UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

UTC

Maitrise des Risques

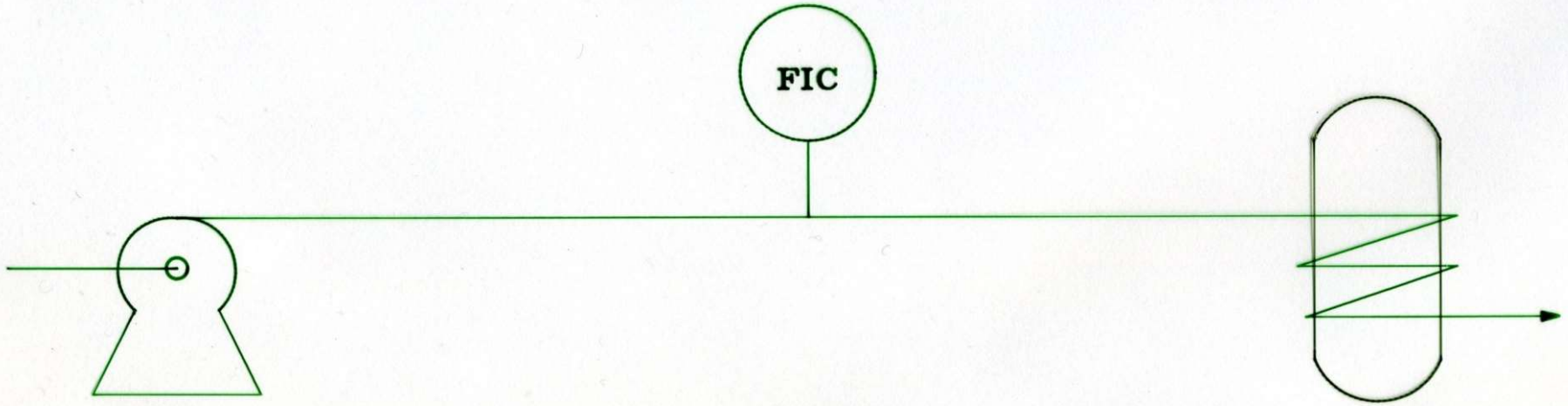
Cours 7 & TD : les arbres de défaillance et d'événements

UV TS01

Resp : christophe.proust@utc.fr

Un pb de sécurité => une méthode « ? »

CAUSE INITIALE	SYMPTOME	CONSEQUENCE FINALE
AMDE	HAZOP	ARBRE DE DEFAILLANCE
DEFAILLANCE D'UN COMPOSANT	DERIVE D'UN PARAMETRE	EVENEMENT REDOUTE
ARRET INTEMPESTIF DE LA POMPE	PAS DE DEBIT D'EAU	EMBALLEMENT DE LA REACTION (EXPLOSION)



Pourquoi des « arbres » logiques ?

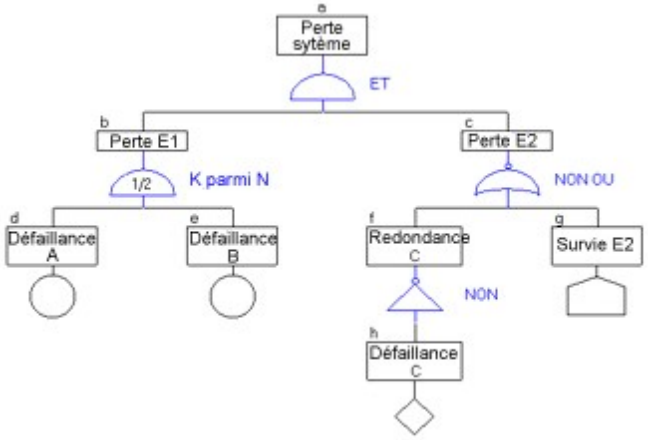
1. Maitriser les risques pour des « ruptures » technologiques
2. Concevoir des « barrières » de sécurité

Historique

Absence de règle pour de nouvelles technologies :

- **Arbre de défaillance** pour les missiles (1961 Bell Telephone Laboratories)

- La certification de Concorde



L’arbre des défaillances

Ou des « pannes »

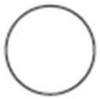
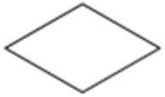
Principes

Codifiés dans la norme CEI 61025 : 1990 “ Analyse par Arbre de Panne (APP) ”

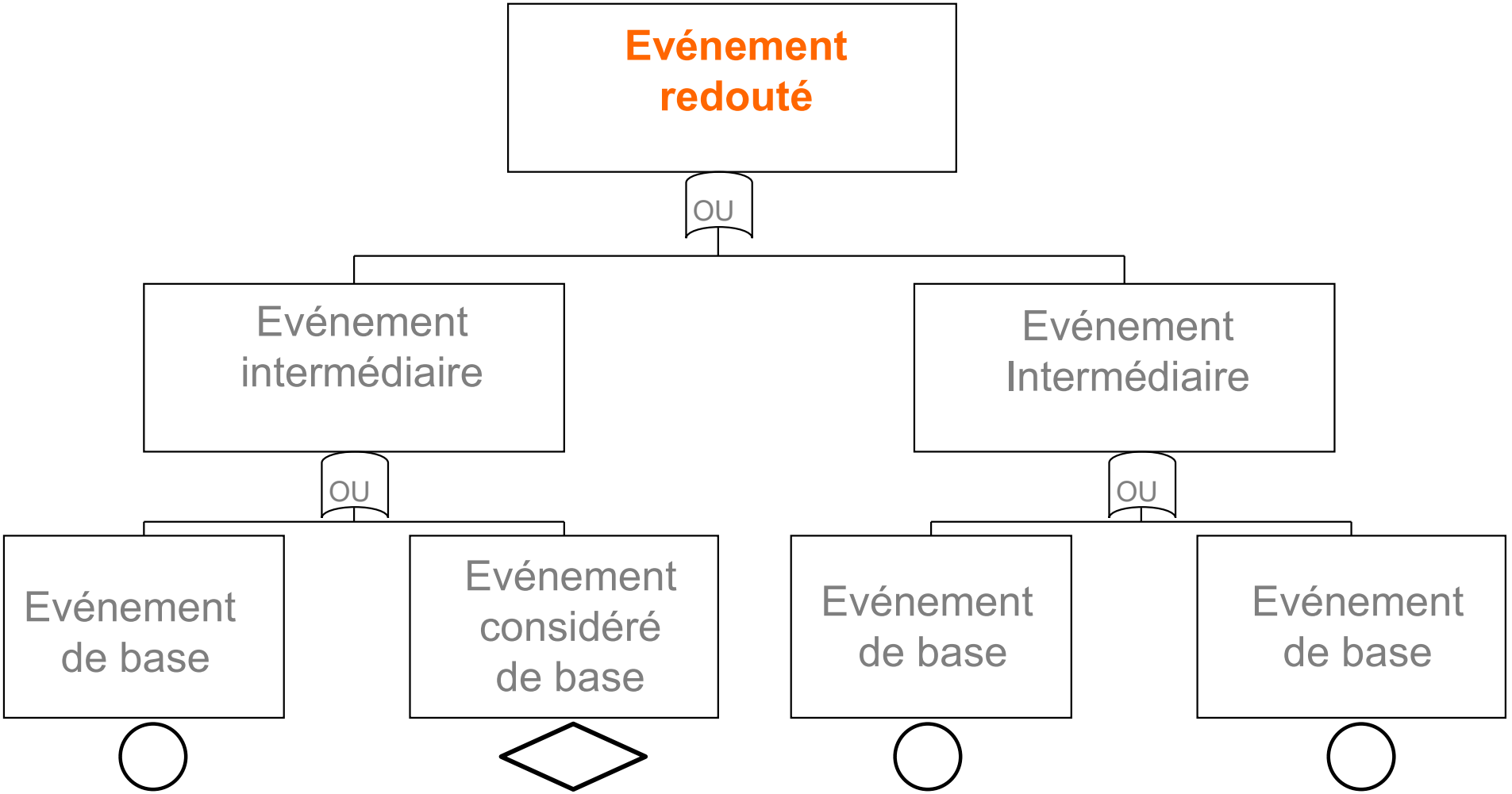
Objectifs :

- Déterminer, pour un « événement redouté donné », l’enchaînement et la combinaison logique d’événements précurseurs conduisant à cet événement ;
- Remonter aux évènements élémentaires :
  - Suffisamment connus d’où pas nécessaire d’en identifier les causes,
  - Évènements dont les causes présentent peu d’intérêts,
  - Évènements dont les causes seront étudiées par ailleurs…

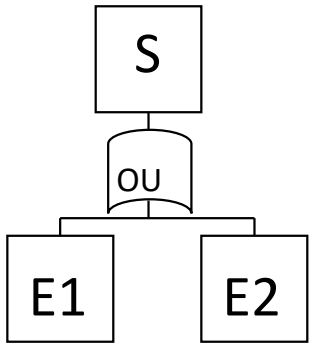
Symboles

Symbole	Description
	Elément intermédiaire Elément relatif à un événement qui a au moins un antécédent « cause » relié avec une porte logique.
	Porte « ET » L'événement de sortie se réalise si tous les évènements reliés à la porte se réalisent en même temps.
	Porte « OU » L'évènement de sortie se réalise si seulement un seul des évènements reliés à la porte se réalise.
	Elément de base Elément relatif à un événement qui ne nécessite pas de développement, les limites de résolution sont atteintes.
	Transfert Ce triangle indique que l'arbre correspondant à l'événement auquel il est relié est développé séparément.
	Evénement non développé L'évènement ne sera pas développé car soit ces conséquences sont trop faibles, soit il n'y a pas d'informations disponibles.

Terminologie

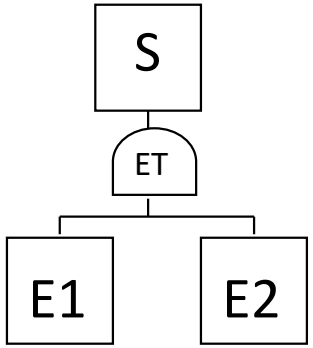


Les portes ET & OU



S est réalisé si :

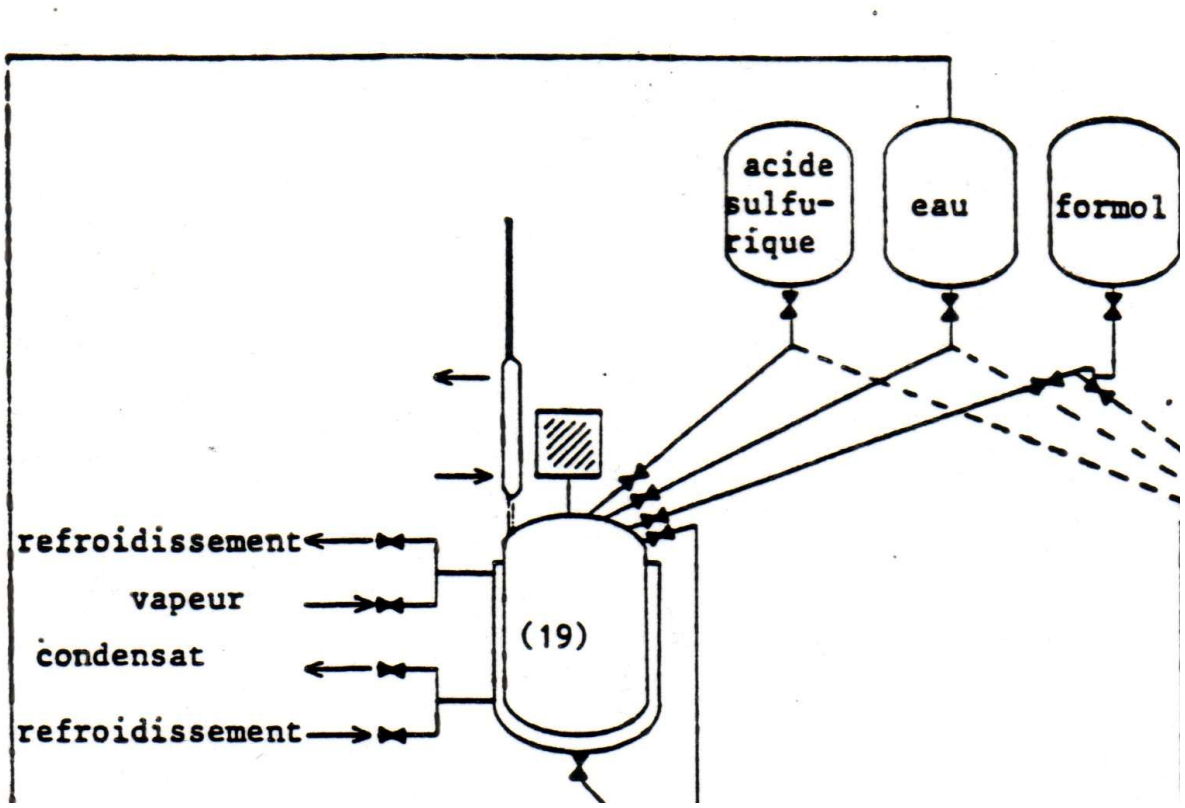
- E1 est réalisé
- E2 est réalisé
- E1 et E2 sont réalisés
- s'écrit formellement S=E1**+**E2 (<S>=<E1>**U**<E2>)



S est réalisé si et seulement si :

- E1 et E2 sont tous les deux réalisés
- s'écrit formellement S=E1.E2 (<S>=<E1>**∩**<E2>)

