

Essai accéléré d'endurance à la flexion pour faisceaux électriques automobile

- **Dr Gwenaël EDELINE**, SOM Ligeron, Consultant senior
- **Médoune NDIAYE**, PSA Group, Expert Fiabilité



ESSAIS D'ENDURANCE A LA FLEXION DES FAISCEAUX ELECTRIQUES DES CAPTEURS DE VITESSE ROUE (CVR)

- **Grande diversité de type de faisceaux électrique et d'application** pour les CVR
- La conception d'un essai d'endurance à la flexion des faisceaux CVR pour une **application donnée est compliquée**
- Fondamentalement, les **règles de conception** basées sur l'expérience (RETEX) sont appliquées mais ne donnent qu'une **évaluation qualitative**

- Fiabilité expérimentale : « Run and see » lors d'un test de verification de la conception peut être long et / ou coûteux
- Caractérisation des règles de conception : des valeurs approximatives valent mieux que rien
- Adaptation des tests : peu de tests pour de nombreuses applications est moins onéreux

- Mécanisme de défaillance : fatigue thermomécanique multiaxiale

- Modes de défaillance (ER menant perte fonction CVR)



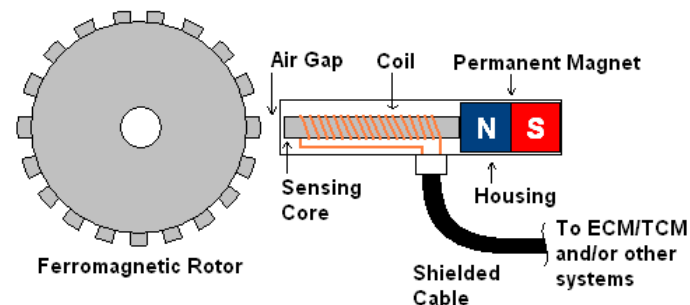
Augmentation
d'impédance



Court-circuit

Capteur Vitesse Roue (CVR) :

