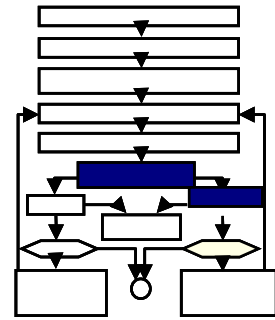
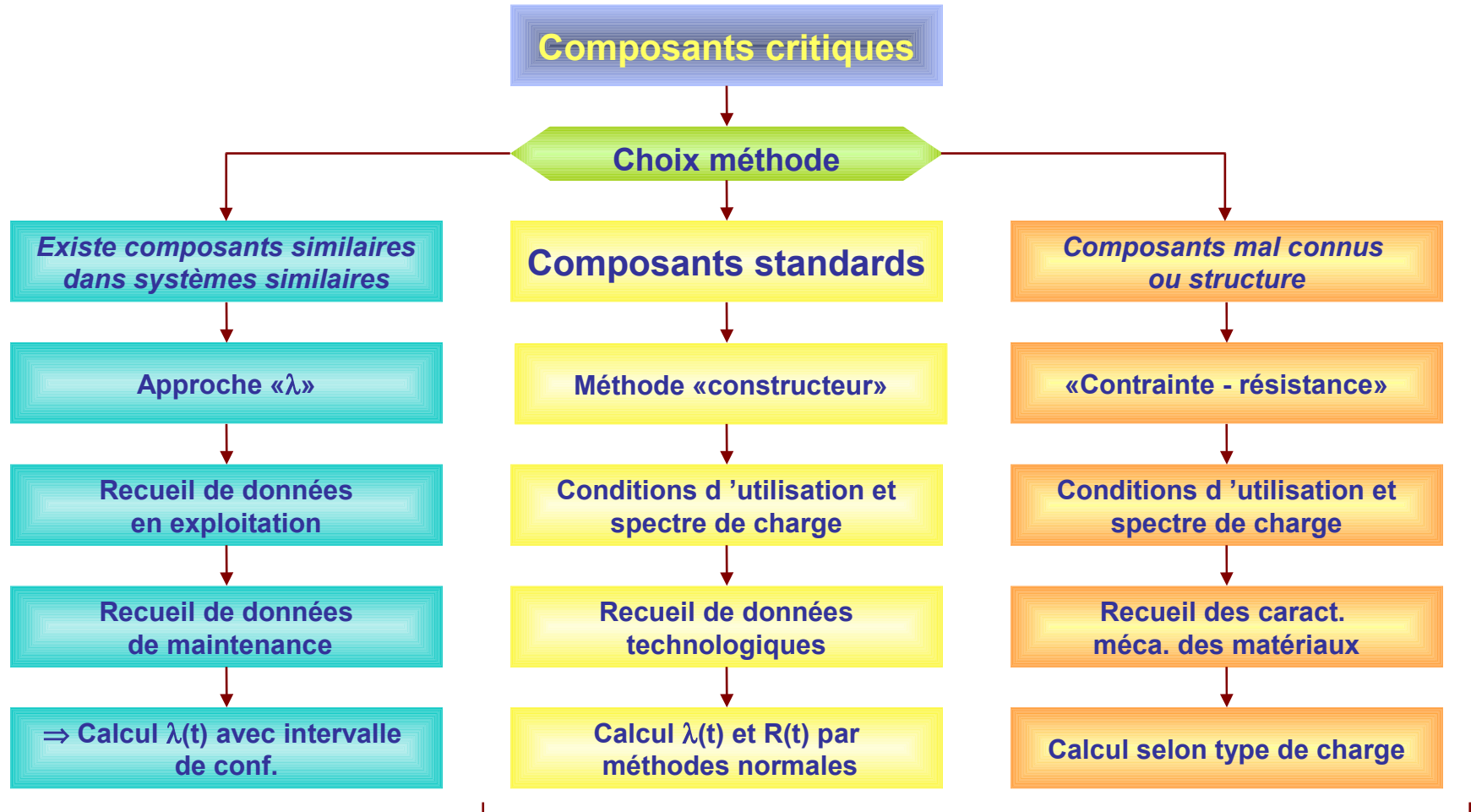


# **FIABILITE PRÉVISIONNELLE EN MECANIQUE**

## **Les pièces particulières**



# APPROCHE «FIABILITE EN MECANIQUE»



Calculs de Résistance des Matériaux nécessaires

## PIECES PARTICULIERES

MOTEURS ELECTRIQUES

: MIL HDBK 217 E  
RECUEIL DE FIABILITE CNET

RESSORTS

: METHODE STRESS - STRENGTH

RELAIS

: MIL HDBK 217 E - CNET

VIS SANS FIN

: METHODES BSI

ROULEMENTS

PALIER

ENGRENAGES

ARBRES CANNELES

NOUVEAUX MODELES (CCPT, ...)

MODELES

# LES ROULEMENTS

Méthodes SKF (loi de WEIBULL)

Tables de données

AVCO

FARADA

TR 75.22

Modèles

# LES ROULEMENTS

Capacité dynamique

$P = 3$  Billes

$P = \frac{10}{3}$  Rouleaux

$L_{10} = \left[ \frac{C}{P} \right]^{\beta}$

Charge équivalente

Durée de vie utile

$\beta = \frac{10}{9}$

$R = e^{\left[ \frac{L - L_0}{(L_{10} - L_0) / (\log 0.9)} + \frac{1}{\beta} \right]}$

$L_0 = 0.05 L_{10} / \text{Tallian}$

ou simplifiée  $R = e^{-0.105 \left[ \frac{t}{L_{10}} \right]^{\beta}}$  ( $\beta \cong 1.5$ )

## PIECES PARTICULIERES LES ROULEMENTS

### CALCUL DE LA DUREE DE VIE

Formule «classique»

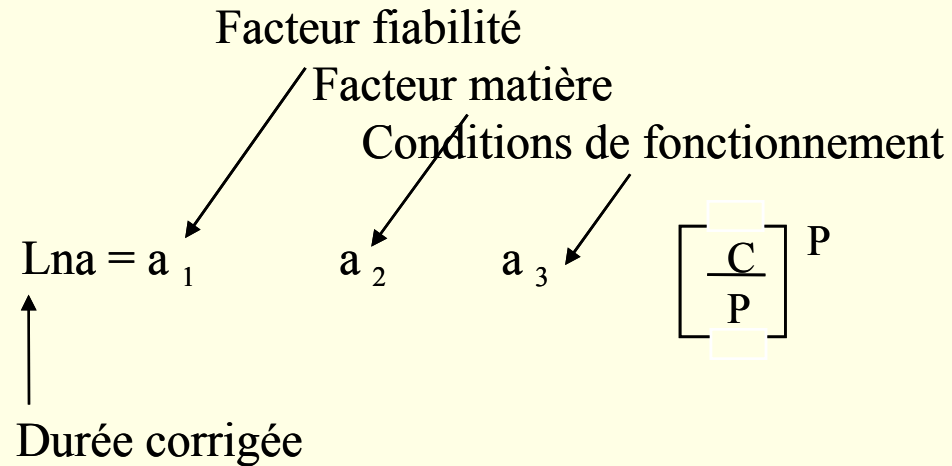
Fiabilité

Formule «modernisée»

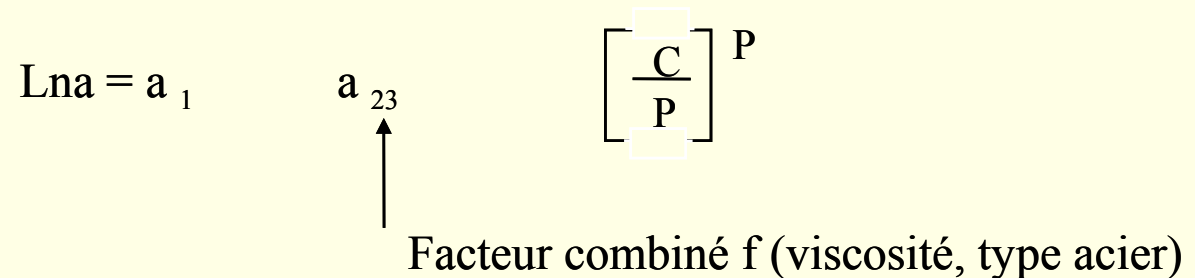
### REMARQUES

# LES ROULEMENTS

Projet ISO



SKF



## REMARQUES

Non applicables dans le cas de :

faibles et hautes vitesses

cas de charges complexes

charges vibrantes

roulement "mal" lubrifié et employé

critères de rejet non spécifiés

durée de vie résiduelle

Modèles résultant d'essais de laboratoire



## PIECES PARTICULIERES LES ENGRENAGES

### \* Méthodes simplifiées :

- TR6450 (WELLAUER) 
$$L = \left[ \frac{C}{W} \right]^x \quad W = \text{charge d'usure}$$

- WAY - STEWART 
$$L_{10} = \left[ \frac{0.21 H_b}{P_0} \right]^{\frac{20}{3}} \times 10^8$$

Méthodes rapides mais :

- pas de facteur lubrification
- un seul mode de défaillance (usure)
- pas de calcul de durée de vie

### \* Méthodes élaborées : AGMA, HENRICOT

Deux modes de défaillance considérés :

- usure
- rupture de dent

Lourdeur d'emploi, mais prennent en compte les facteurs de charge, de lubrification, de dureté, etc.

