



Fiabilité des Systèmes Mécatroniques

Georges Habchi & Christine Barthod

Le 5 décembre 2014
Courbevoie

Sommaire

Objectif des travaux

Problématique

Pré-requis à une étude de fiabilité

Système mécatronique

Analyse bibliographique

Présentation de la démarche proposée

Consolidation de la démarche proposée

Descriptions des étapes de la démarche et illustrations

Conclusions

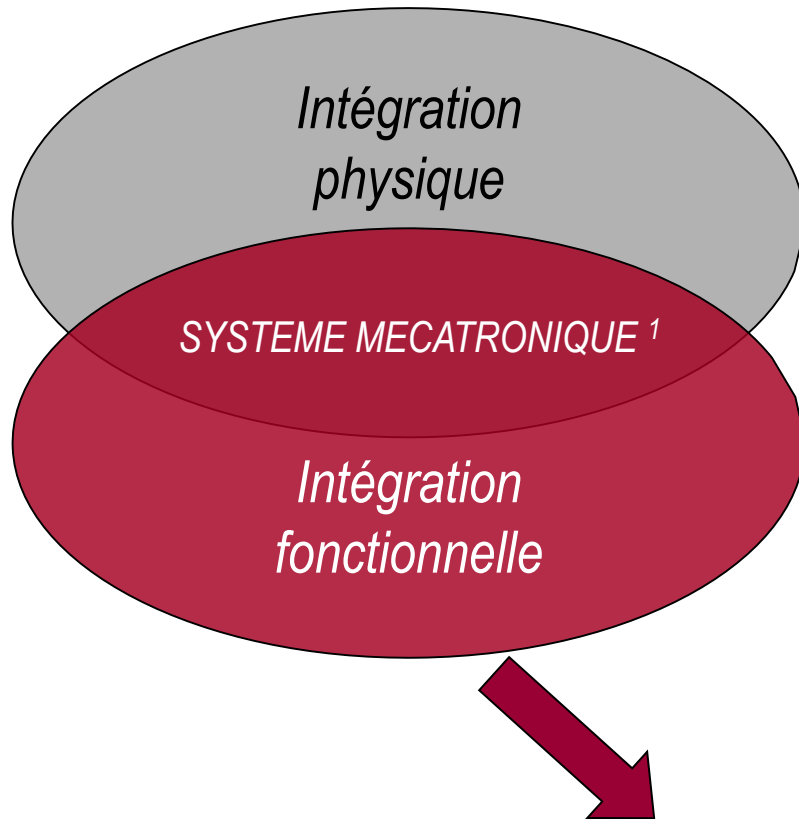
Axes d'améliorations

Objectifs des Travaux

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

- > Profil de mission
- > Environnement et facteurs influents
- > Entités et fonctions d'un système mécatronique
- > 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 :

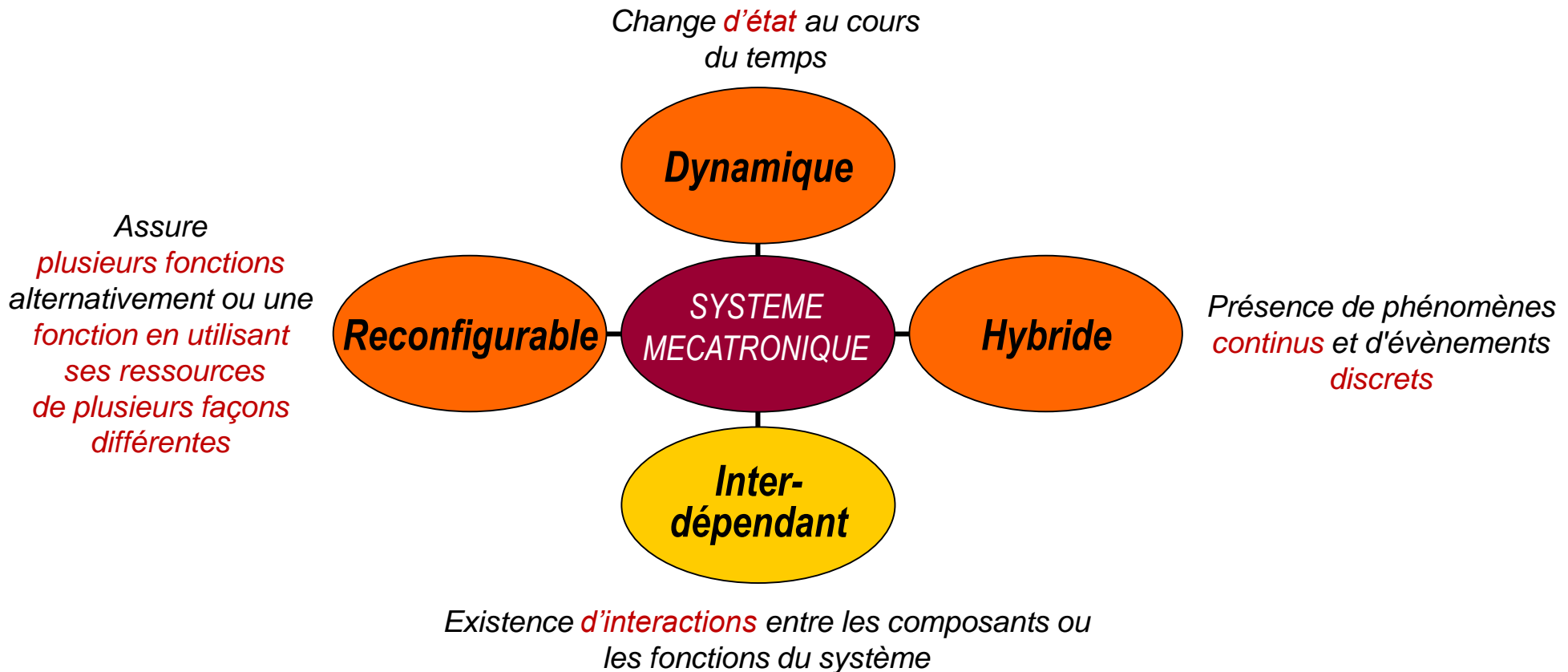
- Cahier des charges complet du système
- Objectifs de fiabilité
- **Données de fiabilité** sur les composants qui seront utilisés et non disponibles dans des bases de données



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

Systeme Mécatronique

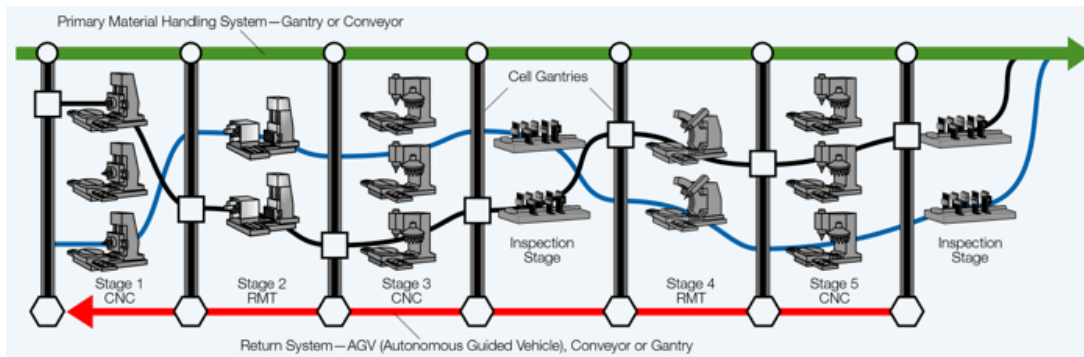
Caractérisation d'un **systeme mécatronique** du point de vue de la fiabilité



Systeme Mecatronique

Illustration des *caracteristiques*

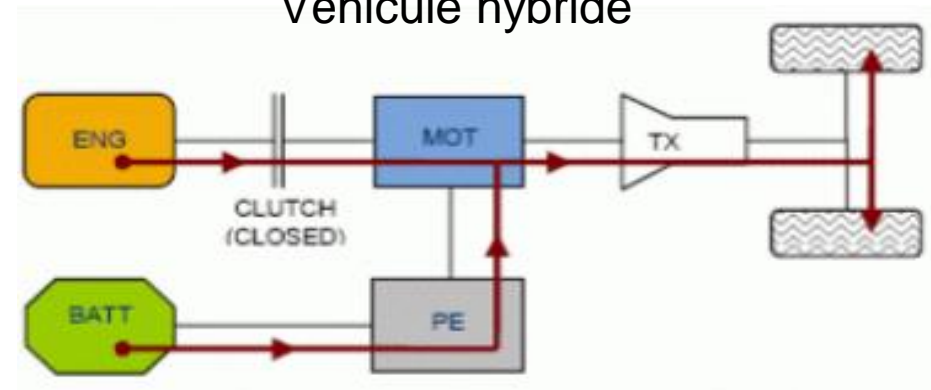
Systeme de production



Systeme d'atterrissage




Vehicule hybride



Ampèremètre/Voltmètre...

Analyse Bibliographique

Analyse des *différentes approches d'étude de la fiabilité* pour des systèmes mécatroniques

 Identification du *manque en termes de fiabilité* des systèmes mécatroniques

Mots Clés	Ziegler 1996	Moncelet 1998	Khalfaoui 2003	Schoenig 2004	Mihalache 2007	Demri 2009
Fiabilité	-	-	-	-	+	+
Système mécatronique	-	+	+	+	+	+
Modélisation	+	+	+	+	+	+
Simulation	-	+	-	+	+	+
Dimension transversale	-	-	-	-	-	-
Dimension verticale	-	-	-	-	+	-
Etude qualitative	-	+	+	-	-	+
Etude quantitative	+	+	-	+	+	+
Les interactions technologiques	-	-	-	-	-	-

- Pas de prise en compte des *différentes phases* de fonctionnement et d'un *profil de mission* construit sur ces phases
- Les *interdépendances physiques et fonctionnelles* générées entre les différentes parties technologiques ne sont pas étudiées
- Pas d'évaluation de la *fiabilité globale*

Présentation de la Démarche Proposée

Analyse qualitative



Analyse quantitative

1. Analyse fonctionnelle externe (APTE)
2. Analyse fonctionnelle interne (Schéma Blocs)
3. Analyse organique (Schéma Blocs)
4. Analyse de l'implantation physique des composants
5. Analyse dysfonctionnelle (AMDE enrichie)
6. Analyse des interactions (Matrice des interactions)
7. Modélisation qualitative (RdP)

8. Recueil et traitement des données sur les composants (FIDES, essais, REX...)
9. Modélisation et simulation avec prise en compte du profil de mission et des interactions (RdP + Monte-Carlo, DF)
10. Analyse et exploitation des résultats

Spécifications & Analyse

Conception

Réalisation

Consolidation de la Démarche

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

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

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



Exemple pour illustration

■ Contexte d'utilisation

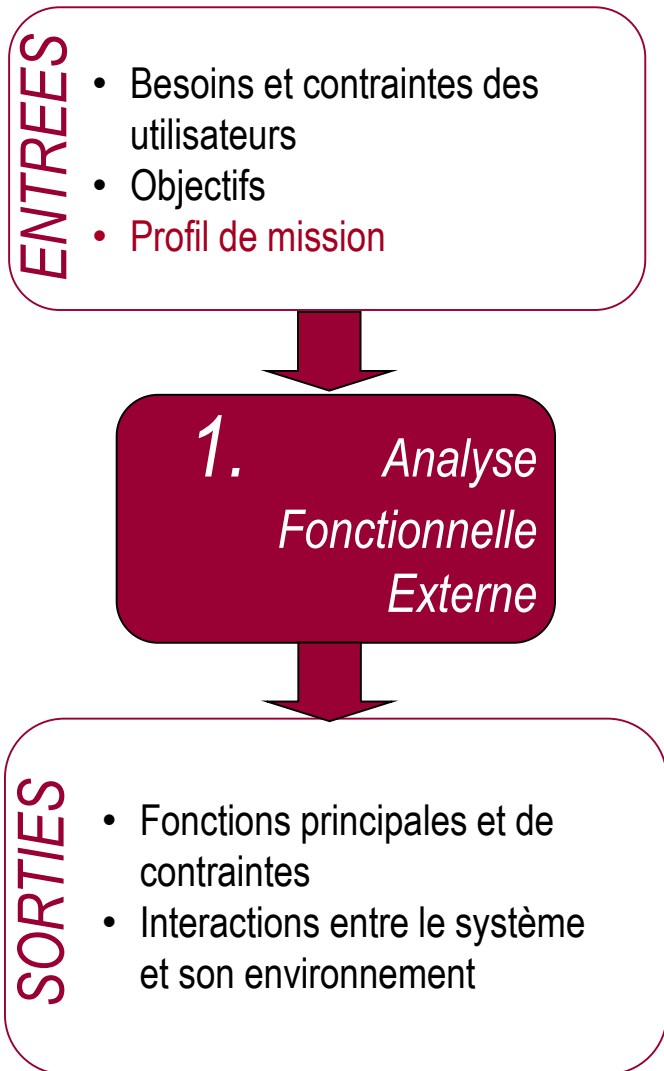
Chaîne de tri continu comportant 200 à 1000 wagonnets

- ❑ *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



1. Analyse Fonctionnelle Externe



Décrit :

- Les fonctions attendues pour **chaque phase du profil**
- Les **fonctions de réaction aux adaptations** pour tenir compte de l'environnement
- Les **contraintes** justifiées des utilisateurs

➔ Rédiger un CdCF

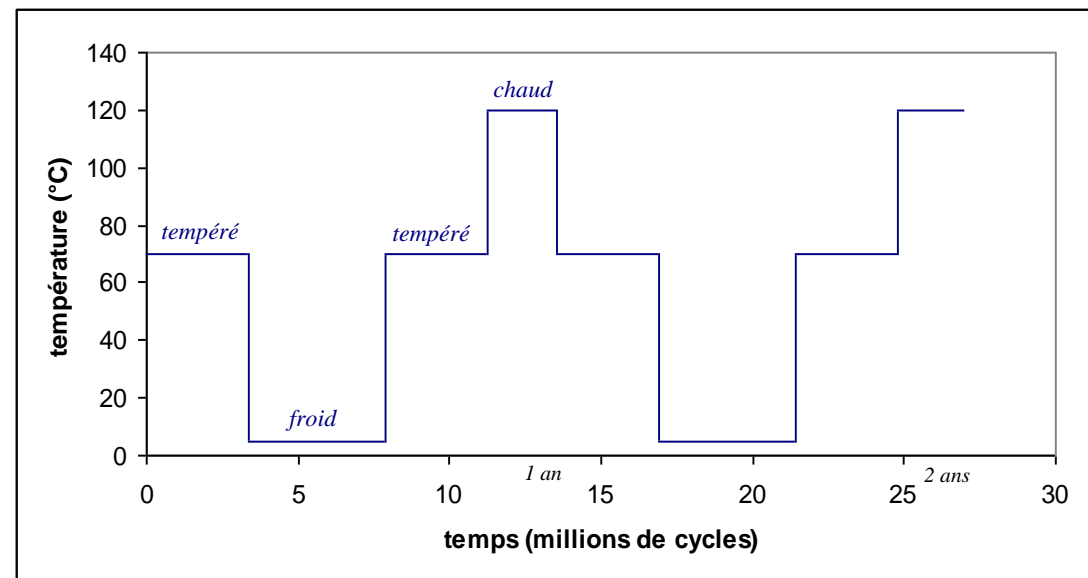
Profil de mission

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

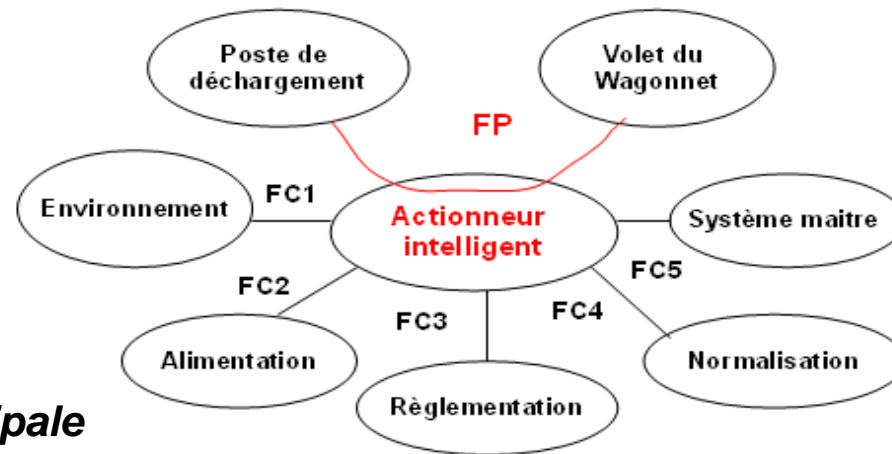


Exemple de profil de mission pour l'actionneur

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



Méthode APTÉ



Caractérisation de la fonction principale

Caractérisation des fonctions contraintes

	Critère / Objectif	Niveau
FP : Permettre l'ouverture du volet de wagonnet lorsque le wagonnet arrive au niveau du poste de déchargement	Masse maximale du volet	10 g
	Vitesse maximale du wagonnet	1 m/s
	Type de déplacement du wagonnet	Linéaire
	Orientation du déplacement	Horizontale
	Temps de passage entre deux wagonnets successifs	50 ms
	Course minimale nécessaire pour l'ouverture du volet prise dans le sens transverse au déplacement du wagonnet	9 mm
	Force maximale d'appui sur le bâti du poste de déchargement	20 N
	Objectif en nombre moyen de cycles d'ouverture par rapport à la fermeture avant une première défaillance (MTTF)	10 millions de cycles
	Objectif de durée de vie	10 ans
	Type de fonctionnement	Intermittent : 6 cycles / 10s, 1 créneau ON-OFF / 60 ms (alimentation), 1 cycle = 40 ms, 20 h / 24, 6 j / 7

		Critère	Niveau
FC1	Ambiance thermique	Profil chaud : température et durée	120°C pour 2/12 des cycles
		Profil froid : température et durée	5°C pour 4/12 des cycles
		Profil tempéré : température et durée	70°C pour 2 fois 3/12 des cycles
FC2	Alimentation électrique installée	Puissance électrique	10 W
		Tension	24 V +/- 5%
FC3	Exigences réglementaires	Satisfaire les exigences réglementaires	Directive basse tension NSC 20-030 (matériel électrique basse tension) Directive machine propre à l'applicatif (Exemple : Bruit émis par les équipements NFEN 11201)
FC4	Exigences normatives	Satisfaire les exigences normatives	Degré de protection électrique NFEN60529 Bruit émis par les équipements NFEN 11201
FC5	Ordre d'actionnement	Ordre de marche	Fonction TOR (1)
		Ordre d'arrêt	Fonction TOR (0)

2. Analyse Fonctionnelle Interne

ENTREES

- Besoins et contraintes des utilisateurs, objectifs, profil de mission
- Fonctions principales et contraintes, interactions entre le produit et son environnement

