

ANALYSE DES DONNEES DE FATIGUE ET FIABILITE MECANIQUE



Mélanie Dougal, Soukaina El Ghoujdami, Tarik Ouallou, Sandy Rouer

EI4 en Qualité et Sûreté de Fonctionnement

Tuteur en entreprise : Pauline BEAUMONT

Enseignants encadrants : Fabrice GUERIN, Sylvain CLOUPET

SOMMAIRE

- Introduction
- 1- Présentation de l'entreprise
- 2- Présentation du projet
- 3- Modèles mécaniques
- 4- Modèles probabilistes
- 5- Résultats obtenus
- Conclusion

Introduction

Réaliser un projet industriel dans le cadre de la formation de la 2^{ème} année du cycle ingénieur.

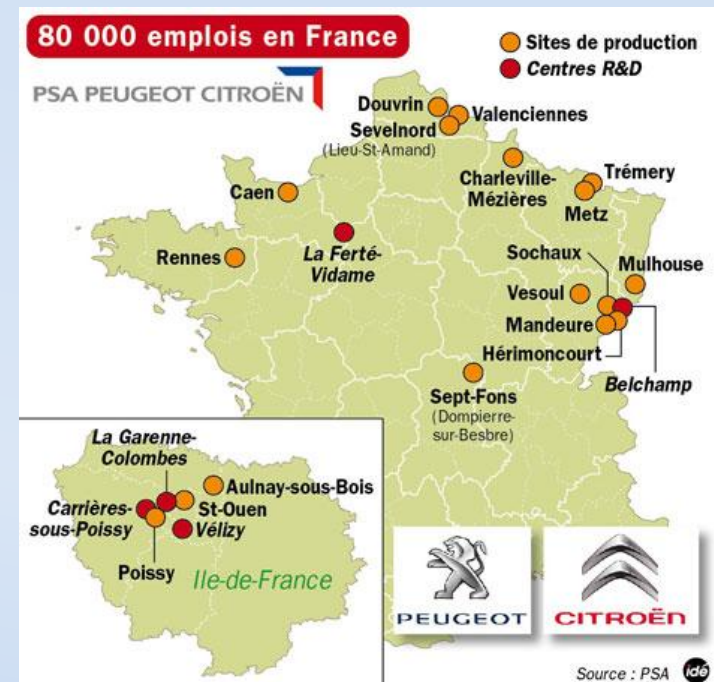
Sujet : Analyser les données d'essais de fatigue

Objectifs:

- Se familiariser et se confronter avec les usages du travail professionnel.
- Travailler en groupe et apprendre à répartir les tâches.
- Mettre en œuvre nos connaissances acquises .
- Réaliser un projet concret en entreprise, pouvoir trouver des solutions ainsi que les interpréter.

1- Présentation de l'entreprise

Raison sociale	PSA PEUGEOT CITRÖËN
Date de fusion	1976
Présence de PSA à l'international	<ul style="list-style-type: none"> -En Europe : Espagne, Portugal, République tchèque, Slovaquie, Italie, Russie. -Sur d'autres continents : Argentine, Brésil, Chine, Nigeria, Égypte, Turquie.
Chiffre d'affaire	56,1 milliards d'euros
Activités	<ul style="list-style-type: none"> -Construction automobile -Financement (Banque PSA Finance). -Logistique (Gefco) -Équipement automobile (Faurecia). -Peugeot Scooter



2- Présentation du projet

- Contexte du projet

- Trains roulants très sollicités
- Organes de sécurité présents
- Le site de Vélizy se préoccupe en grande partie des liaisons au sol



Missions:

- Analyser les données d'essais de fatigue fournies par la CETIM.
- Définir les méthodes d'estimations statistiques des courbes de Wöhler
- Vérifier les propriétés statistiques trouvées (coefficient de variations constant, pente de Basquin constante ...).