# ENGRENAGES

## WAY STEWART

Dureté Brinell

↓

$$L_{10} = \left[ \frac{0.21 H_b}{P_0} \right]^{\frac{20}{3}} \times 10^8$$

↑

Nombre sollicitations d'une dent

Rapport de pression

↓

Rapport d'engrenage

↓

Module Young

$$P_0 = 0.418 \left[ \frac{\sum \frac{P_i \cdot (1 + U)}{D_p} \times \frac{4E}{\sin 2\theta}}{\left[ \frac{1}{2} \right]} \right]^{\frac{1}{2}}$$

↑

Ø primitif

↑

Angle de pression

↑

Pression linéaire

# ENGRENAGES

## METHODE WELLAUER

Nombre dents menantes

$$W_w = F \cdot K \cdot d \left[ \frac{1250 N_g}{N_p + N_g} \right]$$

Charge d'usure

Diamètre primitif

Facteur charge contrainte

Largeur de dent

Nombre dents menées

Facteur matériau

$$K = \frac{K_1 \sin \theta}{4}$$

Angle de pression

Loi de WEIBULL pour différents rapports  $\frac{C}{W_w}$

## ARBRES CANNELES

Tables de taux de défaillance

Approche contrainte - résistance

Approche Schluster et Meisel

# ARBRES CANNELES

C. SCHLUSTER      D. MEISEL

Moment admissible arbre cannelé



$$\frac{Mt_K}{Mt} = K_a \cdot K_b \cdot K_c$$



Facteur dimension

Facteur «classe»

Facteur «matériau»

Moment admissible arbre lisse

Probabilité de défaillance

Ø de l'arbre

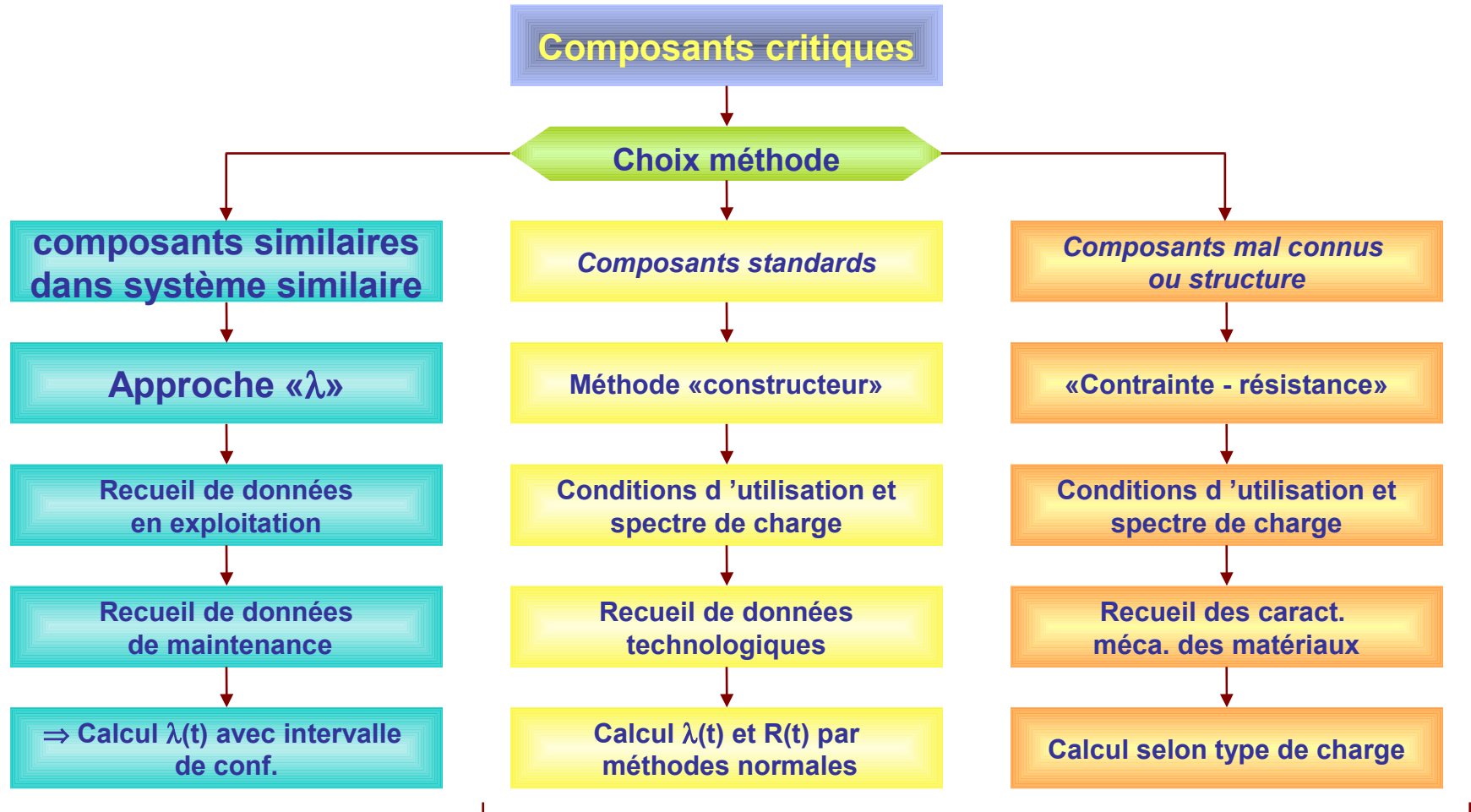
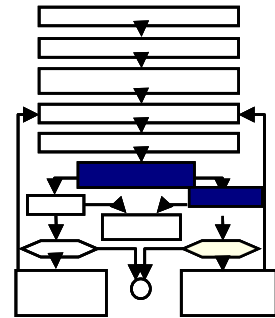


Comparaison de  $Mt_K$  avec  $Mt = \frac{\pi d^3}{16} \cdot \gamma$  ← Résistance torsion

# FIABILITE PRÉVISIONNELLE EN MECANIQUE

## Les banques de données

# APPROCHE «FIABILITE EN MECANIQUE»



Calculs de Résistance des Matériaux nécessaires

## UTILISATION DE BANQUES DE DONNEES DE TAUX DE DEFAILLANCES RAPPEL DES HYPOTHESES

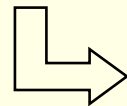
Hypothèses : taux de défaillance  $\lambda$  constant

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - \exp(-\lambda t) \approx \lambda t$$

Moyens de calcul

Manuels

Informatiques



Intervalles de confiance sur les résultats



## APPROCHE TYPE «SYSTEME »

### Données de fiabilité sur les composants

taux de défaillance en fonctionnement

taux de défaillance à l'arrêt

probabilité de défaillance à la sollicitation

sources : littératures spécialisées  
enquêtes

précautions : Connaissance de l'échantillon de référence :  
technologie du composant  
conditions d'utilisation  
connaissance intervalle de confiance

### Données sur l'utilisation du système

environnement

fréquence et durée d'utilisation

sources : spécifications et exploitants

## MODELE GENERAL

$$\lambda_{XA} = \lambda_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot p(A)$$

