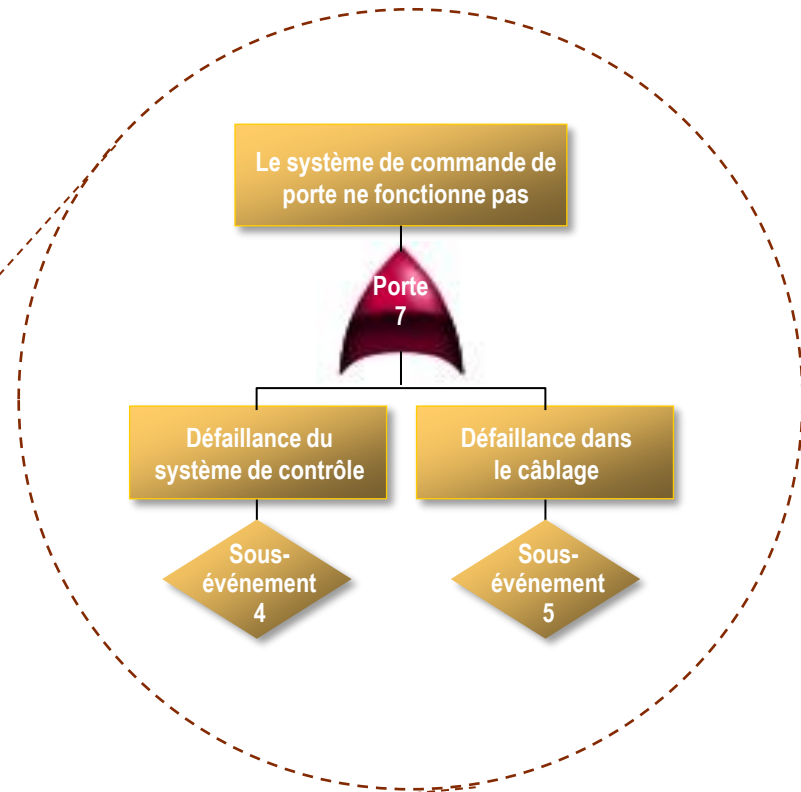
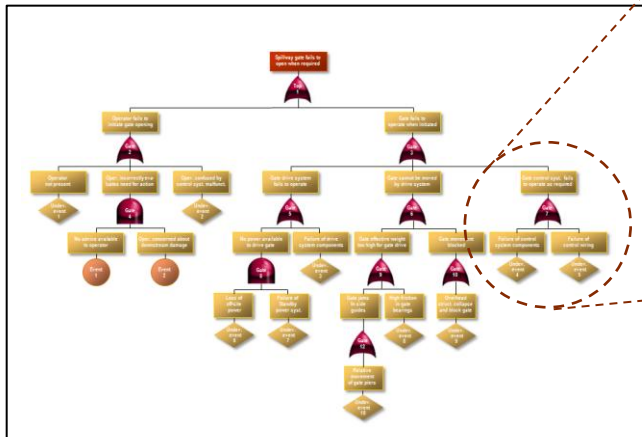