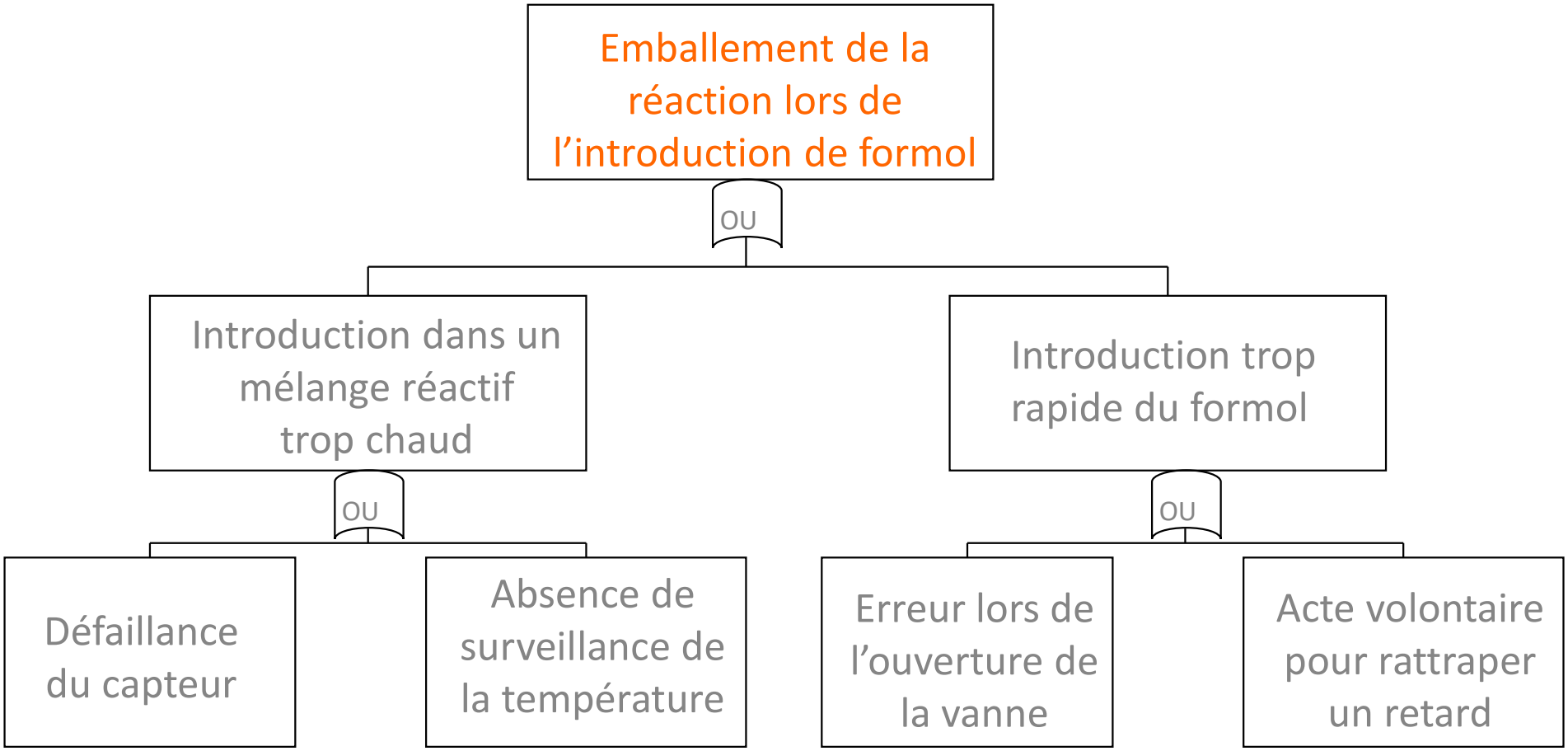
Construction d'un arbre



1. Chargement du naphtalène
2. Fusion du naphtalène
3. Sulfonation par addition H_2SO_4
4. Addition de formol
5. Précipitation du produit

6. Neutralisation par solution de
7. Chaux
8. Filtration du produit

Construction d'un arbre



« Réduction » de l'arbre

Pour :

- Visualiser les événements de base ou chemin (scénarios) « critiques »
- Supprimer les doublons pour estimer une probabilité de l'ERC
- Identifier les moyens d'agir (« barrières de sécurité »)

Définitions :

- coupe : ensemble d'événements (de base) dont la réalisation « simultanée » entraine la réalisation de l'événement redouté
- coupe minimale : coupe ne contenant aucune autre coupe
- ordre : nombre d'événements de la coupe

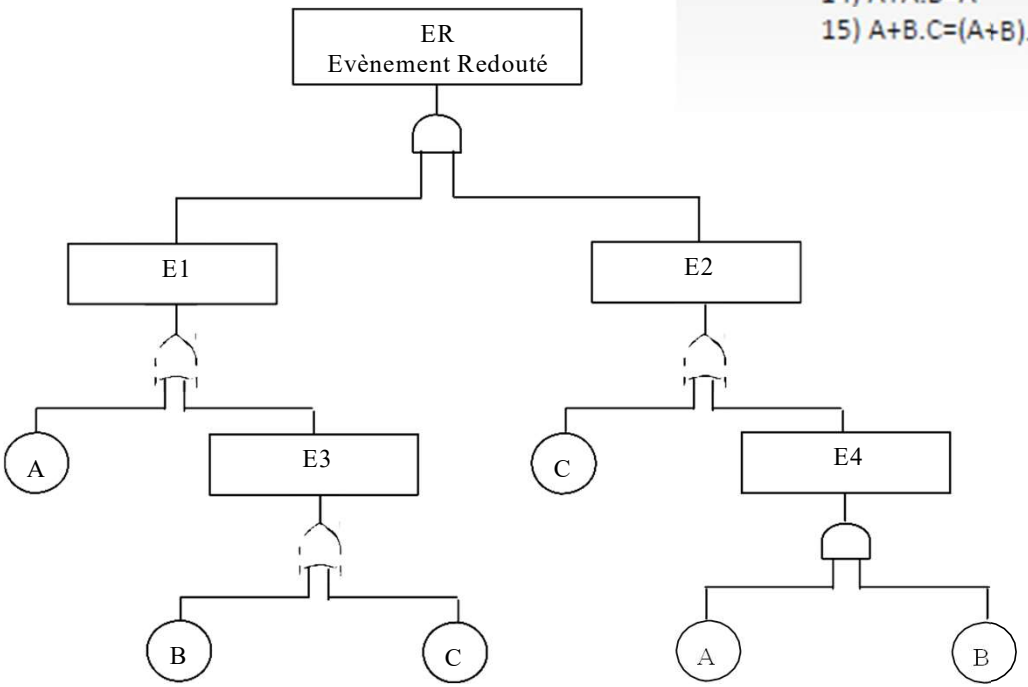
Objectif de la réduction : arriver à une expression logique du type

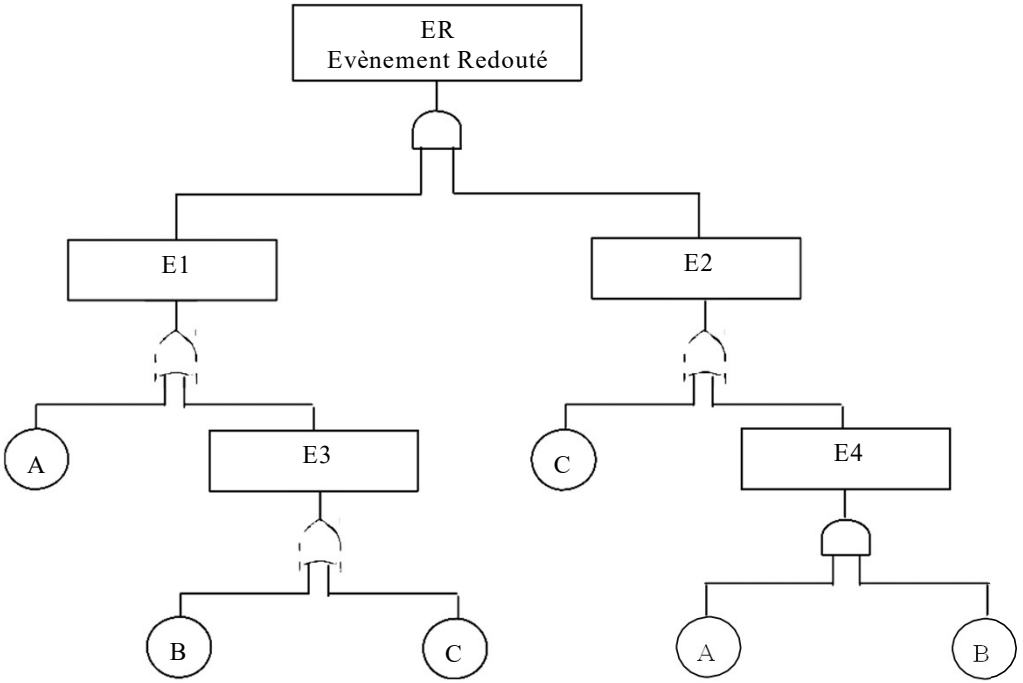
A = C1+C2+C3+ …

avec Ci = B1.B2.B3…

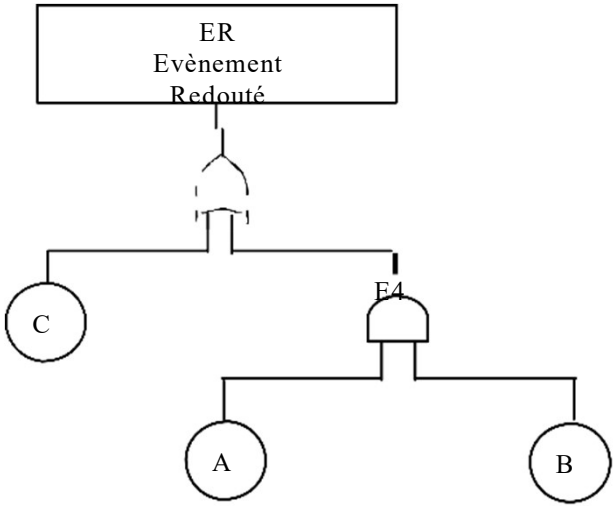
- Opérateur **OU** (+, U)
  1) A+B+C=(A+B)+C=A+(B+C)
  2) A+B=B+A
  3) A+A=A
  4) A+1=1
  5) A+0=A
  6) 1+1=1
- Opérateur **ET** (x, ., $\cap$)
  7) A.B.C=(A.B).C=A.(B.C)
  8) A.B=B.A
  9) A.A=A
  10) A.1=A
  11) A.0=0
  12) 1x1=1 ; 1x0=0
  13) A.(B+C)=A.B+A.C
  14) A+A.B=A
  15) A+B.C=(A+B).(A+C)

- Opérateur Non (ou préfixe n)
  16) $\overline{\overline{A}} = A$
  17) $A + \overline{A} = 1$
  18) $A.\overline{A} = 0$
  19) $A + \overline{A}.B = A + B$
- Loi de Morgan
  20) $\overline{A.B.....} = \overline{A} + \overline{B} + ...$
  21) $\overline{A + B + ...} = \overline{A}.\overline{B}....$



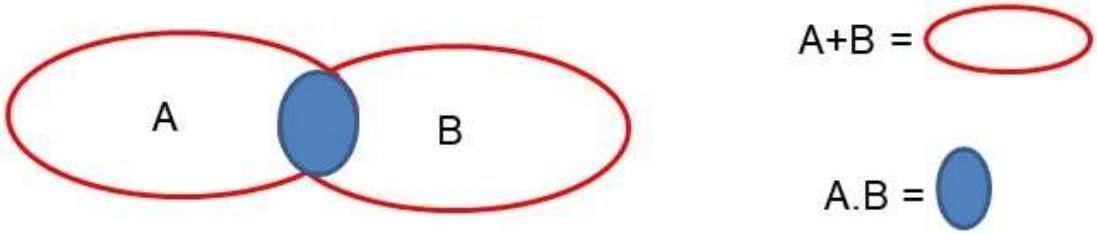


ER=E1.E2
ER=(E3+A).(E4+C)
ER=E3.E4+E3.C+A.E4+A.C
ER=(B+C).A.B+(B+C).C+A.A.B+A.C
ER=A.B.B+A.B.C+B.C+C.C+A.A.B+A.C
ER=A.B+A.B.C+B.C+C+A.B+A.C
ER=A.B+C+A.C
ER=A.B+C