$\lambda_{XA}$  DE L'EQUIPEMENT X DANS LE MODE DE  
DEFAILLANCE A

$\lambda_0 = \lambda$  GLOBAL POUR EQUIPEMENT SIMILAIRE A X

$K_1$  = FACTEUR ENVIRONNEMENT

$K_2$  = TAUX DE CONTRAINTE

## LES TABLES

Conditions d'utilisation souvent non spécifiées

Hypothèse du  $\lambda$  constant

Durée de vie non précisée

Critères de rejet en général non précisés

Limitation des modèles proposés

Sources utilisées en général non précisés

Nom	Origine / accessibilité	Dernière mise à jour
<b>FARADA</b>	<b>FAilure RAte DAta Bank</b> Développé par le GIDEP (Government Industry Data Exchange Program) – US Rebaptisée « Reliability-Maintainability Data Interchange ».	1973
<b>IEEE Std 500</b>	<b>IEEE Guide to the Collection and Presentation of Electrical, Electronic, Sensing, Component, and Mechanical Equipment Reliability Data for Nuclear Power Generating stations</b> Disponible auprès de IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).	1983
<b>RADC TR 75-22</b>	<b>RADC Non-Electronic Reliability Notebook</b> Disponible auprès du Rome Laboratory, ex Rome Air Development Center (RADC), laboratoire de US Air Force.	Rev B - 1985

Nom	Origine / accessibilité	Dernière mise à jour
<b>NPRD-95</b>	<b>NPRD-95 Non-electronic Parts Reliability Data</b> Disponible auprès du RIAC et du SPIDR™ (Space Physics Interactive Data resource) ex Alion System Reliability Center (SRC).	1995
<b>EIReDA5</b>	<b>European Industry Reliability Data Handbook</b> Contribution de C.E.C. - J.R.C./ICEI 21020 (SPRA (Varese) Italy et EDF - DER/SPT 93206 Saint Denis (Paris) France.	Recueil : 1998 version informatique actualisée : 2000
<b>T-Book</b>	<b>Reliability data of components in nordic nuclear power plants</b>	6 <sup>th</sup> edition - 2005
<b>OREDA</b>	<b>Offshore REliability DAta</b> Financé et géré par les acteurs l'indusie pétrolière.	5 <sup>th</sup> edition - 2009

## NPRD - généralités

### Difficultés

Nombre de facteurs identifiés réduits

Incertitudes sur taux :

- Causes communes ou inhérentes

- 1ère et 2ème défaillance

- Fabricant, process

Effets des variables corrélées

Heures de fonctionnement

Données de maintenance

Contraintes réelles

Identification des défaillances

### Originalités

Paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  de Stabilisation du taux de panne

## NPRD – modes de défaillances

1. Gages : leaking (39%), broken (26%), out of ajustement (14%), intermittent (4%), binding (9%), and other (8%)
2. Fans : no movement (11%), noisy (25%), intermittent (7%), out of ajustement (14%), and other (43%)
3. Clutches : displaced (17%), worn out (66%), and jammed (17%)
4. Bearings : worn out (54%), binding (12%), scored (5%), sticking (5%), loss of lubrication (9%), and other (15%)
5. Gears : broken (8%), worn out (54%), binding (12%), jammed (8%), stripped (12%), and other (10%)
6. Heat exchangers : leaking (70%), improper flow (8%), broken (4%), out of specification (4%), cracked fractured (9%), and other (5%)
7. Seals : cracked/fractured (5%), leaking (6%), deteriorated (28%), ripped/cut/torn (51%), and other (10%)
8. Brakes : scored (12%), worn out (58%), leaking (27%), overheated (1%), and other (2%)
9. Filters : leaking (73%), cracked/fractured (18%), out of tolerance (3%), broken (3%), improper flow (1%), and other (2%)
10. Hydraulic pumps : noisy (6%), leaking (61%), intermittent (3%), cracked/fractured (9%), out of specification (4%), improper flow (7%), and other (10%)

## NPRD - exemples

N°	Mechanical item	Failure rate/10 <sup>6</sup> h	N°	Mechanical Item	Failure rate/10 <sup>6</sup> h
1	Pipes	0.2	19	Heat exchangers	6.11-244.3
2	Bellows	5.0	20	Pivot	1.0
3	Ball valves	0.5	21	Washers	0.5
4	Nuts or bolts	0.02	22	Flanges	5.69
5	Conveyor belts (light load)	3.6-19.0	23	Knobs	0.09
6	Pipe joints	0.5	24	Shims	0.003
7	Motors, general	10.0	25	Mechanical joints	0.2
8	Heavily stressed shafts	0.2	26	Pistons	1.0
9	Conveyor belts (heavy load)	20.0-140.0	27	Hinges	0.02-5.5
10	Brake assemblies (mechanical)	2.8-7.6	28	Pulleys, idler (roller)	0.025-0.16
11	Hair springs	1.0	29	Pumps, all types	65.74
	Gears		30	Valves, all types	11.33
12	Helical	1.0	31	Gaskets	0.5
13	Spurs	10.0	32	Relief valves	0.5-10.0
14	Ducts	1.0	33	Cylinders	0.1
15	Brake Assemblies (hydraulic, pneumatic)	0.8-114.0	34	Solenoid Valves	0.66-30.0
16	Compressors	0.84-198.0		Bearings	
	Seals		35	Roller	1.139-7.31
17	O-Ring	0.2	36	Ball (heavy duty)	20.0
18	Sliding	3.0	37	Sleeve	0.008-7.3
			38	Ball (light duty)	10.0



## Failures Rates for Selected Mechanical Items (Use Environment : Airborne)

N°	Mechanical item	Failure rate/10 <sup>6</sup> h	Data source	
			Military	Commercial
1	Instrument counter Fans	346.985	X	
2	Centrifugal	89.200	X	
3	Centrifugal	21.739		X
4	Axial	211.557	X	
5	Axial	5.510		X
6	Power transmitter, mechanical	10.0		X
7	Gimbal	7.829	X	
	Pumps			
8	Coolant	657.251	X	
9	Engine driven	18.519		X
10	Electric motor driven	6.889		X
11	Electric motor driven	142.857	X	
12	Thermostat	233.746	X	
13	Pump, hydraulic	573.711	X	
	Bearings			
14	Roller	0.863	X	
15	Ball	5.133	X	
16	Ball	1.372		X
17	Seal, O-ring	2.387	X	
18	Shock absorber, mount	6.309	X	
19	Tank, storage	45.404	X	
	Valves			
20	Relief	26.796	X	
21	Solenoid	28.128	X	
22	Solenoid	29.827		X
23	Gate	32.448	X	
24	Check	30.277	X	
25	Manual actuated	32.895	X	
26	Servo	38.730	X	

## Failure Rates for Selected Mechanical Items (Use Environment : Ground, Mobile)

N°	Mechanical item	Failure rate/10 <sup>6</sup> h	N°	Mechanical Item	Failure rate/10 <sup>6</sup> h
1	Gearbox (reduction)	18.755	17	Washers	
	Gears		18	Flat	0.165
2	Spur	5.95	19	Lock	0.116
3	Helical	19.725	20	Spring	4.302
4	Bevel	2.941		Tank (non pressurized)	529.100
	Filters			Bearings	
5	Liquid	14.944	21	Ball	6.040
6	Gas (air)	3.242	22	Roller	8.323
7	Duct (general)	4.267	23	Sleeve	4.661
	Couplings		24	Bellows (general)	13.317
8	Rigid	1.908	25	V-belt	16.812
9	Flexible	9.987	26	Axle (general)	9.539
10	Clutch (friction)	38.155	27	Antenna (radar)	114.812
11	Compressor (general)	33.624	28	Crankshaft (general)	33.292
12	Actuator (mechanical)	33.624		Blowers and fans	
13	Shock absorbers (resilient)	19.078	29	Centrifugal	4.84
14	Slip rings (general)	263.158	30	Axial	15.608
	Valves		31	Gear (antirotation)	1578.948
15	Hydraulic	19.608	32	Gaskets and seals	
16	Pneumatic	16.537		(dynamic)	4.643

