

La Fiabilité Un Élément Moteur de la Qualité : « du Composant au Produit »

Christine BARTHOD & Georges HABCHI

Conférence ProGection
Annecy, le 11 Décembre 2014



PROGECTION



Sommaire

■ Fiabilité des composants

- Notions de fiabilité
- Estimation des lois de fiabilité
- Objectifs de fiabilité

■ Fiabilité des produits et systèmes

- Démarche de fiabilité prévisionnelle d'un produit
- Consolidation de la démarche à travers d'exemples industriels
- Principales étapes de la démarche
- Résultats de fiabilité

■ Conclusion



PROGECTION

2

Qualité et Fiabilité

■ Qualité

- Conformité d'un produit à sa spécification à sa sortie d'usine et son aptitude à satisfaire les besoins de l'utilisateur

■ Fiabilité

- Son aptitude à y demeurer conforme pendant sa durée de vie

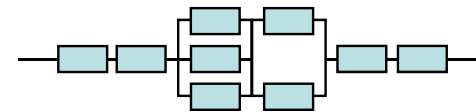
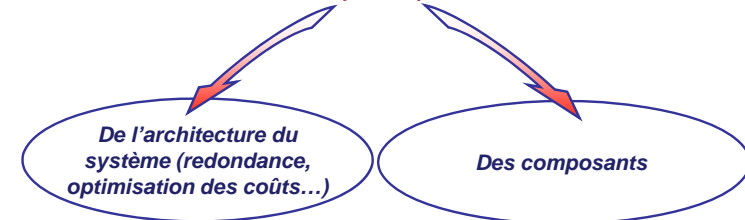


PROGECTION

3

La fiabilité dès la conception

La fiabilité participe au choix



Quelle **fiabilité** doit avoir un **composant** pour assurer une fiabilité donnée du système ?



PROGECTION

4

Fiabilité des Composants

Notions de fiabilité

Taux de retour clients pendant la période de garantie

- Sur un échantillon de 50 produits « X » vendus par une entreprise, 5 produits ont été retournés au SAV à cause de défaillance pendant la période de garantie → Le rapport $5/50 = 0,1 = 10\%$ exprime quoi ?

- Taux de retour clients ?
- Taux de non qualité ?
- Taux de défaillance ?

- **Défaillance (fonction)**

- **Fiabilité = $45/50 = 0,9 = 90\%$**

- Pendant la période de garantie 90% des produits restent en état de fonctionnement **ou**
- On a une probabilité de 0,9 pour que le produit soit encore en état de fonctionnement à la fin de la période de garantie

Notions de fiabilité

Estimation de la fiabilité à l'aide d'un exemple



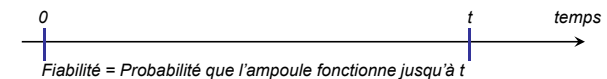
- Vous avez installé dans votre maison 10 ampoules identiques (même marque, même puissance...) et qui fonctionnent dans des conditions identiques

- Les 10 ont fonctionné à la mise en service
→ La fiabilité à la date de mise en service est $10/10 = 1$
- 1 ampoule est HS après 1 mois de fonctionnement
→ La fiabilité à 1 mois est $9/10 = 0,9$
(90% des ampoules de ce type sont fiables pendant 1 mois)
- 1 autre ampoule est HS à 3 mois
→ La fiabilité à ce moment, est $8/10 = 0,8$
- Etc.

Temps	0	1	3	5	6	9,5	11	15,5	20	28	40
Fiabilité	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0?

Qu'est-ce-que la fiabilité ?

- **Constat** : La fiabilité est une **probabilité associée au facteur temps**
- D'après la norme : C'est l'**aptitude d'une entité à assurer une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée**
- Au sens **mathématique** : C'est la **probabilité de fonctionnement d'une entité à un instant t**



(Pour $t = 11$ mois dans l'exemple
→ la probabilité que l'ampoule fonctionne 11 mois est 0,4
→ ou, on a 40% de chance que l'ampoule fonctionne 11 mois)

Exploitation du tableau de valeurs

Calcul des paramètres de fiabilité

Temps	0	1	3	5	6	9,5	11	15,5	20	28	40
Fiabilité	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0?



Paramètres de fiabilité

- **Durée de vie moyenne (MTTF, Moyenne des Temps jusqu'à Défaillance) :**
Somme des temps (TBF) / N = 13,9 mois
- **Taux de défaillance moyen**
 $\lambda = 1/MTTF = 0,072$ Défaillance/mois et ampoule
- **Ecart-type**
 $\sigma = 11,7$ mois

Exploitation du tableau de valeurs

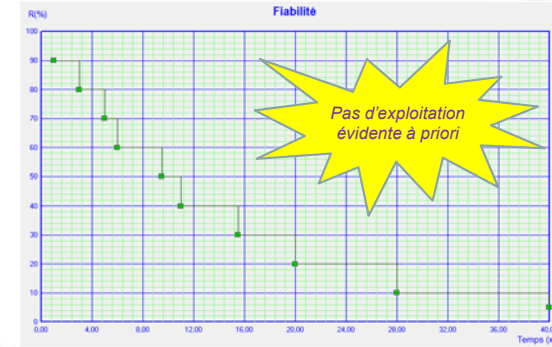
Graphique sur papier à échelles linéaires

Temps	0	1	3	5	6	9,5	11	15,5	20	28	40
Fiabilité	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0?



