



ARBRES DE DÉFAILLANCES

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Généralité

Cette méthode déductive (de l'effet vers ses causes) a pour objet la recherche de toutes les combinaisons de défaillances élémentaires (primaires) pouvant aboutir à un événement redouté.

À partir de cet « événement sommet », on construit une arborescence représentant l'enchaînement **logique** des « **événements intermédiaires** » jusqu'à la mise en cause des « **événements élémentaires** » (défaillance d'un composant). Cela par utilisation du symbolisme logique de l'algèbre de Boole.

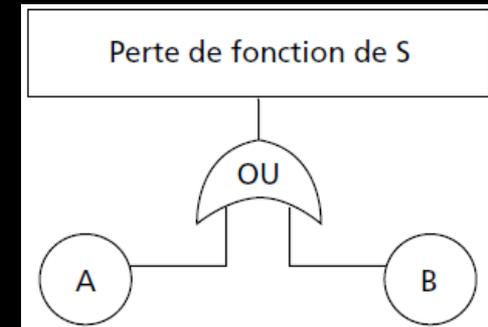
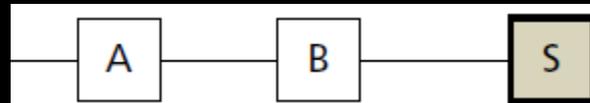
ARBRES DE DÉFAILLANCES

Représentation symbolique

Porte OU

Le système S sera défaillant si les composants A **ou** B sont défaillants. C'est le modèle « série ».

OU		B	
		0	1
A	0	0	0
	1	0	1



VOTE MAJORITAIRE :



L'événement de sortie apparaît si au moins k événements d'entrées apparaissent ($k < n$). Nombre d'entrées > 1

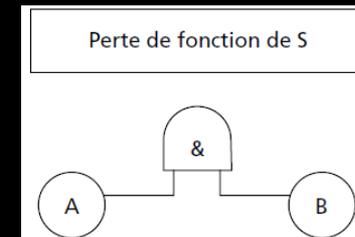
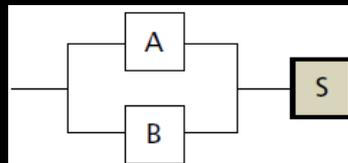
ARBRES DE DÉFAILLANCES

Représentation symbolique

Porte ET

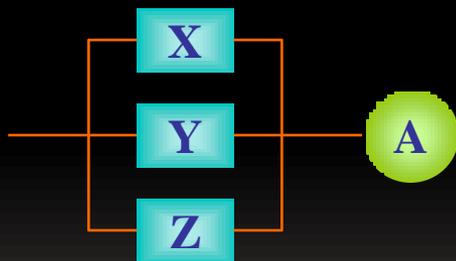
Le système S sera défaillant si A et B sont défaillants (modèle « parallèle » dit redondant).

ET		B	
		0	1
A	0	0	1
	1	1	1



Représentation fonctionnelle

OU



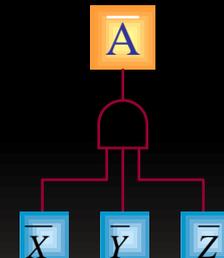
ET



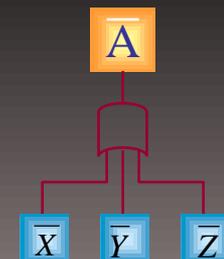
Opérateur (Dysfonctionnel)

ET

Symbole

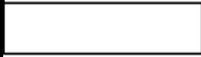


OU



ARBRES DE DÉFAILLANCES

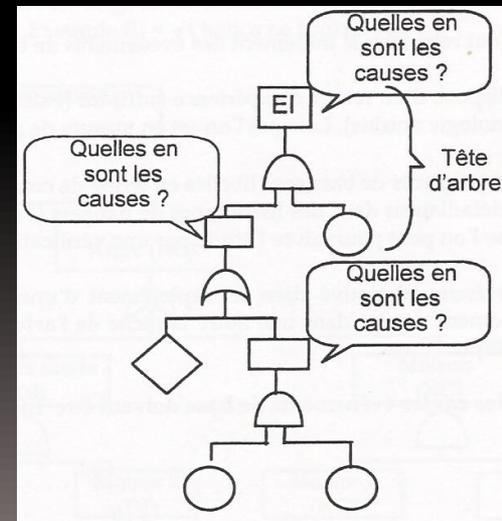
Représentation des événements de base

Rectangle :  Il représente un événement (sommet ou intermédiaire) résultant de la combinaison d'autres événements.

Losange :  Il représente un événement non élémentaire dont les causes ne sont pas recherchées.

Cercle :  Il représente un événement élémentaire, le plus souvent la défaillance d'un composant.

Ellipse :  Événement conditionnel

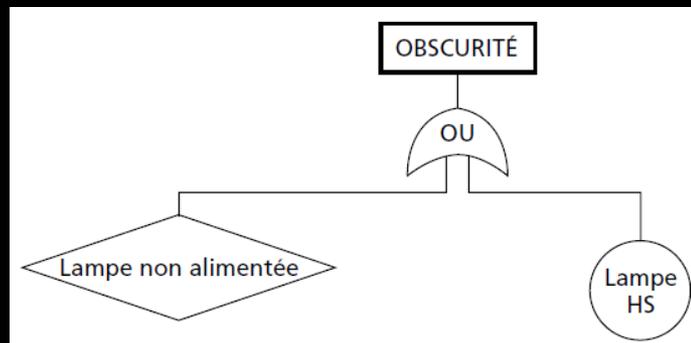


ARBRES DE DÉFAILLANCES

Représentation symbolique

Application simple

La figure ci-dessous représente l'arbre de défaillance relatif à la perte d'éclairage d'un poste de travail.



