

Pronostic de défaillances guidé par les données : application à l'usure des outils de coupe

[K. Medjaher](#), D. A. Tobon-Mejia, N. Zerhouni

Institut FEMTO-ST, Département AS2M

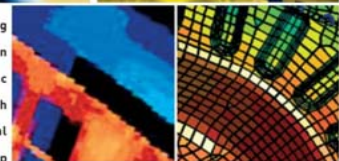
kamal.medjaher@ens2m.fr

RESEARCH INSTITUTE

FEMTO-ST



cultivating
innovation
from basic
research
to industrial
partnership



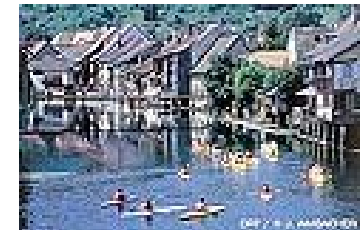
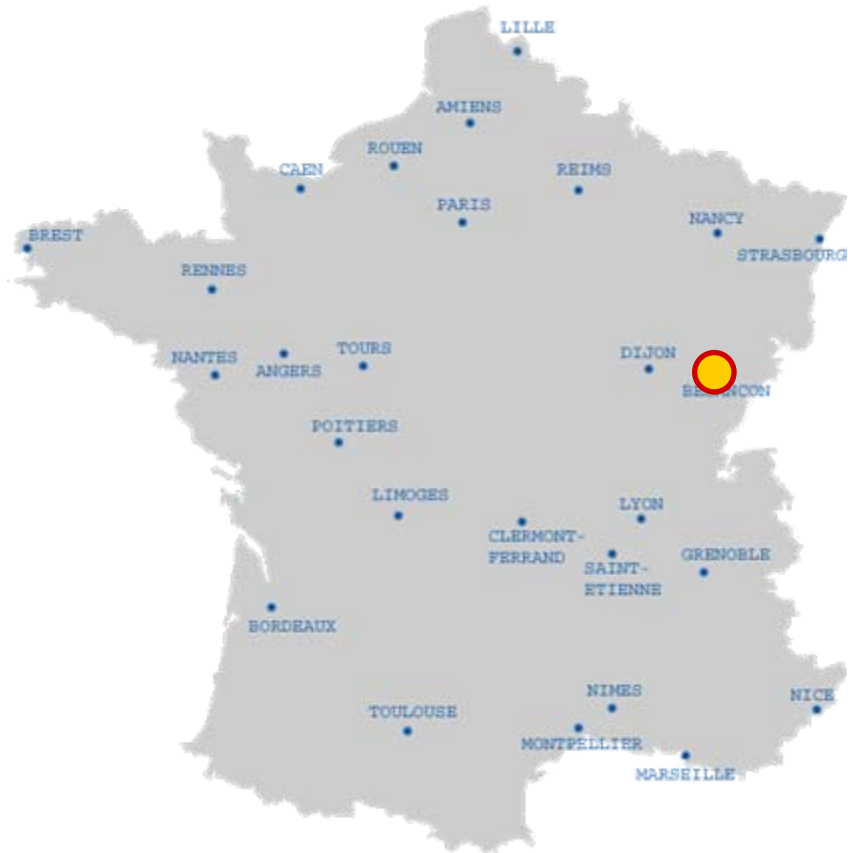
www.femto-st.fr

Sommaire

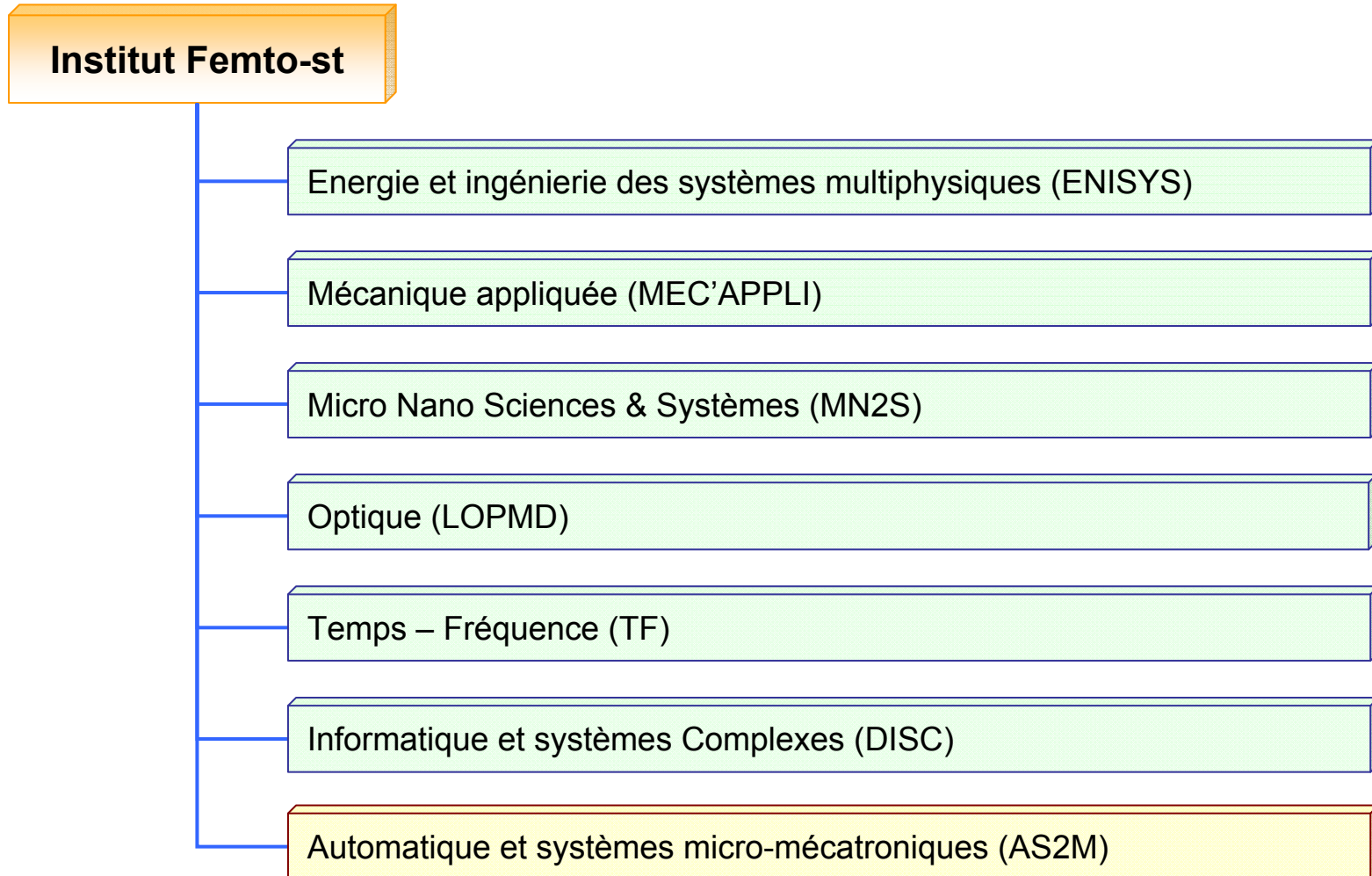
- 1. PHM au sein de l'institut FEMTO-ST**
- 2. Méthode de pronostic guidé par les données**