2. Analyse
Fonctionnelle
Interne

SORTIES

- Architecture fonctionnelle, critères de choix des solutions techniques
- Description du système interne et des relations entre les fonctions techniques

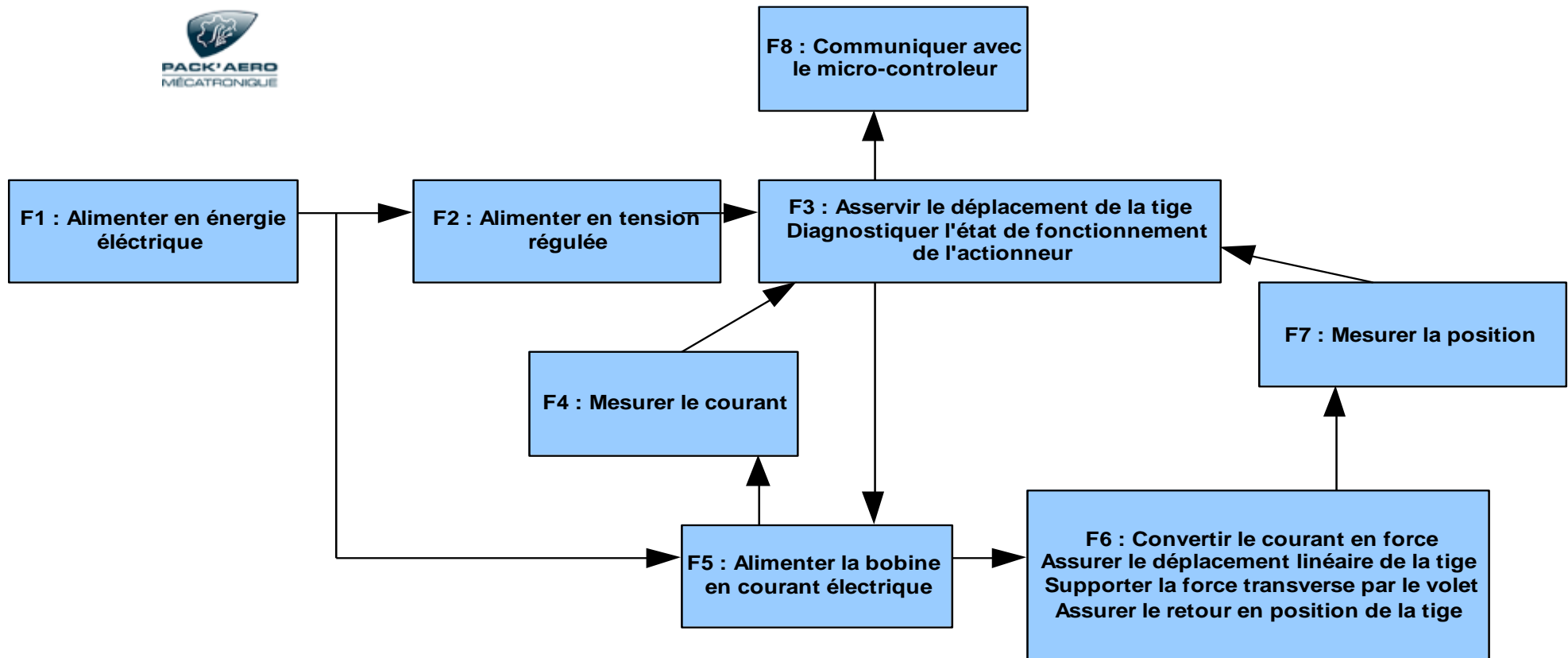


*Aux E/S de l'Analyse
Fonctionnelle Externe*

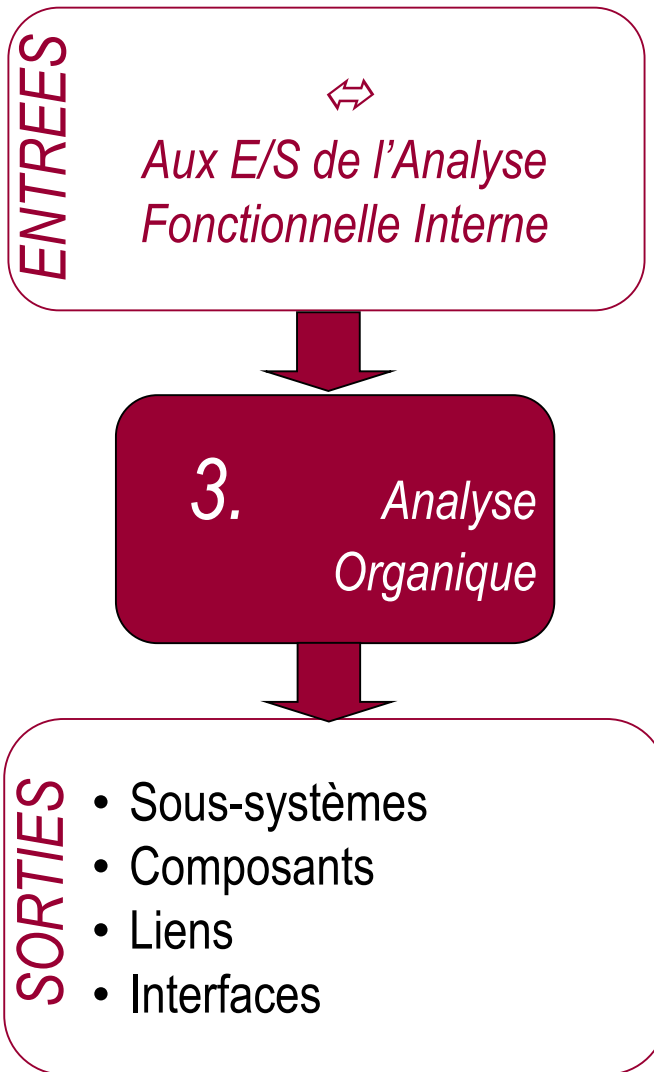
- Etablit des **relations** entre l'AFE et les **solutions envisageables** pour répondre au besoin
- Permet la déclinaison des fonctions identifiées par l'AFE en **fonctions techniques internes**

→ Disposer d'éléments de comparaison objectifs entre les différentes solutions

Schéma Blocs Fonctionnel

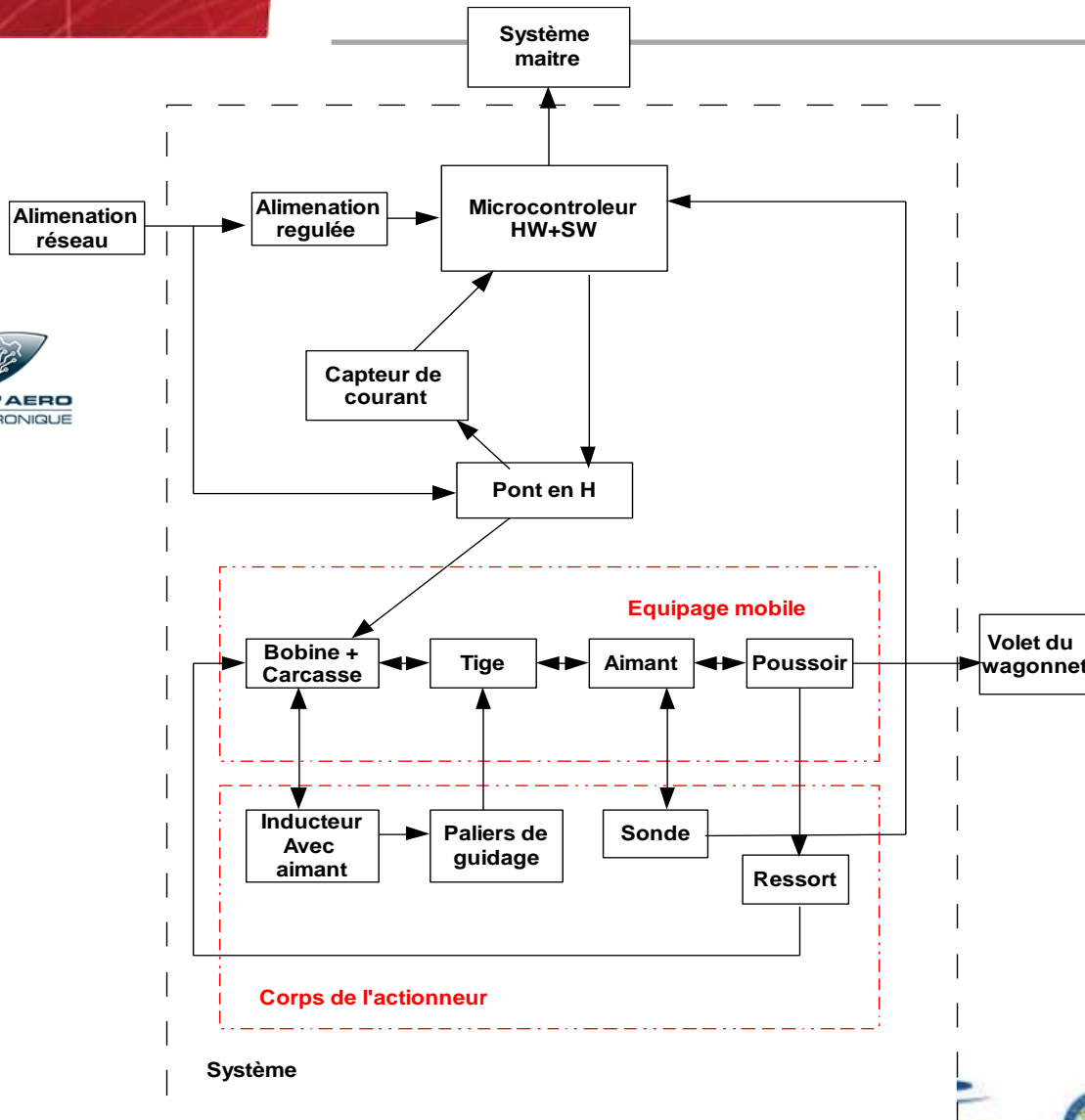


3. Analyse Organique



Définit l'architecture du système avec l'ensemble des sous-systèmes et composants et de leurs interfaces pour répondre aux fonctions techniques attendues

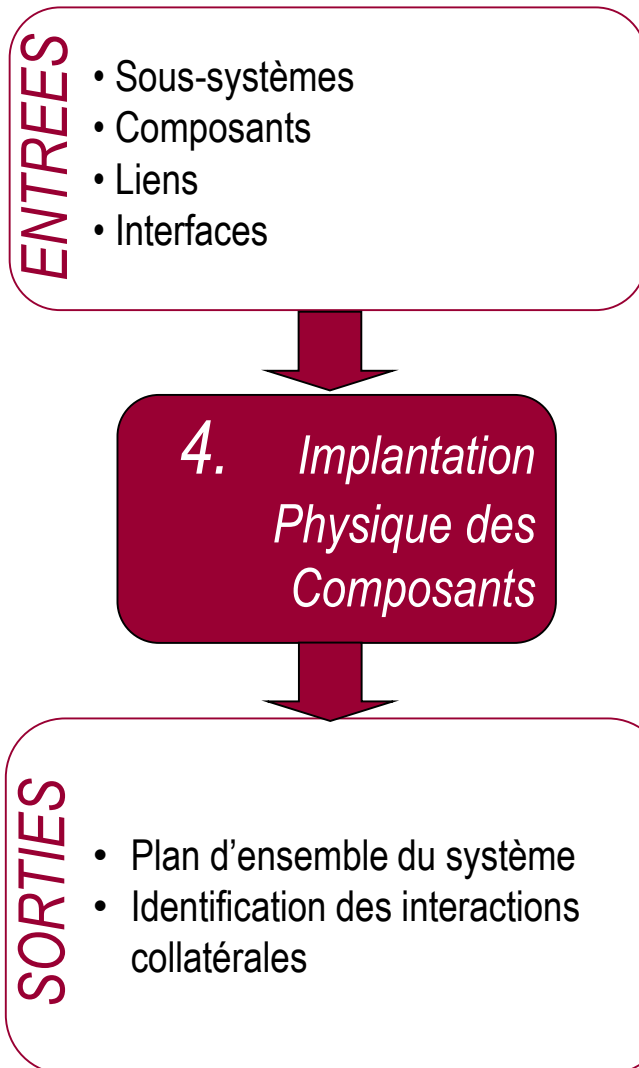
Schéma Blocs des Organes



3 sous-systèmes :

- Un **actionneur** électrodynamique linéaire à bobine mobile
- Un **capteur de déplacement sans contact** combinant des sondes Hall et un aimant mobile
- Une **électronique** d'asservissement et d'autodiagnostic

4. Analyse de l'Implantation Physique

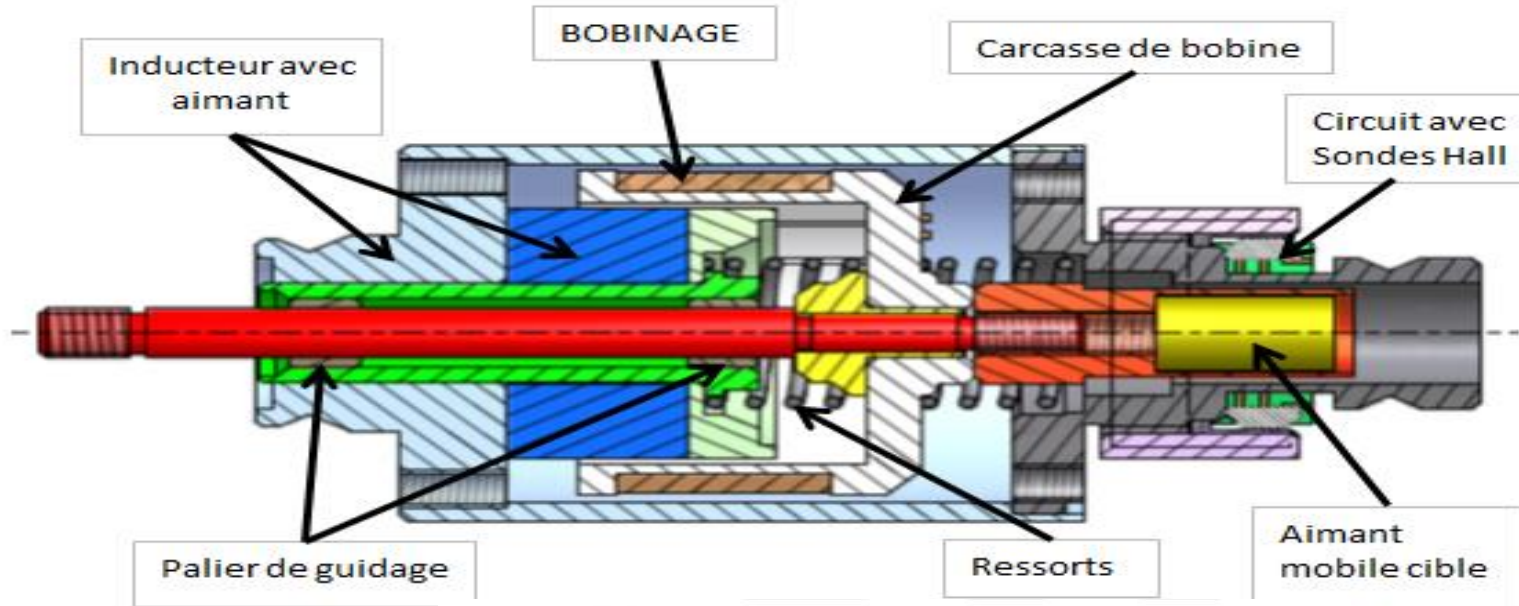


Etape supplémentaire proposée par rapport à une démarche de conception classique

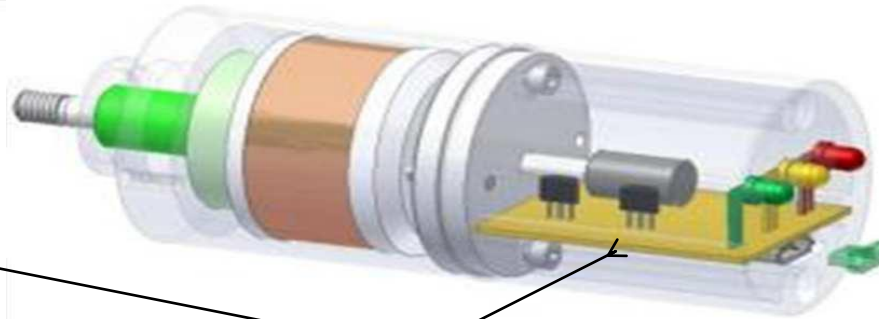
Optimise :

- 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



Implantation physique de la carte électronique



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'architecture 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

AMDE – AMDEC

Description

- Recenser les **faiblesses potentielles** d'un système à travers ses **composants** (**modes**, **causes**, **effets** selon la phase de la mission et du cycle de vie)
- Évaluation de la **criticité** de chaque défaillance au regard de **l'objectif**

Avantages

- Méthode relativement **simple** et accessible
- Domaine d'application **très large**, conception et exploitation
- Tableau d'analyse assurant une bonne **traçabilité** et une **aide à la décision**

Inconvénients / limitations

- Lourdeur en volume de temps passé
- Difficile de prendre en compte des phénomènes **combinatoires ou dynamiques**
- Pas de prise en compte des phénomènes **stochastiques**
- Mieux adaptée aux systèmes mécaniques et analogiques que numériques

Hypothèses retenues

Eléments pris en compte dans l'évaluation de la fiabilité



- Carte commande et diagnostic
- Carte conditionnement de la sonde à effet Hall
- Bobine
- Inducteur avec aimant
- Palier de guidage
- Sonde à effet Hall

AMDE – AMDEC

Evolution de la méthode

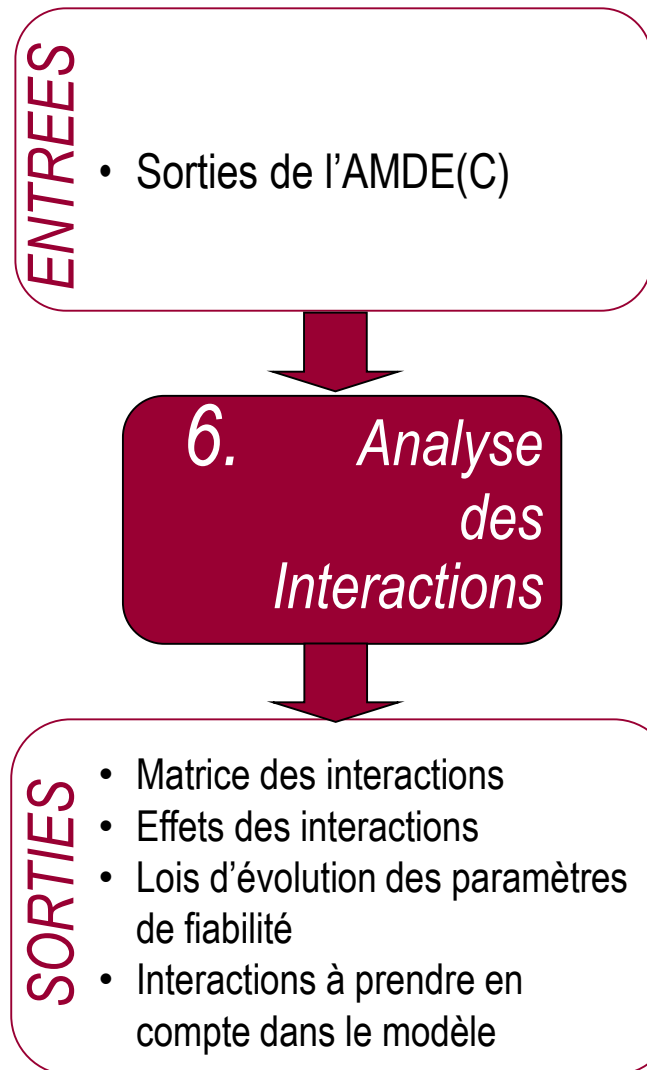
Classification des modes de défaillance *selon l'origine du dommage* (intrinsèque, fonctionnel, collatéral) et précisant :