Graphique point/point sur du papier à échelles linéaires

- **Temps** sur l'axe horizontal
- **Fiabilité** (en % ou en valeur ≤ 1) sur l'axe vertical



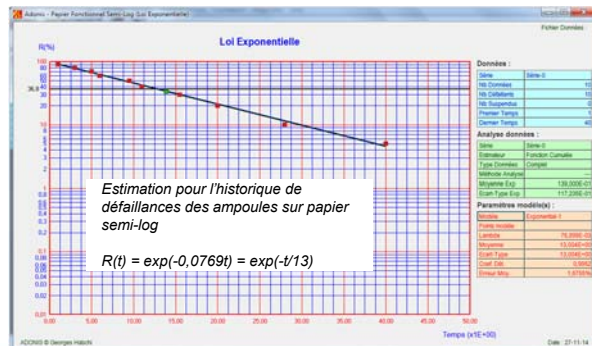
Exploitation du tableau de valeurs

Graphique sur papier semi-log

Temps	0	1	3	5	6	9,5	11	15,5	20	28	40
Fiabilité	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0?

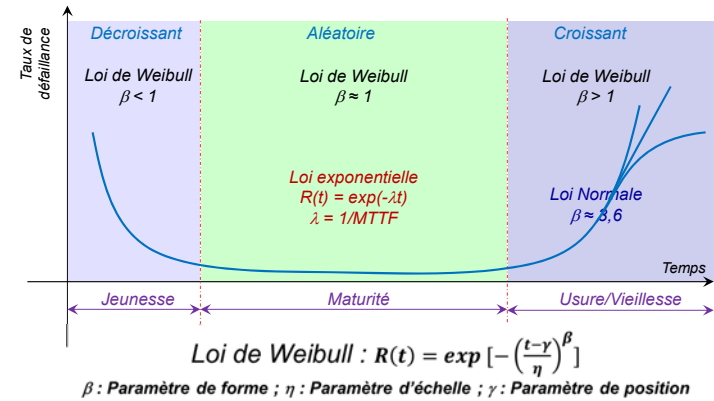
Graphique point/point sur du papier semi-log

- **Temps** sur l'axe horizontal
- **Fiabilité** en % sur l'axe vertical



Lois de fiabilité et paramètres

Les trois phases du cycle de vie d'un composant



Estimation de fiabilité

Exemple de la loi de Weibull

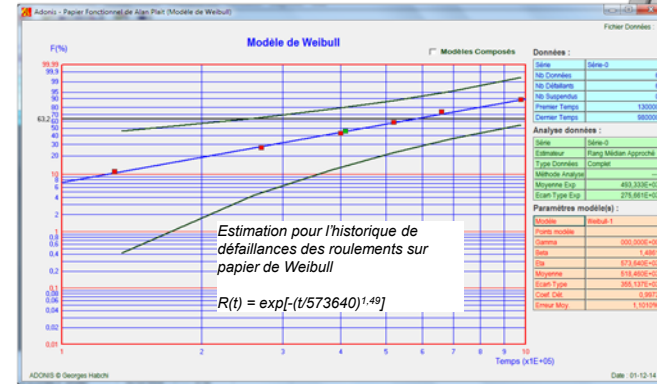
Un essai de durée de vie a été réalisé sur un lot de 6 roulements chargés dans des conditions spécifiques et les résultats suivants ont été enregistrés



N° Roulement	1	2	3	4	5	6
Nombre de cycles à la rupture	400 000	130 000	980 000	270 000	660 000	520 000

