Un nouveau modèle de maintenance prévisionnelle pour des systèmes dégradés considérant l'évolution des prix du marché

Hai Canh Vu, Antoine Grall, Mitra Fouladirad

Équipe Modélisation et Sûreté des Systèmes (M2S)
Université de Technologie de Troyes (UTT)

05 Mars 2020

Plan de présentation

Plan de présentation

1. Problématique
2. Nouveau modèle de maintenance prévisionnelle
3. Résultats & Discussions

Problématique

- Maintenance prévisionnelle : basée sur le résultat du pronostic (RUL/Fiabilité conditionnelle).
- Quelques modèles de maintenance prévisionnelle existants : inspection non-périodique (Grall et al., 2002), maintenance imparfaite (Castanier et al., 2003), support logistique (Nguyen et al, 2015), dépendance stochastique (Do et al., 2019), décision dynamique et auto-adaptée (Omshi et al., 2020), . . .
- Évolution des prix du marché : n'a pas été prise en compte.

Problématique

- Maintenance prévisionnelle : basée sur le résultat du pronostic (RUL/Fiabilité conditionnelle).
- Quelques modèles de maintenance prévisionnelle existants : inspection non-périodique (Grall et al., 2002), maintenance imparfaite (Castanier et al., 2003), support logistique (Nguyen et al, 2015), dépendance stochastique (Do et al., 2019), décision dynamique et auto-adaptée (Omshi et al., 2020), . . .
- Évolution des prix du marché : n'a pas été prise en compte.

$\longrightarrow$ Un nouveau modèle de maintenance prévisionnelle considérant l'évolution des prix du marché.

Plan de présentation

1. Problématique
2. Nouveau modèle de maintenance prévisionnelle
3. Résultats & Discussions

Modèle des prix du marché

- Modèle log-diffusion :

$$C_t = \epsilon \cdot e^{r_t}$$

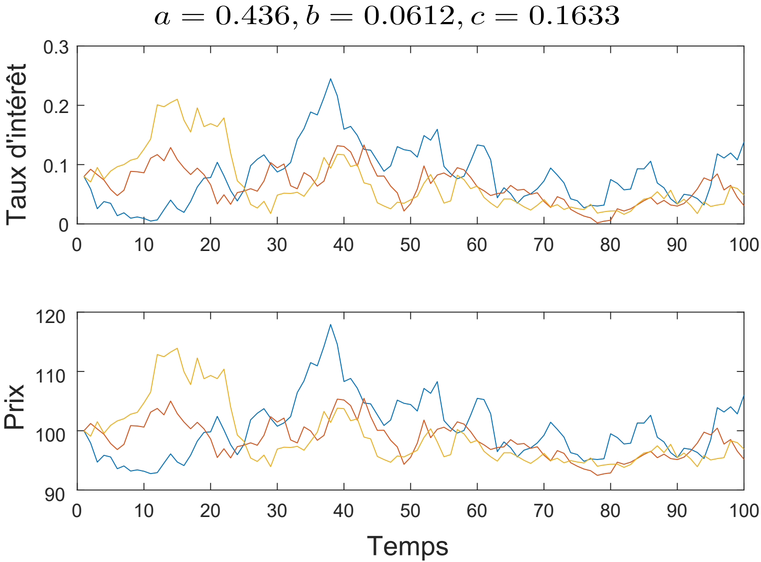
r_t : taux d'intérêt court terme.

- Modèle Cox-Ingersoll-Ross (CIR) :

$$dr_t = a(b - r_t)dt + c\sqrt{r_t}dW_t$$

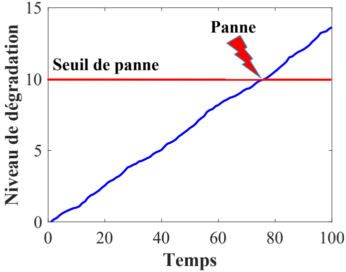
  - b : moyenne à long-terme;
  - a : vitesse à laquelle le processus va converger vers b;
  - c : variance;
  - W_t : mouvement brownien.

Modèle des prix du marché



Modèle de maintenance adapté

- Système mono-composant dégradé : inspection périodique t_k, coût d'inspection c_i;
- Modèle de dégradation : processus Gamma



$$f_{\alpha\cdot(w-t),\beta}(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha\cdot(w-t))}\cdot\beta^{\alpha\cdot(w-t)}\cdot x^{\alpha\cdot(w-t)-1}\cdot e^{-\beta x}\cdot 1_{\{x>0\}}$$

Modèle de maintenance adapté

- Maintenance corrective : après la panne, parfaite, coût C_t^c, coût d'indisponibilité par un unité de temps c_d;
- Maintenance préventive : avant la panne, parfaite, coût C_t^p;

Modèle de maintenance adapté

- Maintenance corrective : après la panne, parfaite, coût C_t^c, coût d'indisponibilité par un unité de temps c_d;
- Maintenance préventive : avant la panne, parfaite, coût C_t^p;

Coûts de maintenance dépendent des prix du marché des pièces de rechange :

$$\begin{cases} C_t^p = \epsilon_p \cdot e^{r_t} \\ C_t^c = \epsilon_c \cdot e^{r_t} \end{cases}$$

Règles de maintenance adaptées

Décisions de la maintenance préventive sont prises en se basant sur : l'état de santé du système et l'état des prix du marché.

