

Fiabilité Prévisionnelle des Systèmes Mécatroniques

Georges HABCHI

SYMME – Université Savoie Mont Blanc

Conférence PC2A

Le 15 Juin 2017

Lyon



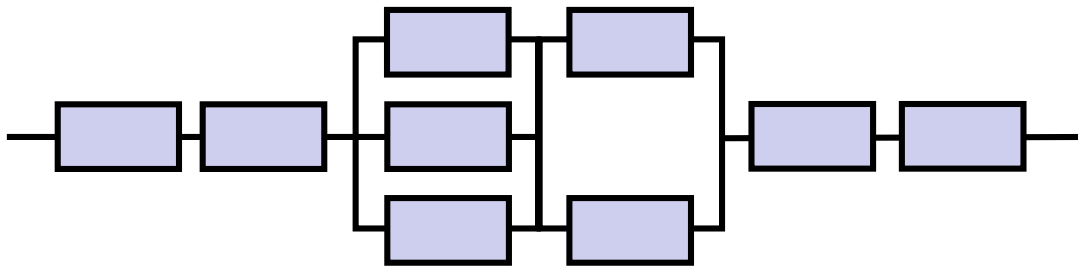
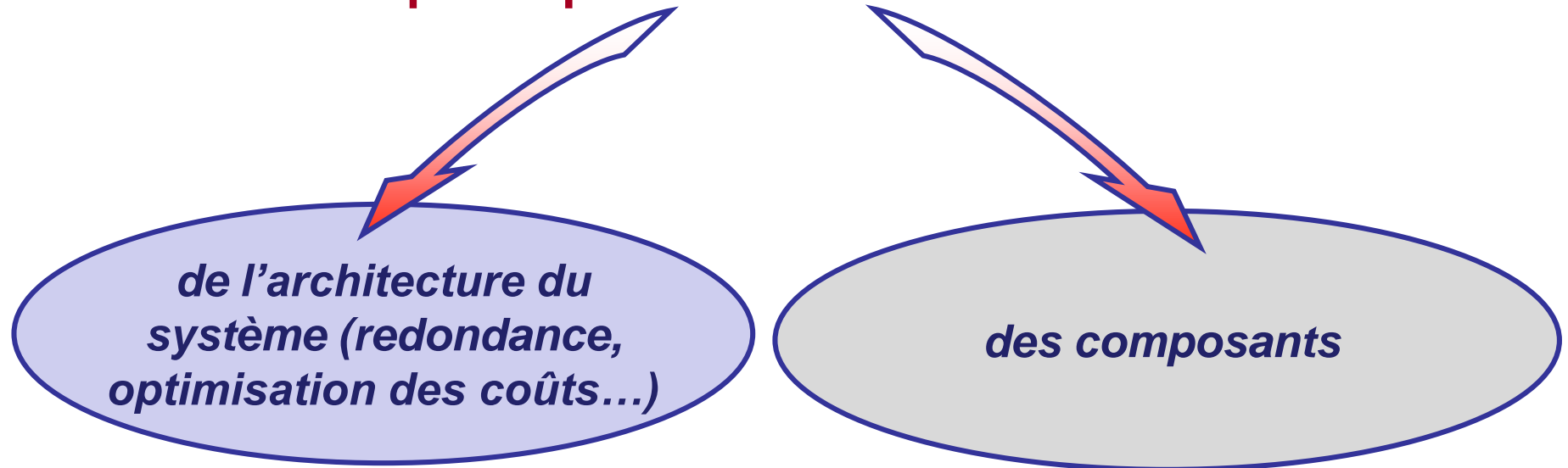
Sommaire

- **La fiabilité dès la conception**
- **Démarche de fiabilité prévisionnelle d'un produit**
 - Problématique
 - Objectif
 - Pré-requis à une étude de fiabilité
 - Présentation de la démarche
 - Consolidation de la démarche à travers d'exemples industriels
 - **Principales étapes de la démarche**
 - Résultats de fiabilité
- **Conclusion**



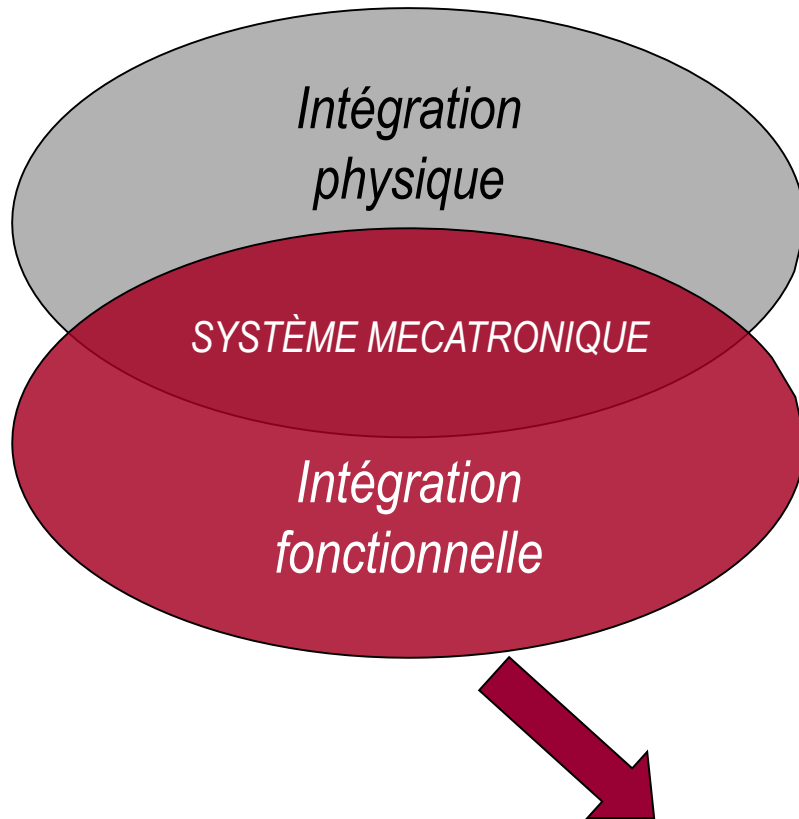
La fiabilité dès la conception

La fiabilité participe au choix



Quelle *fiabilité* doit avoir un **composant** pour assurer une fiabilité donnée du **système** à travers le **temps** ?

Problématique



1/ La fiabilité est traditionnellement étudiée par **technologie**

→ Etude par secteur de l'entreprise
(électronique, mécanique...)

→ Cloisonnement

2/ 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**

Objectif

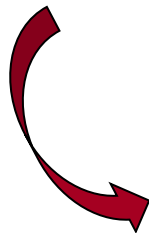
Proposer une **démarche globale** d'évaluation de la **fiabilité d'un système ou d'un produit complexe (mécatronique)** pendant la phase de **conception** (fiabilité **prévisionnelle**), capable de prendre en compte :

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

Pré-requis à une étude de fiabilité

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

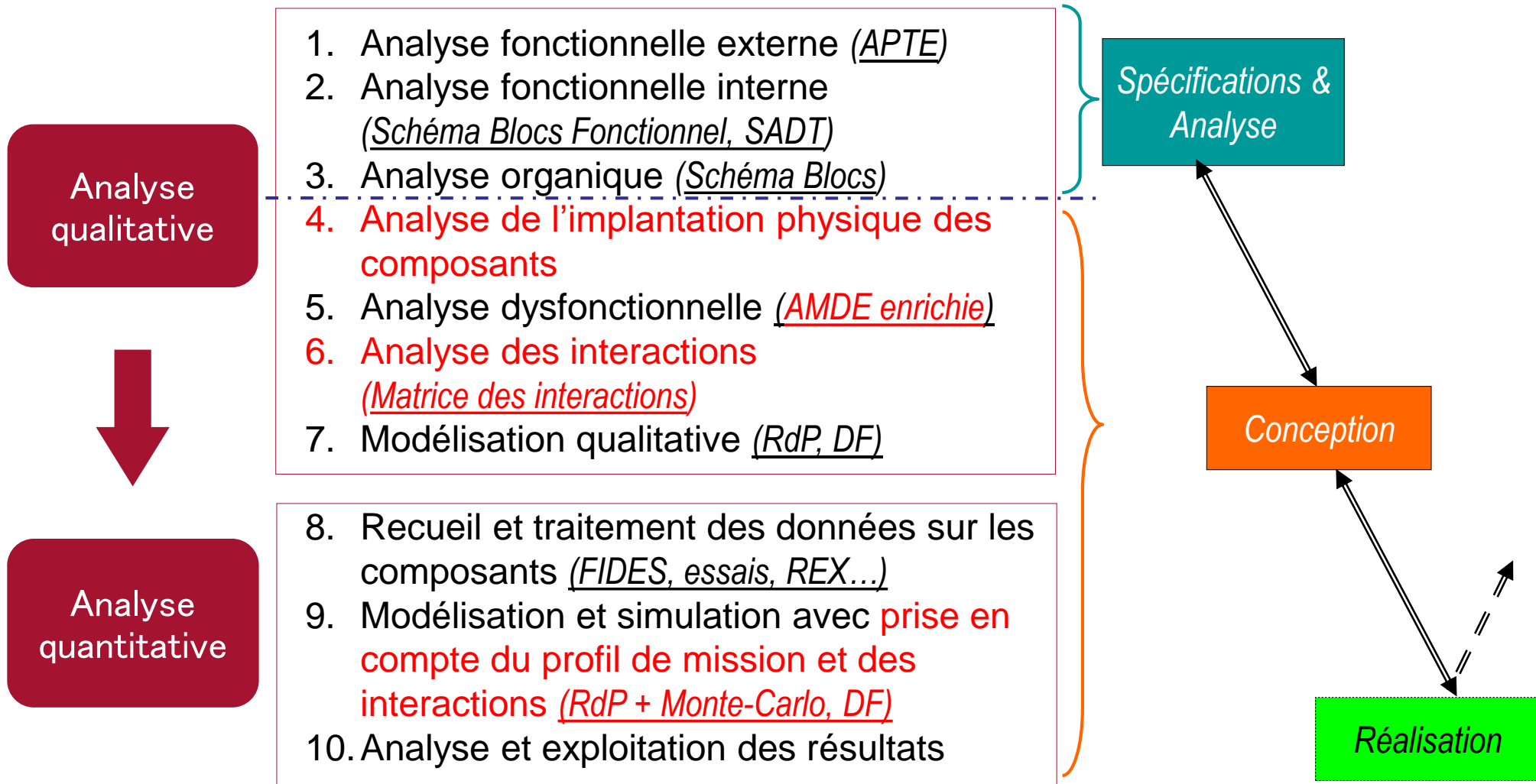
- **Cahier des charges** complet du système
- **Objectifs** de fiabilité
- **Données** de fiabilité sur les composants qui seront utilisés et **non disponibles** dans des bases de données