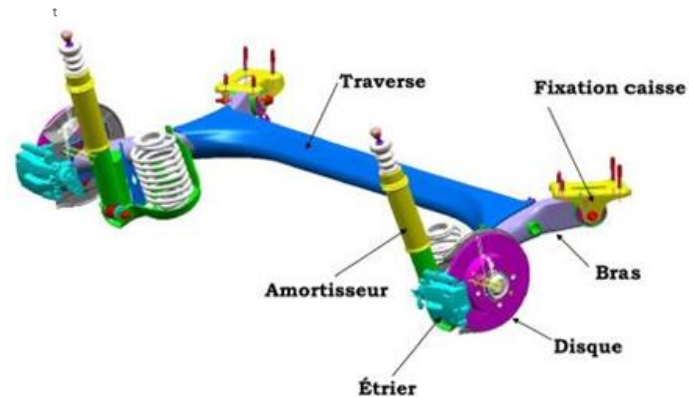
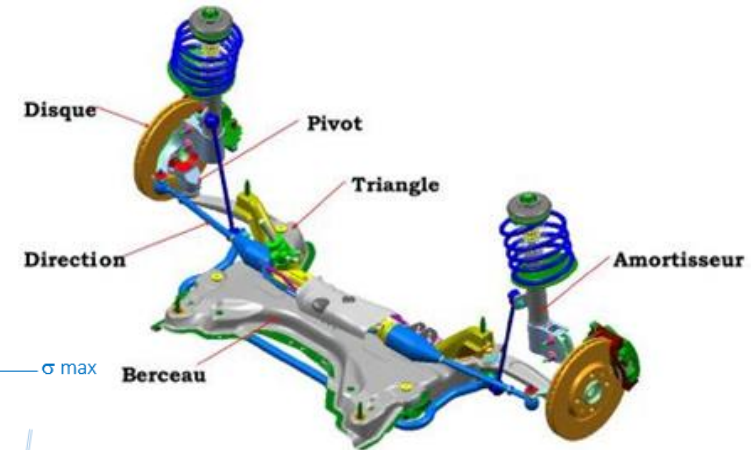
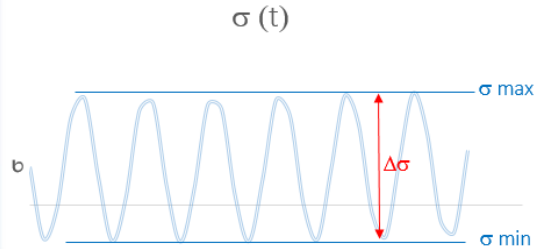
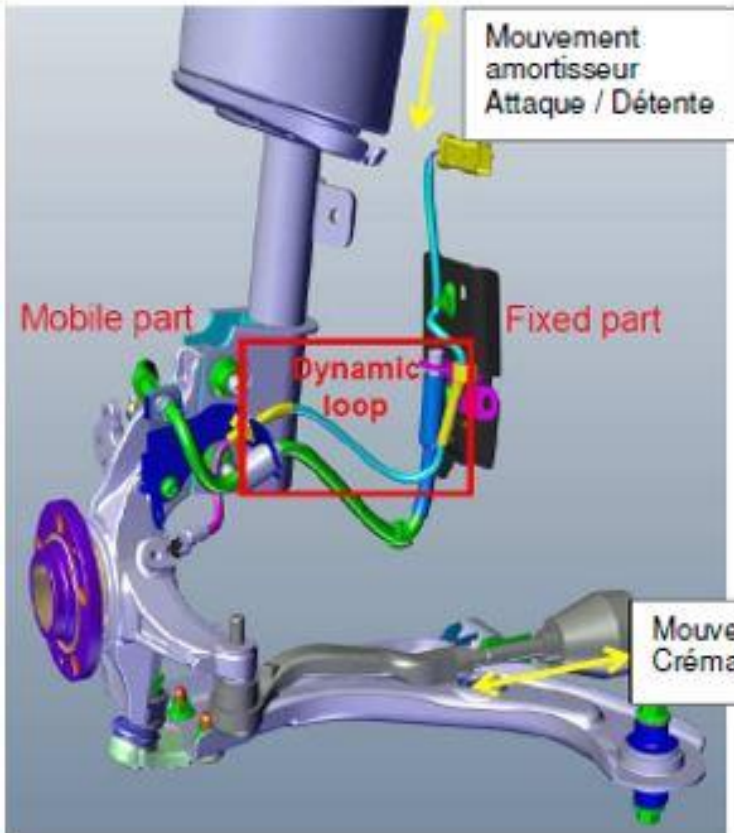
Induction Type



- Effets clients : ~~ABS~~, ~~ASR~~, ~~ESP~~, ~~ADAS~~ → Cibles de fiabilité (ISO 26262)

Sollicitation mécanique :

Course crémaillère / débattement suspensions



PIV : Test de demonstration de la fiabilité (x ppm à Y ans)



POUR CONCEVOIR L'ESSAI DE FLEXION ACCELERE DU FAISCEAU (Vérification du Design : DV)

Fiabilité prévisionnelle :

Contrainte – Résistance

$$P_f = Prob (R \leq C) = \int_{-\infty}^{\infty} F_R(x) \cdot f_C(x, A) dx$$

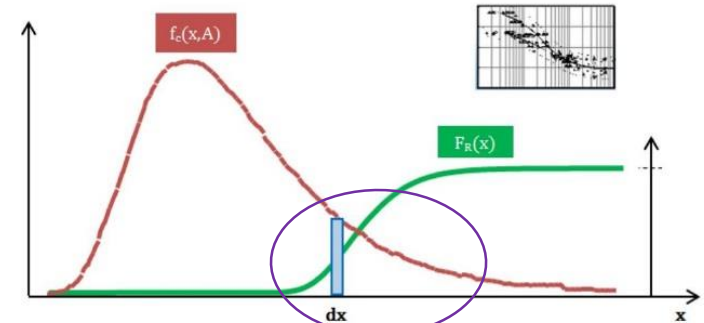


PIV - fiabilité expérimentale (Essai 0 défaillant) :