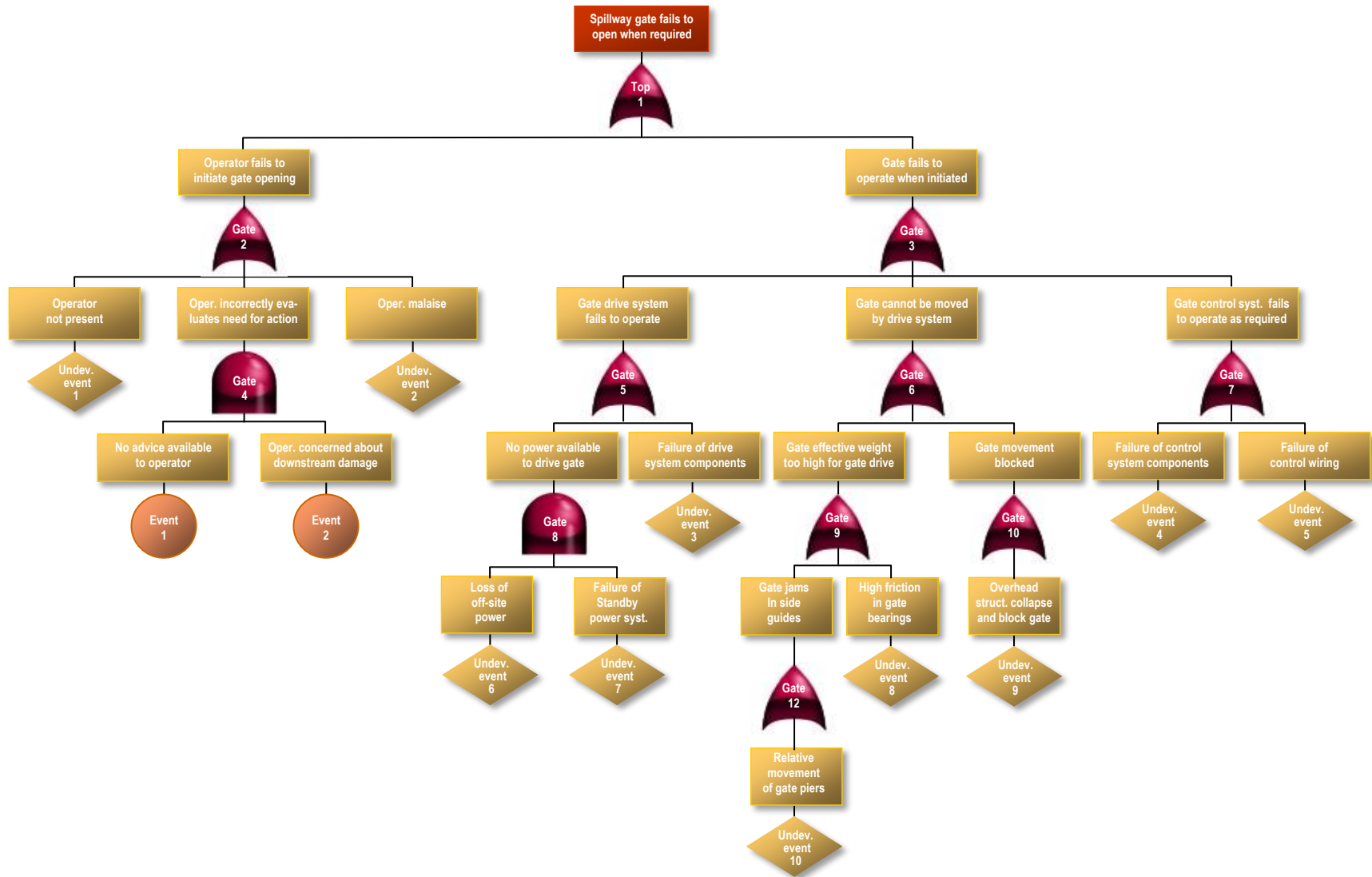




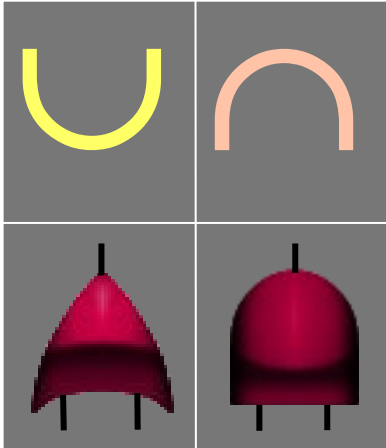






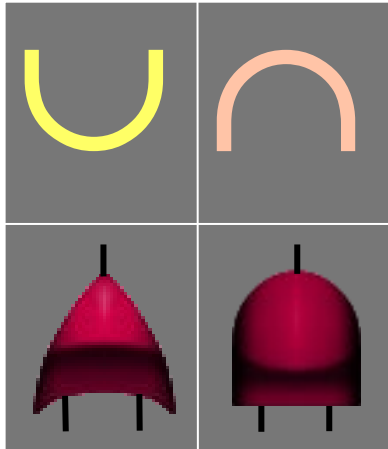


Algèbre de Boole



George Boole (1815-1864), mathématicien anglais, a développé une algèbre permettant de manipuler les **propositions logiques** au moyen **d'équations mathématiques** où les énoncés **VRAI** et **FAUX** sont représentés par les valeurs **1** et **0**, tandis que les opérateurs **ET** et **OU** deviennent des opérateurs algébriques de **multiplication** et **d'addition**