**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

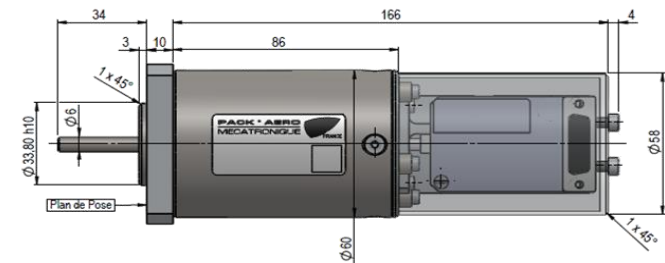
Actionneur intelligent de PACK'AERO



■ 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

Chaine de tri continu comportant 200 à 1000 wagonnets avec un temps de passage entre 2 wagonnets successifs de 50 ms

- ❑ *Les wagonnets transportent des pièces d'un poste à un autre de la chaine 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

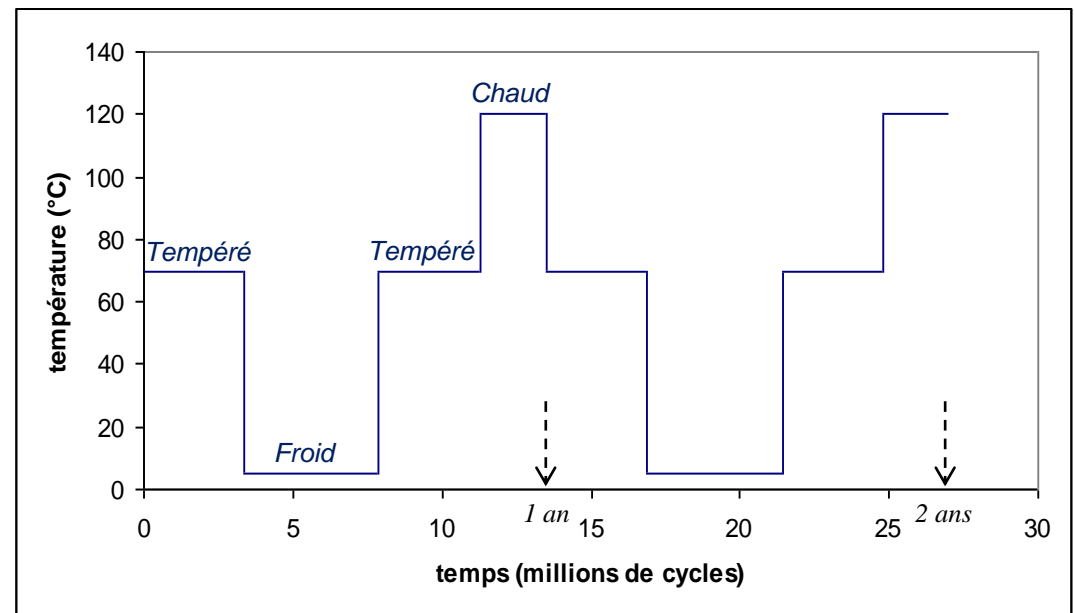
Actionneur intelligent de PACK'AERO

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

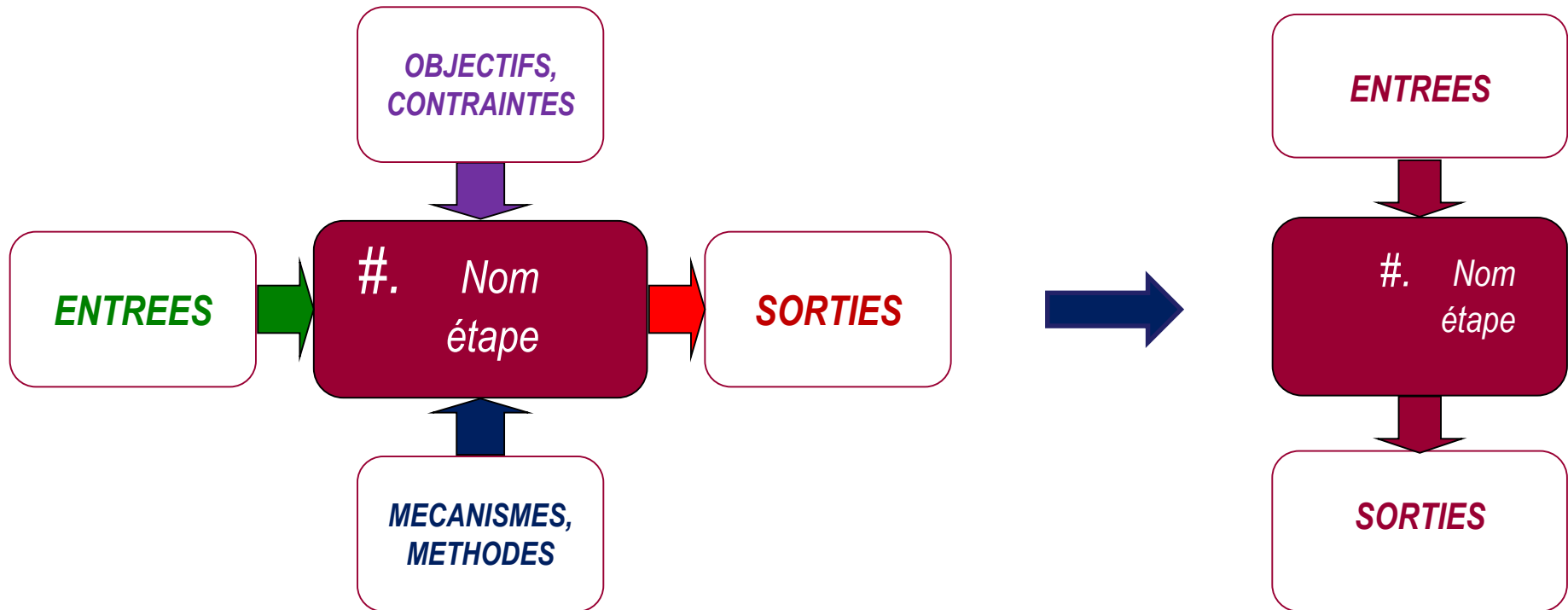


Exemple de profil de mission pour l'actionneur

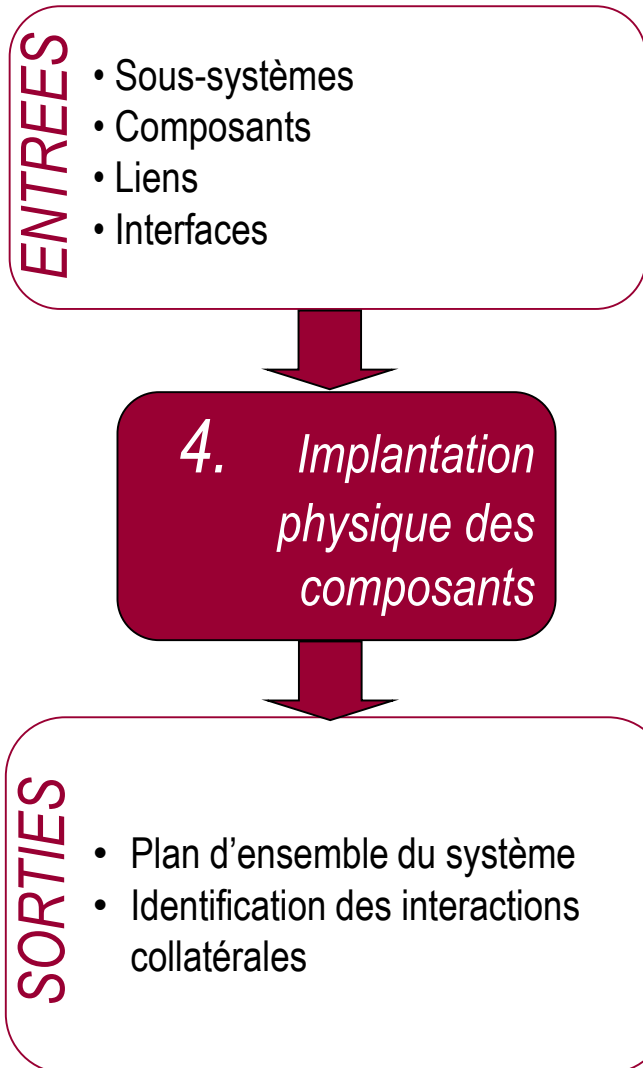
- *Un facteur d'influence : la **température***
- *4 périodes de fonctionnement : **tempéré, froid, tempéré, chaud***



