

Concevoir robuste, est-ce maîtriser les risques?

André Lannoy, V1-1 résumée, 03 04 2010

Résumé

Dans un premier temps, l'exposé tente de définir la robustesse, mais s'oriente bien vite vers les concepts du risque et de la sûreté de fonctionnement. Il faut être fiable, maintenable, disponible, durable, ... Les objectifs industriels ne concernent plus seulement la sécurité (comme jadis) mais aussi l'économie, l'environnement, les personnes, la société... La maîtrise des risques (la fiabilité en particulier) est devenue un élément multiple, essentiel pour les enjeux de sécurité et de performances des entreprises, et du ressort des décideurs au sens large (managers, ingénieurs, autorités, ...). L'exposé décrit brièvement le processus de gestion du cycle de vie d'un bien (conception, exploitation, extension de la durée de vie) et démontre que ce processus s'apparente à un problème d'optimisation des performances (notamment de la disponibilité) sous contraintes (de sûreté et réglementaires, de coûts). La fiabilité des structures-systèmes-composants, une composante essentielle de la sûreté de fonctionnement, s'avère multiforme, fonction des différentes phases du cycle de vie. De nombreuses difficultés se posent lorsqu'on souhaite l'estimer: la nature du composant (actif ou passif), la taille du retour d'expérience et sa nécessaire validation avant tout usage, l'effet perturbateur de la maintenance préventive qui vise à réduire la probabilité de défaillance, le choix d'une méthode d'estimation ce qui suscite souvent de vives controverses entre les « fréquentiels » et les « bayésiens ». En conclusion, la maîtrise des risques conduit à une évolution culturelle des pratiques classiques de conception et d'exploitation. Elle permet à la fois de comprendre le passé et de préparer le futur. Elle ne dispense pas d'être pragmatique et de toujours juger et mesurer ses résultats à l'aune du bon sens physique. Les enjeux opérationnels et les pistes de R&D à développer dans un proche avenir sont évoqués.

Sommaire

- ***1 De la robustesse à la sûreté de fonctionnement***
- ***2 Quelques définitions***
- ***3 Cycle de vie et SdF***
processus de conception, objectifs, méthodes, SI
- ***4 Cycle de vie et enjeux industriels***
- ***5 Les différentes fiabilités***
 - *comparée, allouée, prévue, mesurée*
 - *les difficultés rencontrées*
 - *exemple de méthodes d'estimation*
- ***6 Conclusions et perspectives de R&D***

1 De la robustesse à la sûreté de fonctionnement

Qualité

Fiabilité

Maintenabilité

Disponibilité

Sécurité

Sûreté

Durabilité

Logistique

Communication

...

1 De la robustesse ...

- *robustus* → force, vigueur
- en mécanique → solidité
- en métrologie → **qualité** d'une méthode de mesure
- en statistique → robustesse d'un estimateur
- en ingénierie → stabilité des **performances**
(remplit les fonctions attendues)

1 ... à la maîtrise des risques...

- **Robustesse**: rapport entre la variation de la performance et la variation de chaque paramètre influant sur celle-ci.

La robustesse est la **maîtrise de l'incertain**(Lemaire, 2009).

- **Risque**: effet de **l'incertitude** sur l'atteinte des objectifs (ISO 31000, 2009)

Deux dimensions (Bernoulli, 1738), déterministe et probabiliste

L'analyse de risque est un processus, qualitatif et quantitatif, nécessitant 4 phases:

- 1 identification, compréhension;
- 2 évaluation, hiérarchisation;
- 3 mitigation, décision;
- 4 contrôle, retour d'expérience.

2 Quelques définitions (1)

[Définitions extraites de la norme EN13306 (2001)]

- **Fiabilité**: aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné – *notion qualitative, également utilisée pour désigner la valeur de la probabilité d'être en état de bon fonctionnement, confiance technique*
- **Durabilité**: aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données d'usage et de maintenance, jusqu'à qu'un état limite soit atteint – *sous-entend l'existence d'une limite, réglementaire, technico-économique, maintenabilité...*

2 Quelques définitions (2)

[Définitions extraites de la norme EN13306 (2001)]

- **Maintenance corrective**: maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise – *remise en état de bon fonctionnement, aspect technologique - SLI, réactivité*
- **Maintenance préventive**: maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien – *éviter la perte de fonction, notion probabiliste, anticipation, prévision*

