

# Modèles de Cox et réseaux de neurones pour l'évaluation de la fiabilité mécanique

Patrick Lyonnet, Pierre Maisonneuve, Brice Lanternier, Rosario Toscano

▶ **To cite this version:**

Patrick Lyonnet, Pierre Maisonneuve, Brice Lanternier, Rosario Toscano. Modèles de Cox et réseaux de neurones pour l'évaluation de la fiabilité mécanique. 8e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2007, Giens, France. hal-01500108

**HAL Id: hal-01500108**
**https://hal.science/hal-01500108**

Submitted on 2 Apr 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

# Modèles de Cox et réseaux de neurones pour l'évaluation de la fiabilité mécanique

**P. Lyonnet[*] − P.L. Maisonneuve[*] − B. Lanternier[*,**] − R. Toscano[*]**

** ENISE/LTDS UMR 5513*
*58 rue Jean Parot 42023 Saint-Etienne cedex, France*

*{Lyonnet,Plmaison,Toscano}@enise.fr*

*** INERIS, Saint-Etienne, France*

**RÉSUMÉ**. *Dans le cadre du traitement des données en exploitation, l'ingénieur responsable de la fiabilité du projet est amené à proposer un modèle, qui permettra de faire les différentes inférences classiques de fiabilité. Très souvent la loi exponentielle à été utilisée par facilité, cette loi ne rend pas bien compte des durées de vie de composants mécaniques et ne tient pas compte des différentes conditions environnementales. Notre proposition porte d'une part sur l'adjonction d'une fonction paramétrique (modèle de Cox) aux modèles classiques et d'autre part à l'utilisation d'un réseaux de neurones pour améliorer les performances d'adéquation. Ces deux méthodes sont développées et comparées.*

**ABSTRACT**. *In the data reliability treatment , engineer have to choose an adequate model to do many inferences. Often exponential law is use, but this law is not good for mechanical components and there not use externs conditions, these are an major defect. We purpose to use two way, first way parametric model, and specially Cox's model and second way neural net work method . Both method are use through an application and compare.*

**MOTS-CLÉS** : *Fiabilité mécanique, modèle de Cox, réseaux de neurones, modèles paramétriques.*

**KEYWORDS**: *Reliability mechanical, Cox's model, neural net work, parametric models.*

## 1. Introduction

Notre proposition de modélisation de la fiabilité à partir du traitement des données en exploitation de composants complexes fonctionnant dans des environnement variés s'appuie sur deux approches fondamentalement différentes, une pouvant être dite « boite blanche » totalement paramétrique, une autre plutôt « boite noire » sans connaissances des modèles.

Ces deux méthodes seront alternativement exposée et comparée dans le cadre d'une application simulée.

## 2. Modélisation paramétrique des données d'exploitation

La représentation de la fiabilité, s'établit généralement à partir de la connaissance du taux de défaillances, ce taux fait lui même référence aux diverses parties de la courbe en baignoire. Le modèle le plus simple n'aura qu'un paramètre (loi exponentielle par exemple). On doit s'attendre à une qualité d'adéquation augmentant avec le nombre de paramètres. Pour les composants mécaniques, le modèle de Weibull à 3 paramètres est plus performant qu'une simple loi exponentielle, (Lyonnet 2006). Cependant, ce modèle seul ne prend pas en compte les différentes conditions environnementales qui caractérisent le fonctionnement des composants mécaniques actuels. Nous proposons ici d'utiliser une fonction complémentaire afin de tenir compte de ces caractéristiques environnementales complémentaires. L'adition de paramètres doit améliorer le modèle, c'est ce que nous voulons vérifier.

### *2.1. Adjonction d'un modèle de Cox*

Lorsque le composant ou matériel est utilisé dans des conditions différentes de celles dites normales, le taux de défaillances est modifié, de même des conditions de procédé de fabrication et de conception différente conduiront à des variations de ce taux . L'ensemble de ces modifications peut être pris en compte dans un modèle de Cox (Cox 1984), (Andersen 82), cette particularité nous semble très intéressante pour améliorer l'estimation de la fiabilité des composants, ceci nous conduit à retenir le modèle de taux de défaillances suivant :

$$\lambda(t,z)=\lambda_0(t)e^{B.Z} \quad \text{avec B, Z : sont deux vecteurs de Rk,} \qquad [1]$$

où $\lambda_0(t)$ représente le taux de défaillances de base, $\lambda(t,z)$ le taux de défaillances avec des conditions de fonctionnement caractérisées par le vecteur Z. B,Z représente leur produit scalaire, le vecteur Z correspond aux conditions environnementales du composant qui sont connues, B est déterministe, généralement inconnu, il correspond à la caractérisation de l'influence du procédé de fabrication, des caractéristiques de conception, des conditions d'utilisation, les composantes de ce vecteur restent à estimer.