Description d'une étape



4. Analyse de l'Implantation Physique

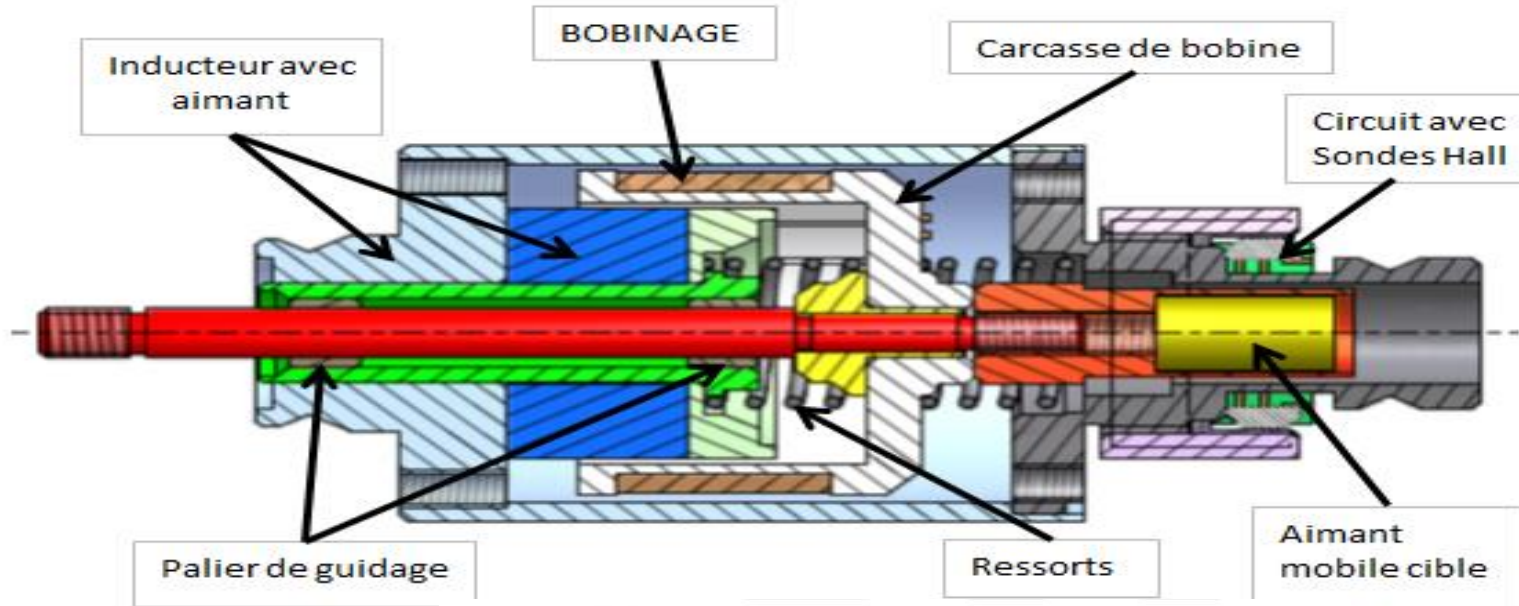


Optimise :

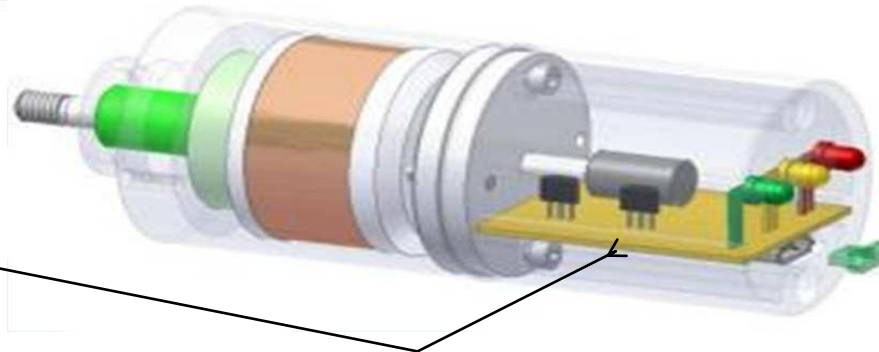
- L'implantation physique de chaque fonction
 - L'organisation des différentes fonctions les unes par rapport aux autres
- ➔ Minimiser les effets des **interactions collatérales** sur la fiabilité du système

Plan d'ensemble en coupe

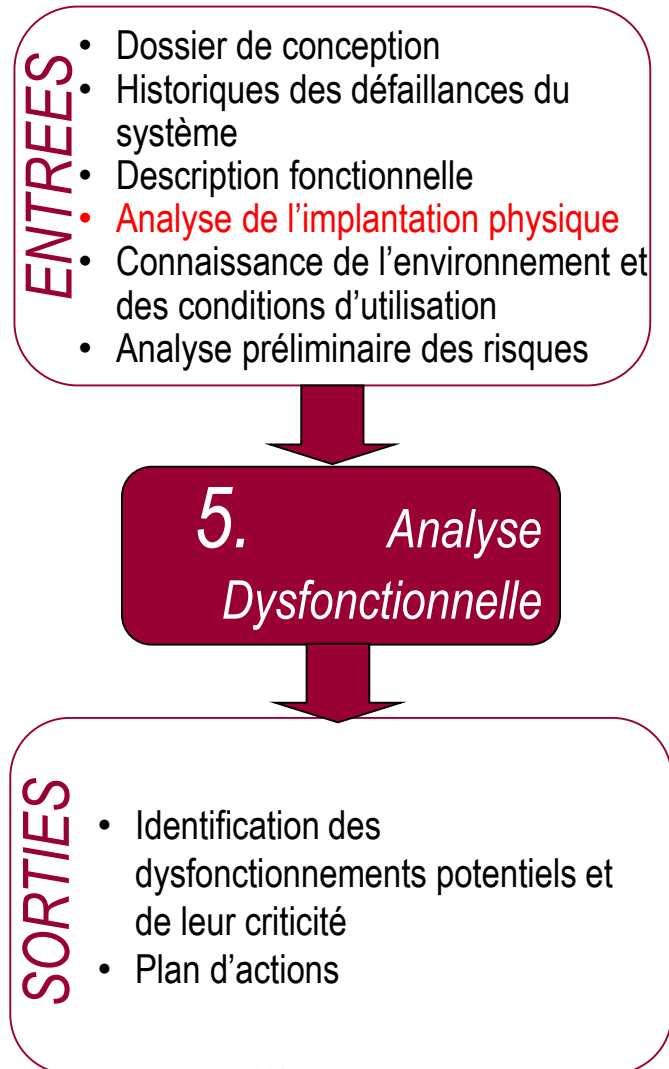
Actionneur intelligent de PACK'AERO



Implantation physique de la carte électronique



5. Analyse Dysfonctionnelle



- 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

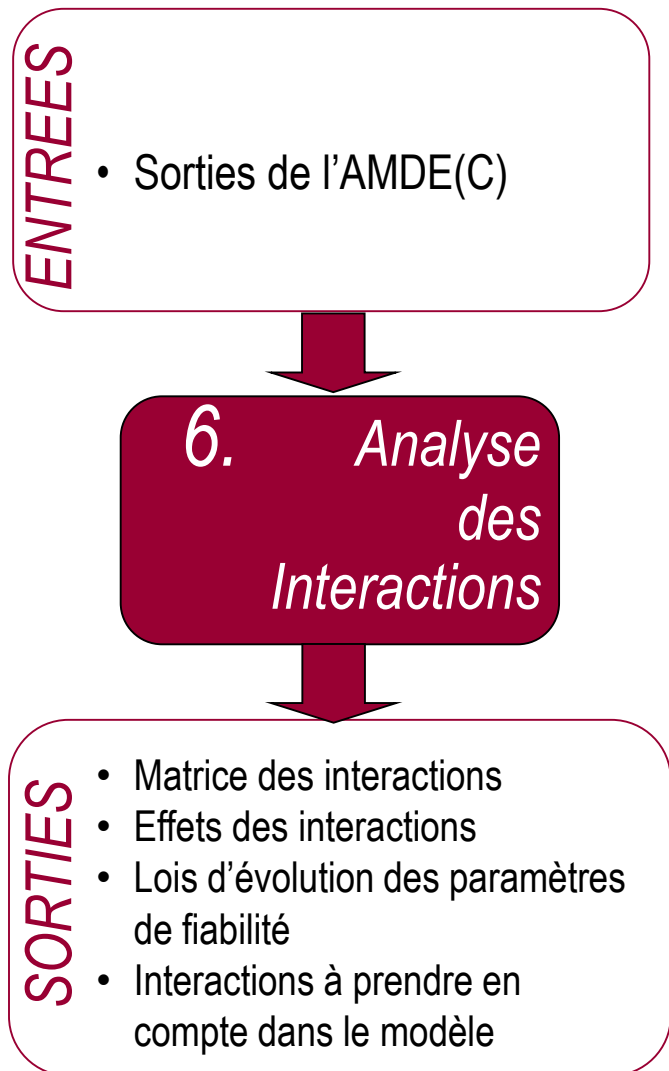
- Leur *nature* : première, seconde ou par commande
- Leur *rapidité de manifestation* : soudaine ou progressive
- Leur *amplitude* : complète ou partielle



| Sous système | composant | Fonction | Mode de défaillance | Cause | Effet | Origine du dommage | Classification : nature / rapidité de manifestation / amplitude |
|--------------|-------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 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




- 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 | | |
| agit sur |  | Carte actionneur | Commande et diagnostic actionneur | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Carte sonde | Conditionnement sonde | 0 | - | - | 0 | FB | 0 |
| Equipage mobile | Bobine + Carcasse | 0 | 0 | - | 0 | CB | 0 | | |
| Corps de l'actionneur | Palier de guidage | 0 | 0 | CU | - | 0 | 0 | | |
| | Inducteur avec aimant | 0 | 0 | CB | FU | - | 0 | | |
| | Sonde à effet Hall | FU | 0 | 0 | 0 | 0 | - | | |

2 types d'interaction

- Fonctionnelle
- Collatérale

Une interaction peut être

- Unidirectionnelle
- Bidirectionnelle

FU : interaction Fonctionnelle Unidirectionnelle

FB : interaction Fonctionnelle Bidirectionnelle

CU : interaction Collatérale Unidirectionnelle

CB : 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,...