2 Quelques définitions(3)

[définitions extraites de (Villemeur, 1988)]

- **Composant**: la plus petite partie d'un système qu'il est nécessaire et suffisant de considérer pour l'analyse du système – *actif ou passif, pièce d'usure ou de rechange, feuille terminale de l'arborescence fonctionnelle - matérielle*
- **Système**: ensemble déterminé d'éléments (comme des composants) connectés entre eux, en interaction – *à noter: SSC; ensemble composite d'éléments divers: équipements, procédures, acteurs humains, ...*

3 Cycle de vie et SdF

- **Objectifs**
- **Processus de conception**
- **Les différentes phases du cycle de vie**
- **Les méthodes associées**

Les objectifs

Tout processus de conception s'apparente à un problème d'optimisation sous contraintes (par la recherche d'un **compromis performances – coûts**), par exemple:

Maximiser la disponibilité

ou minimiser le coût de production

Sous contraintes:

- *Respect des contraintes réglementaires*
- *Enveloppe budgétaire*

Les objectifs, exemple de l'EPR

- Projet PWR - REP
- Profiter du retour d'expérience et des pratiques étrangères, **minimiser le coût moyen de production**

- Objectifs:

Disponibilité > 90%

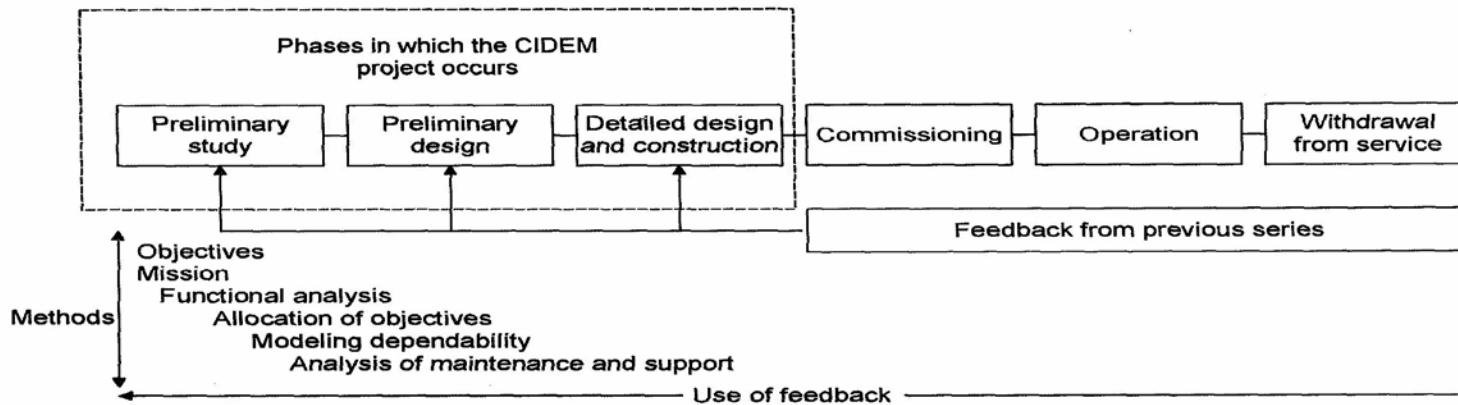
Durée de l'arrêt pour rechargement < 19 jours

Indisponibilité fortuite < 2%

Dosimétrie < 0.6 homme.Sv/ tranche /an

- Contraintes: fusion du coeur < 1. E-6 / tranche / an
- Respect des réglementations

LIFE CYCLE PHASES CONCERNED



Les phases du cycle de vie.