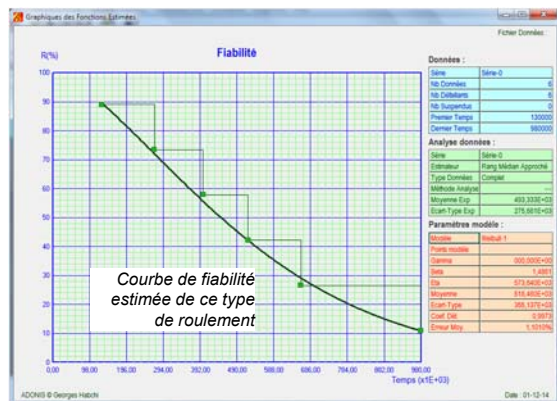
Estimation de fiabilité

Exemple de la loi de Weibull



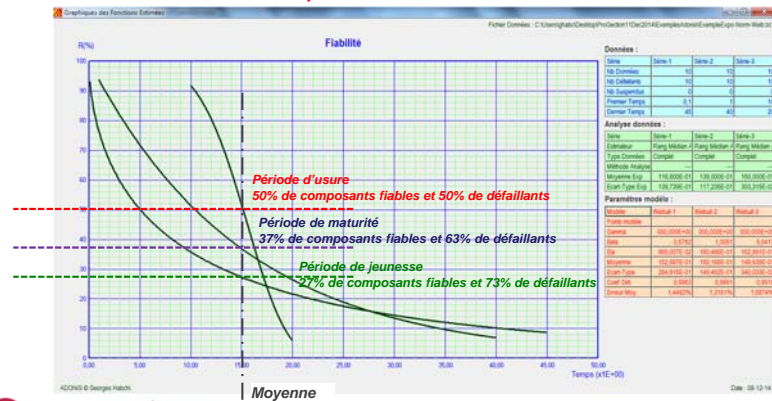
Estimation de fiabilité

Exemple de la loi de Weibull



Importance de la loi de fiabilité

Lois ayant la même durée de vie moyenne avec des défaillances observées dans des périodes de vie différentes



Objectifs de fiabilité

Exemples

- Taux de retour clients pendant la période de garantie
 - Taux retour = 1% ou $F = 0,01$ ou $R = 0,99$
- Taux de défaillance moyen (λ)
 - $\lambda = 5 \cdot 10^{-6}$ déf/heure.composant
- MTTF ou MTBF ou durée de vie moyenne
 - MTTF = 200 000 heures
- Durée de vie associée à une fiabilité donnée
 - $L_{10} = 800\ 000$ cycles
- Modèle de fiabilité et valeurs de ses paramètres
 - Weibull avec $\beta = 1,5$; $\eta = 5000$ heures ; $\gamma = 1000$ heures

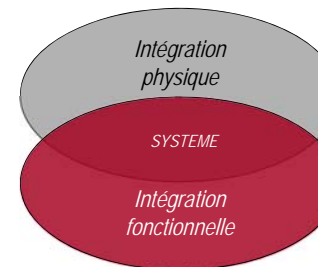
Fiabilité des Produits et Systèmes

Démarche d'évaluation de fiabilité

Proposer une **démarche globale** d'évaluation de la **fiabilité d'un système ou d'un produit** pendant la phase de **conception** (fiabilité prévisionnelle), capable de prendre en compte :

- > Profil de mission
- > Environnement et facteurs influents
- > Entités et fonctions du système
- > Relations entre entités et fonctions

Problématique



La fiabilité est traditionnellement étudiée **par technologie**
 → Etude par secteur de l'entreprise (électronique, mécanique...)
 → Cloisonnement

La fiabilité est étudiée **par phase du cycle de vie** (conception, fabrication, exploitation)
 → **Méthodes dédiées** avec leurs hypothèses et limites

Nécessité d'une démarche transdisciplinaire et d'une évaluation globale de la fiabilité

Pré-requis à une étude de fiabilité

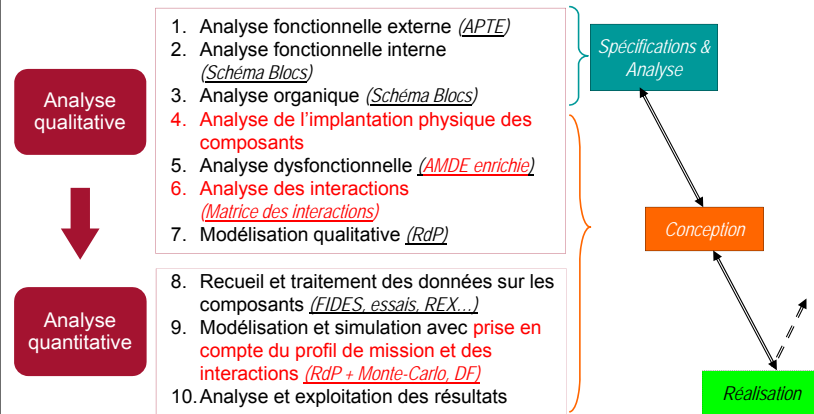
L'évaluation de la fiabilité prévisionnelle d'un système suppose d'avoir à disposition les informations suivantes :

- **Cahier des charges** complet du système
- **Objectifs** de fiabilité
- **Données** de fiabilité sur les composants qui seront utilisés et non disponibles dans des bases de données



Une forte implication de l'entreprise dans le déroulement de la démarche

Présentation de la démarche proposée



Consolidation de la démarche

Exemples de **systèmes industriels** présentés lors d'une réunion de travail organisée par ARTEMA

Choix de deux exemples permettant de dérouler la démarche dans le but de la concrétiser et de la consolider :

- Systèmes industriels simples
- Données principales existantes
- Expérience de l'industriel dans le domaine de la fiabilité
- Proximité géographique



Consolidation de la démarche

Actionneur intelligent de PACK'AERO



▪ Spécifications

En plus des fonctions d'un actionneur classique, l'actionneur intelligent assure des fonctions supplémentaires telles que le pilotage, la surveillance, la communication, le traitement d'information, etc.

