

La maintenance a-t-elle besoin d'ingénieurs, en Belgique, à Djibouti?

- Prof. Pierre Dehombreux, doyen
 - Faculté Polytechnique, Service de génie mécanique
 - Titulaire de 3 cours en fiabilité et maintenance industrielle
 - Membre de l'Association Belge de Maintenance
 - www.pierredehombreux.eu



Belgique, au cœur de l'Europe



- 10,6 millions habitants
- 3 régions: bruxelloise, flamande, **wallonne**
- 3 langues: néerlandaise, **française**, allemande
- Bruxelles capitale UE
- Nœud européen réseau de communication
- 25 trains par jour pour Paris, 10 pour Londres, ...
- 3 aéroports en Wallonie
- 2300 compagnies internationales
- 2/3 activité économique européenne à 500 km autour de la Wallonie

UMONS: 7 facultés, 2 écoles

- Faculté des Sciences
- Faculté Polytechnique
- Faculté de Médecine et de Pharmacie
- Faculté Warocqué d'Économie et de Gestion
- Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation
- Faculté de Traduction et d'Interprétation
– École d'Interprètes Internationaux
- Faculté d'Architecture et d'Urbanisme
- École de Droit
- École des Sciences Humaines et Sociales



multirank



1^{er} cycle – Bachelier (3 ans)

- Examen d'admission
- Cours généraux et de spécialisation

2^e cycle – Master (2 ans)

- Architecture
- Chimie-Sciences des matériaux
- Électricité
- Informatique et Gestion
- Mécanique
- Mines-Géologie

3^e cycle – Formation doctorale et doctorat (4 ans)



La maintenance a-t-elle besoin d'ingénieurs, en Belgique, à Djibouti?



La question peut surprendre mais...

- Maintenance associée aux travaux lourds et sales
 - Pénibilité
- Maintenance associée au graissage et à la lubrification
 - Peu valorisant
- Maintenance associée à la routine ou à l'urgence
 - Absence de réflexion et d'intelligence
- Maintenance associée à des coûts improductifs
 - Absence de valeur ajoutée
- Maintenance associée à des compétences limitées
 - Peu d'exigences pour l'engagement de personnel qualifié
- Maintenance associée à une voie de garage professionnelle
 - Carrière professionnelle sous-valorisée

Vision passéiste de la maintenance

Les temps ont changé!

- Maintenance associée aux travaux lourds et sales
 - Maintenance contribue à la propreté et à la sécurité
- Maintenance associée au graissage et à la lubrification
 - Maintenance est beaucoup plus large et plus moderne
- Maintenance associée à la routine ou à l'urgence
 - Maintenance est planifiée : exemple d'organisation optimisée
- Maintenance associée à des coûts improductifs
 - Maintenance est centre de profit, levier de la performance
- Maintenance associée à des compétences limitées
 - Plus que jamais, compétences interdisciplinaires et spécialisées
- Maintenance associée à une voie de garage professionnelle
 - Les postes de maintenance conduisent à des postes de direction

Besoin de techniciens et d'ingénieurs

Pourquoi les temps ont-ils changé?

- La maintenance a démontré qu'elle était indispensable pour assurer:
 - Rentabilité économique
 - Qualité
 - Sécurité
 - Satisfaction des clients (délais, fiabilité)
- La maintenance a bénéficié d'une évolution très positive
 - Méthodes d'organisation (planification, optimisation, ...) des activités industrielles
 - Technologies de l'information et de la communication
 - Valorisation de la responsabilité sociétale des entreprises

**Vision moderne de la maintenance induit
un besoin de techniciens et d'ingénieurs**

Objectifs de l'exposé

- Vous convaincre que la maintenance bénéficie de la maturité d'apports scientifiques et technologiques, fondamentaux et appliqués
 - Statistique mathématique au service de la caractérisation des défaillances
- Vous convaincre que la maintenance reste complexe et centrée sur l'homme
 - Maintenance et risques
- Vers une définition de la *maintenance intelligente*

Objectifs de l'exposé

- Vous convaincre que la maintenance bénéficie de la maturité d'apports scientifiques et technologiques, fondamentaux et appliqués
 - **Statistique mathématique** au service
 - de la caractérisation des défaillances
 - de l'optimisation des plans de maintenance préventive systématique
- Vous convaincre que la maintenance reste complexe et centrée sur l'homme
 - Maintenance et risques
- Vers une définition de la *maintenance intelligente*

Définitions

Fiabilité : la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif mesurée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données, pendant un temps donné.

Dispositif : un composant (ex : un roulement), une machine, une installation une ligne de production, une usine, ...

Fonction requise : soutenir une masse, amortir des chocs, assurer la transmission d'un effort, etc. La fonction a besoin d'être définie de manière précise sans quoi il est impossible d'évaluer la fiabilité d'un dispositif.

Ceci implique de définir un **critère de défaillance** c'est-à-dire un niveau minimum de performances en deçà desquelles le dispositif est considéré comme défaillant.

Conditions de travail sont les contraintes physiques, chimiques, électriques et mécaniques subies par le dispositif du fait de son environnement.

Temps : le temps est considéré au sens large qui peut être un nombre de cycles, une distance parcourue, un âge,...

Introduction aux lois de fiabilité

Exercice

On se propose d'évaluer la fiabilité d'un produit. Pour cela, il est nécessaire de savoir comment il devient défaillant dans le temps: la loi de fiabilité ou survie le précise.

Considérons un lot de $N_0 = 200$ lampes placées sur un banc d'essais. Toutes les 100 heures, on note le nombre $N(t)$ de lampes qui fonctionnent encore.

Pour chaque durée de fonctionnement t , on calcule la fiabilité $R(t)$ du lot de lampes :

$$R(t) = \frac{N(t)}{N_0}$$

La loi $R(t)$ est appelée la loi de fiabilité ou loi de survie.

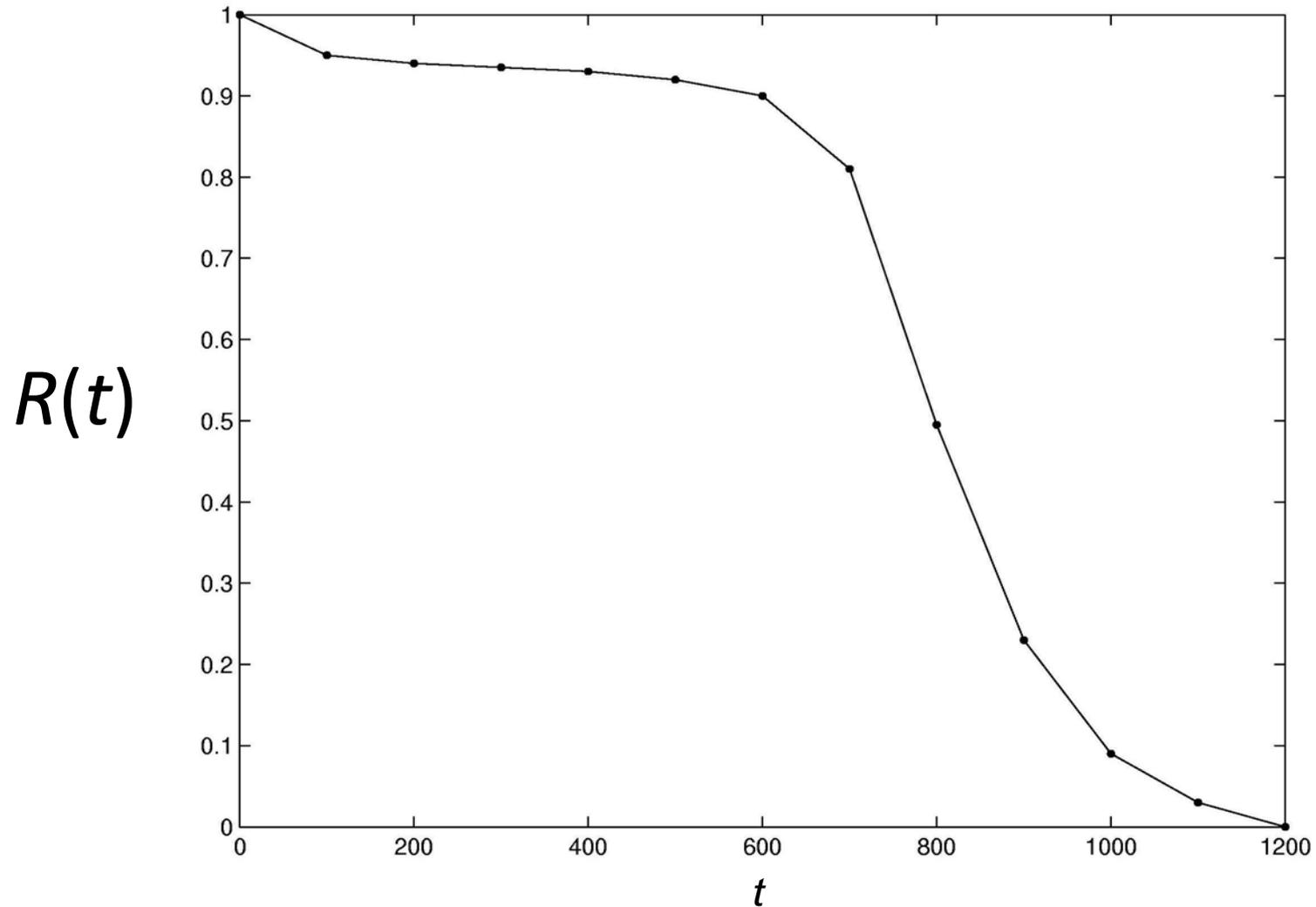
Résultats – essai de lampes

Durée d'essai (h)	Nbre de survivants
0	200
100	190
200	188
300	187
400	186
500	184
600	180
700	162
800	99
900	46
1000	18
1100	6
1200	0

Solution – essai de lampes

Durée d'essai (h)	Nbre de survivants	Fiabilité
0	200	1
100	190	0,95
200	188	0,94
300	187	0,935
400	186	0,93
500	184	0,92
600	180	0,90
700	162	0,81
800	99	0,495
900	46	0,23
1000	18	0,09
1100	6	0,03
1200	0	0

Loi de survie – essai lampes



Taux de défaillance

La loi de défaillance $F(t)$: complément de la fiabilité
 $F(t)=1-R(t)$

La probabilité qu'un élément neuf tombe en panne entre l'âge t et $t+dt$ vaut :

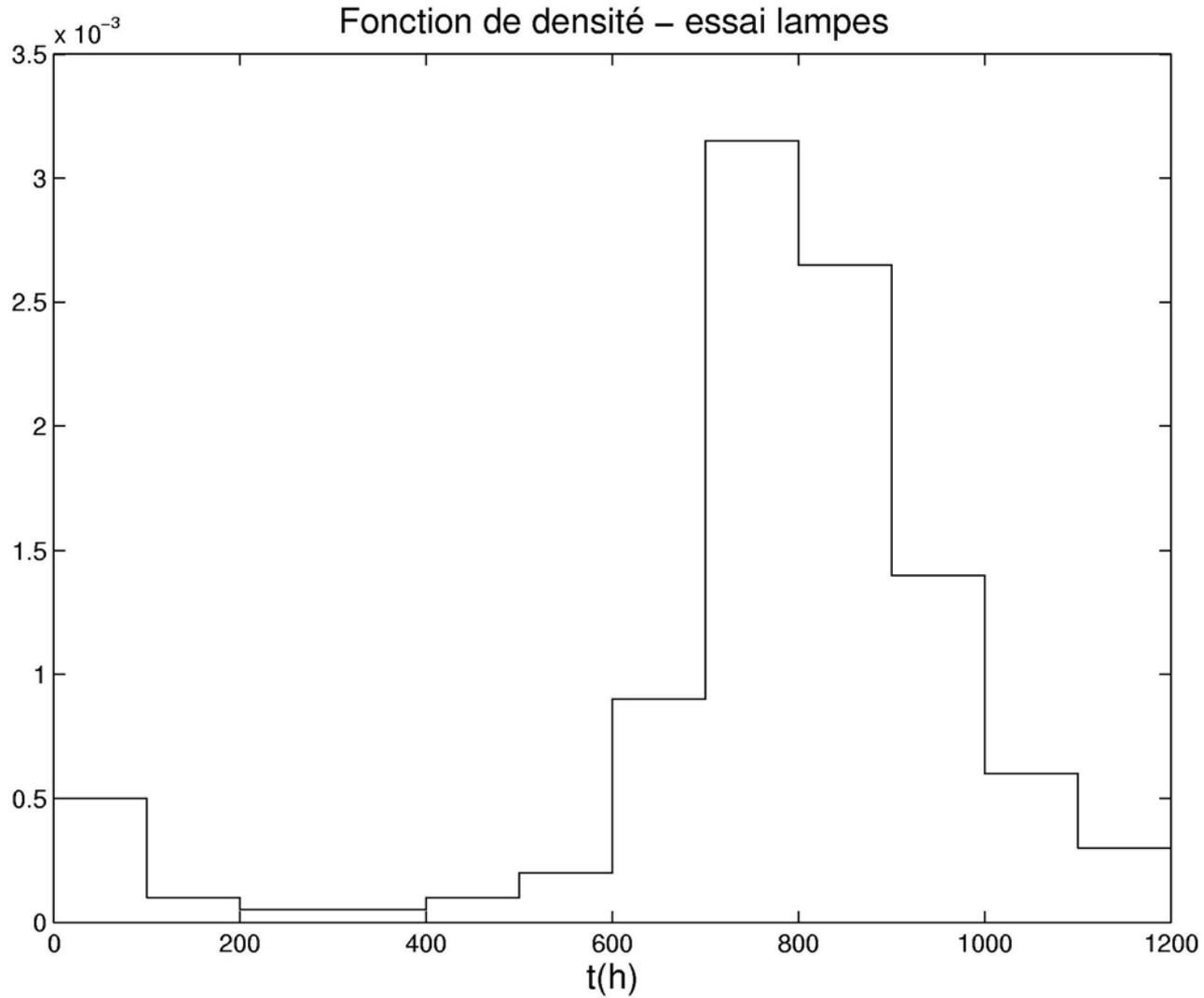
$f(t) dt$

avec $f(t)$ la densité de probabilité des durées de vie.

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt}$$

Fonction de densité

$f(t)$



Taux de défaillance

Considérons une pièce ayant servi pendant une durée t
et encore en bon état de fonctionnement.

Calculons la probabilité qu'elle tombe en panne entre t et $t+dt$,
sachant qu'elle a survécu jusqu'à t .

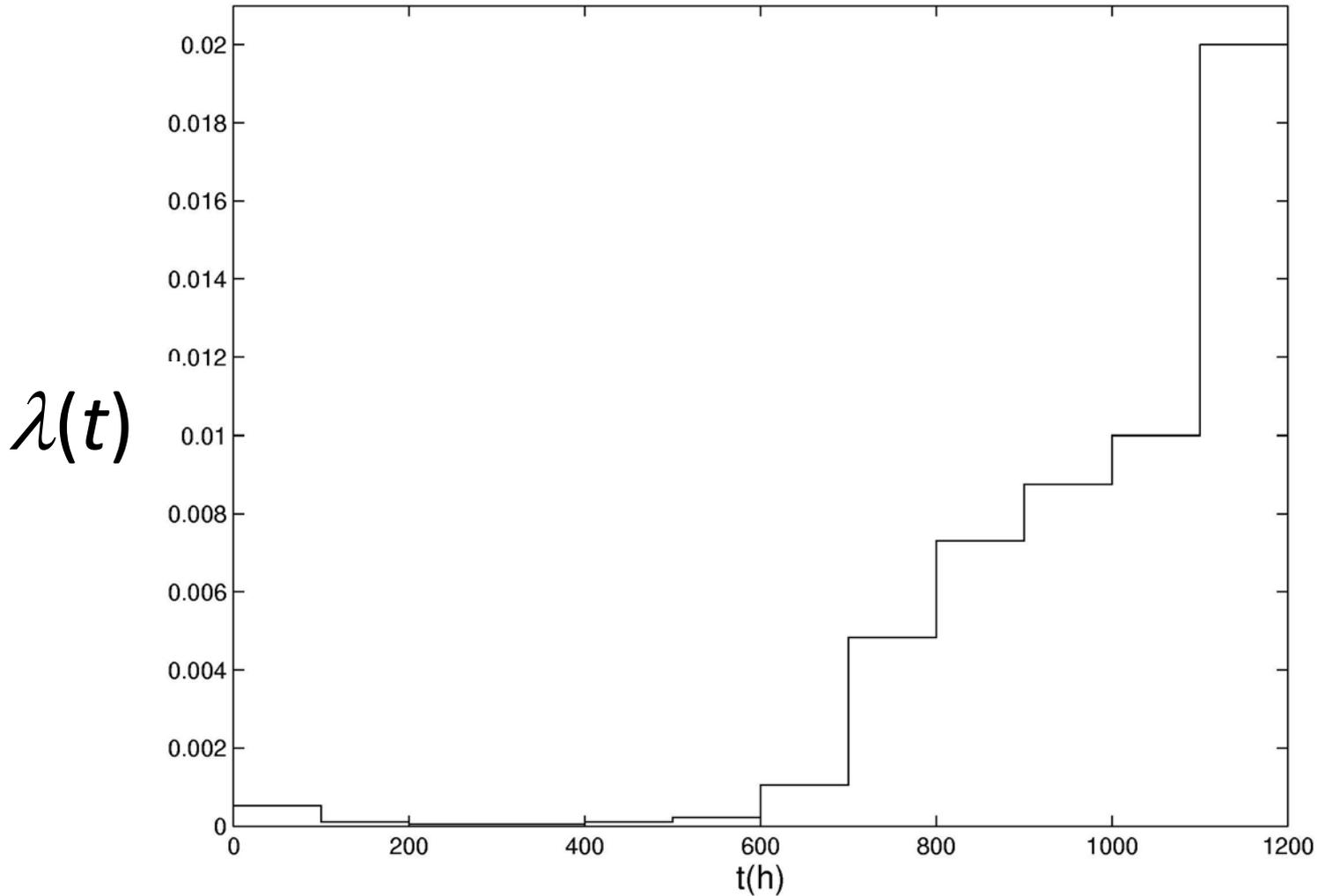
D'après le théorème des probabilités conditionnelles,
cette probabilité est égale à :

$$\frac{f(t)dt}{R(t)} = \lambda(t)dt \rightarrow \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

$\lambda(t)$ est appelée fonction de risque,
taux de défaillance ou taux de panne.