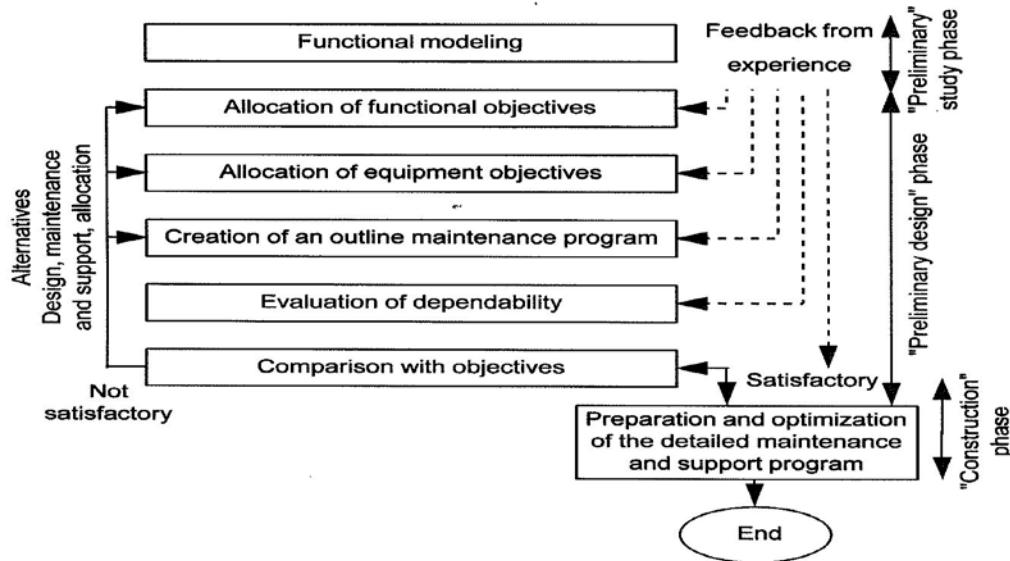
La démarche de conception (1)

- Une optimisation globale
- Des besoins: disponibilité, maintenance, SLI, retour d'expérience, sûreté, (dosimétrie)
- Une évaluation quantitative des différents paramètres
- Une traçabilité (et une automatisation) des études
- Un système d'information capable de collecter et gérer les données manipulées afin de faciliter la gestion de la conception et la transmission à l'exploitation

La démarche de conception (2)

- Une **démarche globale**, un caractère **pluridisciplinaire**, un puzzle d'activités techniques, le problème de la gestion des flux d'informations
- De nouvelles pratiques en conception
- Une démarche itérative:
 - interactions avec le processus usuel de conception
 - interactions permanentes entre la modélisation et l'évaluation de la SdF et la préparation du programme de maintenance
- **Des difficultés organisationnelles** (management, ingénierie "traditionnelle", SdF, CAO, SI...), une évolution culturelle
- Le caractère stratégique du retour d'expérience

SIMPLIFIED DIAGRAM OF THE OVERALL PROCESS



La démarche globale.

Méthodes utilisées dans une démarche de conception (a minima)

- Analyse fonctionnelle
- Méthodes d'allocation d'objectifs de SdF
- Modélisation de la disponibilité
- Evaluation de l'indisponibilité fortuite
- Adaptation de la méthode OMF - RCM à la conception
- Analyse des coûts de maintenance
- Evaluation de la durée d'un arrêt programmé
- Analyse du retour d'expérience et évaluation quantitative des paramètres de SdF

La nécessité d'un système d'information (1)

- **Destiné à supporter la démarche**
- **Capable de transmettre les données et informations à l'exploitant, notamment pour l'aider à définir sa stratégie de maintenance**

La nécessité d'un système d'information (2)

- **Un modèle de données à concevoir**
- **Une intégration (liaison) souhaitée dans la CAO**
- **L'intégration des arborescences fonctionnelle – matérielle**
- **Des informations sur les dysfonctionnements, les défaillances, les modes, les mécanismes de dégradation, les tâches de maintenance, les paramètres de SdF**
- **Faire la distinction entre les valeurs “comparée”, allouée, prévue, mesurée (voir ci-après)**
- **Des outils logiciels connectés au SI: a minima, analyse fonctionnelle, allocations, analyse et traitement du retour d'expérience, modèle de disponibilité, OMF**

4 Cycle de vie et enjeux industriels (1)

Le contexte en conception

- Innovation
- Coût de production bas
- Délai court de développement
- Qualité totale
- Zéro défaut

4 Cycle de vie et enjeux industriels (2)

Objectif en conception: atteindre les exigences de fiabilité

- **Élimination des points faibles**
- **Aide à la décision pour les choix technologiques**
- **Démonstration de l'exigence de fiabilité**
- **Qualité**

4 Cycle de vie et enjeux industriels (3)

Le contexte en exploitation

- **Sûreté et performances, compétitivité**
- **Prolongation de la durée d'exploitation**
- **Coût d'exploitation-maintenance faible**
- **Risque zéro**

4 Cycle de vie et enjeux industriels (4)

Objectif en exploitation: **maintenir et améliorer les exigences de SdF**

- **Vérification des clauses de fiabilité**
- **Calcul de la fiabilité opérationnelle**
- **Données EPS**
- **OMF, efficacité de la maintenance**
- **Surveillance des paramètres de SdF**
- **Estimation de la durabilité**
- **Valorisation technico - économique**

Un paramètre essentiel:

la fiabilité

Exemple 1: la démarche OMF – RCM- les données de fiabilité nécessaires

- Tâche 1 - Hiérarchiser les composants par leur contribution à la sûreté, à la disponibilité et aux coûts.