1. PHM au sein de l'institut FEMTO-ST

Localisation



Départements de recherche

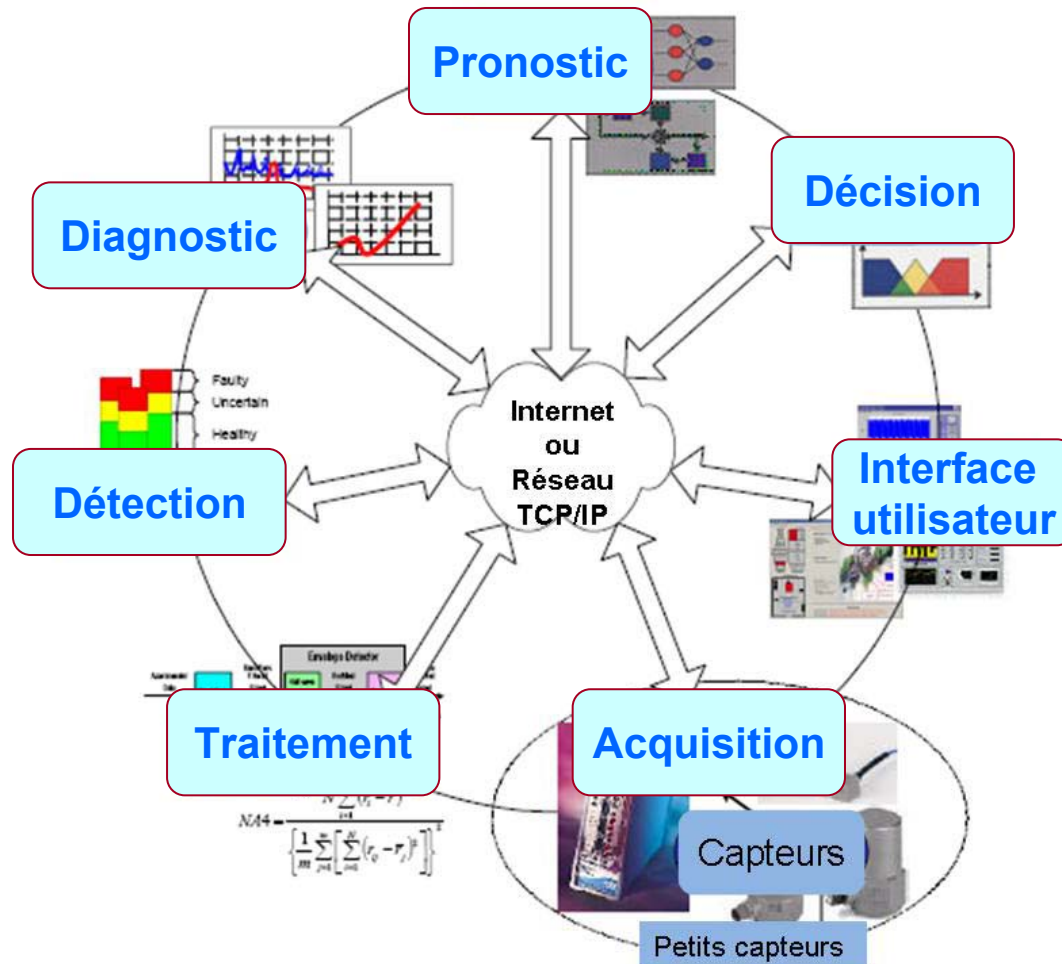


- 4 thèmes de recherche

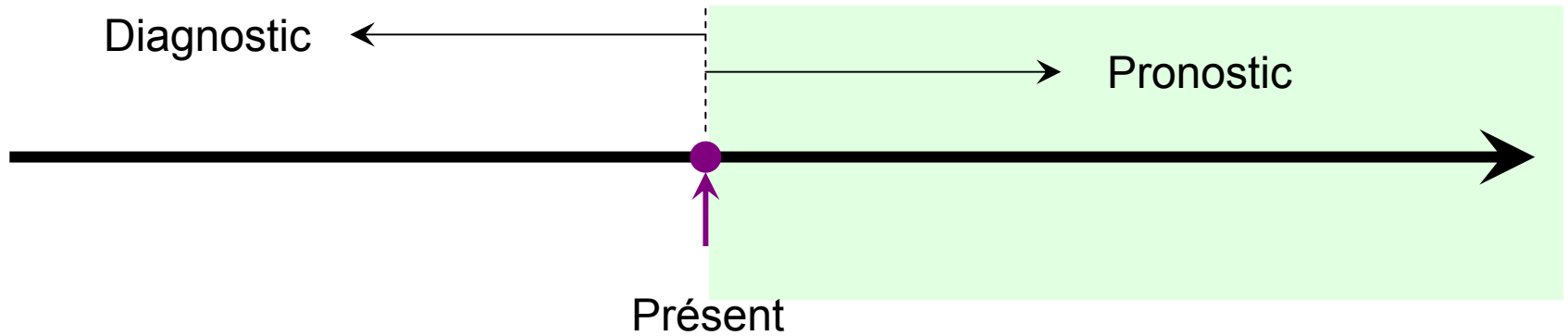
- Commande et conception des systèmes micromécatroniques (CCSM)
- Perception et caractérisation aux échelles nano et microscopiques (PCENM)
- Prognostic and Health Management (PHM)
- Micro-nanorobotique biomédicale et de micromanipulation (MNBM)

Thème PHM

OSA-CBM: Open System Architecture for Condition-Based Maintenance



Diagnostic vs Pronostic



Thème PHM

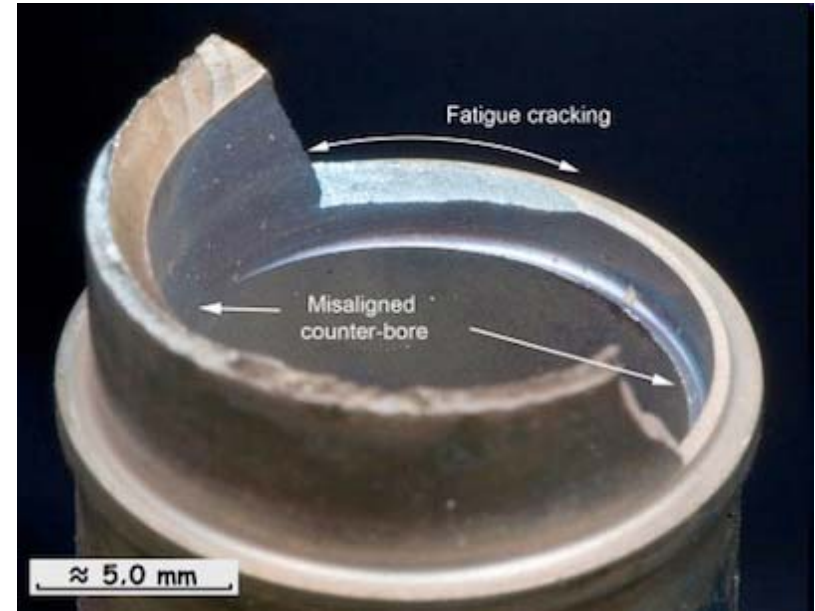
La plateforme pétrolière Deepwater Horizon en feu le 21 avril 2010. Des navires luttent contre les flammes. Le 22 avril 2010 la plateforme coule. (Credit: U.S. Coast Guard/Sipa Press) [[source : sciencesetavenir.fr](http://sciencesetavenir.fr)]



Thème PHM



En 2010, un feu s'est déclaré dans le moteur n°2 de l'A380 de la compagnie Qantas juste après son décollage (Source: Australian Transport Safety Bureau ATSB).



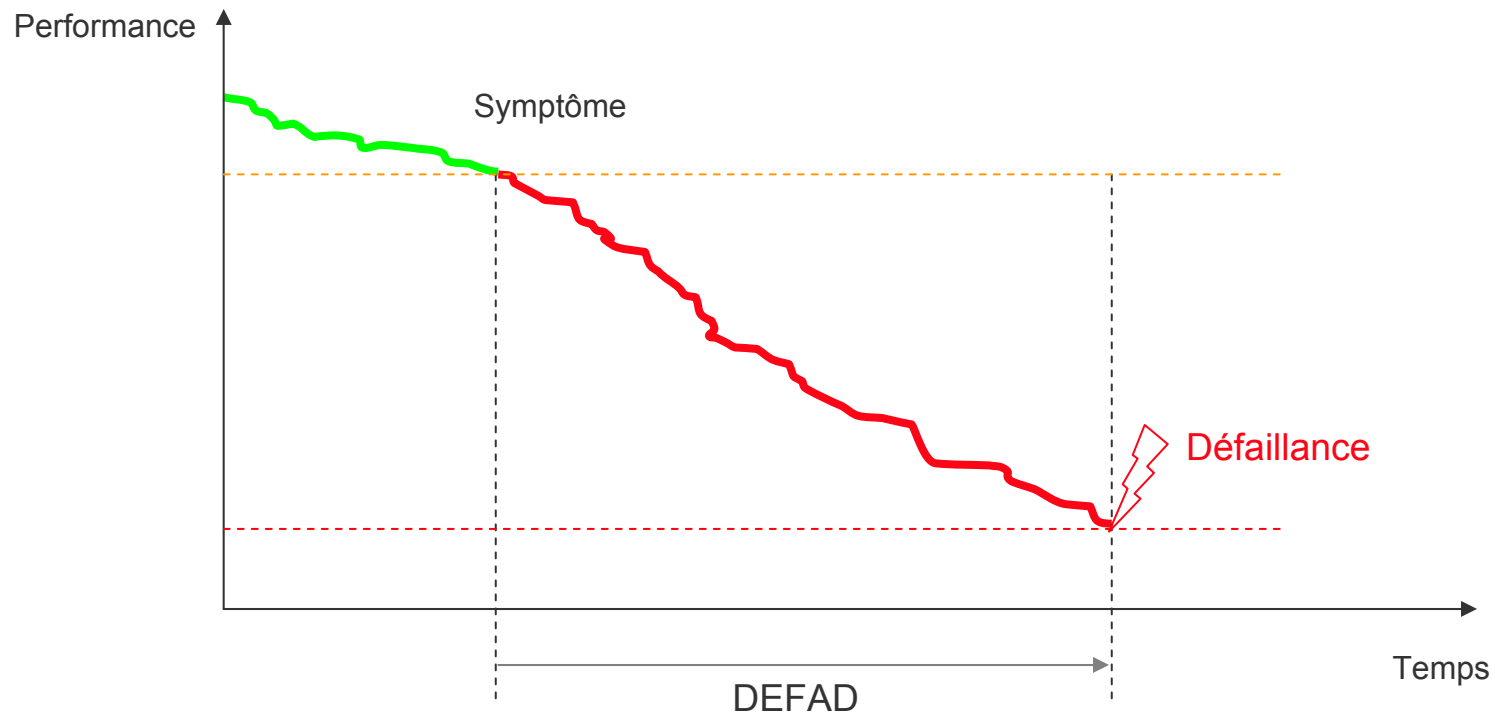
Selon l'ATSB, le feu a été causé par une fatigue prématurée d'une conduite d'huile.