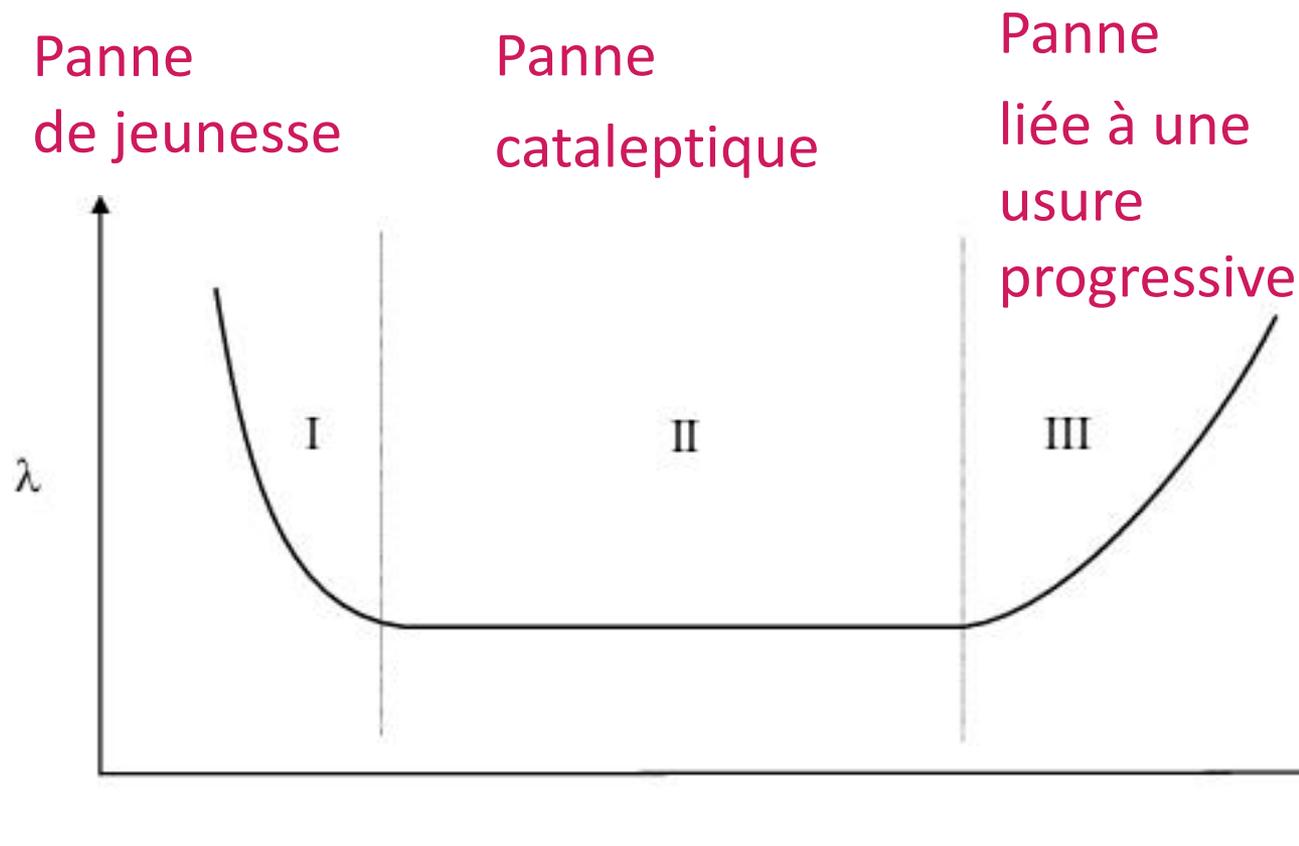
Taux de défaillance

Taux de défaillance – essai lampes



Courbe en baignoire

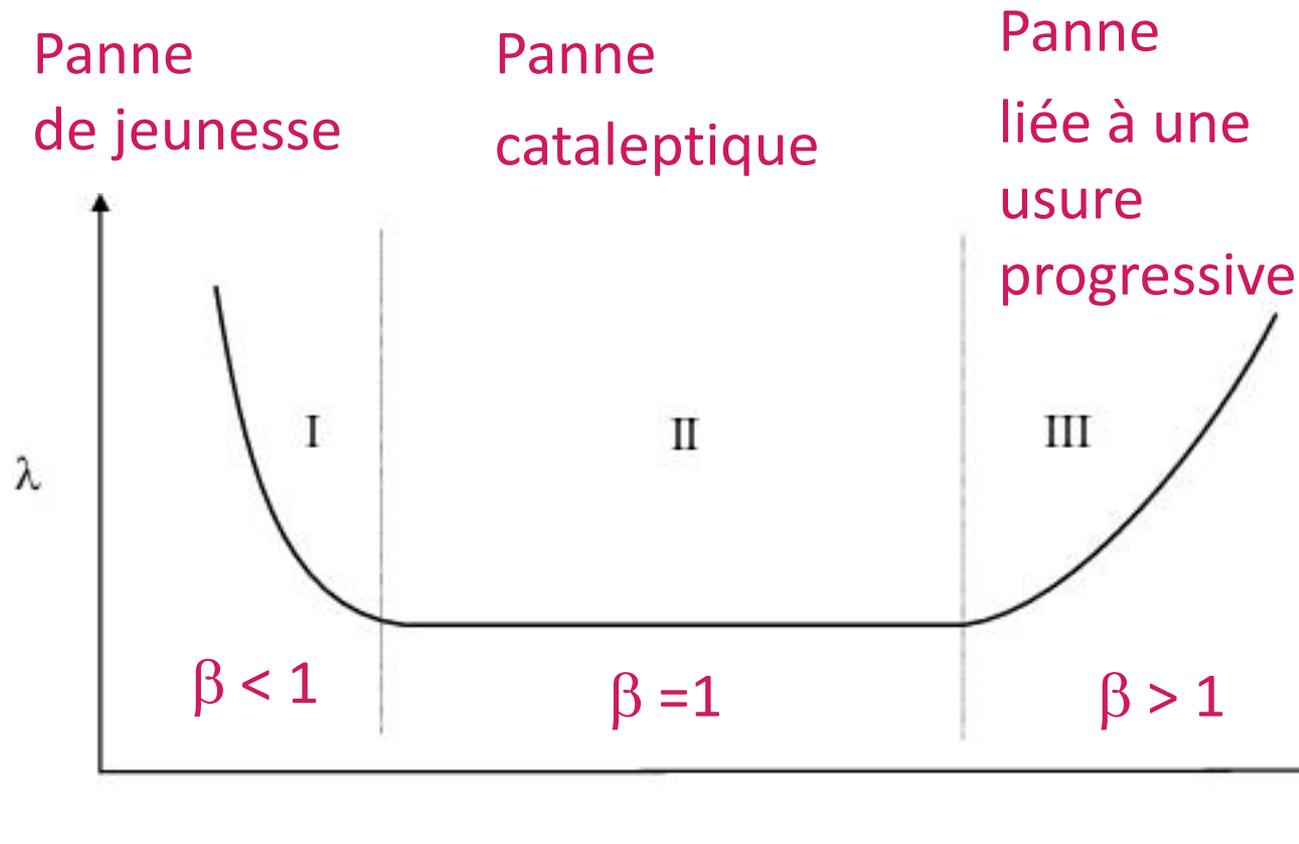
La courbe en baignoire représente l'évolution générale du taux de défaillance en fonction de l'âge du dispositif.



Courbe en baignoire

L'ajustement d'un modèle mathématique permet de savoir dans quel cas on se trouve

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right)$$



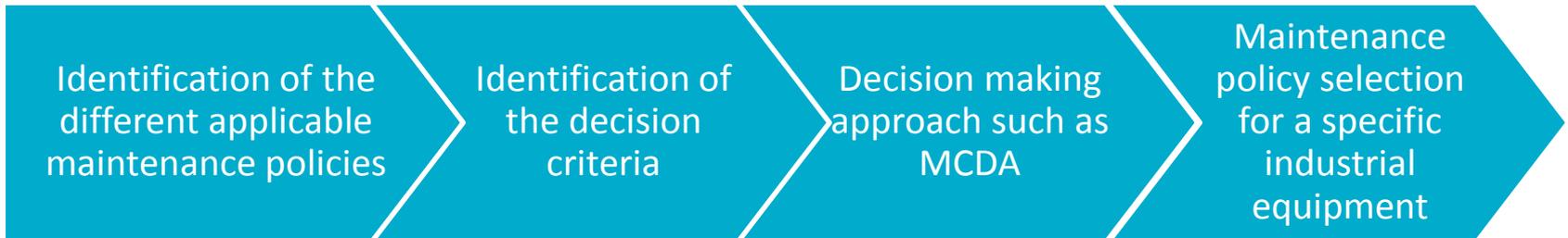
Optimisation de la maintenance

- ❑ Optimisation globale
 - ❑ Quelle politique la plus appropriée à un contexte donné?
 - ❑ Démarche globale – aspects quantitatifs et qualitatifs
 - ❑ regroupement d'équipements en classes (localisation, types, criticité)
 - ❑ critères de performance
 - ❑ organisation de la maintenance
(formation personnel, sous-traitance, investissements, ...)
- ❑ Optimisation fine d'une politique donnée
 - ❑ Maturité de l'état de l'art, très important
 - ❑ types de systèmes étudiés (complexes, réparables, soumis à des sollicitations variables, soumis à la surveillance, ...)
 - ❑ politiques évoluées
 - ❑ opportunistes, ...
 - ❑ contraintes liées aux ressources, aux stocks, à la production
 - ❑ outils de simulation (schémas-blocs, Petri, Markov, ...)
 - ❑ critères d'optimisation

Decision support system for maintenance policies selection

Main Goal: To evaluate the various maintenance strategies and policies using a multi criteria analysis. And determining a possibility to choose in advance the suitable maintenance program.

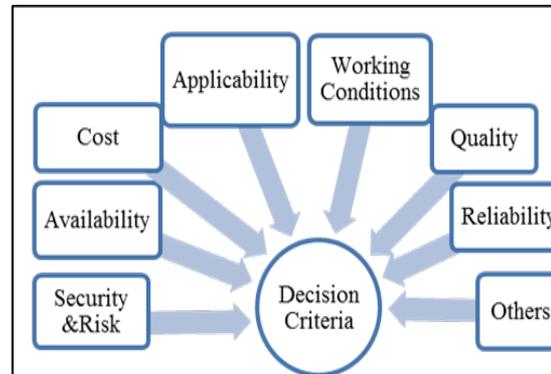
Methodology:



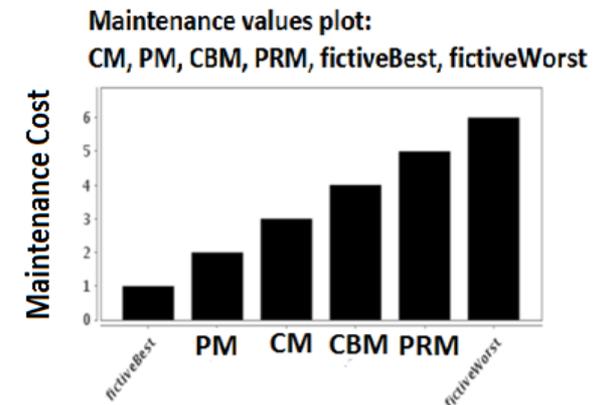
1. Formalizing the various maintenance policies

- Corrective maintenance (CM) (breakdown, run to failure, etc)
- Preventive maintenance (PM) (Age based, Block replacement)
- Opportunistic maintenance (OM)
- Condition-based maintenance (CBM) (thermography, vibration based, etc)
- Predictive maintenance (PRM)

2. Constitution and synthesis of the most relevant criteria:



3. Maintenance policy selection from an assessment on the decision criteria



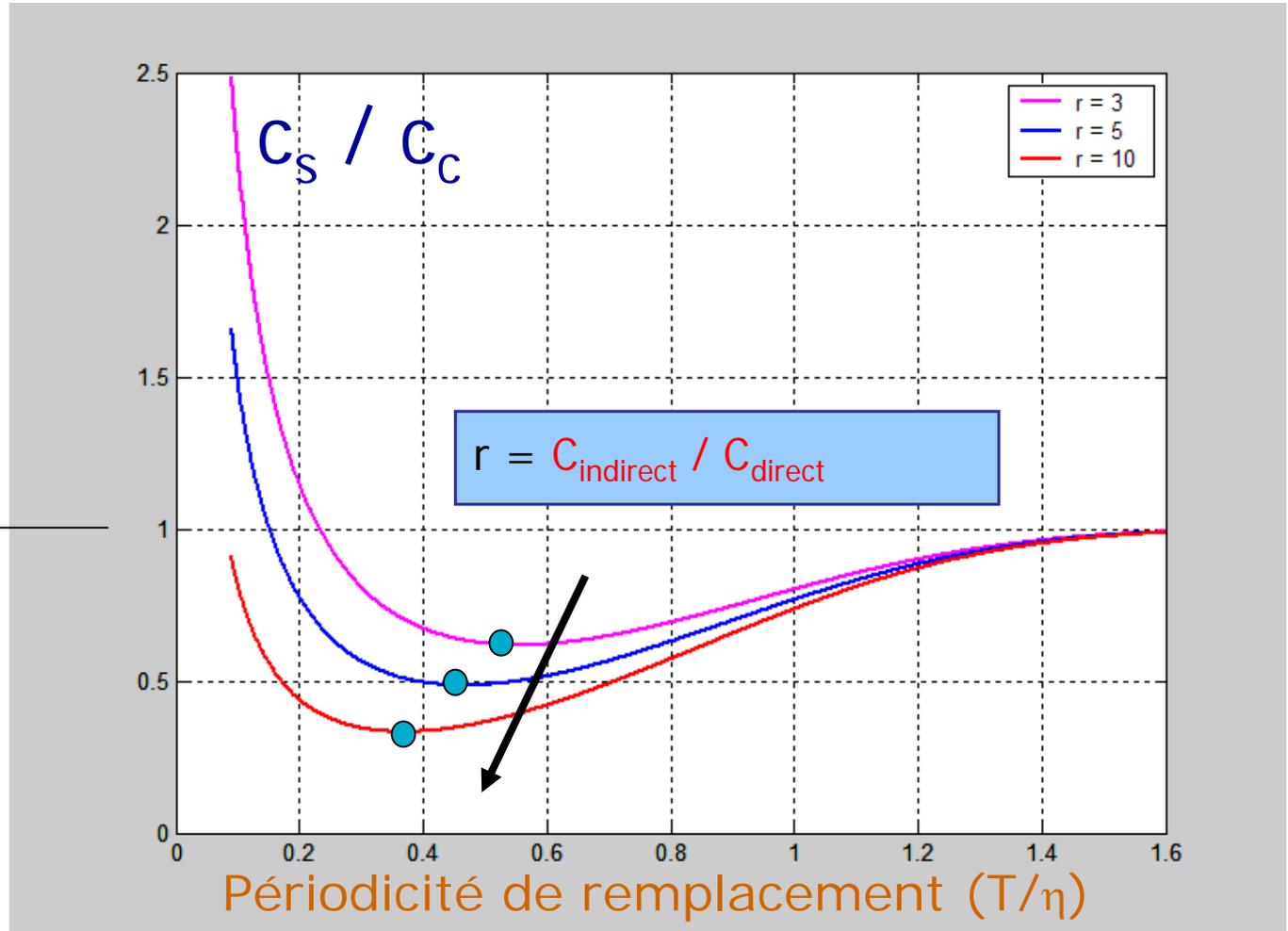
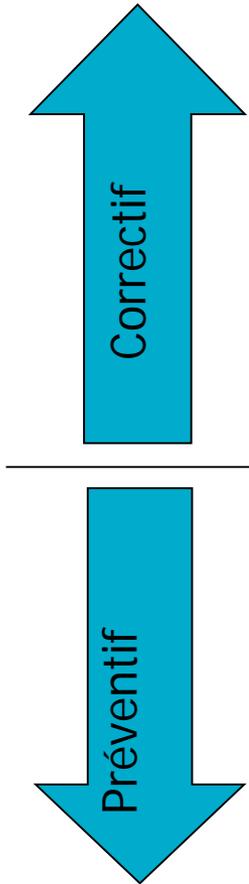
Nasser Youssef Mahamoud, expert : follow his research work

