Évolution de la sûreté de fonctionnement dans l'industrie

Proposition de découpage temporel en six périodes · Octobre 2026

Lascaux Clément
Millot Baptiste
Comte Théo
Faussurier Loic

Définition et critère

Fiabilité
Rester opérationnel pendant une durée donnée

Maintenabilité
Être remis rapidement en état opérationnel

Disponibilité
Être opérationnel au moment où on le sollicite

Sécurité
Éviter les pannes critiques ou catastrophiques

Notre critère de découpage

Une borne marque une rupture sur au moins deux plans :

- L'enjeu dominant : que cherche-t-on à maîtriser ?
- Les méthodes et outils qui apparaissent
- Le cadre normatif et réglementaire

Frise chronologique

Avant 1930	1930–1950	1950–1970	1970–1990	1990–2010	Depuis 2010
L'ère empirique	**Naissance probabiliste**	**Fiabilité de conception**	**Systèmes à risques**	**Normalisation**	**Numérique et prédictif**
Empirisme et marges de sécurité	Statistiques et produit des fiabilités	AGREE, arbre des causes, CEI CT 56	Rasmussen, Three Mile Island, nucléaire	CEI 61508, sécurité, certification	Données, jumeaux numériques, prédictif

L'ère empirique

Comment faire durer un objet sans savoir mesurer sa fiabilité ?

Avant 1900	Fiabilité implicite : surdimensionnement et savoir-faire artisanal ; on pense qu'une chaîne vaut son maillon le plus faible.
Fin XIXe	L'interchangeabilité des pièces impose tolérances et contrôle statistique, mais vise la conformité, pas la durée de vie en service.
1861–1883	Freins des locomotives à vapeur abandonnés pour problèmes de fiabilité (liaisons électriques entre wagons), remplacés par le frein pneumatique.
1903–1912	Accidents survenus sans étude de sûreté approfondie : métro parisien (84 morts, 1903), naufrage du Titanic (1912).

Naissance probabiliste

Peut-on prédire la panne plutôt que la constater ?

1930	Le transport aérien commence à collecter des statistiques sur les moteurs et les accidents.
1939–1942	Premiers objectifs quantifiés (A. F. Pugsley) : taux de défaillance visé de 10^{-5} par heure pour un avion, dont 10^{-7} pour sa structure.
1939–1945	Guerre : des équipements conformes en production tombent en panne à des dates très dispersées ; la qualité à la livraison ne suffit pas.
Années 40	Formule du produit des fiabilités (Lusser / Pieruschka) : la fiabilité d'une chaîne de composants indépendants est le produit de leurs fiabilités.

Fiabilité de conception

Comment imposer la fiabilité dès la conception ?

1957	Rapport AGREE (DoD américain) : la fiabilité est une probabilité, distincte de la qualité, à traiter dès la conception ; il fonde les normes MIL.
1961	Arbre des causes (Bell Labs, Minuteman) ; loi d'Arrhenius appliquée aux semi-conducteurs, qui ouvre la voie aux essais accélérés.
1962–1965	« Fiabilité » entre à l'Académie des sciences (1962) ; la CEI crée le comité technique 56 « Dependability » (1965) ; la maintenabilité est introduite.
Années 60	Aéronautique et spatial (Apollo, Concorde, Airbus) : analyses de défaillances de composants, puis diffusion à l'industrie civile.

Systèmes à risques

Comment démontrer qu'un système à haut risque est acceptablement sûr ?

1971–1972	Premiers travaux sur la fiabilité du logiciel (1971) ; EDF et le CEA mènent les premières études exhaustives sur le nucléaire (1972).
1975	Rapport Rasmussen : évaluation complète du risque nucléaire sur les centrales de Surry 1 et Peach Bottom 2.
1976–1988	Normes CEI issues du CT 56 (1976) ; diffusion à la pétrochimie, au ferroviaire, à l'automobile, à l'eau ; ouvrages français (Pagès et Gondran, 1980 ; Villemeur, 1988).
1979	Accident de Three Mile Island : son scénario était quasiment décrit dans le rapport Rasmussen, ce qui promeut les outils de sûreté.

Normalisation

Comment rendre la sûreté démontrable et certifiable ?

1998	Première édition de la CEI 61508 : approche générique du cycle de vie de sécurité des systèmes électriques, électroniques et programmables.
2004	Taxonomie du « dependable and secure computing » (Avizienis, Laprie, Randell, Landwehr) ; la malveillance (intrusion, piratage) entre dans le champ.
Cadre	Réglementation et certifications généralisent les outils de sûreté, au risque de laisser croire que le risque est entièrement couvert.
Contexte	Pression médiatique et écologique après les grands accidents (Piper Alpha, Bhopal, AZF) et recherche de disponibilité maximale des équipements.

Numérique et prédictif

Comment anticiper les défaillances grâce aux données ?

2010	Seconde édition de la CEI 61508 : révision technique de la première édition de 1998.
Industrie 4.0	Interconnexion et automatisation : la maintenance prédictive se distingue de la corrective (après panne) et de la préventive (à intervalle fixe).
Jumeaux	Les jumeaux numériques accompagnent le passage vers le prédictif et le prescriptif ; l'Industrie 5.0 ajoute résilience et facteur humain.
Science	La fiabilité cherche un fondement scientifique (physique de la défaillance, incertitudes), vers un contrôle entièrement quantitatif.

Synthèse : six enjeux

Période	Enjeu dominant	Rupture qui ouvre la période
Avant 1930	Faire durer sans mesurer	Mécanisation et interchangeabilité
1930–1950	Quantifier la panne	Données aéronautiques, effort de guerre
1950–1970	Concevoir fiable	AGREE (1957), CEI CT 56 (1965)
1970–1990	Maîtriser le risque	Rasmussen (1975), Three Mile Island (1979)
1990–2010	Normaliser et certifier	CEI 61508 (1998)
Depuis 2010	Anticiper par la donnée	Industrie 4.0, maintenance prédictive