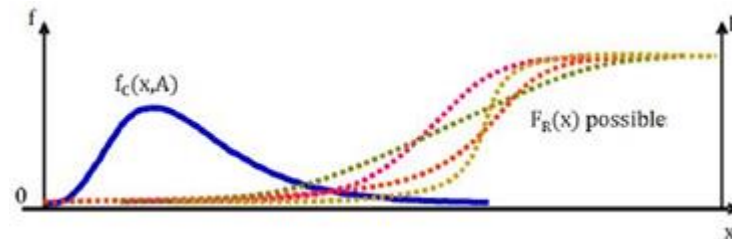
Durée d'essais τ pour N composants

$$\tau = F_R^{-1} \left(1 - (1 - c)^{1/N}, \theta_{REX}, \theta_{mini} \right)$$

x ppm (cible de fiabilité)



x ppm à Y ans



Banc d'essai de fatigue des faisceaux

Displacement diamond

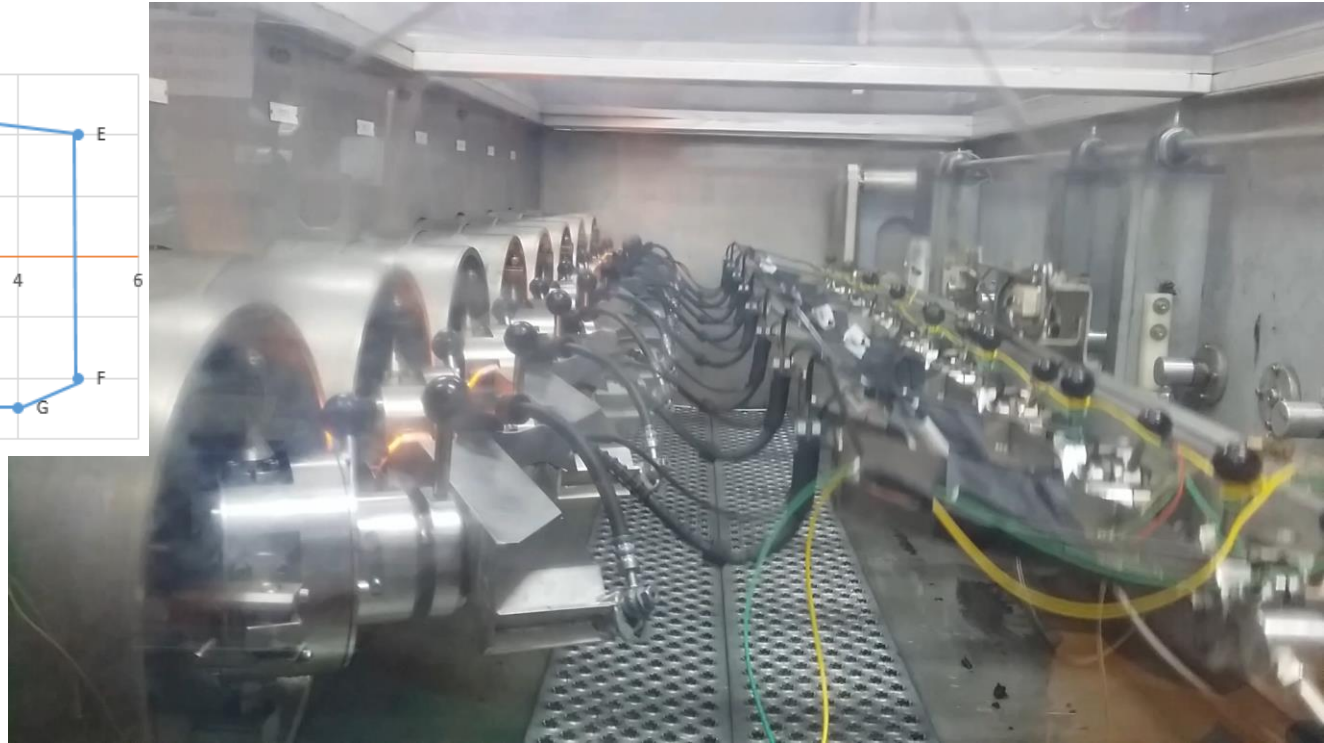
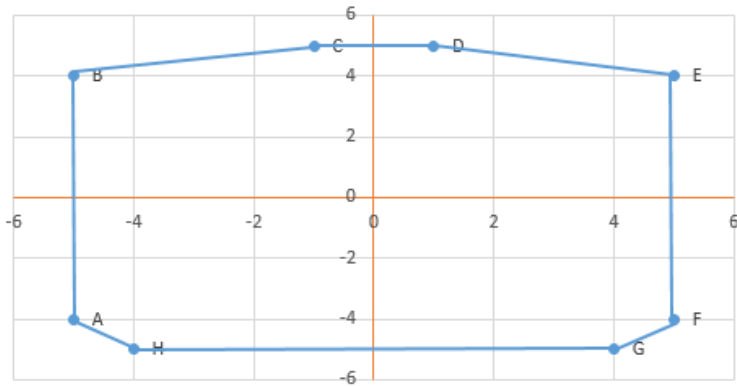
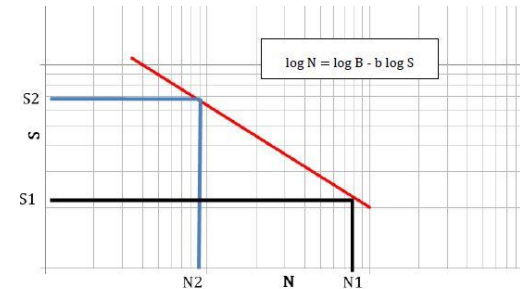
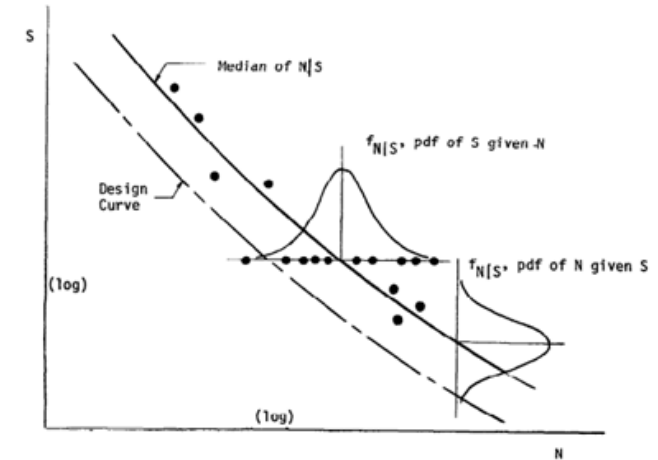
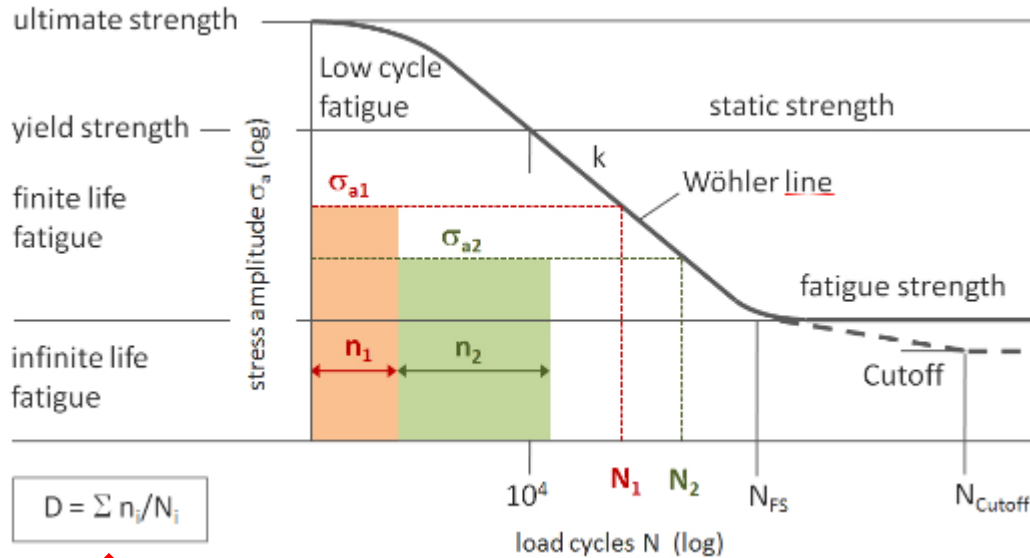