Optimisation de la maintenance

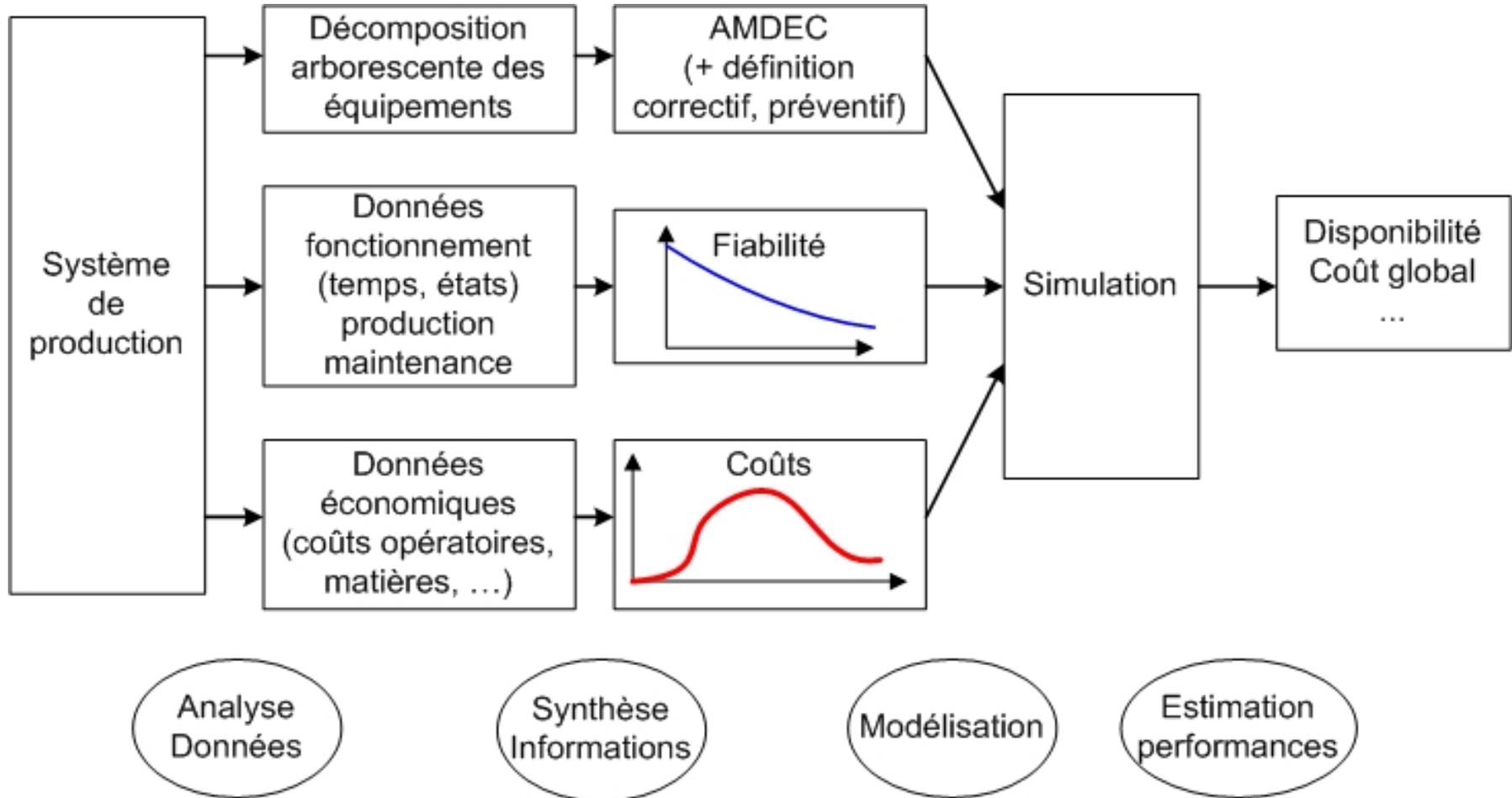
- ❑ Optimisation globale
 - ❑ Quelle politique la plus appropriée à un contexte donné?
 - ❑ Démarche globale – aspects quantitatifs et qualitatifs
 - ❑ regroupement d'équipements en classes (localisation, types, criticité)
 - ❑ critères de performance
 - ❑ organisation de la maintenance
(formation personnel, sous-traitance, investissements, ...)
- ❑ Optimisation fine d'une politique donnée
 - ❑ Maturité de l'état de l'art, très important
 - ❑ types de systèmes étudiés (complexes, réparables, soumis à des sollicitations variables, soumis à la surveillance, ...)
 - ❑ politiques évoluées
 - ❑ opportunistes, ...
 - ❑ contraintes liées aux ressources, aux stocks, à la production
 - ❑ outils de simulation (schémas-blocs, Petri, Markov, ...)
 - ❑ critères d'optimisation

Coût préventif / correctif

Abaques de Kelly

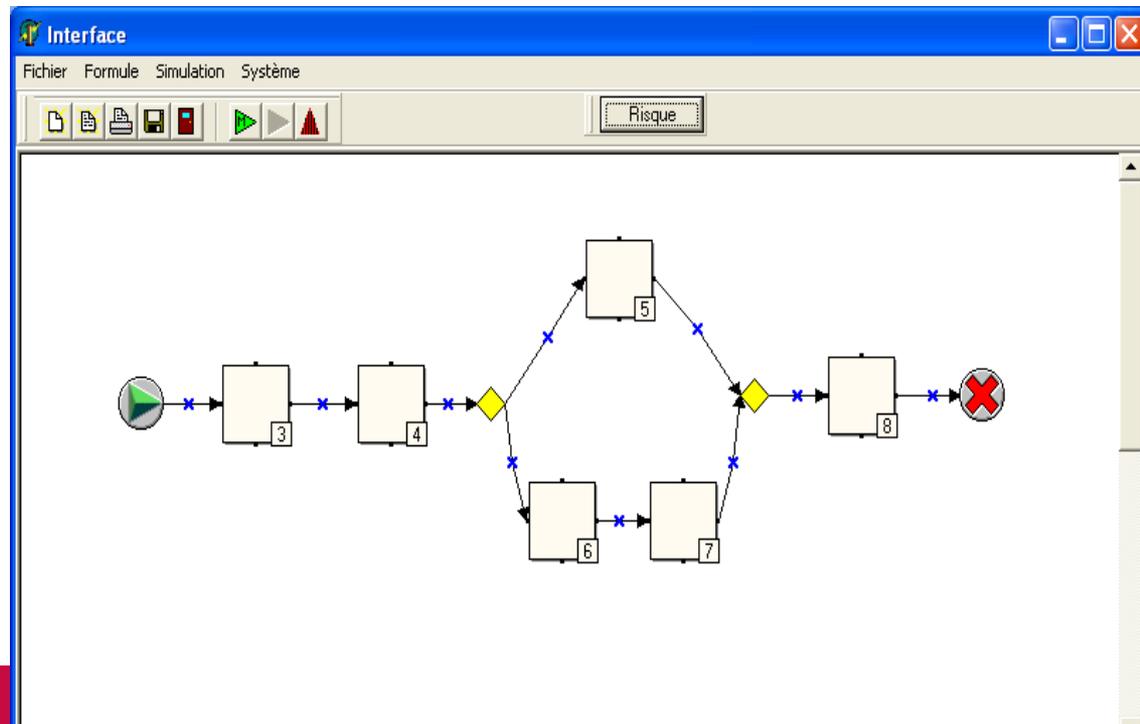


Optimisation de la maintenance basée sur la fiabilité: projet OPTIMAIN



Principes généraux: modélisation

1. Un système défini (machine critique, ligne de production) est modélisé comme une association d'entités (modes de défaillances, éléments de machine, postes) dont on dispose d'une description des défaillances (temps de pannes) et des opérations de maintenance associées (durées, coûts, ...)
2. Les composants peuvent être associés en série et en parallèle (redondance)



Principes généraux

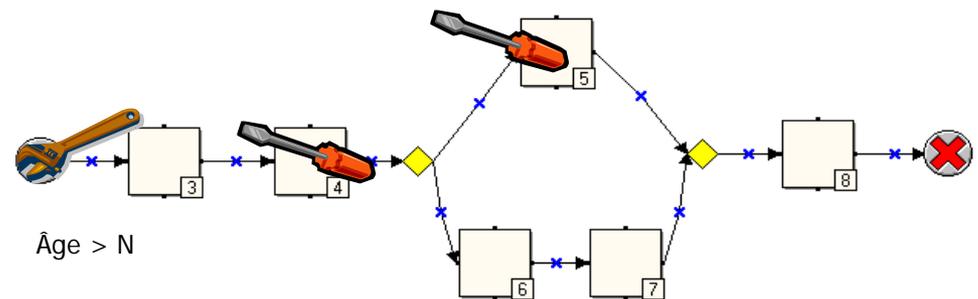
3. On définit la politique de maintenance de chaque entité.
Outre le correctif, on dispose de plusieurs options:

Stratégie âge : maintenir le composant après T unités de fonctionnement

Stratégie bloc : maintenir le composant toutes les T périodes

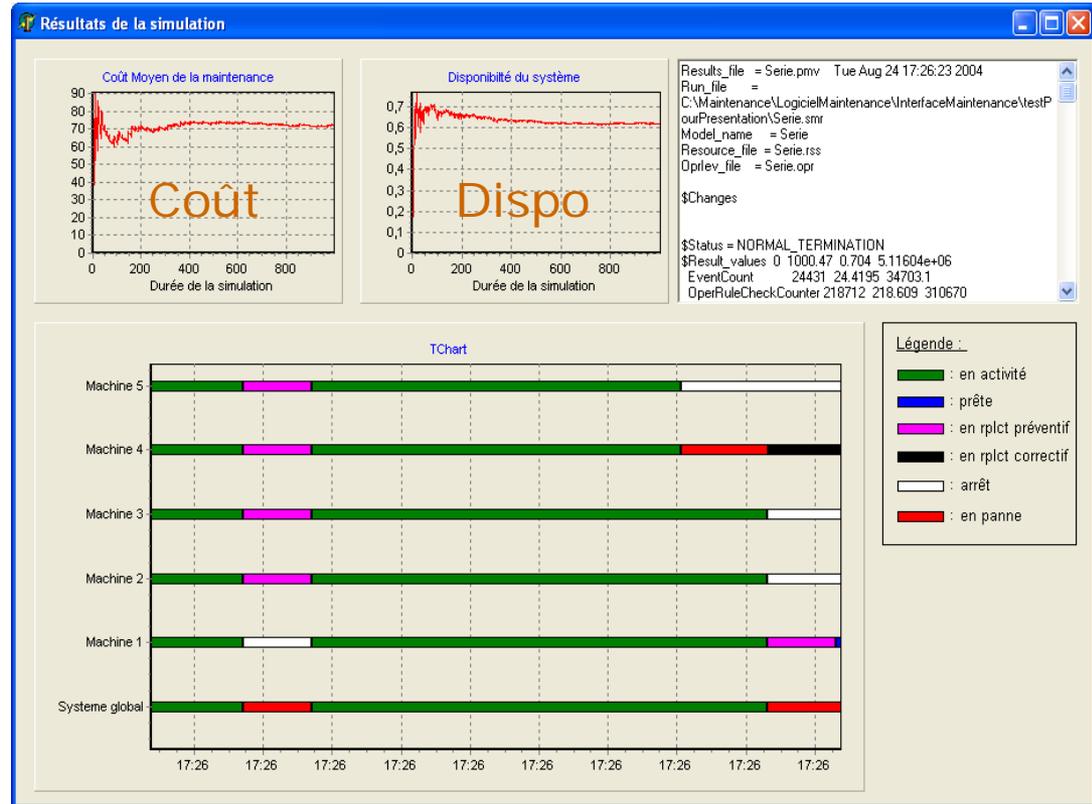
Stratégie MBRP : maintenir le composant toutes les T périodes, si l'âge du composant est supérieur à b

Stratégie opportuniste : maintenir le composant après N unités de fonctionnement et profiter de ce remplacement pour maintenir les autres composants dont l'âge est supérieur à n ($n < N$)



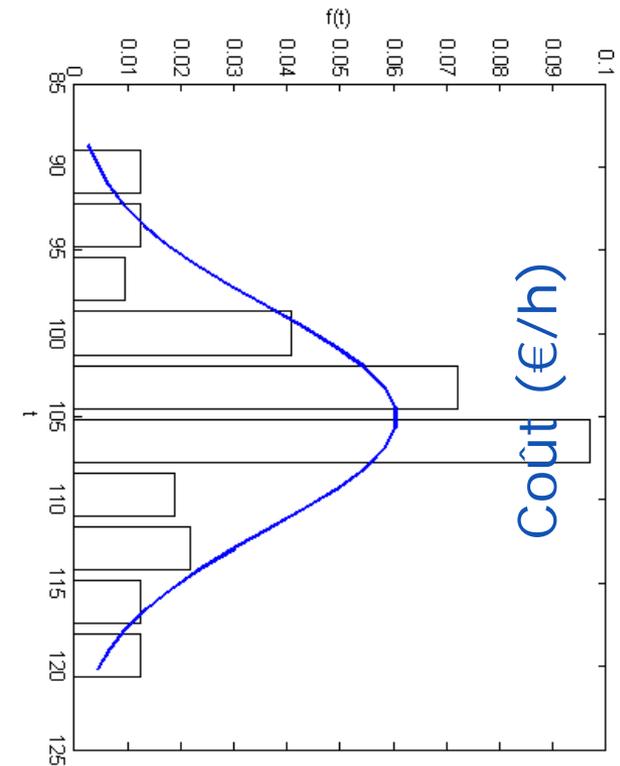
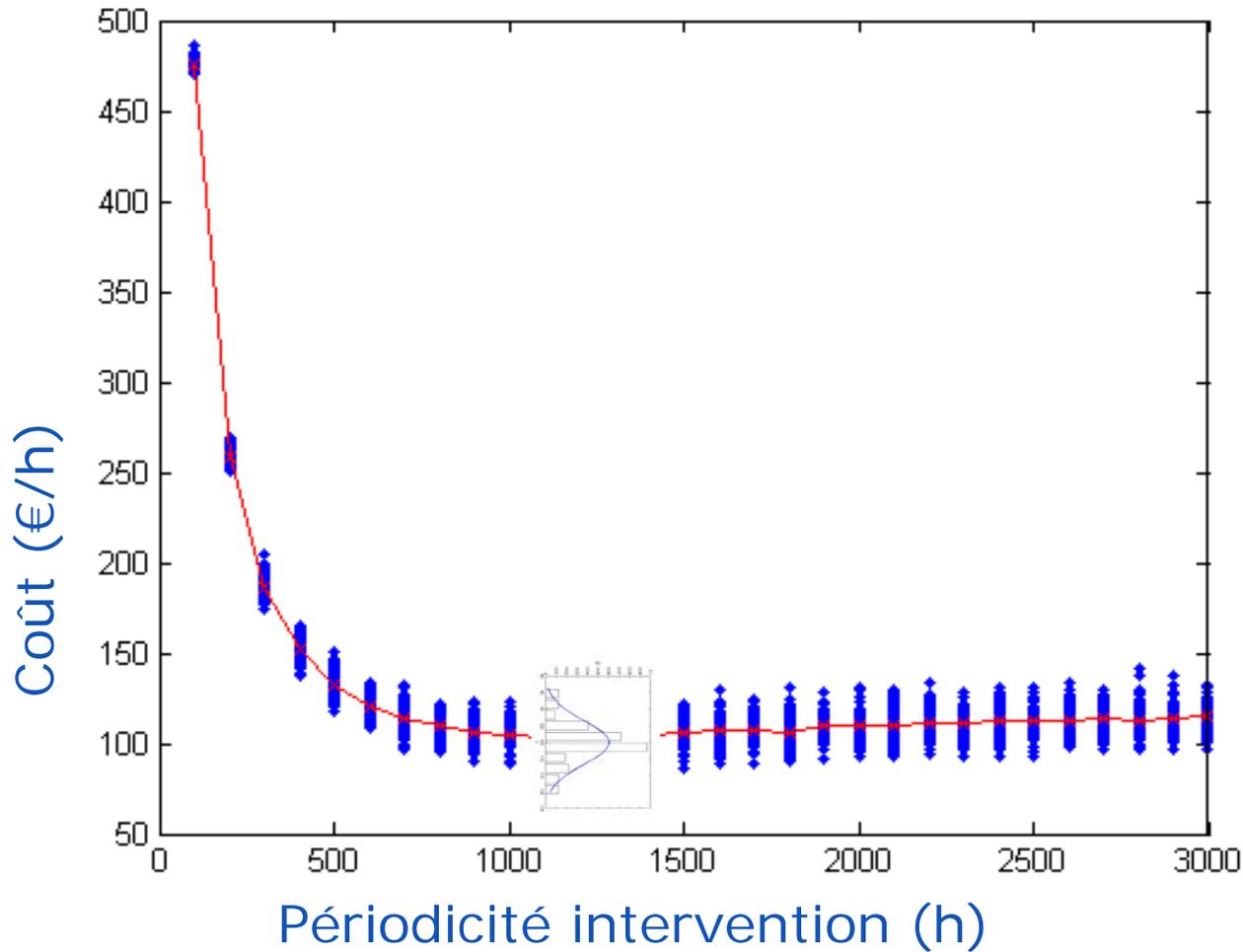
Principes généraux

4. La simulation permet d'étudier le système pendant un temps très long et d'évaluer l'efficacité d'une politique de maintenance donnée en termes de coût ou de disponibilité (d'autres critères peuvent être développés si nécessaire).

