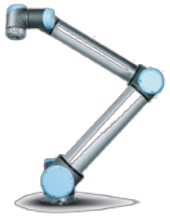
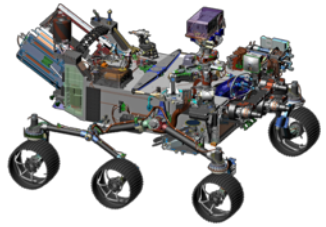

-00:00:17

l'institut d'électronique

Sûreté de fonctionnement des systèmes électroniques





Laboratoire IES Institut d'Electronique

Nos missions :

- Evaluer la sensibilité des systèmes électroniques face aux radiations
- Comprendre les mécanismes de défaillance
- Améliorer la survie en environnement radiatif

Les domaines :

- Le spatial (*particules cosmiques*)
- L'aéronautique (*neutrons atmosphériques*)
- L'automobile (*neutrons atmosphériques*)
- Le nucléaire (*neutrons, gamma*)

RADSAGA

cnes CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES AIRBUS RENAULT cea DGA ...

RADSAGA

La sûreté de fonctionnement

- **Définition intuitive :**

la science des défaillances (analyse de défaillance)

- **Définition complète :**

La sûreté de fonctionnement consiste à évaluer les risques potentiels, prévoir l'occurrence des défaillances et tenter de minimiser les conséquences des situations catastrophiques lorsqu'elles se présentent

Attributs de la SdF

Sûreté de Fonctionnement

- La SdF vise à évaluer les risques potentiels, à prévoir les occurrences de défaillance et à tenter de minimiser, le cas échéant, les conséquences de situations catastrophiques
- Approche système informatique : c'est la propriété permettant de placer une confiance justifiée dans le service délivré

Disponibilité/Availability

- Il s'agit de la capacité du service/matériel à être prêt à l'utilisation dans des conditions données, à un instant donné ou sur un intervalle de temps donné.

Maintenabilité/Maintainability

Sécurité Innocuité/Safety

Fiabilité/Reliability

Ce cours

WE ARE HERE

- Il s'agit de l'aptitude du service/matériel à accomplir la fonction requise dans des conditions données et pour une durée donnée

AMDEC

- Analyse Préliminaire des Risques (APR)
  - Architecture Fonctionnelle
  - Architecture Organique
  - Identification des modes de défaillance
  - Identification des solutions de mitigation possibles
  - Evaluation criticité (C = Gravité x Fréquence)
- Etude Causes/Effets sur l'ensemble des sous-systèmes
- Criticité sur l'ensemble des sous-systèmes
  - C = Détectabilité x Occurence x Sévérité = D x O x S
  - D, O et S, indicateurs de 1 à 10 et C de 1 à 1000.
- Identification et Mise en Oeuvre d'actions correctives
- Calcul de la nouvelle criticité C'
  - C' = D' x O' x S

Métriques

- MTBF, Lambda
- MTTR, MDT, MTTF
- Disponibilité Intrinsèque, Di
- Disponibilité Opérationnelle, Do

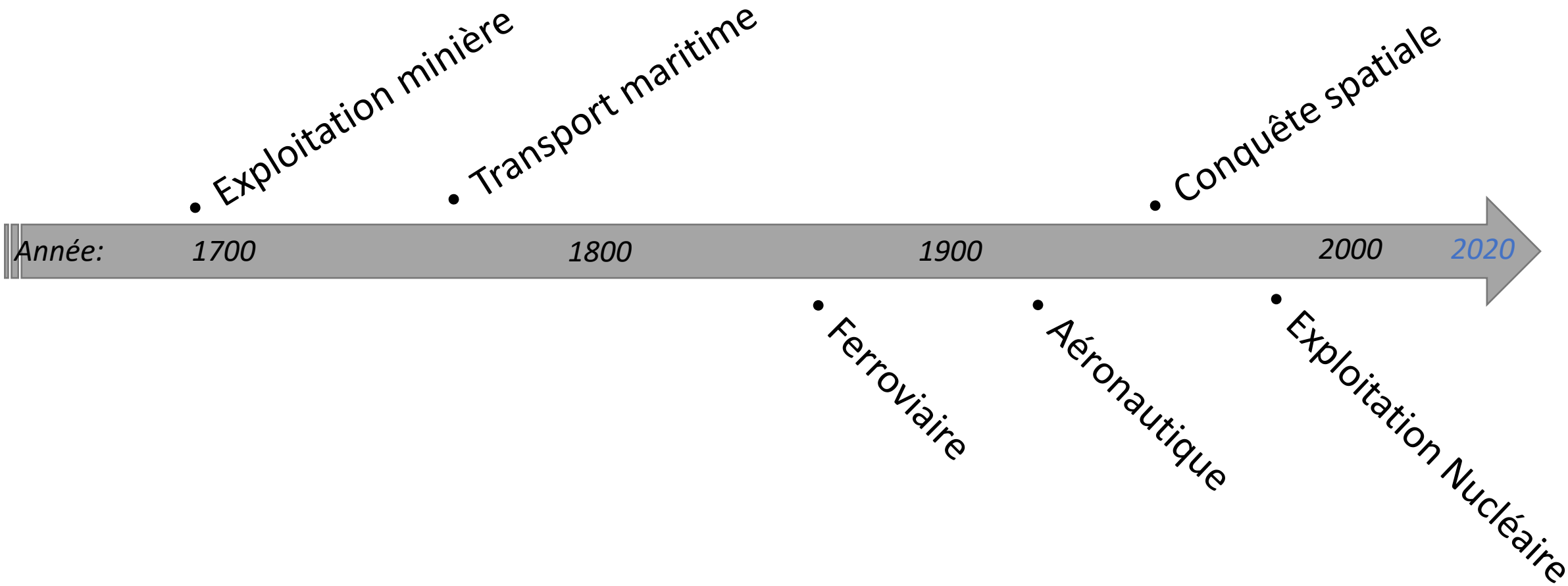
Lois de comportement/Modèles

Outils

- Python (Réseaux Bayésiens, Data Science, ...)
- Tableur (e.g. Excel)
- Probabilités (discrètes, continues, conditionnelles)
- Analyse Statistique
- R software

TD - TP

Historique opérationnel



Les raisons du développement de la sûreté de fonctionnement

Lorsqu'un dysfonctionnement se traduit par :

- Un coût humain (*e.g.* accidents de personnes)
- Un coût financier (*e.g.* perte d'un satellite, d'un lanceur)
- Un enjeu stratégique (*e.g.* données compromises)

Dates importantes de l'histoire récente de la fiabilité

- 26 avril 1986 : Explosion du réacteur nucléaire de Tchernobyl 

Root cause: *test alimentation électrique de secours (arrêt durant production des turbines)*

- 4 juin 1996 : Explosion du lanceur Ariane V vol 501 

Root cause: *système de guidage inertiel hérité d'Ariane IV. Enregistrement accélération horizontale sur 8 bits. OK pour Ariane IV (Val Max 64m/s); KO pour Ariane V (Val Max 300m/s)… Worst case analyzis*

- 11 mars 2011 : Accident Nucléaire de Fukushima Daiichi 

Root cause : *conjonction « tremblement de terre & tsunami »*

- 1er juin 2009 : Crash du vol Air France 447 Rio-Paris 

Root cause : *Défaillance sonde pitot + réaction inappropriée au pilotage (manque formation)*

threatmap.checkpoint.com

Powered by ThreatCloud Intelligence

THREATCLOUD

LIVE CYBER ATTACK THREAT MAP

Check Point

ATTACKS TODAY

(since 12AM PST)

6,970,529

ATTACKS YESTERDAY

16,912,986

TOP TARGETS BY COUNTRY

LEARN ABOUT CHECK POINT THREAT PREVENTION SOLUTIONS ›

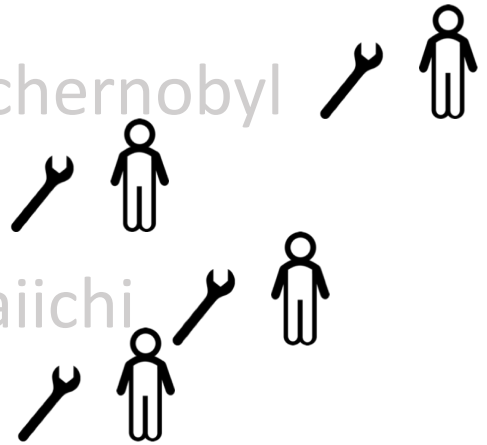
TIME	ATTACK	SOURCE	TARGET
21:58:12	Worm.Win32.Cridex.C	VA,USA	Canada
21:58:11	Worm.Win32.Cridex.C	VA,USA	Canada
21:58:11	Worm.Win32.Cridex.C	VA,USA	Canada
21:58:11	Worm.Win32.Cridex.C	VA,USA	Canada

Source

Target

Dates importantes de l'histoire récente de la fiabilité

- 26 avril 1986 : Explosion du réacteur nucléaire de Tchernobyl
- 4 juin 1996 : Explosion du lanceur Ariane V vol 501
- 11 mars 2011 : Accident Nucléaire de Fukushima Daiichi
- 1er juin 2009 : Crash du vol Air France 447 Rio-Paris



Un chiffre clef de l'histoire contemporaine de la fiabilité

- Chaque jour : >15 Millions de cyberattaques dans le monde

Attributs de la SdF

Sûreté de Fonctionnement

- La SdF vise à évaluer les risques potentiels, à prévoir les occurrences de défaillance et à tenter de minimiser, le cas échéant, les conséquences de situations catastrophiques
- Approche système informatique : c'est la propriété permettant de placer une confiance justifiée dans le service délivré

Disponibilité/Availability

- Il s'agit de la capacité du service/matériel à être prêt à l'utilisation dans des conditions données, à un instant donné ou sur un intervalle de temps donné.