## Failure Rates for Selected Mechanical Items (Use Environment : Ground, Fixed)

N°	Mechanical item	Failure rate/10 <sup>6</sup> h	N°	Mechanical Item	Failure rate/10 <sup>6</sup> h
1	Duct (general	2.902		Pumps	
2	Clutch (friction)	5.318	20	Pneumatic	9.420
3	Bushings (general)	6.114	21	Vacumm-ring seal type	11.111
	Bearings			Instruments	
4	Sleeve	4.94	22	Indicator	4.12
5	Ball	2.237	23	Amneter	8.000
6	Brake (electronmecanical)	16.00	24	Gear (spur)	3.152
7	Fittings (threaded)	2.4	25	Gaskets and seals (static)	3.004
8	Gaskets ans seals (dynamic)	3.295		Filters	
	Gears		26	Liquid	6.000
9	Helical	5.000	27	Gas-air	10.635
10	Bevel	1.333	28	Slip rings (general)	0.667
11	Hypoid	5.000	29	Solenoids (rotary)	33.906
	Keyboards		30	Sprocket (general)	5.693
12	General	6.909	31	Solenoids (rotary)	33.906
13	Mechanical	4.666	32	Tank (pressurized)	8.000
14	Knob (general)	2.081		Valves	
	Pumps		33	Solenoid operated	11.111
15	Vacuum	10.610	34	Pneumatic	4.000
16	Vacumm-lobe type	244.4444	35	Hydraulic	6.000
17	Pulley (gear belt)	5.287	36	Washer (lock)	0.586
18	Metal tubing (general)	0.150	37.3	Thermocouple (general)	1.333
19	Lamp holder (general)	4.540	8	Spring (torsion)	14.296
			39	Washer (flat)	0.614
			40	Air Conditioner (comfort)	711.111

# **FIABILITE PRÉVISIONNELLE EN MECANIQUE**

## **Un exemple d'application (pont de manutention)**

## ETUDE DE SECURITE D'UN PONT DE MANUTENTION PAR UTILISATION DES TECHNIQUES DE FIABILITE EN MECANIQUE

### Objectif de l'étude :

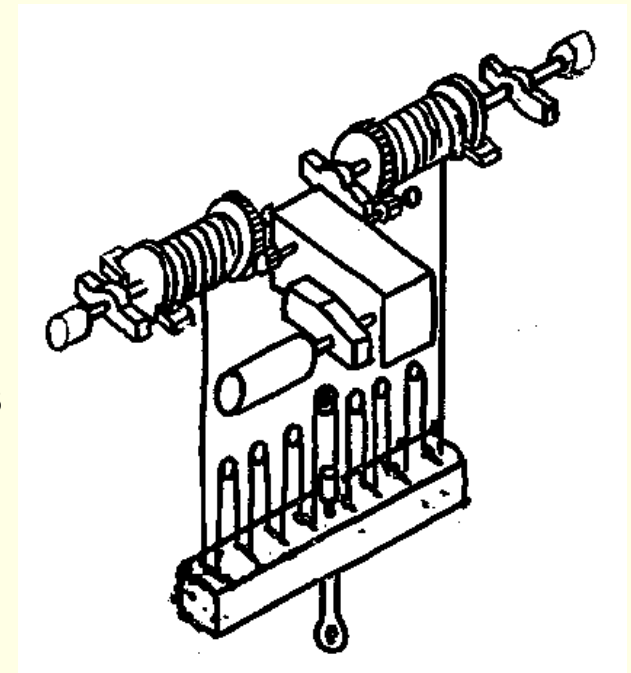
Démontrer que le risque de chute de la charge est inférieur à un seuil fixe à  $10^{-7}$ /an.

### Méthode

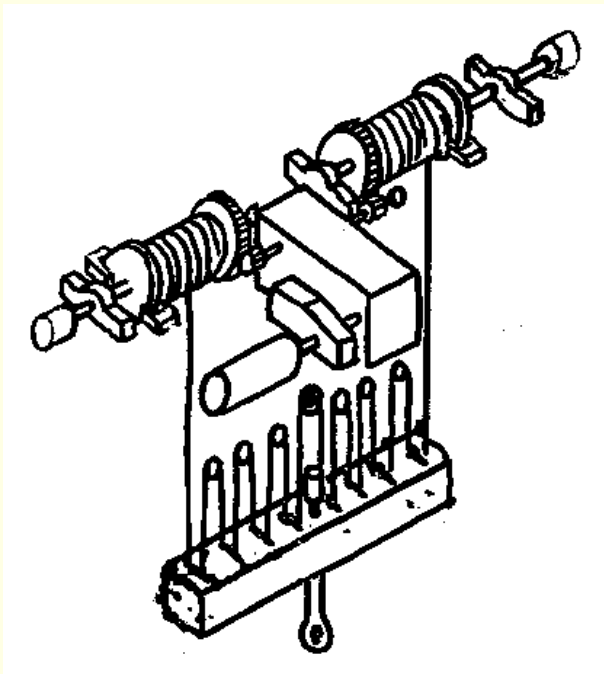
Approche par la fiabilité en mécanique pour apporter des renseignements sur la conception et le dimensionnement.

## DEMARCHE DE L 'ETUDE

- 1 - Définition des limites du système
- 2 - Prise en compte du système (specs, plans, dossiers de calcul)
- 3 - Décomposition du système (→ équipements, composants)
- 4 - Analyse de la mission
- 5 - AMDEC
- 6 - Établissement d'une liste de composants critiques
- 7 - Analyse de fiabilité mécanique des composants critiques
  - \* Expertise
  - \* Calculs de fiabilité
  - \* Recommandations
- 8 - Étude du transitoire après panne
- 9 - Conclusions



## CONNAISSANCE DU SYSTEME ET DE SES CONDITIONS D'UTILISATION



### Recueil de l'information

#### Niveau technologique

Rôle de chaque composant

Mode d'intervention

Performances requises

### Conditions d'utilisation

Configurations de fonctionnement

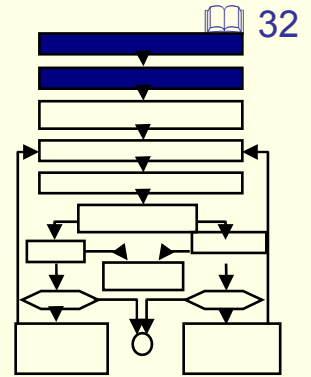
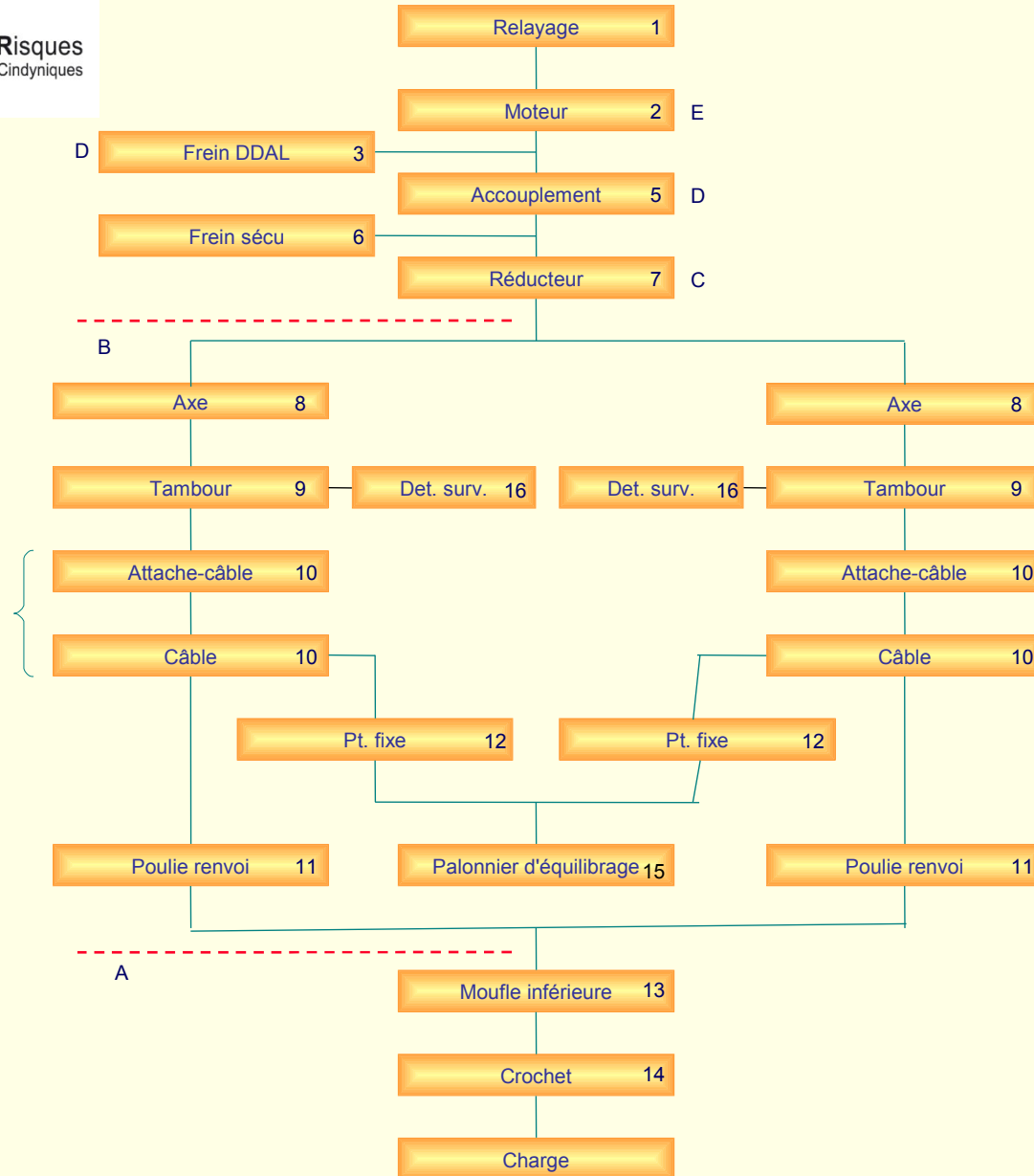
Conditions d'utilisation :