Algèbre de Boole



La table de vérité d'une fonction logique = tableau énumérant les **valeurs logiques** d'une fonction pour les différentes combinaisons des valeurs de ses **variables indépendantes** (en circuits logiques, on parlera de correspondance entre la sortie et les entrées)

A	B	$F = A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Opérateur ET logique

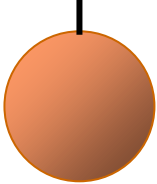


A	B	$F = A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Opérateur OU logique

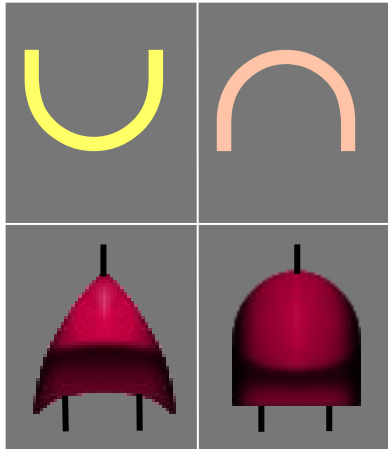
A	$F = \overline{A}$
0	1
1	0

Opérateur NON

Transformation de l'arbre des causes en expression booléenne (principes) :

	Événement de base → <i>variable booléenne</i>
	Porte “ET” → La variable booléenne de sortie est égale au produit booléen (intersection: \cap) des variables d'entrée
	Porte “OU” → La variable booléenne de sortie est égale à la somme booléenne (union: \cup) des variables d'entrée

Représentation et analyse booléenne



La méthode booléenne est utilisée pour analyser et **simplifier** les arbres des causes

Elle permet d'évaluer les criticités de systèmes d'un point de vue **qualitatif** et **quantitatif**

- L'analyse **qualitative** détermine la combinaison d'événements qui conduisent à l'événement indésirable → **coupes minimales**
- L'analyse **quantitative** se concentre sur la **fréquence** de la "coupe minimale" / de l'événement redouté

Coupes minimales :

L'analyse **qualitative** consiste à réduire l'arbre des causes à des combinaisons (appelées **coupes**) d'événements de base (défaillances) qui sont **nécessaires et suffisantes** pour provoquer l'événement indésirable étudié

Coupe minimale → par définition, si **1 des événements** d'une coupe minimale ne se produit pas, l'événement indésirable n'apparaît pas non plus.