Diagramme S-N : Courbes de Wöhler



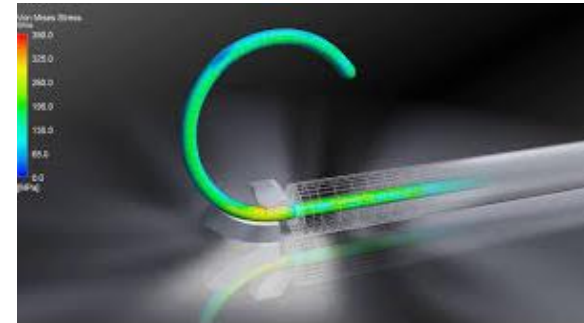
Loi de Basquin : $NS^b=B$



Principes de Miner

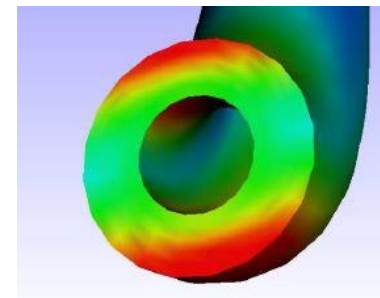
Paramètres influant la résistance à la fatigue du faisceau électrique

- Température (t)
- Facteurs de conception :
 - Taux de remplissage du fourreau / rayon du toron (τ^R)
 - Souplesse des fils (standards vs souples – s)
- Facteurs de géométrie :
 - Longueur de la boucle dynamique (l)
 - Ratio rayon de courbure minimal / maximale (r)
- Facteurs d'assemblage :
 - Position des câbles (si différentes sections) dans le faisceau



$$N(D_b(X, Y, Z), E, I_{GZ}(t, \tau^R, s), t, l, r) \times S_{eq}(D_b(X, Y, Z), E, I_{GZ}(t, \tau^R, s), l, r)^{b(t, \tau^R, s)} = \text{Constante}$$

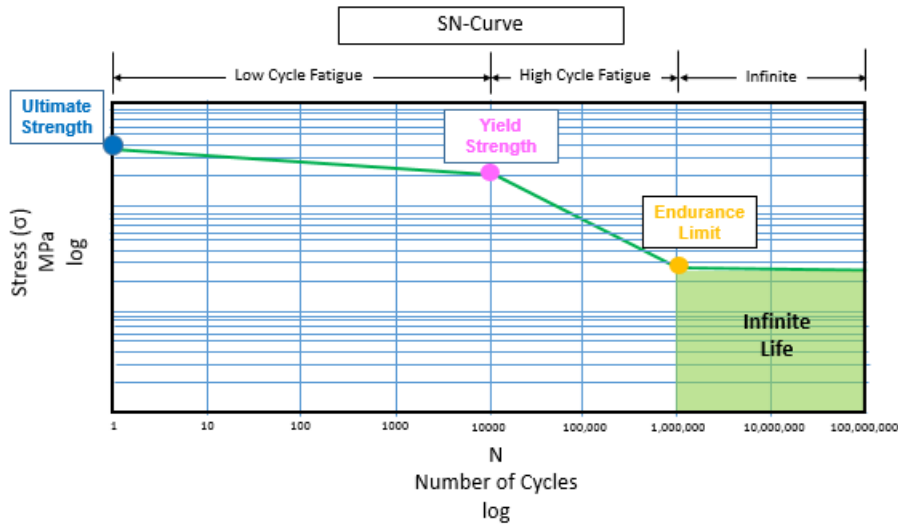
- Avec S_{eq} à partir d'outil de modélisation mécanique (ex. IPS) :
 - Contrainte de Von-Mises
 - Contrainte principale dans un plan donné