Taux d'occurrence de chaque mode - Criticité.

- Tâche 2 - Identifier le mécanisme de dégradation.

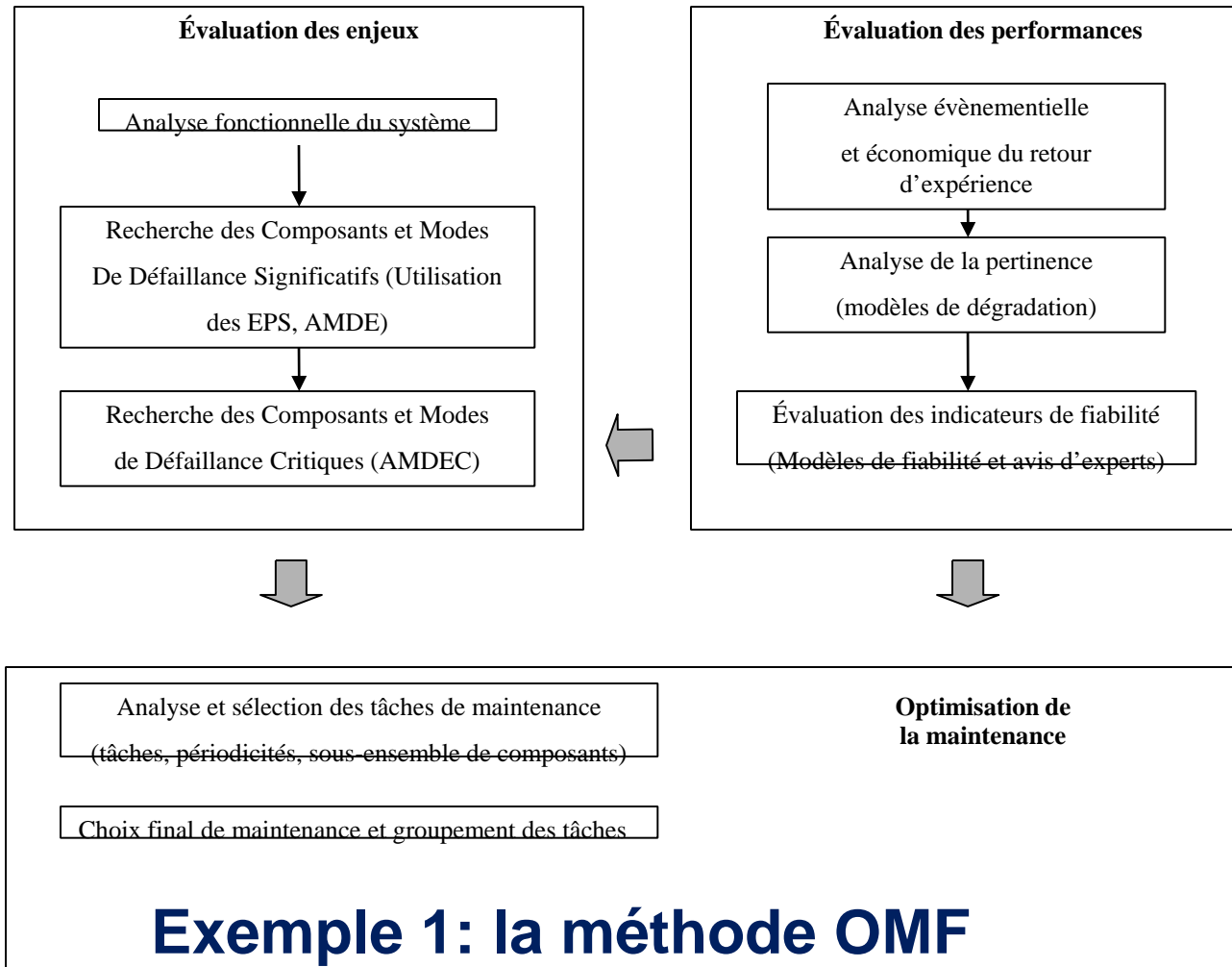
Retour d'expérience - Historique de maintenance.