- 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
Bobine	Bobine + carcasse	F6	<ul style="list-style-type: none"> - Gonflement ou désémaillage thermo-chimique du fil de cuivre [8]. - Gonflement de la carcasse - Rupture de la matière - Rupture/casse fil [8] - Mauvais courant dans la bobine - Mauvaise position 	Echauffement thermique Vibration, chocs	Pas d'ouverture du volet	Collatéral	Seconde, progressive, partielle
				Pression ou vitesse de coulissement excessive	Pas d'ouverture du volet	Collatéral	Seconde, progressive, partielle
				Fatigue de la matière [8]	Pas d'ouverture du volet	Intrinsèque	Première, progressive, totale
				Défaillance inducteur avec aimant	Pas d'ouverture du volet	Fonctionnel (Inducteur → Bobine)	Première, soudaine, totale
				Défaillance Pont en H	Pas d'ouverture du volet	Fonctionnel (Pont en H → Bobine)	Première, soudaine, totale
				Décentrage tige	Pas d'ouverture du volet	Fonctionnel (Tige → Carcasse bobine)	Première, soudaine, totale



6. Analyse des Interactions



Analyse supplémentaire proposée par rapport à une démarche de conception classique

- 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

Matrice des Interactions

 agit sur 		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

7. Modélisation Qualitative

SORTIES

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

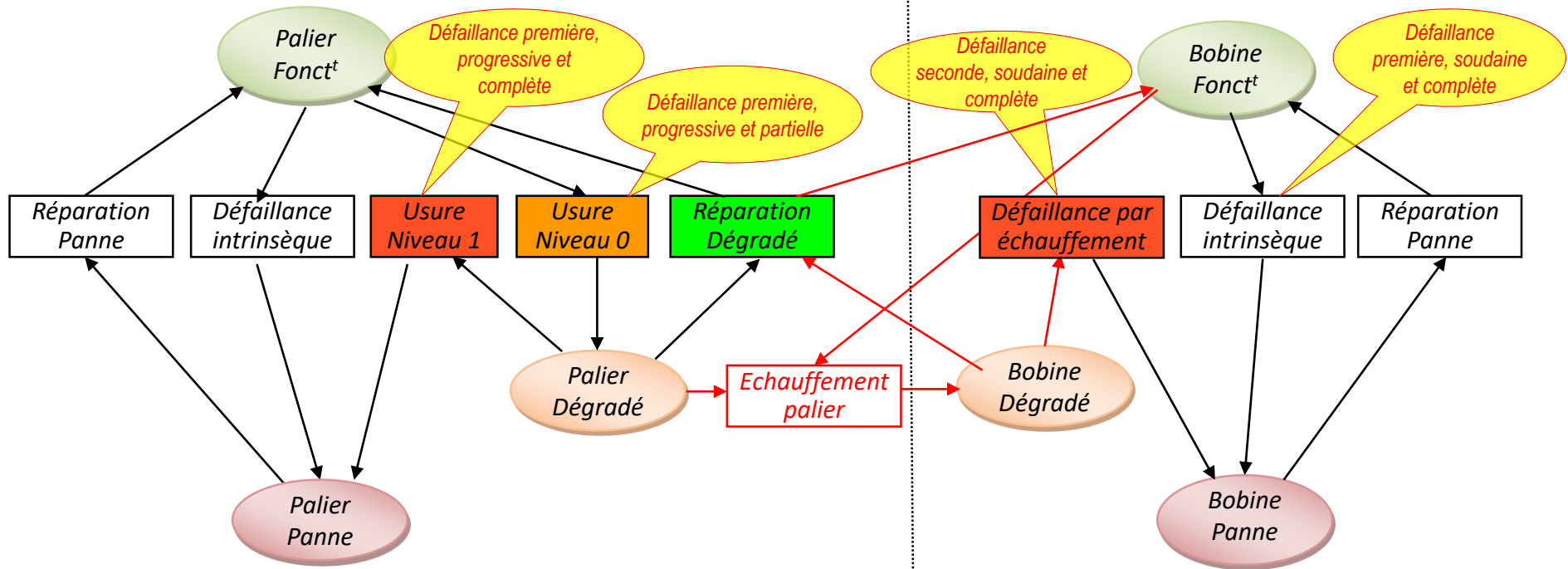
Décrit sous forme graphique le comportement fonctionnel et dysfonctionnel de l'ensemble des composants du système et leurs interdépendances

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

Modèle qualitatif



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

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

8. *Recueil et
Traitement des
Données*

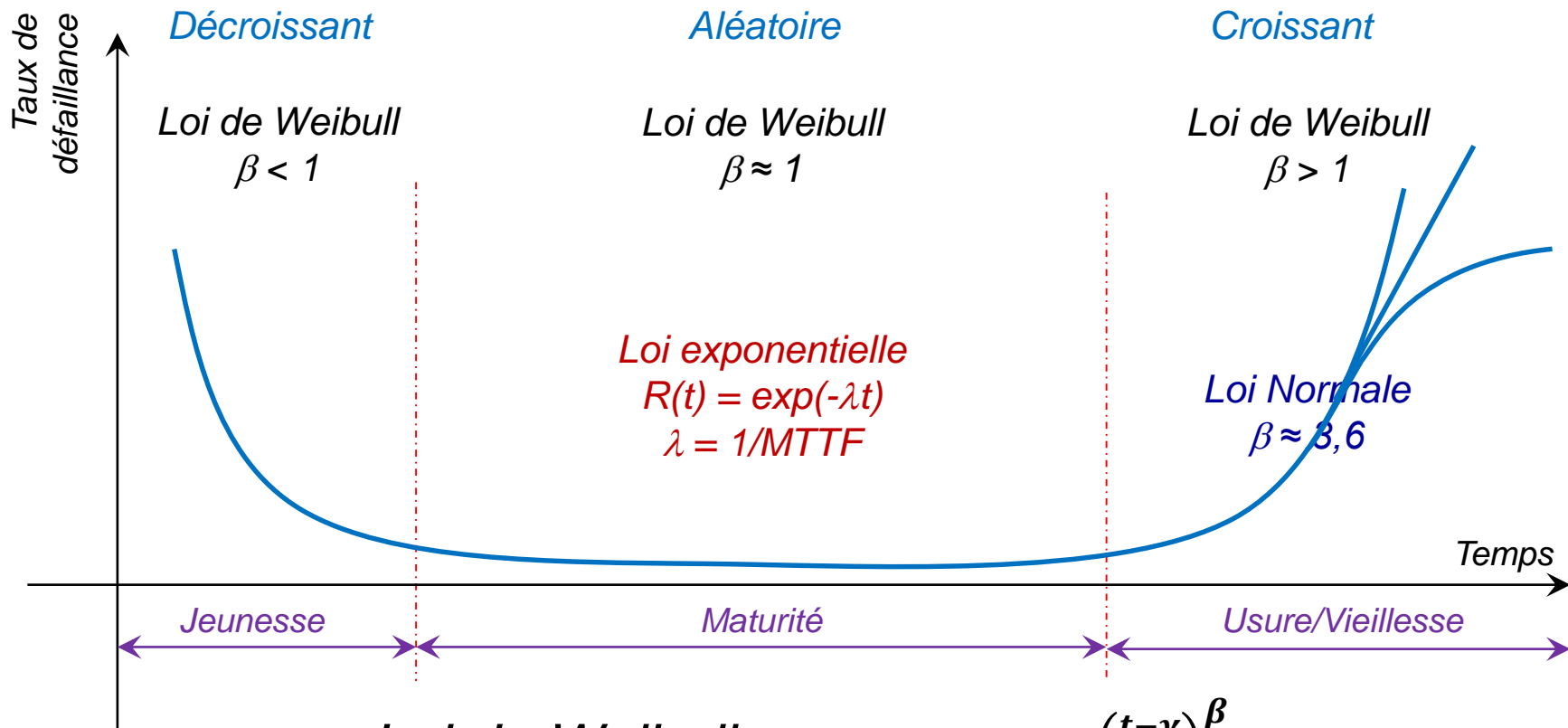
SORTIES

- 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

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

Lois de fiabilité et paramètres



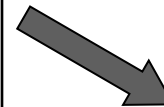
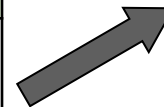
$$\text{Loi de Weibull : } R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right]$$

β : paramètre de forme ; η : paramètre d'échelle ; γ : paramètre de position

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 : <ul style="list-style-type: none"> β (paramètre de forme) η (paramètre d'échelle)

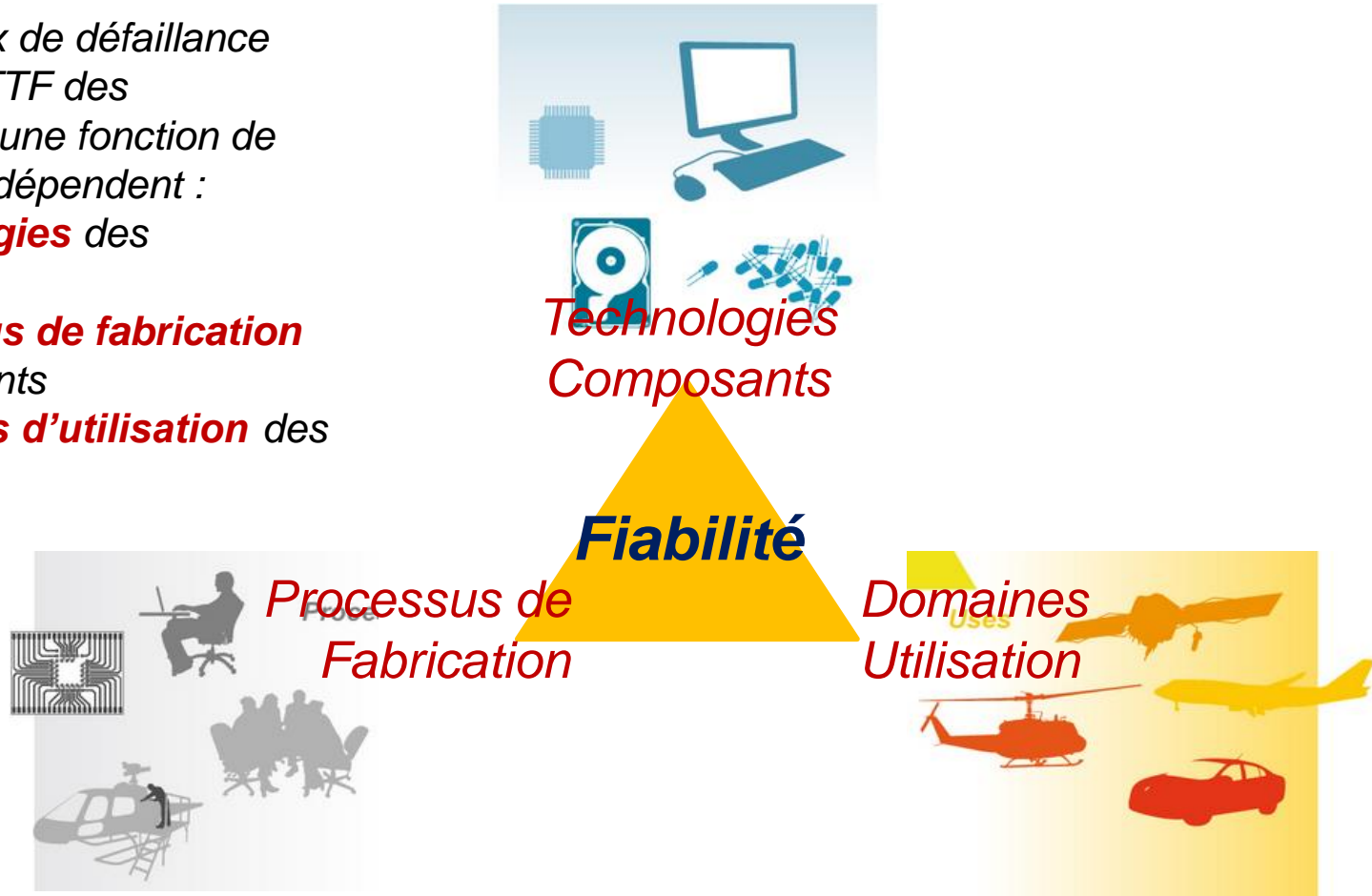
FIDES
 2009



*REX ou Estimation
 des paramètres de fiabilité
 pour les composants
 mécaniques*

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

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



Objectif

- Estimer les paramètres de fiabilité des équipements électroniques dans leurs environnements d'application (loi exponentielle)

Description

- Développée sous l'égide de la DGA par un consortium formé par AIRBUS, EUROCOPTER, NEXTER, MBDA et THALES
- Traite de l'ensemble des défaillances imputables à la spécification, la conception et la fabrication du produit final à l'exception des défaillances d'origine logicielle
- S'applique aux composants, cartes électroniques ou sous-ensembles sur étagère (COTS - Commercial Off-The-Shelf)

Domaine de pertinence

- Ensembles des domaines utilisant l'électronique

Conduite de la méthode

- Calcul du taux de défaillance $\lambda = \lambda_{\text{physique}} \cdot \Pi_{\text{Part_manufacturing}} \cdot \Pi_{\text{Process}}$
- Le taux **physique** prend en compte le **profil de mission** du COTS
- Le facteur $\Pi_{\text{Part_manufacturing}}$ traduit la **qualité et la maîtrise technique de fabrication du COTS** (évaluation selon la nature du COTS, 0.5 à 2 pire cas)
- Le facteur Π_{Process} traduit la **qualité et la maîtrise technique du process de développement, de fabrication et de maintenance de l'équipement** contenant le COTS (audit, 1 à 8 pire cas)

Entrées

- Profil de vie, conditions d'environnement et d'emploi de l'équipement
- Données sur : les fournisseurs des articles utilisés, la définition de l'équipement, le cycle de vie

Sorties

- Taux de défaillance ou MTTF

Avantages

- Prend en compte l'ensemble du profil de mission :
 - Phases et cycles de fonctionnement
 - Certains facteurs d'influences
- Intègre les défaillances du produit complet

Inconvénients

- Qualité des évaluations dépend de celle des **différents facteurs multiplicatifs**
- Soins particuliers à porter aux **audits** servant à la quantification des Process

Bibliographie

- Guide FIDES accessible à l'adresse internet :
<http://www.fides-reliability.org>

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

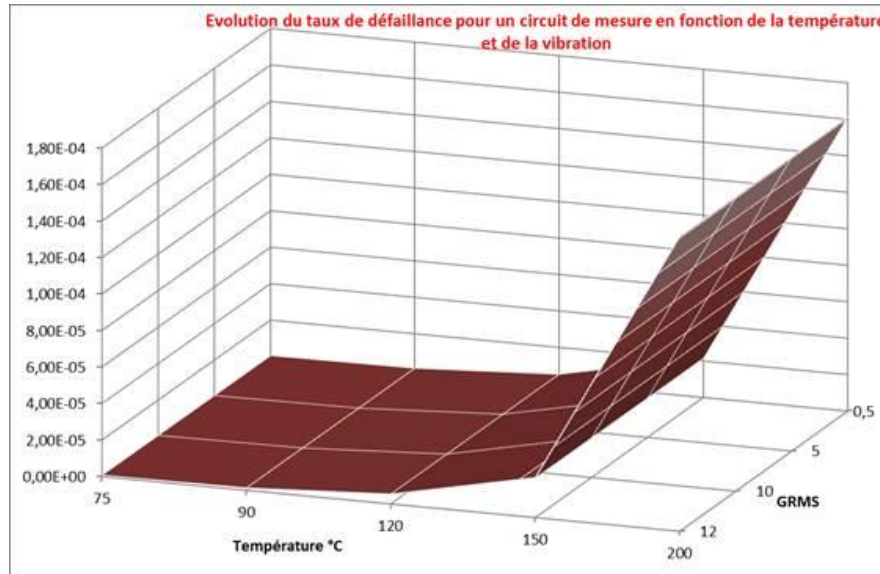
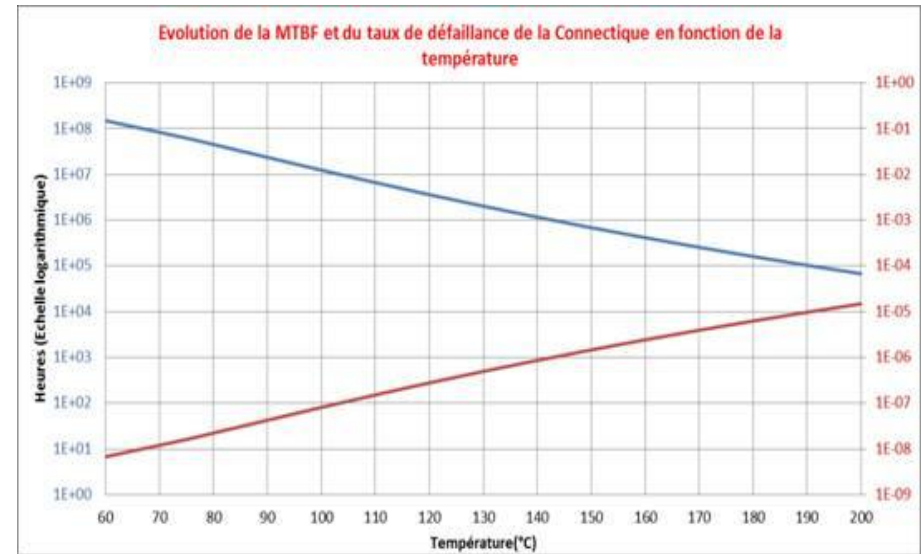
Influence des **deux facteurs** :

- *Température*
- *Vibration*



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

Influence de la *température*



Estimations de Fiabilité

Objectif

- Déterminer les lois de fiabilité et leurs paramètres à partir de données existantes (**essais ou retour d'expérience**) pour estimer la fiabilité expérimentale ou opérationnelle