- > Passage d'un système passif à un système actif
- > Utilisation d'une **action linéaire directe** à la place d'une action linéaire indirecte
- > **Optimisation de la réponse instantanée** en fonction des besoins
- > Intégration des **fonctions de verrouillage électrique** avec ou sans consommation électrique



Consolidation de la démarche

Actionneur intelligent de PACK'AERO

Contexte d'utilisation

Chaîne de tri continu comportant 200 à 1000 wagonnets

- Les wagonnets transportent des pièces d'un poste à un autre de la chaîne en défilement continu
- L'actionneur contribue à la réalisation de la fonction de déchargement des wagonnets

Le doigt de l'actionneur se met en obstacle pour ouvrir le volet et libérer le chargement du wagonnet sans arrêt



Profil de mission

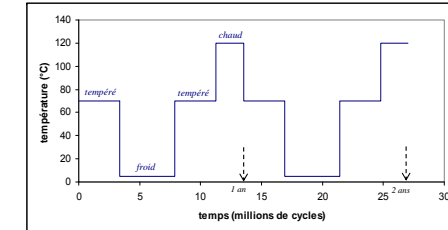
Actionneur intelligent de PACK'AERO

Le profil de mission sera pris en compte dans l'évaluation de la fiabilité prévisionnelle



Exemple de profil de mission pour l'actionneur

- Un facteur d'influence : la température
- Trois phases de fonctionnement différentes : froid, tempéré, chaud



4. Analyse de l'Implantation Physique

ENTREES

- Sous-systèmes
- Composants
- Liens
- Interfaces

4. Implantation physique des composants

SORTIES

- Plan d'ensemble du système
- Identification des interactions collatérales

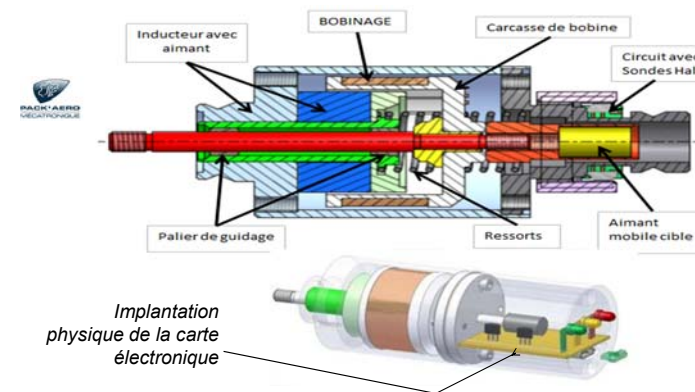
Optimise :

- L'implantation physique de chaque fonction
- L'organisation des différentes fonctions les unes par rapport aux autres

→ Minimiser les effets des interactions collatérales sur la fiabilité du système

Plan d'ensemble en coupe

Actionneur intelligent de PACK'AERO



5. Analyse Dysfonctionnelle

- ENTREES**
- Dossier de conception
 - Historiques de pannes du système existant
 - Description fonctionnelle
 - **Analyse de l'implantation physique**
 - Connaissance de l'environnement et des conditions d'utilisation
 - Analyse préliminaire des risques

5. Analyse Dysfonctionnelle

- SORTIES**
- Identification des dysfonctionnements potentiels et de leur criticité
 - Plan d'actions

- Identifie les défaillances dont les conséquences peuvent affecter le fonctionnement du système
- > Défaillances **intrinsèques**
- > Défaillances **fonctionnelles** identifiées par l'analyse organique
- > **Défaillances collatérales** issues de l'analyse de l'implantation physique
- **AMDE(C)** → Méthode **inductive** permettant d'analyser les effets et les causes des défaillances et de les hiérarchiser (selon leur niveau de criticité) afin de les maîtriser

Analyse Dysfonctionnelle AMDE – AMDEC

Evolution de la méthode

Classification des modes de défaillance **selon l'origine du dommage** (intrinsèque, fonctionnel, collatéral) et précisant :

- Leur **nature** : première, seconde ou par commande
- Leur **rapidité de manifestation** : soudaine ou progressive
- Leur **amplitude** : complète ou partielle