ARBRES DE DÉFAILLANCES

Recherche des causes

- Détermination de toutes les causes menant à l'EI :
Événements élémentaires.

Ils sont organisés soit en panne simple soit en combinaison de pannes.

Ils touchent des :

- défaillances de commande (rupture d'alimentation, défaillance logicielle, etc.),
- défaillances intrinsèques (conception, utilisation, agression extérieure, erreur humaine, process, etc.).

Les défaillances prises en compte sont fonction des limites de l'étude :

- agressions extérieures,
- problèmes de process,
- erreur humaine.

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Recherche des causes

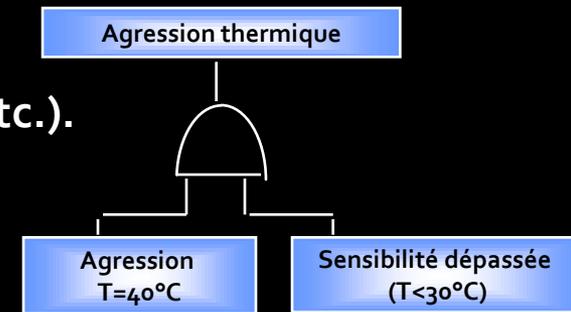
□ Un système est soit :

- Non commandé, mauvaise commande ou pas de commande.
- Une commande peut être :
 - Un flux : information (électrique, électromagnétique, etc.), matière (gaz, liquide, etc.).
 - ex : pas d'alimentation (carburant, électricité etc.) à l'entrée d'un moteur. Pas de commande issue d'un calculateur. Mauvaise information issue d'un capteur.
 - Une interaction mécanique : contact, tension, support, etc.
 - ex : pas de transmission du mouvement de translation ensemble bielle/manivelle.

Arbres de Défaillances

Recherche des causes

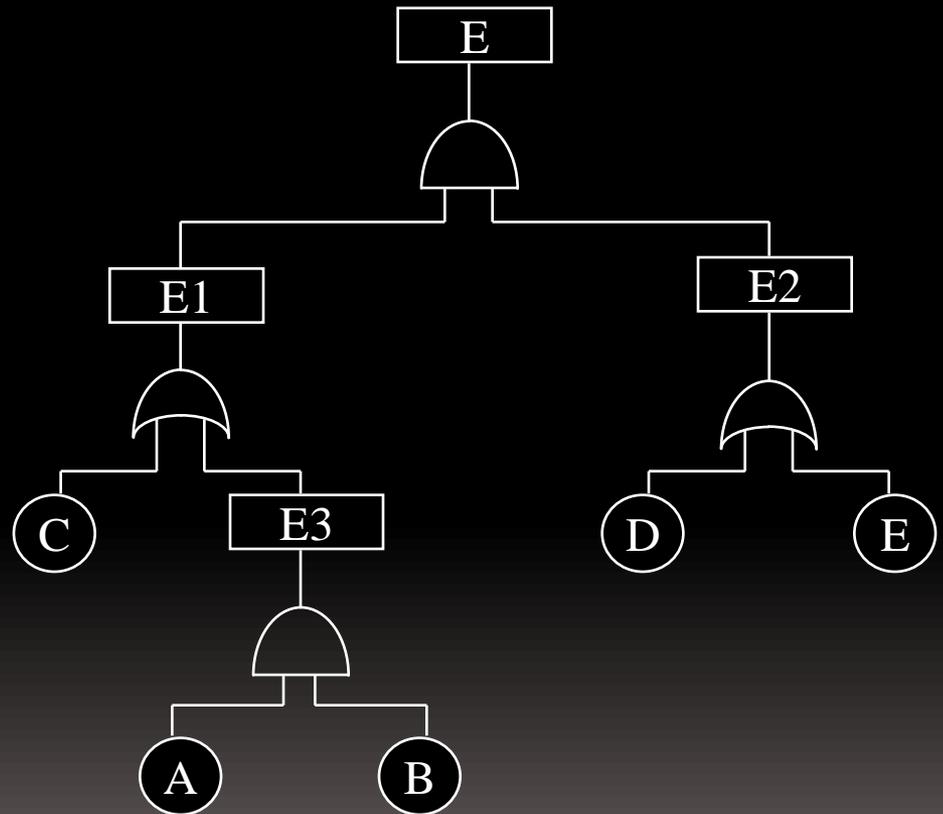
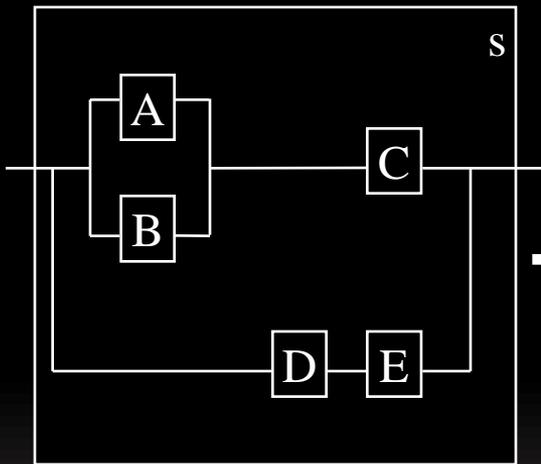
- Victime d'une Défaillance Intrinsèque (DI) :
 - Conception (produit) (Ex : matériel inadapté, etc.).
 - Fabrication (process) :
 - Machine (Ex : Précision insuffisante, etc.),
 - Homme (Ex : Soudure non conforme, etc.).
 - Utilisation :
 - Usure, prise de jeu, etc.
 - Agressions extérieures (Ex : thermique, corrosion, électromagnétisme, vibration, électrostatisme, hygrométrie, etc.) combinées à la sensibilité du système à l'agression considérée.
 - Erreur humaine (Ex : mauvaise opération, etc.).