Procédures de conduite

Test

Entretien

Conditions d'environnement





## ANALYSE PRELIMINAIRE DU RISQUE

But :

Identifier

- Les éléments dangereux

- Les situations dangereuses

- Les accidents potentiels

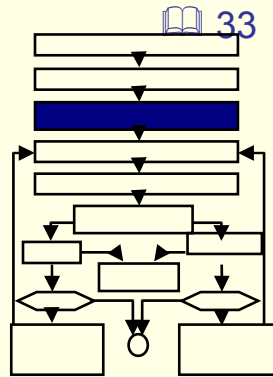
Déterminer

- Les gravités des conséquences

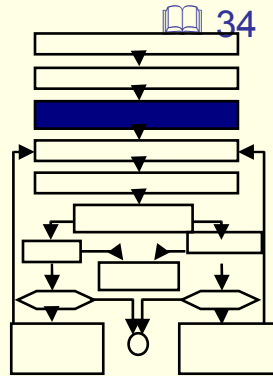
Définir

- Les règles de conception et procédures permettant d'éliminer ou de maîtriser les risques

Analyse effectuée dès le début de la conception et réactualisée périodiquement.



## ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE ET DE LEURS EFFETS (F.M.E.A.)



### Objet :

Démarche inductive, considérant chaque composant, en vue de :

- Analyser les conséquences de chaque mode de défaillance
- Identifier les modes de défaillance critiques
- Préciser les moyens de détection
- Déterminer les dispositions palliatives
- Mettre en évidence les causes possibles
  - de défaillances individuelles des composants
  - de défaillances de cause commune

### Limitation :

Ne permet pas de traiter les défaillances multiples

## MISE EN ŒUVRE DE L'ANALYSE

Composant (description, repère)

Ex : Moto Réducteur  
Vis  
Plat d'arrêt

Fonction

Ex : Assurer la liaison moufle-réducteur.

Mode de défaillance

Ex : Rupture mécanique  
Desserrage

Causes possibles

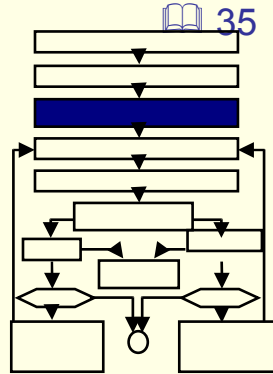
Ex : Vibrations  
Fatigue mécanique  
Erreur de montage  
Corrosion

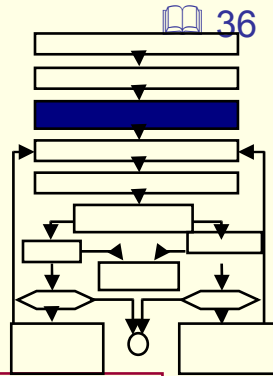
Effet sur le système

Ex : Desserrage → chute de la charge

Méthodes de prévention

Inspection visuelle périodique





## ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEUR GRAVITE

### Définition de niveaux de gravité

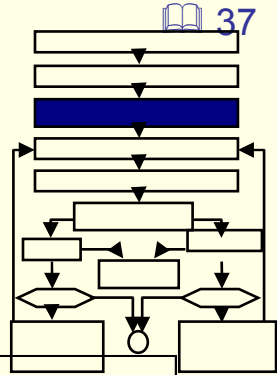
Défaillances mineures ou se traduisant par une immobilisation de la charge.

Défaillances sans conséquences sur la sécurité, mais se traduisant par des destructions importantes de matériel.

Défaillances avec mise en cause de la sécurité.

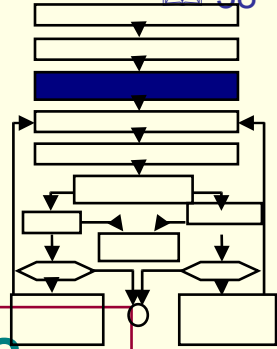
### Niveau de l'analyse

Le composant élémentaire du moteur à la rondelle.



## Analyse des modes de défaillance et leurs effets (FMEA)

Identification du composant	Fonctions états	Modes de défaillance	Causes possibles	Effets/système	Moyens détections	Fréquence essais
12. Point fixe	Fixer câble sur châssis	Lâcher	Matériau surcontr.	Idem 9	Arrêt manoeuvre	
13. Moufle inférieur	Axe commun aux 4 poulies et aux 2 chaînes	Rupture	Choc	Chute de la charge		
14. Crochet	Accrochage charge	Rupture		Chute de la charge		