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

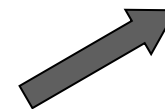
Consiste à :

- **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

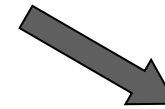


Lois de fiabilité et paramètres

| 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*

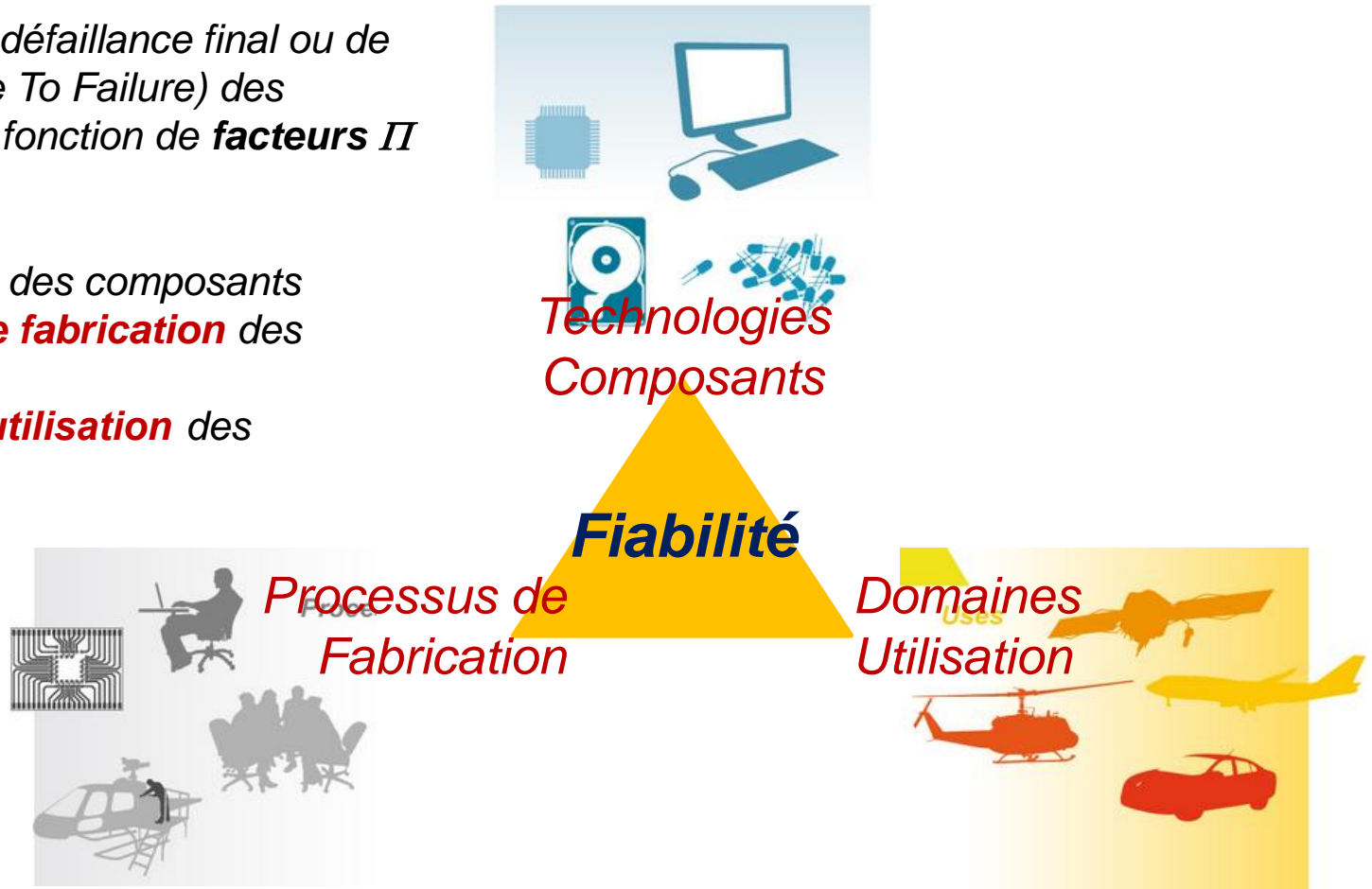


Démarche FIDES

Technologie électronique

Le calcul du taux de défaillance final ou de la MTTF (Mean Time To Failure) 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



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

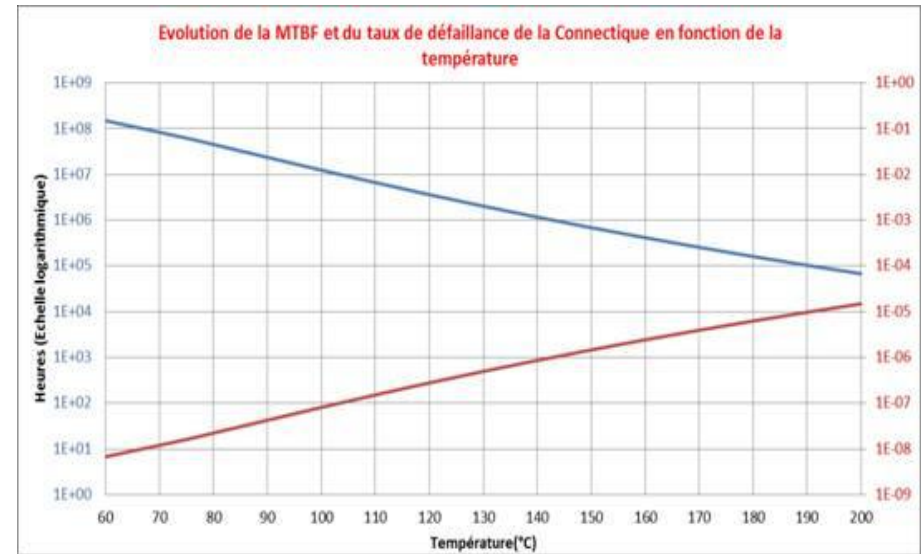
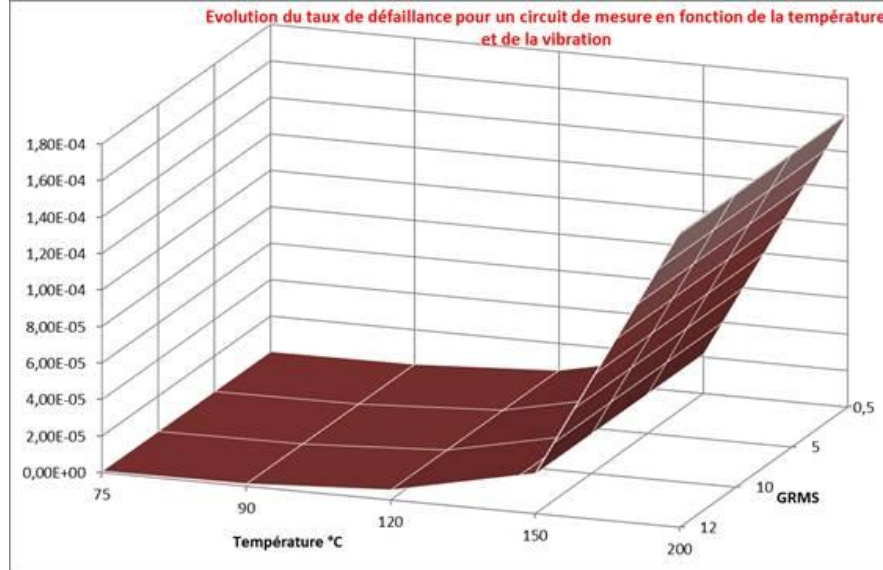
Influence des **deux facteurs** :