ARBRES DE DÉFAILLANCES

Demarches

Construction de l'arbre de défaillances

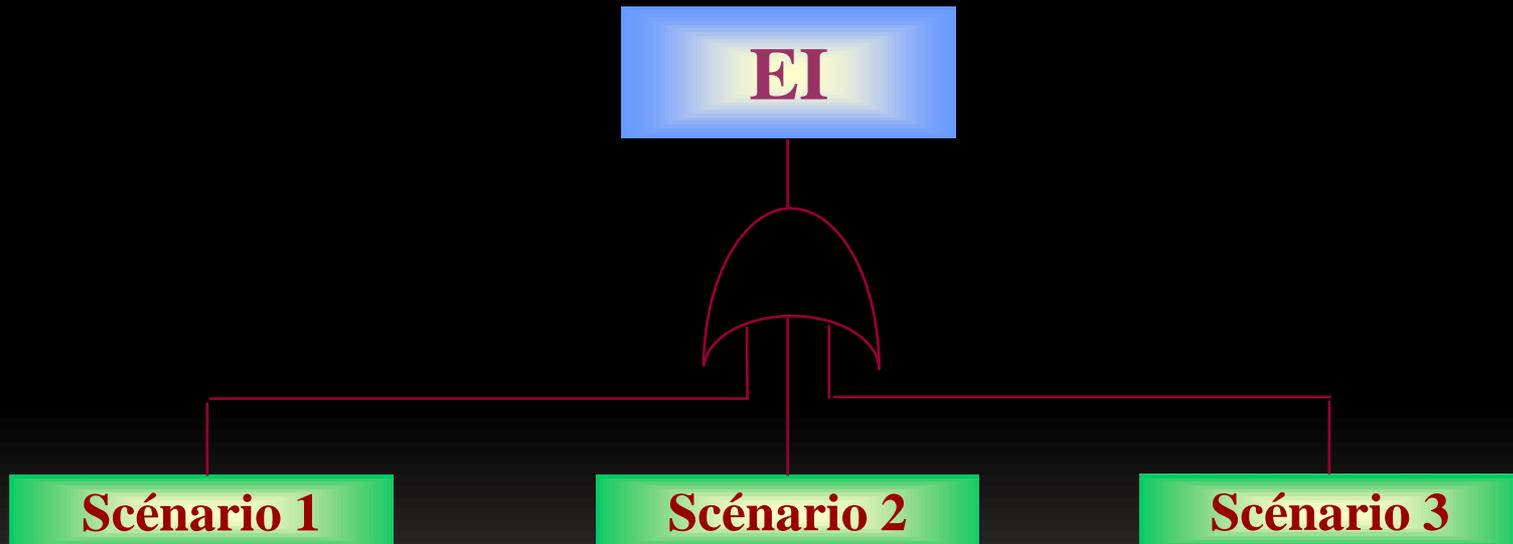


ARBRES DE DÉFAILLANCES

Demarches

Construction de l'arbre de défaillances

- Décomposition par « scénario » :



Ex : Incendie

⇒ Explosion

⇒ Court-circuit

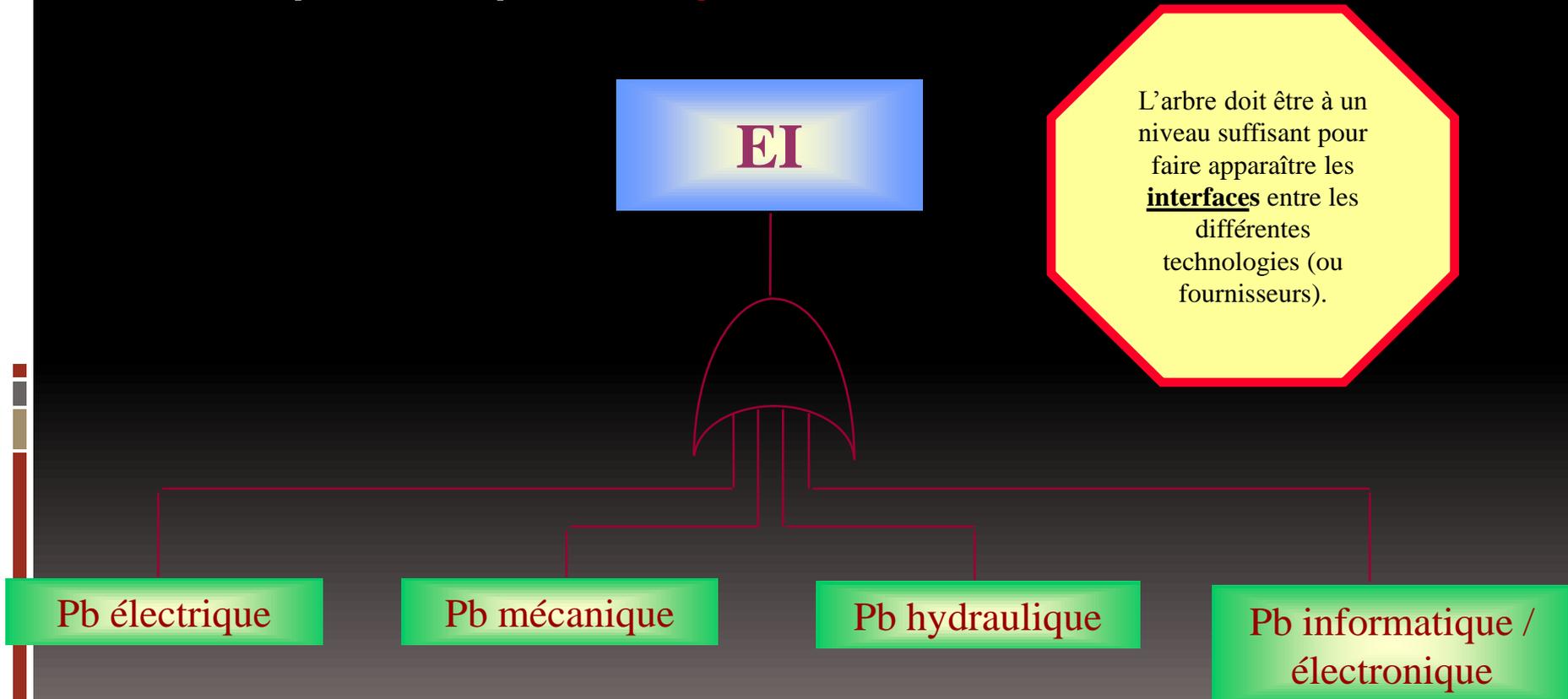
⇒ etc.