Le vecteur Z(Z1,Z2,Z3, Zi …),correspond aux différentes caractéristiques de fonctionnement, de fabrication et de conception du composant. A chaque valeur Zi, on attache une caractéristique. Ces caractéristiques sont codées, ce qui permet d'introduire des données

qualitatives. En générale, on associe à la valeur 0 les conditions de base (ou normale) de fonctionnement, pour ces conditions on retrouvera le taux de défaillance de base.

$$\lambda(t,z_0)=\lambda_0(t)e^{B.Z_0}=\lambda_0(t) \quad \text{avec} \qquad Z_0=(0,0,0) \qquad [2]$$

Pour les autres conditions de fonctionnement, le codage est adapté, on utilisera 1 , dans le cas de deux conditions, ainsi Z1 prendra la valeur 0 ou 1. Pour plus de deux conditions, le codage sera différents : Z1 = (0,1,2,3..). Le problème du codage est un point délicat , l'utilisation de classes emboîtées peut répondre à certains cas, ce point à déjà fait l'objet d'une littérature abondantes et ne sera pas développé ici.

### *2.2. Modèle complet*

Le modèle représentant le taux de défaillances d'un composant avec ses conditions environnementales comporte donc un taux de base λ0(t) et une fonction environnementale, qui sont à déterminer. Le choix du modèle du taux de base peut se faire dans l'ensemble des modèles génériques utilisés en fiabilité. On choiera plutôt un modèle exponentiel pour des composants électroniques et un modèle de type Weibull pour la mécanique, sans exclure les autres possibilités (Log-normale, Gamma, Log logistique, etc.). Ce choix fait, il est nécessaire d'en estimer les paramètres (Lyonnet 2006).

## 3. Modélisation par réseaux de neurones

Nous présentons dans cette partie un modèle général permettant l'estimation de la durée de vie d'un composant mécanique puis sa fiabilité, pour des conditions de conception, de fabrication et d'environnement données. En fait le modèle utilisé est matérialisé par un réseau de neurones qui défini implicitement une fonction non linéaire multivariable paramétrable notée

$$y(t) = h\left(u(t), W\right) \qquad [3]$$

où y est la variable de sortie (i.e. la l'estimation de la durée de vie), u le vecteur d'entrée et W la matrice des paramètres. Nous verrons que par le choix d'une architecture de réseau adapté, et à condition de disposer d'une base de données suffisamment représentative des diverses conditions de fonctionnement du composant, il sera possible

de paramétrer la fonction (1), de façon a obtenir une bonne estimation (au sens d'un critère qui sera précisé) de la durée de vie du composant considéré.

## 4. Validation de la modélisation à l'aide d'une simulation

Nous choisissons un modèle de base représentant les composant mécaniques, avec un mode de défaillance de type fatigue/corrosion, c'est à dire avec un paramètre $\beta$ égale à 2,15, le paramètre $\eta$ sera de 12000 heures. Les paramètres d'environnement représentent la qualité de conception, la qualité de fabrication et le stress du à l'utilisation, ils sont représentés par un modèle de Cox avec comme paramètres respectifs : b1=1,5, b2=0,5, b3=1,7. Les valeurs des Z, sont : Z11=0 ; Z12=1 ; Z13=2 ; Z21=0 ; Z22=1 ; Z31=0 ; Z32=1. Le modèle complet est représenté par :

$$\lambda_{(t,Z)} = \frac{2,15}{12000} \times \left( \frac{Ti}{1200} \right)^{1,15} \times \quad e^{(2,15;0,5;1,7)\begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix}} \qquad [4]$$

L'algorithme de simulation s'appuie sur les étapes décrites ci-après.