- **Température**
- **Vibration**



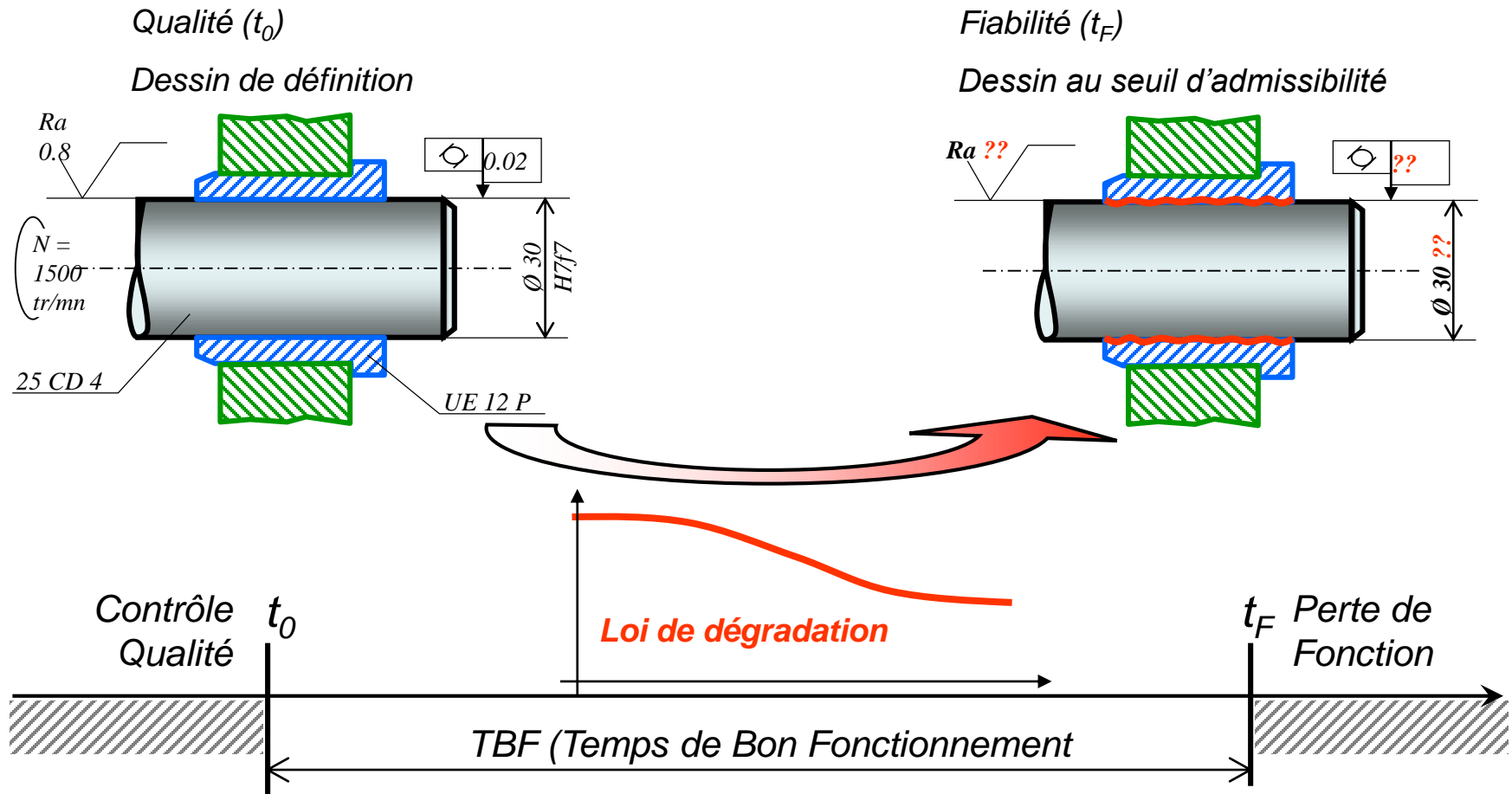
| Vibration (Grms) | Température (° C) | | | | |
|------------------|---------------------------|----|-----|-----|-----|
| | 75 | 90 | 120 | 150 | 200 |
| 0,5 | 15 expériences à réaliser | | | | |
| 5 | | | | | |
| 12 | | | | | |

Influence de la **température**

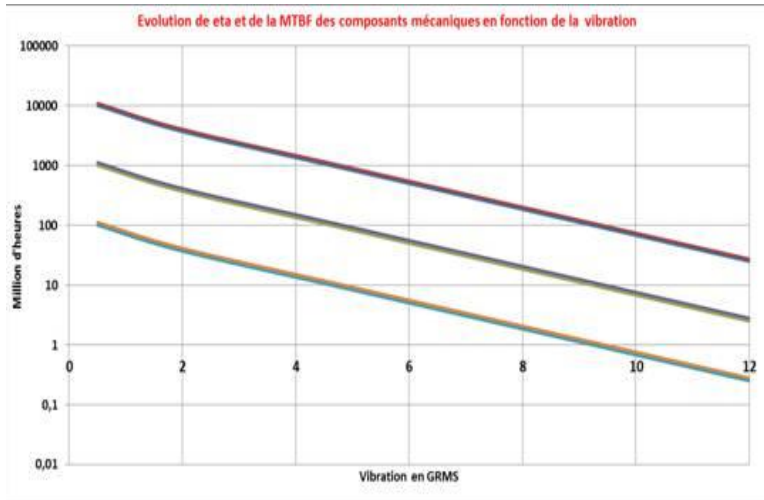
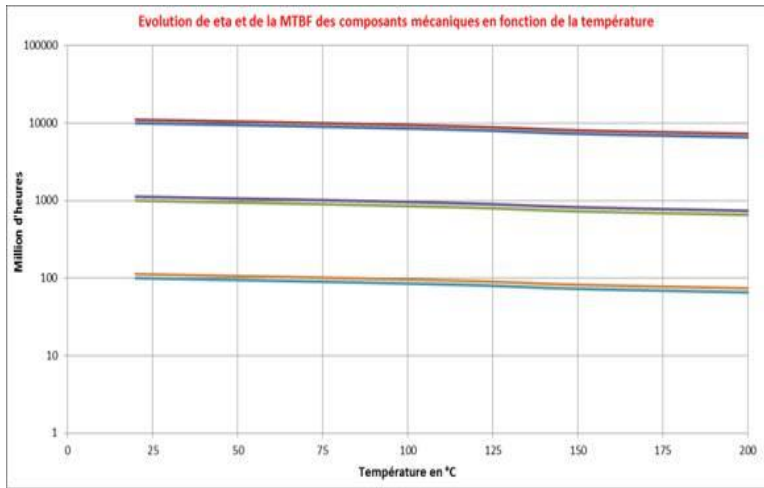


Lois de dégradation

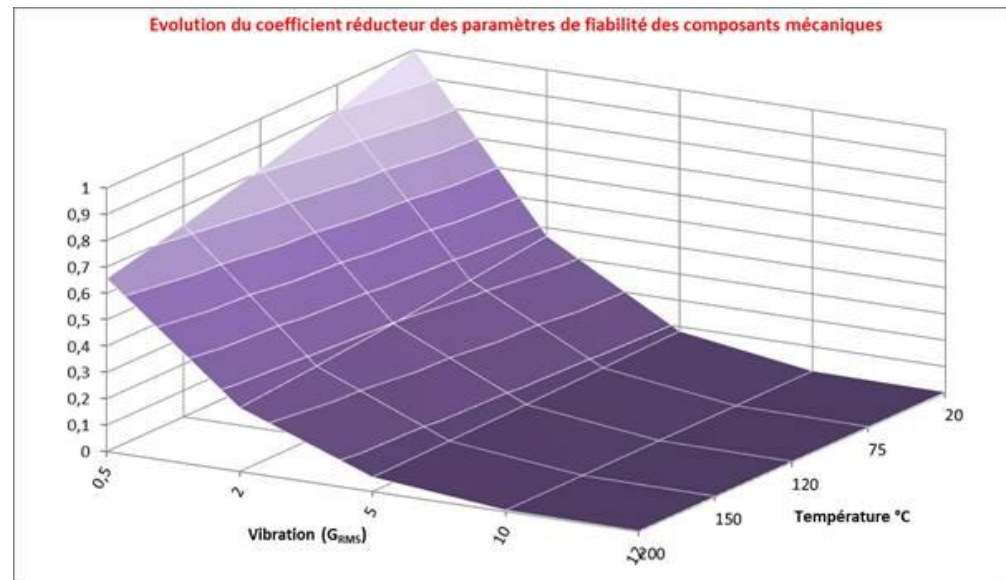
Technologie mécanique



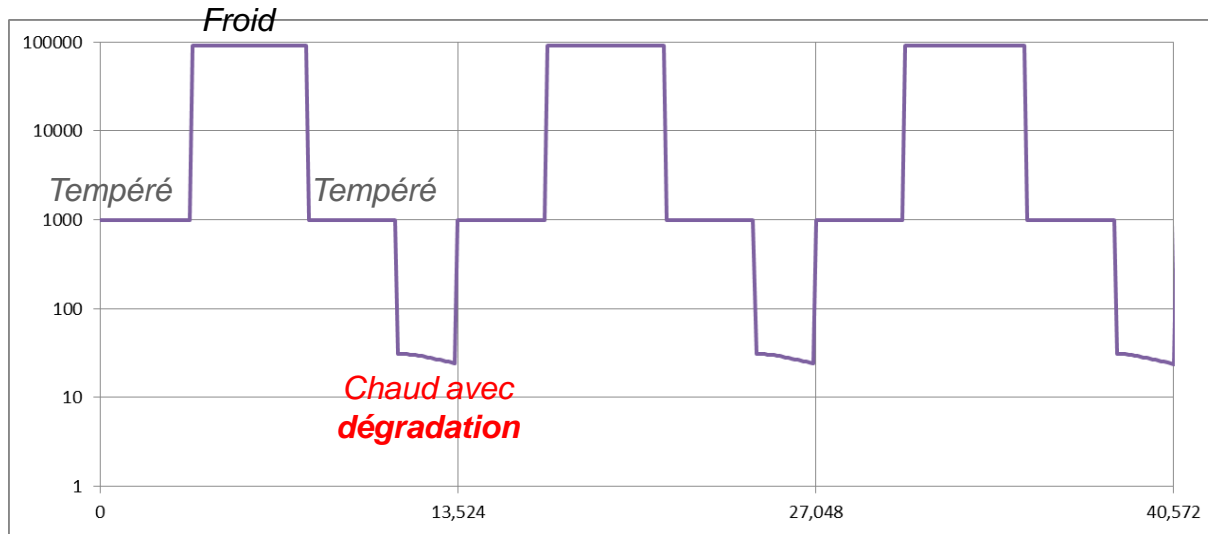
Influence de l'environnement sur l'usure des composants mécaniques