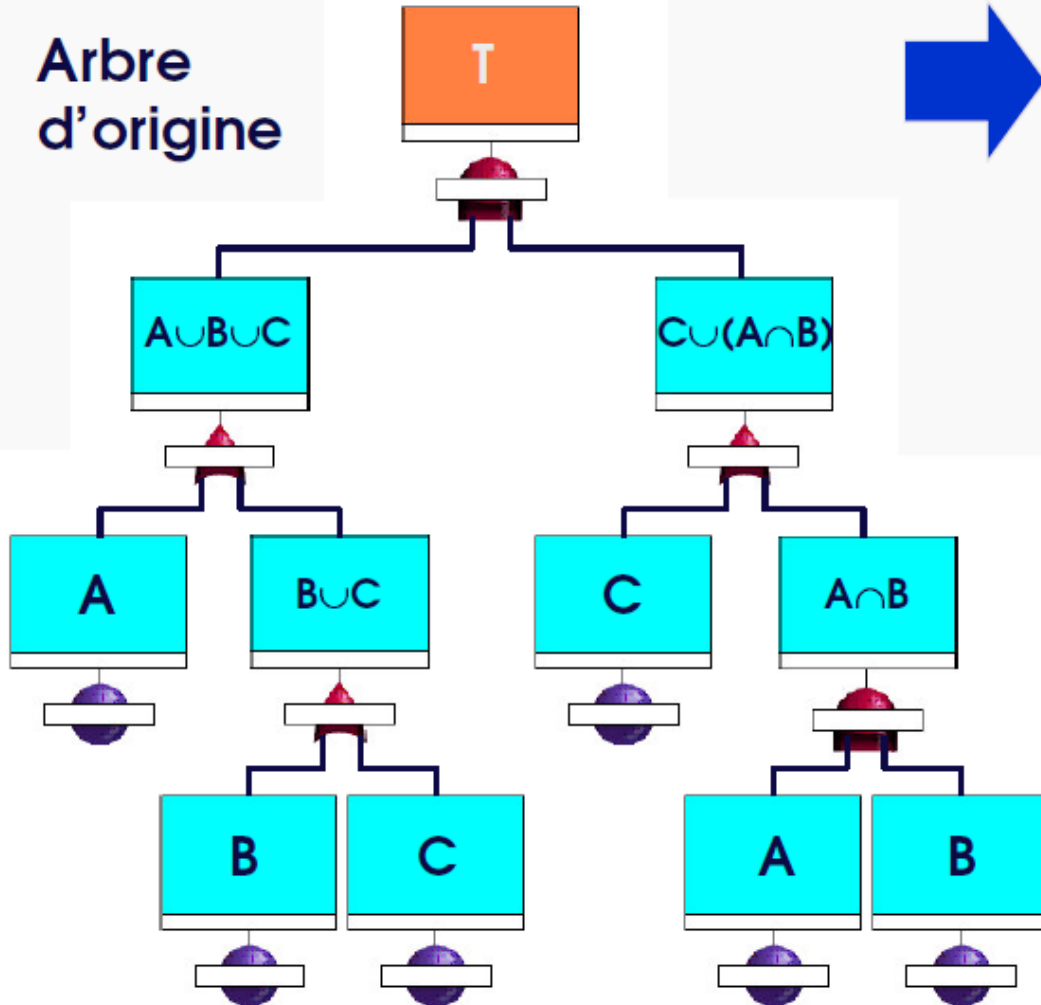
Un arbre de causes a un nombre fini de coupes minimales :

- **Coupe minimale d'ordre 1** : représente (si elle existe) une défaillance unique qui entraîne l'événement indésirable "maillon faible"
- **Coupe minimale d'ordre n** : combinaison de n défaillances qui entraînent, si elles sont simultanées, l'événement indésirable

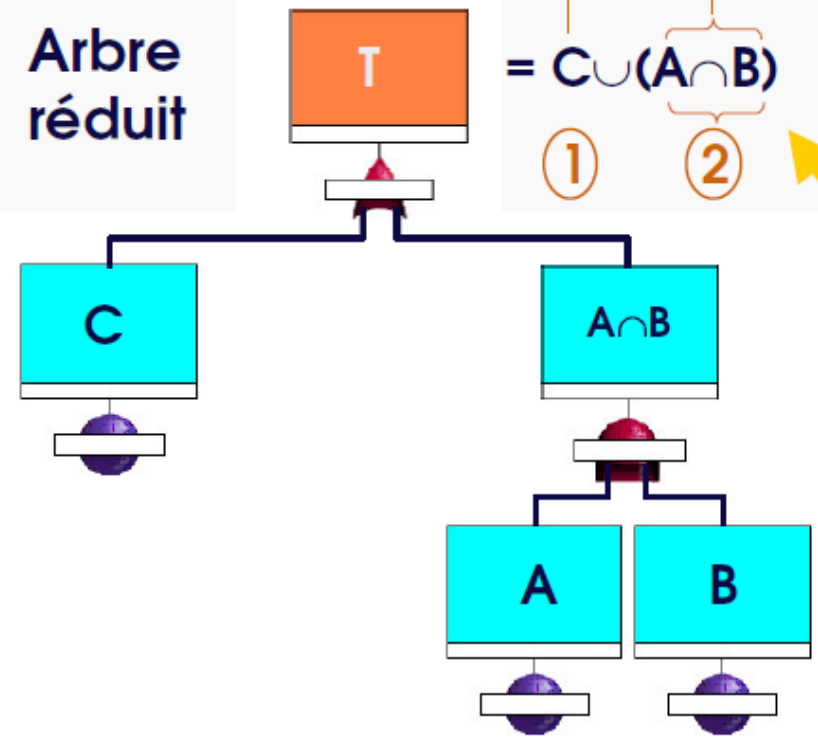
Coupes minimales :