Sous l'hypothèse d'indépendance statistique => calcul de Probabilités

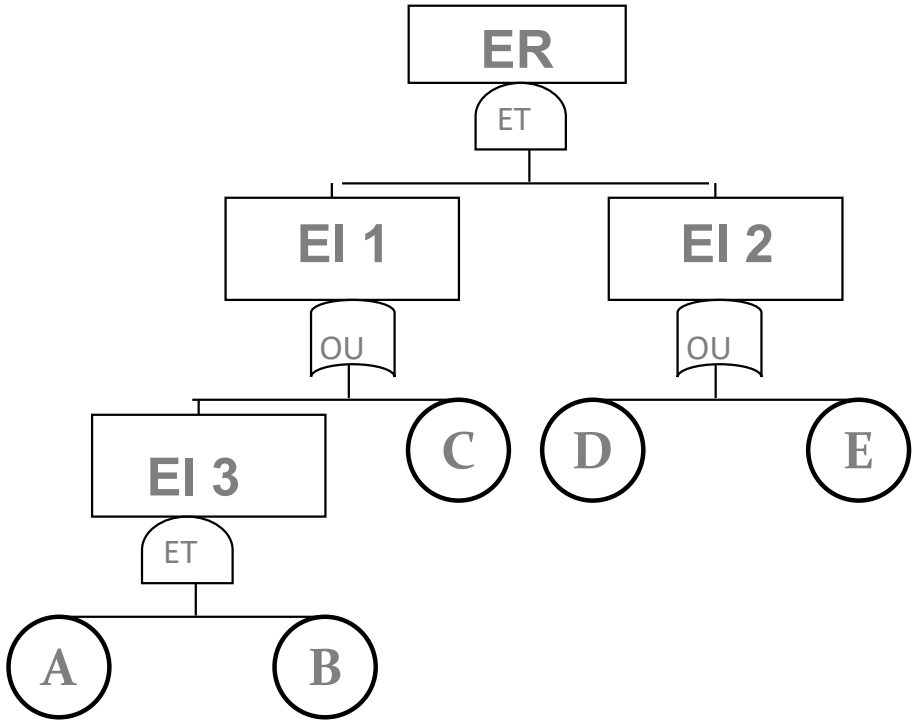
- P(A.B) = P(A).P(B/A)= P(B).P(A/B) et si A et B indépendants => P(A.B) = P(A).P(B)
- P(A+B) = P(A)+P(B)- P(A.B) et si A et B indépendants => P(A+B) = P(A)+P(B)- P(A).P(B) ≈ P(A)+P(B) si P() petites
- P(A+B+C) = P(A)+P(B)+P(C) - (P(A).P(B)+P(A).P(C)+P(B).P(C)) + P(A).P(B).P(C) ≈ P(A)+P(B)+P(C) si P() petites (A, B et C indépendants)



… mais il faut d'abord réduire , ex :

Calculer P(ER) :

1. « Porte à porte »
2. Par les « coupes » après réduction de l'arbre



P(A) = 0,35
P(B) = 0,45
P(C) = 0,25
P(D) = 0,18
P(E) = 0,20

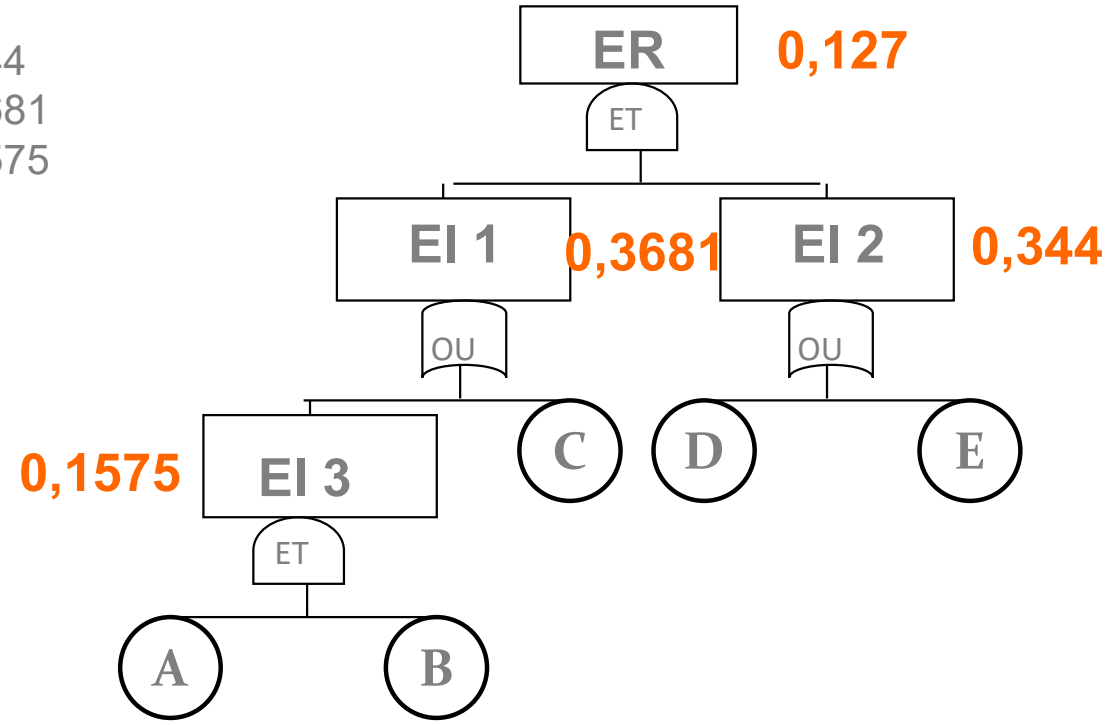
… « porte à porte »

ER = EI1.EI2
EI2 = E+D
EI1 = EI3+C
EI3 = A.B

P(A) = 0,35
P(B) = 0,45
P(C) = 0,25
P(D) = 0,18
P(E) = 0,20

P(ER)=P(EI1).P(EI2)
P(EI2)=P(E)+P(D)-P(E).P(D) = 0,344
P(EI1)=P(EI3)+P(C)-P(EI3).P(C) = 0,3681
P(EI3)=P(A).P(B) = 0,1575

P(ER) = 0,127



…après réduction de l'arbre

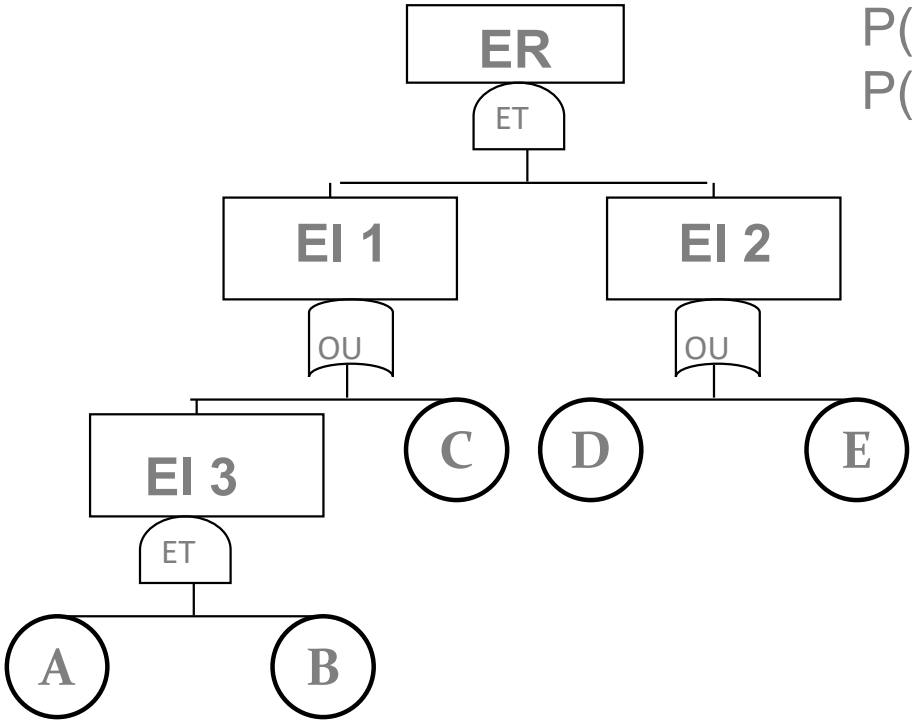
P(A) = 0,35
P(B) = 0,45
P(C) = 0,25
P(D) = 0,18
P(E) = 0,20

ER = EI1.EI2
EI2 = E+D
EI1 = EI3+C
EI3 = A.B
ER = (E+D).(A.B+C)
ER= CD+CE+ABD+ABE

P(ER)≈P(CD)+P(CE)+P(ABD)+P(ABE)
P(CD)≈P(C).P(D) = 0,045
P(CE)≈P(C).P(E) = 0,05
P(ABD)≈P(A).P(B).P(D) = 0,0284
P(ABE)≈ P(A).P(B).P(E) = 0,0315

P(ER) ≈ 0,1549

Calcul précis => 0,146



…particulièrement sensible si mode commun de défaillance

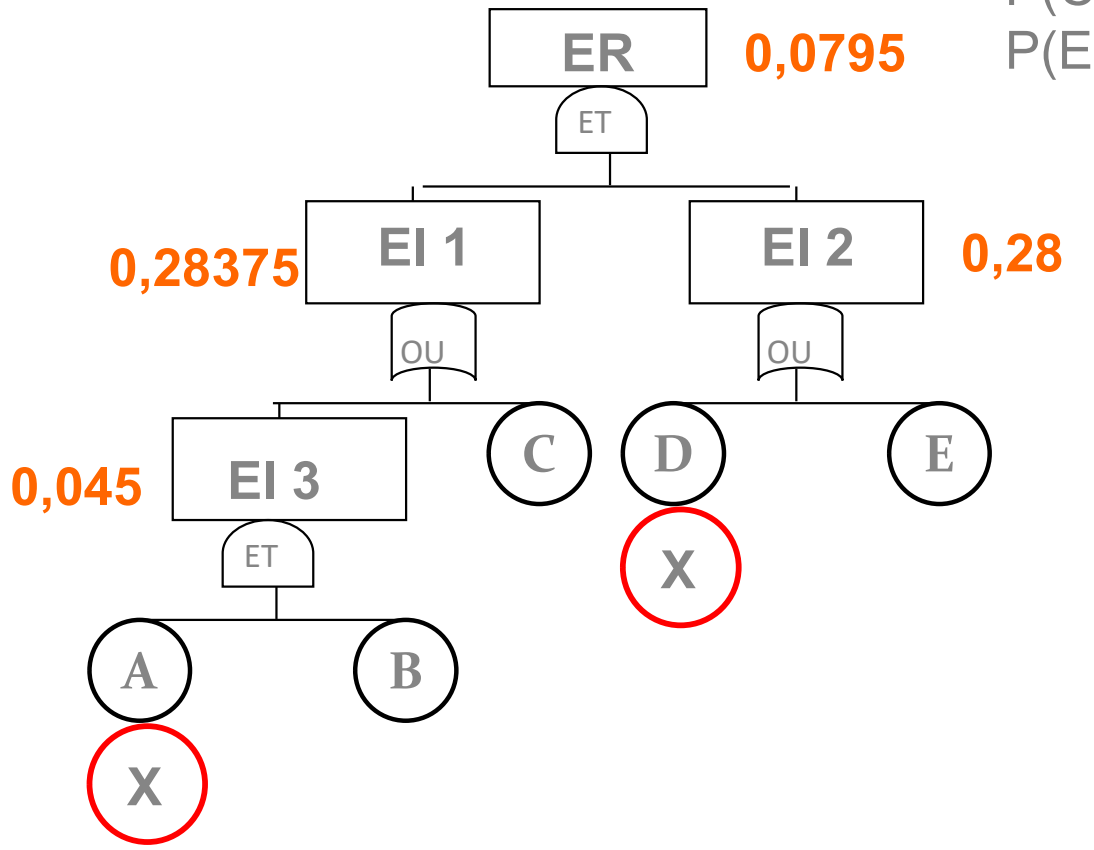
P(X) = 0,1
P(B) = 0,45
P(C) = 0,25
P(E) = 0,20

Si A et D sont expliqués par X

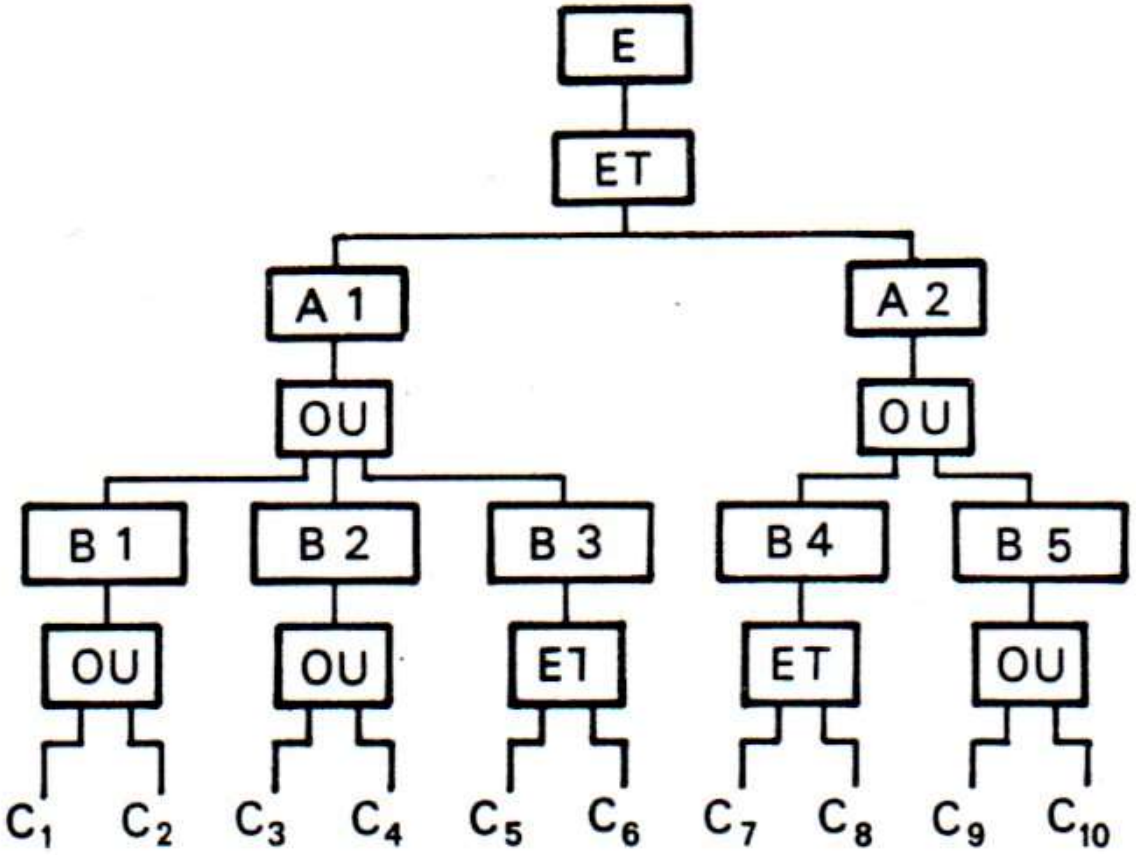
Réduction :
ER=
CX + 0,025
CE + 0,05
BX 0,045