- Tâche 3 - Elaborer les tâches de maintenance.

Optimisation - Efficacité des tâches de maintenance préventive.

- Tâche 4 - Surveiller (voir les recueils de données)

Calcul des paramètres de fiabilité et de leurs incertitudes.



Exemple 1: la méthode OMF appliquée aux composants passifs (structures, tuyauteries, ...)

Eireda 2000

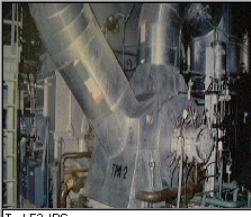
File Mode Edit View Switch Mode Help

C:\PROGRAM FILES\EIREDA2 Failure Type EPS

Mechanical Electrical

Component Pump Feedwater Main Pump 900.

Function Main Feedwater Pump ANG 001 002 PO APP 001 002 003 004 PO CP1,CP2



Turb53.JPG

Engineering Characteristics

Type: Centrifugal, Turbine Driven
Power (kW): 2240/4840
Flowrate (m3/h): 1600/3240
Head (M): 310/570
RPM: 980/4840
Temp (°C): 270

Operational Characteristics

Operating Mode on annual basis : permanent

Operating Time : 6280

Number of demands : 44

Maintenance Policy : 1R type B 2R type C

Test Periodicity : 4 weeks 1R

		Failure Rate lamda/h(E-G)		Probability of Failure on Demand Gamma/d(E-3)		Repair Time	Sample		
		Lambda/h	Lambda min	Gamma/d	Gamma min	T : h	Plant year	Eq/Plant	Eqpts *Year
Prior	78/87	6.3	4.68	0.26	0.15	33			387
	Critical	EF	Lambda max	EF	Gamma max	M/h			
			8.19		0.38	98			
Likelihood	88/98	Nb Failure	Cumulative Time (h)	Nb Failure	Nb Demands	Mtrr : h			514
		9	3.30E+06	2	1,77E+04	35			
Posterior Probability Interval		4,96		0,21		Man * h	Unavailability (MWh)		
		90 %		90 %		109			
		3,8	6,27	0,13	0,31				
Post Pdf Parameters		Gamma	43,2	8699171	Beta	14,9	68694		
Failure Mode		Mode	External leak (7 déf. (50%))		Mode	Loss of lubrication (4 déf. (28.5%))			
Other Suspect EG&G		Critical	0,5	10					

Records Reference Date 08-26-2000

Comments EPS Prior:reference data from all feedwater system pumps (CEX_APP.VTN.ACD)