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Demarches

Construction de l'arbre de défaillances

- Décomposition par « **corps de métier** » :



ARBRES DE DÉFAILLANCES

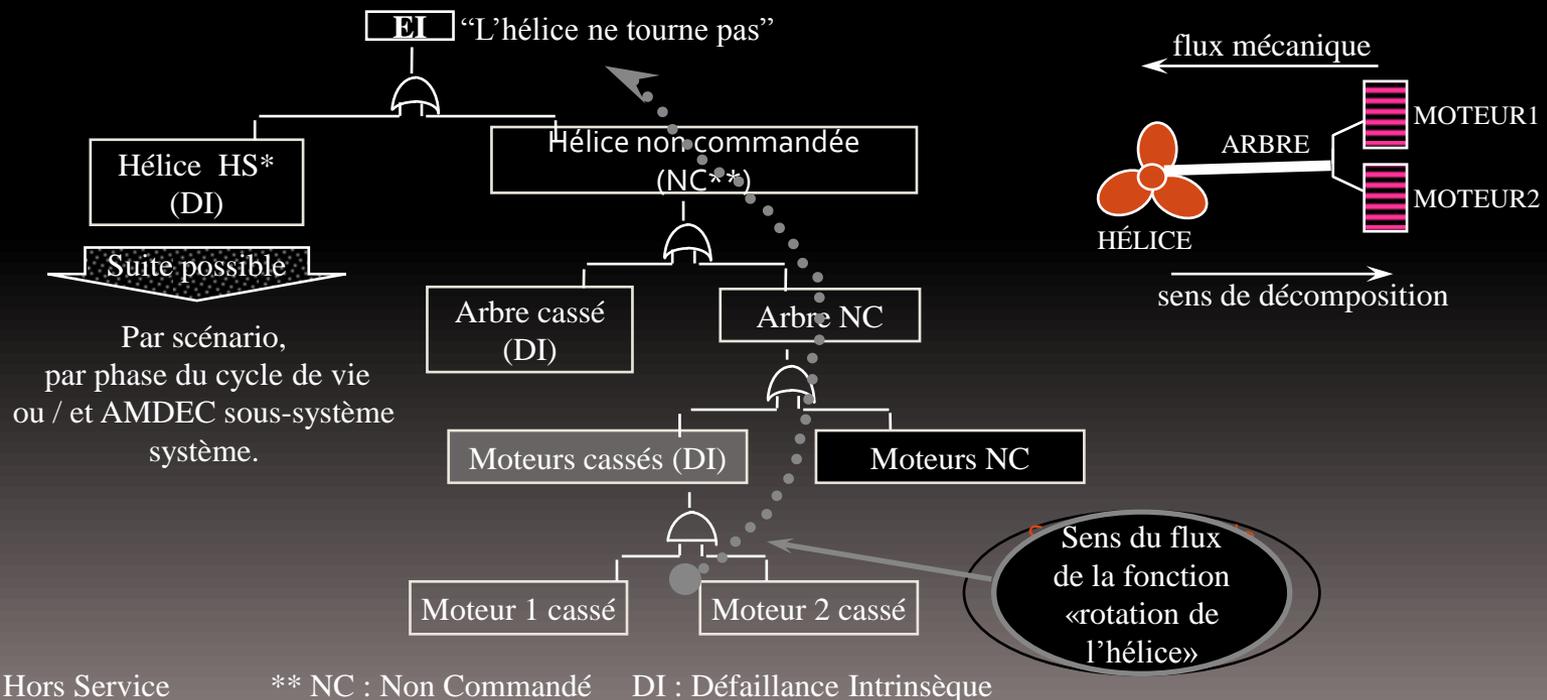
Demarches

Construction de l'arbre de défaillances

❑ Décomposition binaire

- Défaillance intrinsèque.
- Non commande.

Exemple pour un système mécanique : EI = "L'hélice ne tourne pas"