Sous système	composant	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Origine du dommage	Classification : nature / rapidité de manifestation / amplitude
xibs	Bobine + carcasse	F6	- Gonflement ou désamalgamation thermique du fil de cuivre [8].	Echauffement thermique Vibration, chocs	Pas d'ouverture du volet	Collatéral	Seconde, progressive, partielle
			- Gonflement de la carcasse	Pression ou vitesse de coulissement excessive	Pas d'ouverture du volet	Collatéral	Seconde, progressive, partielle
			- Rupture de la matière	Fatigue de la matière [8]	Pas d'ouverture du volet	Intrinsèque	Première, progressive, totale
			- Rupture/casse fil [8]	Défaillance inducteur avec aimant	Pas d'ouverture du volet	Fonctionnel (Inducteur → Bobine)	Première, soudaine, totale
			- Mauvais courant dans la bobine	Défaillance Pont en H	Pas d'ouverture du volet	Fonctionnel (Pont en H → Bobine)	Première, soudaine, totale
			- Mauvaise position	Décentration tige	Pas d'ouverture du volet	Fonctionnel (Tige → Carcasse bobine)	Première, soudaine, totale

6. Analyse des Interactions

- ENTREES**
- Sorties de l'AMDE(C)

6. Analyse des Interactions

- SORTIES**
- Matrice des interactions
 - Effets des interactions
 - Lois d'évolution des paramètres de fiabilité
 - Interactions à prendre en compte dans le modèle

- Répertorie les **interactions** identifiées et classifiées dans l'AMDE enrichie (une analyse de criticité sera nécessaire)
- Permet le choix des interactions à prendre en compte dans l'évaluation de fiabilité

Analyse des Interactions Matrice des interactions

		Carte actionneur		Carte sonde	Equipage mobile	Corps de l'actionneur		
		carte commande et diagnostic actionneur	Conditionnement sonde	Bobine + carcasse	Palier de guidage	Inducteur avec aimant	Sonde à effet Hall	
Carte actionneur	Commande et diagnostic actionneur	-	0	0	0	0	0	
Carte sonde	Conditionnement sonde	0	-	-	0	2	0	
Equipage mobile	Bobine + Carcasse	0	0	-	0	4	0	
Corps de l'actionneur	Palier de guidage	0	0	3	-	0	0	
	Inducteur avec aimant	0	0	4	1	-	0	
	Sonde à effet Hall	1	0	0	0	0	-	

- 1 : interaction fonctionnelle unidirectionnelle
- 2 : interaction fonctionnelle bidirectionnelle
- 3 : interaction collatérale unidirectionnelle
- 4 : interaction collatérale bidirectionnelle

Hypothèse retenue :

Prise en compte dans le modèle de l'interaction palier de guidage / bobine.

7. Modélisation Qualitative

ENTREES

- Interactions entre le système et son environnement
- Fonctions internes du système
- Architecture du système et interactions des éléments
- AMDE

Décrit sous forme graphique le comportement fonctionnel et dysfonctionnel de l'ensemble des composants du système et leurs interdépendances

- **Etats** : fonctionnement, panne, dégradé, réparation
- **Conditions de transition entre états** : modes de défaillance, événements, modes de réparations,...

SORTIES

- Modèles fonctionnels et dysfonctionnels par composants et sous-ensembles
- Modèle fonctionnel et dysfonctionnel global du système

33

Modélisation Qualitative

Palier de guidage et bobine

- Modèle des deux composants : palier de guidage / bobine
 - Usure du palier
 - Interaction collatérale liée à l'implantation physique palier / bobine

- Modélisation des interactions par la mise en œuvre de nouveaux états et modes
 - > 3 états pour chaque composant : fonctionnement, dégradé, panne
 - > 3 modes de défaillance pour le palier, 2 modes de défaillance pour la bobine
 - > 2 modes de réparation pour le palier, 1 mode de réparation pour la bobine

33

34

8. Recueil et Traitement des Données

ENTREES

- Profil de mission
- Fonctions internes et/ou composants du système
- Interactions entre composants et/ou fonctions internes
- Interactions entre le système et son environnement

Consiste à :

- **Collecter les données** de fiabilité disponibles sur les composants (bases de données, historiques, essais, REX...)
- **Traiter les données** (analyses statistiques, influence des facteurs influents, influence des interactions...)
- **Rechercher par composant une loi de fiabilité** pertinente ainsi que ses paramètres

SORTIES

- Loi de fiabilité par composant et/ou fonction interne
- Valeurs des paramètres des lois
- Lois d'évolution des paramètres en présence d'interactions
- Lois d'évolution des paramètres en fonction des facteurs d'influence

35

Lois de fiabilité et paramètres

Technologie	Remarques	Loi de fiabilité et paramètres
Electronique	Loi connue et paramètres disponibles dans Bases de Données	Exponentielle : • MTTF ou λ (taux de défaillance)
Mécanique	<ul style="list-style-type: none"> • Loi connue pour un faible nombre d'éléments standards • A établir pour la plupart des éléments spécifiques 	Weibull : • β (paramètre de forme) • η (paramètre d'échelle)