Surveiller, Prédire, Anticiper pour éviter de telles situations

↗ Fiabilité ↗ Disponibilité ↗ Sécurité ↘ Coûts

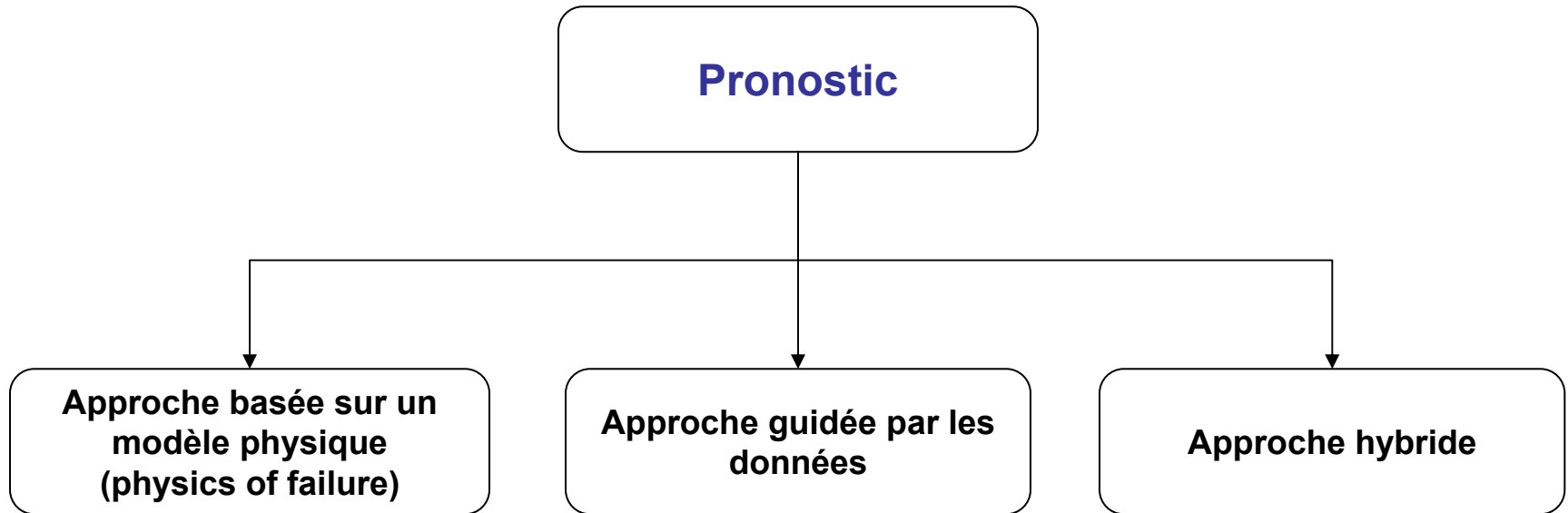
Thème PHM

Définition : le pronostic correspond à l'estimation de la **Durée de Fonctionnement Avant Défaillance (DEFAD*)** et du risque d'existence ou d'apparition ultérieure d'un ou de plusieurs modes de défaillance [**Norme ISO 13381-1:2004**]

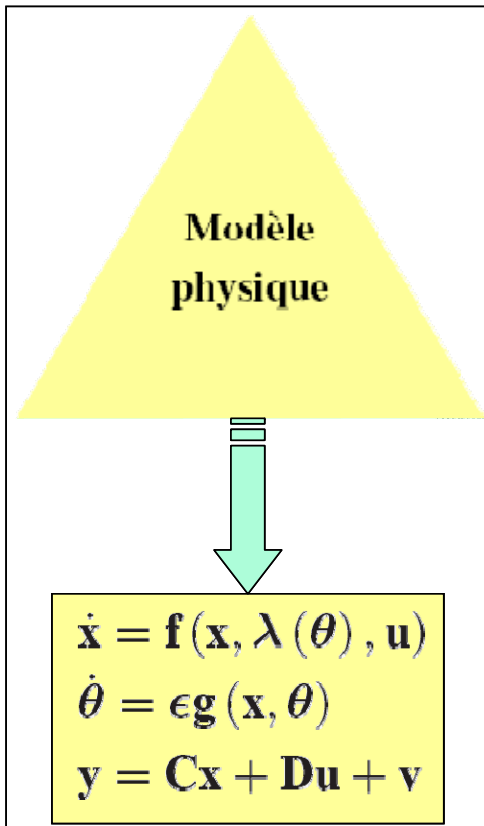


* Communément appelée RUL: Remaining Useful Life

Classification des approches de pronostic

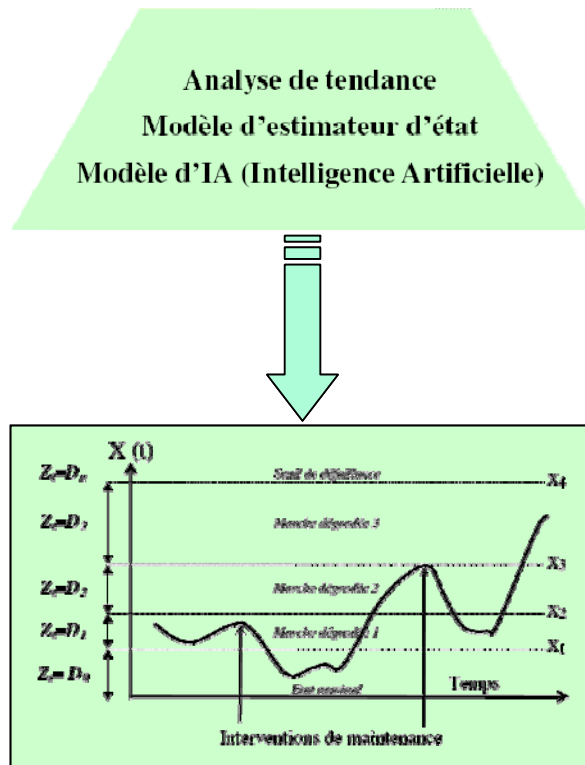


Approche basée sur un modèle physique



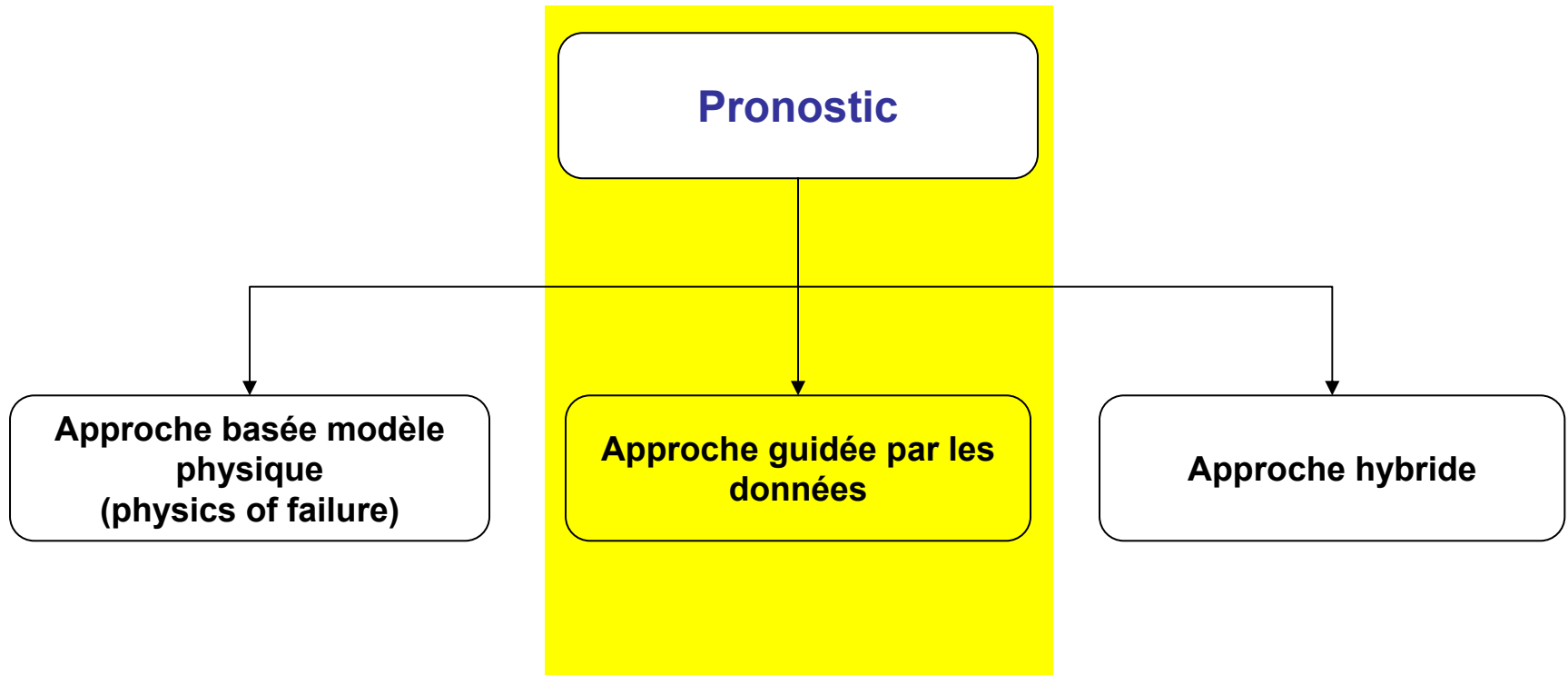
- Modèle analytique du système fonction du mécanisme de dégradation
- Modèle de dégradation : la dégradation est considérée comme une variable continue dont l'évolution est déterminée par une loi déterministe (équation(s) statique(s) ou différentielle(s)) ou stochastique (incertitudes sur les conditions initiales et les paramètres)
- le modèle de dégradation n'est pas toujours facile à obtenir