Description

- Différentes lois pour exprimer la fiabilité $R(t)$: **exponentielle**, **Weibull**, **normale**, **log-normale**...
- La loi **exponentielle** est caractérisée par le taux de défaillance λ ou le temps moyen à première défaillance MTTF
- La loi de **Weibull** est caractérisée par le facteur de forme β , le paramètre d'échelle η , et le facteur de position γ
- Les lois **normale** et **log-normale** sont caractérisées par le temps moyen à première défaillance MTTF et son écart-type σ

Estimations de Fiabilité

Conduite de la méthode

- Recueil de données TTF ou TBF observées lors d'essais ou en utilisation, sélection et tri selon un ordre chronologique croissant
- Approche non paramétrique de la loi de fiabilité → Tracé des $F(t_i)$ en fonction des t_i (rangs médians, rangs moyens, Kaplan-Meier...)
- Calcul ou évaluation graphique des paramètres des lois (papiers fonctionnels)
- Calcul des intervalles de confiance

Domaine de pertinence

- Essais et REX structurés permettant de fournir de données cohérentes :
 - Modes de défaillance définis
 - Conditions d'essais maîtrisées (température, vibration)
 - Similarité des profils de mission
 - Caractérisation des temps

Estimations de Fiabilité

Entrées

- Résultats d'essais de fiabilité et conditions (TTF, TBF)
- Événements en exploitation sur une période donnée (défaillances)

Sorties

- Lois et paramètres de fiabilité

Avantages

- Données les plus proches de la réalité
- Calculs simples pour la loi exponentielle
- Richesse des résultats

Inconvénients

- Limites en cas de données peu nombreuses
- Calculs compliqués sur les estimations de paramètres de Weibull
- Nécessité de moyens conséquents pour un recueil de données rigoureux et homogène

Estimations de Fiabilité

Exemple loi exponentielle

Imaginons que vous avez installé dans votre maison 10 ampoules identiques (même marque, même puissance...) au même moment et qui fonctionnent dans des conditions identiques

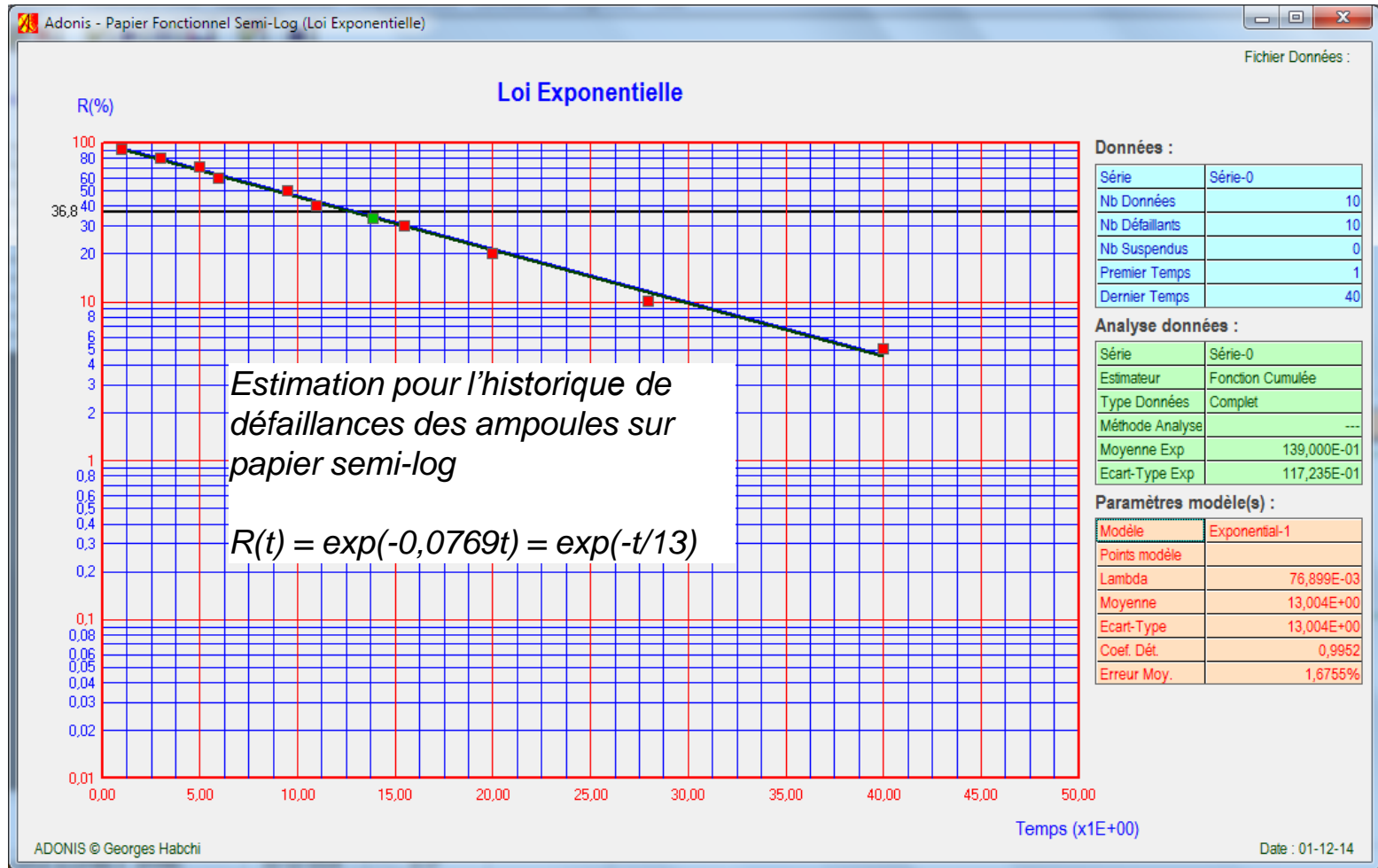
- À 0 mois, les 10 ampoules fonctionnent
- 1 mois après, 1 ampoule est grillée
- 3 mois après, 1 autre ampoule est grillée
- Etc.



Temps en mois	0	1	3	5	6	9,5	11	15,5	20	28	40
Fiabilité	1	0,9	0,8								

Estimations de Fiabilité

Exemple loi exponentielle



Estimations de Fiabilité

Exemple loi de Weibull

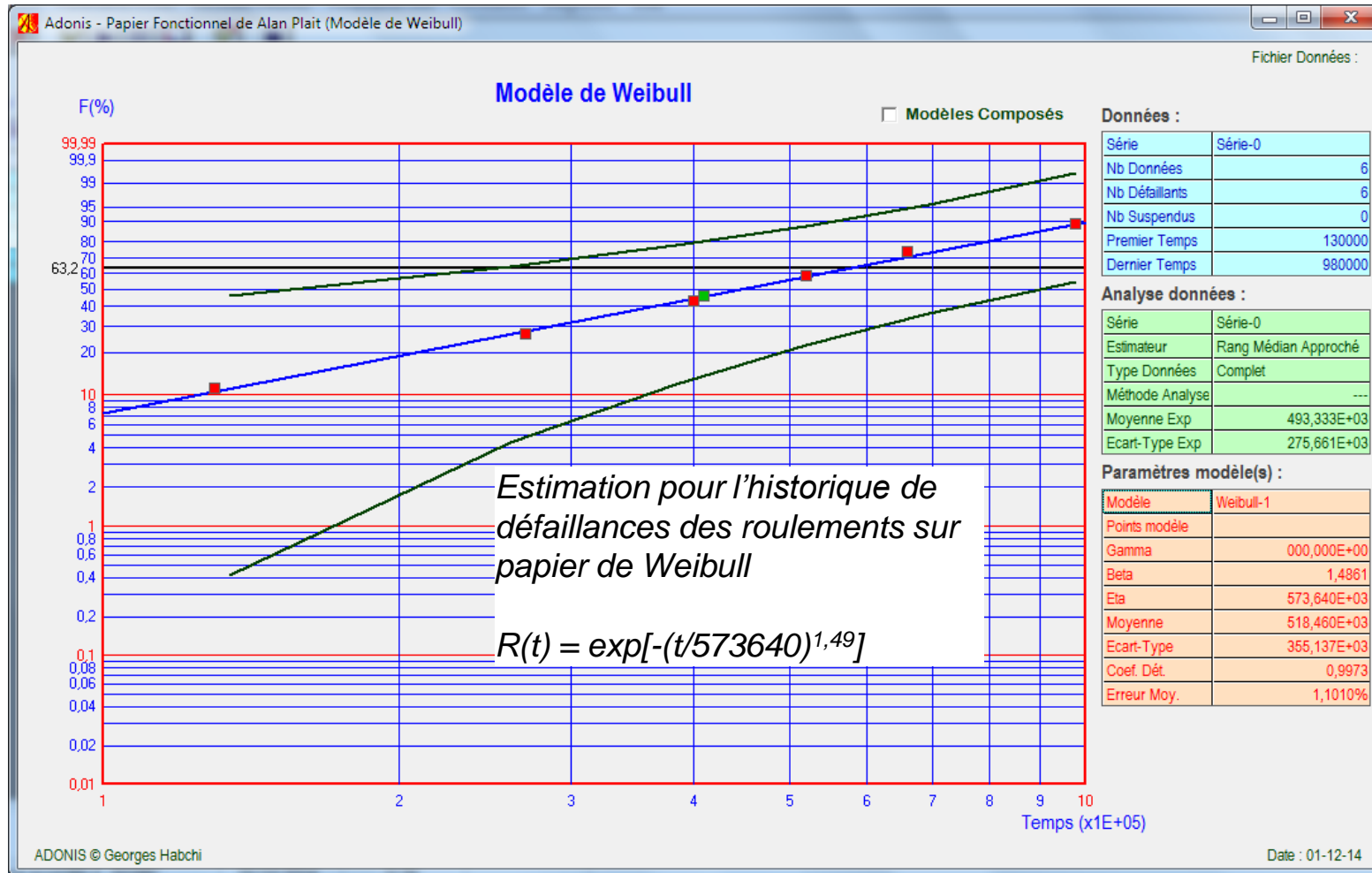
Un essai de durée de vie a été réalisé sur un lot de 6 roulements chargés dans des conditions spécifiques et les résultats suivants ont été enregistrés



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

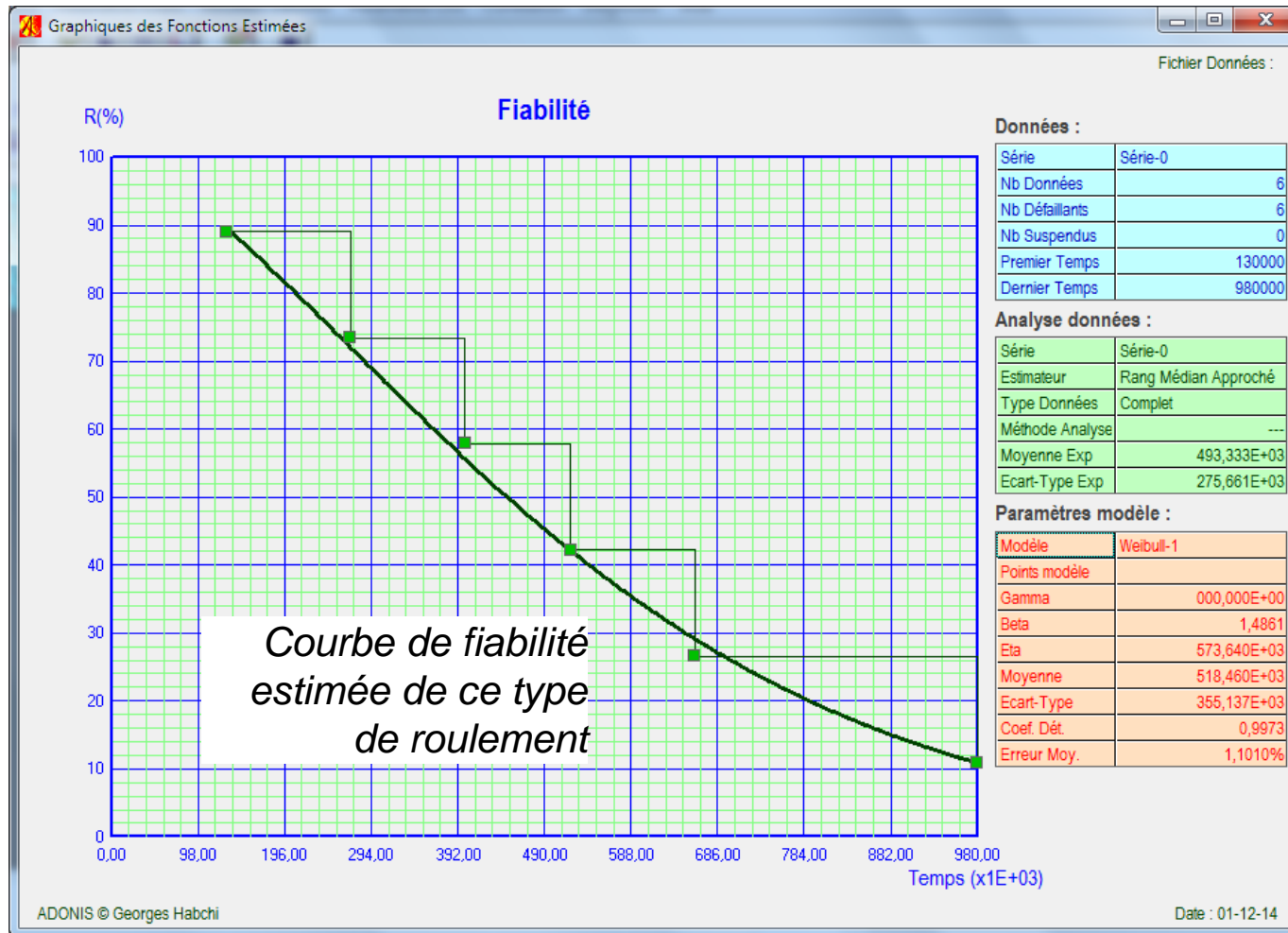
Estimations de Fiabilité

Exemple loi de Weibull

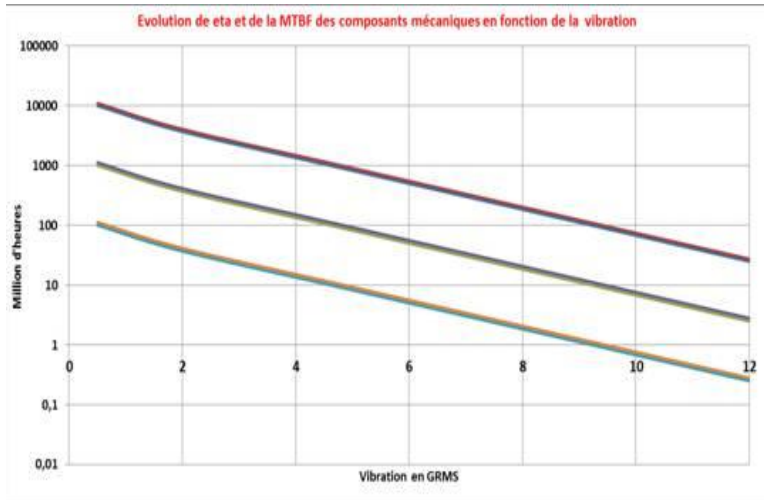
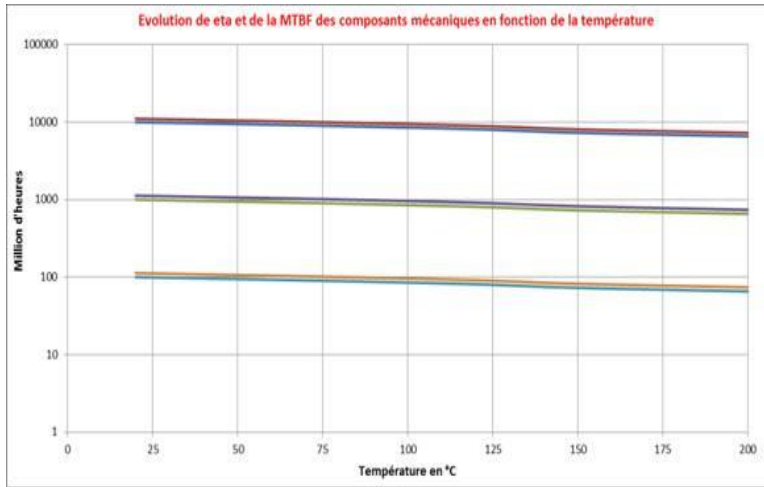


Estimations de Fiabilité

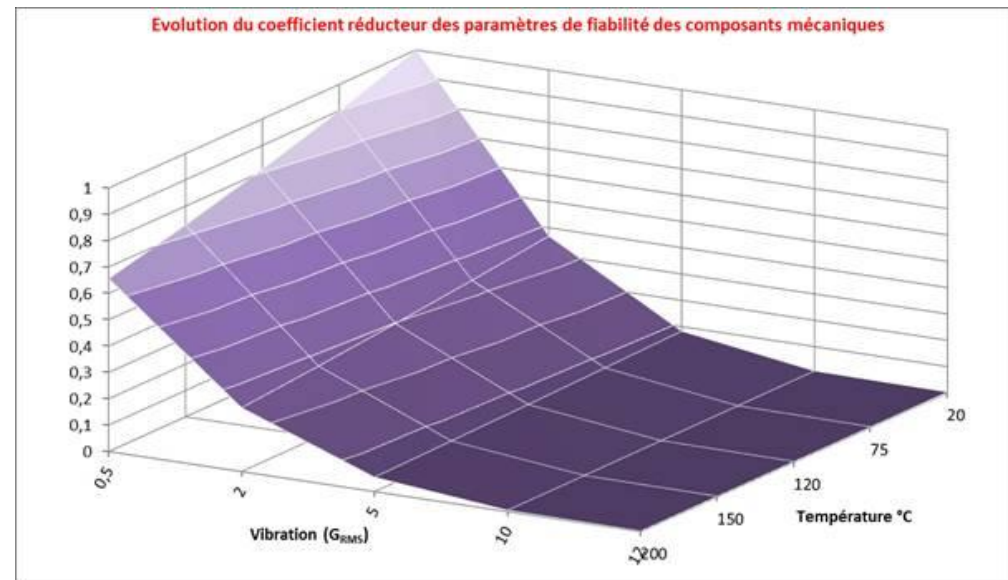
Exemple loi de Weibull



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



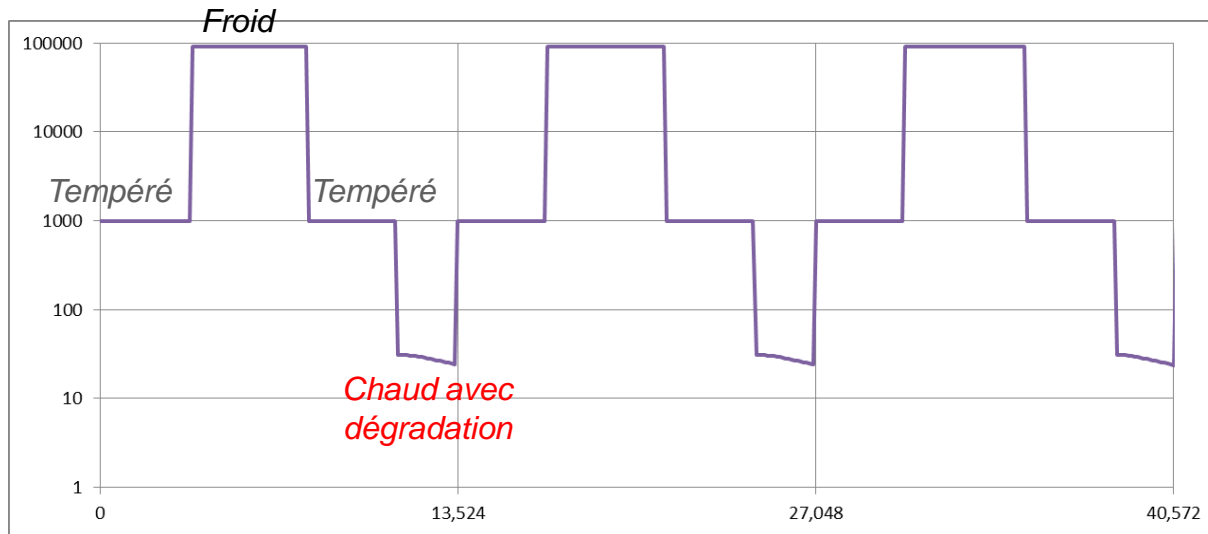
- Loi et valeurs des paramètres choisies d'après l'expérience du fabricant dans le domaine de fiabilité (essais, REX)
- Évolution proposée des paramètres en fonction de la température et de la vibration