FIDES 2009

→

REX ou Estimation des paramètres de fiabilité pour les composants mécaniques

36

Démarche FIDES Technologie électronique

Le calcul du taux de défaillance final ou de la MTTF des composants est une fonction de **facteurs II** qui dépendent :

- Des **technologies** des composants
- Des **processus de fabrication** des équipements
- Des **domaines d'utilisation** des équipements

Technologies Composants

Processus de Fabrication

Domaines Utilisation

Fiabilité

37

Prise en compte des facteurs d'influence du profil de mission dans FIDES

Influence des **deux facteurs** :

- Température
- Vibration

Vibration (Grms)	Température (° C)				
	75	90	120	150	200
0,5	15 expériences à réaliser				
5					
12					

Influence de la **température**

38

Lois de dégradation Technologie mécanique

Qualité (t_0)
Dessin de définition

Fiabilité (t_F)
Dessin au seuil d'admissibilité

Loi de dégradation

TBF

Contrôle Qualité t_0

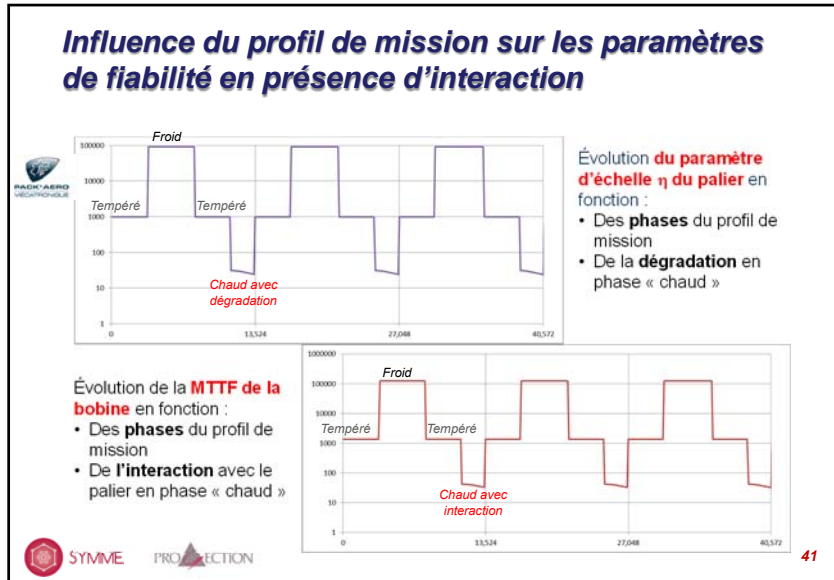
Perte de Fonction t_F

39

Influence de l'environnement sur l'usure des composants mécaniques

- Loi et valeurs des paramètres choisies d'après l'expérience du fabricant dans le domaine de fiabilité (essais, REX)
- Évolution proposée des paramètres en fonction de la température et de la vibration

40



9. Modélisation et Simulation

ENTRÉES :

- Profil de mission
- Modèles fonctionnel et dysfonctionnel
- Données et lois de fiabilité
- Comportement vis-à-vis des interactions
- Méthode de modélisation utilisée
- Conditions de simulation, de calcul

Met en œuvre les modèles de fiabilité selon la méthode choisie en tenant compte des entrées et sorties et fournit des résultats de fiabilité

Deux méthodes sont exploitées :

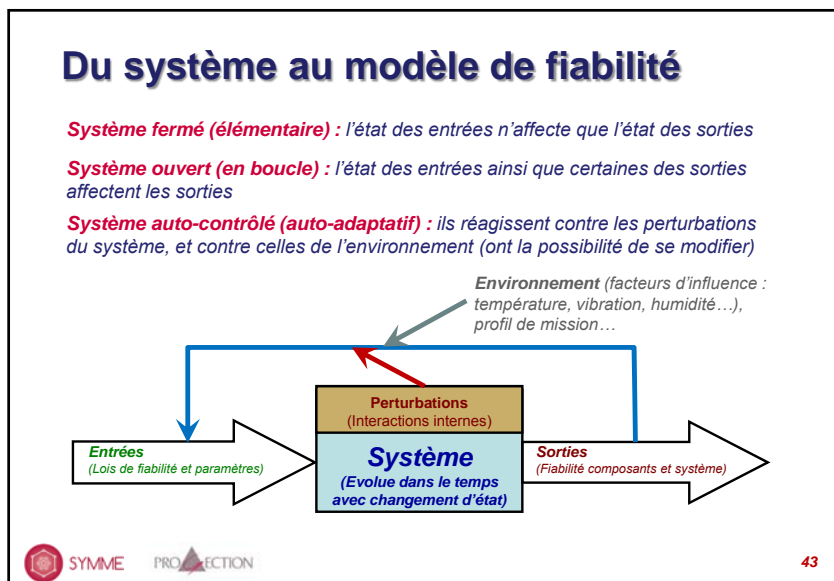
- Les **Réseaux de Petri** utilisés pour une modélisation comportementale des différents états du système et la simulation Monte Carlo pour la quantification des résultats de fiabilité
- Les **Diagrammes de Fiabilité** utilisés pour une modélisation en schéma blocs des composants et un calcul analytique de la fiabilité