Approche guidée par les données

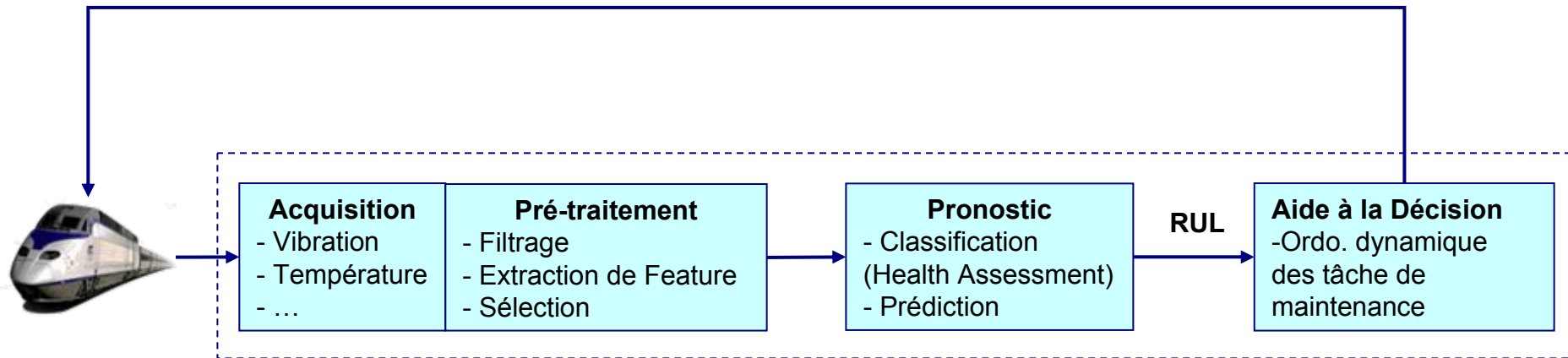


- Utilisation directe des données de surveillance ou indirecte par l'intermédiaire d'indicateurs
- Le modèle physique de la dégradation n'est pas nécessaire
- Peut concerner les données de retour d'expérience (modèles de fiabilité)

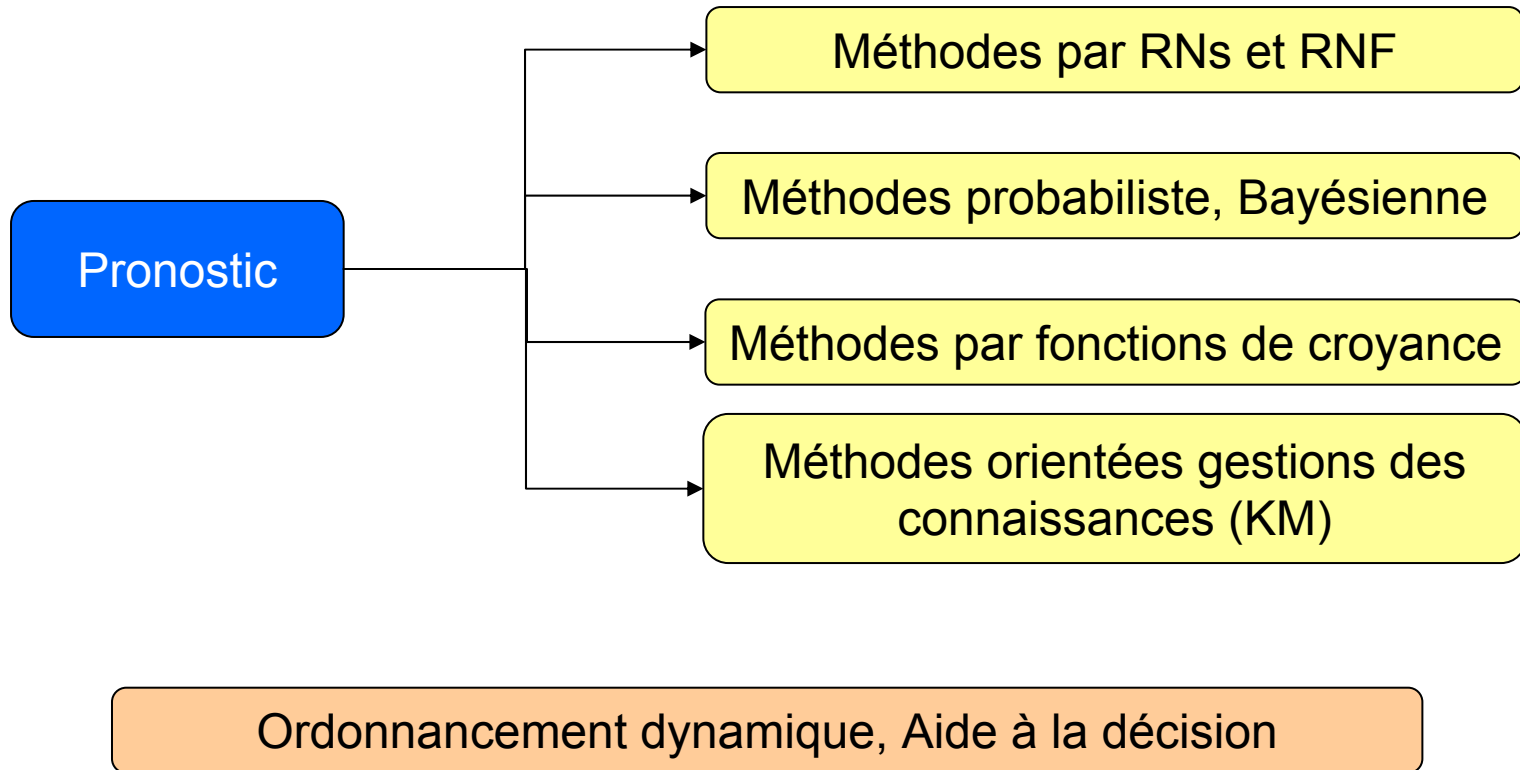
Positionnement



RUL & aide à la décision



Méthodes développées au sein de Femto-st



2. Méthode de pronostic guidé par les données

Méthode de pronostic guidé par les données

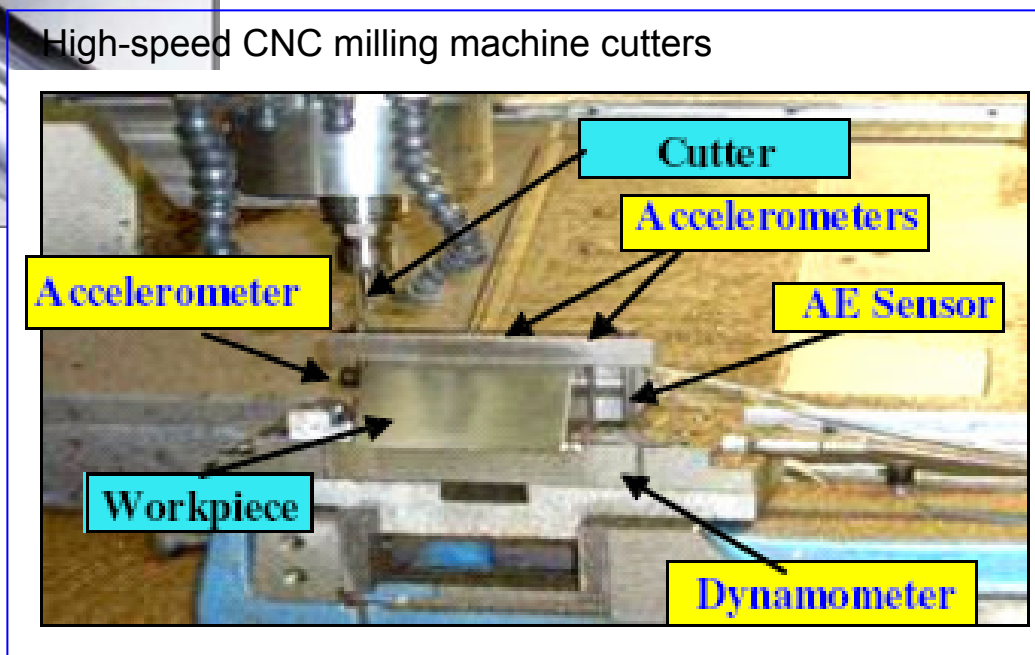
- 1. Introduction**
- 2. Éléments de MoG-HMMs et de RBDs**
- 3. Pronostic de l'usure de l'outil de coupe**
- 4. Application et résultats**
- 5. Conclusion**