Influence du profil de mission sur les paramètres de fiabilité en présence d'interaction

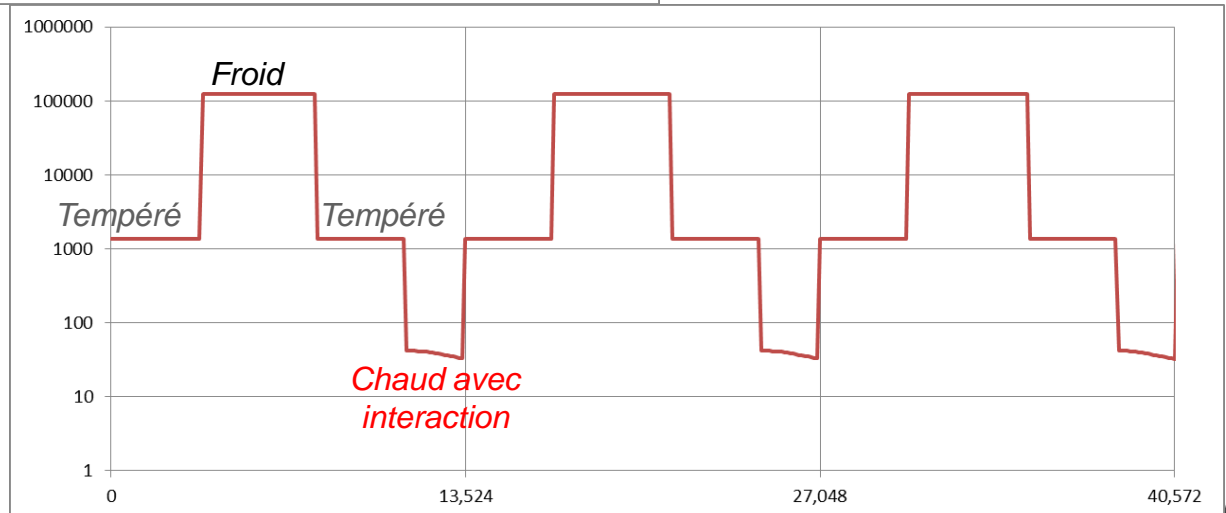
Évolution du paramètre d'échelle η du palier en fonction :

- Des phases du profil de mission
- De la dégradation en phase « chaud »

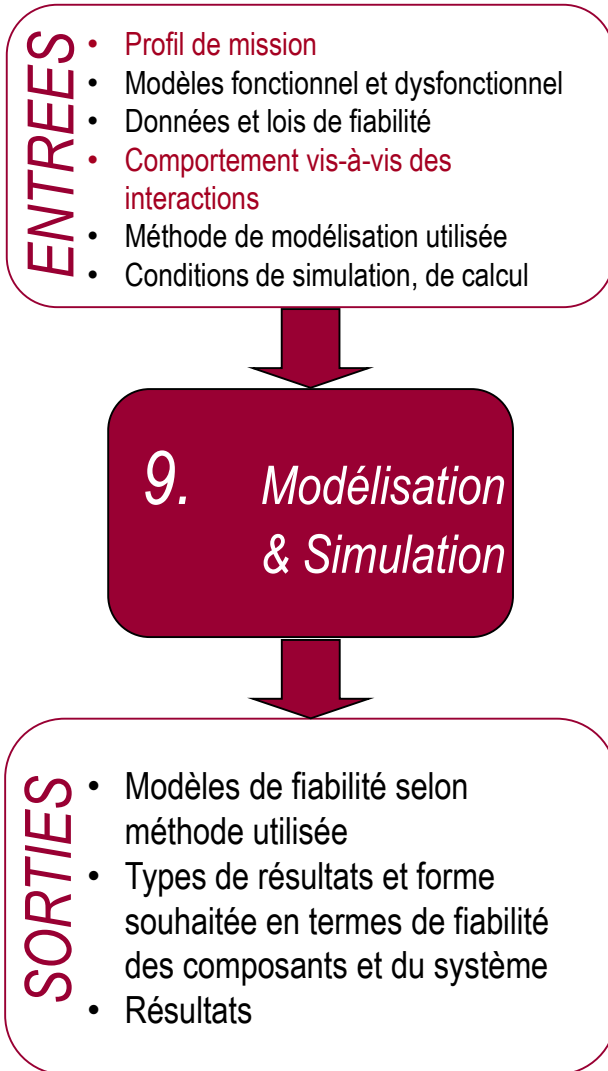


Évolution de la MTTF de la bobine en fonction :

- Des phases du profil de mission
- De l'interaction avec le palier en phase « chaud »



9. Modélisation et Simulation



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

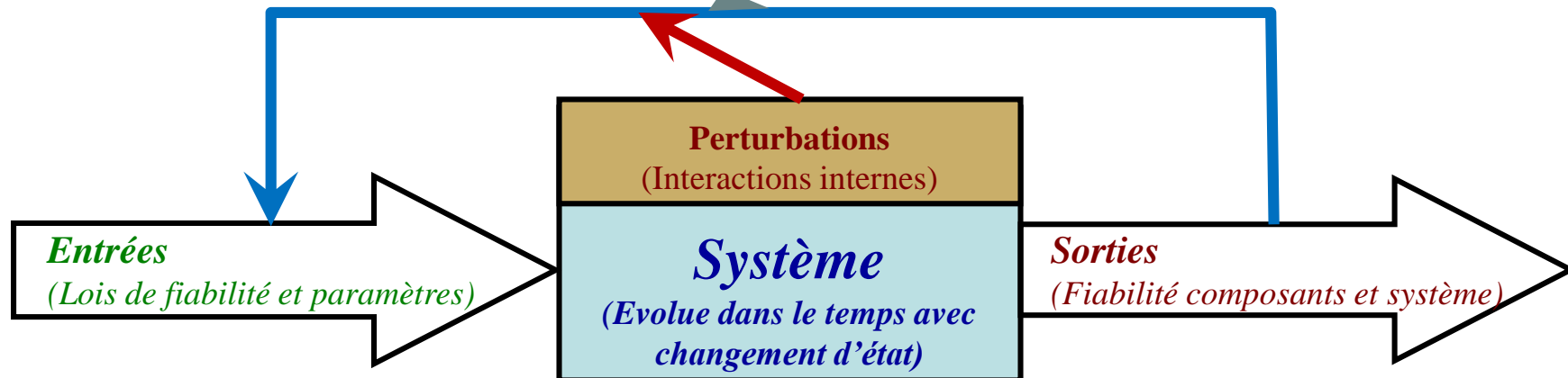
Du Système au Modèle de Fiabilité

Systeme fermé (élémentaire) : l'état des entrées n'affecte que l'état des sorties

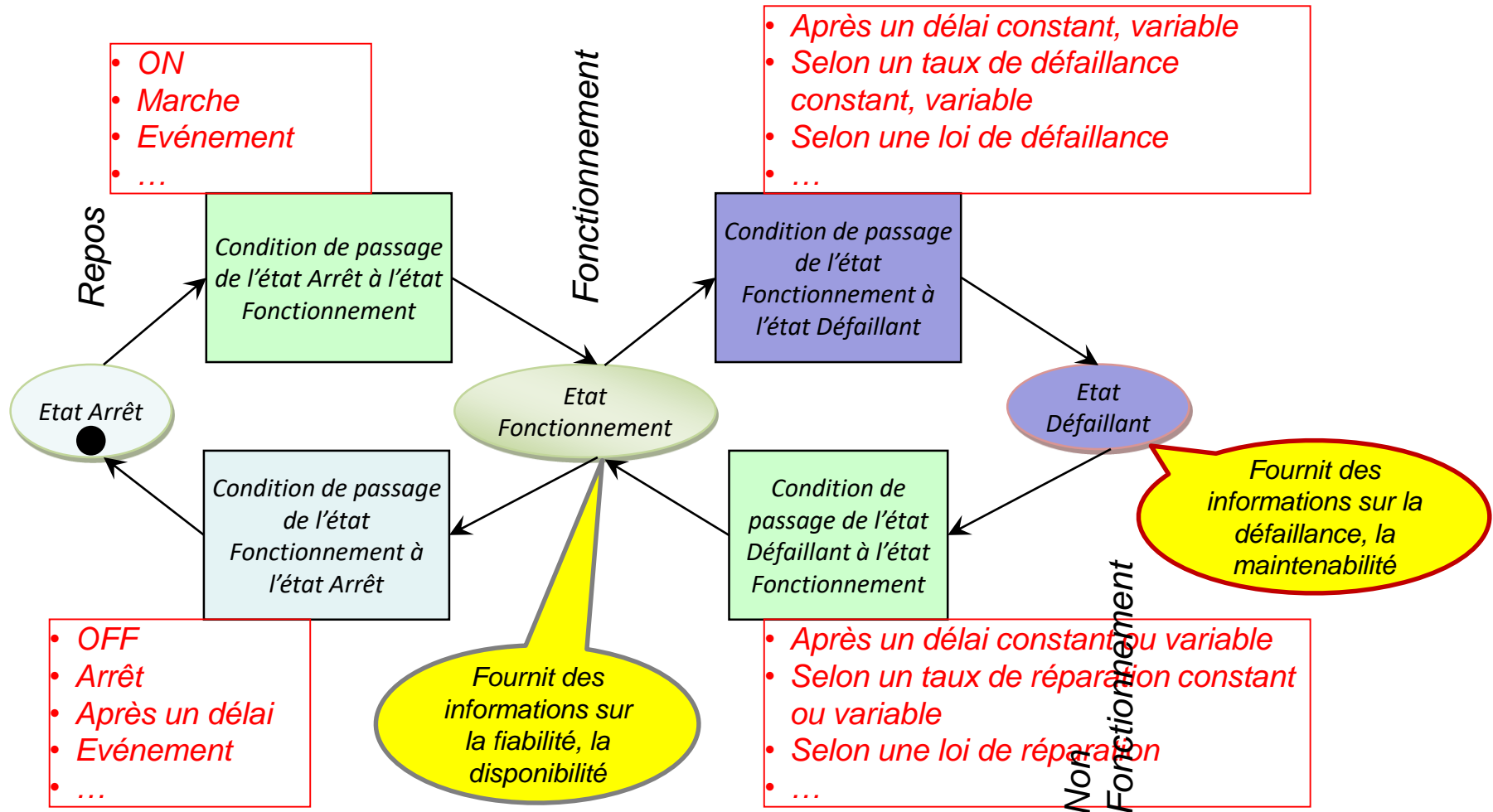
Systeme ouvert (en boucle) : l'état des entrées ainsi que certaines des sorties affectent les sorties

Systeme auto-contrôlé (auto-adaptatif) : ils réagissent contre les perturbations du système, et contre celles de l'environnement (ont la possibilité de se modifier)

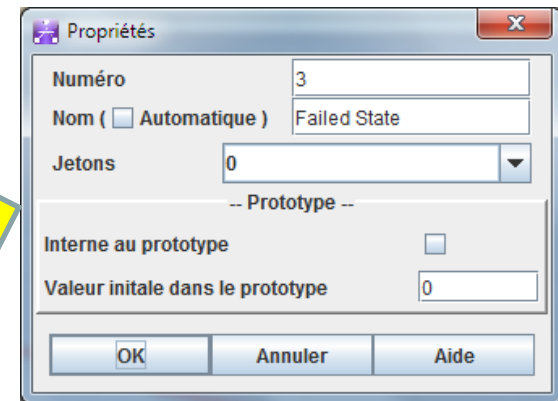
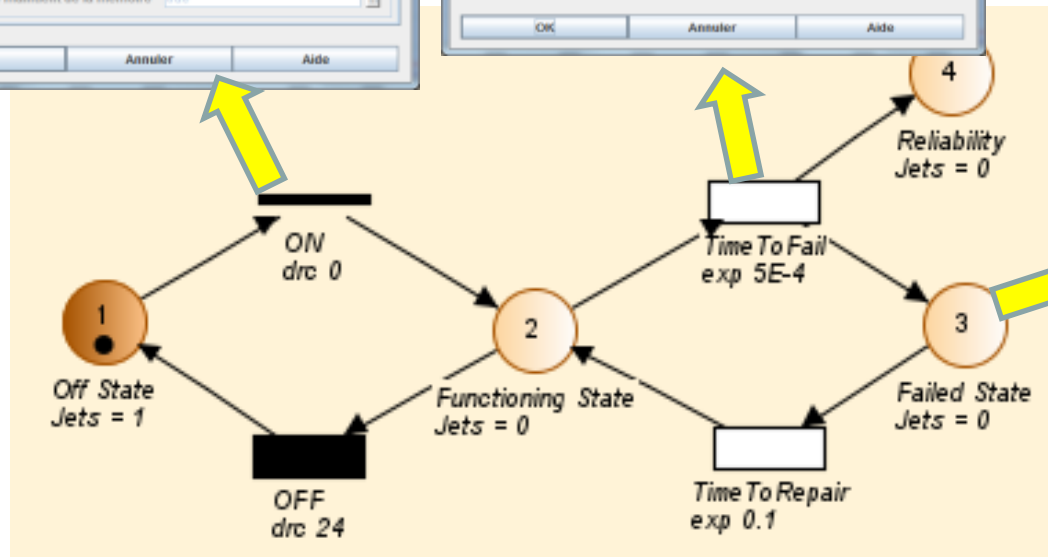
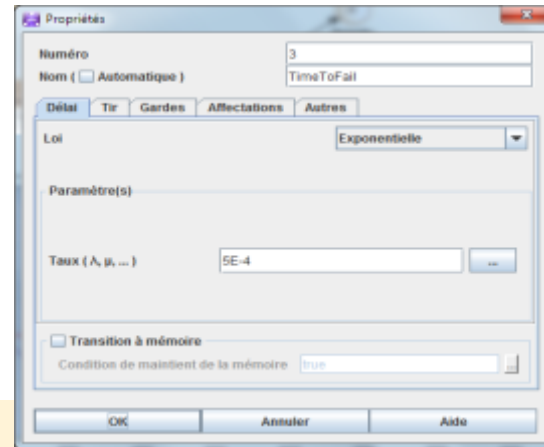
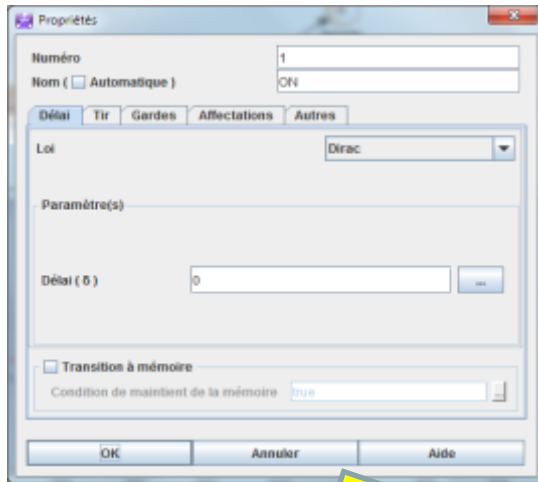
*Environnement (facteurs d'influence :
température, vibration, humidité...), profil
de mission...*



Eléments de Fonctionnement d'un RdP (places, transitions, arcs, jetons)



Modélisation par les Réseaux de Petri



Logiciel MOCA-RP



Modélisation par les Réseaux de Petri

Conditions de simulation

Lancement des calculs Moca

Titre

Temps de calculs par défaut

Temps ou liste de temps (séparés par des ";")

Itération De à pas

Calculs effectués à : temps exprimés en

Général Variables Options de sortie Options avancées

Nombre d'histoires

1er N° au hasard

Temps de calcul maximum (sec.)

Durée d'histoire automatique Durée d'une histoire

Calcul multi-processeurs

Activer la propagation d'incertitude

Nombre de jeux de paramètres

Nombre total d'histoires

Performance : 1E5 histoires/minute/CPU
Temps de calcul estimé : 3 Seconde(s)

OK Annuler Aide

Logiciel MOCA-RP

Modélisation par les Réseaux de Petri

Résultats observés, courbes

Edition des courbes

Titre du graphique :

Liste de données

Légende	Informations	Affic...	Couleur	Style	Moy.
Failure Density	Variables/TS3/Density	<input checked="" type="checkbox"/>	Red	Pas de p...	1
Reliability	Variables/TS3/Rel	<input checked="" type="checkbox"/>	Purple	Pas de p...	