Maintenabilité/Maintainability

Sécurité Innocuité/Safety

Fiabilité/Reliability

Ce cours

WE ARE HERE

- Il s'agit de l'aptitude du service/matériel à accomplir la fonction requise dans des conditions données et pour une durée donnée

AMDEC

- Analyse Préliminaire des Risques (APR)
  - Architecture Fonctionnelle
  - Architecture Organique
  - Identification des modes de défaillance
  - Identification des solutions de mitigation possibles
  - Evaluation criticité (C = Gravité x Fréquence)
- Etude Causes/Effets sur l'ensemble des sous-systèmes
- Criticité sur l'ensemble des sous-systèmes
  - C = Détectabilité x Occurence x Sévérité = D x O x S
  - D, O et S, indicateurs de 1 à 10 et C de 1 à 1000.
- Identification et Mise en Oeuvre d'actions correctives
- Calcul de la nouvelle criticité C'
  - C' = D' x O' x S

Métriques

- MTBF, Lambda
- MTTR, MDT, MTTF
- Disponibilité Intrinsèque, Di
- Disponibilité Opérationnelle, Do

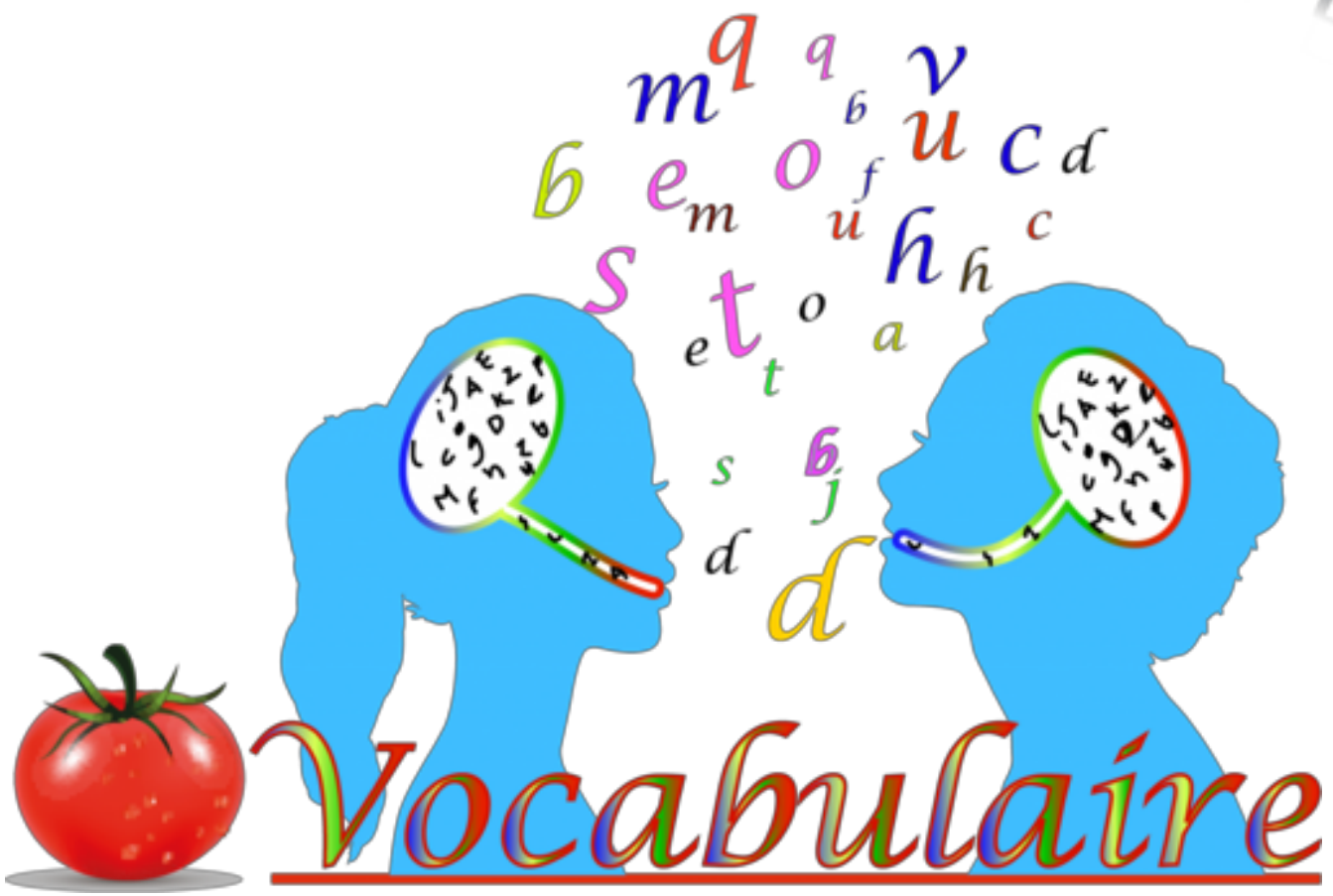
Lois de comportement/Modèles

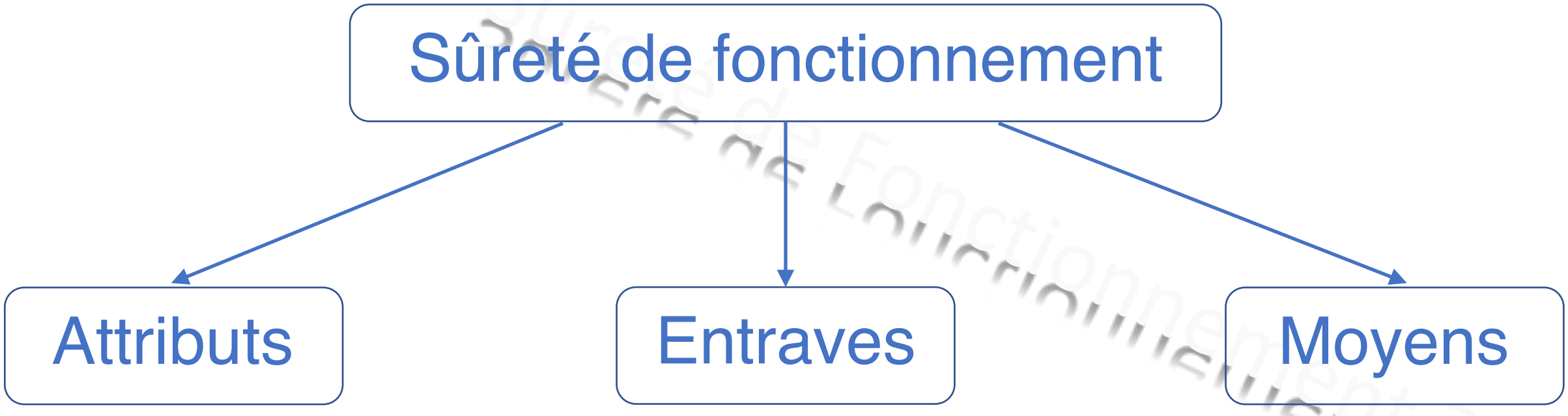
Outils

- Python (Réseaux Bayésiens, Data Science, ...)
- Tableur (e.g. Excel)
- Probabilités (discrètes, continues, conditionnelles)
- Analyse Statistique
- R software

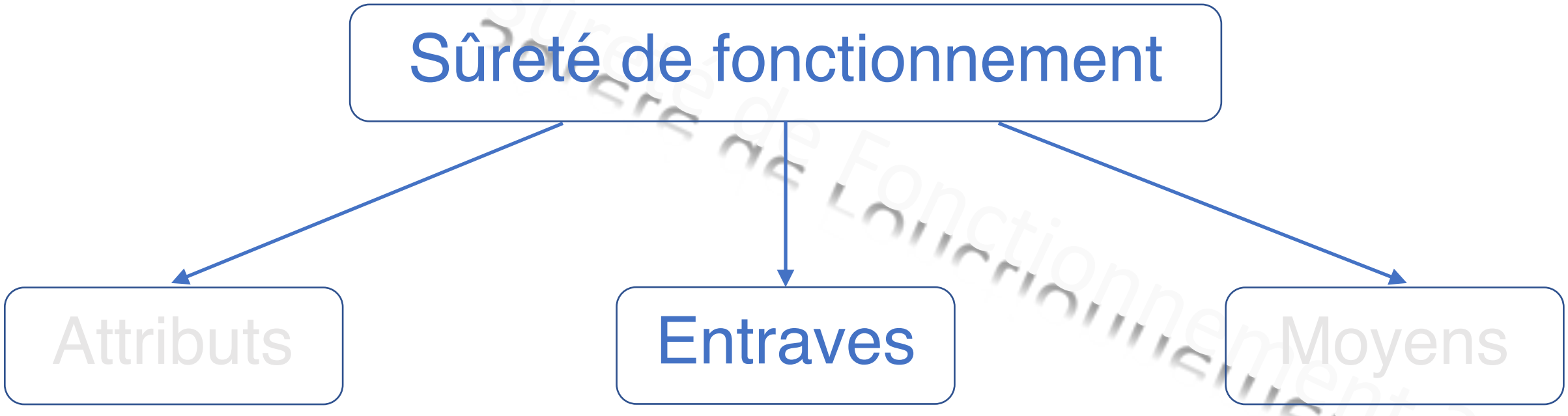
TD - TP

Sûreté de Fonctionnement ?...