Introduction

Objectif : détection et pronostic de l'état d'usure de l'outil de coupe



High-speed CNC milling machine cutters

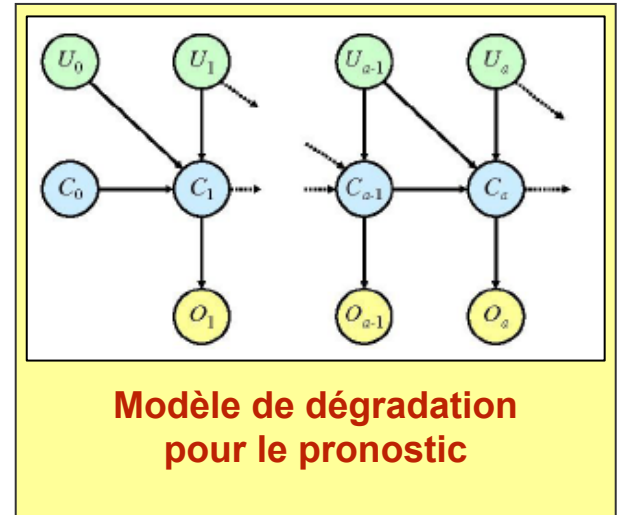


Introduction

Transformer les données de surveillance en modèles pour le pronostic



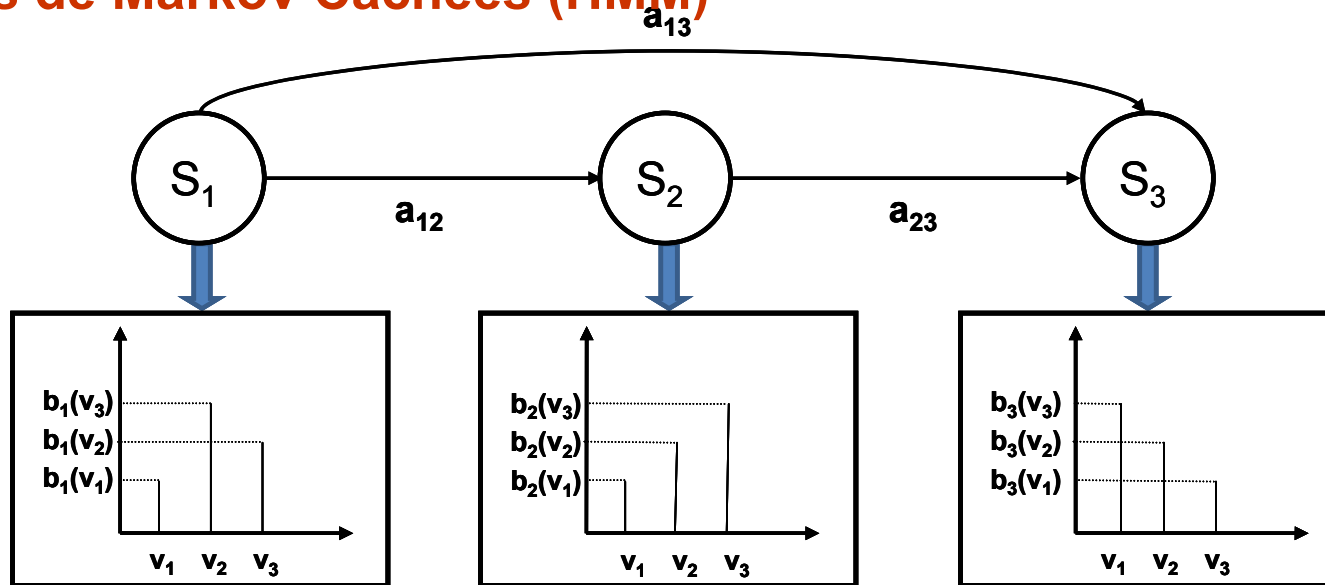
Données de surveillance



Modèle de dégradation : MoG-HMM représenté par un RBD

Éléments de MoG-HMMs et de RBDs

Chaînes de Markov Cachées (HMM)



N = nombre d'états

L = nombre d'observations à chaque état $\{v_1, v_2, \dots, v_L\}$

Matrice de transition $A = \{a_{ij}\}$

Matrice d'observation $B = \{b_i(k)\}$

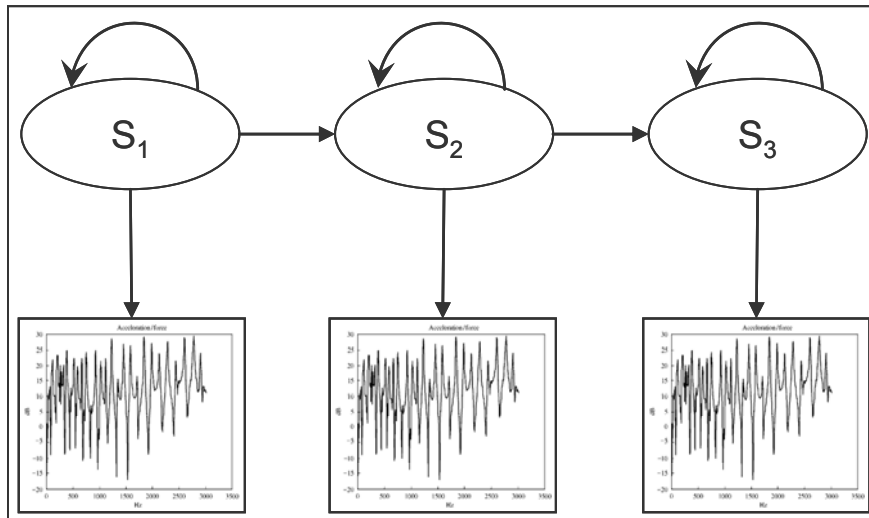
Probabilité initiale $\pi = \{\pi_i\}$

Modèle HMM : $\lambda = (\pi, A, B)$

Durée de séjour $p_i(d) = (a_{ii})^{d-1} (1 - a_{ii})$

Eléments de MoG-HMMs et de RBDs

HMM à mélange de Gaussiennes (MoG-HMM)