For Help, press F1

Num Maj DÉFIL

Démarrer Gestionnaire d... Inbox - Dossier... Microsoft Pow... Eireda 2000 15:34

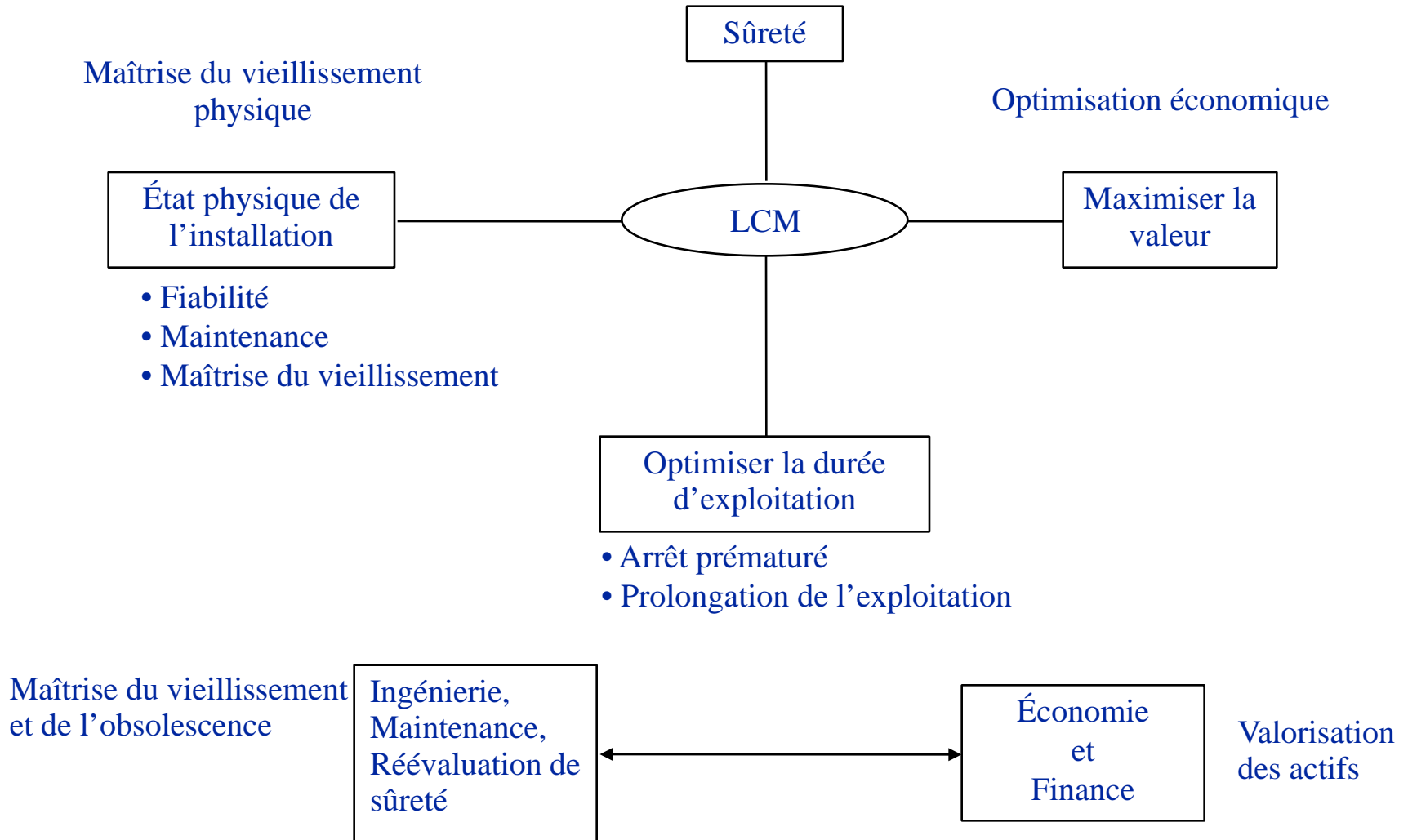
Exemple 2 – Surveillance des paramètres de SdF (le recueil EIReDA 2000)

Exemple 3: la démarche LCM (Life Cycle Management)

Intégration de l'ingénierie, de l'exploitation, de la maintenance, de la réglementation, de l'environnement et de la planification économique pour :

- **maîtriser le vieillissement,**
- **valoriser les actifs industriels (*asset management*),**
- **optimiser la durée d'exploitation,**
- **maximiser le retour d'investissement,**

tout en maintenant la sûreté (Sliter, 2003).



Le processus LCM de gestion du cycle de vie

5 Les différentes fiabilités

La fiabilité est multiforme.

- **“comparée”**: opérationnelle, phase d’avant-projet, études préliminaires
- **allouée**: exigence, valeur seuil de référence, phase de spécification
- **prévue (ou prévisionnelle)** *à la conception*: calculée et comparée à l’allouée
- **prévue** *en exploitation –extension de durée de vie*: calculée et comparée à un seuil
- **mesurée**: opérationnelle; phase d’exploitation

Les difficultés rencontrées pour estimer la fiabilité

- **Le type de composant (actif / passif; réparable / non réparable)**
- **Le retour d'expérience**
- **L'effet "perturbateur" de la maintenance préventive**
- **La controverse fréquentiel / bayésien**

Le type de composant

Actif

- Composants complexes
- Multiples mécanismes de dégradation et multiples modes de défaillance
- Modélisation physique difficile
- Fiabilité classique et fiabilité bayésienne généralement adaptées
- Fiables et bien maintenus (ils font l'objet de programmes OMF, surveillance), défaillances donc peu nombreuses
- Évolution fréquente des procédures d'exploitation-maintenance
- Données incomplètes
- Modélisation par une loi exponentielle ou une loi de Weibull