9. Modélisation & Simulation

SORTIES :

- Modèles de fiabilité selon méthode utilisée
- Types de résultats et forme souhaitée en termes de fiabilité des composants et du système
- Résultats

42



Block – Diagramme de Fiabilité

Actionneur Intelligent de PACK'AERO

Logiciel ADONIS Reliability

44

10. Analyse et Exploitation des Résultats

ENTREES

- Objectifs en termes de fiabilité
- Résultats de fiabilité composants et système (tableaux de valeurs, courbes)

10. Analyse des Résultats

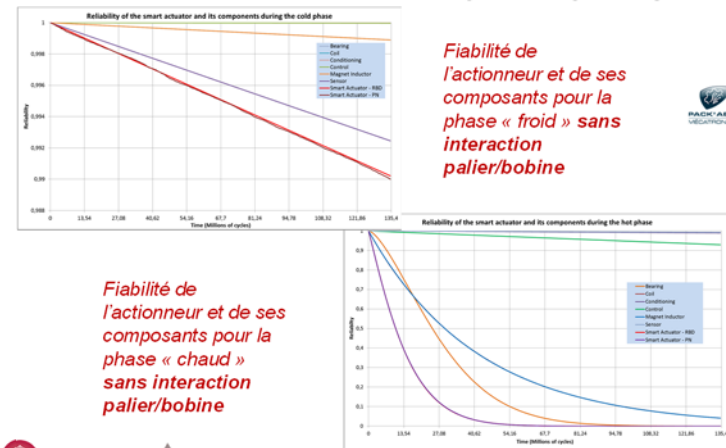
SORTIES

- Analyse de la fiabilité composant/composant
- Analyse de la fiabilité système
- Analyse de l'effet des facteurs d'influence et des interactions
- Comparaison objectifs/résultats
- Proposition d'actions d'amélioration

- Évalue la fiabilité des composants et du système en comparaison avec les objectifs
- Évalue l'effet des facteurs d'influence et des interactions
- Cible les composants critiques
- Propose des conclusions et des actions d'amélioration