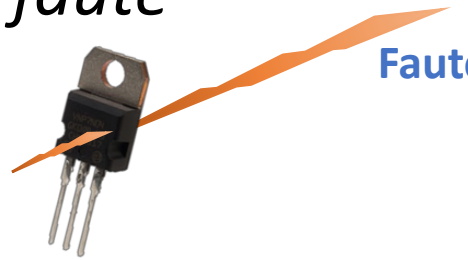
- Les attributs sont tous les éléments permettant d'évaluer la sûreté de fonctionnement
- Les entraves sont les éléments pouvant affecter la sûreté de fonctionnement
- Les moyens sont les actions pour améliorer la sûreté de fonctionnement


Sûreté de fonctionnement
Attributs
Entraves
Moyens

Les entraves

Les entraves sont réparties en 3 notions :

- **La faute** : *la cause de l'erreur est une faute*



1

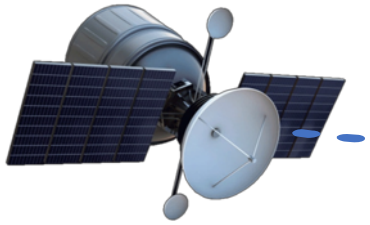
Faute == perturbation radiative, particule cosmique

- **L'erreur** : *la cause de la défaillance est une erreur*

2

Erreur == perte carte puissance, flyback en court circuit

- **La défaillance** : *l'incapacité à accomplir une fonction requise*



3

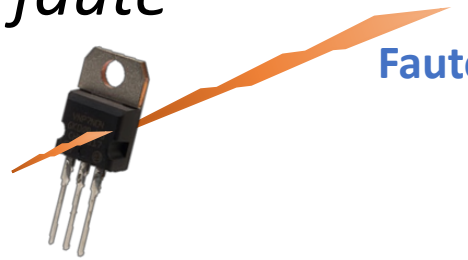
Défaillance == Communication descendante coupée

Station sol

Les entraves (vision analyste défaillance)

Les entraves sont réparties en 3 notions :

3 • **La faute** : *la cause de l'erreur est une faute*

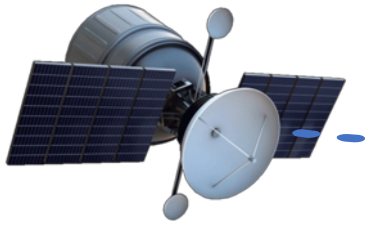


Faute == perturbation radiative, particule cosmique

2 • **L'erreur** : *la cause de la défaillance est une erreur*

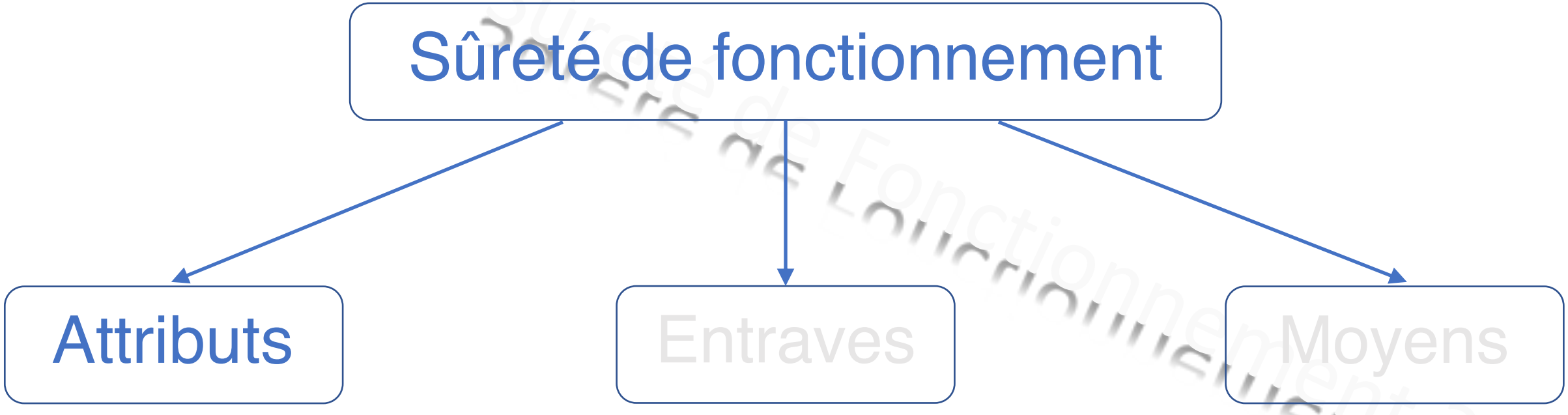
Erreur == perte carte puissance, flyback en court circuit

1 • **La défaillance** : *l'incapacité à accomplir une fonction requise*



Défaillance == Communication descendante coupée

Station sol


Sûreté de fonctionnement
Attributs
Entraves
Moyens

Les attributs

FDMS

Les attributs de la SdF sont :

- La **F**iabilité
- La **D**isponibilité
- La **M**aintenabilité
- La **S**écurité

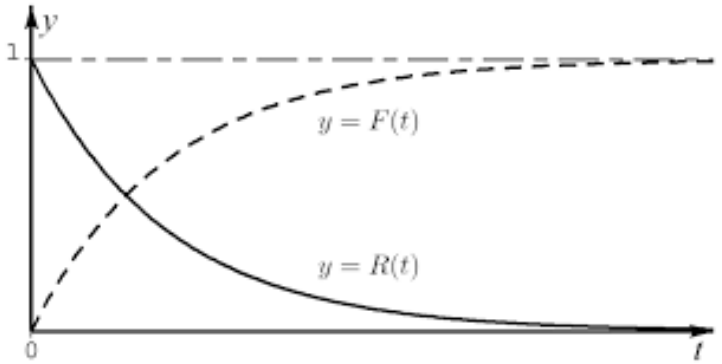
Les attributs

Les attributs de la SdF sont :

- La **F**iabilité
- La **D**isponibilité
- La **M**aintenabilité
- La **S**écurité

La Fiabilité (Reliability) est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant une durée donnée.

La Fiabilité de tout système peut être modélisée mathématiquement selon une loi appelée « Loi de Survie », R(t).



La loi complémentaire est la loi de Défaillance, F(t). Son modèle permet de prédire les défaillances.
F(t) = 1 – R(t)

Les attributs

Les attributs de la SdF sont :

- La Fiabilité
- La Disponibilité
- La Maintenabilité
- La Sécurité

La Disponibilité (Availability) est l'aptitude d'un dispositif d'être prêt à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant une durée donnée ou à un instant donné.

Fiabilité == Continuité de service

Disponibilité == Prêt au service

Les attributs

Les attributs de la SdF sont :

- La Fiabilité
- La Disponibilité
- La **M**aintenabilité
- La Sécurité

La Maintenabilité (Maintainability) est l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli sur un intervalle de temps donné dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits.

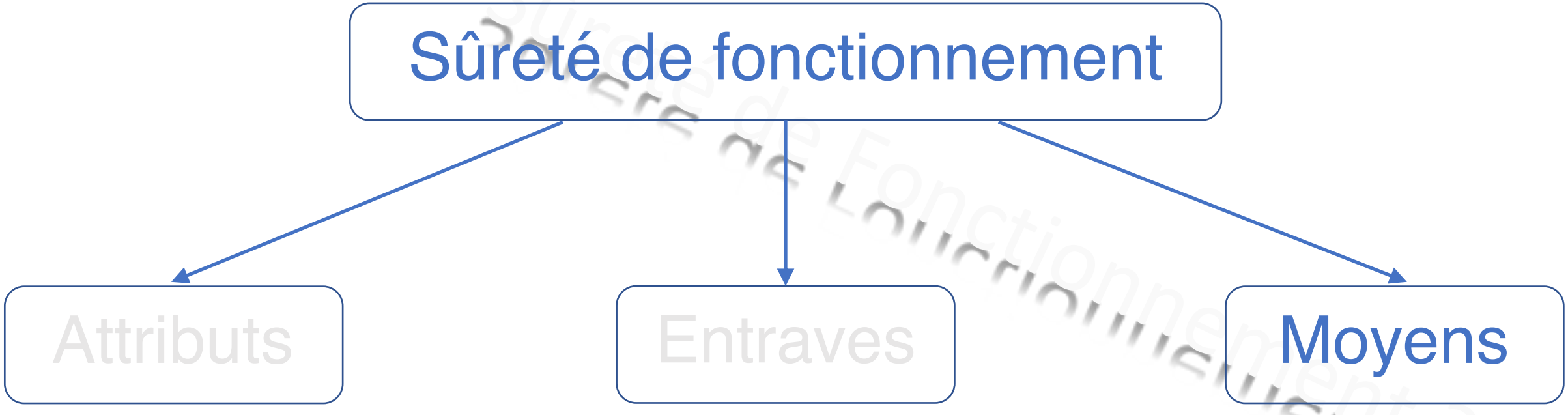
Maintenabilité inexistante sur satellite télécommunication, mais pas sur le service en raison de l'organisation en constellation permettant d'assurer la continuité de service

Les attributs

Les attributs de la SdF sont :

- La **F**iabilité
- La **D**isponibilité
- La **M**aintenabilité
- La **S**écurité

La Sécurité (Safety) est l'aptitude d'un dispositif à éviter de faire apparaître dans des conditions données des événements critiques ou catastrophiques.