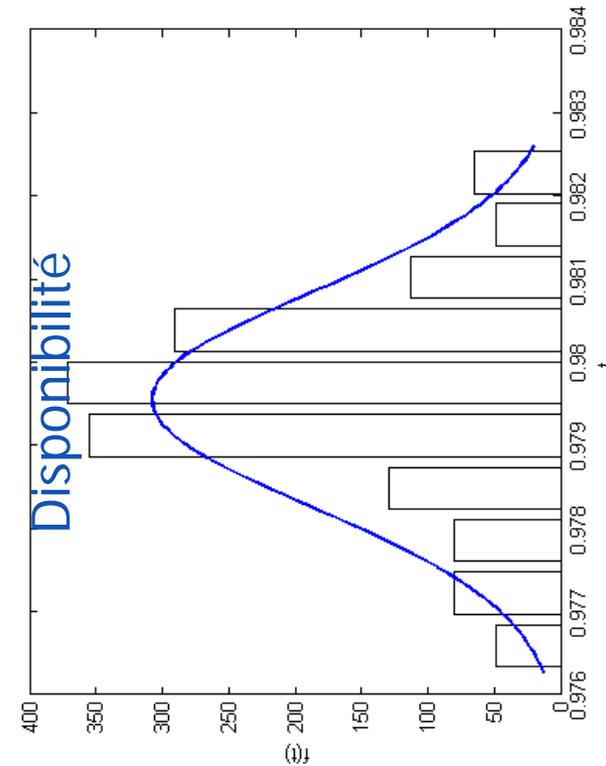
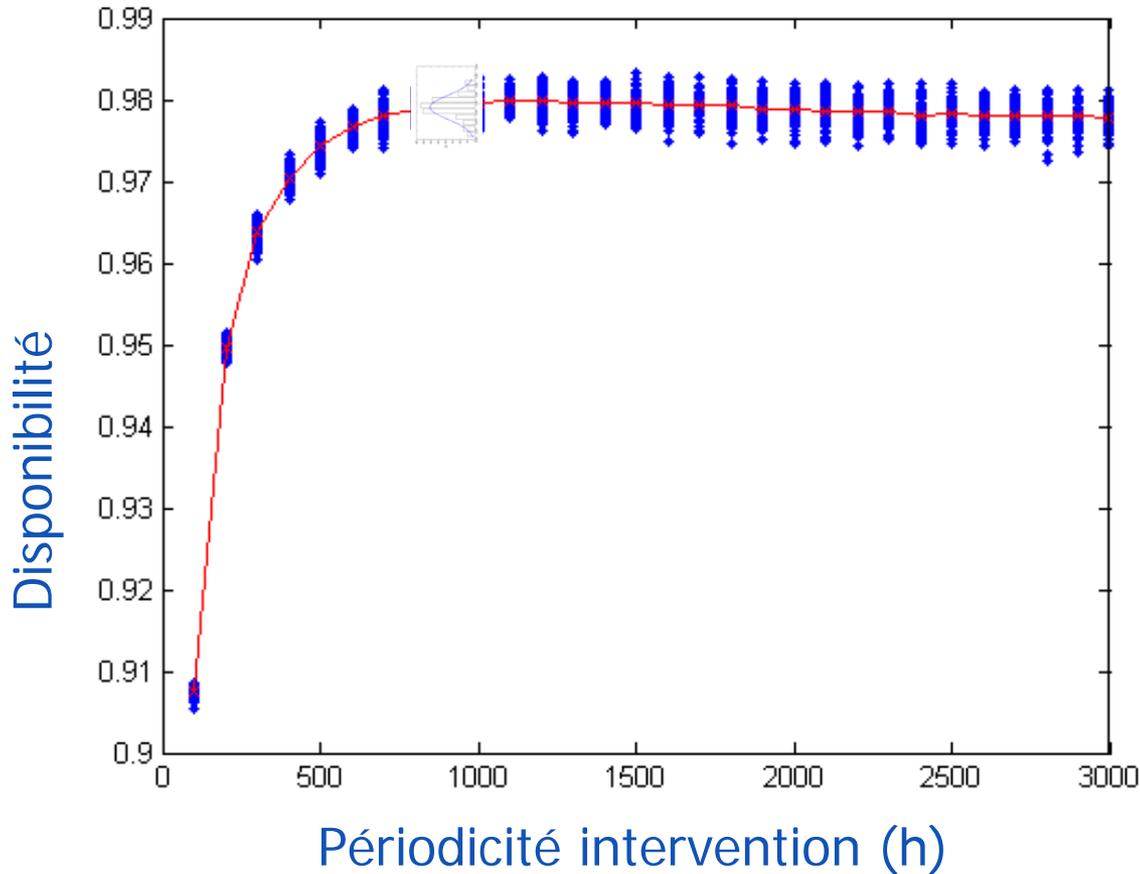


GANTT simulé

Incertitude sur l'estimation du coût

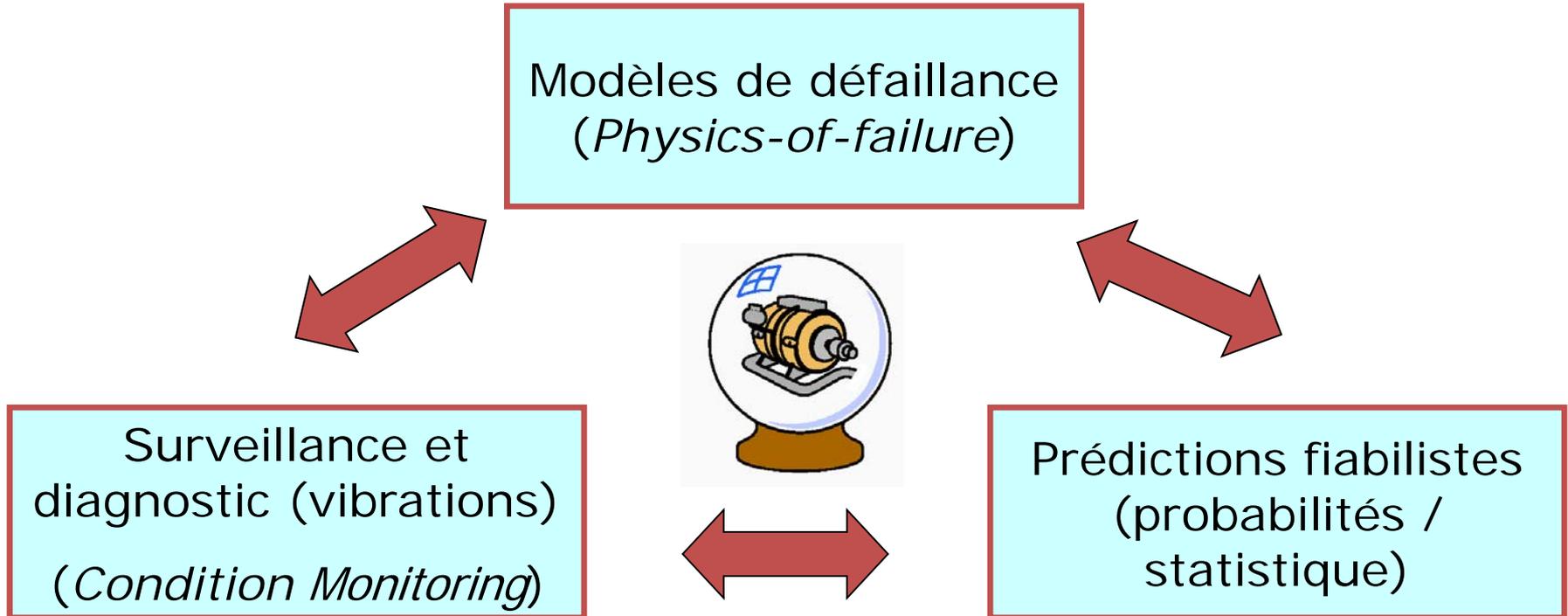


Incertitude sur la disponibilité



Et les développements actuels...

- Modèles statistiques de fiabilité nécessitent la collecte d'un nombre suffisant de temps de défaillances et restent sujets à l'incertitude.



- Approche intégrée des modèles de dégradation
- Estimation des durées de vie résiduelles (pronostic)

Objectif de l'exposé

- Vous convaincre que la maintenance bénéficie de la maturité d'apports scientifiques et technologiques, fondamentaux et appliqués
 - **Statistique mathématique** au service
 - de la caractérisation des défaillances
 - de l'optimisation des plans de maintenance préventive systématique
- Vous convaincre que la maintenance reste complexe et centrée sur l'homme
 - Maintenance et risques
- Vers une définition de la *maintenance intelligente*

Impact de la maintenance sur la sécurité

Objectif : estimer les risques liés à l'exploitation (industries à risques) et les risques liés aux opérations de maintenance elles-mêmes, pour un niveau de maintenance donné, sur un horizon temporel donné.

Maintenance Impact on Safety MIS

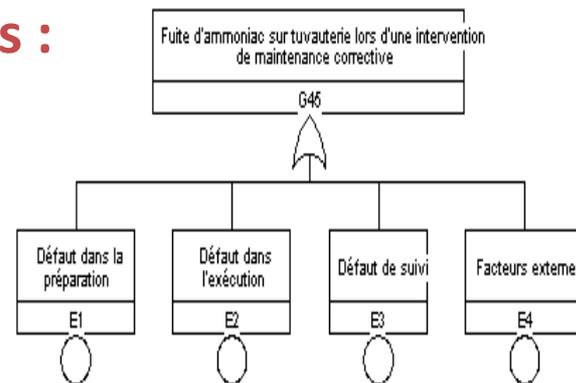
Process related risks
(maintenance reduces the risks)

Maintenance related risks
(maintenance exposed to specific risks)



MIS is spread over three phases :

- ✓ Delimitation of the study area;
- ✓ Risk estimation;
- ✓ Risk assessment.



	1×10^3	1×10^4	1×10^5	1×10^6	1×10^7
$G_5 = 1 \times 10^4 \text{ €}$	1×10^3	1×10^4	1×10^5	1×10^6	1×10^7
$G_4 = 1,5 \times 10^3 \text{ €}$	$1,5 \times 10^3$	$1,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^5$	$1,5 \times 10^6$	$1,5 \times 10^7$
$G_3 = 5 \times 10^2 \text{ €}$	5×10^2	5×10^3	5×10^4	5×10^5	5×10^6
$G_2 = 1 \times 10^1 \text{ €}$	1×10^1	1×10^2	1×10^3	1×10^4	1×10^5
$G_1 = 5 \times 10^0 \text{ €}$	0,5	5	5×10^2	5×10^3	5×10^4
	$10^{-3}/\text{an}$	$10^{-4}/\text{an}$	$10^{-5}/\text{an}$	$10^{-6}/\text{an}$	$10^{-7}/\text{an}$
	Severity (G en €)				
	Probability (P par an)				

I. Méthodologie MIS « Maintenance Impact on Safety »

La maintenance est **une activité à haut risque** :

- ✓ exposition directe aux risques ;
- ✓ tâches non routinières soumises à de nombreuses situations inhabituelles ou aléas ;
- ✓ conditions exceptionnelles (**accès à des espaces confinés, mal éclairés**) ;
- ✓ contraintes temporelles.



I. Méthodologie MIS « Maintenance Impact on Safety »

➡ La méthodologie MIS « Maintenance Impact on Safety » intègre une évaluation des risques liés :

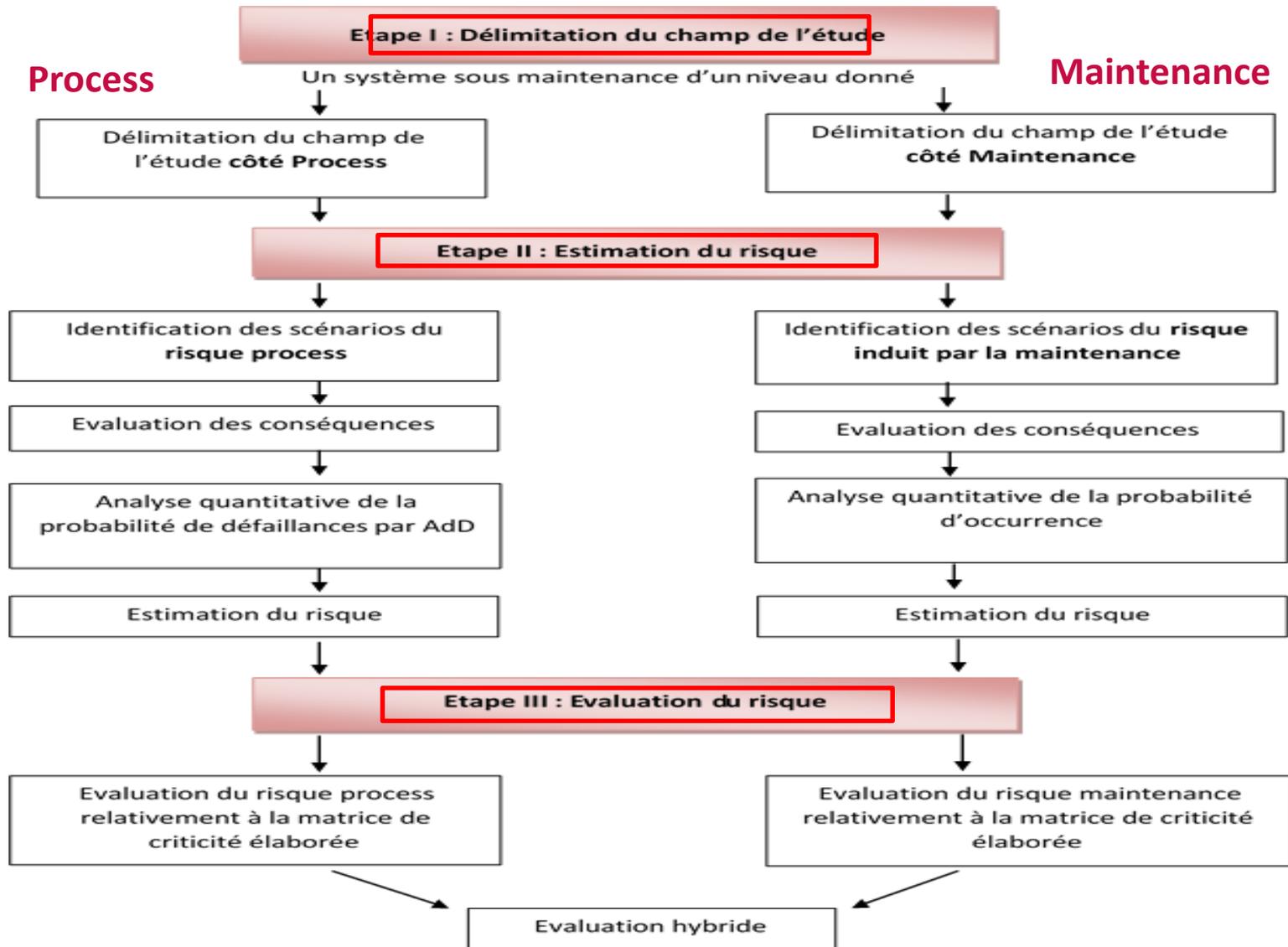
↳ au **process** (maintenance réduit les risques)