2- Présentation du projet

- Présentation des données
- CETIM - Centre Technique des Industries Mécaniques

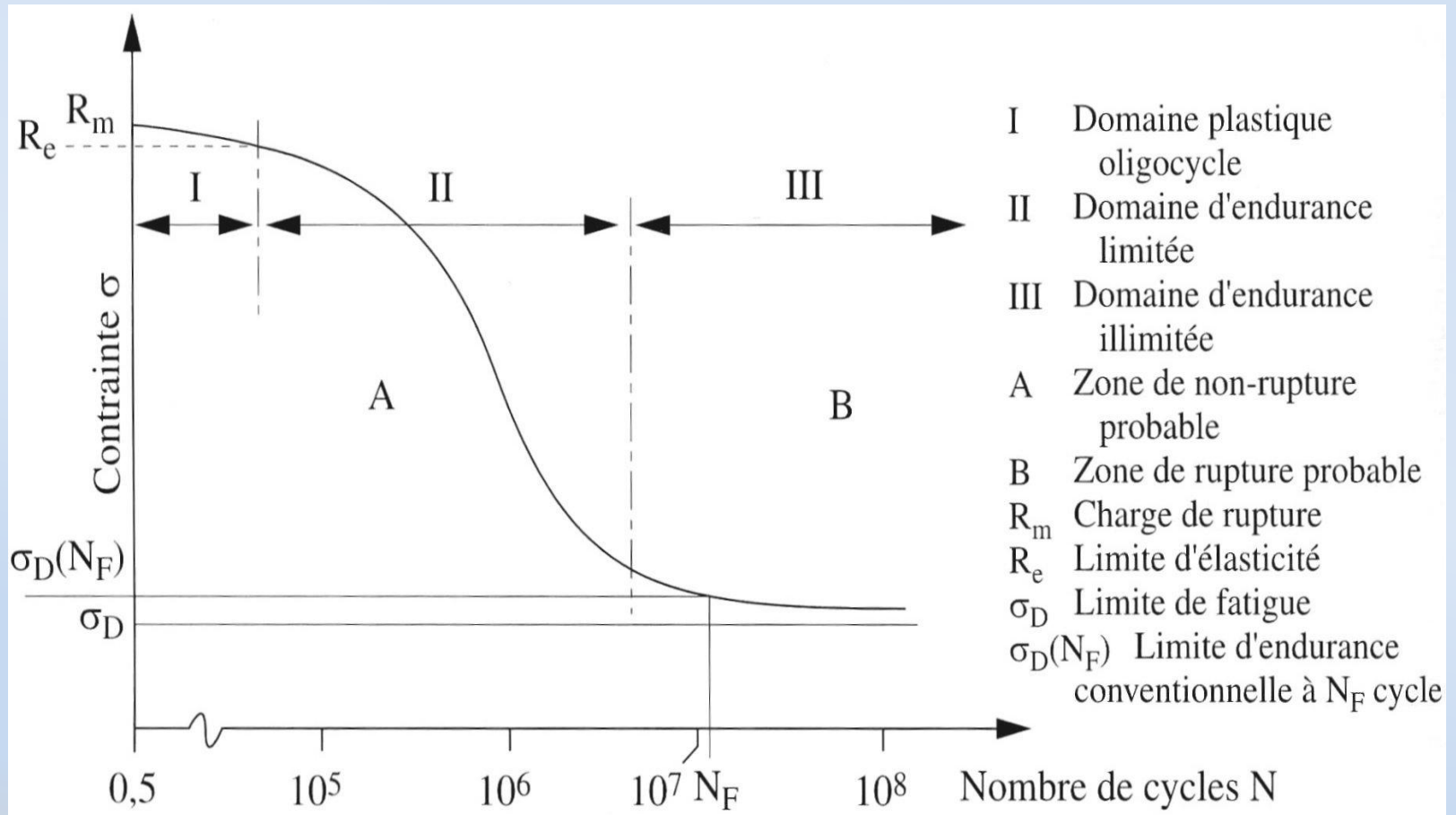


Sollicitation	Flexion	Torsion	Traction retour à zéro	Traction compression
Température de trempe	<ul style="list-style-type: none">• 550°C• 600°C• 650°C	<ul style="list-style-type: none">• 550°C• 600°C• 650°C	<ul style="list-style-type: none">• 600°C	<ul style="list-style-type: none">• 600°C
Nombre d'échantillons	12 échantillons de A à L	12 échantillons de A à L	4 échantillons de A à D	4 échantillons de A à D