Les Moyens

FDMS

Les moyens sont des solutions pour améliorer la sûreté de fonctionnement.

- **La prévention de faute**

Consiste à éviter des fautes qui auraient pu être introduites pendant le développement du système (*amélioration process technologique, règles de design au niveau composant ou au niveau système…*)

- **L'élimination de faute**
  - Pendant le développement : *techniques de vérification du système tout au long du dév.*
  - Lors de l'utilisation : *registre des défaillances et traitement curatif en maintenance*

- **La prévision de faute**

Consiste à anticiper les fautes de façon qualitative ou quantitative == probabiliste

- **La tolérance aux fautes**

Consiste à utiliser des mécanismes de redondance. **Important quand maintenance impossible!**

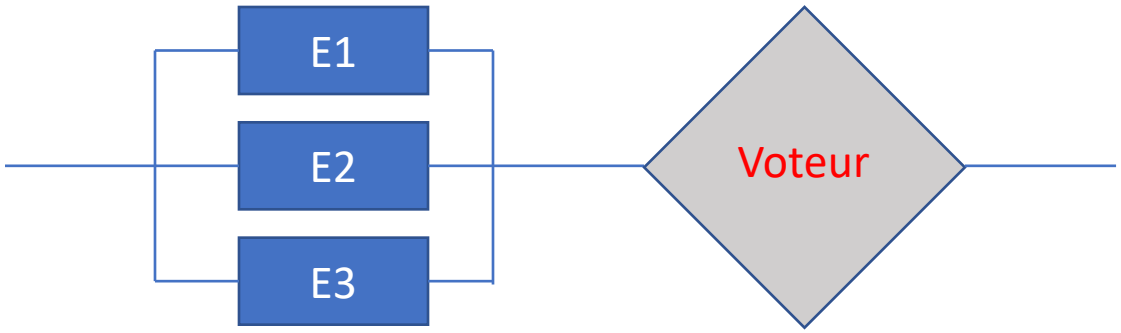
Focus sur la tolérance aux fautes

Redondance froide

Les composants sont activés quand ceux, actifs, tombent en panne.

Redondance chaude

Les composants fonctionnent en parallèle. Une gestion de la prise en main peut être nécessaire (soft, firmware, voteur).



1) Voteur prend aléatoirement 1 valeur sur 3
2) Voteur prend une valeur si 2 composants au moins donnent la même valeur
3) Voteur prend une valeur si les 3 composants donnent la même valeur

Analyse de la Fiabilité

Analyse de la Fiabilité

« If it can go wrong, it will… » (*loi de Murphy*)

- **Fiabilité** (R(t)) : caractéristique d'un système exprimée par la probabilité que le système assurera sa fonction pour une durée donnée.

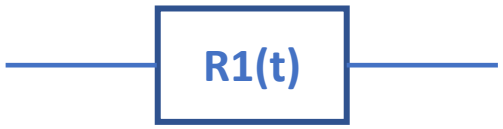
- **Taux de défaillance** ($\lambda(t)$, Failure rate) : C'est le paramètre important dans une analyse de fiabilité. Il représente la probabilité de défaillance dans un intervalle de temps élémentaire, *dt*.

Analyse de la Fiabilité
Diagramme bloc de fiabilité (Reliability Block Diagram, RBD)

Les RBD ont pour but :

- *De représenter graphiquement un système et de faciliter l'analyse de son niveau de fiabilité*
  - Chaque composant est représenté par un bloc
  - A chaque bloc, on associe la probabilité de survie R(t) ou de défaillance F(t) sachant que R(t) = 1 – F(t)

- *De quantifier la probabilité de survie/défaillance du système si l'on connait les probabilités associées aux composants individuels*



$R_S(t) = R1(t)$

Analyse de la Fiabilité
RBD, Associations de blocs

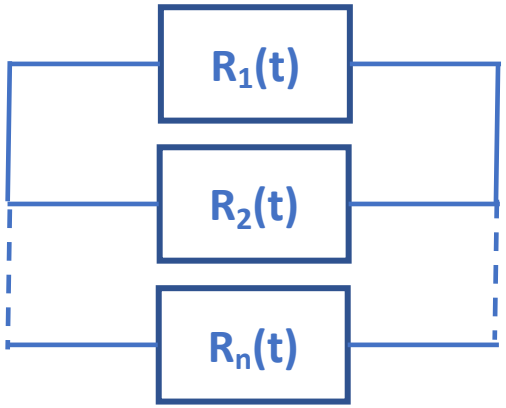
Soient ***n***, le nombre de composant, E_i l'événement le composant ***i*** fonctionne et $R_i = P(E_i)$

- *Blocs en série (n composants indépendants en série)*

$$R_S = \prod_{i=1}^{n} R_i$$

Association série :
Le système est moins fiable que le moins fiable des composants

- *Blocs en parallèle (n composants indépendants en parallèle)*

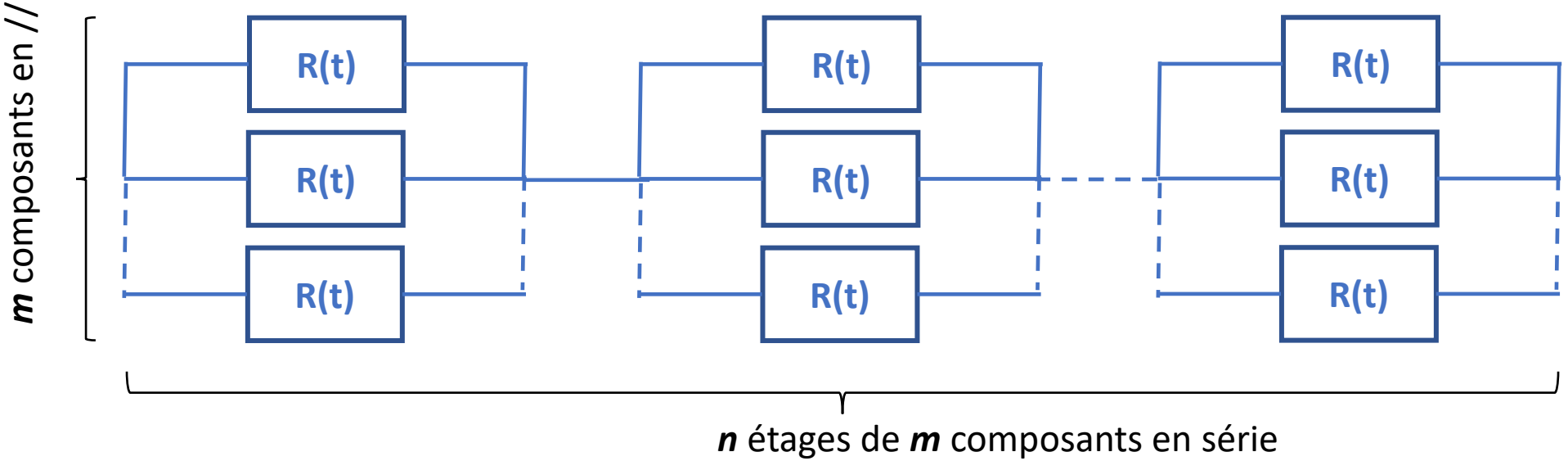


$$F_S = 1 - R_S = \prod_{i=1}^{n} (1 - R_i)$$

Association parallèle :
Système redondant, en panne si tous les composants sont en panne.