↳ aux **activités de maintenance** (maintenance expose à des risques spécifiques)

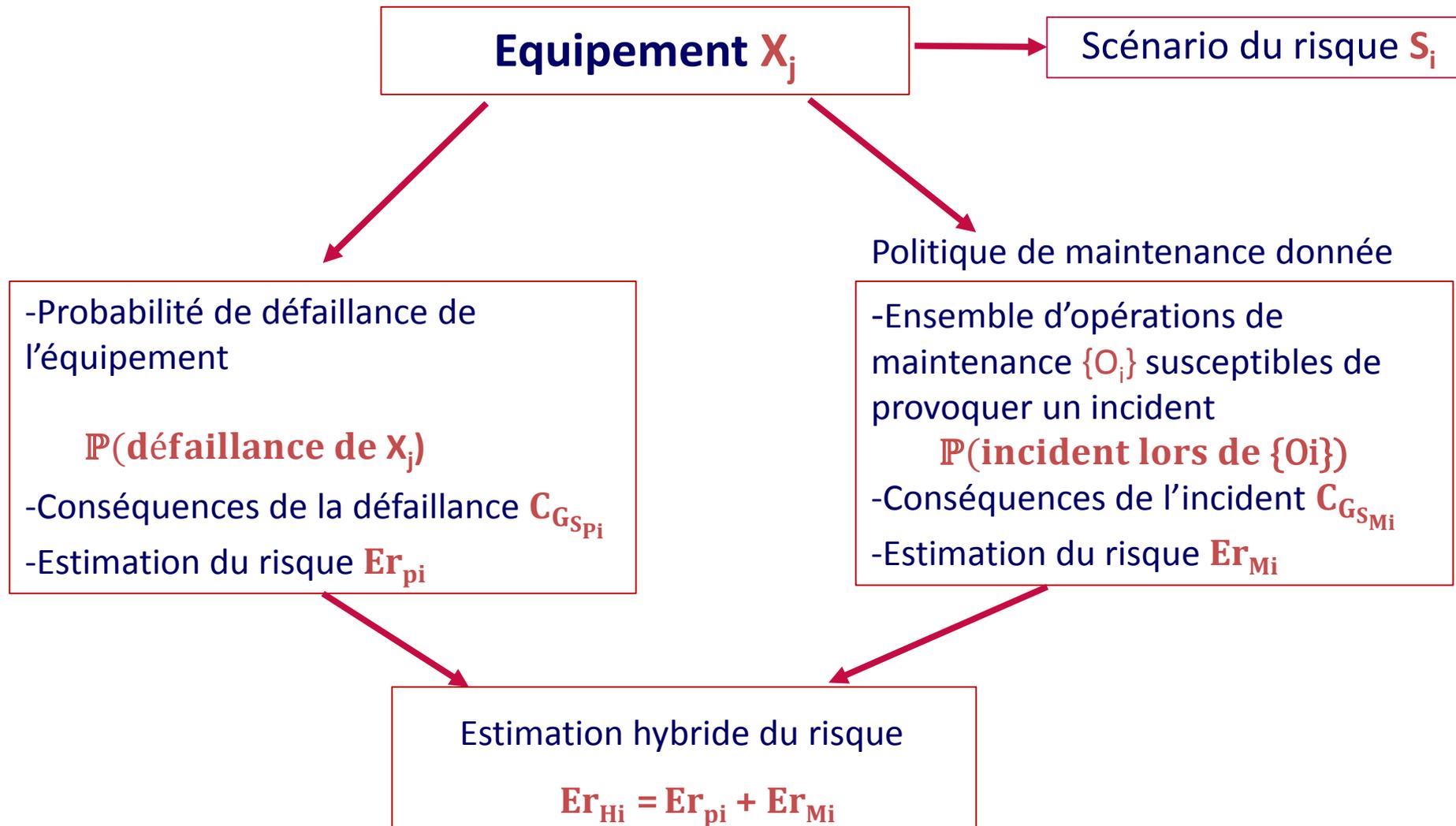
Options adoptées

- ➡
1. Pour un **niveau de maintenance donné** (évaluation comparative plutôt qu'une optimisation fine)
 2. Selon une **approche fiabiliste** (loi de Weibull)
 3. Sur un **horizon temporel donné** (durée d'observation)

I. Méthodologie MIS



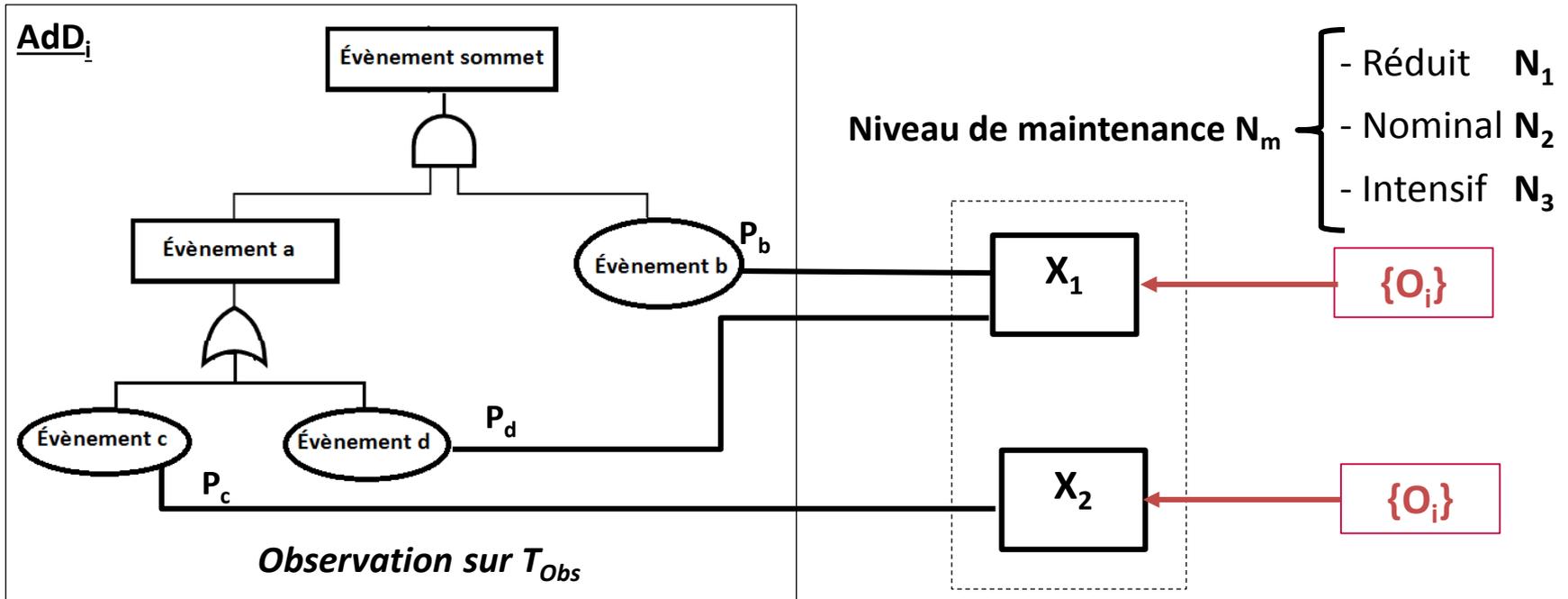
I. Méthodologie MIS



I. Méthodologie MIS

1. Etude du risque process

Analyse quantitative de la probabilité d'occurrence du risque process par l'arbre de défaillance AdD



I. Méthodologie MIS

1. Etude du risque process

Etape III : Evaluation du risque process

Gravité (G en €)	G_5					
	G_4				Zone d'inacceptabilité	du risque
	G_3					
	G_2		Zone d'acceptabilité			
	G_1					
		P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
		Probabilité (P sur T_{obs})				

I. Méthodologie MIS

2. Etude du risque maintenance

Etape II : Estimation du risque maintenance

Analyse quantitative de la probabilité d'occurrence du risque induit par la maintenance P_{rM}

$$N_m \text{ sur } X_j \Rightarrow \{O_i(T_{ijm}); (Z_{ijm}); (K_{ijm})\}$$

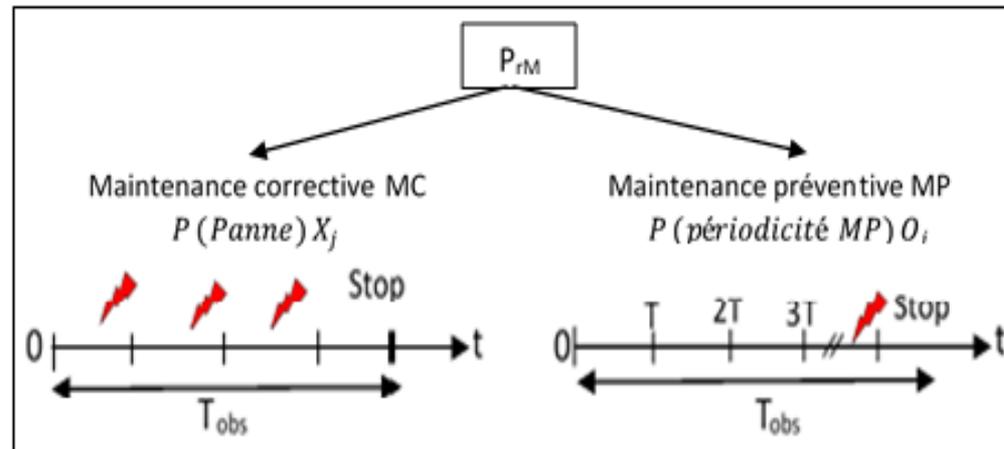
↑ Périodicité ↑ durée ↑ coût

O_i	$P_{\text{déf}}$	Probabilité d'avoir un incident lors d'une opération de maintenance O_i « $P_{\text{déf}}$ »
O_1		$P_{\text{déf}1}$
O_2		$P_{\text{déf}2}$
O_3		$P_{\text{déf}3}$
O_i		$P_{\text{déf}i}$

$$P_{MC} \left(\text{d'avoir au moins un incident pendant MC sur } T_{\text{obs}} \right) = \sum_{x=1}^{\infty} P(x \text{ pannes}) * P(\text{incident} | x \text{ pannes}) = \sum_{x=1}^{\infty} P(x \text{ pannes}) * [1 - (1 - P_{\text{déf}})^x]$$

$$P_{MP}(\text{d'avoir au moins un incident pendant MP sur } T_{\text{obs}}) = 1 - (1 - P_{\text{déf}})^n$$

$$P_{MP/C}(\text{avoir au moins un incident sur } T_{\text{obs}}) = P_{MP} + P_{MC}$$



1. Méthodologie MIS

2. Etude du risque maintenance

Estimation du risque maintenance

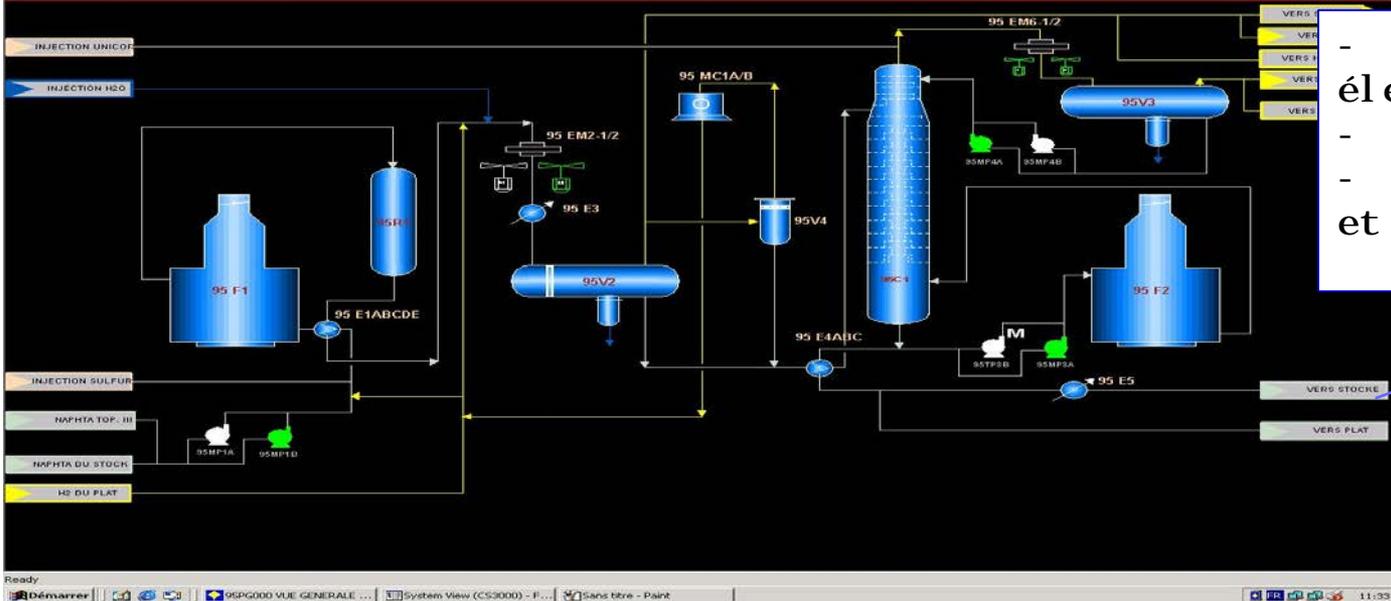
N_m	Maintenance réduite N_1	Maintenance nominale N_2	Maintenance intensive N_3
$\mathbb{P}_i (T_{Obs})$ pour le scénario S_n			
Probabilité d'avoir au moins un incident sur T_{Obs} pendant une opération de maintenance O_i	$P_{O_i,N1}$	$P_{O_i,N2}$	$P_{O_i,N3}$
Probabilité d'avoir au moins un incident sur T_{Obs} pendant une opération de maintenance O_i'	$P_{O_i',N1}$	$P_{O_i',N2}$	$P_{O_i',N3}$
Probabilité d'avoir au moins un incident sur T_{Obs} pour une opération de maintenance O_i''	$P_{O_i'',N1}$	$P_{O_i'',N2}$	$P_{O_i'',N3}$
Probabilités cumulées pour l'équipement X_j	$\sum P_{O_i,N1}$	$\sum P_{O_i,N2}$	$\sum P_{O_i,N3}$
Conséquences du risque pour X_j en €	C_{Gsi}	C_{Gsi}	C_{Gsi}
Estimation globale du risque Er_{Mi} pour l'équipement X_j	$Er_{M1} = C_{Gsi} \times \sum P_{O_i,N1}$	$Er_{M2} = C_{Gsi} \times \sum P_{O_i,N2}$	$Er_{M3} = C_{Gsi} \times \sum P_{O_i,N3}$

II. Application de la MIS sur terrain : « SAMIR »

Etape I : délimitation du champ de l'étude

Un système sous une maintenance d'un niveau donné

Unité d'hydrotraitement des essences



- Manque à gagner très élevé (52.000 euros/j);
- Historique ;
- Emplacement de l'unité et de l'équipement.

Difficulté de cette étape

le temps nécessaire à la récolte des données auprès de différentes unités, départements et/ou services ainsi qu'à leur analyse.