- Indicateur de santé prévisionnel du système : fiabilité conditionnelle.

$$R(\Delta T|x) = \mathbb{P}(t_f > t + \Delta T | X_t = x)$$

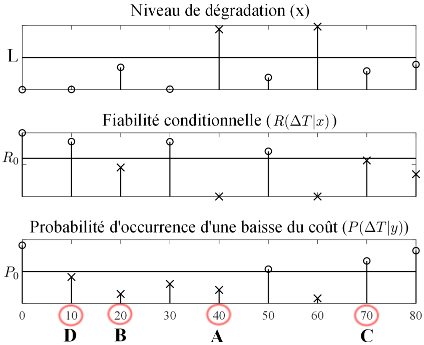
- Indicateur de l'état des prix du marché : probabilité d'occurrence d'une baisse du coût de maintenance préventive.

$$P(\Delta T|y) = \mathbb{P}(C^p_{t+\Delta T} < y | C^p_t = y)$$

Règles de maintenance adaptées

Règles de décision à l'instant t_k.

Scénario	Condition	Décision
A	$x \geq L$ (panne)	CM
B	$x < L$ $R(\Delta T\|x) \leq R_0$ $P(\Delta T\|y) \leq P_0$	PM
C	$x < L$ $R(\Delta T\|x) \leq R_0$ $P(\Delta T\|y) > P_0$	Pas de maintenance
D	$x < L$ $R(\Delta T\|x) > R_0$	Pas de maintenance



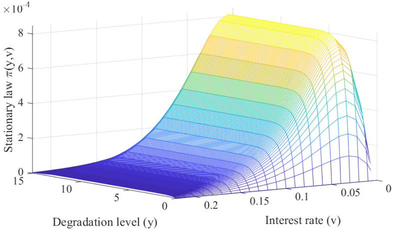
Paramètres de décision $\Delta T, R_0, P_0$.

Évaluation & Optimisation

- Critère de performance : coût moyen asymptotique.

$$C_\infty(\Delta T, R_0, P_0) = \lim_{t\to\infty} \frac{\mathbb{E}_0[C(t)]}{\mathbb{E}_0[\tau(t)]} = \frac{\mathbb{E}_\pi[C(\Delta T)]}{\mathbb{E}_\pi[\tau(\Delta T)]}$$

  - $\tau(\cdot)$: temps opérationnel; π : loi stationnaire;
    $\mathbb{E}_\pi[\cdot]$: espérance mathématique par rapport à π.



- Optimisation :

$$(\Delta T^*, R_0^*, P_0^*) = \underset{(\Delta T, R_0, P_0)}{\operatorname{argmin}} \; C_\infty(\Delta T, R_0, P_0)$$

Plan de présentation

1. Problématique
2. Nouveau modèle de maintenance prévisionnelle
3. Résultats & Discussions

Données

- Données :

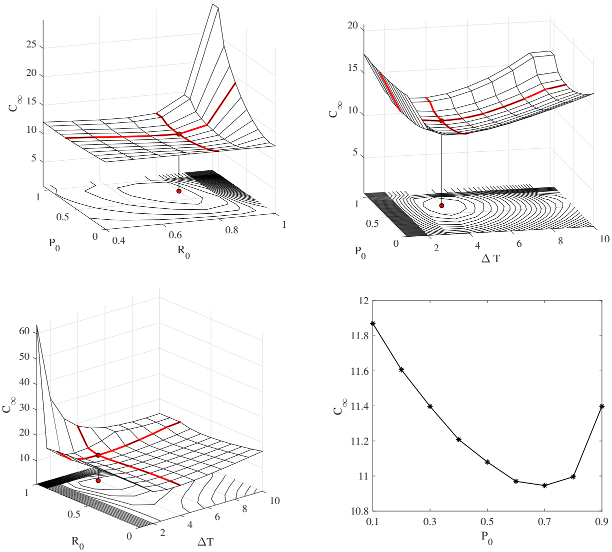
Paramètres du Gamma	$\alpha = 0.1,\ \beta = 0.1,\ L = 15;$
Paramètres du modèle CIR	$a = 8,\ b = 0.40,\ c = \sqrt{2ab},\ r_0 = 0.5;$
Coûts de maintenance	$\epsilon_p = 60.65;\ \epsilon_c = 75.82;\ c_i = 10; c_d = 35.$

- Deux politiques de maintenance :
  - Politique $(\Delta T, R_0, P_0)$;
  - Politique $(\Delta T, R_0)$.
- Résultats obtenus :

Politiques	Paramètres	C_∞
$(\Delta T, R_0)$	$\Delta T^* = 4, R_0^* = 0.7$	11.36
$(\Delta T, R_0, P_0)$	$\Delta T^* = 4, R_0^* = 0.8, P_0^* = 0.7$	10.83

- Réduction de 5 %.

ANALYSE DE L'OPTIMALITÉ



Analyses de sensibilité