N = nombre d'états

Matrice de transition $A = \{a_{ij}\}$

Matrice d'observation $B = \{\mu, \sigma, M\}$

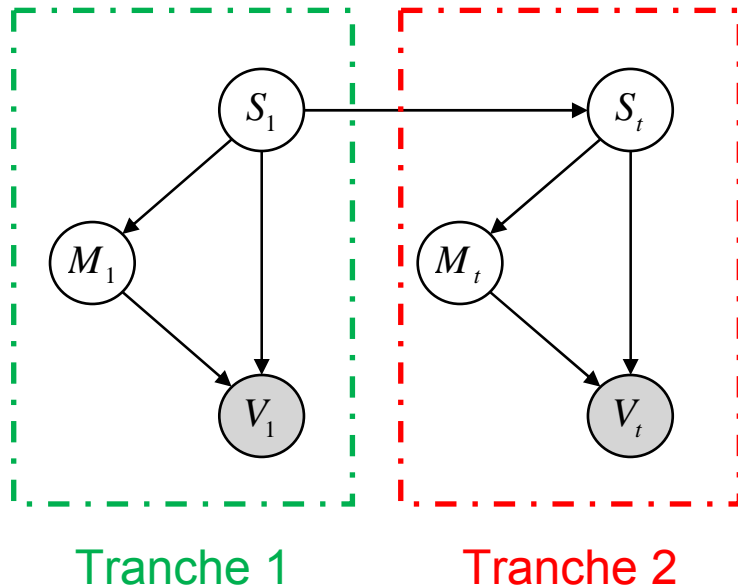
Probabilité initiale $\pi = \{\pi_j\}$

$$b_j(O) = \sum_{m=1}^M C_{jm} \xi(O, \mu_{jm}, U_{jm}) \quad 1 \leq j \leq N$$

Modèle MoG-HMM: $\lambda = (\pi, A, B)$

Éléments de MoG-HMMs et de RBDs

MoG-HMM représenté par un RBD



$$P(S_t | S_{t-1}) = \prod_{i=1}^N P(S_t^i | Pa(S_t^i))$$

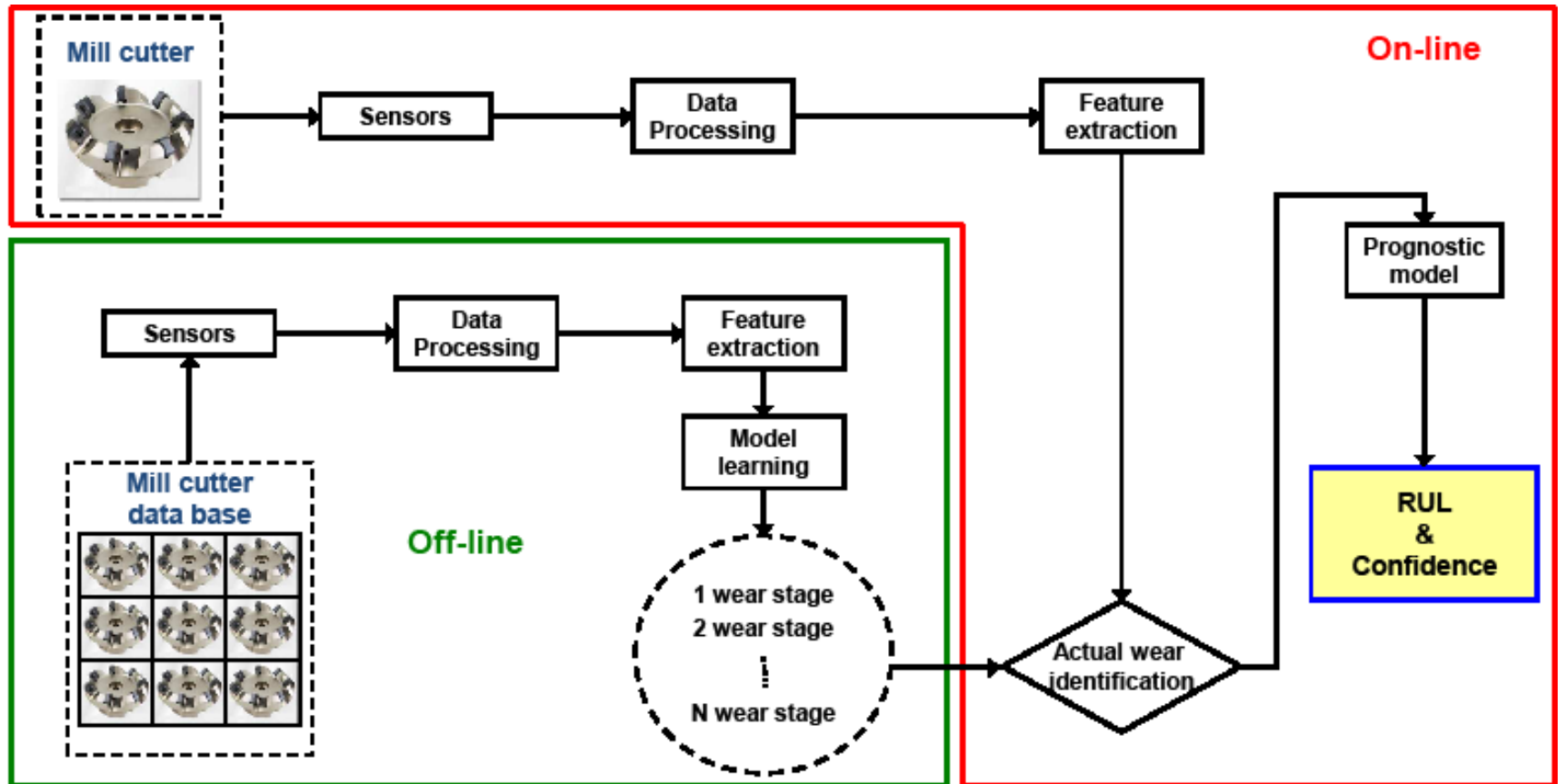
$$S_1 = \pi$$

$$M_1 = M_t = C_{jm}$$

$$V_1 = V_t = \xi(O, \mu_{jm}, U_{jm})$$

Pronostic de l'usure de l'outil de coupe

Principe

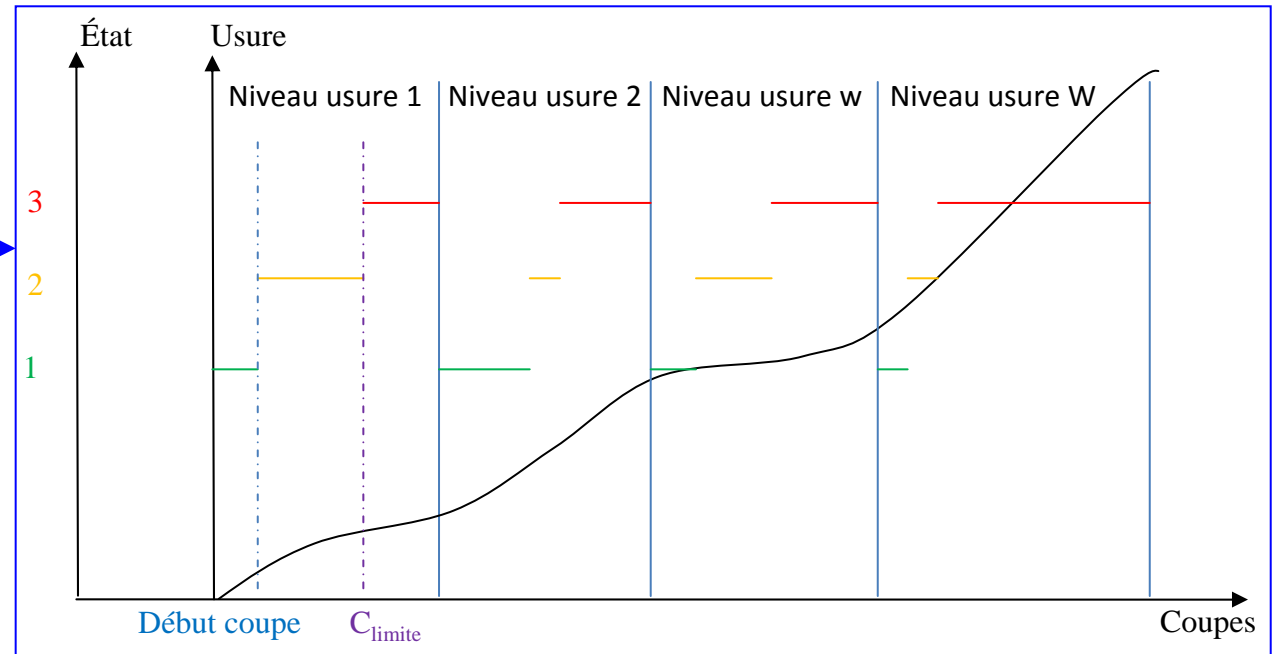


Pronostic de l'usure de l'outil de coupe

Phase hors ligne : construire le modèle d'usure

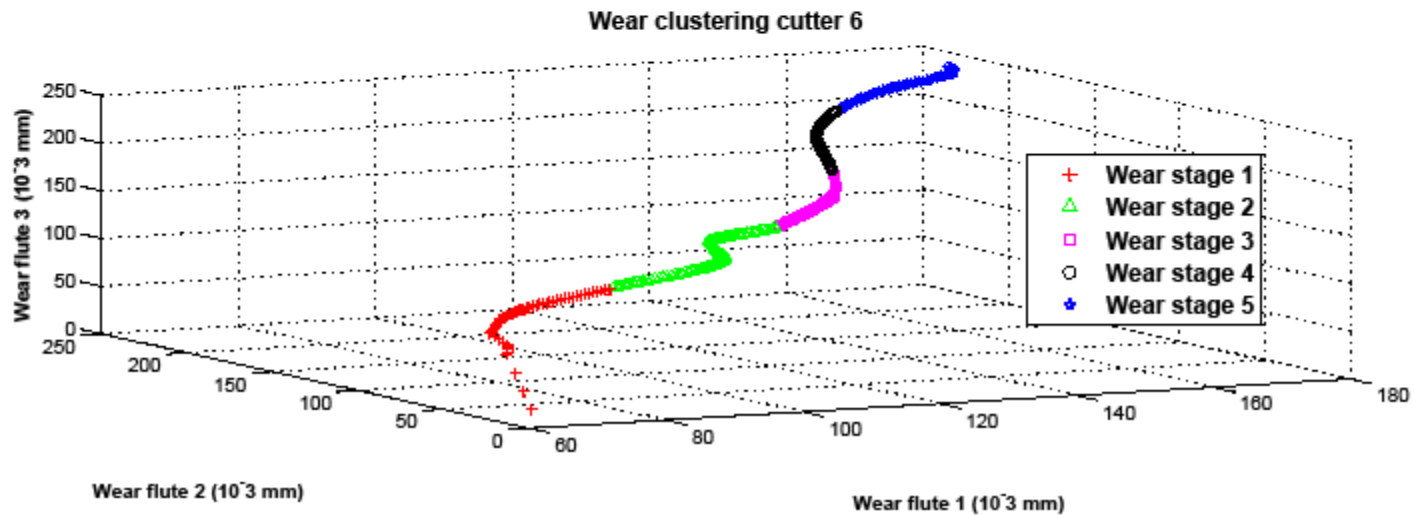
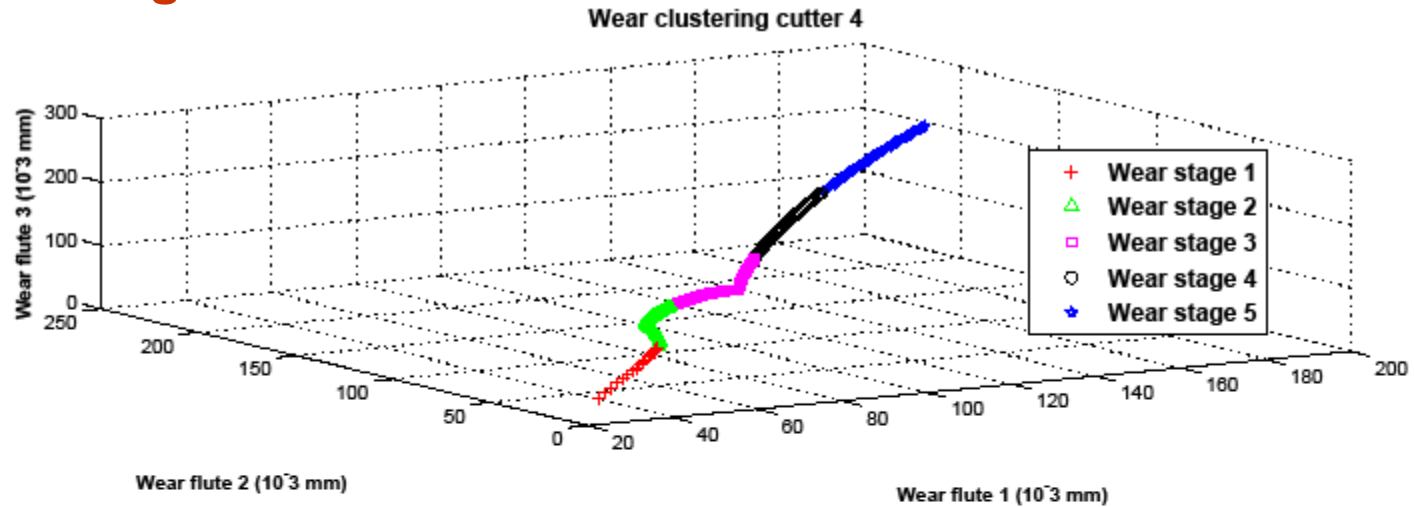


Un MoG-HMM par niveau d'usure



Pronostic de l'usure de l'outil de coupe

Phase hors ligne : construire le modèle d'usure



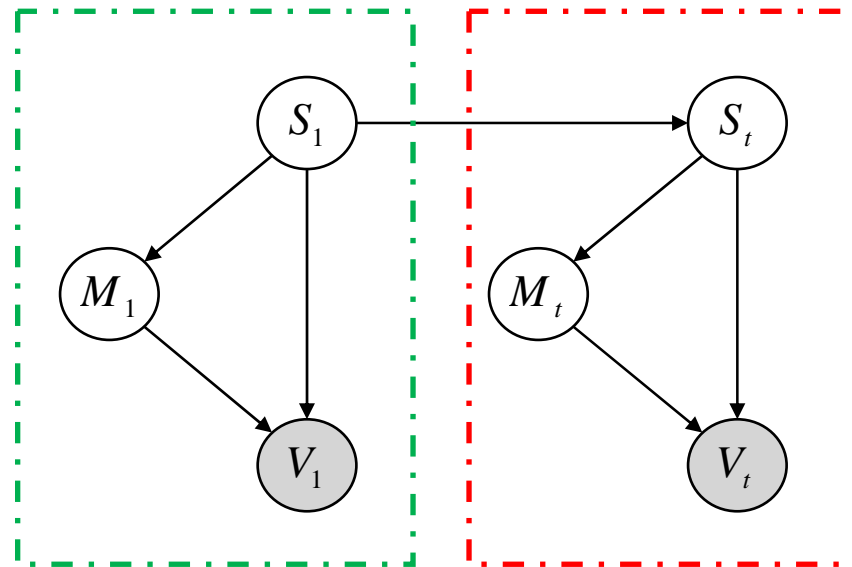
Pronostic de l'usure de l'outil de coupe