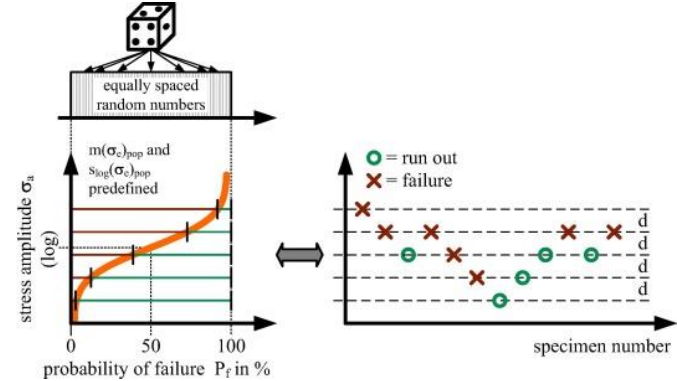
- Coefficient de Basquin apparent $b=f(t, \tau^R, s)$: identification à partir d'essais à rupture (PLEX split-plot & Staircase-Locati)

Identification de $b = f(t, \tau^R, s)$: StairCase-Locati

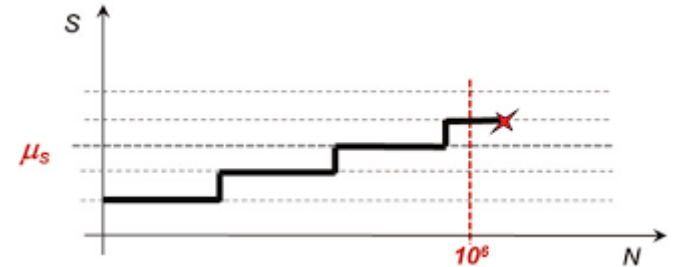
1ère étape (idéalement) : Identification du seuil d'endurance illimité



StairCase



Locati



Identification de $b = f(t, \tau^R, s) : \text{LIGERON}$ Plex Split plot

- **Impossibilité d'exécuter de façon aléatoire chaque combinaison d'un plan factoriel complet** (contraintes liées aux t° du four et leur ordonnancement) -> Plex **Split plot**
- **2 facteurs** (t, τ^R) : t avec a modalités (contrainte)
- Définir r blocs, partager chacun en a sous blocs

Essais à s fixé (standard ou souple)

Bloc 1					
t1			t2		
Sous-bloc 1			Sous-bloc 2		
τ^R_1	τ^R_3	τ^R_2	τ^R_3	τ^R_2	τ^R_1

Bloc 2					
t2			t1		
Sous-bloc 1			Sous-bloc 2		
τ^R_2	τ^R_1	τ^R_3	τ^R_1	τ^R_2	τ^R_3

- Dans chaque bloc, attribuer au hasard et à chaque sous-bloc, une des a variantes de t
- Répartir au hasard les b variantes de τ^R , dans chacun des ($a \times r$) sous-blocs

Modèle de l'exposant de Basquin : $b = \beta_0 * t + \beta_1 * \tau^R + \beta_2 * s + \beta_3 * t * \tau^R + \beta_4 * s * \tau^R + \beta_5 * \tau * s * \tau^R + \beta_6 + \varepsilon$

Analyse de la variance et regression linéaire pour l'identification du modèle

Loi d'accélération de Basquin adaptée aux boucles dynamiques CVR :