Analyse de la Fiabilité
RBD, Exercice de généralisation Série-//

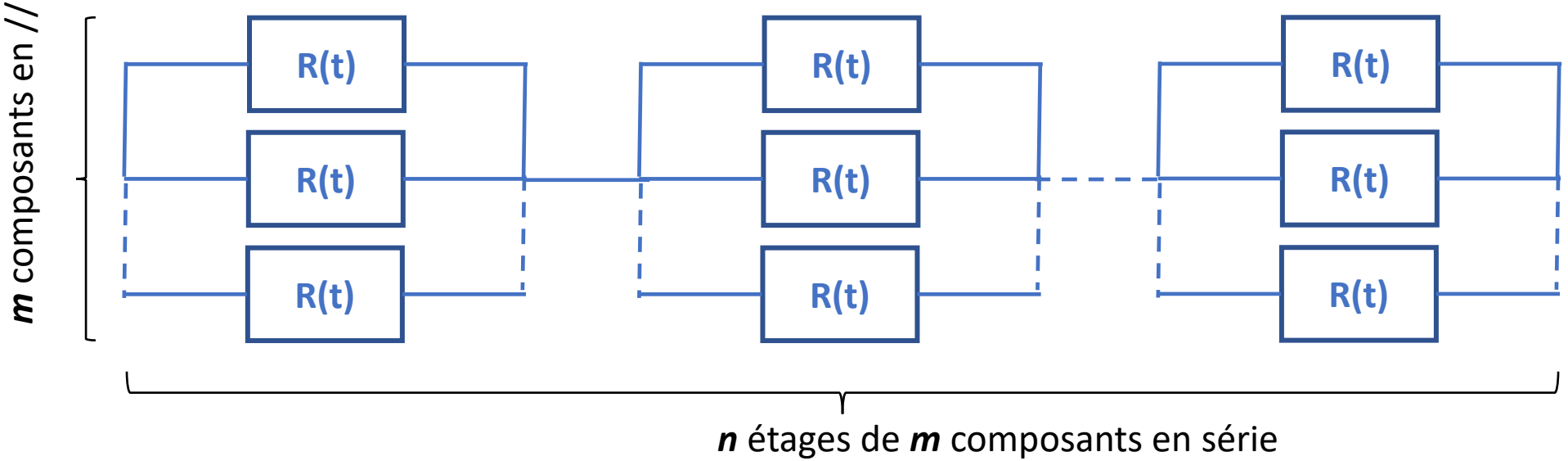
Chaque bloc a la même probabilité de survie R(t)



$R_S = ?$

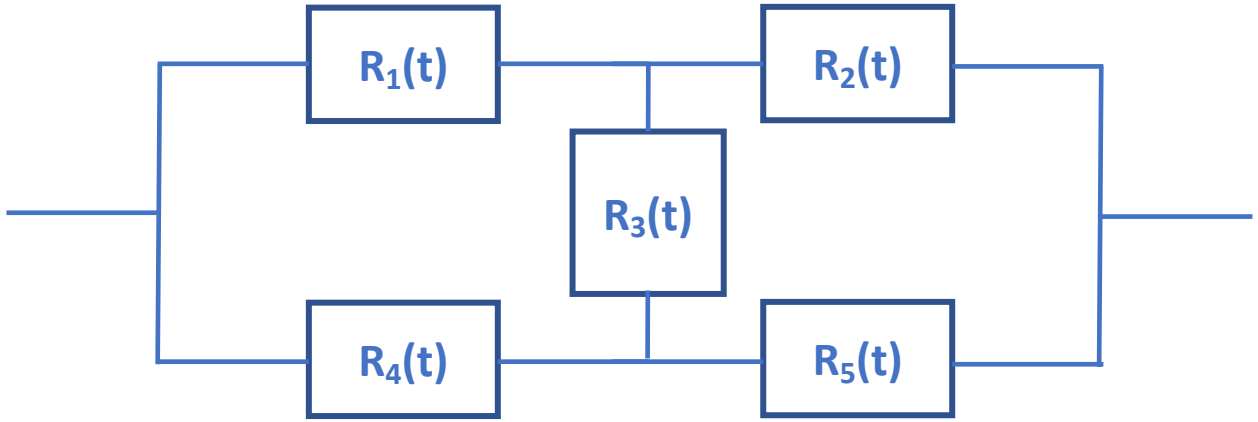
Analyse de la Fiabilité
RBD, Exercice de généralisation Série-//

Chaque bloc a la même probabilité de survie R(t)



$$R_S = (1-(1-R)^m)^n$$

Analyse de la Fiabilité
RBD, Système Non Série-// (Structure « Bridge »)



Remarque/ *Le bloc R_3 est réversible*

Lorsque des associations série ou // ne sont pas apparentes :
On peut construire la table de vérité booléenne en associant l'événement E_i=1 pour un bloc fonctionnel et l'événement E_i=0 pour un bloc défaillant

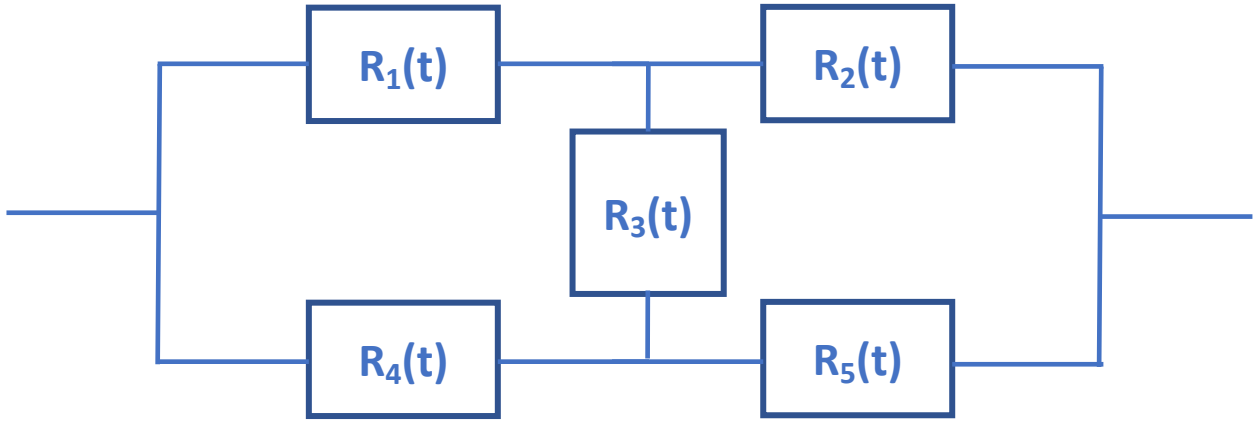
Structure Bridge

E1	E2	E3	E4	E5	Bridge	R_S
0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	1	0	
0	0	0	1	0	0	
0	0	0	1	1	1	(1-R1)(1-R2)(1-R3)R4R5
0	0	1	0	0	0	
0	0	1	0	1	0	
0	0	1	1	0	0	
0	0	1	1	1	1	
0	1	0	0	0	0	
0	1	0	0	1	0	
0	1	0	1	0	0	
0	1	0	1	1	1	
0	1	1	0	0	0	
0	1	1	0	1	0	
0	1	1	1	0	1	
0	1	1	1	1	1	

Structure Bridge

E1	E2	E3	E4	E5	Bridge	R_S
1	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	1	0	
1	0	0	1	0	0	
1	0	0	1	1	1	
1	0	1	0	0	0	
1	0	1	0	1	1	
1	0	1	1	0	0	
1	0	1	1	1	1	
1	1	0	0	0	1	
1	1	0	0	1	1	
1	1	0	1	0	1	
1	1	0	1	1	1	
1	1	1	0	0	1	
1	1	1	0	1	1	
1	1	1	1	0	1	
1	1	1	1	1	1	

Analyse de la Fiabilité
RBD, Système Non Série-// (Structure « Bridge »)



Calculer les probabilités de survie associées à chacune des configurations fonctionnelles (up) du système?

Calculer ensuite la probabilité de survie globale du système?

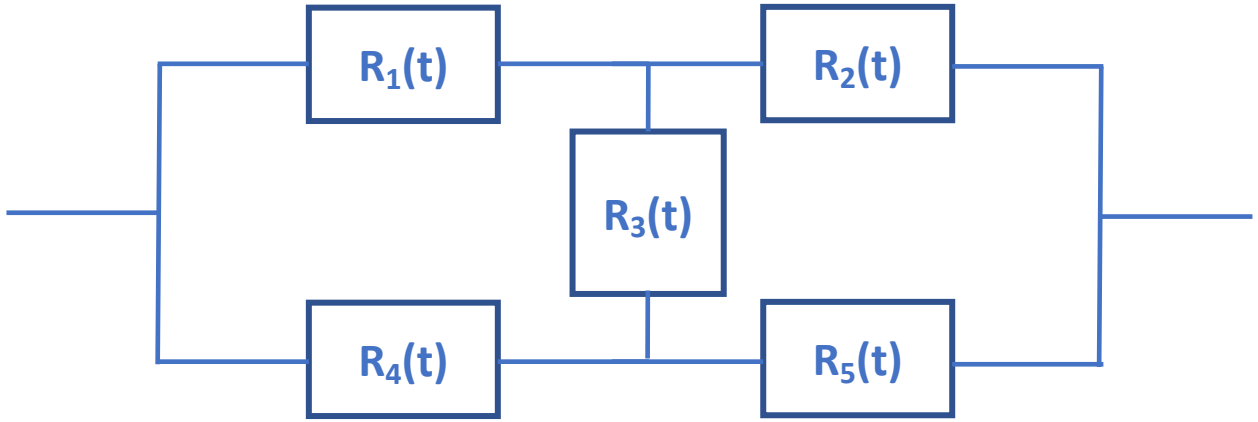
Structure Bridge

E1	E2	E3	E4	E5	Bridge	R_S
0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	1	0	
0	0	0	1	0	0	
0	0	0	1	1	1	(1-R1)(1-R2)(1-R3)R4R5
0	0	1	0	0	0	
0	0	1	0	1	0	
0	0	1	1	0	0	
0	0	1	1	1	1	(1-R1)(1-R2)R3R4R5
0	1	0	0	0	0	
0	1	0	0	1	0	
0	1	0	1	0	0	
0	1	0	1	1	1	(1-R1)(1-R3)R2R4R5
0	1	1	0	0	0	
0	1	1	0	1	0	
0	1	1	1	0	1	(1-R1)(1-R5)R2R3R4
0	1	1	1	1	1	(1-R1)R2R3R4R5