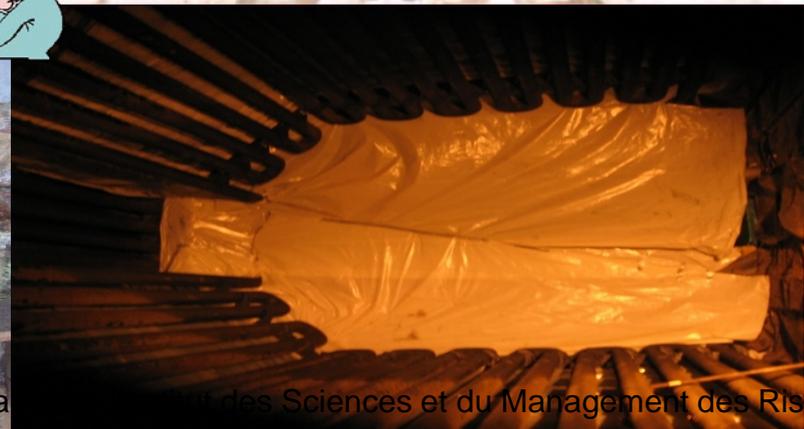


II. Application de la MIS sur terrain

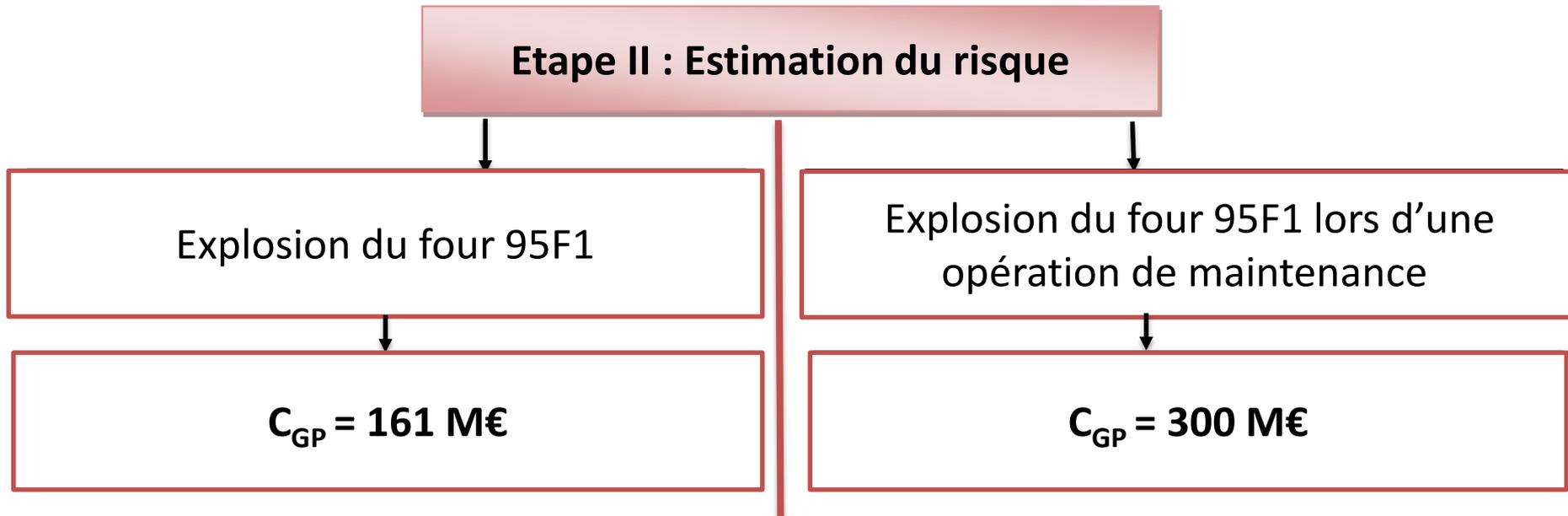
Parmi les accidents survenus au four 95 F1 :

Accident survenu en 2002 au niveau de la zone de radiation du four suite à une rupture d'un tube.

Le coût direct des dommages est de l'ordre de 620 k€.



II. Application de la MIS sur terrain



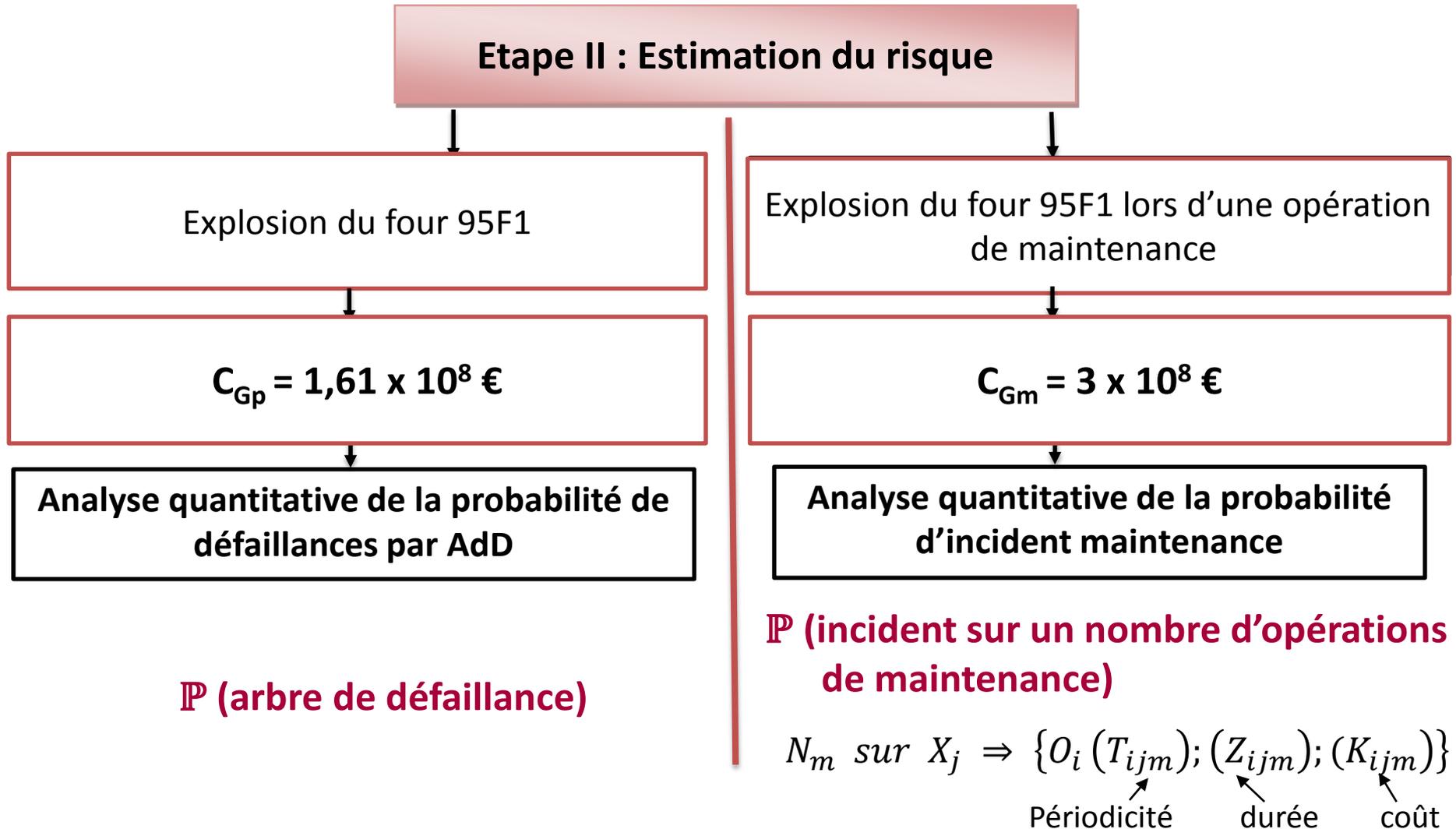
Difficultés de l'étape d'identification du risque

Choix du scénario, exemple : le choix entre explosion ou incendie sur le four 95F1, etc.

Difficultés de l'étape évaluation des conséquences

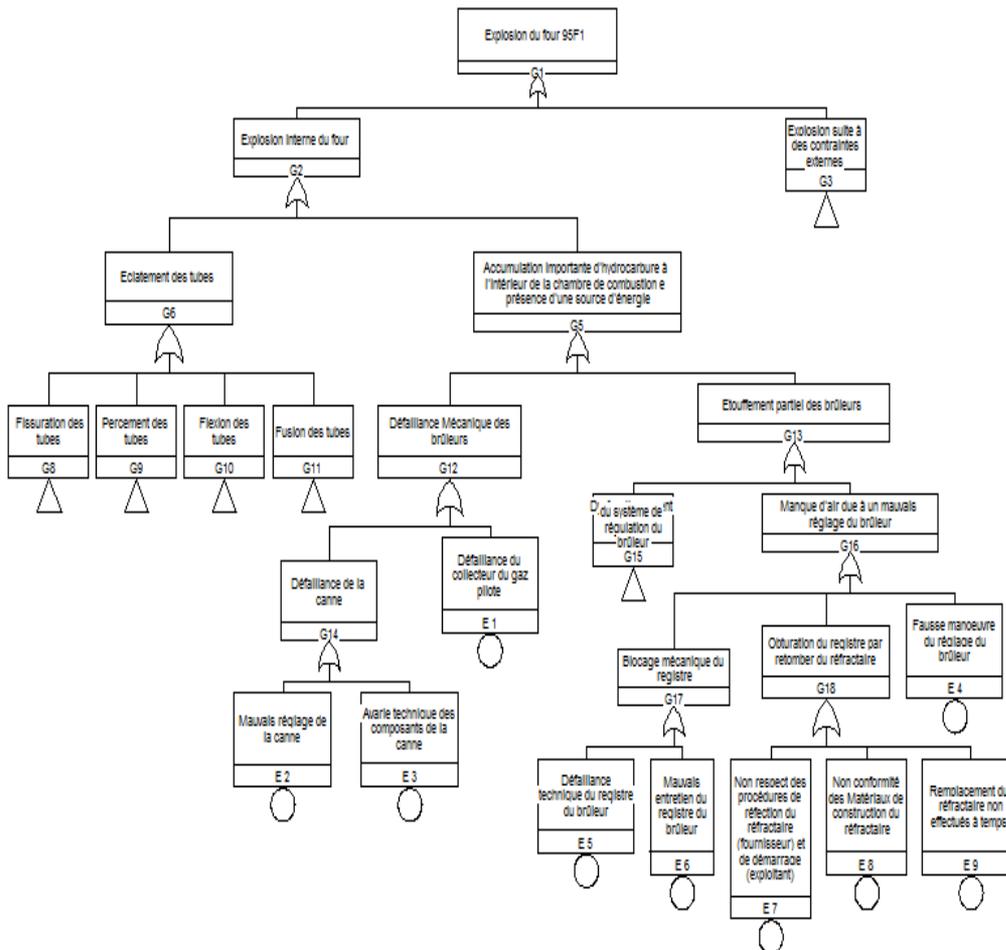
- Ce volet reste superficiel.
- L'estimation des conséquences est inexistante à la SAMIR. Néanmoins le modèle proposé doit être réadapté en fonction de l'entreprise qui va l'utiliser.

II. Application de la MIS sur terrain



II. Application de la MIS sur terrain

Analyse quantitative du risque process



Analyse quantitative du risque maintenance

	Périodicité T (ans)			La durée Z (h)			Le coût K (k€)		
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₁	N ₂	N ₃	N ₁	N ₂	N ₃
Remplacement	-	5	3	480	240	160	96	48	32
Réparation	-	2	1	56	24	16	11,2	4,8	3,2
Inspection	0,083	0,0416	0,0027	2	1	1	0,3	0,15	0,15

II. Application de la MIS sur terrain : « SAMIR »

Probabilité de l'explosion du four 95F1

$$P(\text{d'avoir au moins une panne sur } T_{\text{obs}}) = 1 - [(R(T)^n) * R(T_R)]$$

N_m	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Top event			
Probabilité d'avoir une explosion du four 95 F1	$8,35 \times 10^{-1}$	$1,589 \times 10^{-1}$	$1,182 \times 10^{-1}$

Avec $T_{\text{obs}} = 25$ ans

Elément critique de cet AdD est la **pompe**

Probabilité de l'explosion du four 95F1 lors d'une opération de maintenance

$$P_{MC}(\text{d'avoir au moins un incident pendant MC sur } T_{\text{obs}}) = \sum_{x=1}^{\infty} P(x \text{ pannes}) * P(\text{incident} | x \text{ pannes})$$

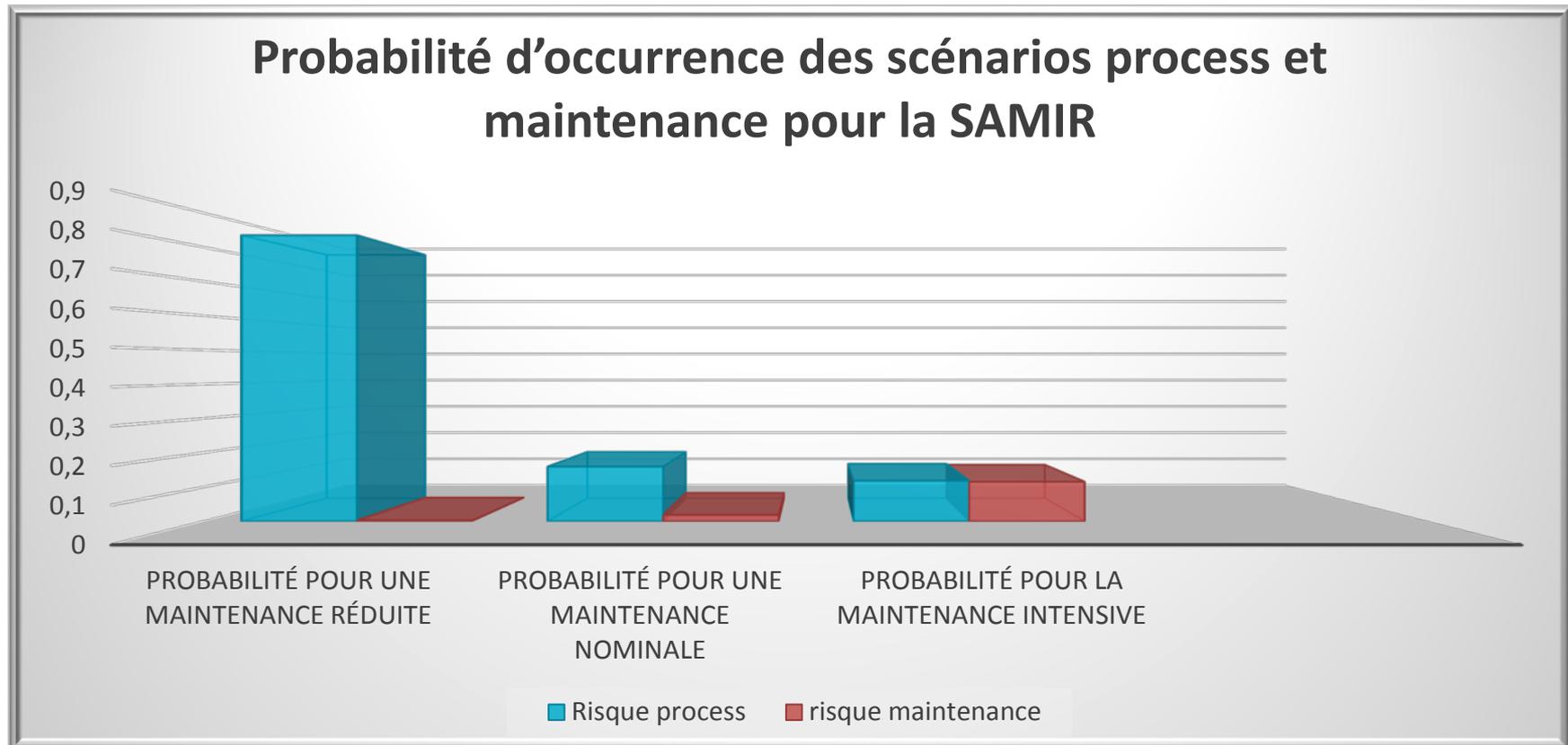
$$P_{MP}(\text{d'avoir au moins un incident pendant MP sur } T_{\text{obs}}) = 1 - (1 - P_{\text{déf}})^n$$

$P_{\text{déf}}$	Probabilité d'avoir un incident lors d'une opération de maintenance O_i « $P_{\text{déf}}$ » sur le four 95 F1
Réparation	1/1000
Remplacement	1/5000
Inspection	1/100.000

Pour $\beta=3$ et $\eta=2,522$

Probabilité d'avoir au moins un incident pendant O_i et sur $T_{\text{obs}} = 25$ ans pour le four 95 F1			
N_m	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
O_i			
Remplacement	$2,119 \times 10^{-5}$	1×10^{-3}	$1,598 \times 10^{-3}$
Réparation	$1,009 \times 10^{-4}$	$1,193 \times 10^{-2}$	$2,47 \times 10^{-2}$
Inspection	$2,995 \times 10^{-3}$	$5,982 \times 10^{-3}$	$8,843 \times 10^{-2}$

II. Application de la MIS sur terrain : « SAMIR »



Difficulté de l'étape

L'estimation des probabilités de défaillances est incertaine, notamment lorsque l'erreur humaine intervient.

Objectif de l'exposé

- Vous convaincre que la maintenance bénéficie de la maturité d'apports scientifiques et technologiques, fondamentaux et appliqués
 - Statistique mathématique au service de la caractérisation des défaillances
 - Data Science pour la détection, le diagnostic et le pronostic
- Vous convaincre que la maintenance reste complexe et centrée sur l'homme
 - Maintenance et risques
- Vers une définition de la *maintenance intelligente*

E-maintenance ou maintenance intelligente: mode ou (r)évolution?