- **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**

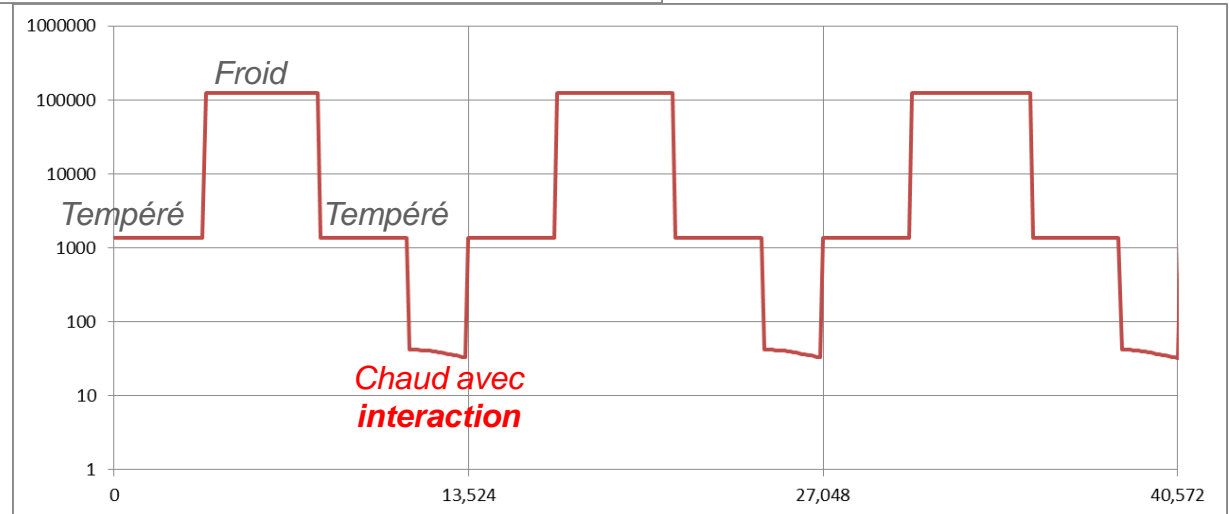


Influence du profil de mission sur les paramètres de fiabilité en présence d'interaction



Évolution de la MTTF de la bobine en fonction :

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



SYMME



9. Modélisation et Simulation

ENTREES

- 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 et de calcul

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

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

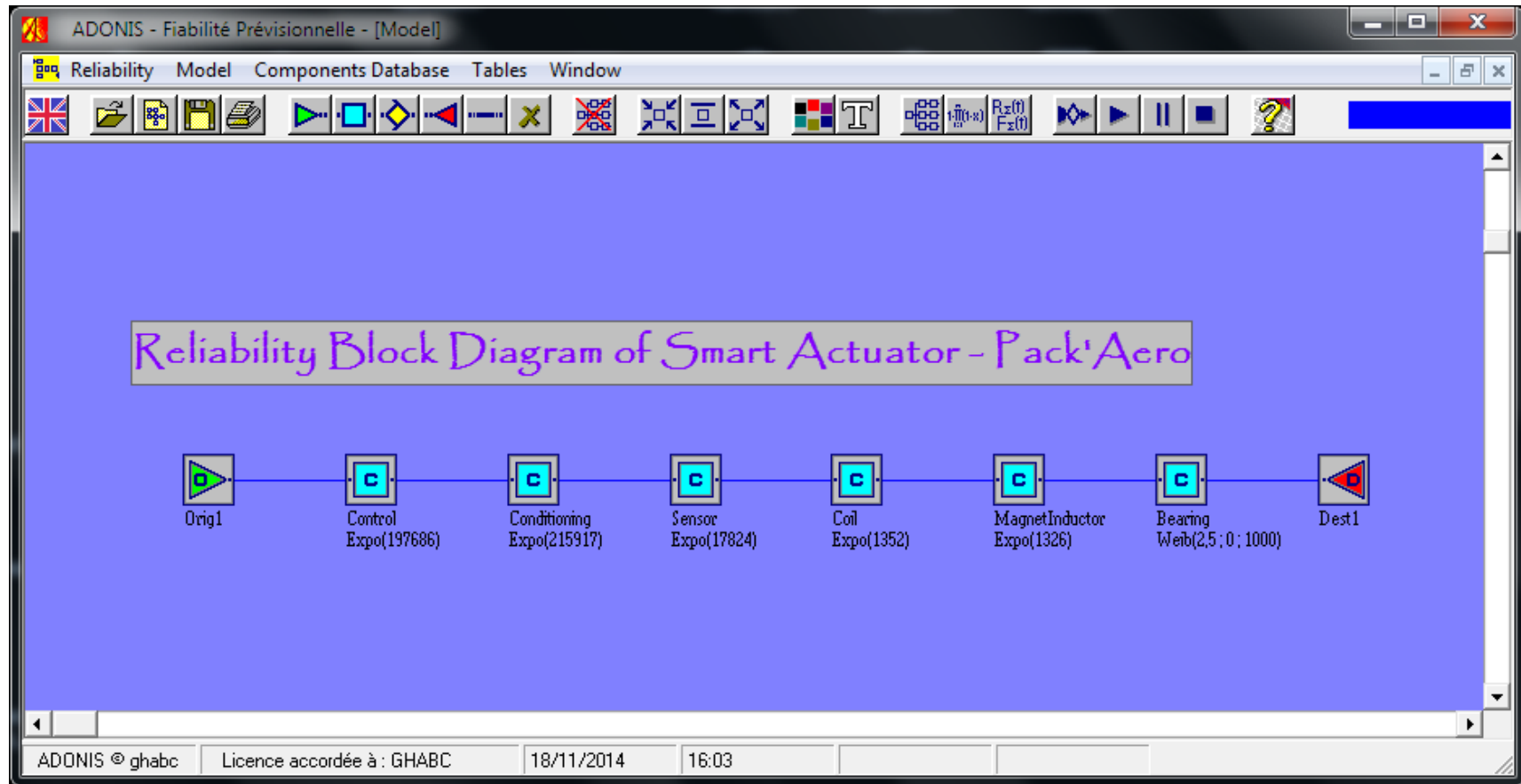
Deux méthodes sont exploitées :

- 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



Block – Diagramme de Fiabilité

Actionneur Intelligent de PACK'AERO



Logiciel ADONIS Reliability



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

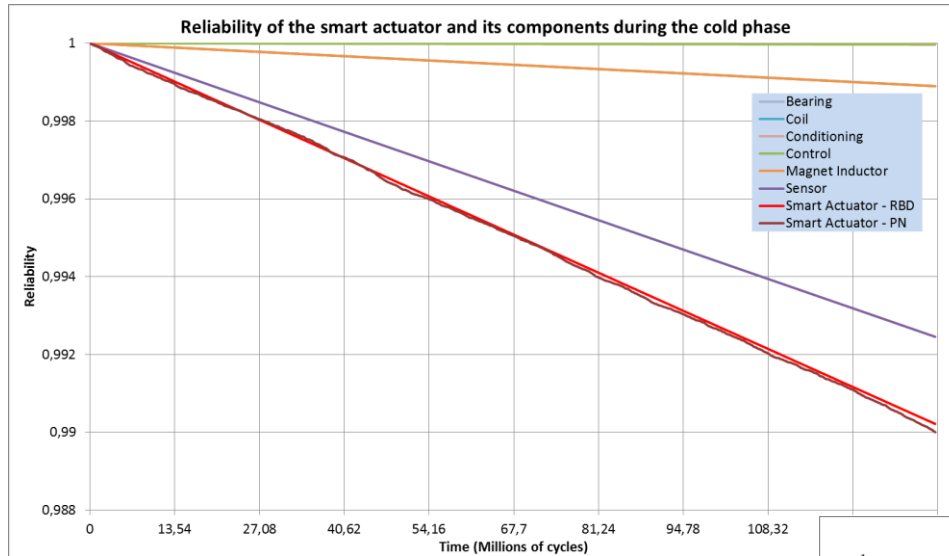
- Analyse de la fiabilité composant/composant
- Analyse de la fiabilité système
- Analyse de l'effet des facteurs d'influence et des interactions
- Comparaison objectifs/résultats
- Proposition d'actions d'amélioration

- 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

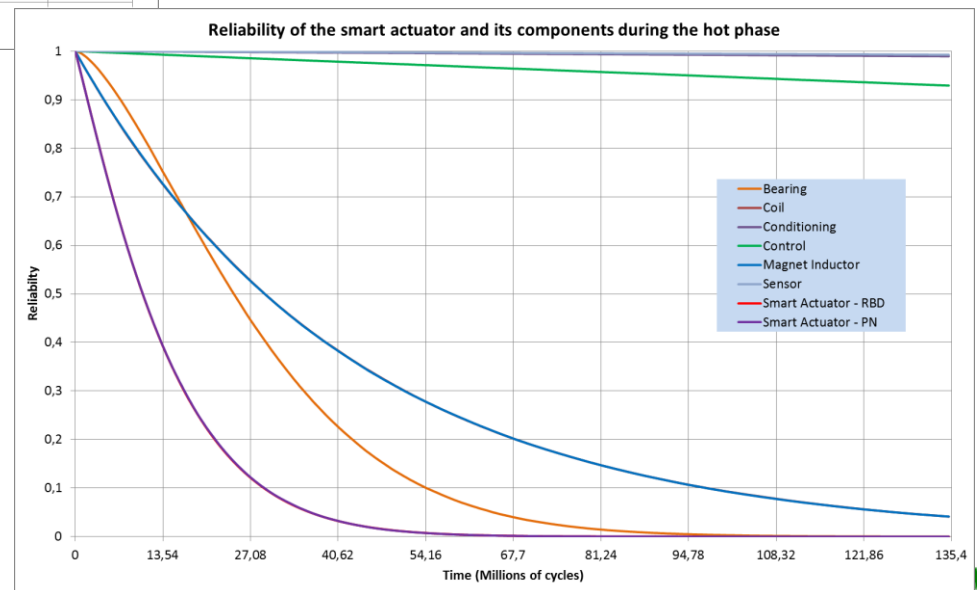
Fiabilité de l'actionneur et des composants phase/phase