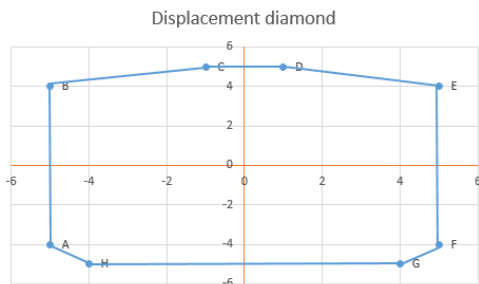
$$N(D_b(X, Y, Z), E, I_{GZ}(t, \tau^R, s), t, l, r) \times S_{eq}(D_b(X, Y, Z), E, I_{GZ}(t, \tau^R, s), l, r)^{b(t, \tau^R, s)} = \text{Constante}$$

Nombre de cycles de validation :

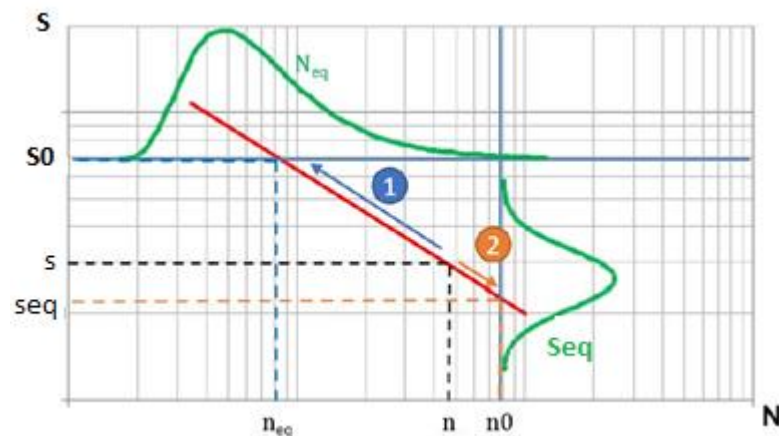
$$N_v = N_a \left(\frac{S_{eq}^A}{S_{eq}^V} \right)^b$$

❖ (N_a, S^A) : Profil de mission vhl

❖ (N_v, S^V) : Profil de validation



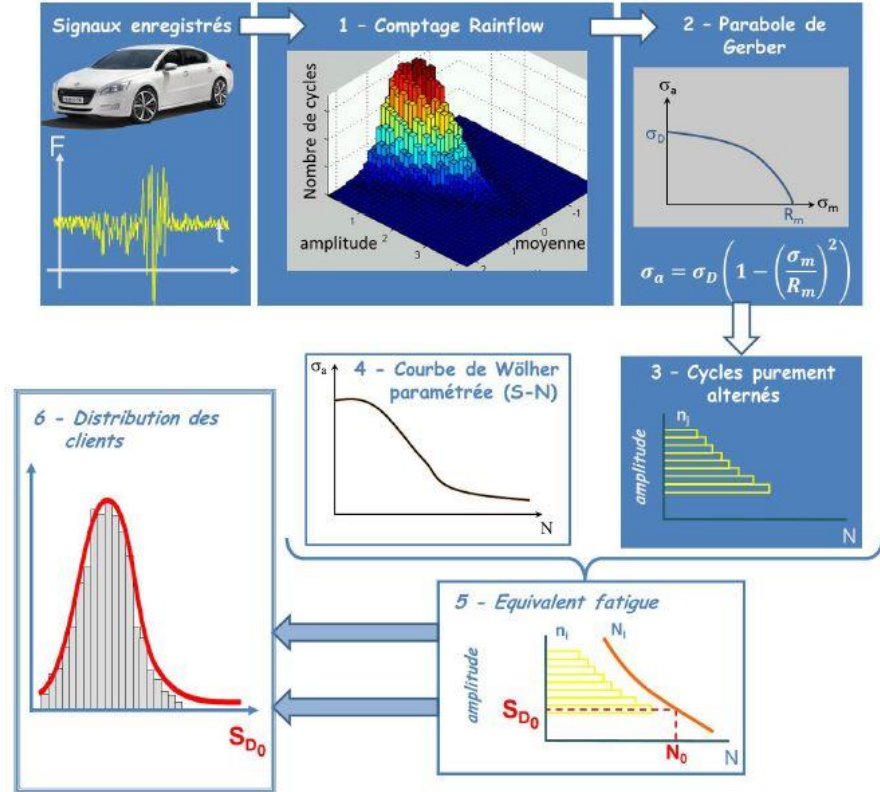
Condition de défaillance :