P(ER)= 0,120

Calcul précis P(ER)= 0,115



RQ : Test de sensibilité

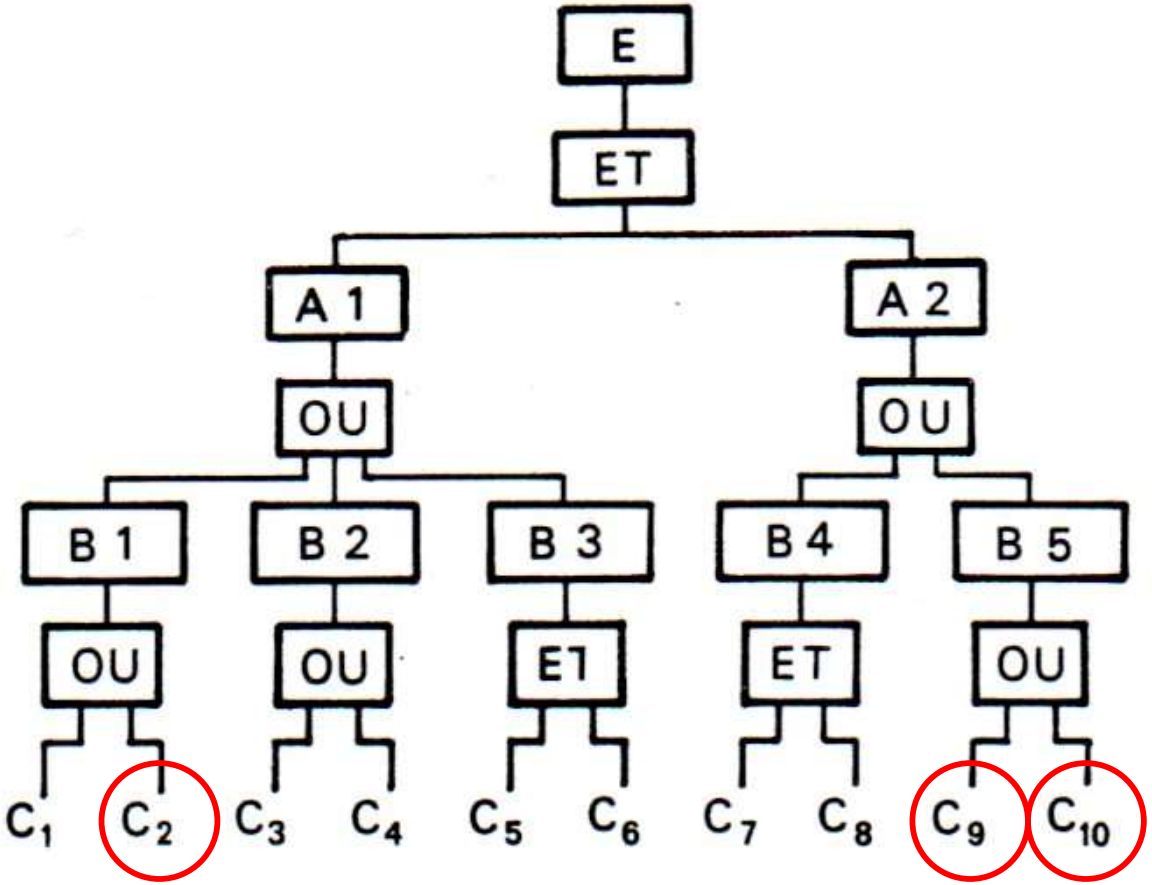


C_1	2×10^{-6}
C_2	3×10^{-3}
C_3	10^{-5}
C_4	10^{-6}
C_5	2×10^{-4}
C_6	10^{-3}
C_7	7×10^{-3}
C_8	9×10^{-6}
C_9	2×10^{-4}
C_{10}	10^{-4}

RQ = Test de sensibilité

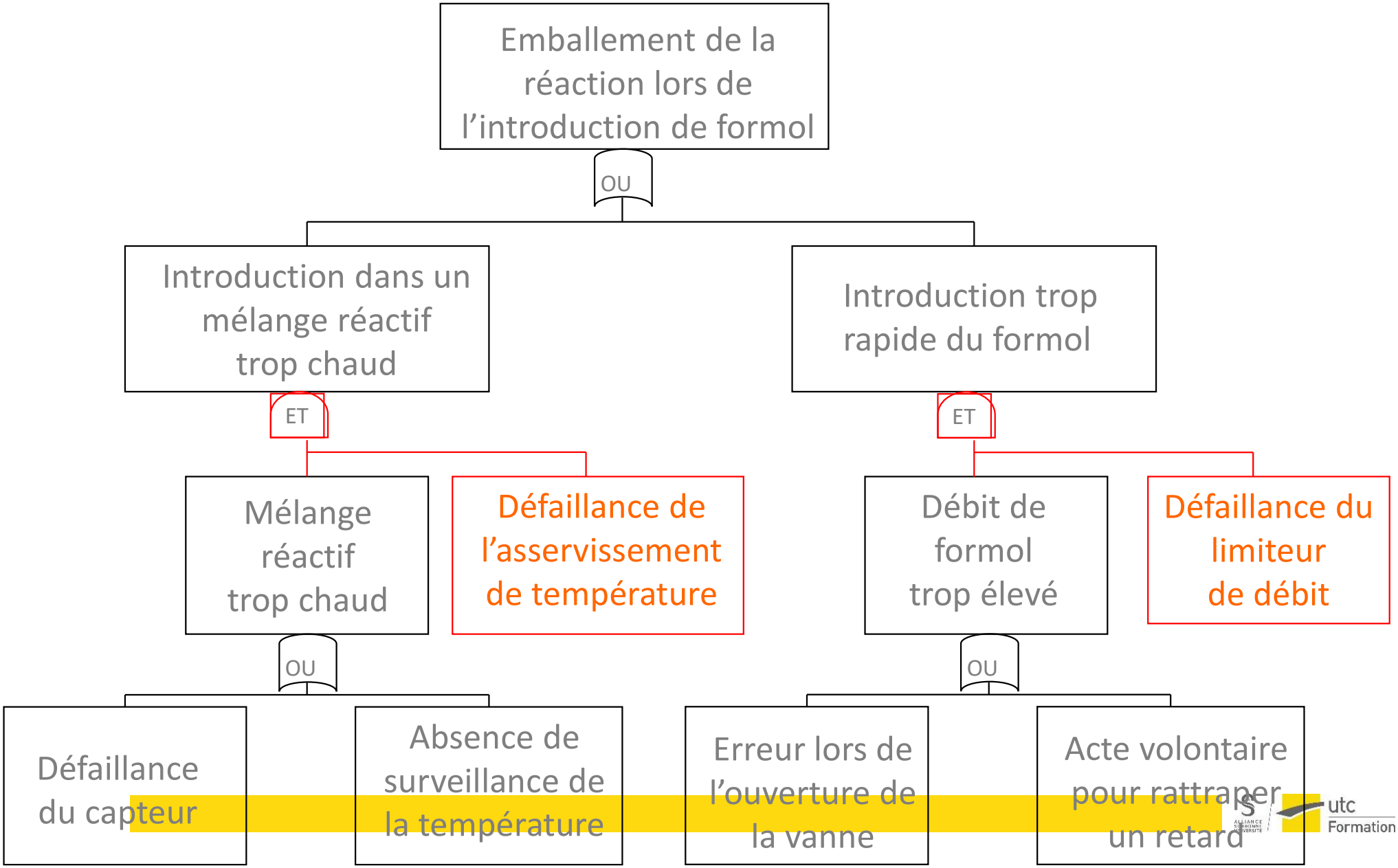
C1	2,00E-06	2,00E-05	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06
C2	3,00E-03	3,00E-03	3,00E-02	3,00E-03	3,00E-03	3,00E-03	3,00E-03	3,00E-03	3,00E-03	3,00E-03	3,00E-03
C3	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-05
C4	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-05	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06
C5	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-03	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04
C6	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03
C7	7,00E-03	7,00E-03	7,00E-03	7,00E-03	7,00E-03	7,00E-03	7,00E-03	7,00E-02	7,00E-03	7,00E-03	7,00E-03
C8	9,00E-06	9,00E-06	9,00E-06	9,00E-06	9,00E-06	9,00E-06	9,00E-06	9,00E-06	9,00E-05	9,00E-06	9,00E-06
C9	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-03	2,00E-04
C10	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-03
TOP	**9,04E-07**	9,10E-07	**9,01E-06**	9,31E-07	9,07E-07	9,05E-07	9,05E-07	9,06E-07	9,06E-07	**6,33E-06**	**3,62E-06**

RQ : Test de sensibilité



C_1	2×10^{-6}
C_2	3×10^{-3}
C_3	10^{-5}
C_4	10^{-6}
C_5	2×10^{-4}
C_6	10^{-3}
C_7	7×10^{-3}
C_8	9×10^{-6}
C_9	2×10^{-4}
C_{10}	10^{-4}