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

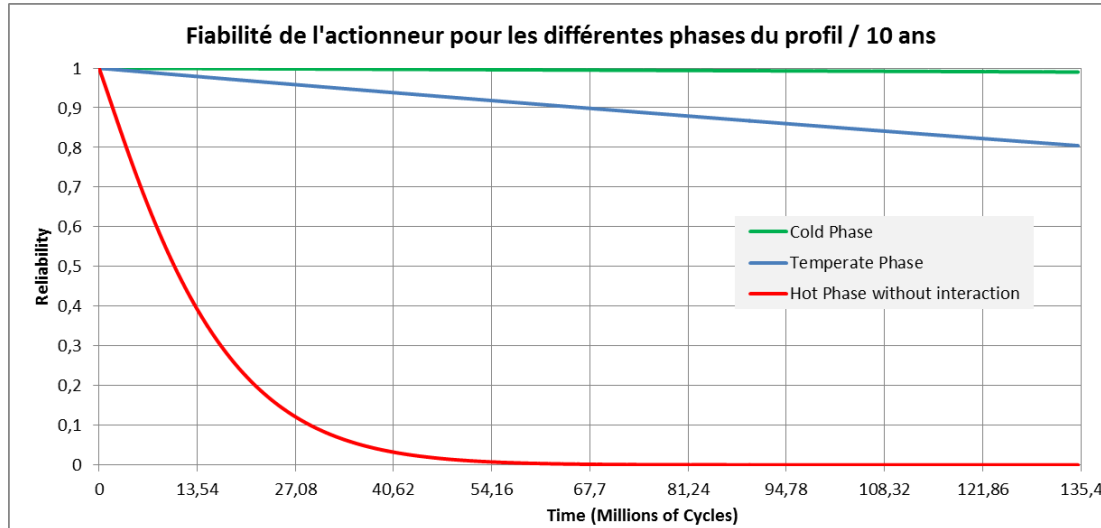


Fiabilité de l'actionneur et de ses composants pour la phase « chaud » sans interaction palier/bobine



Résultats de Fiabilité

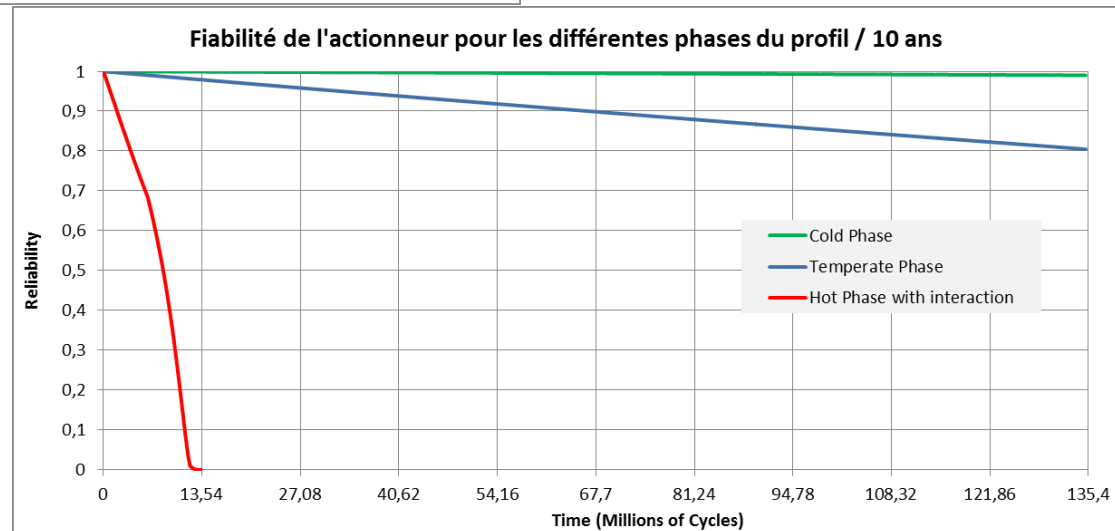
Fiabilité de l'actionneur phase/phase sans et avec interaction



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



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



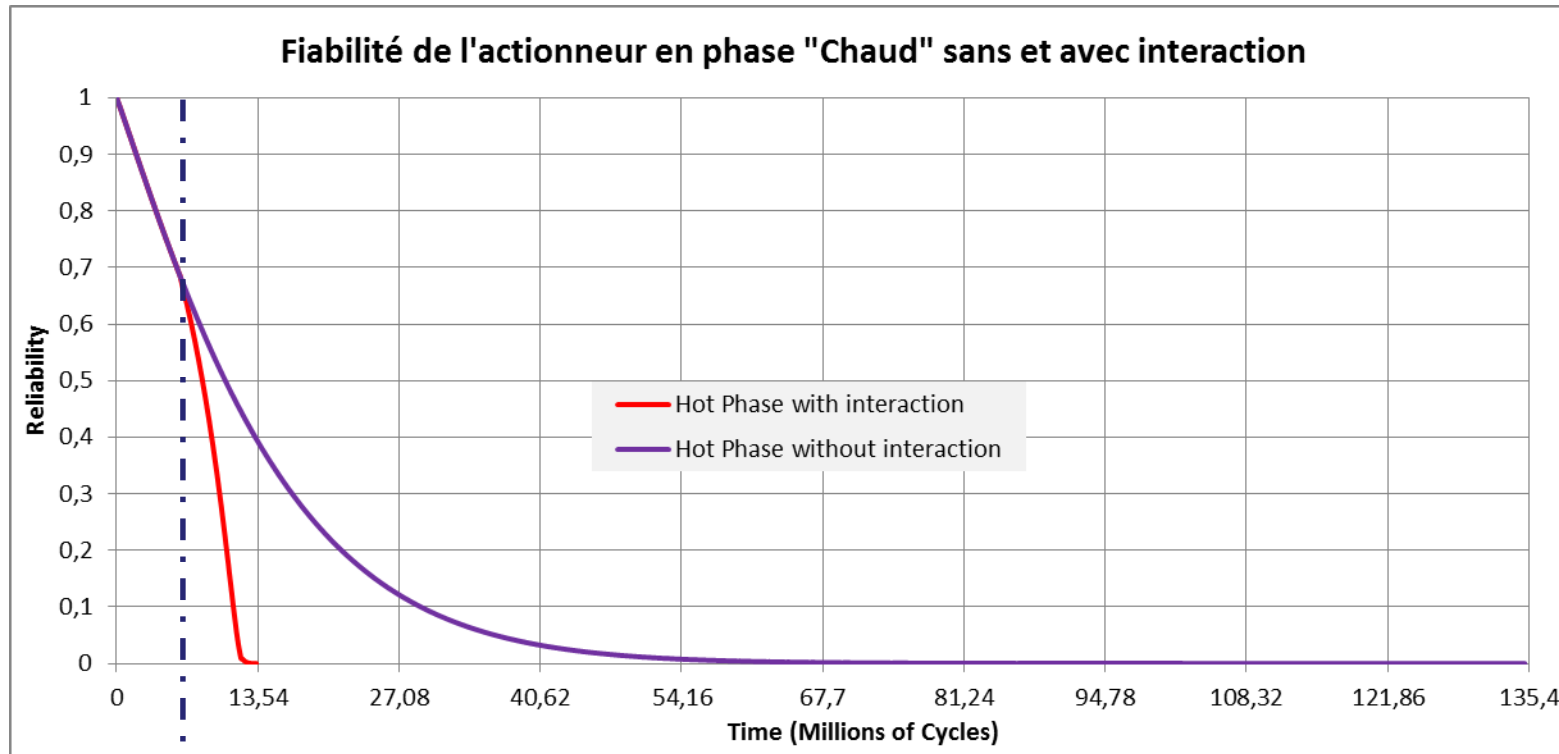
SYMME



PC2A®

Résultats de Fiabilité

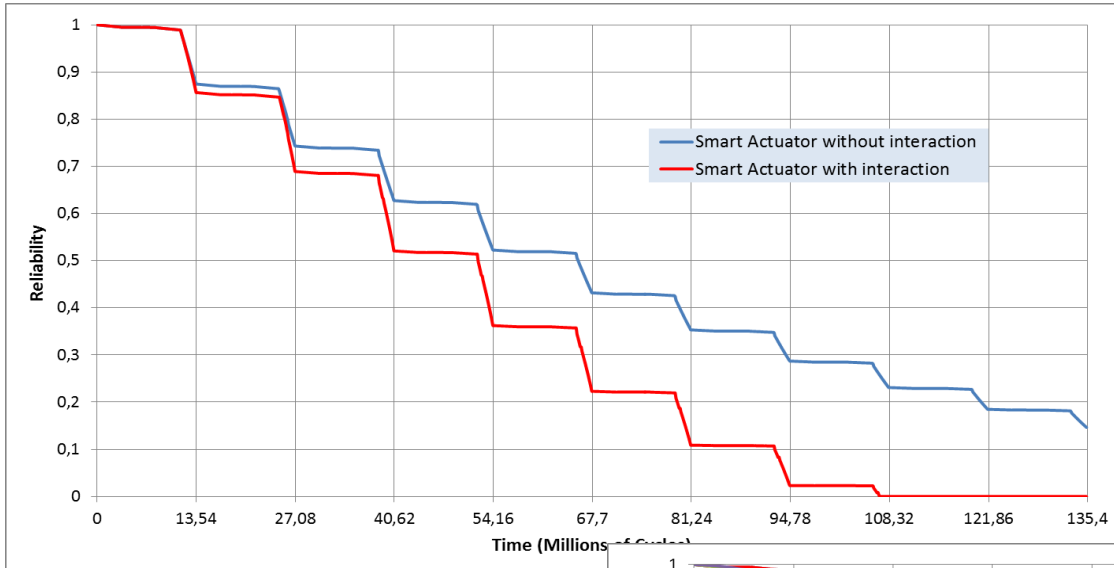
Fiabilité de l'actionneur en phase « chaud » sans et avec interaction palier/bobine