Passif

- Un faible nombre de mécanismes de dégradation
- Dégradation lente et progressive
- Défaillances rares (voire aucune défaillance)
- Fiabilité classique souvent non adaptée
- Modélisation physique de la dégradation : initiation, propagation
- Modélisation mécanique, thermomécanique
- Méthodes numériques nécessaires
- Mais si des données de défaillance sont disponibles, on peut utiliser l'approche bayésienne

Le retour d'expérience

- Maigre à la conception
- Incomplet en exploitation
- Le problème du zéro défaillance
- La nécessité de le valider avant toute utilisation, avant tout calcul
- Généralement un faible nombre de défaillances
- Et une forte proportion de données censurées (souvent censurées à droite, tronquées type I dans le cas d'un retour d'expérience industriel)

L'effet de la maintenance préventive

- Une notion probabiliste
- La question d'un rajeunissement et donc d'un âge virtuel (fictif)
- Quelle hypothèse pour l'efficacité de la maintenance?
 - AGAN
 - ABAO
 - Généralement entre ces deux extrêmes

Dépendant de la criticité du composant, de sa position dans l'arborescence, de son usage, de la difficulté de la tâche de maintenance,...
- Détermination de la fiabilité intrinsèque vraie du bien, donnée indispensable pour la conception, l'optimisation de la maintenance, ...

La controverse fréquentiel / bayésien – Le point de vue fréquentiel

- Un point de vue de **physicien**, les conditions expérimentales d'obtention des données sont bien connues.
- L'analyse fréquentielle repose sur les seules données objectives; elle est en défaut lorsque les données sont en nombre insuffisant, le processus non répétitif, le nombre de paramètres à estimer important.
- Le fréquentiel refuse d'introduire une a priori dans l'analyse.
- Il effectue une analyse complète préalable suivie d'une interprétation physique.
- Une volonté d'**objectivité**.
- Utilisation: analyse de données, fiabilité opérationnelle, qualité,...

La controverse fréquentiel / bayésien – Le point de vue bayésien

- Un point de vue d'**ingénieur**, de décideur, une philosophie séduisante, une démarche d'apprentissage
- L'analyse intègre toutes les informations disponibles, en particulier l'expertise
- Nécessité d'introduire **une a priori (souvent subjective)**, mais l'impact doit être réduit le plus possible par le retour d'expérience (considéré aussi essentiel).
- Un outil d'aide à la décision par excellence, on peut exprimer des préférences
- Utilisation: fiabilité prévisionnelle, incertitudes, aide à la décision,...

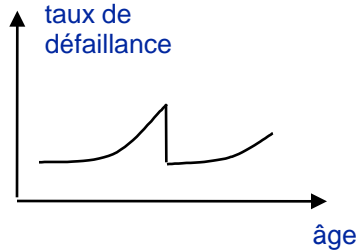
Exemple: méthodes utilisées pour le calcul d'une fiabilité opérationnelle

(secteur nucléaire)

	Retour d'expérience (données de défaillance, historique de maintenance, temps de fonctionnement)		
Type de composant	Absence de données (0 défaillance)	Quelques données	Plus de 20 données de défaillance
Actif	Khi-2	<ul style="list-style-type: none"> • Méthodes bayésiennes • Méthodes fréquentielles avec simulation des données incomplètes 	<ul style="list-style-type: none"> • Méthodes fréquentielles (ou bayésiennes)
Actif, en attente	Khi-2	<ul style="list-style-type: none"> • Méthodes bayésiennes 	<ul style="list-style-type: none"> • Méthodes fréquentielles (ou bayésiennes)
Passif	Analyse de fiabilité des structures	Fiabilité des structures ou méthodes bayésiennes	<ul style="list-style-type: none"> • Méthodes fréquentielles (ou bayésiennes)