Phase hors ligne : construire le modèle d'usure



Le MoG-HMM est représenté par un RBD

$$\lambda = \left(\begin{array}{l} DBN_w(\theta), DBN_w^h(\theta), \mu(Wr_w^h(s_i)), \\ \mu(\Delta Wr_w^h(s_i)), \sigma(Wr_w^h(s_i)), \sigma(\Delta Wr_w^h(s_i)) \end{array} \right)$$



Tranche 1

Tranche 2

Pronostic de l'usure de l'outil de coupe

Phase hors ligne : construire le modèle d'usure



Quantité d'usure dans chaque niveau

$$\mu(Wr_w^h(s_i)) = \phi = \frac{1}{T_c} \sum_{c=st}^{C_1} wr_w^h(c)$$

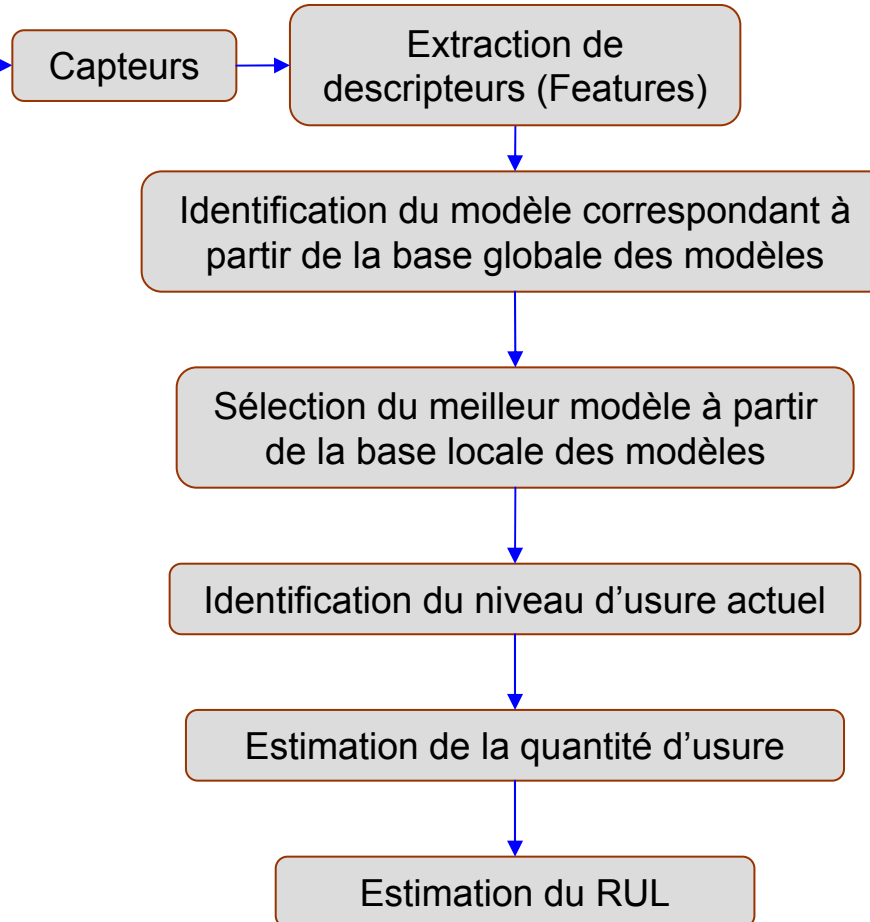
$$\mu(\Delta Wr_w^h(s_i)) = \gamma = \frac{1}{T_c} \sum_{c=st+1}^{C_1} (wr_w^h(c) - wr_w^h(c-1))$$

$$\sigma(Wr_w^h(s_i)) = \frac{1}{T_c} \sum_{c=st}^{C_1} [wr_w^h(c) - \phi]^2$$

$$\sigma(\Delta Wr_w^h(s_i)) = \frac{1}{C_1} \sum_{c=st+1}^{T_c} [(wr_w^h(c) - wr_w^h(c-1)) - \gamma]^2$$

Pronostic de l'usure de l'outil de coupe

Phase en ligne : estimer l'usure actuelle et prédire le RUL



Pronostic de l'usure de l'outil de coupe

Phase en ligne : estimer l'usure actuelle et prédire le RUL

Estimation de la quantité d'usure

$$\widehat{Wr}_u(c) = \begin{cases} \mu(Wr_w^h(s_i)) + n \cdot \sigma(Wr_w^h(s_i)), \\ \text{If } c=1 \vee [G_w^h(s_i)]_c \neq [G_w^h(s_i)]_{c-1} \\ \\ \widehat{Wr}_m(c-1) + [\mu(\Delta Wr_w^h(s_i)) + n \cdot \sigma(\Delta Wr_w^h(s_i))], \\ \text{If } [G_w^h(s_i)]_c = [G_w^h(s_i)]_{c-1} \end{cases}$$

$$\widehat{Wr}_m(c) = \begin{cases} \mu(Wr_w^h(s_i)), \\ \text{If } c=1 \vee [G_w^h(s_i)]_c \neq [G_w^h(s_i)]_{c-1} \\ \\ \widehat{Wr}_m(c-1) + \mu(\Delta Wr_w^h(s_i)) \\ \text{If } [G_w^h(s_i)]_c = [G_w^h(s_i)]_{c-1} \end{cases}$$

$$\widehat{Wr}_l(c) = \begin{cases} \mu(Wr_w^h(s_i)) - n \cdot \sigma(Wr_w^h(s_i)), \\ \text{If } c=1 \vee [G_w^h(s_i)]_c \neq [G_w^h(s_i)]_{c-1} \\ \\ \widehat{Wr}_m(c-1) + [\mu(\Delta Wr_w^h(s_i)) - n \cdot \sigma(\Delta Wr_w^h(s_i))], \\ \text{If } [G_w^h(s_i)]_c = [G_w^h(s_i)]_{c-1} \end{cases}$$

Pronostic de l'usure de l'outil de coupe

Phase en ligne : estimer l'usure actuelle et prédire le RUL

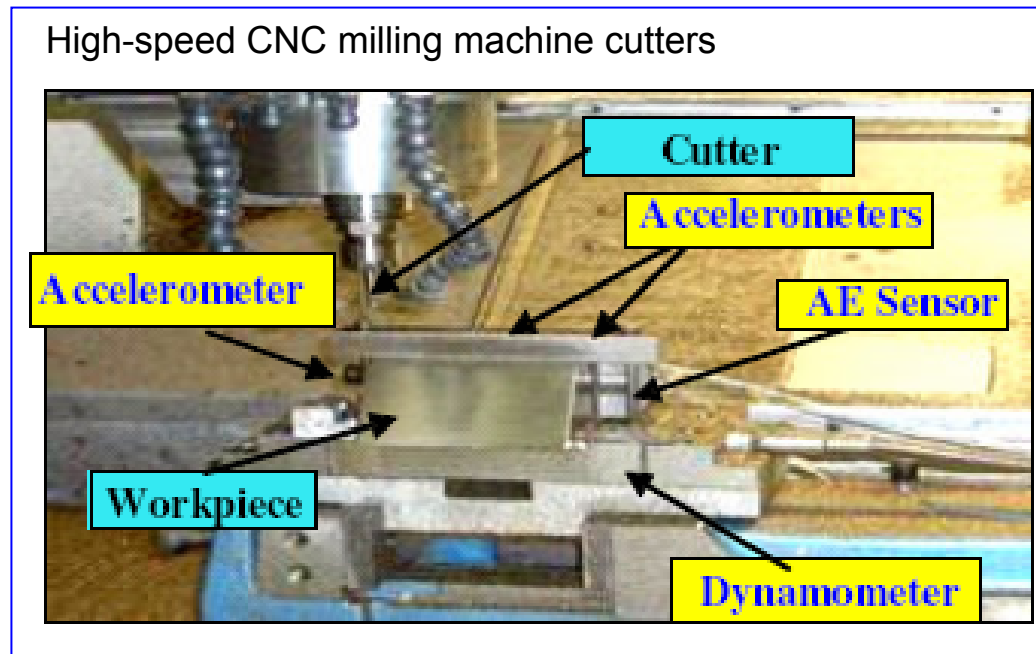
Estimation du RUL

$$\widehat{W}(\widehat{W}_R, \beta) = \sum_{\alpha=0}^w \beta_{\alpha} \widehat{W}_R^{\alpha}$$
$$\text{RUL}(c) = \left(W_{limit} - \frac{\widehat{W}(\widehat{W}_{r_u}(c), \beta) + \widehat{W}(\widehat{W}_{r_m}(c), \beta) + \widehat{W}(\widehat{W}_{r_l}(c), \beta)}{3} \right)$$

Application et résultats



Prognostic data challenge, PHM Society 2010



Measurements:

- Force
- Acceleration
- Acoustic
- Amount of wear

Experimental parameters:

- Spindle speed of the cutter = 10400 rpm
- Feed rate = 1555 mm/min
- Y depth of cut (radial) = 0.125 mm
- Z depth of cut (axial) = 0.2 mm