Réduction booléenne (exemple)

Arbre d'origine



Arbre réduit



Coupes minimales

$$T = (A \cup B \cup C) \cap (C \cup (A \cap B))$$

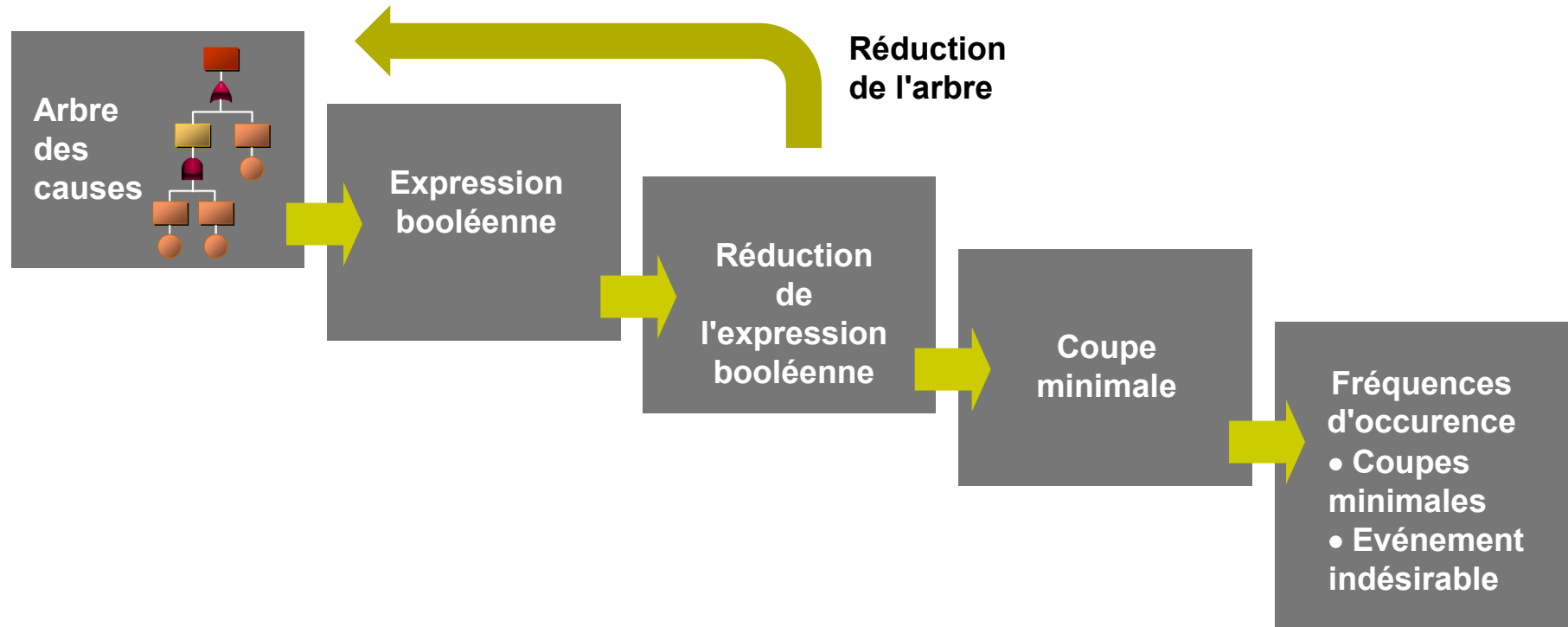
$$T = (A \cap C) \cup (A \cap B) \cup (B \cap C) \cup (A \cap B) \cup (A \cap B \cap C)$$

Réductions booléennes :

Simplifications (pour vérification → raisonner en logique) :

$A \wedge (A \wedge B) = (A \wedge B)$ Si on a A et B, alors on a A et (A et B)...