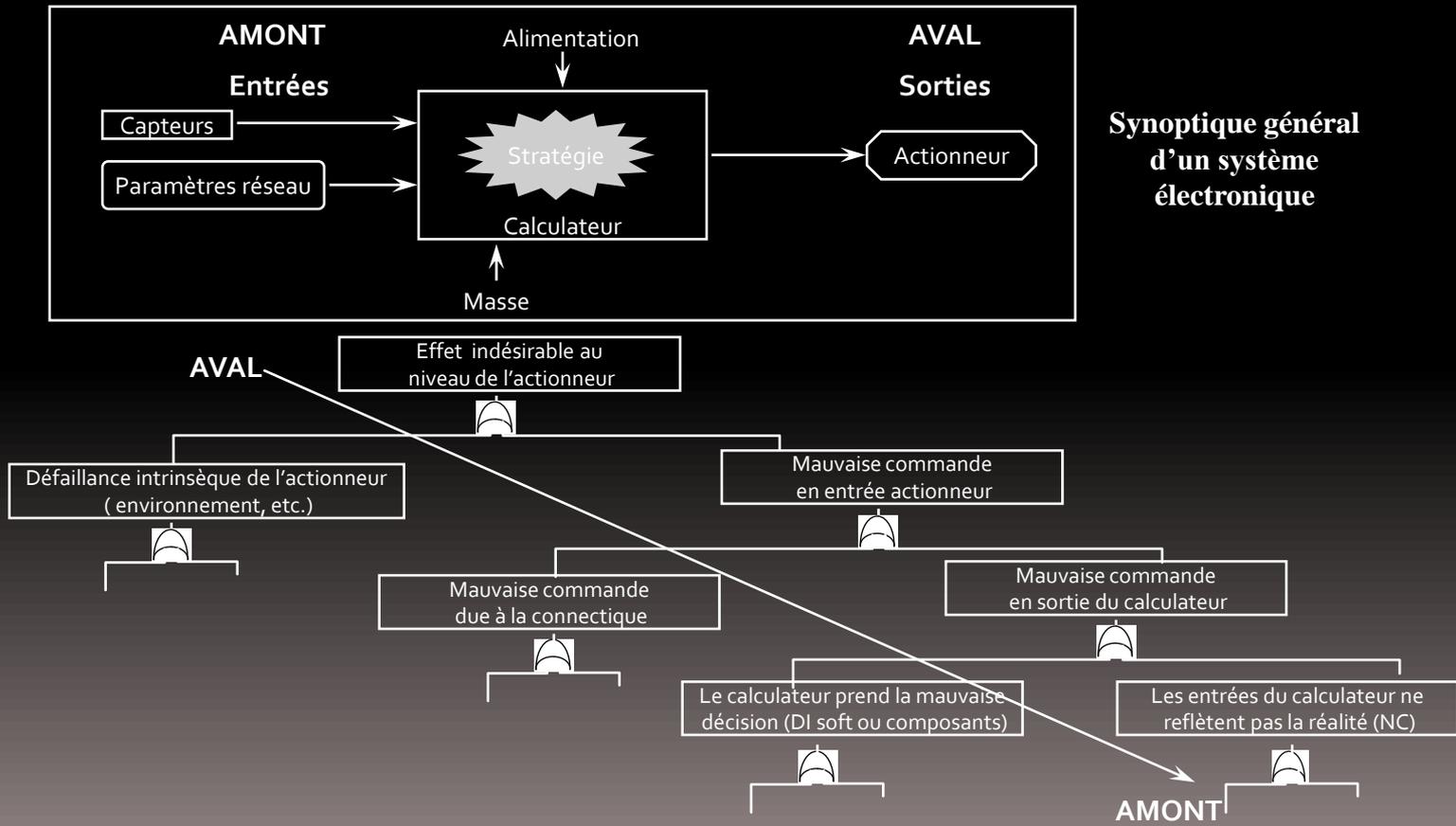


ARBRES DE DÉFAILLANCES

Demarches

Construction de l'arbre de défaillances

Exemple pour un système électronique

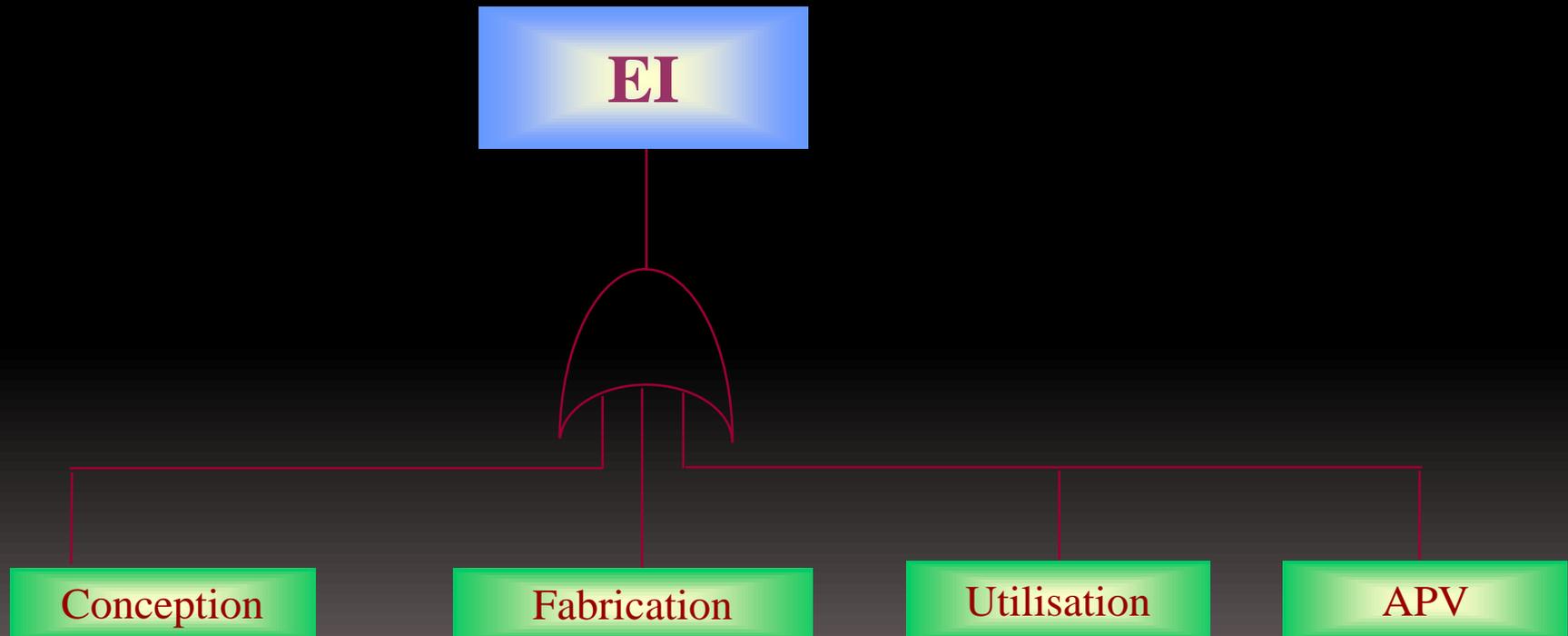


ARBRES DE DÉFAILLANCES

Demarches

Construction de l'arbre de défaillances

□ Décomposition par « phase du cycle de vie » :