Style

Type : Style ligne

Intervalles : Automatiques sans pic Afficher les valeurs des pics sur :

Unité de l'axe X: Heure(s) Log

Unité de l'axe Y: N/A Log

Zones : Auto

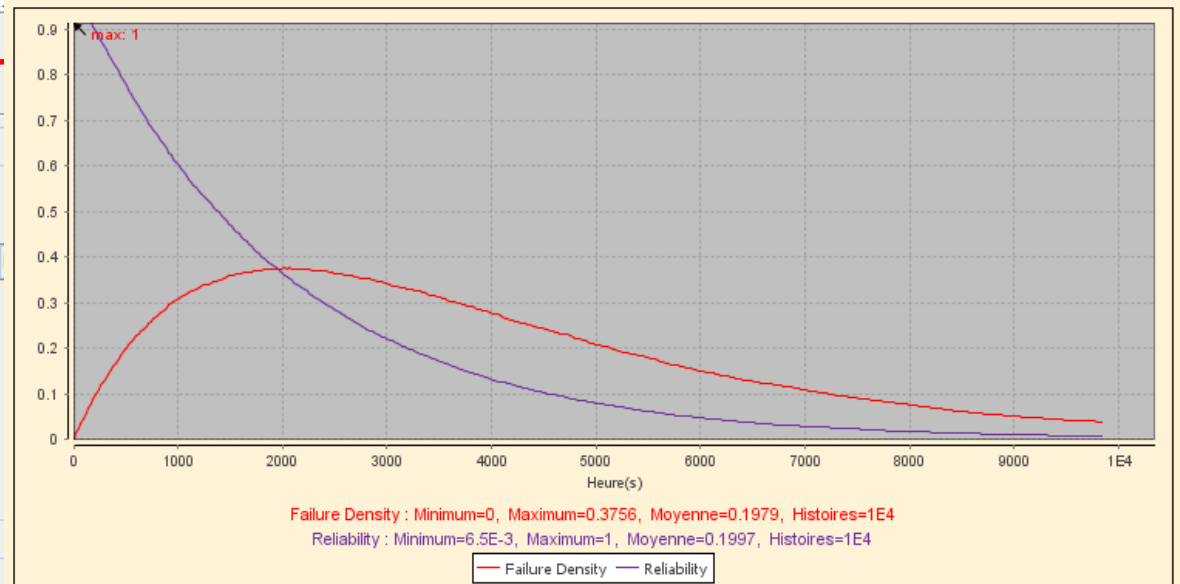
Afficher l'intervalle de confiance.

Options d'affichage

Afficher le titre :

Afficher les grandeur génériques :

OK Annuler Aide

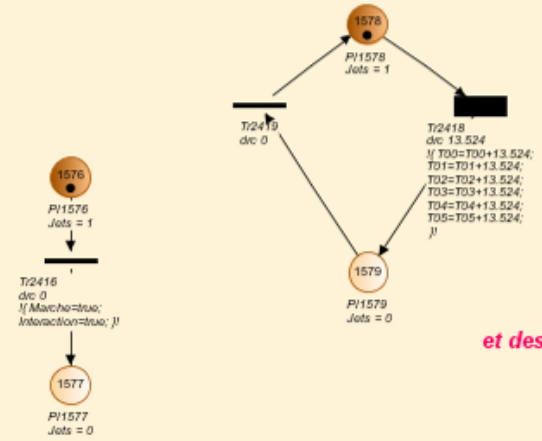


Logiciel MOCA-RP

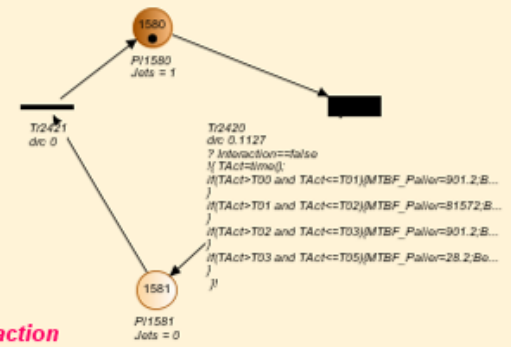
RdP de l'Actionneur Intelligent de Pack'Aero (Profil de mission et évolution des paramètres ...)



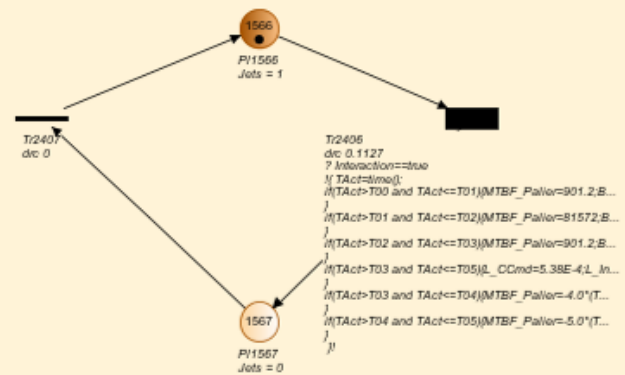
Avance année par année pour profil et modification des bornes phases



Avance pas par pas et modification de TAct, et des paramètres des lois sans interaction



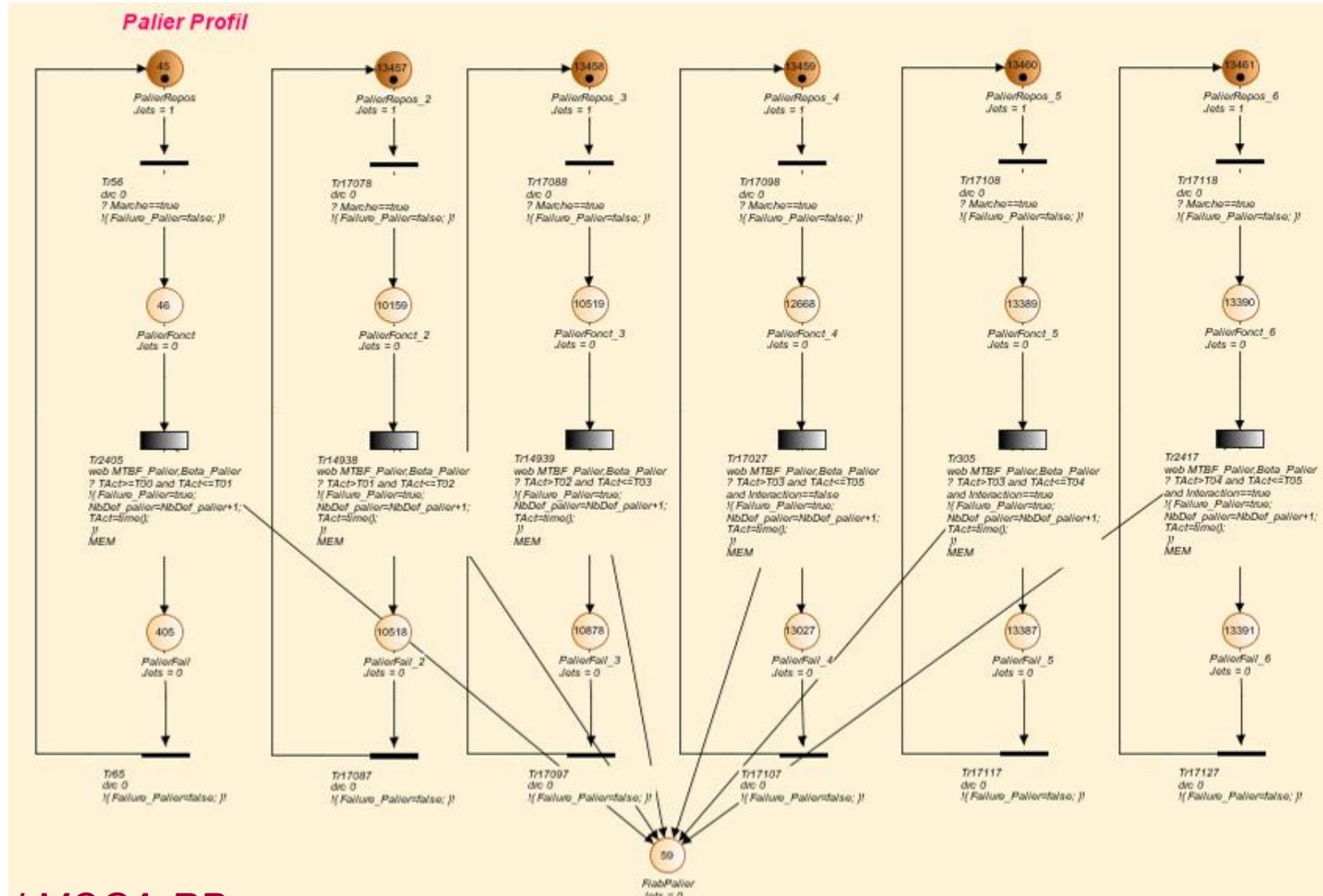
Avance pas par pas et modification de TAct, et des paramètres des lois avec interaction



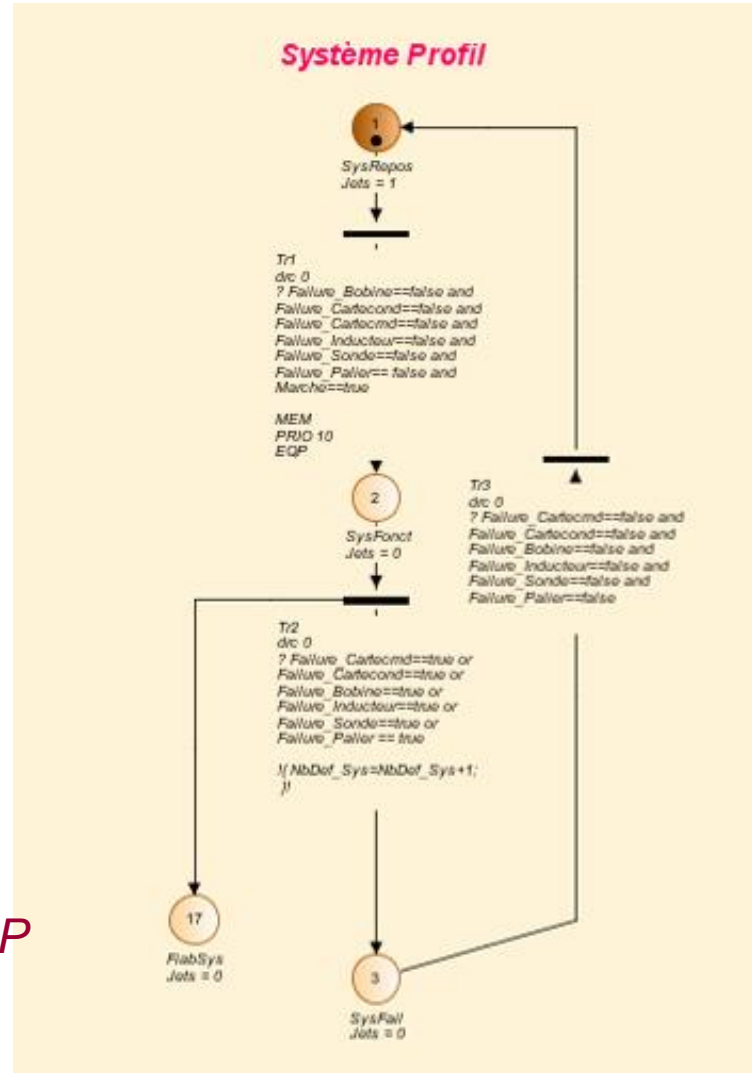
Logiciel MOCA-RP



RdP de l'Actionneur Intelligent de Pack'Aero (Modèle RdP du palier ...)



RdP de l'Actionneur Intelligent de Pack'Aero (Modèle RdP de l'actionneur ...)



Logiciel MOCA-RP

Réseaux de Petri

Avantages

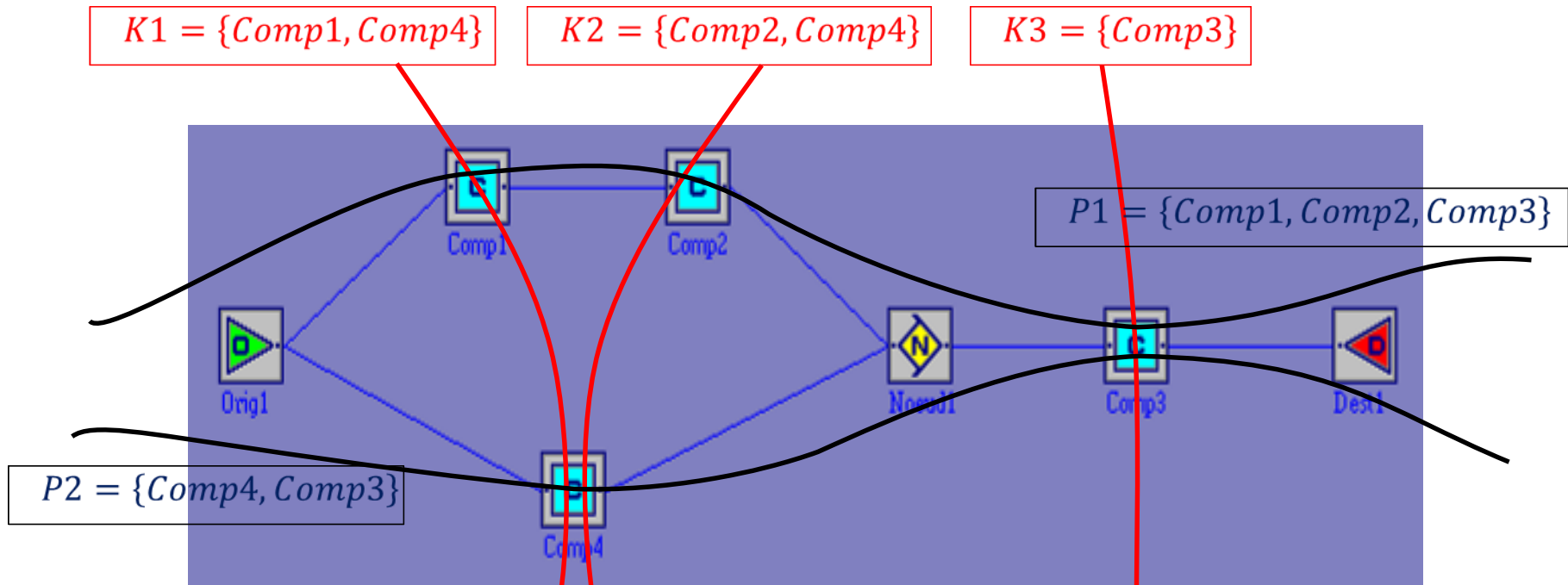
- **Visualisation** du comportement du système pour l'analyse qualitative
- Peut être **détaillé** selon le niveau souhaité
- Peut intégrer des états **dégradés**

Inconvénients

- Nécessité de **simuler** le réseau pour avoir des résultats quantitatifs → coupler une **méthode de simulation** au RdP (Monte Carlo)
- Prise en main et **temps de calcul** peut être long
- Résultats **approchés** lorsque des paramètres évoluent en fonction du temps dans une transition (interactions)
- Difficulté de résultats en présence de **fenêtres de tir de courtes durées**

Eléments de Fonctionnement d'un BDF (Blocs, nœuds, liens, coupes, chemins de succès)

Coupes



Fonction de structure du système

$$x = \emptyset(x_1, x_2, x_3, x_4)$$

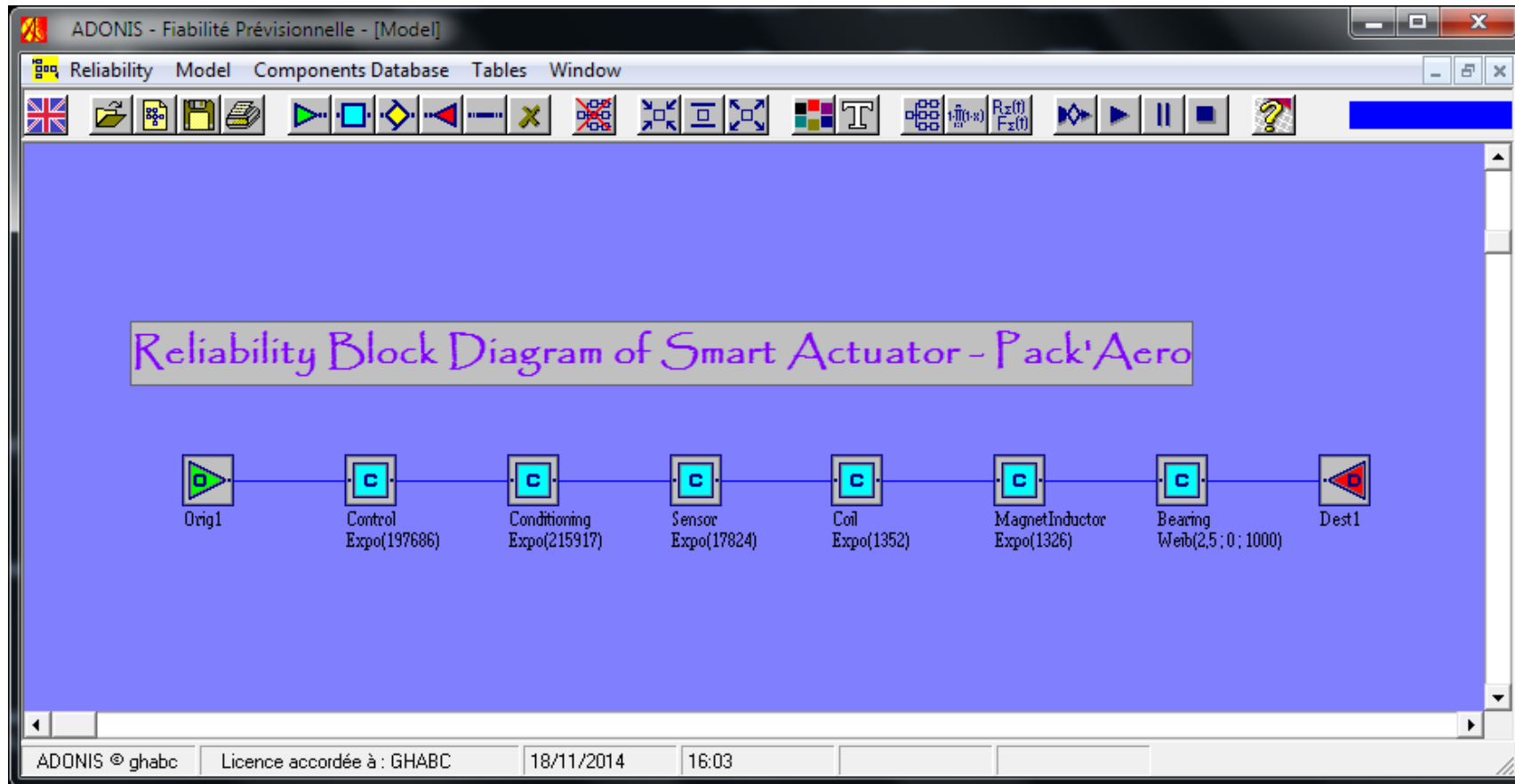
$x = 1 \rightarrow$ système en état fonctionnel

$x = 0 \rightarrow$ système en état dysfonctionnel

$$R = [1 - (1 - R_1 R_2)(1 - R_4)] x R_3$$

Chemins de succès

BDF de l'Actionneur Intelligent de Pack'Aero



Logiciel ADONIS Reliability



Evolution de la MTTF de la bobine en fonction du profil de mission et de l'interaction



- *Bobine*
- *Loi exponentielle*
- *Paramètre : MTTF = 1352 M cycles (valeur initiale)*

Propriétés du Composant

Sélectionner Composant dans liste: []

Nom du composant: Coil

Fiabilité du composant: Exponential

Mean: 1352

Annuler Valider

Evolution des paramètres de fiabilité

Table du profil de mission

Nom Phase	Temps Cum	Moyenne	Loi d'évol
Temperate	3,381	1352	0
Cold	7,889	122358	0
Temperate	11,27	1352	0
Hot	12	42,373	Lin[-2,9023;42,3729]
Hot	13,524	42,373	Lin[-5,5607;40,2542]

Annuler Valider

- *Phases du profil de mission*
- *Durées cumulées*
- *Valeurs de la MTTF selon la phase*
- *Lois d'évolution pour l'interaction*

Logiciel ADONIS Reliability



Evolution des paramètres du palier en fonction du profil de mission et de l'interaction



Propriétés du Composant

Sélectionner Composant dans liste: []

Nom du composant: Bearing

Fiabilité du composant: Weibull ...