Structure Bridge

E1	E2	E3	E4	E5	Bridge	R_S
1	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	1	0	
1	0	0	1	0	0	
1	0	0	1	1	1	(1-R2)(1-R3)R1R4R5
1	0	1	0	0	0	
1	0	1	0	1	1	(1-R2)(1-R4)R1R3R5
1	0	1	1	0	0	
1	0	1	1	1	1	(1-R2)R1R3R4R5
1	1	0	0	0	1	(1-R3)(1-R4)(1-R5)R1R2
1	1	0	0	1	1	(1-R3)(1-R4)R5R1R2
1	1	0	1	0	1	(1-R3)(1-R5)R1R2R4
1	1	0	1	1	1	(1-R3)R1R2R4R5
1	1	1	0	0	1	(1-R4)(1-R5)R1R2R3
1	1	1	0	1	1	(1-R4)R1R2R3R5
1	1	1	1	0	1	(1-R5)R1R2R3R4
1	1	1	1	1	1	R1R2R3R4R5

Analyse de la Fiabilité
RBD, Système Non Série-// (Structure « Bridge »)



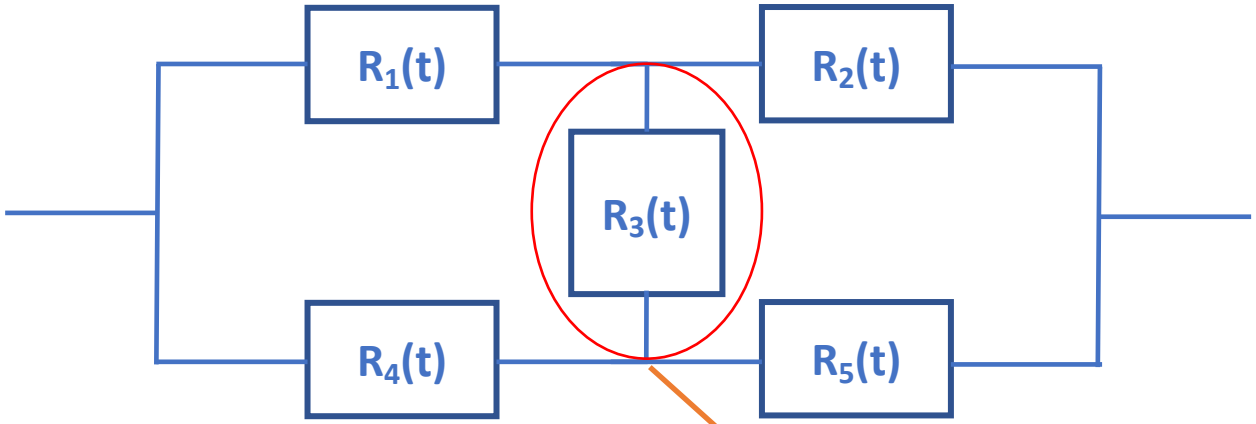
$R_S = \sum R_S$ = R1 R2
+ R1(1–R2)(R4R5 + R3(1–R4)R5)
+ (1–R1)R4(R5 + (1–R5)R2R3)

Si n blocs, 2^n configurations

Long + Laborieux

→ Risques d'erreur

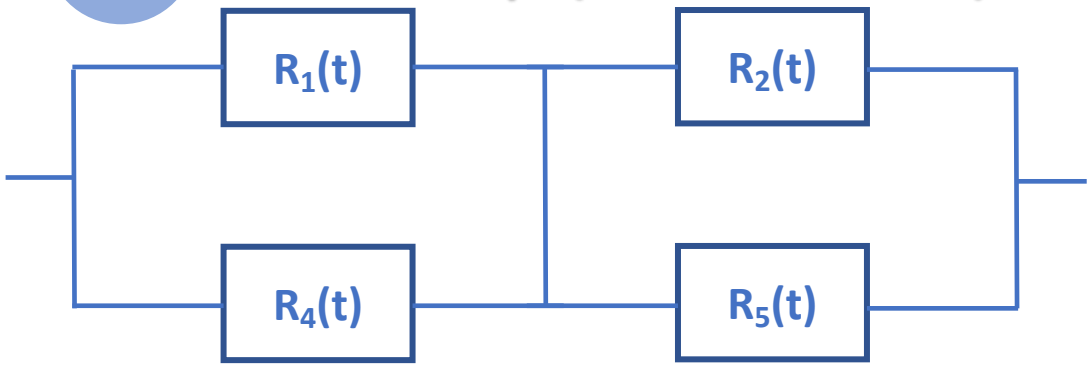
Analyse de la Fiabilité
RBD, Système Non Série-// (Structure « Bridge »)



Lorsque des associations série ou // ne sont pas apparentes :
*On **conditionne sur l'état d'un ou plusieurs composants** pour se retrouver dans une configuration Série-//*

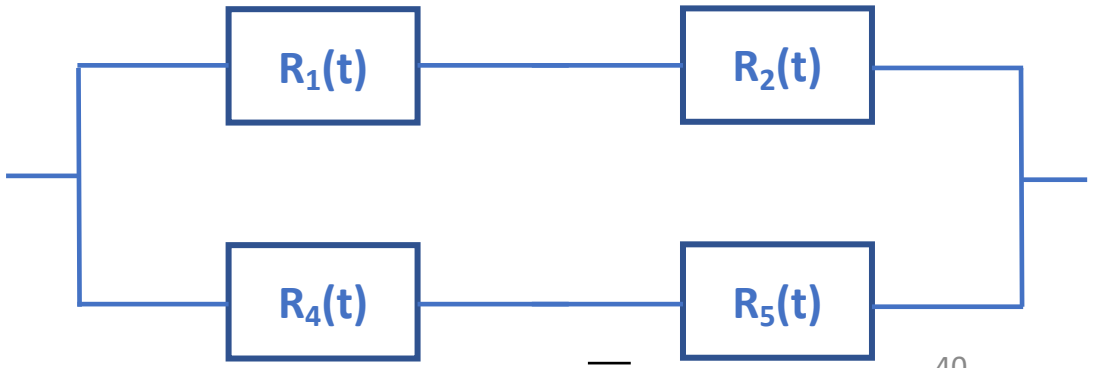
***Exemple/** On conditionne sur le bloc 3*

1 Bloc 3 Up (Fonctionnel)



P(Rs/R3)

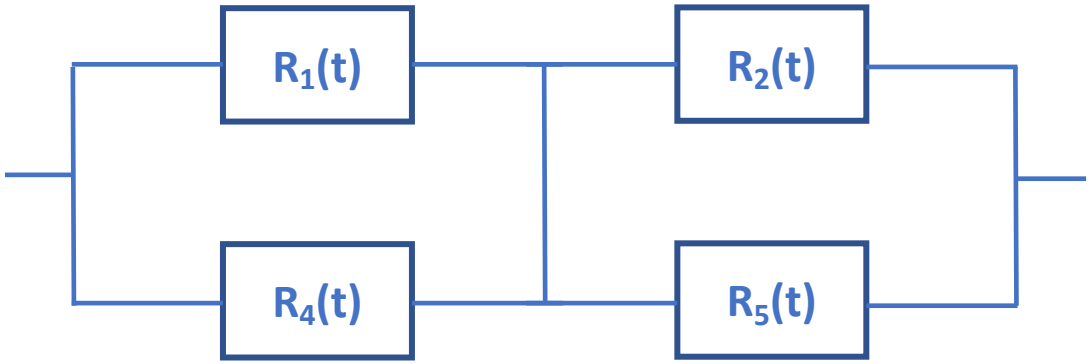
2 Bloc 3 Down (Défaillant)