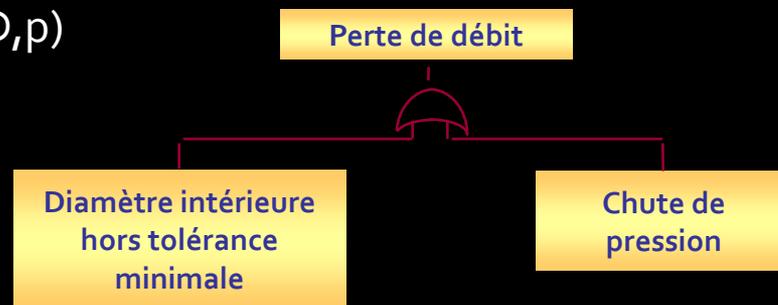
ARBRES DE DÉFAILLANCES

Demarches

Construction de l'arbre de défaillances: Principes

- ❑ Recherche des causes immédiates nécessaires et suffisantes :
 - A effectuer rigoureusement étape par étape (possibilité de considérer les paramètres physiques et les lois qui régissent le comportement des composants, des sous-systèmes ou du système).

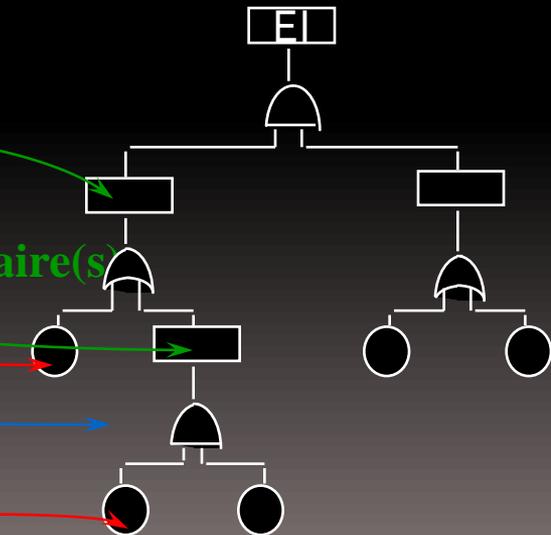
Ex : débit = $f(D,p)$



- ❑ Décomposition d'un **événement intermédiaire** :

- En **événement(s) de base** ou en **événement(s) intermédiaire(s)**
- Puis **réitération de la démarche**.

- ❑ Recherche des causes des événements intermédiaires jusqu'à l'obtention **d'événements de base**.



ARBRES DE DÉFAILLANCES

Demarches

Construction de l'arbre de défaillances: Principes

❑ “Compléter les portes !”

- Spécifier tous les événements d'entrée d'une porte logique avant d'entreprendre l'analyse détaillée de l'un d'entre eux.

❑ “Pas de porte à porte !”

- Pas de connexion d'une porte logique à une autre porte logique :
 - Risque de confusions,
 - Compréhension insuffisante du système par l'analyste (risque d'avoir oublié des étapes du raisonnement déductif).

❑ “Les causes sont antérieures aux conséquences !”

- Rechercher les causes d'un événement revient à remonter dans le temps (en effet, les causes d'un événement doivent être antérieures à l'existence de celui-ci).

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Traitement qualitatif – Étapes

- ❑ Codage de l'arbre.
- ❑ Équation booléenne de l'arbre.
- ❑ Réduction de l'équation.
- ❑ Coupes minimales ou chemins critiques.
- ❑ Tableau du nombre d'apparition des événements de base par longueur.
- ❑ Tableau d'apparition des événements de base dans les différents EI du système.

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Traitement qualitatif – Codage de l'arbre

- ❑ Identifier les événements de base identiques sur l'ensemble des EI et leur attribuer le même code.
- ❑ Coder les autres événements de base.
- ❑ Utilisation des lettres de l'alphabet et des chiffres.
(Ex : A₁, B₂, etc.)
- ❑ Complexité du codage fonction de la complexité du système.
(Ex : A à Z ou A₀₁ à A₉₉)