- Mesures clients (*relevé des débattements – (NA, SA) obtenue par cumul de Miner pour chaque matrice Rainflow client*)

$$Nv = Na \left(\frac{S_{eq}^A}{S_{eq}^V} \right)^b$$

- Simulation numérique (*débattement maximal – configuration pire cas*)



DV : Données d'entrée pour une application donnée

- **Essais de caractérisation mécanique des faisceaux :**
 - Paramètres matériaux apparents $=f(t)$
- **Détermination numérique :**
 - Taux de remplissage du fourreau par rapport au rayon du toron (τ^R)
 - Ratio rayon de courbure minimale / maximale (r)
 - Longueur optimale de la boucle dynamique (l)
- **Amplitude et fréquence des débattements véhicule (profil de mission) :**
 - Mesures sur population cible, essais, simulation numérique (pire cas), ...
- **Simulation numérique :**
 - Détermination de S_{eq}^A via outil de modélisation mécanique (IPS for example) à partir des amplitudes des débattements véhicule (profil de mission)

- > Fiabilité expérimentale : « Run and see » lors d'un test de verification de la conception peut être long et coûteux
 - **Evaluation quantitative de la fiabilité** avant les essais de verification de la conception

- > Caractérisation des règles de conception : Des valeurs approximatives valent mieux que rien
 - Convertir les connaissances qualitatives en **informations quantitatives. L'effet de chaque facteur sur la durée de vie est connu**

- > Adaptation des tests : Peu de tests pour de nombreuses applications est moins onéreux
 - Validation du « **domaine de conception** » et **modèle de défaillance réutilisable**

- ABERNETHY, R. B., 2006, The new Weibull Handbook, fifth Edition
- BEAUMONT Pauline, 2013, Optimisation des plans d'essais accélérés : Application à la tenue en fatigue de pièces métalliques de liaison de sol, Thèse de Doctorat, Université d'Angers, PSA Peugeot Citroën
- FOUCHEREAU Rémy, 2014, Modélisation probabiliste des courbes S-N, Thèse de Doctorat, Université Paris-Sud Orsay
- IPS Cable simulation, 2018, www.flexstructures.de/ips-cable-simulation-6?lang=fr
- LEDOLTER Johannes, January 2010, Split-plot designs: discussion and examples, International Journal of Quality Engineering and Technology, 1(4), pp 441-457
- McCORQUODALE Chris, June 2014, Development of a Fatigue Analysis tool to Predict Cable Flex Life, PhD, Edinburgh Napier University
- Norme ISO 26262, 2018, <https://www.iso.org/fr/standards.html>
- PALISSON, F., 1989, Détermination des paramètres du modèle de Weibull à partir de la méthode de l'actuariat, Revue de statistique, tome 37, n°4, pp5-39
- SIA, 2016, Guide d'aide à l'estimation et à la validation de la fiabilité automobile, Référence DC-01-01, Société des ingénieurs de l'Automobile, Version n°1 publiée le 19/04/2016, www.sia.fr (rubrique Publications)
- WIKIMEDIA, 2018a, By Arion54 [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)], from Wikimedia Commons
- WIKIMEDIA, 2018b, Par Pantoine [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>), CC-BY-SA-3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>) ou CC BY 2.5 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.5/>)], de Wikimedia Commons