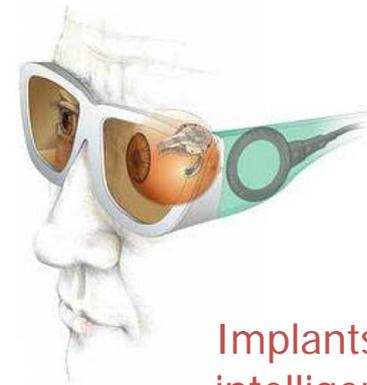


Voiture intelligente
(Nissan)



Back of the TRON Intelligent House

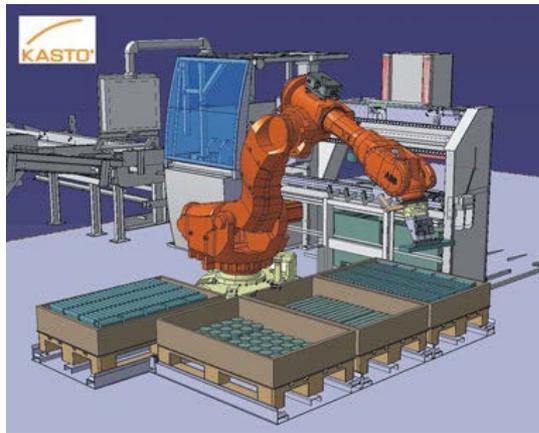
Maison intelligente
(Tron)



Implants médicaux
intelligents
(Intmedimplants)



Tickets de caisse
intelligents
(TicketMarketing)



Systèmes de
production intelligents

Perception
Analyse
Adaptation

Une définition de la maintenance

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. (AFNOR, 2001)

La performance devient l'obsession du XXI^e siècle.

La maintenance a pour objectif d'assurer la performance d'un système de production, en respectant le coût et le délai prévus. (Mechin, 2007)

La maintenance ambitionne de contribuer à la performance. (Sénéchal, 2004)

Une brève histoire de la maintenance

Avant 1950

Manufacture
Correctif

1950 - 1975

Mécanisation
Préventif
systématique
Longévité,
disponibilité,
coûts

1975 - 2000

Automatisation
Préventif
conditionnel
Sûreté de
fonctionnement

Après 2000 -

Globalisation
Prévisionnelle

Mal nécessaire
Intervention

GMAO
Service technique
Opération

Surveillance et
diagnostic

Optimisation
maintenance

RCM, TPM, 6 σ ,
humain

ERP , TIC

Valeur ajoutée

Tactique et
stratégie

Pronostic

Performance
globale

e-business

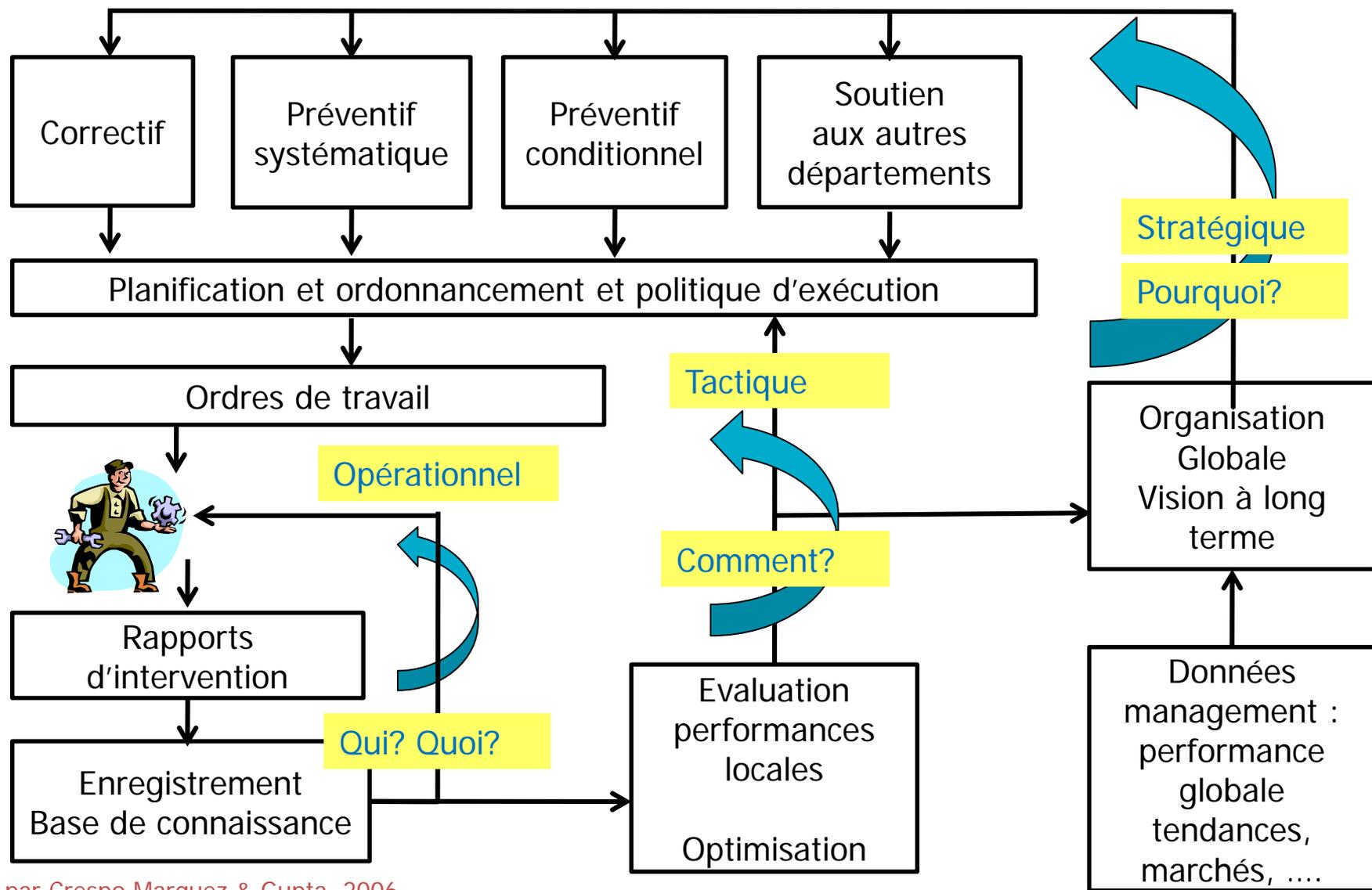
IoT

Partenariat

Stratégie globale

Adapté de G. Wayenbergh, L. Pintelon, 2002, *International Journal of Production Economics*, 77, 299-313.

Un cadre pour la gestion de la maintenance



Inspiré par Crespo Marquez & Gupta, 2006,
Omega, 34, 313-326.

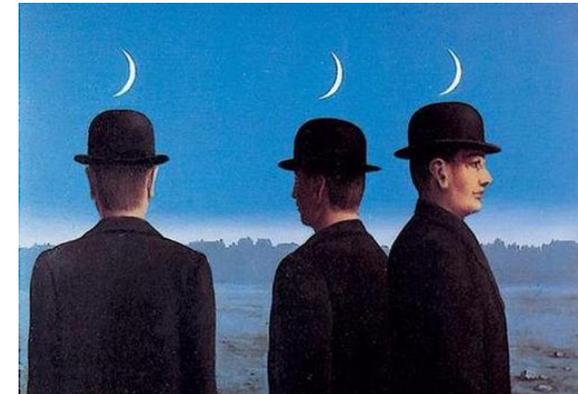
Une première définition de la maintenance intelligente

- La maintenance intelligente peut se définir comme l'ensemble des technologies, compétences et méthodes permettant de décider de la meilleure stratégie de maintenance à partir de l'analyse de l'ensemble des données relatives au bien et à son environnement.
- Première spécificité: globalisation
le champ d'investigation ne se limite pas à l'objet technique
 - Contexte socio-économique de l'exploitation
 - Intégration des partenaires et clients: coordination, coopération, négociation
 - Contexte stratégique



Une première définition de la maintenance intelligente

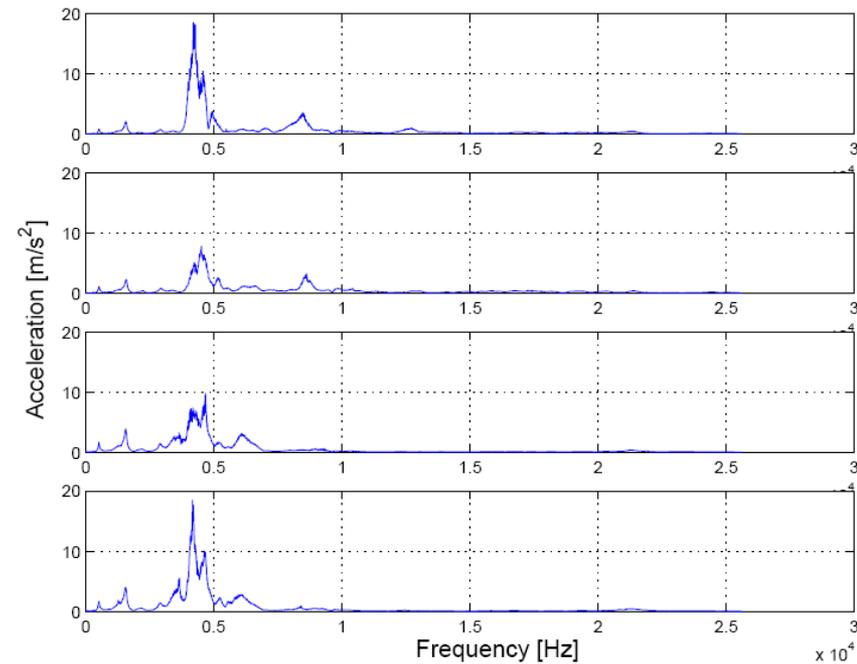
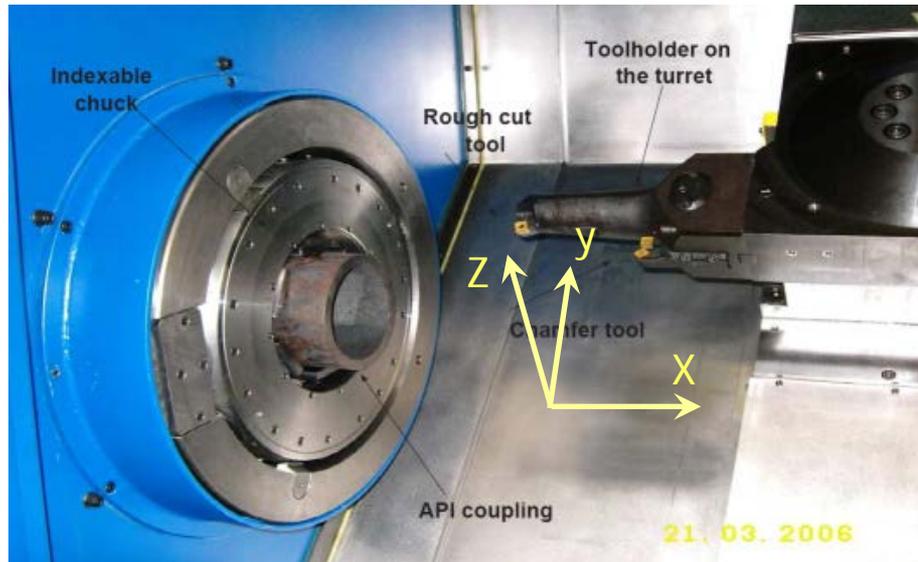
- La maintenance intelligente peut se définir comme l'ensemble des technologies, compétences et méthodes permettant de décider de la meilleure stratégie de maintenance à partir de l'analyse de l'ensemble des données relatives au bien et à son environnement.
 - Deuxième spécificité: exploitation de toutes les données
 - relatives au bien: indicateurs de performance
 - collation données exploitation / maintenance
 - surveillance / diagnostic / pronostic
 - relatives à son environnement
 - décloisonnement maintenance / production
 - Internet of Things
 - aspects économiques



Surveillance, diagnostic, pronostic

- ❑ Mesure et traitement du signal : définition d'indicateurs
 - ❑ Grandeurs scalaires (températures, concentrations, puissances, débits, **y compris les conditions de fonctionnement...**)
 - ❑ Grandeurs vectorielles (décomposition du signal, ...)
 - ❑ Analyse en composantes principales
- ❑ Niveau 1 : Surveillance - Détection d'un défaut
 - ❑ Comparaison des indicateurs à des seuils (comment les fixer?)
- ❑ Niveau 2 : Diagnostic de défauts
 - ❑ Comparaison de signatures: algorithmes de reconnaissance des formes
- ❑ Niveau 3 : Pronostic – Évaluation des durées de vie résiduelles
 - ❑ Lien entre indicateurs physiques et fiabilité
 - ❑ Lien entre modèles physiques et fiabilité (*physics of failure*)

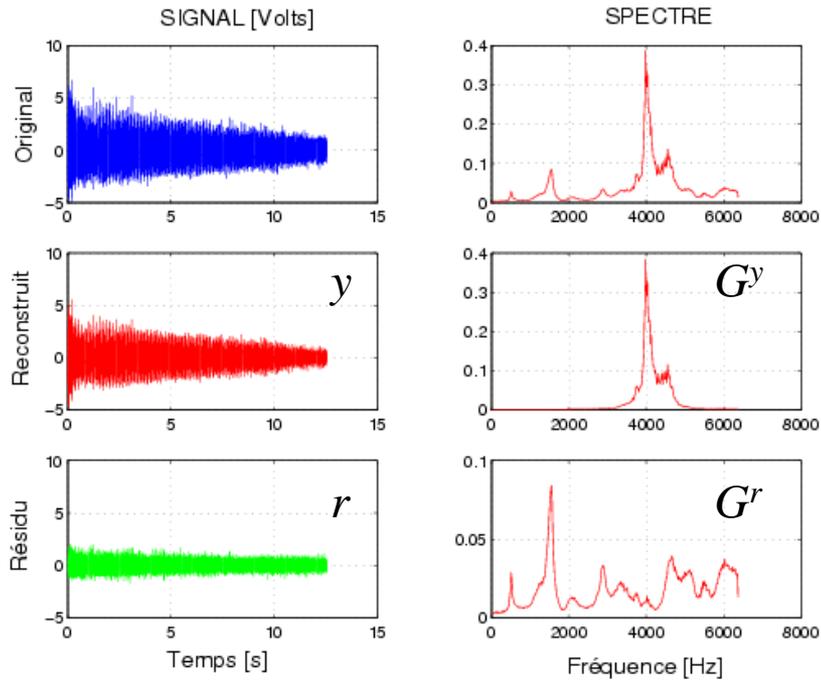
Estimation de l'usure d'outils de coupe



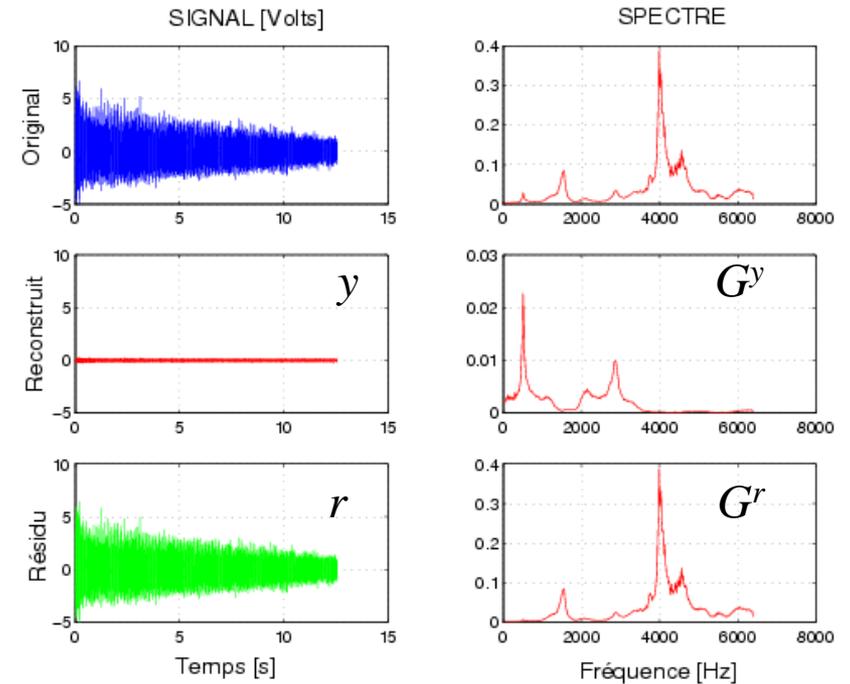
- Filtrage
- Sous-échantillonnage
- Analyse spectrale singulière pseudo-locale + reconstruction
- Filtrage passe bande