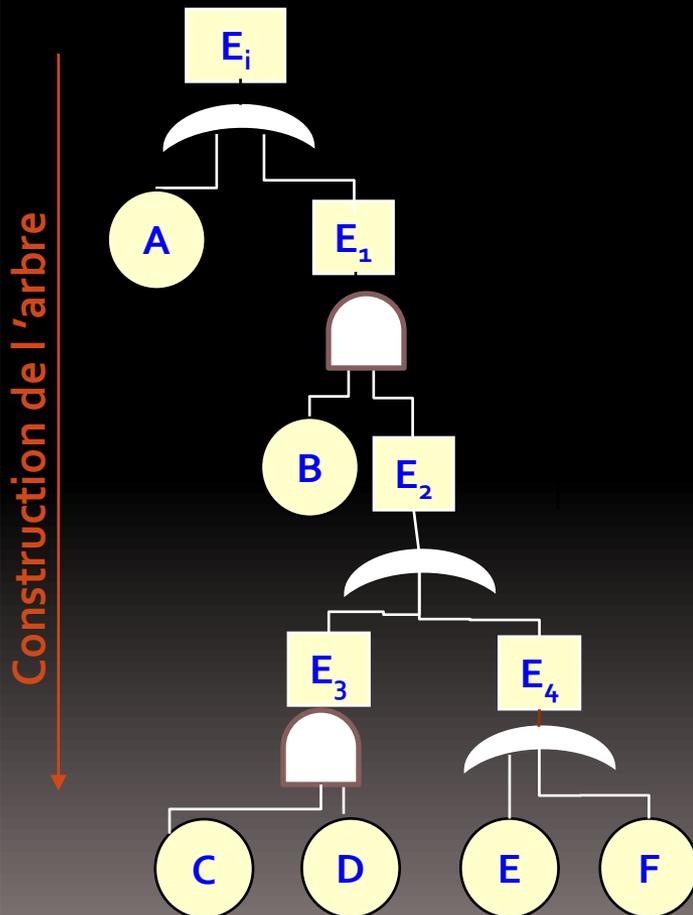
ARBRES DE DÉFAILLANCES

Traitement qualitatif – Équation et coupes minimales

□ Équation booléenne de l'arbre.

Rappel :

. « porte ET »
+ « porte OU »



Écriture de l'équation de l'arbre

$$E_4 = E + F$$

$$E_3 = C.D$$

$$E_2 = E_3 + E_4 = E + F + CD$$

$$E_1 = B.E_2 = B.(E + F + CD)$$

$$E_i = A + E_1 = A + B (E + F + CD)$$

$$E_i = A + BE + BF + BCD$$

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Traitement qualitatif – Équation et coupes minimales

□ Réduction de l'équation.

Rappels :

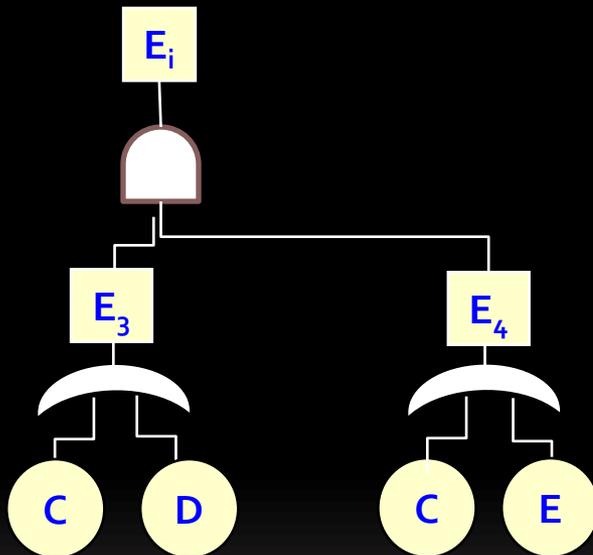
$$A.A = A$$

$$A + A = A$$

$$A + A.B = A$$

$$A$$

Construction de l'arbre



Écriture de l'équation de l'arbre

$$E_i = (C + D) . (C + E)$$

$$E_i = \underbrace{CC + CE + DC + DE}$$

$$E_i = C + \underbrace{CE + DC + DE}$$

$$E_i = C + CD + DE$$

Équation réduite

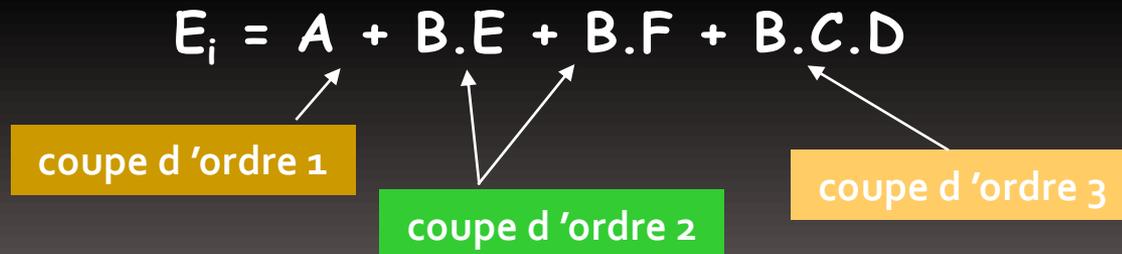
$$E_i = C + DE$$

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Traitement qualitatif – Équation et coupes minimales

□ Coupes minimales ou chemins critiques :

- Plus petite combinaison d'événement entraînant l'EI,
- Peuvent être d'ordres différents :
 - ordre 1 : simple défaillance entraînant l'EI,
 - ordre 2 : paire de défaillances qui, se produisent en même temps, entraînent l'EI,
 - etc.



ARBRES DE DÉFAILLANCES

Traitement qualitatif – Conclusion

- ❑ Traitement qualitatif indispensable :
 - Pour l'exploitation des informations contenues dans l'arbre,
 - Pour réaliser ensuite le traitement quantitatif.
- ❑ Exploiter ce traitement par typologie de pannes (problème d'utilisation, problème de conception, etc.).
- ❑ Possibilité, à ce niveau de l'étude, de proposer des plans d'actions et/ou des plans de validation.
- ❑ Ne pas effectuer le traitement quantitatif si les données sont trop faibles.

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Quantification d'un arbre de défaillance

- **Probabilité de chaque événement de base :**
 - Sources de données :
 - Le retour d'expérience (documenter le nombre de défaillances, l'échantillon observé, les hypothèses effectuées, etc.),
 - Les bases de données CNET ou MIL HDBK,
 - Données constructeurs, industriels,...