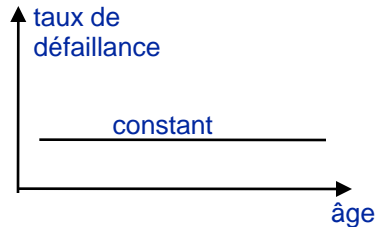
Ce qu'on observe dans la pratique

Composant non réparable

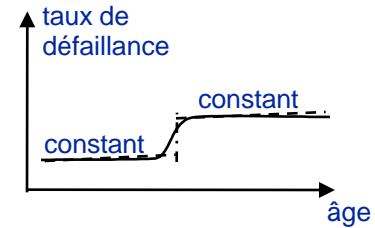


Loi intrinsèque
Composant échangeable

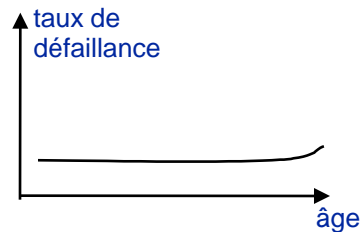
Composant réparable



Composant actif,
cas le plus souvent
observé, effet positif
de la maintenance



Composant actif,
dont un sous-
composant vieillit



Plutôt composant
passif, légère
évolution
défavorable

6 Conclusions et perspectives de R&D (1)

La fiabilité pour comprendre le passé

- De nombreuses défaillances / dégradations ne peuvent être expliquées par les modèles déterministes.
- Compréhension du vieillissement, des mécanismes de dégradation, des modèles, du retour d'expérience, ...
- La fiabilité permet de mettre en évidence les composants et sous-composants critiques, les variables importantes où il faut faire un effort de retour d'expérience pour réduire les incertitudes.

6 Conclusions et perspectives de R&D (2)

La fiabilité pour anticiper et prévoir le futur

- Toujours améliorer le niveau de sûreté
- Augmenter les performances (pour répondre aux besoins du marché)
- Optimiser les stratégies d'exploitation – maintenance
- Besoins:
 - Estimations plus précises, compréhension des marges
 - Réduction des incertitudes et des pessimismes
 - Modélisation du vieillissement et analyse des dégradations, afin d'optimiser les évaluations technico - économiques

6 Conclusions et perspectives de R&D (3)

- La fiabilité ne peut suppléer la compréhension physique.
- Elle a des limites: qui peut (sait) définir une fiabilité acceptable?
- Il faut toujours respecter les exigences déterministes de sûreté.
- En conclusion: penser “fiabiliste”, agir “déterministe” (Hutin, 2003)

6 Conclusions et perspectives de R&D (4)

Les grands concepts

- La nécessité d'une *évolution culturelle*: une vision pluridisciplinaire, une rupture méthodologique ...
- L'intégration aux processus organisationnels*: management de projet, activités, ...
- *Une information disponible la meilleure possible*: les évènements, les retours d'expériences, les expertises, la gestion des connaissances, ...
- *Un traitement de l'incertitude*: prise en compte d'objectifs en compétition dans la prise de décision (recherche d'un compromis)
- *Une gestion dynamique*: prendre en compte la survenue d'évènements, l'évolution du contexte et des connaissances , de la réglementation...

6 Conclusions et perspectives de R&D (5)

- **Quelques points de R&D prioritaires**

L'analyse des dégradations

La fiabilité prévisionnelle des SSC

L'impact des variabilités

L'efficacité des parades (de la maintenance en particulier)

La gestion des actifs industriels

L'aide à la décision multicritères

Quelques références pour en savoir plus...

Normes

EN 13306: 2001, *Terminologie de la maintenance*.

ISO 31000: 2009, *Management des risques - Principes et lignes directrices*.

ISO 13824: 2009. *Bases for the design of structures – general principles on risk assessment of systems involving structures*.

Articles et ouvrages.

Baroth J. et al (2010), *Fiabilité des ouvrages, sûreté, sécurité, variabilité, maintenance*, ouvrage à paraître.

Bourgade E., Degrave C., Lannoy A. (1998), *Performance improvements for electrical power plants: designing in the context of availability*, Probabilistic Safety Assessment, Cacciabue C., Papazoglou I.A. Editors, Springer and Verlag, Heidelberg, pp 158-162, voir ESREL' 1998.

Lannoy A., Procaccia H. (2005), *Evaluation et maîtrise du vieillissement industriel*, Lavoisier, Editions Tec&Doc.

Lemaire Maurice (2005). *Fiabilité des structures, couplage mécano – fiabiliste statique*, en collaboration avec Alaa Chateaneuf et Jean-Claude Mitteau, Hermès Lavoisier

Lemaire Maurice (2009), *Concevoir pour produire robuste et durable*, 27/11/2009.

Sliter George,(2003), *Life cycle management in the US nuclear power industry*, SMIRT 17, Prague, 17-22 août.