1er étape : Création d'une base de données représentant les durées de vie des composants dans les environnement décrits.

$$T_{(i,0)} = 12000\left(-\ln NAH_i\right)^{1/2,15} \text{ puis } T_{(i,z)} = \frac{T_{(i,0)}}{\left( e^{(2,15;0,5;1,7)\begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix}} \right)^{1/2,15}} \qquad [5]$$

2èm étape : Description de la base. A partir de la simulation de 400 données nous obtenons une base de temps à la défaillance représentant la durée de fonctionnement des composants, ce qui permettra de tester la validité des méthodes de modélisation de fiabilité. Cette base est décrite par le graphique de la figure 1.

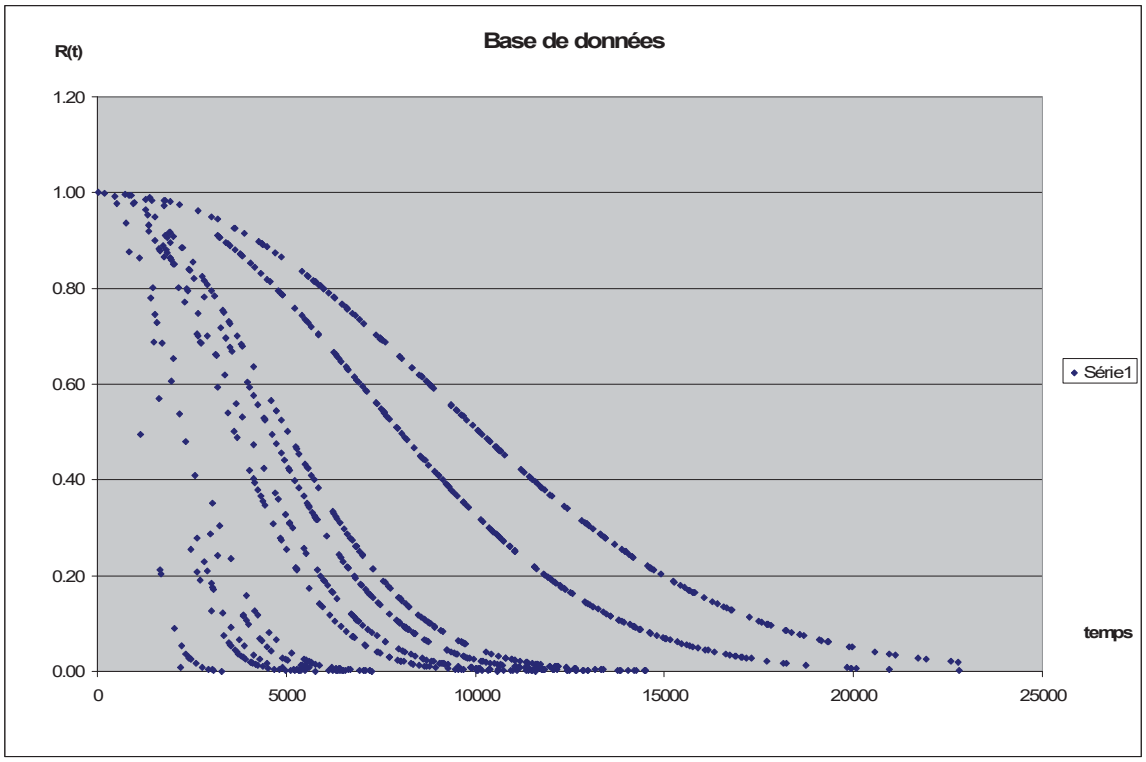



**Figure 1.** *Données simulées de base*

Nous prenons comme cas de référence à retrouver, le modèle avec Z1=Z2=Z3=1, ce qui conduit au modèle théorique :

$$R(t,z) = e^{-\left(\frac{t}{12000}\right)^{2,15}(1,5+0,5+1,7)} \qquad [6]$$

où R(t,z) représente la loi de fiabilité avec des conditions de fonctionnement caractérisées par le vecteur Z. La courbe de référence est en noire sur le graphique. Une modélisation simplifiée à l'aide d'un modèle de Weibull, conduit aux 3 paramètres suivants : β=1,22, η=4371, γ =0, on ne tient pas compte des paramètres d'environnement. La modélisation à l'aide du modèle complet de Cox conduit aux paramètres suivant : b1=1,57, b2=0,28, b3=1,91, puis β=2,28, η=12817, γ=0, le modèle complet est représenté par :

$$R(t,z) = e^{-\left(\frac{t}{12817}\right)^{2,29}(1,57Z_1+0,28Z_2+1,91Z_3)} \qquad [7]$$