Maitrise du risque : « barrières »…

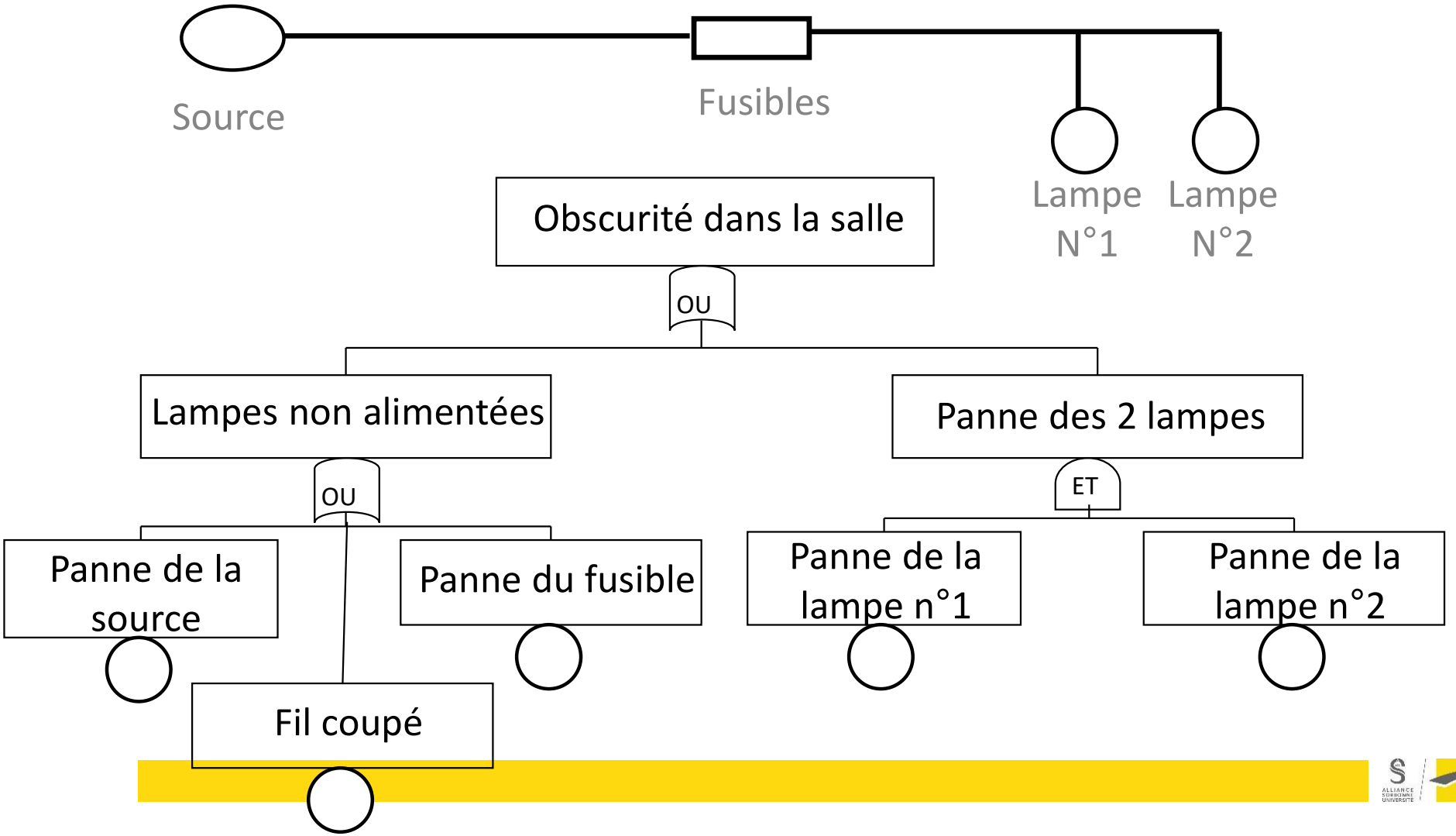


Exemples d'arbres de défaillances

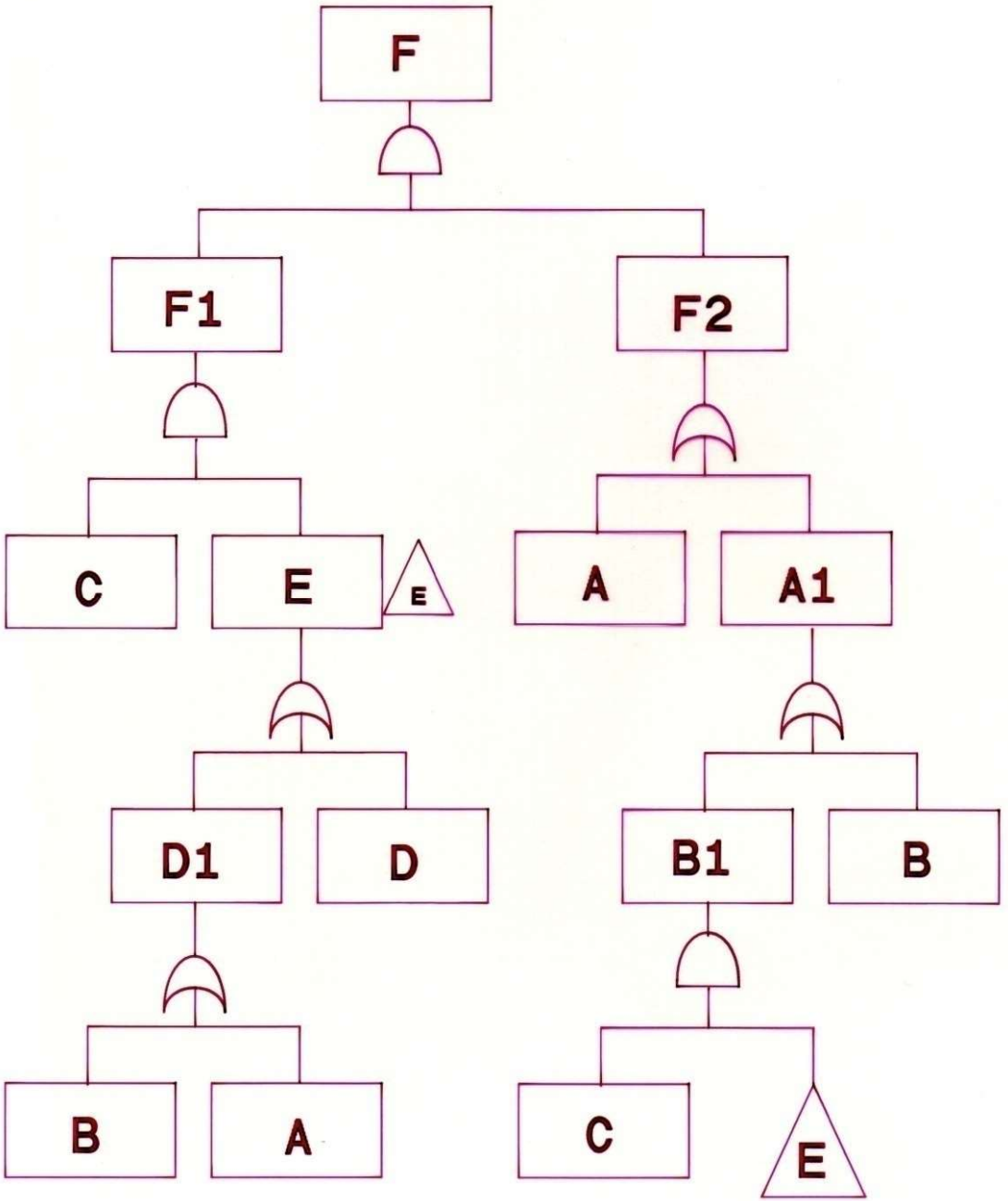
Réduction – construction – « barrières » de prévention

Construire un arbre :

ERC « obscurité dans la pièce »



Réduction d'arbre



F= F1.F2

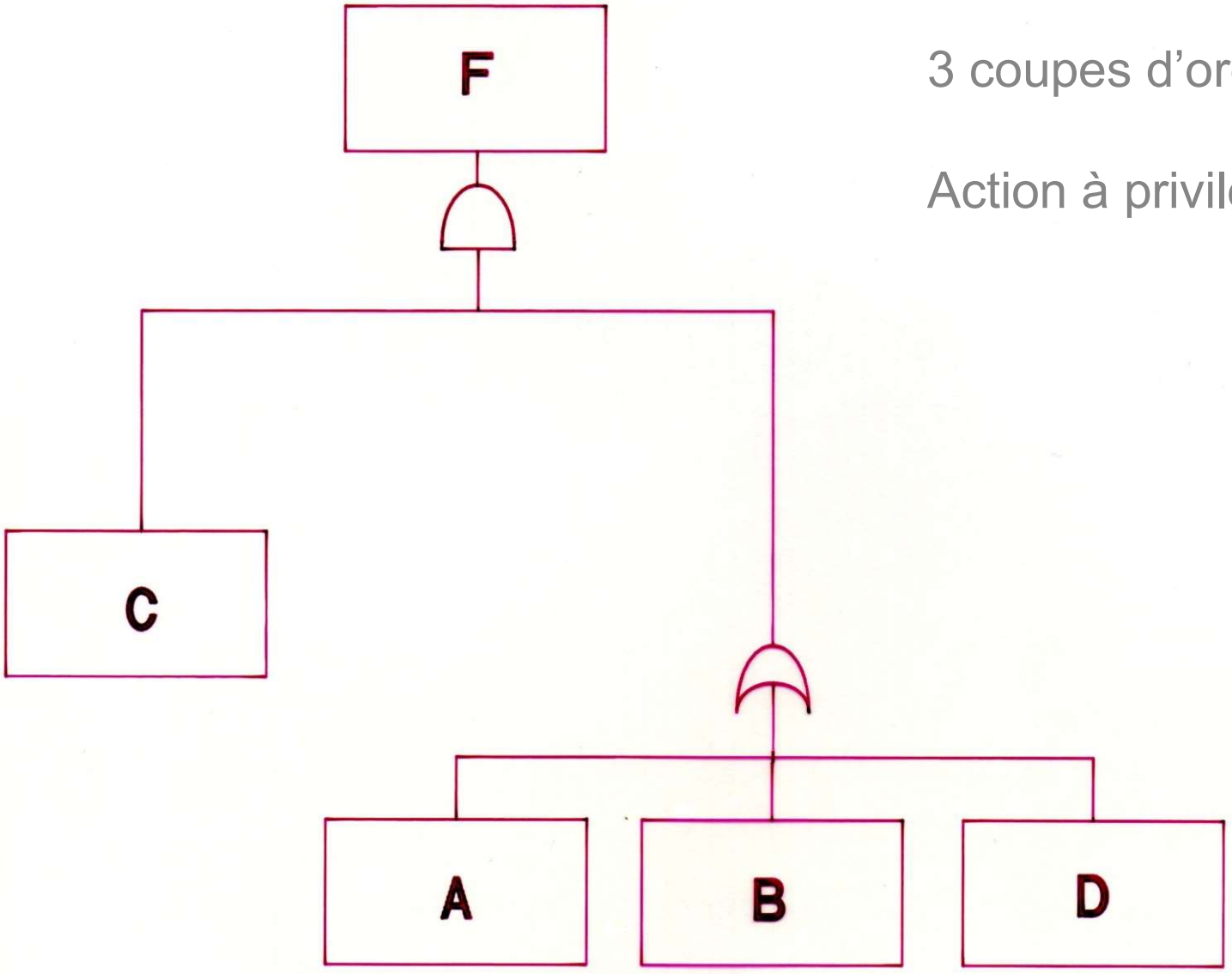
F1= C.E
E= D+D1
D1= A+B
F1= C.(A+B+D)

F2= A+A1
A1= B+B1
B1= C.E= F1
F2= A+B+F1

F= F1.(A+B+F1)
F= F1.A+F1.B+F1
F= F1

F= C.(A+B+D)

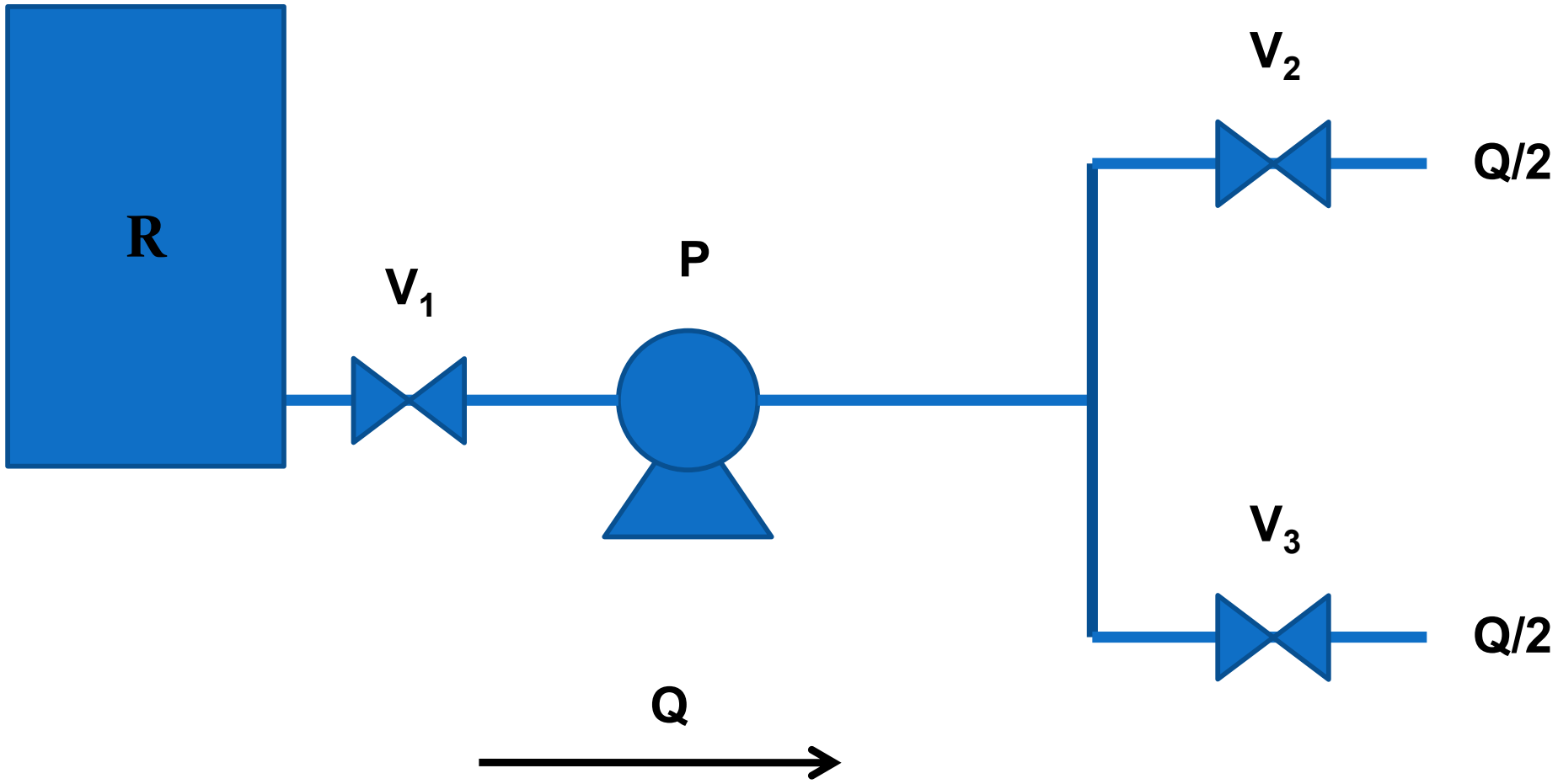
Réduction d'arbre : arbre réduit



3 coupes d'ordre 2

Action à privilégier sur « C »