$P(Rs/\overline{R3})$

Analyse de la Fiabilité
RBD, Système Non Série-//

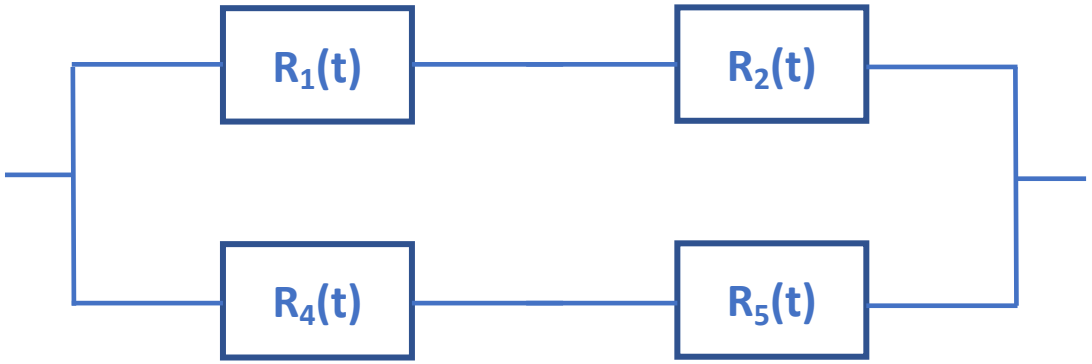
1 Bloc 3 Up (Fonctionnel)



$$Rs_{3Up} = \left(1 - (1 - R1)(1 - R4)\right)\left(1 - (1 - R2)(1 - R5)\right)$$

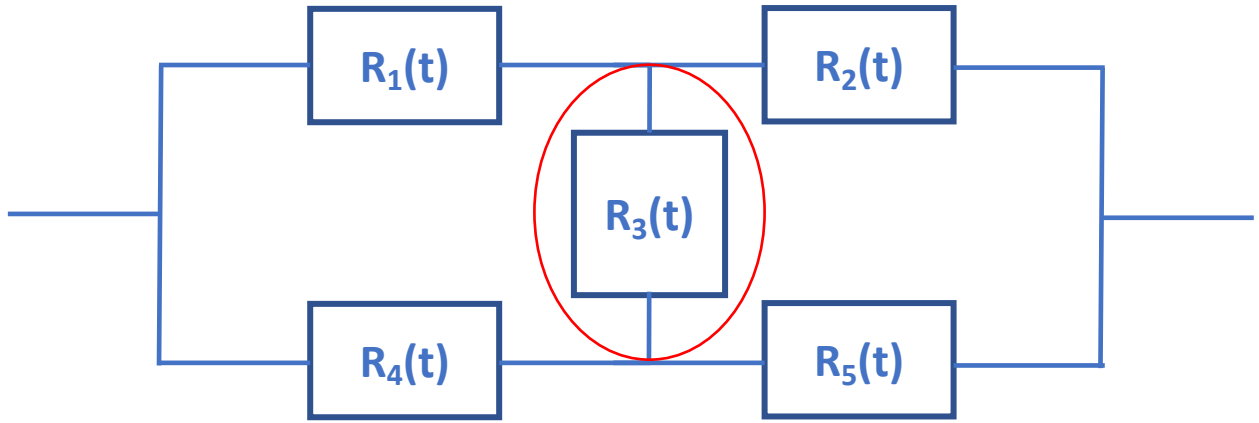
Analyse de la Fiabilité
RBD, Système Non Série-//

1 Bloc 3 Down (Défaillant)



$$Rs_{3Down} = (1 - (1 - R1R2)(1 - R4R5))$$

Analyse de la Fiabilité
RBD, Système Non Série-//



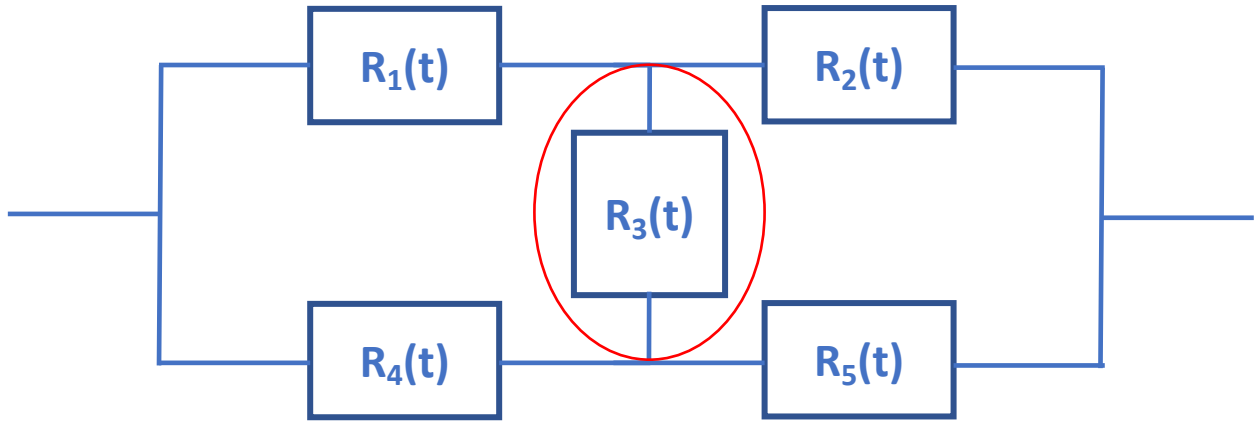
Conditions sur le bloc 3

$$Rs = (1 - R3) \times Rs_{3Down} + R3 \times Rs_{3Up}$$

$$= (1 - R3)(1 - (1 - R1R2)(1 - R4R5)) + R3\left(1 - (1 - R1)(1 - R4)\right)\left(1 - (1 - R2)(1 - R5)\right)$$

C’est en réalité la formule des probabilités totales vue dans le cours sur les probabilités conditionnelles

Analyse de la Fiabilité
RBD, Système Non Série-//



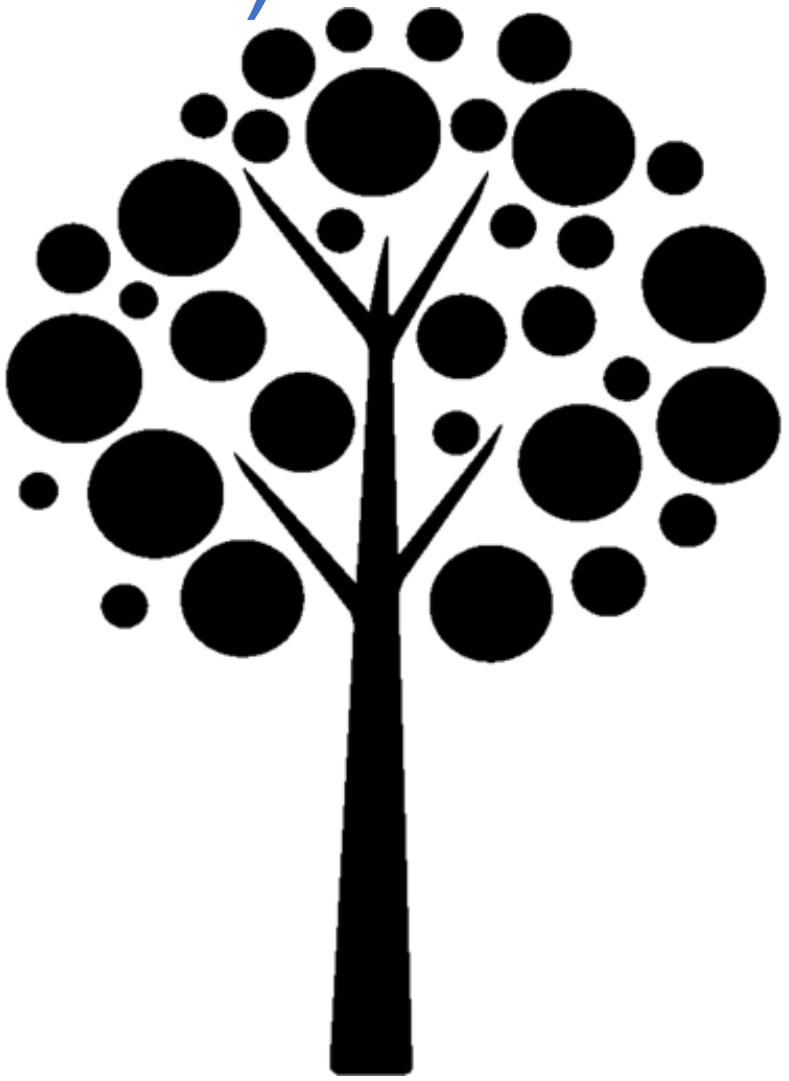
C'est en réalité la formule des probabilités totales vue dans le cours sur les probabilités conditionnelles

$$Rs = (1 - R3) \times Rs_{3Down} + R3 \times Rs_{3Up}$$

$$P(Rs) = P(E3) \times P(Rs/E3) + P(\overline{E3}) \times P(Rs/\overline{E3})$$

Formule des Probabilités Totales

Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)



Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

Les arbres de défaillance ont pour but :

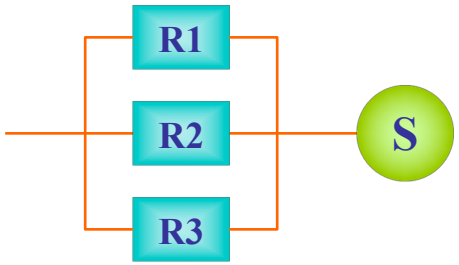
- *De représenter graphiquement l'ensemble des causes possibles (root cause) d'un événement redouté ou d'une défaillance.*
  - Au sommet, on identifie l'événement redouté
  - En dessous, on identifie tous les événements ou enchainements d'événements pouvant mener à l'événement redouté
- *De supprimer (après analyse par ADD) les événements pouvant engendrer l'événement redouté*

Analyse de la Fiabilité
Arbres de Défaillance (Fault Tree)

Équivalences entre représentations graphiques RBD vs ADD

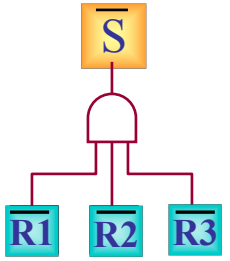
Représentation fonctionnelle
Reliability Block Diagram, RBD

Représentation dysfonctionnelle
Arbre De Défaillance, ADD



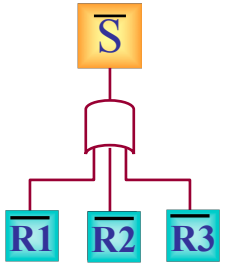
OU

ET



ET

OU



Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

Méthode de construction d'un arbre de défaillance

- L'événement redouté est au sommet de l'arbre (rectangle)
- En utilisant la syntaxe précédente, on identifie tous les événements intermédiaires (rectangles) pour remonter aux événements élémentaires (cercles). On parle d'événement élémentaire ou d'événement terminal.
- Les relations de cause à effet sont représentées par des portes logiques (ET, OU)

Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

Méthode de construction d'un arbre de défaillance

… et concrètement ?