Estimation de l'usure d'outils de coupe

RC1



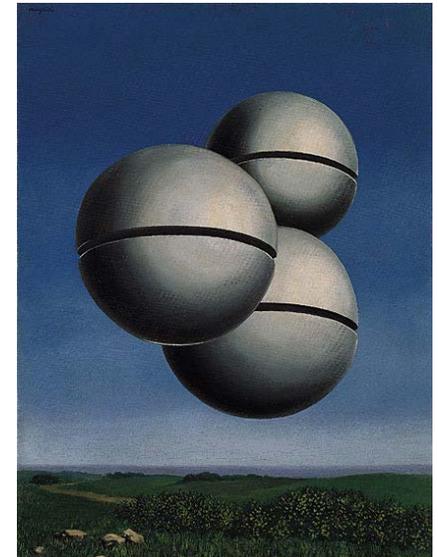
RC5



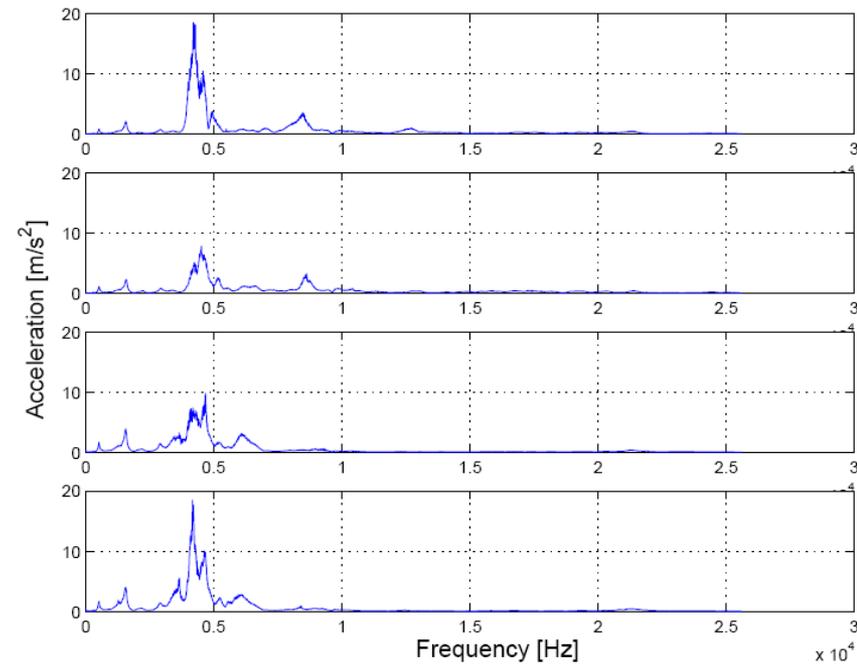
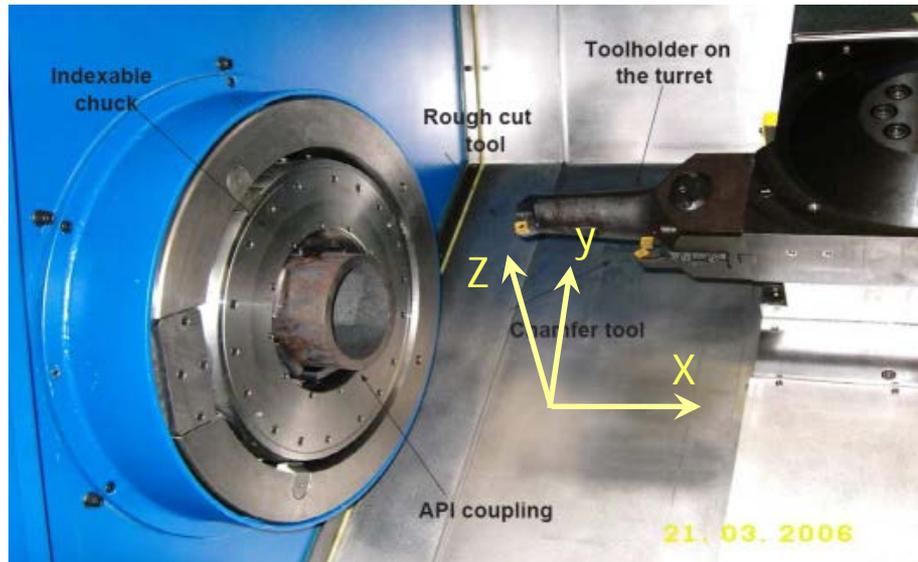
$$v = B \frac{\sum_k G_k^r}{\sum_k G_k^y} \quad B = \frac{1}{A \cdot V} \quad \begin{array}{l} A = \text{avance} \\ V = \text{vitesse coupe} \end{array}$$

Une première définition de la maintenance intelligente

- La maintenance intelligente peut se définir comme l'ensemble des technologies, compétences et méthodes permettant de décider de la meilleure stratégie de maintenance à partir de l'analyse de l'ensemble des données relatives au bien et à son environnement.
- Troisième spécificité: transformation des données en informations utiles à la prise de décision
 - *intelligent data analysis*
 - gestion des incertitudes et erreurs
 - outils d'aide à la décision multicritères
 - analyse en temps réel



Estimation de l'usure d'outils de coupe



- Filtrage
- Sous-échantillonnage
- Analyse spectrale singulière pseudo-locale + reconstruction
- Filtrage passe bande

Estimation de l'usure d'outils de coupe

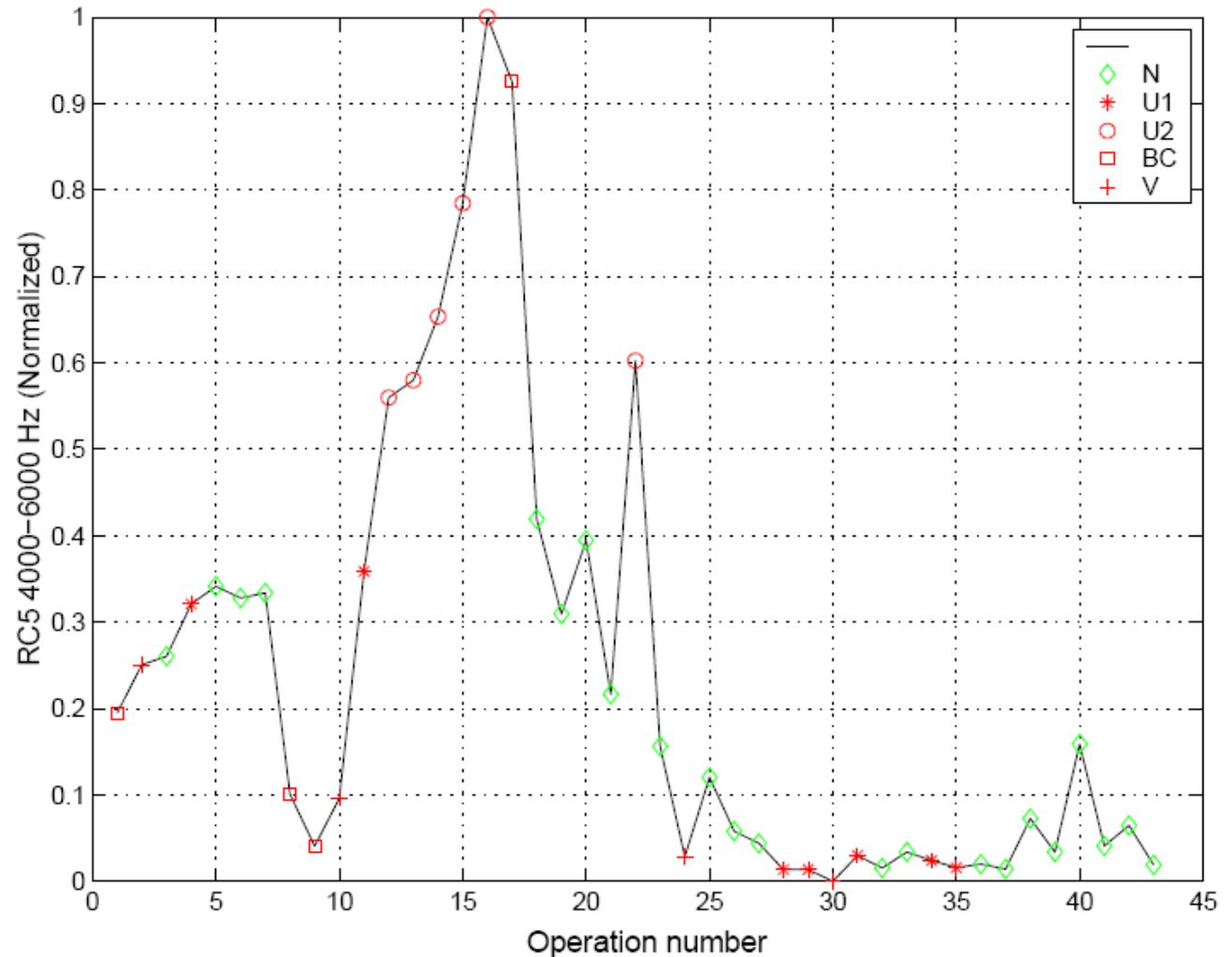
Etat particulier	Symbole	Effectif
Plaquette neuve	N	22
Faible usure	U1	7
Usure modérée ou avancée	U2	6
Bourrage copeau	BC	4
Passage à vide	V	4

❑ Base de données de faible taille

- ❑ Sélection des caractéristiques
- RC1 4000-6000 Hz;
 - RC3 2000-4000 Hz;
 - RC5 4000-6000 Hz;
 - Avance *A*

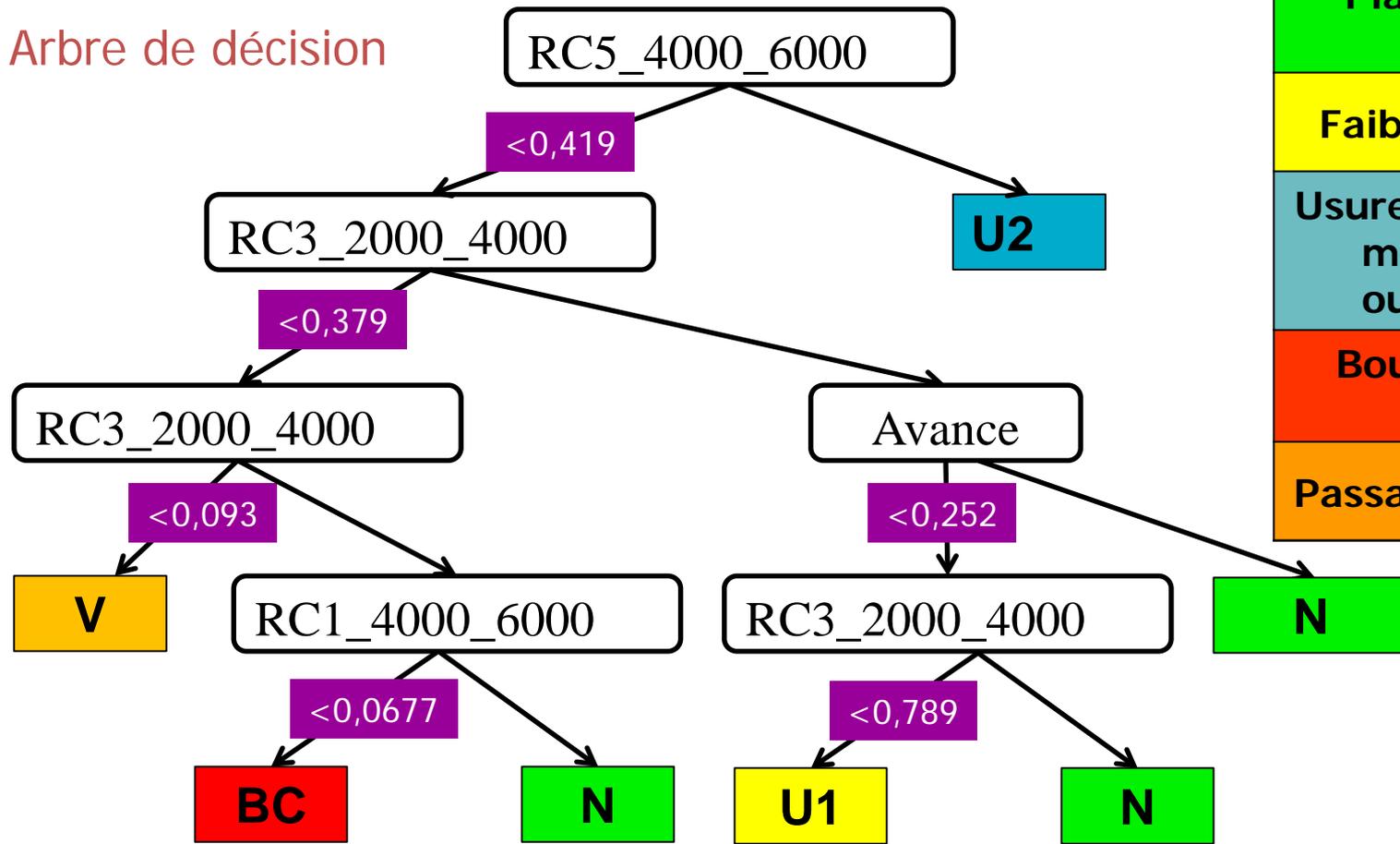
Estimation de l'usure d'outils de coupe

Plaquette neuve	N
Faible usure	U1
Usure modérée ou avancée	U2
Bourrage copeau	BC
Passage à vide	V



Estimation de l'usure d'outils de coupe

Arbre de décision



Plaquette neuve	N
Faible usure	U1
Usure modérée ou avancée	U2
Bourrage copeau	BC
Passage à vide	V

Taux de succès	N	U1	U2	BC	V
Arbres de décisions	73%	100%	100%	50%	50%

Une première définition de la maintenance intelligente

- La maintenance intelligente peut se définir comme l'ensemble des **technologies**, compétences et méthodes permettant de décider de la meilleure stratégie de maintenance à partir de l'analyse de l'ensemble des données relatives au bien et à son environnement.
- Quatrième spécificité:
 - gestion électronique de l'information, en temps réel
 - nouvelles technologies offrent plus qu'un simple support
 - communication entre sites, partenaires, clients distants
 - partage d'informations et de ressources
 - intégration de capteurs aux systèmes techniques
 - assistance multimédia aux opérateurs



Une première définition de la maintenance intelligente

- La maintenance intelligente peut se définir comme l'ensemble des technologies, **compétences et méthodes** permettant de décider de la meilleure stratégie de maintenance à partir de l'analyse de l'ensemble des données relatives au bien et à son environnement.

Cinquième spécificité:

- maintenance a bénéficié d'un apport méthodologique progressif et continu
- pas de remise en cause des apports précédents, plutôt comme une consolidation technologique (phase de maturité)



Conclusions

- ❑ La maintenance intelligente vise une optimisation globale par une analyse des données de toutes natures, conciliant conception, production et maintenance.

- ❑ Démarche ambitieuse car elle s'adresse à l'ensemble des aspects de la gestion du produit industriel
 - humain (socio-technique, participation)
 - matériel (objets techniques évolués (mécatronique, ...))
 - informationnel (données)
 - opérationnel (organisation)
 - décisionnel (arbitrage)

Modélisation des dégradations	Modes de dégradation - modèles de comportement physique - <i>physics of failure</i>
Conception d'unités de production	Ingénierie des besoins - Définition des performances attendues Implantation du système de production (flexible, agile, autonome, coopératif, distribué...), intégration de systèmes complexes
Collecte des données	Mesure de grandeurs physiques - Capteurs - Contrôle non destructif Mesures opérationnelles (performance, ...)
Centralisation des données	Bases de données (GMAO, ERP, MES...) Gestion électronique des documents, gestion des connaissances, retour d'expérience
Transmission des données	Télécommunications, réseaux informatiques, réseaux industriels, réseaux sans fil Identification, localisation, sécurisation, protection Multimédia, interfaces homme-machine
Analyse des données	Traitement du signal - extraction d'indicateurs de défauts Validation des données, fusion de données, data mining Fiabilité statistique et sûreté de fonctionnement Health management : détection, diagnostic, pronostic (durée de vie résiduelle)
Décisions et actions	Contrôle et régulation des processus Recherche opérationnelle - simulation flux Aide à la décision - intégration du risque Stratégies de maintenance (RCM, TPM, logistique, LCC, e-maintenance, ...) Valorisation des acteurs humains dans un projet d'entreprise

Objectif de l'exposé

- Vous convaincre que la maintenance bénéficie de la maturité d'apports scientifiques et technologiques, fondamentaux et appliqués
 - Statistique mathématique au service de la caractérisation des défaillances
- Vous convaincre que la maintenance reste complexe et centrée sur l'homme
 - Maintenance et risques
- Vers une définition de la *maintenance intelligente*

La maintenance a besoin d'ingénieurs, dans le monde entier!

- Prof. Pierre Dehombreux, doyen
 - www.pierredehombreux.eu