## RECHERCHE DES COMBINAISONS DE DEFAILLANCES ENTRAÎNANT LES EVENEMENTS INDESIRABLES

### Méthodes :

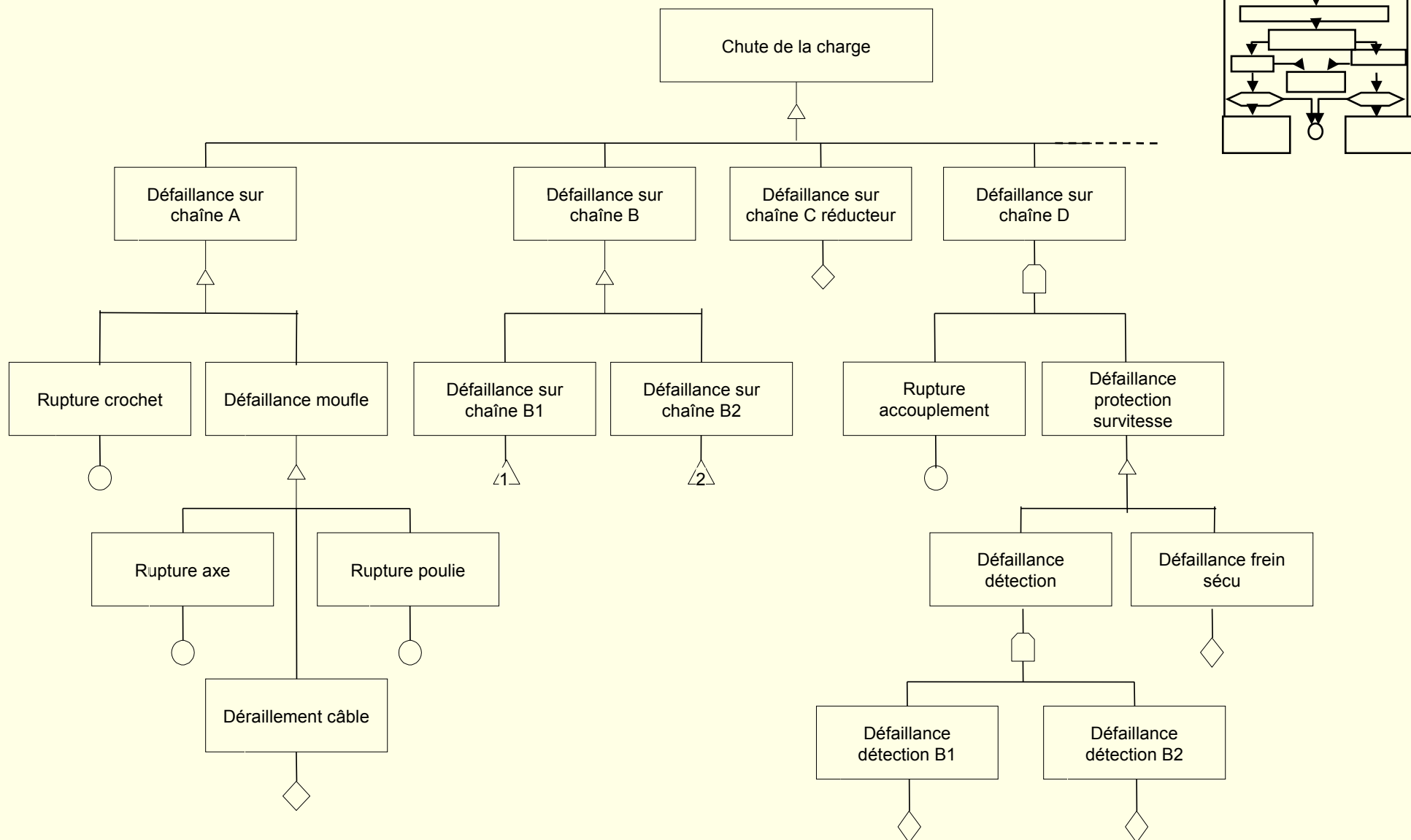
Arbres de défaillance

Blocs-diagrammes de Fiabilité

Tables de vérité

Graphes causes-conséquences

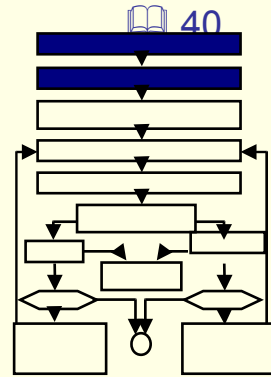
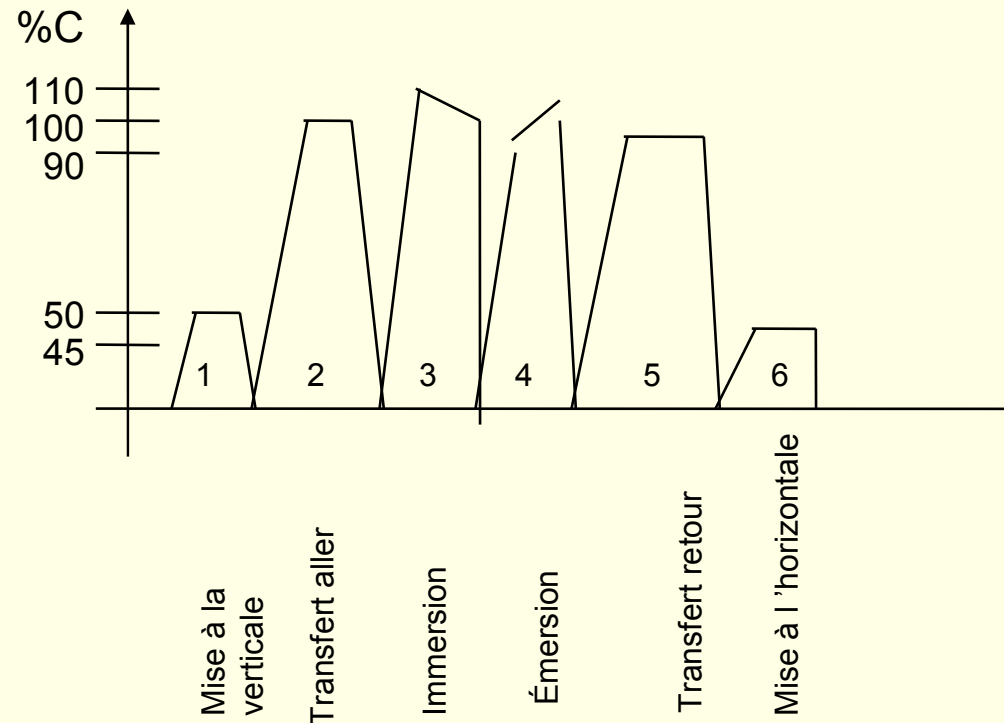
Méthodes de combinaison de pannes



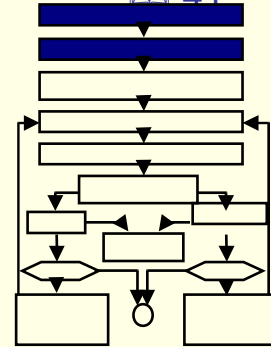
## ANALYSE DE LA MISSION (détermination du spectre de charge)

Le pont transporte 4 types de charges (C1, C2, C3, C4) sur un trajet déterminé.

La charge varie durant le trajet suivant le schéma suivant :



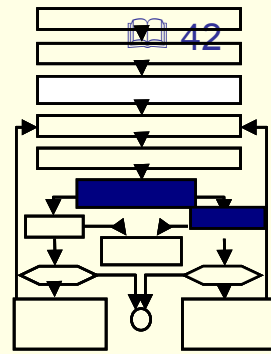




**La durée de vie de l'installation étant de 25 ans,  
on dresse ainsi le tableau suivant :**

	1	2	3	4	5	6
C1	N11	N12	N13	N14	N15	N16
C2	N21	N22	...			
C3	N31	...				
C4	N41	...				

**On détermine ainsi le nombre de cycles  $N_{ij}$  correspondant à l'état de charge  $C_{ij}$**



## ANALYSE DE FIABILITE MECANIQUE DES COMPOSANTS CRITIQUES

### Expertise qualitative

Mise en évidence de risques liés

aux matériaux employés (aptitude au forgeage, caractéristiques mécaniques)

à la forme de la pièce (concentrations de contraintes)

à l'aptitude aux calculs (assemblages)

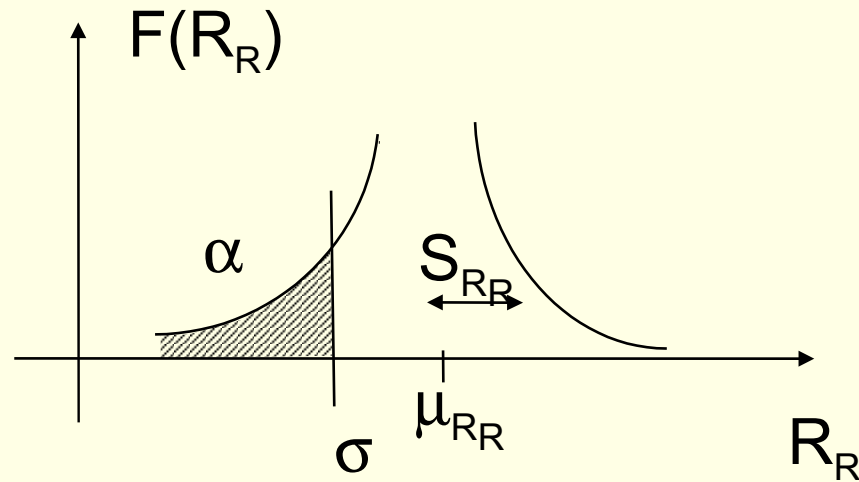
aux procédés de fabrications (soudures non visibles)

à certains choix de conception (arrêt des assemblages boulonnés)

aux procédures de fabrication et de contrôle

etc...