Application et résultats

Les paramètres du MoG-HMM du 1^{er} niveau d'usure

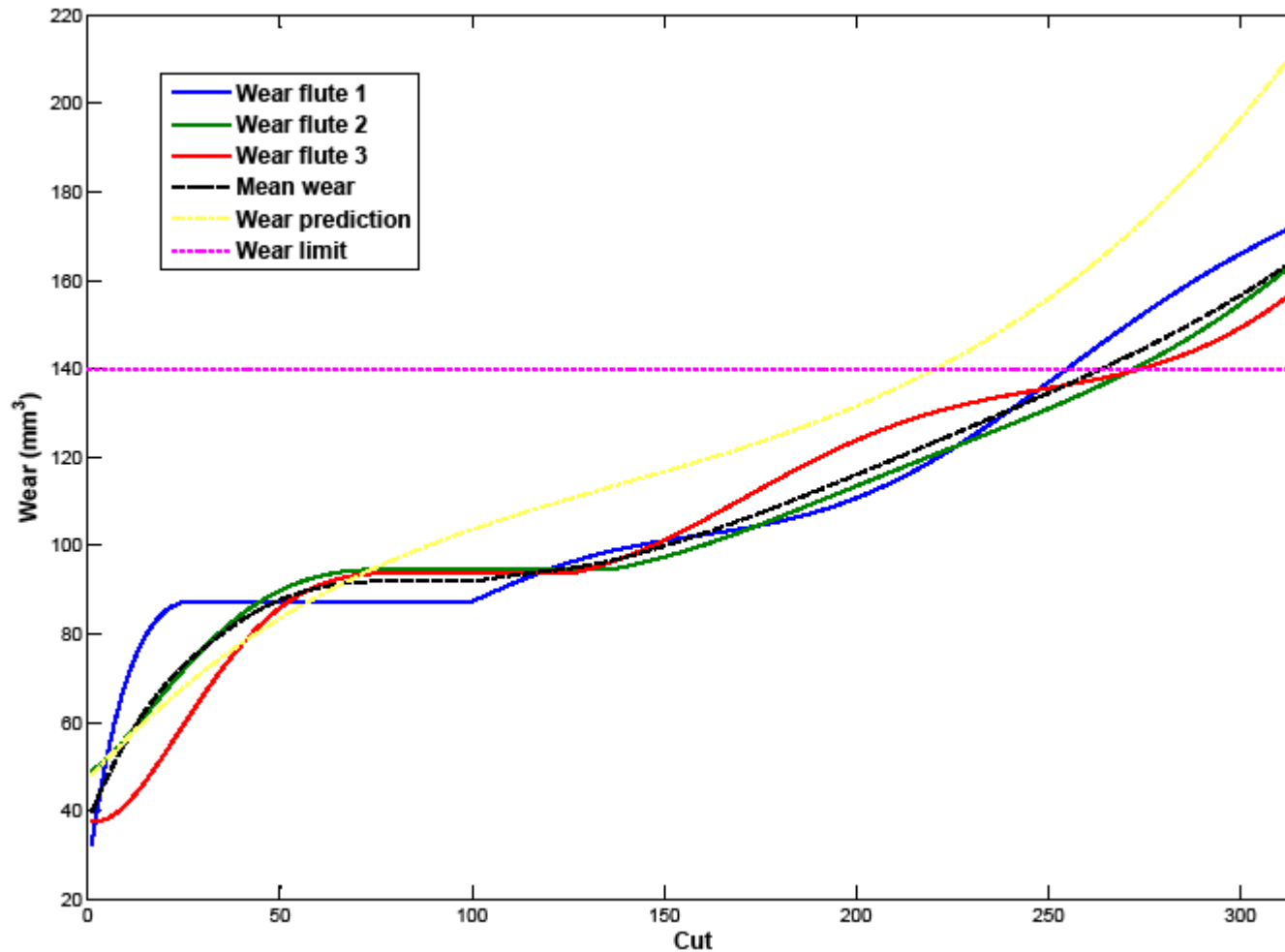
$$\pi = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} 0.85 & 0.15 & 0 \\ 0 & 0.94 & 0.06 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, M = \begin{pmatrix} 0.57 & 0.43 \\ 0.76 & 0.24 \\ 0.69 & 0.31 \end{pmatrix}$$

Les paramètres en (10^{-3} mm) du 1^{er} niveau d'usure de l'outil de coupe n° 6

Parameter	s_1	s_2	s_3
$\mu \left(W_{R_1}^6 \right)$	26.6591	52.8704	48.7299
$\sigma \left(W_{R_1}^6 \right)$	3.4549	18.8284	29.1340
$\mu \left(\Delta W_{R_1}^6 \right)$	4.0446	1.5394	0.9644
$\sigma \left(\Delta W_{R_1}^6 \right)$	0.7901	0.7869	0.4391

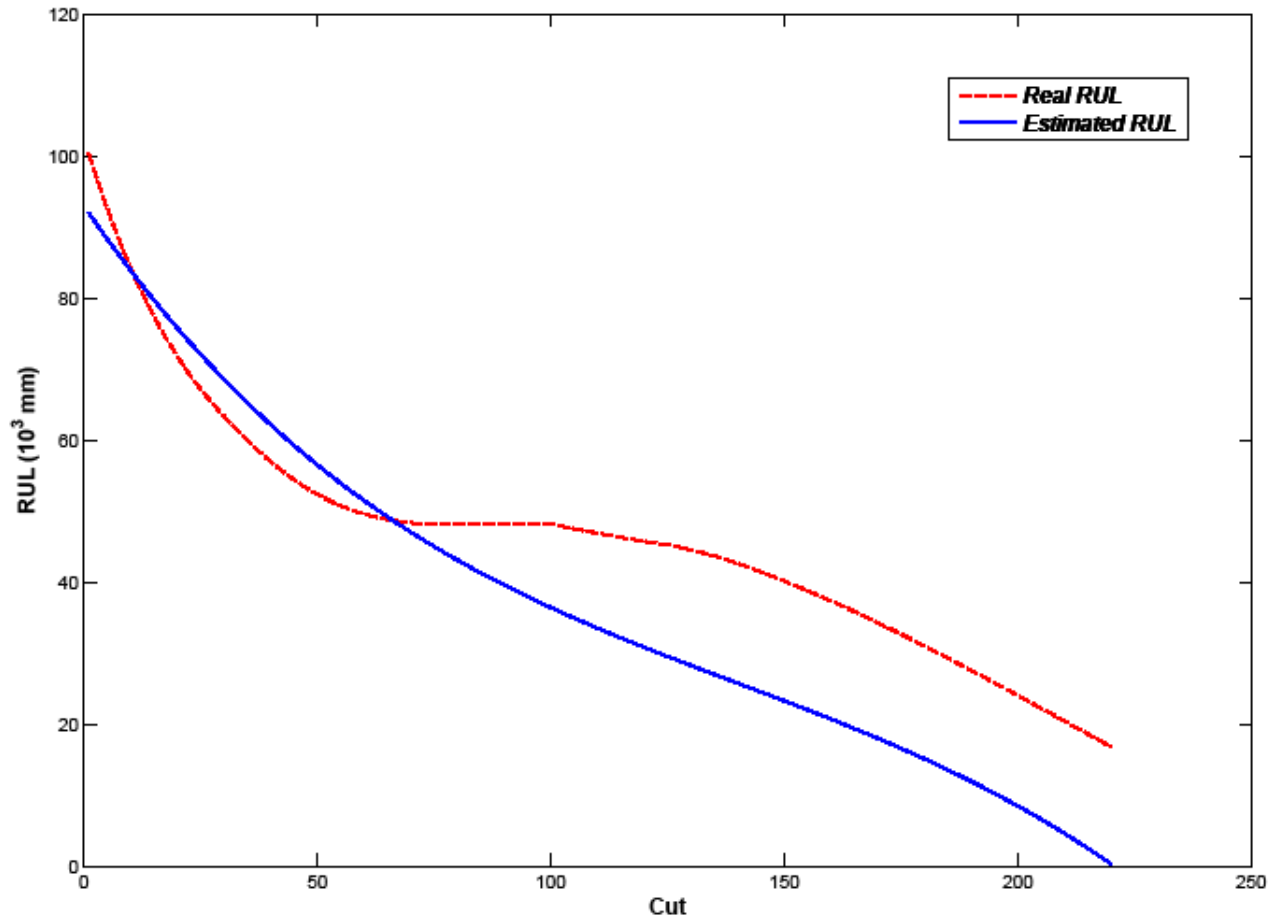
Application et résultats

Mesures d'usure & prédiction pour l'outil de coupe n° 1



Application et résultats

Prédiction du RUL pour l'outil de coupe n° 1



Conclusion

- Pronostic : des données capteurs à l'estimation du RUL.
- Différentes méthodes peuvent être utilisées.
- Méthode proposée : peut être généralisée sur d'autres composants.
- Evaluation de la performance du pronostic : métriques de pronostic (confiance, précision, exactitude, opportunité, ...).

Pronostic de défaillances guidé par les données : application à l'usure des outils de coupe

[K. Medjaher](#), D. A. Tobon-Mejia, N. Zerhouni

Institut FEMTO-ST, Département AS2M

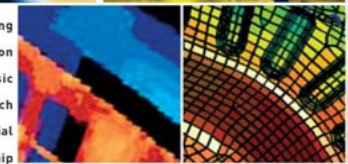
kamal.medjaher@ens2m.fr

RESEARCH INSTITUTE

FEMTO-ST



cultivating
innovation
from basic
research
to industrial
partnership



www.femto-st.fr