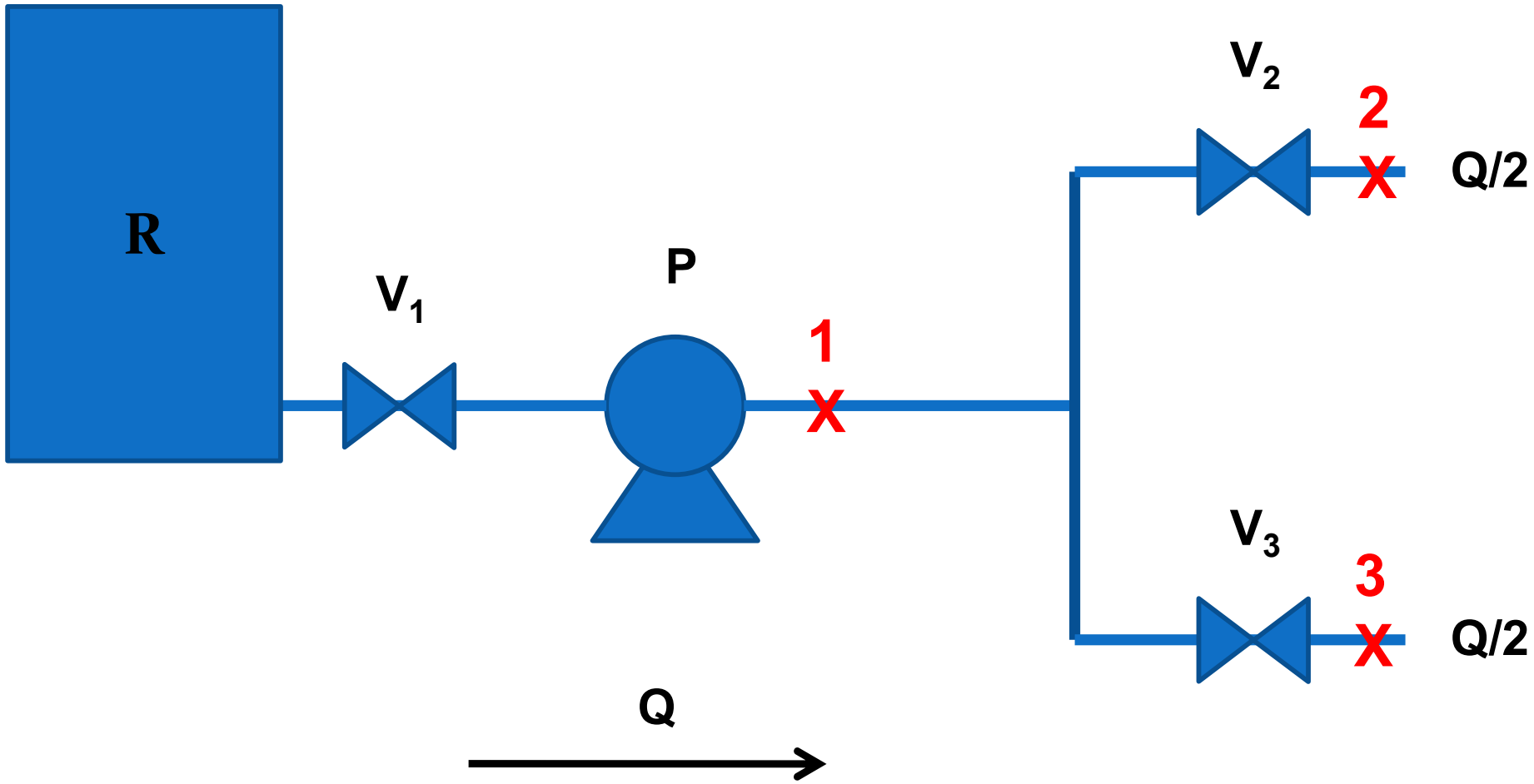
Exemple complet : refroidissement d'urgence



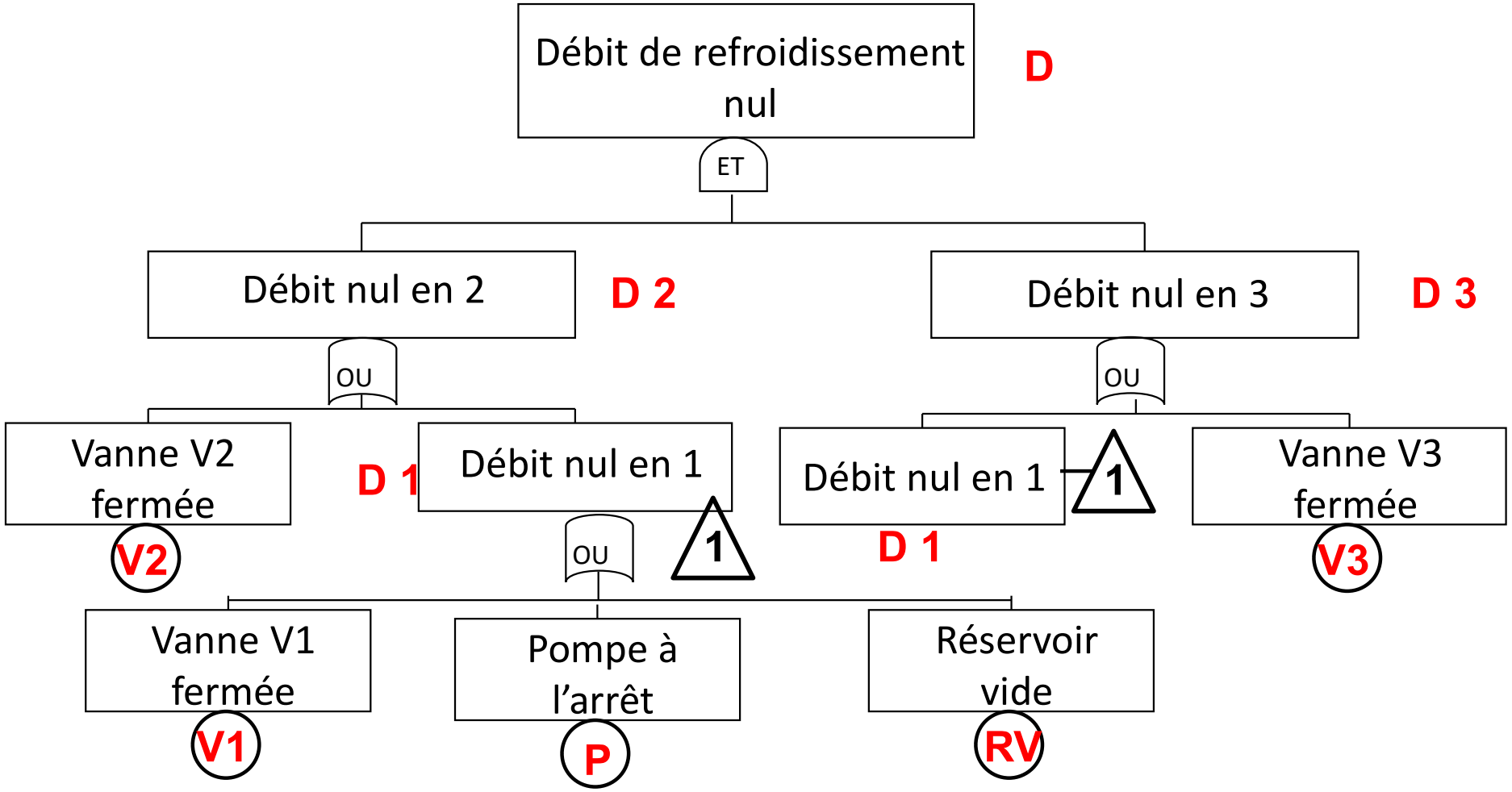
Circuit de refroidissement d'urgence

- **ERC :** les situations possibles = >
  - Débit de refroidissement nul : catastrophique
  - Débit de refroidissement =Q/2 : critique
  - Débit de refroidissement= Q : normal
- **Construire l'arbre complet**
- **Le réduire**
- **Reconstruire l'arbre réduit**

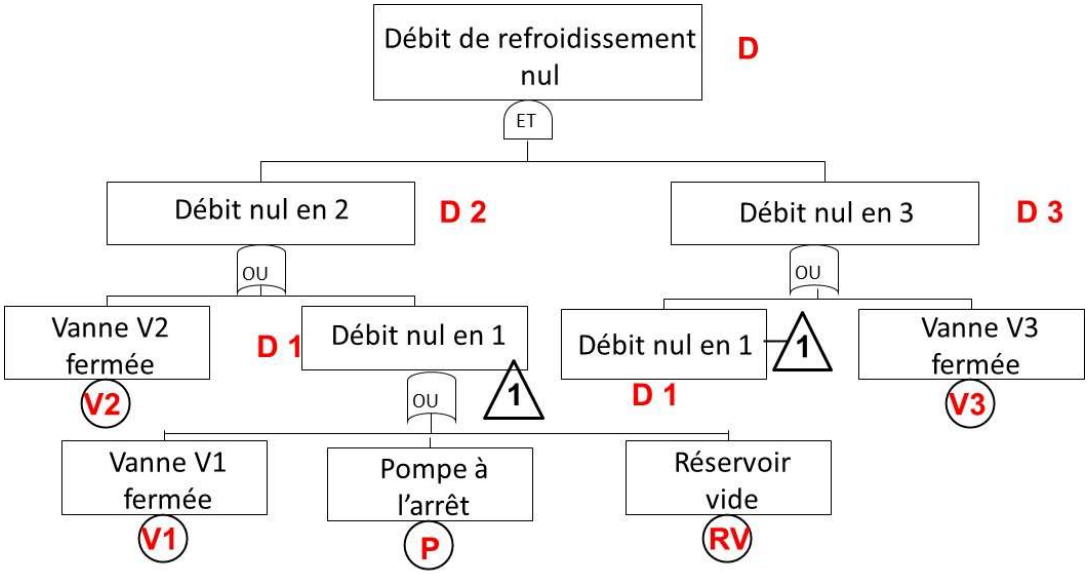
Circuit de refroidissement d'urgence



L'arbre complet



Réduction de l'arbre



D = D2.D3
D2= V2+D1
D3= V3+D1

D1 = V1+P+RV

D= (V2+D1).(V3+D1)
D= V2.V3+V2.D1+D1.V3+D1.D1

D= V2.V3+V2.D1+D1.V3+D1.D1

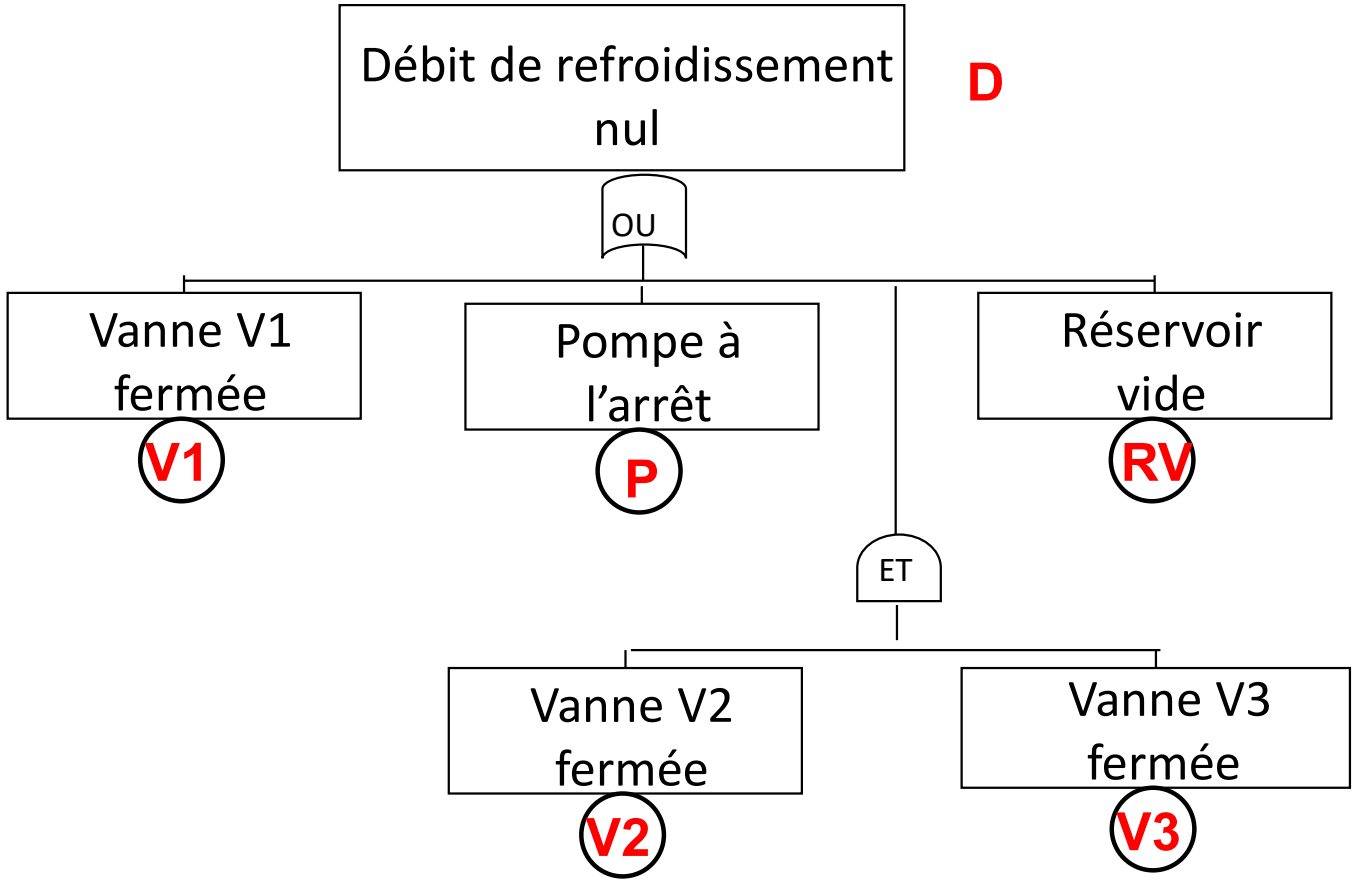
D= V2.V3+V2.D1+D1.V3+D1
D= V2.V3+V2.D1+D1.V3+D1
D=V2.V3+D1