## Contraintes exceptionnelles (ex : séisme)



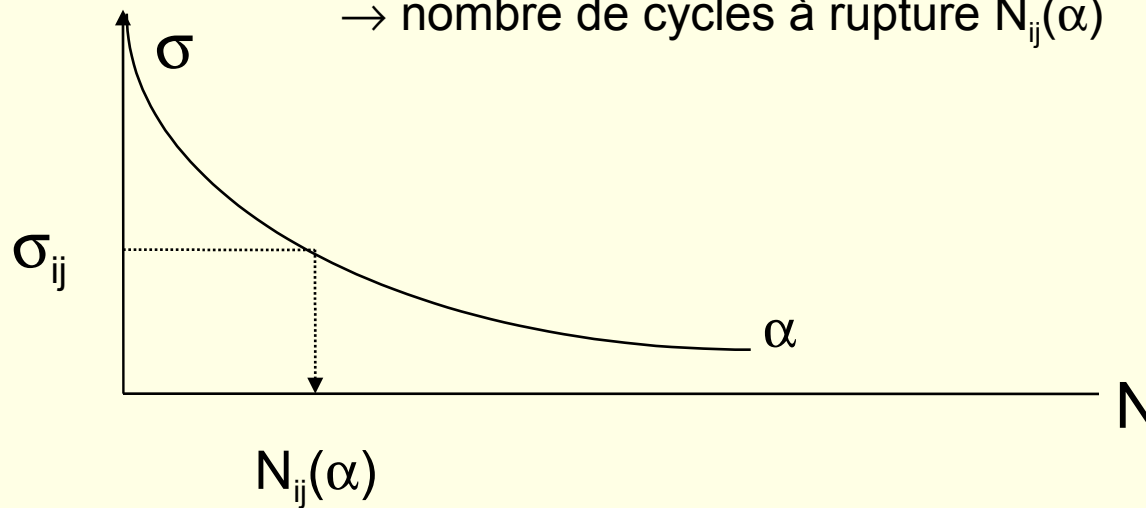
$$S_{RR} \approx 0,4 \mu R_R$$

## CONTRAINTES DE FATIGUE (manipulation des charges transportées)

Charge  $C_{ij}$  → nombre de cycles  $n_{ij}$

Courbe de Wöhler correspondant au risque  $\alpha$

→ nombre de cycles à rupture  $N_{ij}(\alpha)$

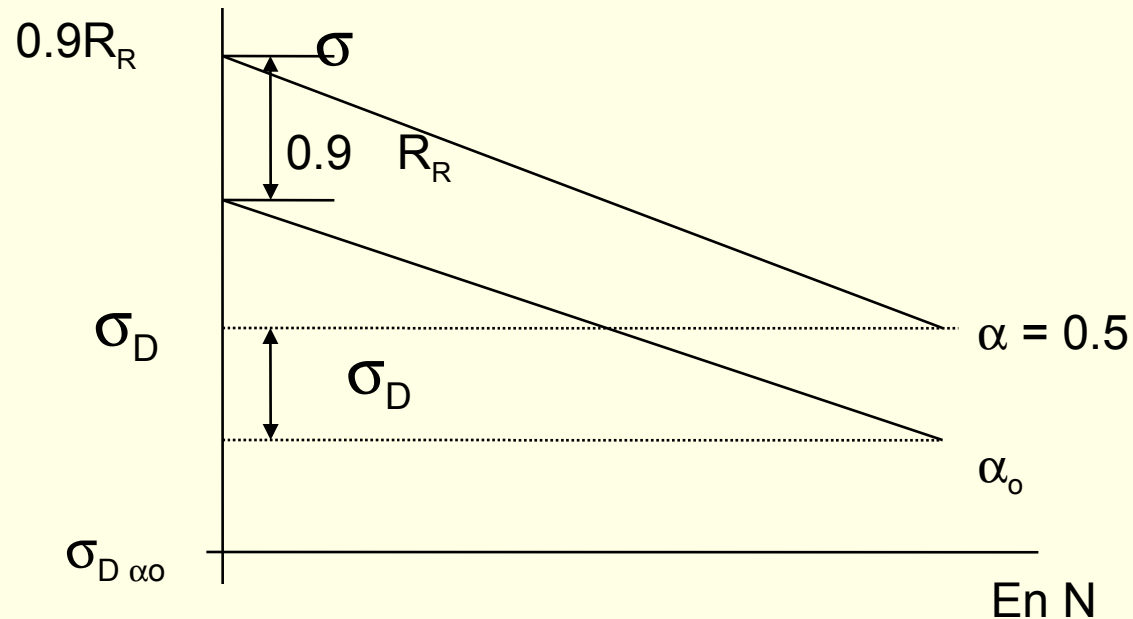


→ Dommage  $d_{ij}(\alpha) = \frac{n_{ij}}{N_{ij}(\alpha)}$

Calcul du dommage cumulé approché (loi de MINER)

$$D = \sum_{i,j} d_{ij}(\alpha)$$

## Tracé approché de la courbe de Wöhler



$$u_{\alpha_o} = \frac{\sigma_{D\alpha_o} - \sigma_D}{S_{\sigma_D}} \Rightarrow \Delta \sigma_D = u_{\alpha_o} S_{\sigma_D}$$

$$S_{\sigma_D} \approx 0.08 \sigma_D \text{ (matériau nu)}$$

$$S_{\sigma_D} \approx 0.13 \sigma_D \text{ (soudures)}$$

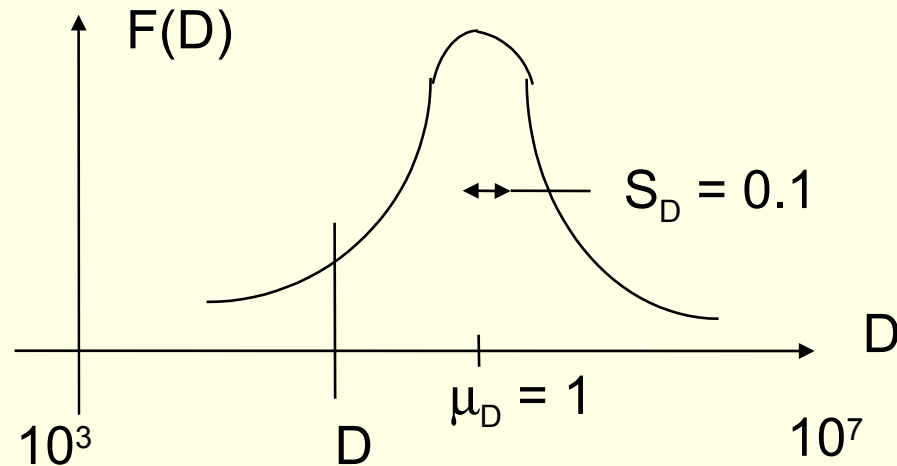
Le dommage D a été calculé pour :

$$\alpha_o = 10^{-10}$$

$$\alpha_o = 10^{-7}$$

$$\alpha_o = 10^{-5}$$

## Comparaison du dommage à une distribution limite (prise en compte des phénomènes d'over et under stressing)



Pour  $\alpha_o = 10^{-10}$  :  $D_{lim} = 0.36$

On montre que toutes les pièces critiques répondent à cette condition

## REMARQUES SUR CETTE APPROCHE

Limite des calculs de contraintes effectués

Relevés «in-situ»

Pièces supposées conformes aux plans

Contrôles métrologiques

Qualité de réalisation supposée «parfaite»

Expertises et contrôles approfondis

Pas de prise en compte des causes de défaillance non imputables  
à la pièce elle-même

Analyse des défaillances de mode commun

Approche « $\lambda$ »

Procédures d'utilisation et de maintenance

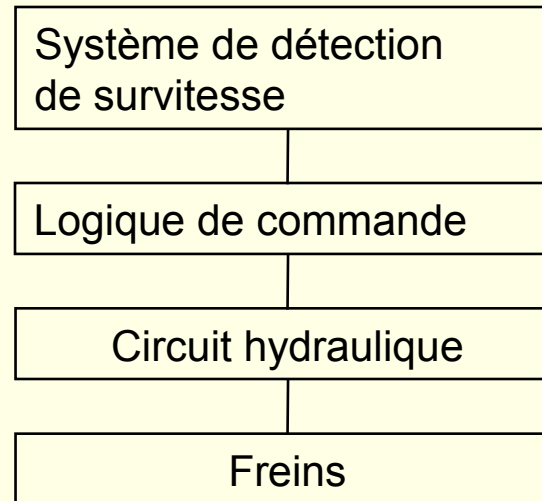
Présence de points singuliers de défaillance

Dispositifs de sécurité

Contrôles périodiques

## ANALYSE COMPLEMENTAIRE : EFFICACITE DES DISPOSITIFS DE SECURITE

### Exemple : le frein de sécurité



### Etape 1 : Analyse de sécurité des constituants

«Classique», par arbre de défaillance « $\lambda$ » pour composants électroniques et électromécaniques, fiabilité mécanique pour le frein

Proba de non freinage :  $P_{nf}$



## Étape 2 : Évaluation du risque de collision

Bases : la distance de freinage dépend

de l'inertie à entraîner

du rayon d'enroulement du câble

des temps de réaction (détecteurs, commande, frein,...)

de l'effort de freinage

de la masse manipulée

etc...

Ces paramètres sont considérés comme des variables aléatoires.

Le problème a été traité par la technique de simulation de Monte-Carlo.