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

Résultats de Fiabilité

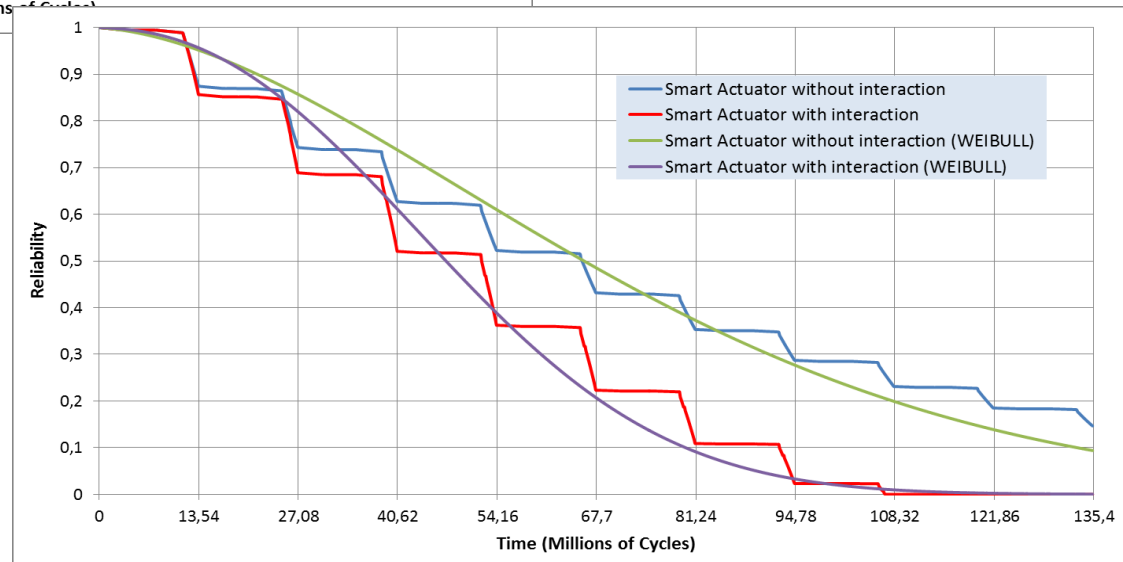
Fiabilité de l'actionneur en fonction du profil de mission



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



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

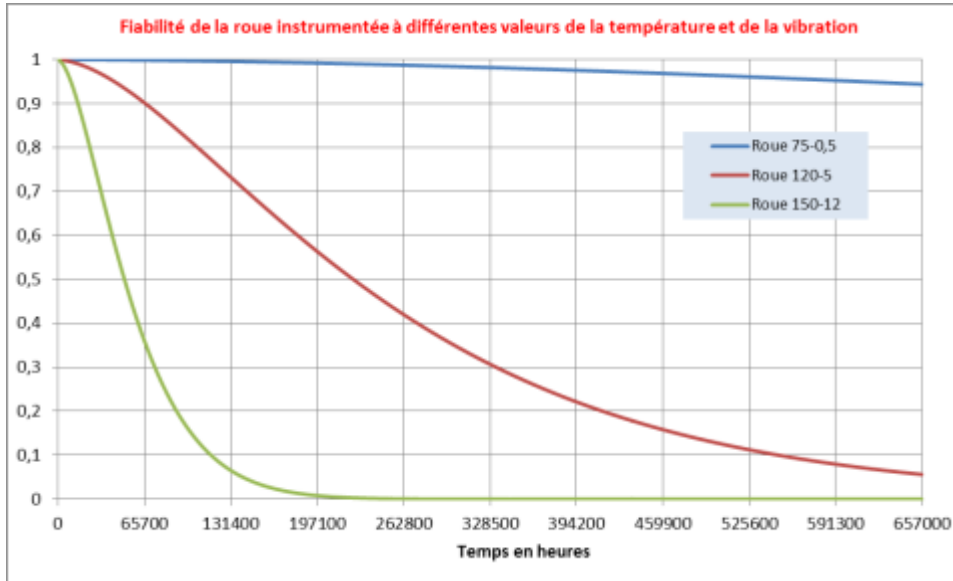


SYMME



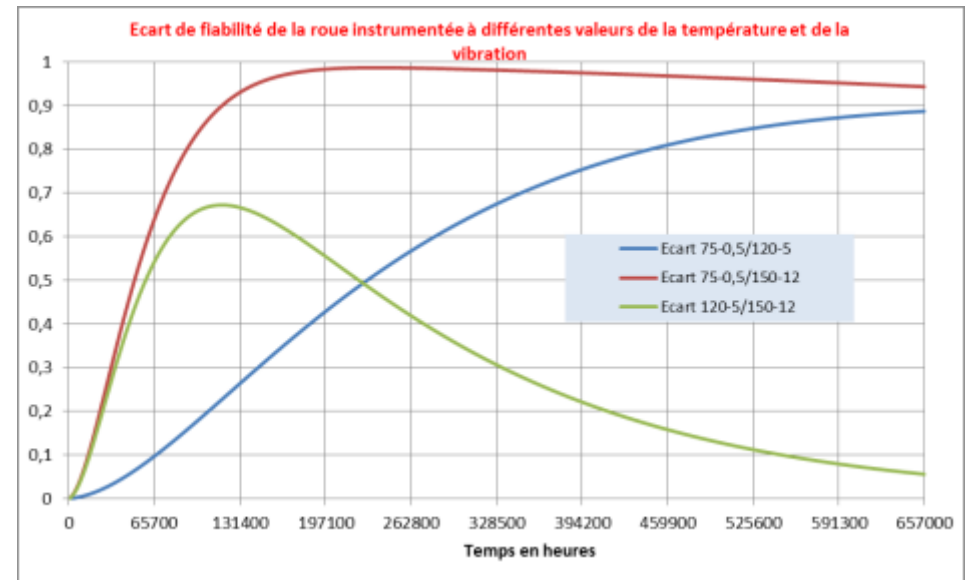
Résultats de Fiabilité

Fiabilité du roulement de roue instrumenté



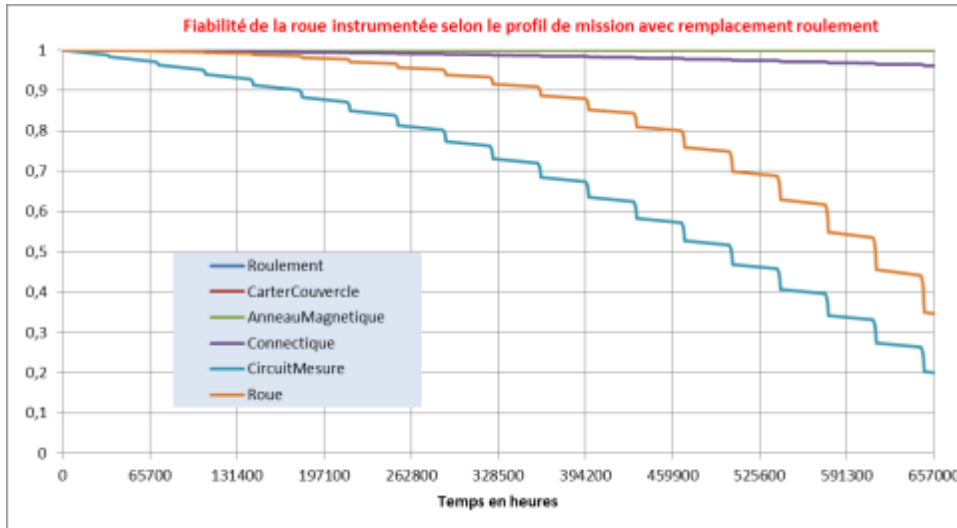
Fiabilité du roulement de roue instrumenté en fonction des facteurs d'influence (température, vibration)

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



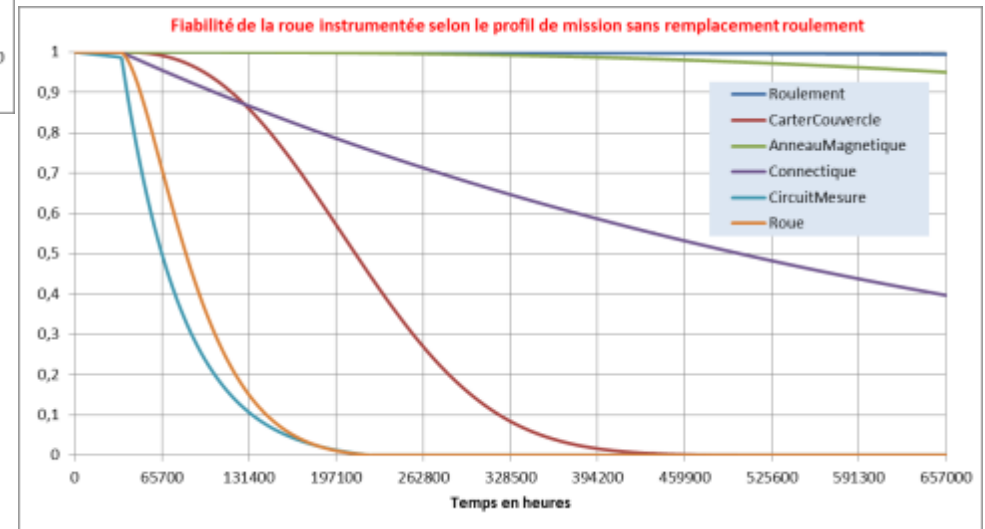
Résultats de Fiabilité

Fiabilité du roulement de roue instrumenté



Fiabilité de la roue instrumentée et de ses composants **avec remplacement du roulement suite à écaillage**

Fiabilité de la roue instrumentée et de ses composants **sans remplacement du roulement suite à écaillage**



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