D1=V1+P+RV
D=V2.V3+V1+P+RV

Reconstruction de l'arbre réduit

D= V2.V3+V1+P+RV

3 coupes d'ordre 1
1 coupe d'ordre 2



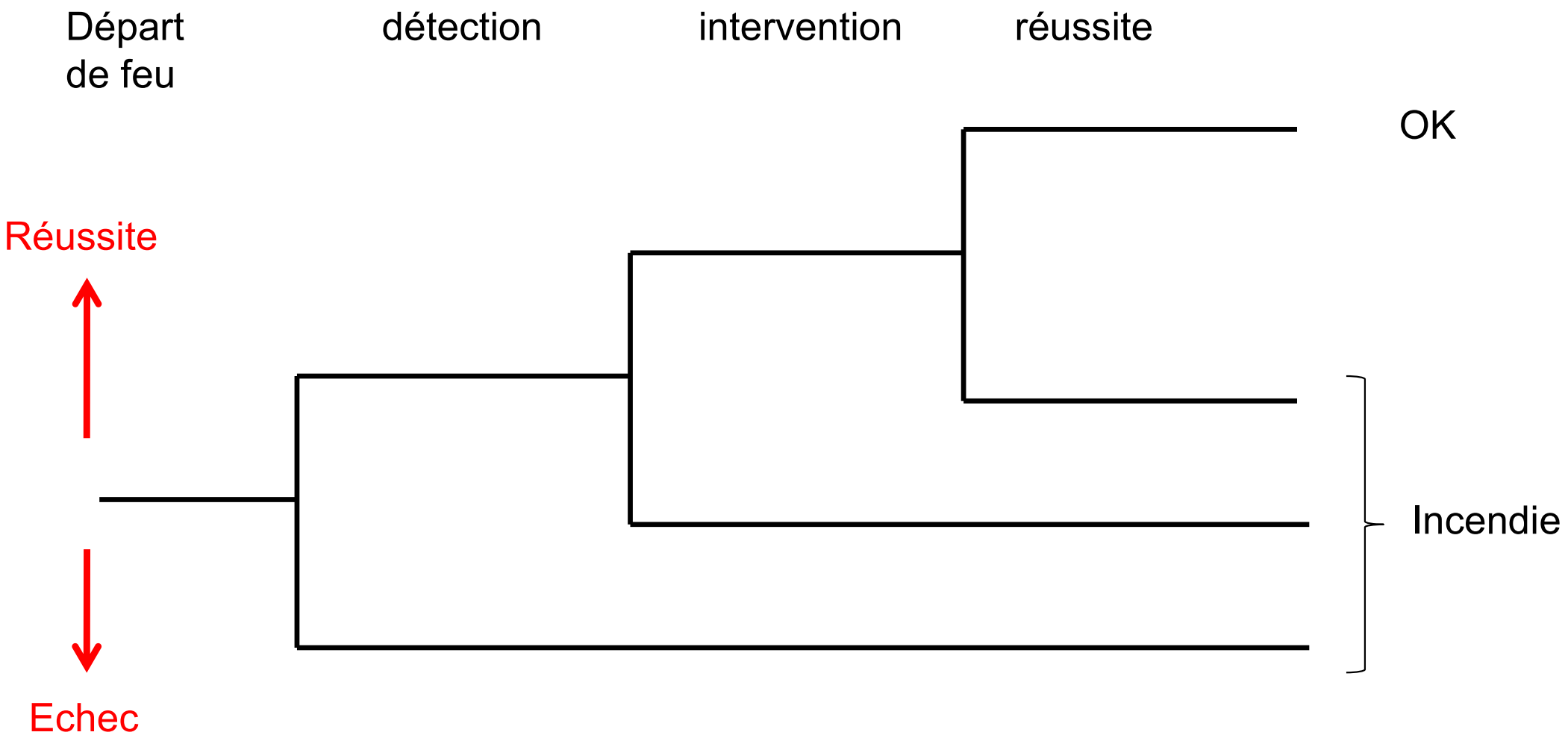
L ’arbre « d’événements »

Décrire l’inéluctable pour définir des stratégies de luttes contre les effets (« barrières » de protection)

Présentation

- Méthode élaborée début des années 70
  (Rapport Rasmussen Wash-1400 (1975))
- Méthode inductive permettant une quantification
- Elaboration de scénarios à partir d'un événement initiateur et d'une cascade de réussites ou d'échec de moyen de sauvegarde

Intervention sur départ de feu



Mise en œuvre

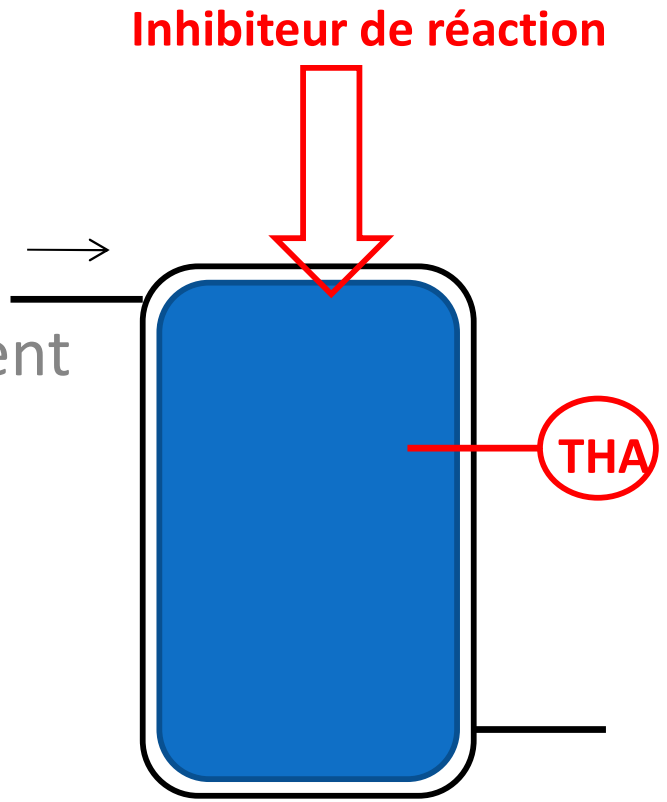
1. Définir l'événement initiateur
2. Recenser les moyens de sauvegarde (matériels, humains, organisationnels)
3. Etablir la chronologie des interventions
4. Construire l'arbre
5. Eliminer les incohérences
6. Faire le calcul de probabilité

Exemple

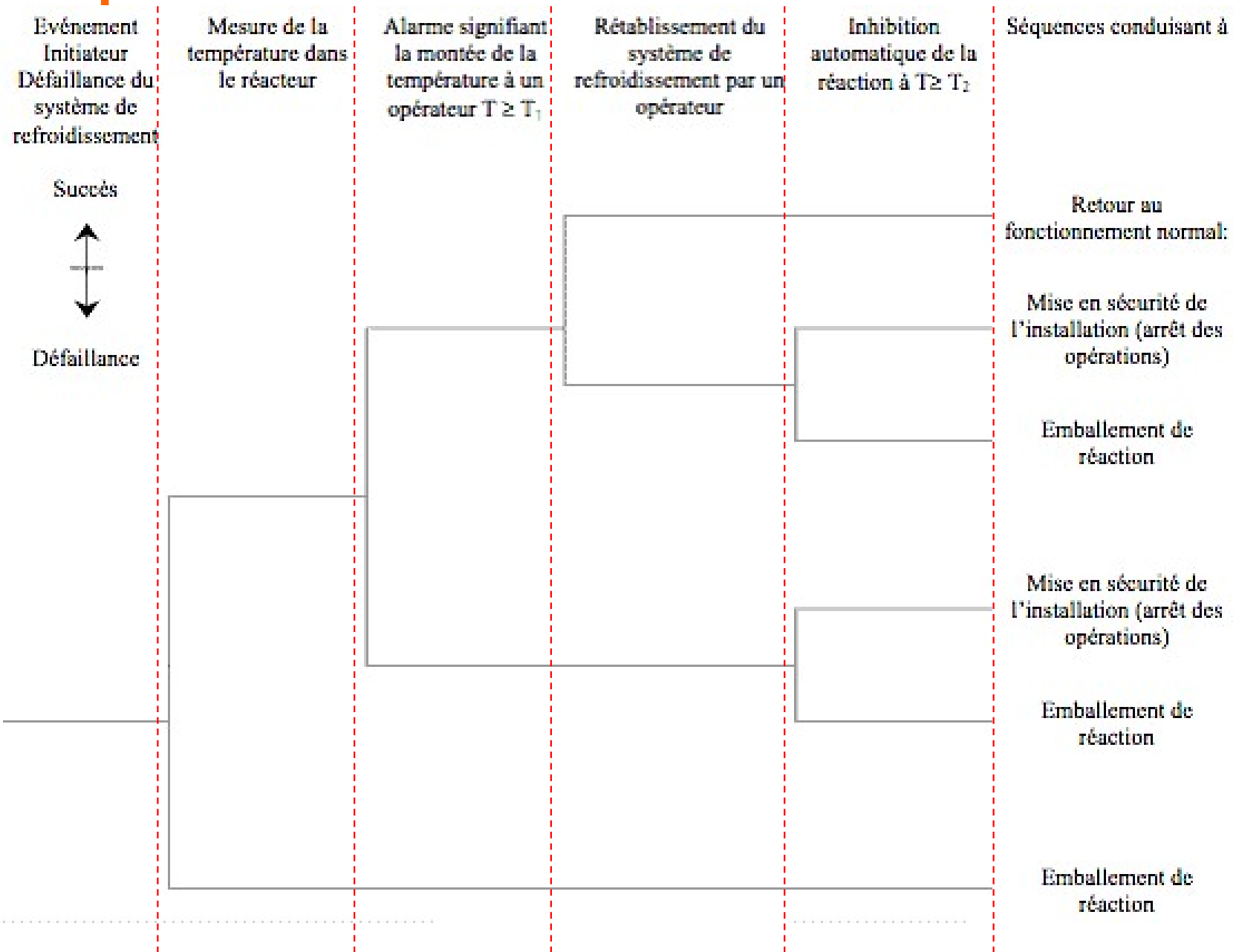
En cas d'arrêt du refroidissement, il y a une alarme de T° haute.

L'opérateur doit rétablir le refroidissement

S'il tarde ou échoue, le capteur déclenche une injection (en dernier recours) d'un inhibiteur de réaction



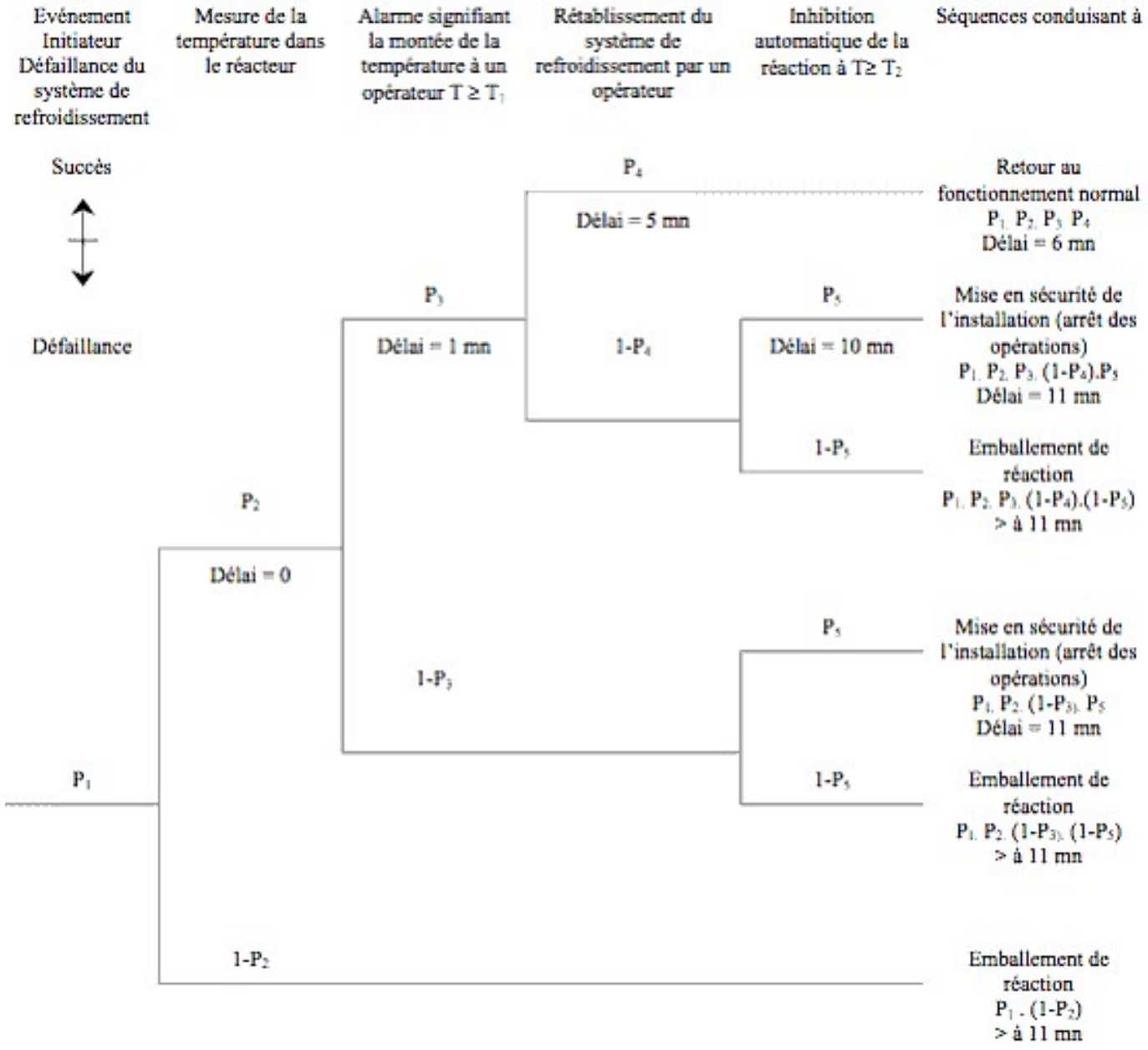
Exemple


Evénement Initiateur Défaillance du système de refroidissement
Mesure de la température dans le réacteur
Alarme signifiant la montée de la température à un opérateur T ≥ T1
Rétablissement du système de refroidissement par un opérateur
Inhibition automatique de la réaction à T≥ T2
Séquences conduisant à
Succès
Défaillance
Retour au fonctionnement normal:
Mise en sécurité de l'installation (arrêt des opérations)
Emballement de réaction
Mise en sécurité de l'installation (arrêt des opérations)
Emballement de réaction
Emballement de réaction

