

Cabmodel V1

Note technique synthétique

Fonctionnalité : Fiabilité, Dégradation, Réseaux de neurones

Éditeur : SARL Cab Innovation (Toulouse)

Domaine : Fiabilité paramétrique, Essais accélérés (ALT), Suivi de dégradation en service (REX), Réseaux de neurones

Normes & Références : JEDEC, MIL-HDBK, IEEE, CEI 62506, Formulations de Coffin-Manson, Norris-Landzberg, Basquin, Peck, Eyring

1. Vraisemblance et Traitement de la Censure

Cabmodel optimise les paramètres θ au sens du Maximum de Vraisemblance (MLE) sur des données de survie unifiées en temps équivalent t_{eq} :

$$\ln L_{\text{Fiab}}(\theta) = \sum_{i \in E_{\text{exact}}} \ln f(t_{\text{eq},i}) + \sum_{j \in E_{\text{droite}}} \ln R(t_{\text{eq},j}) + \sum_{k \in E_{\text{gauche}}} \ln[1 - R(t_{\text{eq},k})] \\ + \sum_{m \in E_{\text{intervalle}}} \ln[R(t_{\text{eq},1,m}) - R(t_{\text{eq},2,m})]$$

- **Lois de survie supportées** : Weibull 2P et 3P (avec seuil garanti γ), Exponentielle, Lognormale, Normale, Birnbaum-Saunders (fatigue mécanique cyclique).
- **Validation empirique** : Superposition dynamique de l'estimateur non paramétrique de Kaplan-Meier pour confrontation directe modèle / données.

2. Dégradation Stochastique Continue

Pour le suivi chronologique d'indicateurs physiques $Z(t)$ (cotes d'usure, résistances de contact, fissuration), le solveur modélise la densité des incréments ΔZ_k :

- **Processus Gamma** : adapté aux phénomènes strictement monotones ($\Delta Z > 0$, usure abrasive, érosion).
- **Processus de Wiener** : dérive brownienne avec terme de diffusion gaussienne ($\mu\Delta t + \sigma\sqrt{\Delta t}\epsilon$), adapté aux dégradations bruitées par la chaîne de mesure.
- **Processus Inverse Gaussien** : dégradation monotone permettant des calculs analytiques exacts de survie et d'espérance résiduelle (MRE) sans recours à Monte-Carlo.

- **Processus Variance Gamma** : dynamique à sauts pour dégradations par chocs thermomécaniques ou surtensions intermittentes.

3. Dynamique Temporelle & Réseaux de Neurones

- **Échelles temporelles** $\Lambda(t_{\text{éq}})$: Stationnaire (taux $\cdot t$), Loi de puissance ($p \cdot t^q$ discriminante pour le rodage $q < 1$ ou la fatigue accélérée $q > 1$).
- **Cinétique neuronale couplée** ($1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$) : Utilisation d'un réseau à 14 poids/biais avec activation *tanh* et transformation *Softplus* pour inférer les paramètres stochastiques locaux sans préjuger de la loi cinétique.
- **Métamodèle supervisé complet** : Module de 0 à 2 couches cachées (activation Sigmoidale, Tanh, ReLU, Linéaire) pour l'émulation rapide de surfaces de réponse multi-physiques ou de calculs éléments finis lourds.

4. Moteur d'Accélération Multi-physique & Analyse Décisionnelle

- **Facteurs unitaires combinables** : Arrhenius (thermique), Norris-Landzberg avec ou sans rampe dT/dt (cyclage thermomécanique), Peck (humidité / température), Basquin (vibrations / contraintes dynamiques), Eyring (couplage multi-physique contrainte-température).
- **Analyse au Seuil critique** (D_{th}) : Évaluation du premier instant de franchissement (FPT), calcul de l'Espérance de Vie Résiduelle ($MRE = \int_0^\infty R(u) du$) et régression par moindres carrés (LSM) pour identifier la loi de Weibull équivalente ($\beta_{\text{éq}}, \eta_{\text{éq}}$) associée au coefficient de corrélation R^2 .
- **Sélection et incertitudes** : Arbitrage automatique par critères AIC / BIC et inversion de la matrice de Fisher injectée dans Excel pour la génération des intervalles de confiance.