# FIABILITE PRÉVISIONNELLE EN MECANIQUE

## Bibliographie

## Fiabilité en mécanique (1)

J. C. LIGERON

*Cours de fiabilité en mécanique*

*Groupe de travail IMdR M2OS – mise à disposition : 2009*

C. MARCOVICI et J. C. LIGERON

*Utilisation des Techniques de Fiabilité en Mécanique*

*ed. Lavoisier, 1974.*

J. C. LIGERON

*La Fiabilité en Mécanique*

*ed. Desforges, 1979*

T. R. MOSS

*The Reliability Data Handbook*

*ed. Professional Engineering Publishing, 2005*

HAUGEN

*Probabilistic approach to design*

*ed. wiley and sons*

## Fiabilité en mécanique (2)

DITLEVSEN O., MADSEN H.O.

*Structural Reliability Methods,  
John Wiley & Sons, 1996*

PROCACCIA H., MORILHAT P.,

*Fiabilité des structures des installations industrielles,  
Edition Eyrolles, 1996*

LEMAIRE M.,

*Sécurité probabiliste des structures,  
Collège de Polytechnique, Décembre 1994*

FOURNIER C.,

*Dimensionnement probabiliste des structures :  
application aux enceintes sous pression,  
Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal - Clermont II, 1997*

# Fatigue

CAZAUX, POMEY, RABBE, JANSSEN

La fatigue des métaux

ed. Dunod. 5<sup>ème</sup> édition – 1969

C. BATHIAS, J. P. BAILON

La Fatigue des Matériaux et des Structures

ed. Hermès, 1997

## Mécanique

BARTHELEMY

*Notions pratiques de mécanique de la rupture*  
*ed. Eyrolles, 1990*

RECHO N.

*Rupture par fissuration des structures,*  
*Hermès, 1995*

FRANCOIS D., PINEAU A, ZAOUI A.,

*Élasticité et plasticité,*  
*Hermès, 1992*

SHIGLEY

*Mechanical Engineering Design*  
*ed. Mc Graw Hill, 8<sup>th</sup> edition – 2006*

Maitriser l'usure et le frottement -

*Ministère de l'industrie, Programme national d'innovation, 1980.*

# FIABILITE PRÉVISIONNELLE EN MECANIQUE

## Conclusions - Perspectives

## CE QU'EST LA FIABILITE EN MECANIQUE

UNE METHODOLOGIE INTEGREE DE FIABILITE  
PRENANT EN COMPTE L'ALEATOIRE DANS LES  
PROCESSUS DE DEGRADATION DES SYSTEMES  
MECANIQUES

ELLE UTILISE :

UNE METHODOLOGIE DERIVEE DES TECHNIQUES  
CLASSIQUES DE FIABILITE

ELLE UTILISE LES RESULTATS DES BUREAUX DE CALCUL  
ELLE EST PRATIQUEE PAR DES MECANICIENS



## IDEES FAUSSES SUR LA FIABILITE EN MECANIQUE

LA FIABILITE EN MECANIQUE ...

C'EST L'APPLICATION DE LA LOI DE WEIBULL

C'EST L'APPLICATION DE LA LOI METHODE CONTRAINTE  
RESISTANCE

C'EST MOINS PRECIS QUE LA FIABILITE EN ELECTRONIQUE

REMPLACE LE TRAVAIL DU CALCULATEUR DE RDM

PEUT SE FAIRE SANS ANALYSE FONCTIONNELLE ET  
AMDEC

PEUT ETRE PRATIQUEE PAR UN FIABILISTE  
ELECTRONICIEN OU UN STATISTICIEN

## REGLES POUR OBTENIR UNE HAUTE FIABILITE

FAIRE AUSSI SIMPLE QUE POSSIBLE

EVITER D'INTRODUIRE DES PROCEDURES DE  
DIMINUTION DE COUT AU DEPEND DE LA FIABILITE

TENIR COMPTE DES ERREURS HUMAINES

UTILISER DES ELEMENTS CONNUS

PRENDRE DES PRECAUTIONS SUR LES CONCEPTIONS  
NOUVELLES

ANALYSER LES DONNEES DU TERRAIN

ASSURER DES EXPERTISES APRES DEFAILLANCES

## REGLES POUR OBTENIR UNE HAUTE FIABILITE (Suite)

FAIRE ATTENTION AUX DONNEES DU TERRAIN  
DANS LE CAS DE MODIFICATIONS ET  
AMELIORATIONS

DANS LE CAS DE PARAMETRES CRITIQUES  
UTILISER DES SF DE 3 A 6  $\sigma$

CONSIDERER LE DIAGNOSTIC DES ELEMENTS  
CRITIQUES

INCLURE DES FACILITES POUR INSPECTION DANS  
LA CONCEPTION

INTRODUIRE DES REDONDANCES LORSQUE  
NECESSAIRE

## **REGLES POUR OBTENIR UNE HAUTE FIABILITE** (Suite)

FAIRE ATTENTION AUX ASPECTS MAINTENANCE  
(FIABILITE)

FAIRE ATTENTION AUX ASPECTS TRANSPORTS,  
STOCKAGE

UTILISER DES COMPOSANTS STANDARDS SI  
POSSIBLE

FAIRE ATTENTION AUX ASPECTS FABRICATION  
(FIABILITE)

## NE PAS FAIRE

CALCULER AVEC NOMBRE DE 9 ELEVES

CALCULER DANS ZONES DE NON-LINEARITES

OUBLIER TENIR COMPTE DES NIVEAUX DE  
CONFIANCE

UTILISER LES TABLES DE DONNEES  
INCONSIDEREMENT

VOULOIR METTRE A TOUT PRIX DES  
PROBABILITES

## LES TYPES DE PROBLEMES DU FIABILISTE

AMELIORER LA CONCEPTION / CRITERES SURETE  
DE FONCTIONNEMENT

"ASSURANCE" SURETE DE FONCTIONNEMENT DU  
SYSTEME

EVALUATION QUANTITATIVE DE LA FIABILITE /  
OBJECTIF

# CRITIQUE DES ANALYSES SYSTEME

\* AMDEC SOUVENT UTILISEES DE FACON "PURE ET BRUTE"

## **AVANTAGES**

BALAYAGE EXHAUSTIF

TIENT COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT

FILTRE FIN

## **INCONVENIENTS**

PANNE D'ORDRE 1

PROBLEME POUR LES SCENARIOS DE PANNES  
COMPLEXES

CONVERGE LENTEMENT VERS LES PROBLEMES DE  
CONCEPTION

LOURD-VOLUME DE PAPIER IMPORTANT

## TENDANCES POUR LES ETUDES SYSTEMES

### \* COMPLEMENT OU REMPLACEMENT DE L'AMDEC PAR DIVERSES METHODES

ANALYSE FONCTIONNELLE

DEN/CNES

CEP



AMDEC « ASTUCIEUSES »

FTA, ARBRE D'EVENEMENTS

ANALYSE DE RISQUES

CONDITIONS INSIDIEUSES

DES IMPREVUS

MODES COMMUNS

...

BUT : CONVERGER PLUS RAPIDEMENT VERS L'OBJECTIF DE L'ETUDE



## TENDANCES RECUEIL DE DONNEES

RETOUR D'EXPERIENCE FAVORISE PAR OUTILS :

BASE DE DONNEES

STATISTIQUE SIMPLE

TEST PLUS PUISSANT (EDF)

VOIR ECHELLE NATIONALE

# TENDANCE : CALCULS NON STANDARDS

## MAITRISE DES MATERIAUX :

BASE DE DONNEES

MODELES

DANG VAN

AMORCAGE DES FISSURES

A FOND D'ENTAILLE

MODELE DE GREAGER  $\Delta\sigma_{\theta\theta}(d)$

SCHIVJE  $k = f(a)$

...

## CONCLUSIONS

La « fiabilité en mécanique » ne se réduit pas à « la loi de Weibull » ou à la « méthode contrainte résistance » !

Le choix et la mise en œuvre des **méthodes de prévision adaptées à chaque composant et à chaque contexte** d'étude nécessitent une

**bonne connaissance des bases de la mécanique ET de la fiabilité.**

## CONCLUSIONS

La « rigueur mathématique » des modèles et leur aptitude à « produire des décimales » ne doit pas faire oublier que la précision des estimations est dépendante :

- de l'**exhaustivité des analyses qualitatives** (c'est bien souvent une cause ou une combinaison de causes « oubliée » qui conduira à la défaillance).
- de la **qualité des données d'entrée** (connaissance toujours limitée de la répartition statistique réelle des contraintes et des résistances).
- de l'**écart entre le modèle et la réalité physique**.

## CONCLUSIONS

Les **tables de taux de défaillance** doivent être utilisées avec **beaucoup de précautions** en étant conscient du fait qu'elles ne représentent en général qu'une première approximation.