Beta: 2,5

Gamma: 0

Eta: 1000

Annuler Valider

- Palier
- Loi de Weibull
- Paramètres : $\beta = 2,5$; $\gamma = 0$; $\eta = 1000$ M cycles (valeurs initiales)

Evolution des paramètres de fiabilité

Table du profil de mission

Nom Phase	Temps Cum	Beta	Loi d'évc	Gamma	Loi d'évc	Eta	Loi d'évol
Temperate	3,381	2,5	0	0	0	1000	0
Cold	7,889	2	0	0	0	92000	0
Temperate	11,27	2,5	0	0	0	1000	0
Hot	12	1,5	0	0	0	31,24	Lin(-2,1397;31,24)
Hot	13,524	1,5	0	0	0	31,24	Lin(-4,0997;29,6776)

Annuler Valider

- Phases du profil de mission
- Durées cumulées des phases
- Valeurs des paramètres selon la phase
- Loi d'évolution pour l'interaction

Logiciel ADONIS Reliability



Blocs – Diagrammes de Fiabilité

Avantages

- Représentation **simple et logique** du fonctionnement d'un système
- Prise en compte du profil de mission dans les caractéristiques des équipements
- **Visualisation** de la mission réalisée par le système
- Temps de calcul

Inconvénients

- Difficulté de prise en compte des **éléments multifonctions** (méthode doit être menée conjointement à une AMDEC)
- **Nécessité d'adaptation** de l'outil pour un calcul de disponibilité et de maintenabilité (réparation)

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

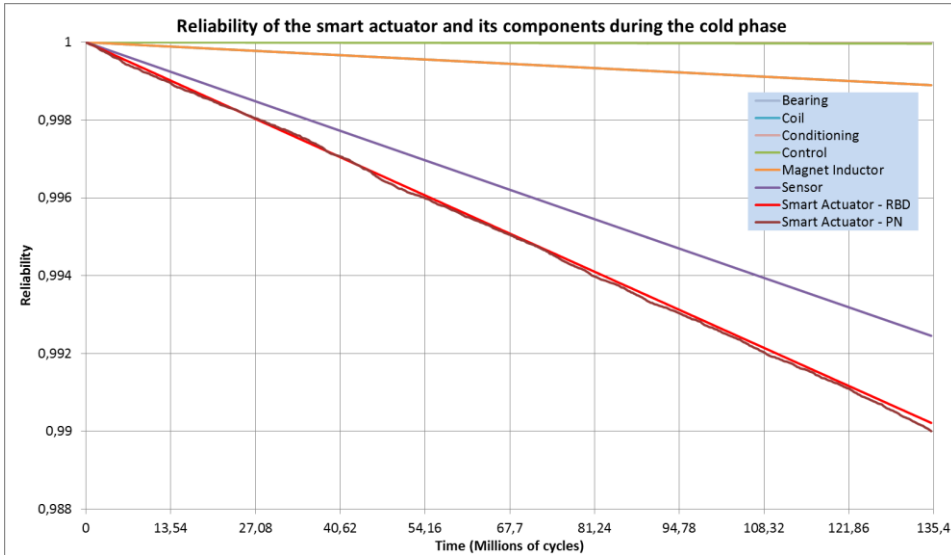
SORTIES

- 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

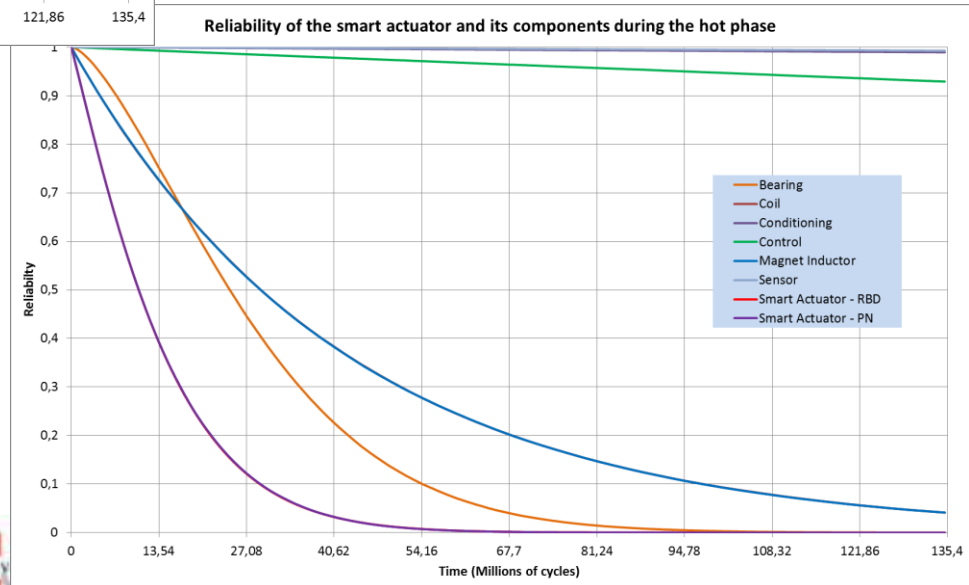
Fiabilité de l'actionneur et des composants phase/phase



Fiabilité de l'actionneur et de ses composants pour la phase « froid » sans interaction palier/bobine

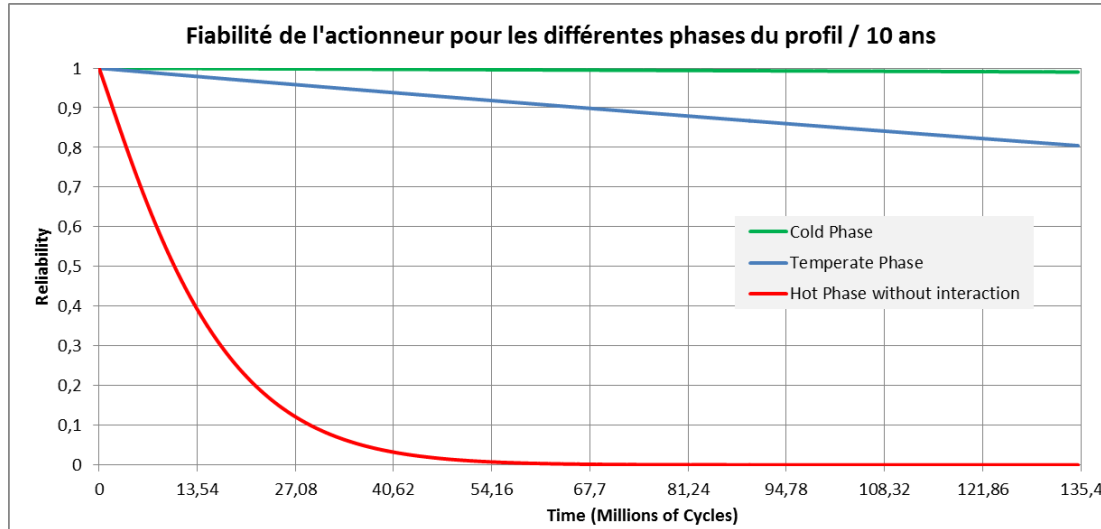


Fiabilité de l'actionneur et de ses composants pour la phase « chaud » sans interaction palier/bobine



Résultats de Fiabilité

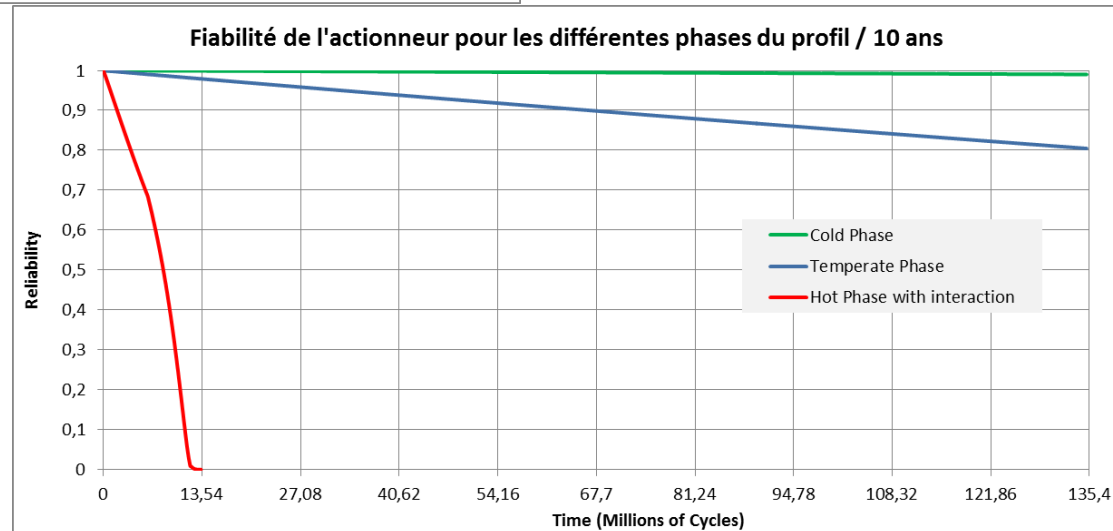
Fiabilité de l'actionneur phase/phase sans et avec interaction



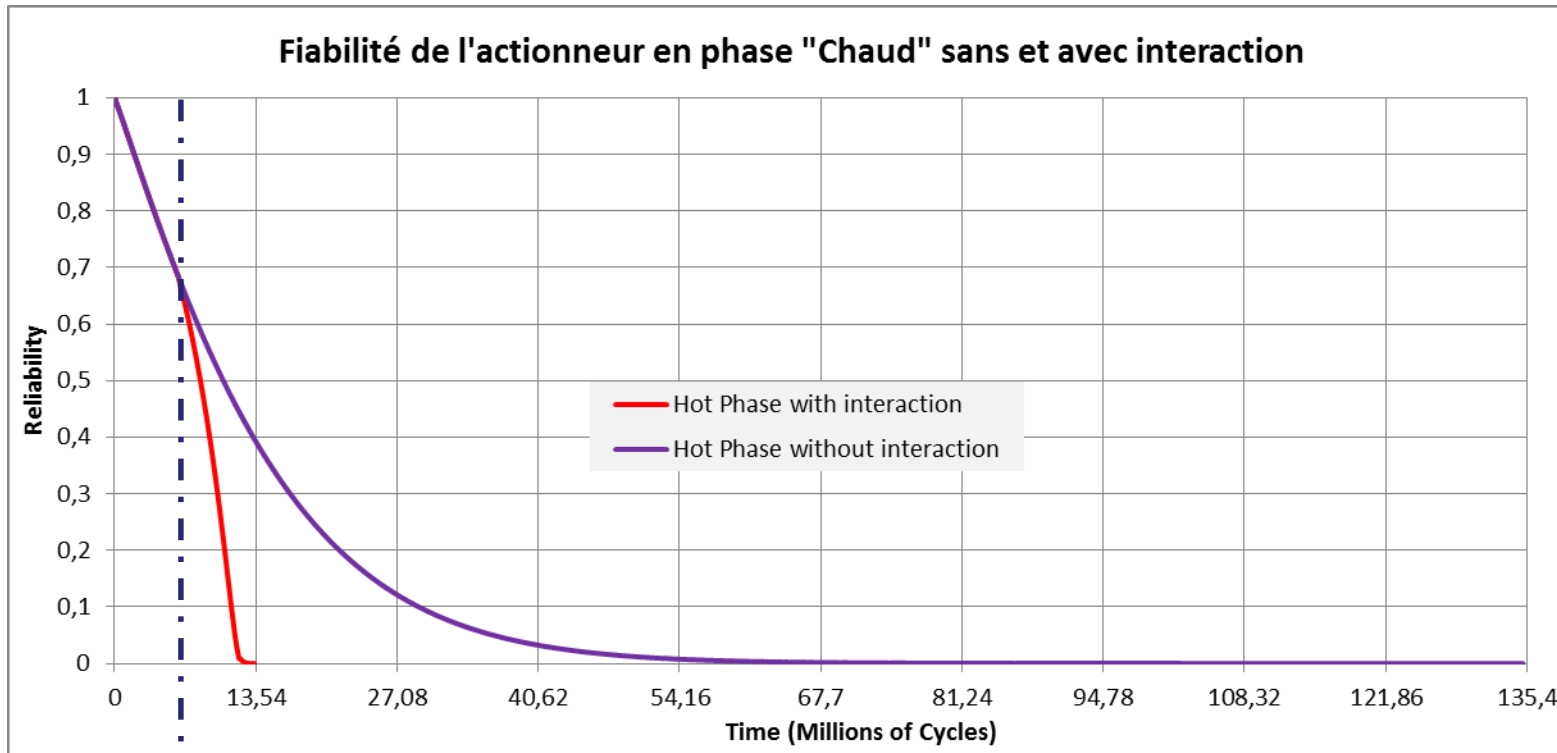
Fiabilité de l'actionneur phase par phase sans interaction palier/bobine



Fiabilité de l'actionneur phase par phase avec interaction palier/bobine



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



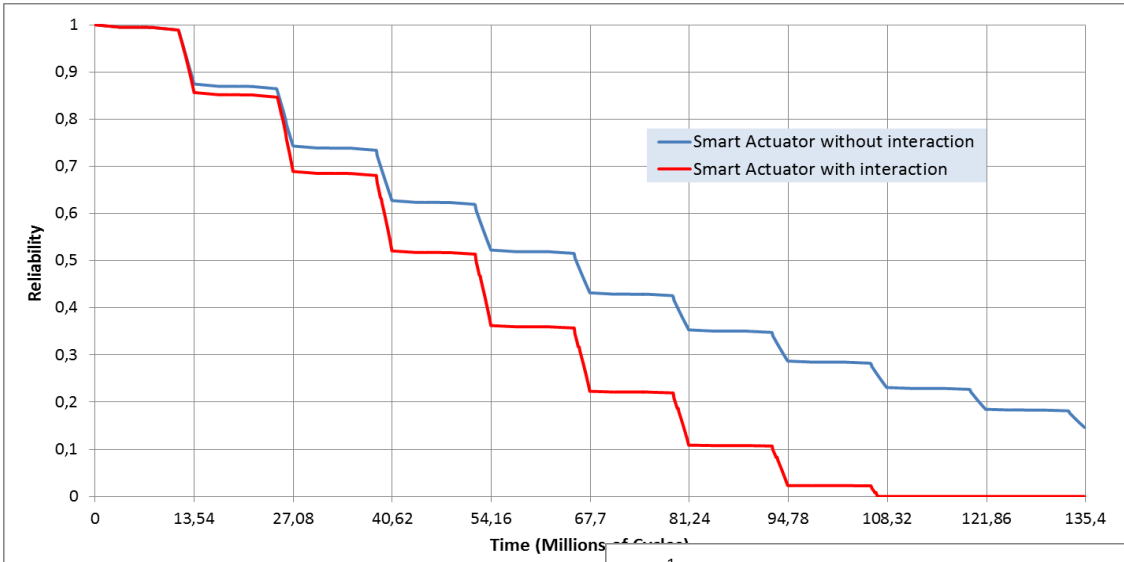
Influence de l'interaction palier/bobine à partir de 6 millions de cycles

Résultats de Fiabilité

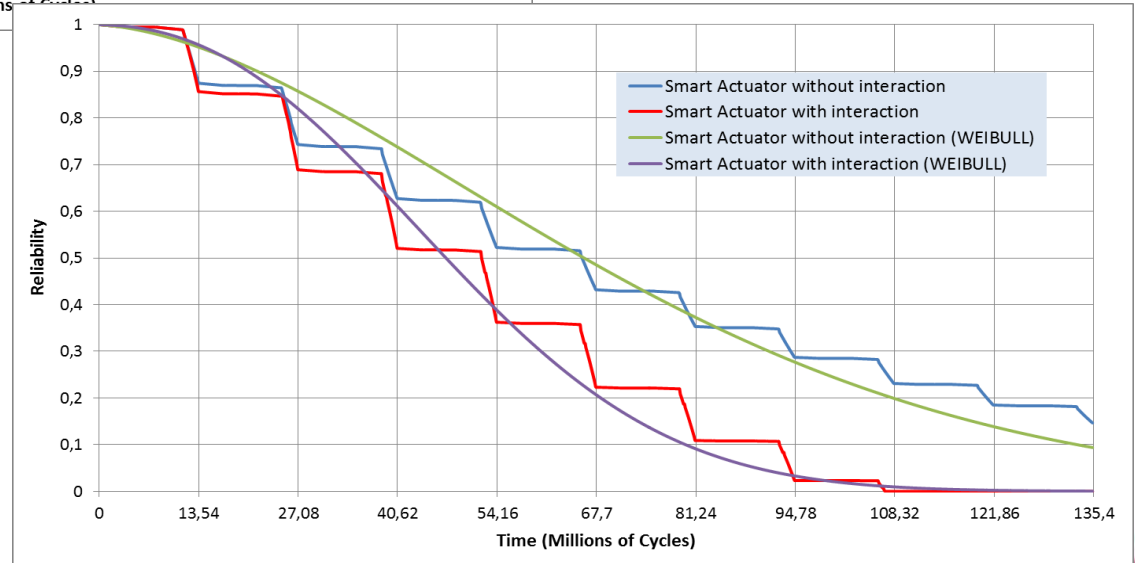
Fiabilité de l'actionneur en fonction du profil de mission