1. Identification de **l'architecture fonctionnelle** du système
(Quelles Fonctions doivent être réalisées)

2. Identification de **l'architecture organique** du système
(Identification Hardware des sous-systèmes nécessaires)

3. Identification **pour chaque fonction** des **causes possibles de perte de fonctionnalité en lien avec les composants listés à l'étape** 2

Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

Exemple…

Étude de la Fiabilité sous rayonnement d'un robot suiveur de ligne

1 Identification de l'architecture fonctionnelle du système

Fonction Principale

FP :

Fonctions Contraintes

FC1 :

FC2 :

FC3 :

FC4 :

Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

Exemple…

Étude de la Fiabilité sous rayonnement d'un robot suiveur de ligne

1 Identification de l'architecture fonctionnelle du système

Fonction Principale

FP : Rouler en suivant une ligne noire sur surface claire

Fonctions Contraintes

FC1 : Alimenter les sous-systèmes

FC3 : Piloter les moteurs

FC2 : Commander le système complet

FC4 : Détecter la ligne noire

Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

Exemple…

Étude de la Fiabilité sous rayonnement d'un robot suiveur de ligne

2 Identification de **l'architecture organique** du système

FC1 : Alimenter les sous-systèmes

?

Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

Exemple…

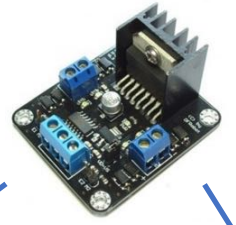
Étude de la Fiabilité sous rayonnement d'un robot suiveur de ligne

2 Identification de **l'architecture organique** du système

FC1 : Alimenter les sous-systèmes

Batterie LiPo

Carte Puissance



Régulateur Linéaire 3.3V

Régulateur Linéaire 5V

Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

Exemple…

Étude de la Fiabilité sous rayonnement d'un robot suiveur de ligne

2 Identification de **l'architecture organique** du système

FC2 : Commander le système complet

?

Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

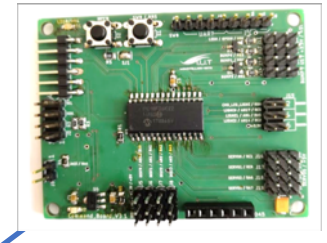
Exemple…

Étude de la Fiabilité sous rayonnement d'un robot suiveur de ligne

2 Identification de **l'architecture organique** du système

FC2 : Commander le système complet

Carte Commande



Microcontrôleur

PIC18F26K22

Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

Exemple…

Étude de la Fiabilité sous rayonnement d'un robot suiveur de ligne

2 Identification de **l'architecture organique** du système

FC3 : Piloter les moteurs

?

Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

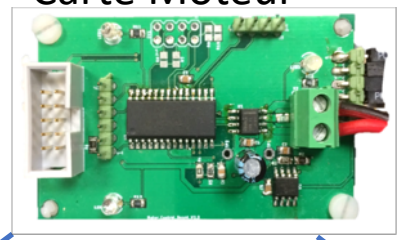
Exemple…

Étude de la Fiabilité sous rayonnement d'un robot suiveur de ligne

2 Identification de **l'architecture organique** du système

FC3 : Piloter les moteurs

Carte Moteur



Microcontrôleur

PIC18F26K22

Driver Moteur

DRV8870

Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

Exemple…

Étude de la Fiabilité sous rayonnement d'un robot suiveur de ligne

2 Identification de **l'architecture organique** du système

FC4 : Détecter la ligne noire

?

Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

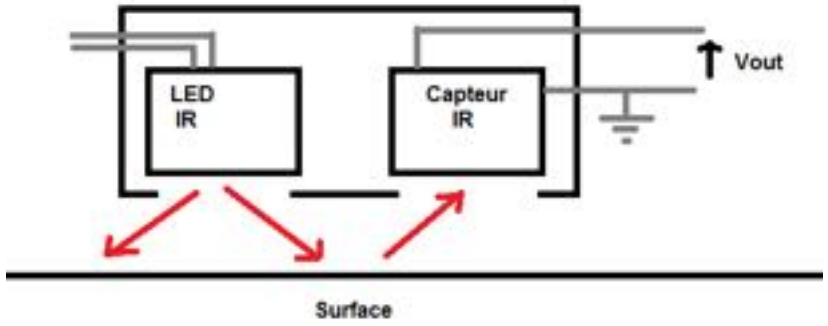
Exemple…

Étude de la Fiabilité sous rayonnement d'un robot suiveur de ligne

2 Identification de **l'architecture organique** du système

FC4 : Détecter la ligne noire

Carte Capteur de ligne



LED IR

Photo-Transistors IR

Analyse de la Fiabilité
Arbres De Défaillance, ADD (Fault Tree)

Exemple…

Étude de la Fiabilité sous rayonnement d'un robot suiveur de ligne

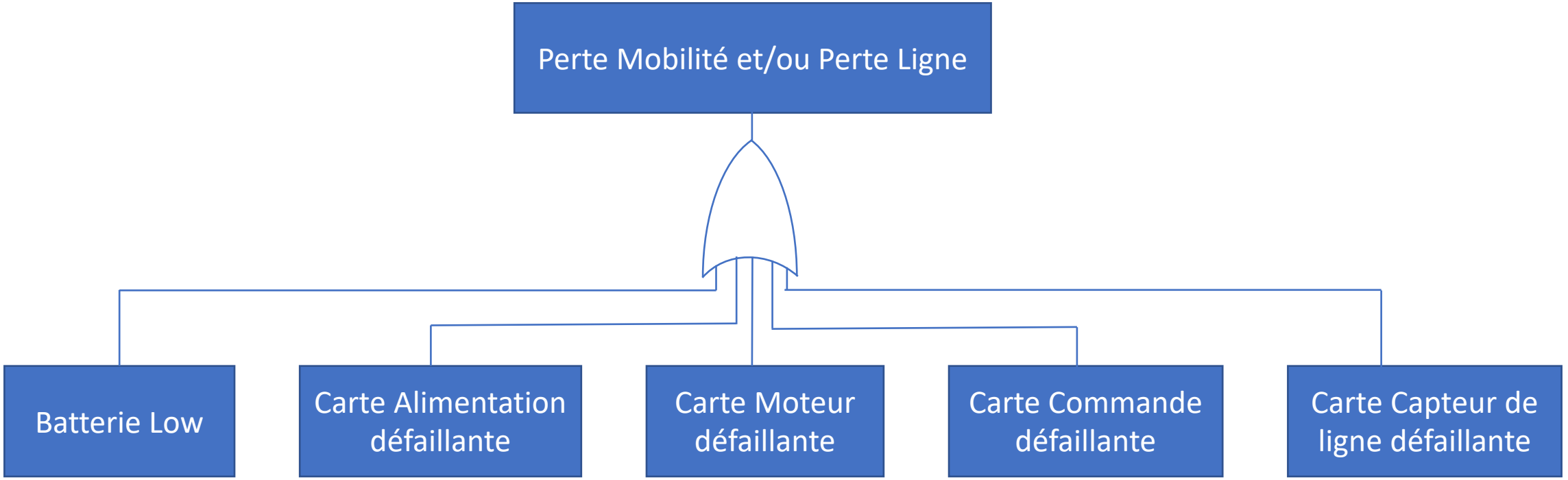
3 Identification **pour chaque fonction** des **causes possibles de perte de fonctionnalité en lien avec les composants listés à l'étape** 2

On détermine en premier lieu **l'événement redouté**. Il s'agit en général de la perte de la (ou des) Fonction(s) Principale(s). Cet événement redouté constituera le sommet de l'arbre de défaillance.

Perte Mobilité et/ou Perte Ligne

3 Identification pour chaque fonction des causes possibles de perte de fonctionnalité en lien avec les composants listés à l'étape 2

On détermine ensuite les événements pouvant mener à **l'événement redouté**.



Sur la base de la connaissance de l'architecture organique, on remonte aux causes de défaillances possibles pour chaque sous système.