Principes à respecter

- Une fonction dépendant d'une autre
  - doit être considérée après celle-ci
  - Si échec de f_1 => échec f_2, le succès de f_2 n'est pas à étudier
- De même, une réussite interrompt une branche où d'autres éléments devaient intervenir
- Attention au défaillance de mode commun

Exemple quantifié



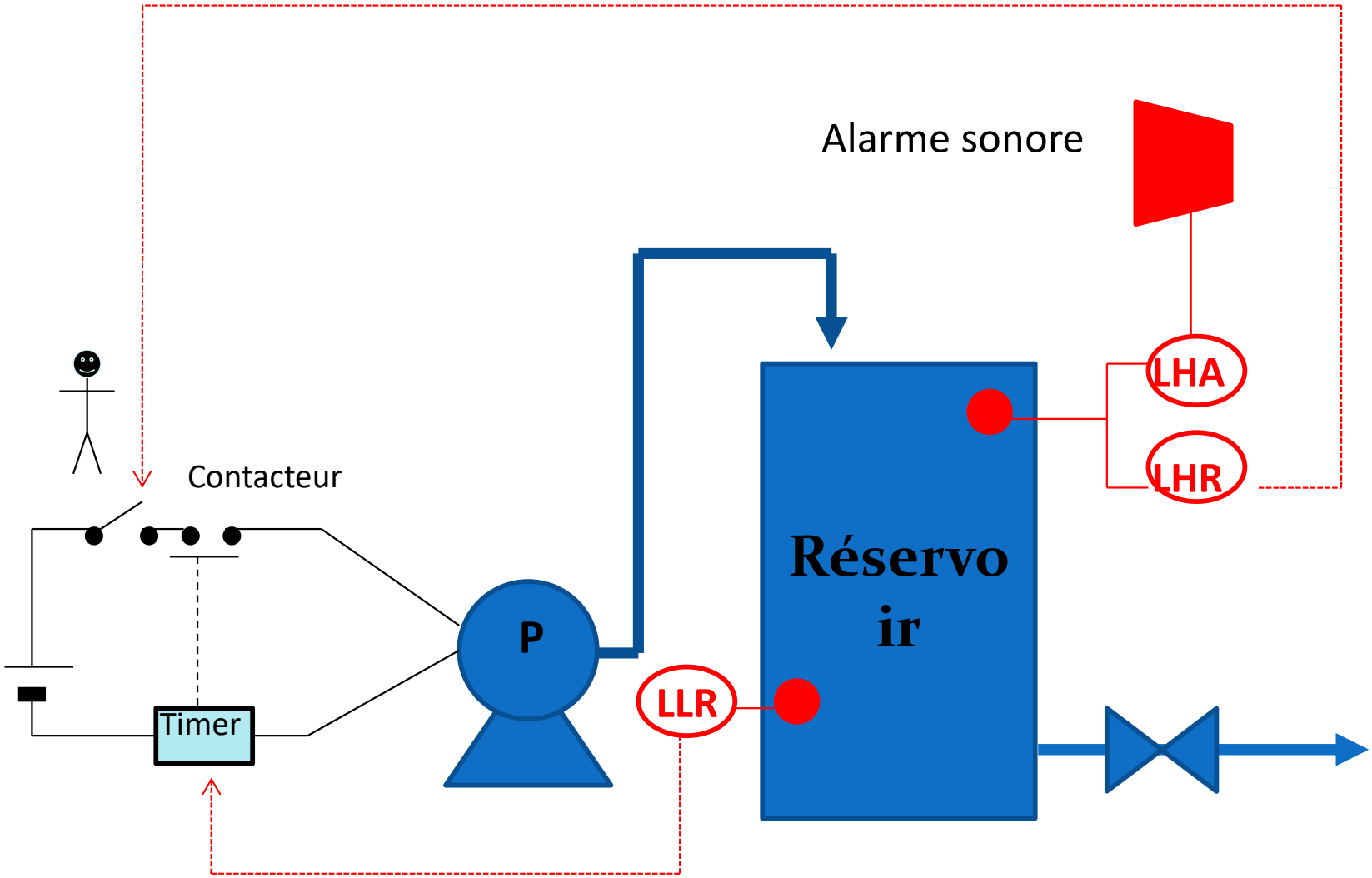
En conclusion

- Méthode pertinente pour formaliser des scénarios (et les « quantifier »)
- Usage fréquent lors d'analyse d'accident

- Attention : démarche rapidement lourde => bien cerner (et limiter) l'objet de l'étude.

Exemples

Plus proche d’une exploitation systématique d’arbre des causes


Alarme sonore
LHA
LHR
Contacteur
Réservoir
P
LLR
Timer

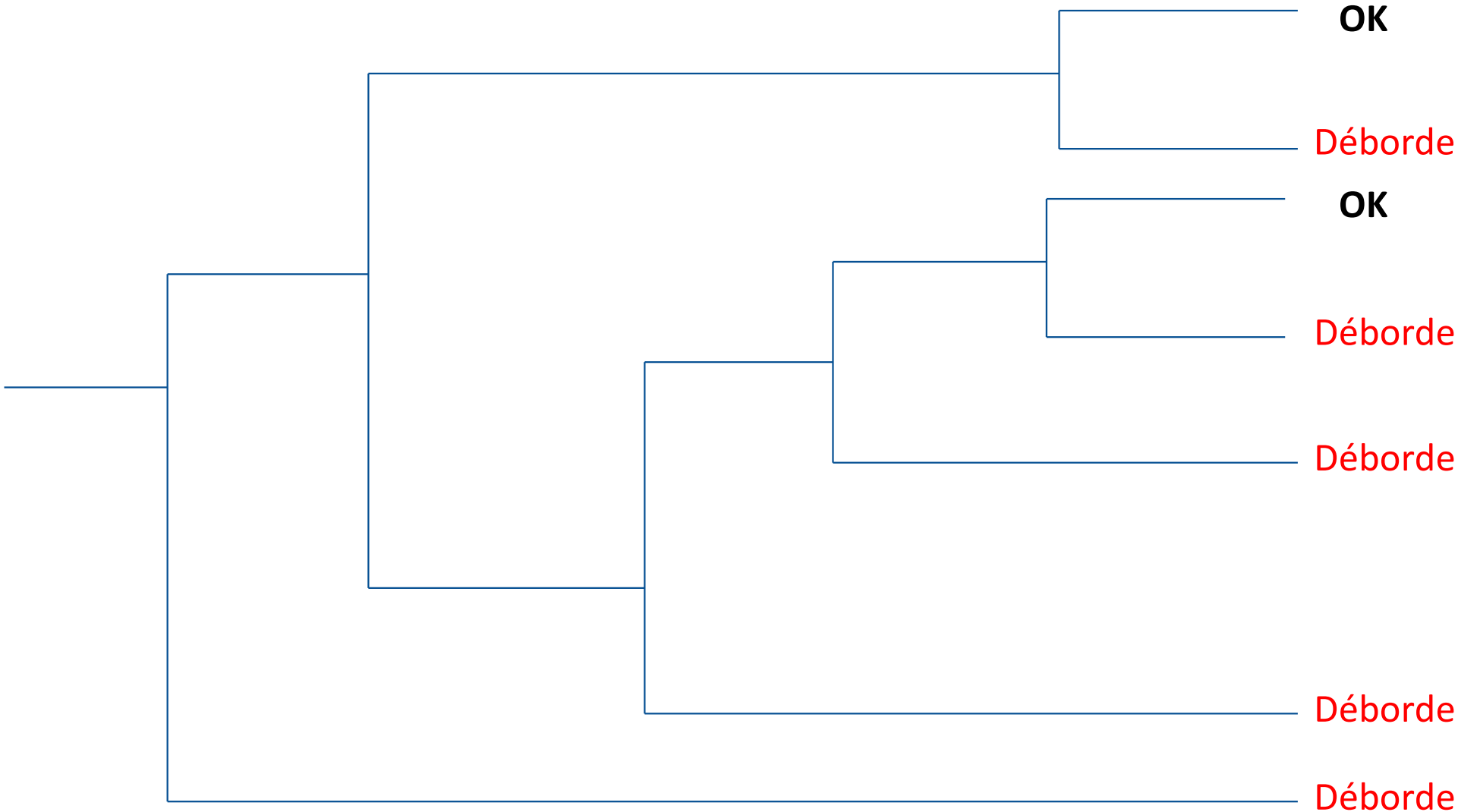
Identifier :

- l'événement initiateur
- Les fonctions de sécurité

- Evénement initiateur : surremplissage
- Fonctions de sécurité :
  - Détecteur
  - Régulateur
  - Interrupteur
  - Alarme
  - Opérateur

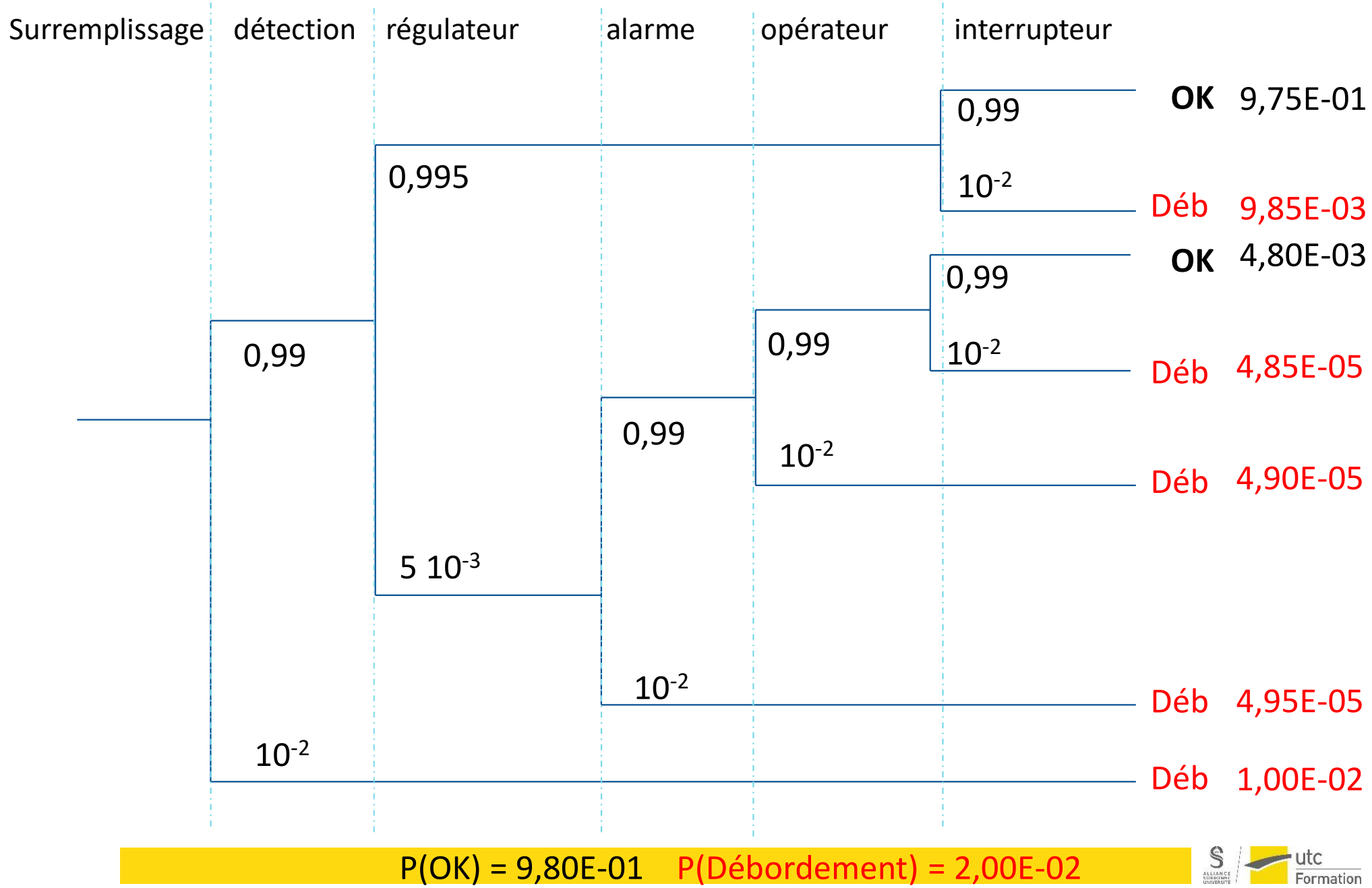
Construire l'arbre

Surremplissage détection régulateur alarme opérateur interrupteur



calcul de probabilité

Défaillance détecteurs de niveau : 10^{-2}
Défaillance régulateur : $5\ 10^{-3}$
Défaillance chaine d'alarme : 10^{-2}
Interrupteur collé : 10^{-2}
Défaillance opérateur : 10^{-2}



P(OK) = 9,80E-01 P(Débordement) = 2,00E-02