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Quantification d'un arbre de défaillance

Hypothèses préalables

- On utilisera le taux de défaillance élémentaire λ_i , *estimé pour chaque composant et supposé constant.*
- *Les événements élémentaires seront supposés indépendants.*
- *On se placera dans le cas des systèmes « non réparables » : la défaillance subsiste jusqu'à la fin de la mission sans intervention de la maintenance.*

Principe de la détermination du taux de défaillance système λ

Elle repose sur l'application de l'algèbre des probabilités.

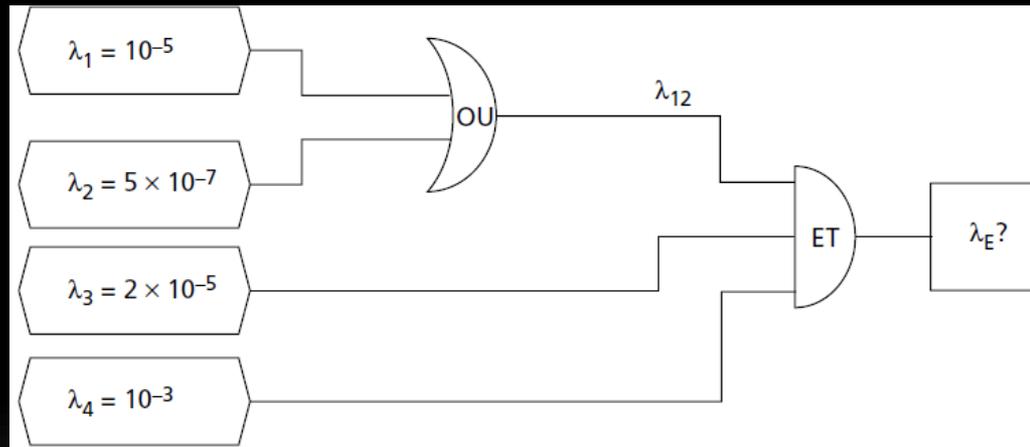
- Porte ET : $\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_n$
- Porte OU : $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 \dots + \lambda_n$

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Quantification d'un arbre de défaillance

Exemple de quantification

La figure ci-dessous représente un exemple d'arbre de défaillance dont les taux de défaillance des quatre composants élémentaires sont connus.



On calcule d'abord le taux de défaillance résultant de (1,2) liés par une condition OU :

$$\lambda_{12} = \lambda_1 + \lambda_2 = 10^{-5} + 5 \times 10^{-7} \approx 10^{-5}$$

Calculons ensuite le taux de défaillance résultant :

$$\lambda_E = \lambda_{12} \times \lambda_3 \times \lambda_4 = 10^{-5} \times 2 \times 10^{-5} \times 10^{-3} \approx 2 (10^{-13}) \text{ valeur négligeable}$$

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Quantification d'un arbre de défaillance

Grâce à la redondance active d'ordre 2 (fonction ET à 3 portes), le système présente une très grande sécurité d'usage. Mais le triplement de composants ou de sous-ensembles a un coût.

La réflexion économique liée à la redondance porte parfois sur le meilleur choix entre :

- un composant de haute fiabilité.
- deux composants de moins bonne fiabilité montés en redondance active.

Il faut alors étudier le meilleur ratio fiabilité/coût pour chaque alternative.

Dans le cas de systèmes réparables, l'arbre de défaillance devient dépendant du temps. Il est alors nécessaire de quantifier un taux de réparation μ caractérisant la maintenabilité.

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Intérêts généraux

- ❑ Permet d'identifier toutes les causes SIMPLES et COMBINEES d'un événement.
- ❑ Estimer, à partir des probabilités des événements de base, la probabilité de réalisation de l'EI.
- ❑ Prise en contact du facteur humain, des conditions externes et des modes communs dans les analyses de sécurité.
- ❑ Déceler les « branches » fragiles qui affectent la probabilité de réalisation de l'EI.
- ❑ Complément essentiel à l'AMDE(C) car prise en compte des combinaisons de défaillances.

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Intérêts par domaine

- ❑ Conception :
Détecter les organes dont il faut améliorer la fiabilité ou qu'il faut mettre en redondance.
- ❑ Logistique :
Prévoir les organes fragiles à approvisionner.
- ❑ Essai :
Orienter les composants à prendre en compte de façon prioritaire dans les tests.
- ❑ Diagnostic :
Orienter la recherche de panne.

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Conseils et limites

- ❑ Théoriquement applicable à tous les systèmes.
- ❑ Pas de quantification des dépendances temporelles.
- ❑ Dans le cas de système complexe, nécessité de disposer d'un logiciel.
- ❑ Analyse d'un seul événement redouté. Pour un autre événement redouté, il faut refaire un arbre.
- ❑ La modélisation est fortement tributaire de l'analyste.

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Domaines d'application

- ❑ Tous les domaines techniques.
- ❑ Arbres de défaillances utilisés comme :
 - Méthode d'analyse pour la sécurité.
 - Outil de quantification en fiabilité et disponibilité.
 - Outil permettant la répartition, aux différents acteurs de l'organisation industrielle, des défaillances à traiter (faire faire au fournisseur).
 - Aide au diagnostic (moyen de localisation pour l'après-vente).

ARBRES DE DÉFAILLANCES

Logiciels de traitement

- AMDECEDIT
- ARBORIS
- ARBRE
- CARA
- CEDRE
- ESCAF
- ETRA
- FAULT TREE
- FIABEX
- FIGARO
- FTAP
- GAMTREE
- GRAAFT
- LOGADYS
- LOGAN
- METEOR
- MICRARBRE
- MSI REALITY
- PHAMISS
- RISK SPECTRUM
- SERENADE
- SOFIA
- SUPERNET
- TERMITES
- TREEMASTER
- TRIADE



FIN
FIN