Fiabilité de l'actionneur sans et avec interaction palier/bobine

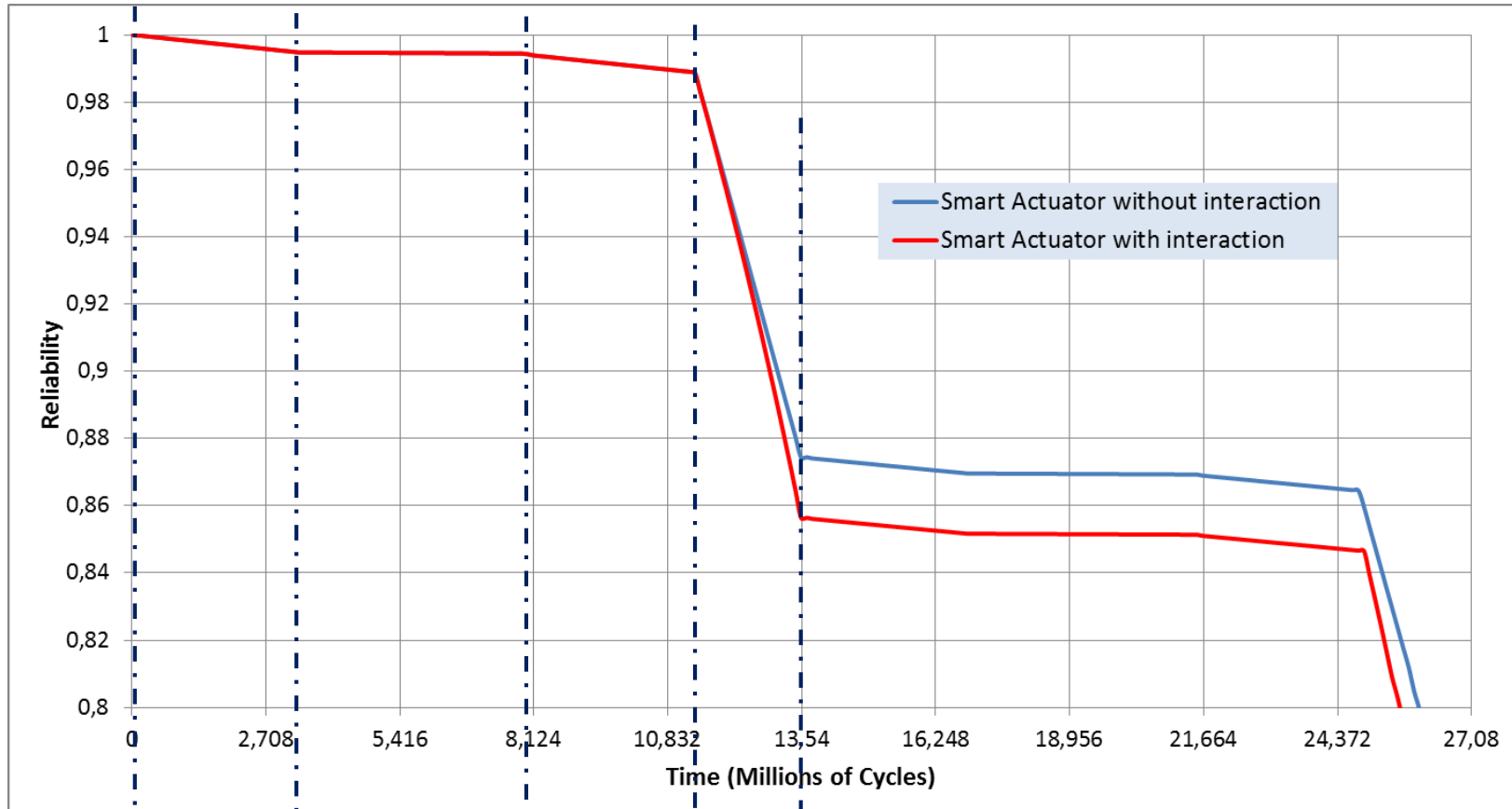


Recherche de modèles de fiabilité sans et avec interaction palier/bobine



Résultats de Fiabilité

Fiabilité de l'actionneur en fonction du profil de mission



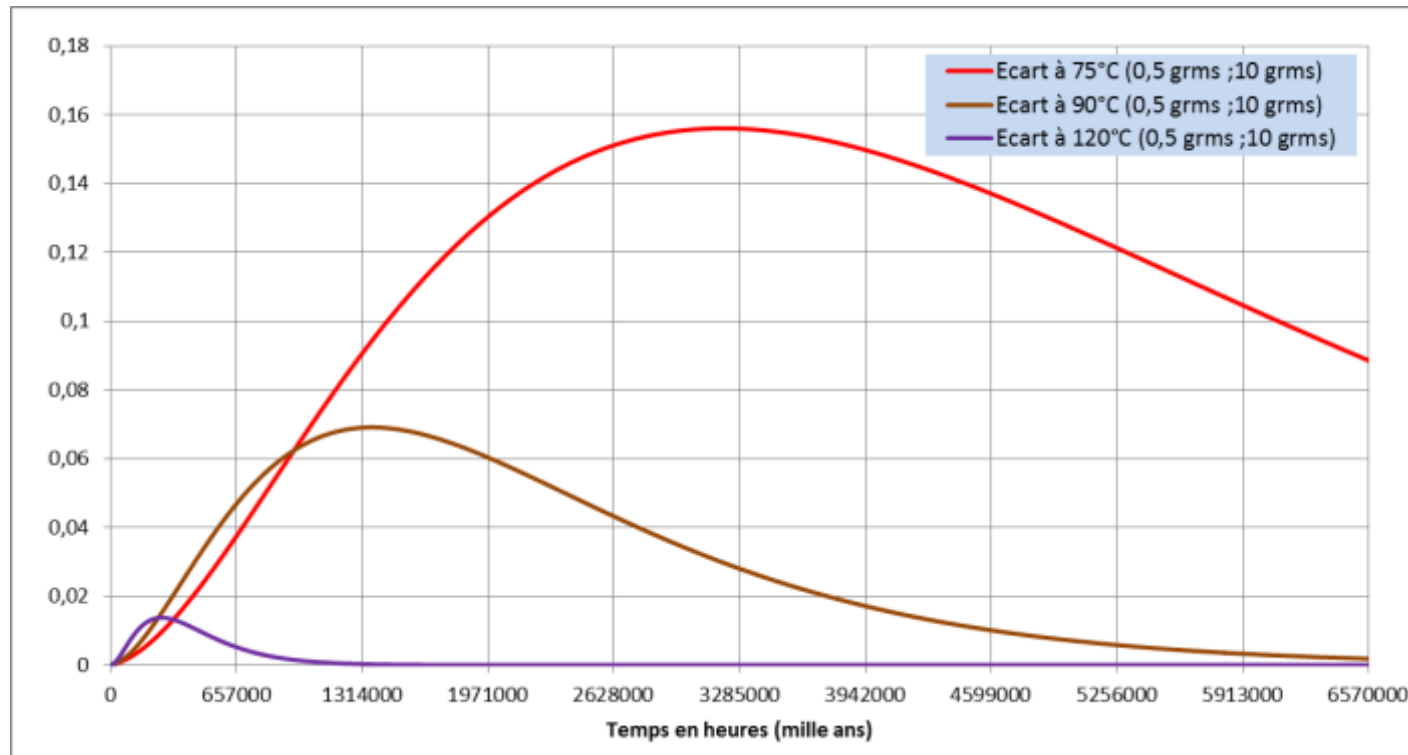
Tempéré Froid Tempéré Chaud



Résultats de Fiabilité

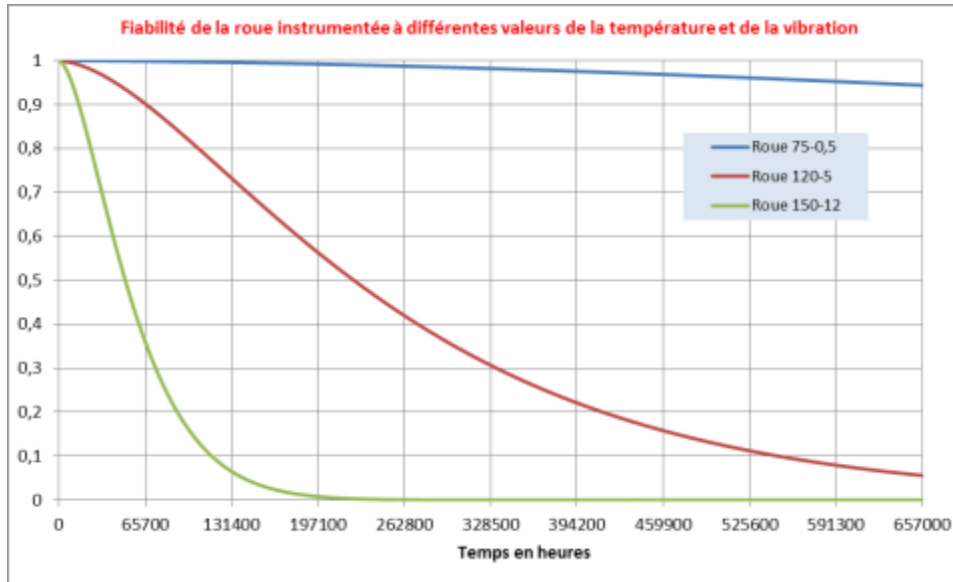
Fiabilité du circuit électronique de mesure

Évolution de l'écart de fiabilité en fonction de la température et de la vibration



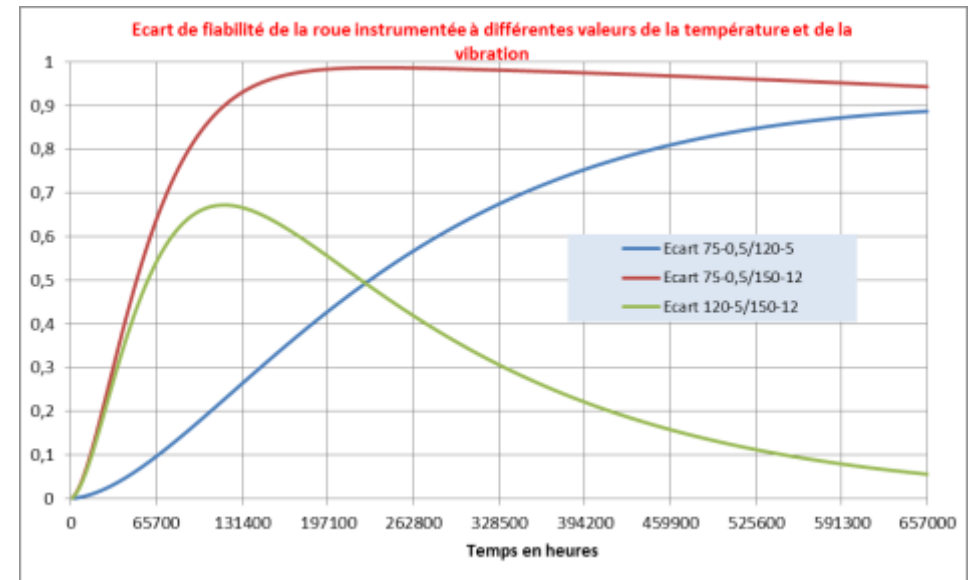
Résultats de Fiabilité

Fiabilité du roulement de roue instrumenté



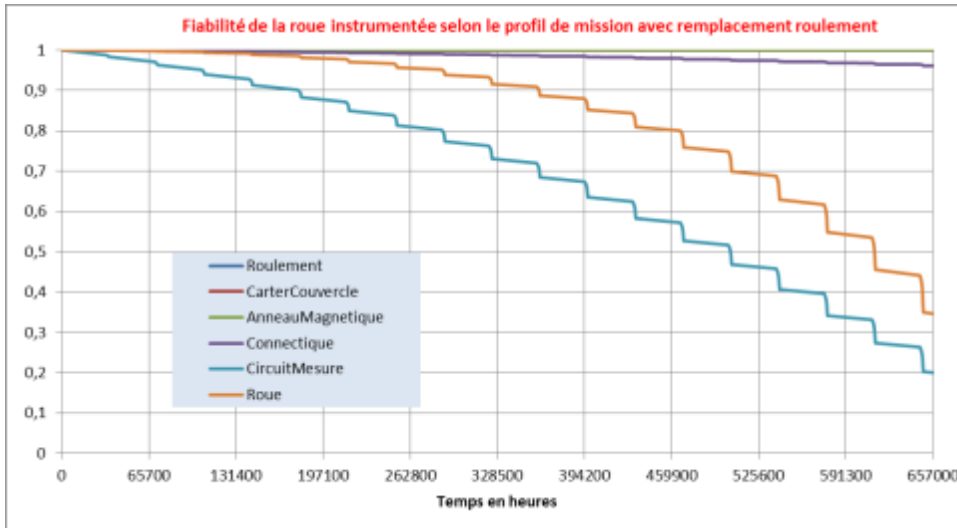
Fiabilité du roulement de roue instrumenté en fonction des facteurs d'influence (température, vibration)

Écart de fiabilité du roulement de roue instrumenté en fonction de la température et de la vibration

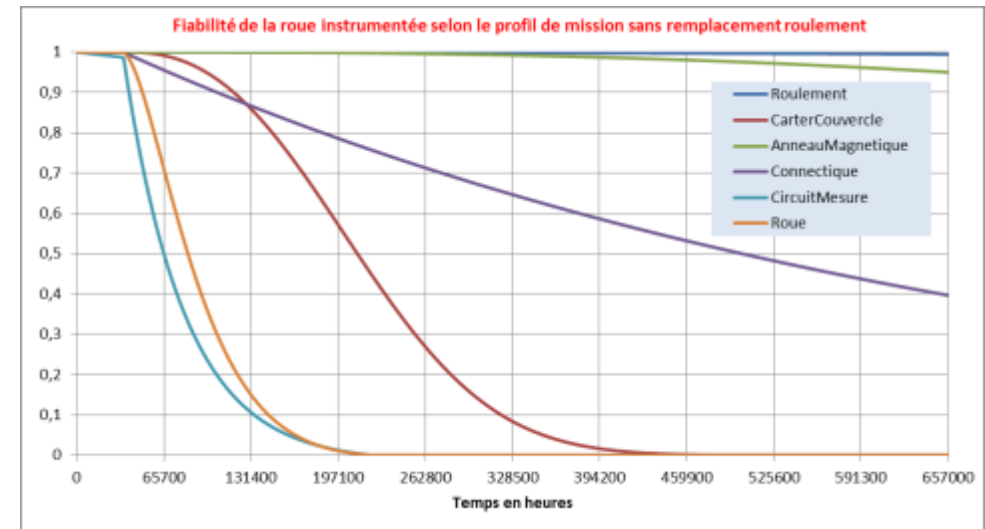


Résultats de Fiabilité

Fiabilité du roulement de roue instrumenté



Fiabilité du roulement de roue instrumenté et de ses composants sans remplacement du roulement suite à écaillage



Conclusions

Développement d'une démarche d'évaluation de la fiabilité prévisionnelle des systèmes mécatroniques

- Structurée et basée sur le *cycle de développement en V*
- À la fois *qualitative et quantitative*
- Prenant en compte les caractéristiques de ces systèmes : *dynamique, hybride, reconfigurable, interactif (interdépendant)*
- Permettant d'évaluer la *fiabilité globale* du système dans sa définition pluri-technologique
- Prenant en compte un *profil de mission*, des *facteurs d'influence* et des *interactions collatérales et fonctionnelles* (interdépendances)
- Permettant de faire évoluer certaines méthodes classiques (AMDE → analyse avec *classification des modes de défaillance*, prise en compte des *interactions collatérales*, DF → prise en compte *du profil de mission et des interactions*)
- Consolidée et validée sur des *produits/systèmes mécatroniques industriels*

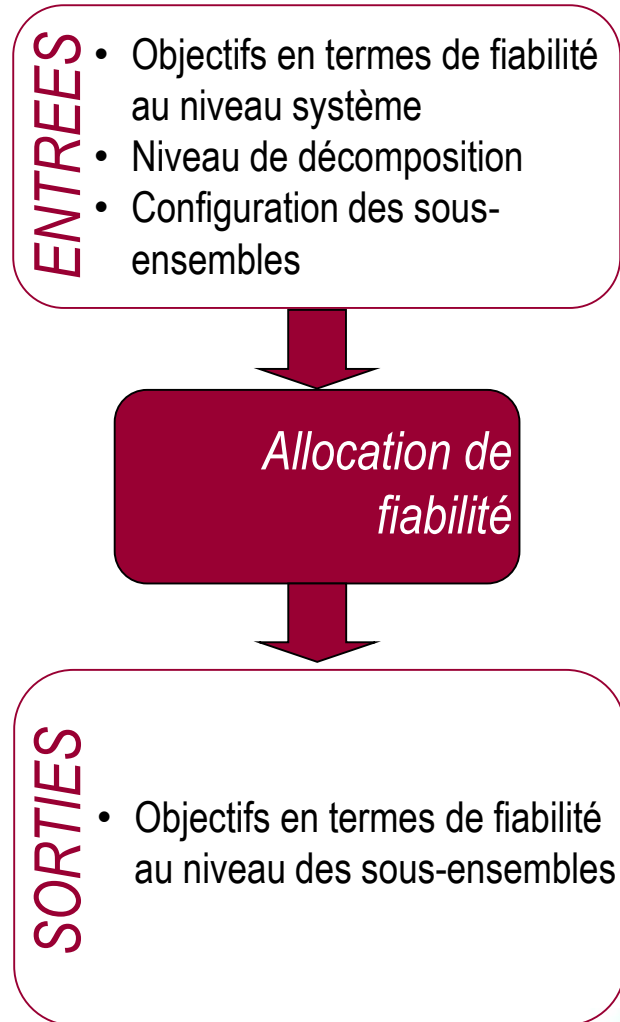
Axes d'Améliorations

- Nécessité de réaliser des **essais** et/ou disposer d'**historiques** de défaillances pour certains composants afin d'estimer les paramètres et les lois de fiabilité
- Nécessité d'identifier, caractériser et définir des lois d'évolution des paramètres de fiabilité en présence d'**interactions** et de **facteurs d'influence** (choc, champ magnétique...) pour certaines technologies
- Nécessité d'une meilleure structuration : **allocation des exigences de fiabilité sur les sous-systèmes et composants** pour une analyse résultats/objectifs plus objective

Allocation de Fiabilité

■ Objectif

- Décliner les objectifs de fiabilité spécifiés au niveau produit en objectifs applicables aux différents niveaux de l'arborescence technique ou fonctionnelle
 - Fournir aux concepteurs des repères sur lesquels ils pourront s'appuyer afin de réorienter les choix de conception si nécessaire
- *Démarche itérative, peut nécessiter plusieurs tentatives pour satisfaire les objectifs au niveau global*
 - *Doit être initiée en phase de conception dès que les exigences de fiabilité ont été dérivées des exigences spécifiées sur les performances opérationnelles*



Allocation de Fiabilité

Conduite de la méthode

- Fixer les **niveaux de décomposition** du produit
- Mettre en œuvre la méthode d'allocation
 - **Équi-répartition** → la plus grossière
 - **ARINC** → éléments en série avec λ constant par composant → poids des éléments sur la fiabilité du système
 - **AGREE** → mêmes hypothèses que pour ARINC mais s'appuie sur des algorithmes plus complexes
- Etre **réaliste** (objectifs avec solutions envisageables)
- Etre **efficace** (minimiser certaines servitudes, maximiser certaines performances fonctionnelles)

Domaine de pertinence

- S'applique aux systèmes complexes
- Acteurs : client (maître d'ouvrage), maître d'œuvre, sous-traitants

Allocation de Fiabilité

Avantages

- Permet de déterminer les efforts à réaliser sur les différents sous-ensembles
- Permet de piloter les actions de conception et de production visant à satisfaire les objectifs

Inconvénients

- Dépend beaucoup de la pertinence des données utilisées