Le modèle par réseaux de neurones prend en compte comme paramètres d'entrés, le temps et les conditions d'environnement, codées respectivement Z11=0 ; Z12=1 ; Z13=2 ; Z21=0 ; Z22=1 ;

Z31=0 ; Z32=1. Il a quatre entrées, une couche avec 10 neurones associés à un modèle arc tangente , et une sortie linéaire représentant la fiabilité.

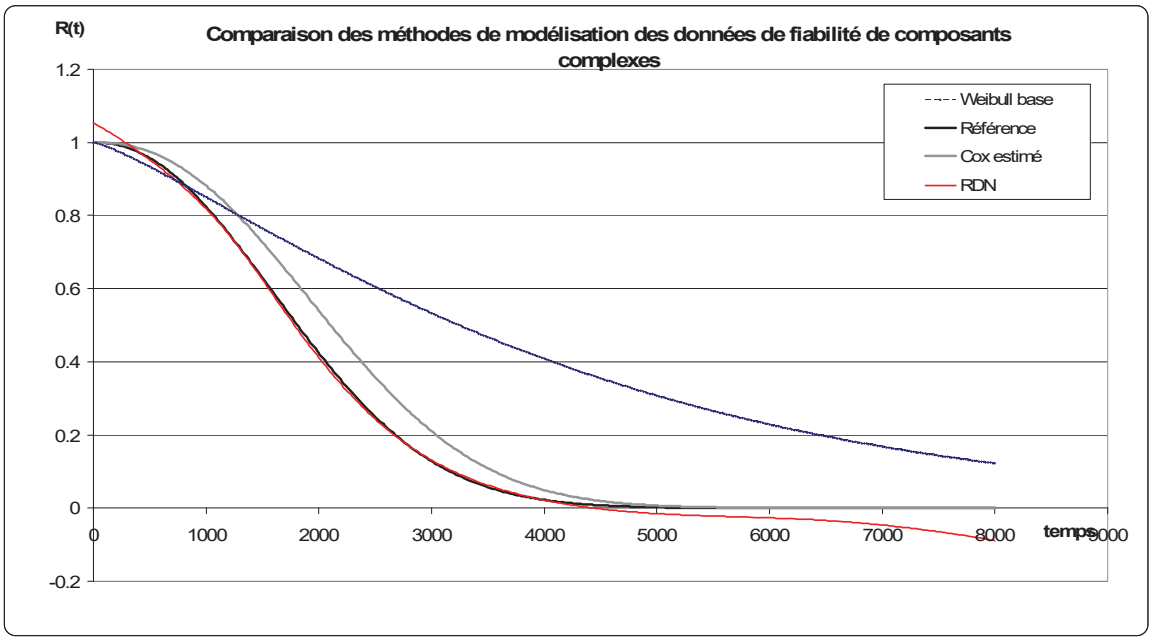



**Figure 2.** *Comparaison des résultats*

## 5. Conclusion

Nous constatons sur le graphique une parfaite adéquation du modèle « RDN au cas de référence, sauf pour les petites valeurs du temps et les grandes valeurs. On peut suggérer pour palier cet inconvénient d'utiliser un réseau supplémentaire pour les petites valeurs du temps, qui sont souvent celles que l'on recherche (démonstration d'objectif de fiabilité). Le modèle de Cox améliore significativement l'adéquation et offre l'avantage d'être parfaitement paramétré. Le modèle de Weibull simple représente mal les données. Notre suggestion est de persévérer dans ces deux voies et de choisir la méthode en fonction des objectifs.

## 6. Bibliographie

P.K. Andersen, R.D. Gill. « Cox's regression model for counting processes: A large sample study », Ann. Statist. 10, 1100-1120, 1982.

D.R. Cox , D. Oakes. *Analysis of Survival Data. Chapman and Hall, Monograhs on Statistics and Applied Probability*, 1984.

P. Lyonnet . *Ingénierie de la Fiabilité. Edition Tec et Doc,* Lavoisier, Paris 2006.