$A \vee (A \wedge B) = A$ Si on a A, alors on a A ou (A et B) (puisque'on a A !!!)



Principes de calculs de fréquences (analyse quantitative) :

Analyse quantitative, ex.:

$0,01+0,09 = 0,10$

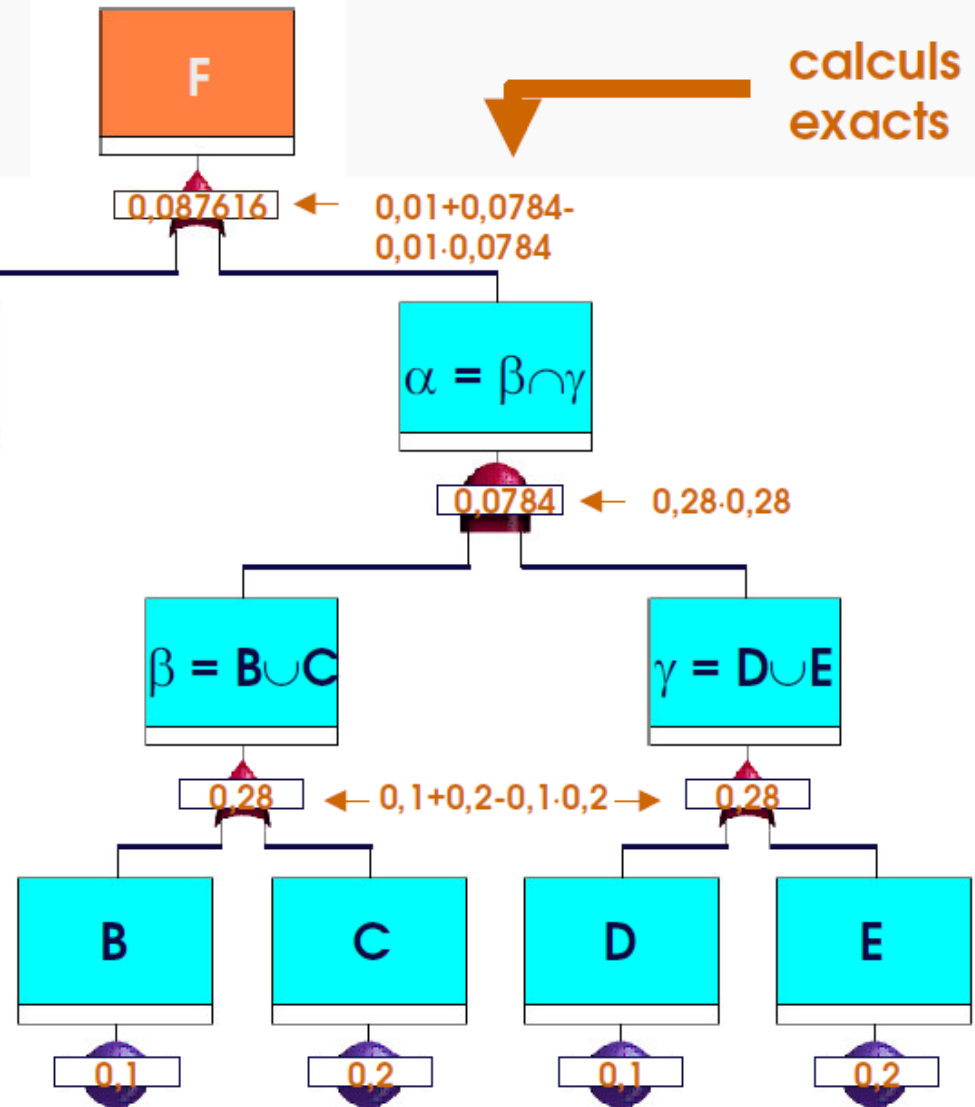
$0,3 \cdot 0,3 = 0,09$

$0,1+0,2 = 0,3$

**CALCULS VALABLES
 UNIQUEMENT SI
 VARIABLES
 INDEPENDANTES**

**calculs
 approchés**

**calculs
 exacts**



Exercice 4.2

Arbre des causes cocotte minute