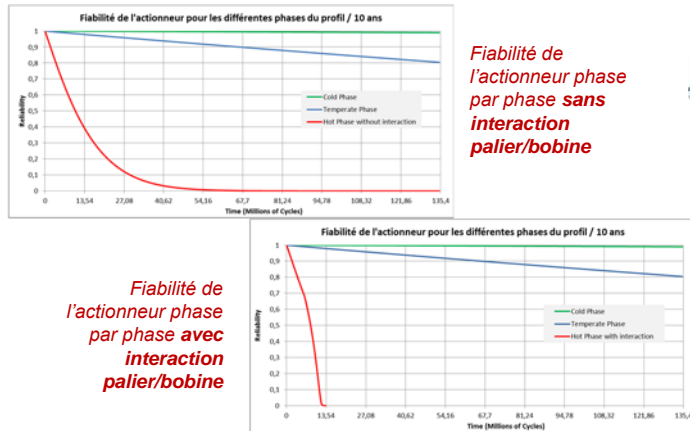
Résultats de Fiabilité

Fiabilité de l'actionneur et des composants phase/phase



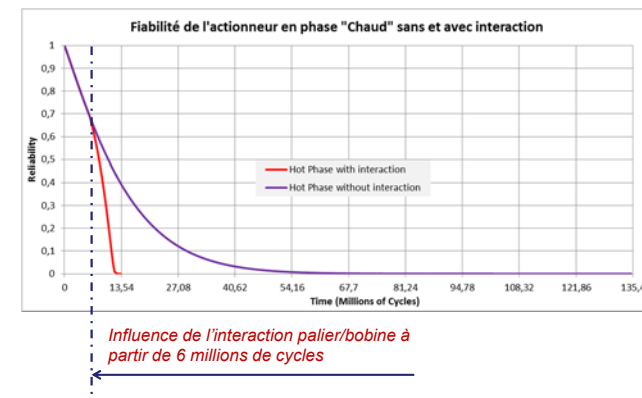
Résultats de Fiabilité

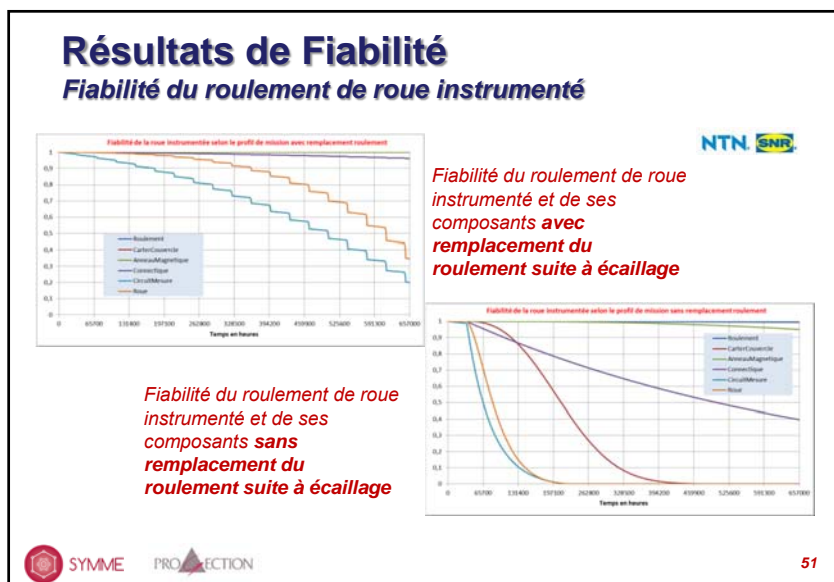
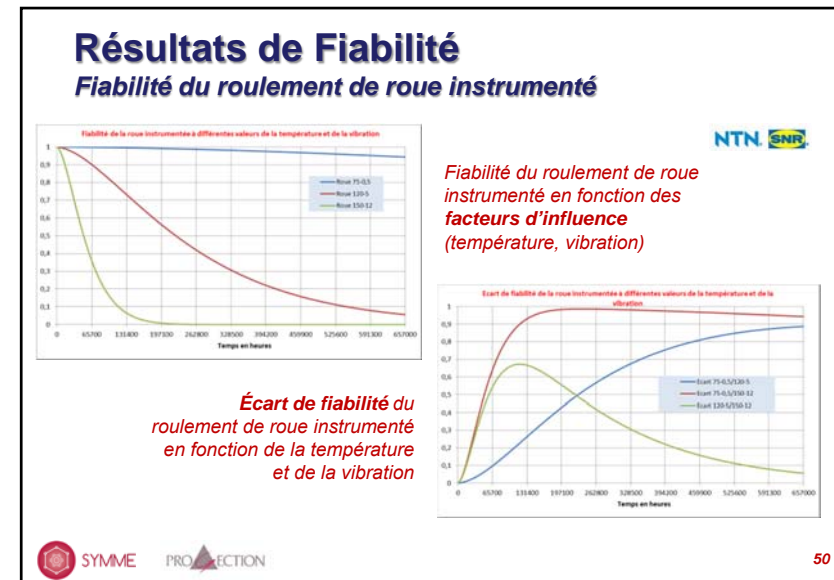
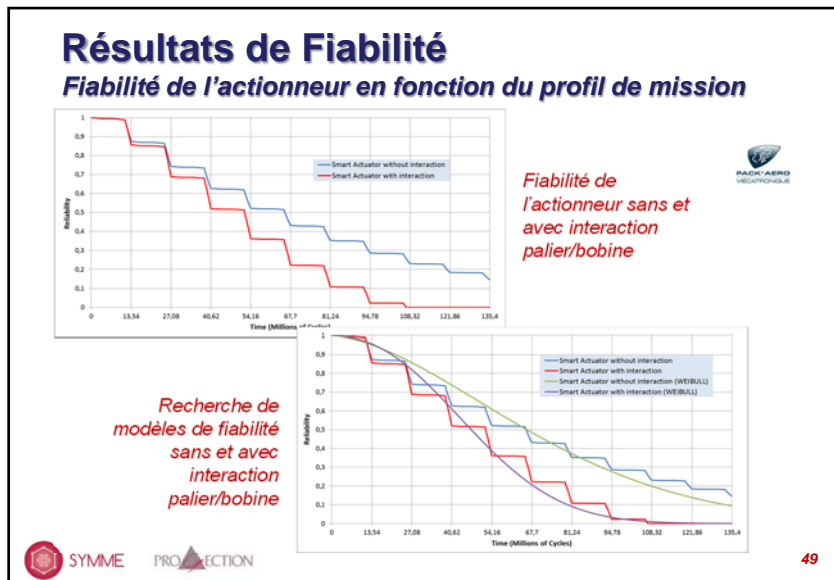
Fiabilité de l'actionneur phase/phase sans et avec interaction



Résultats de Fiabilité

Fiabilité de l'actionneur en phase « chaud » sans et avec interaction palier/bobine





Conclusion

- La fiabilité des composants est basée sur l'analyse statistique des données en termes de TTF, TBF, dates de défaillances (bases de données, essais, REX...)
- La fiabilité prévisionnelle des produits nécessite l'utilisation d'une démarche systémique bien structurée
 - Basée sur un cycle de conception reconnu
 - Considérant une analyse qualitative et une analyse quantitative
 - Tenant compte du profil de mission, des facteurs d'influences, des interactions
 - Permettant de calculer la fiabilité globale du système

SYMME PROTECTION 52