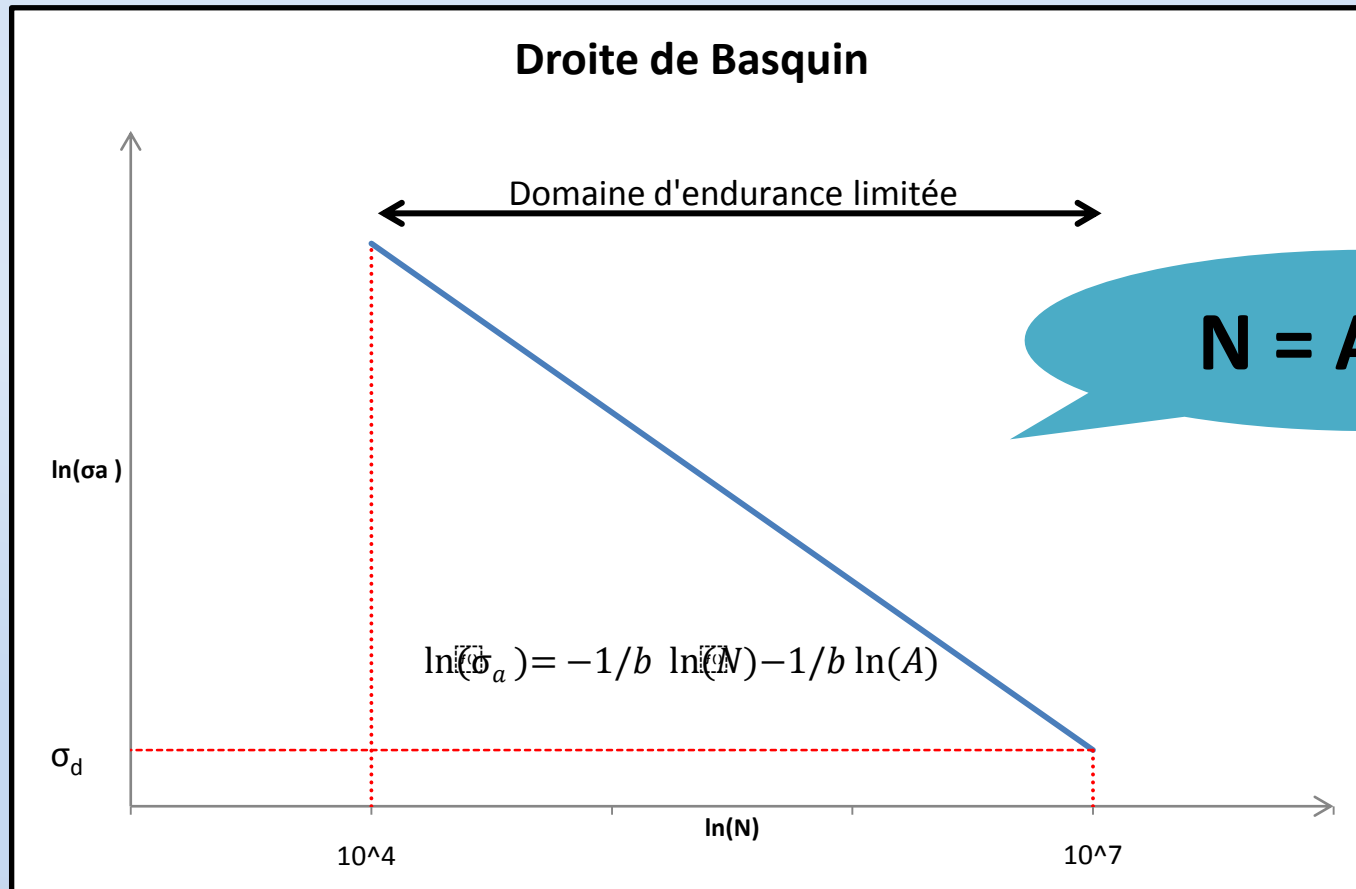
- 2 types de procédés :
 - LD converter
 - Basic electric arc furnace

3- Modèles mécaniques

- Wöhler



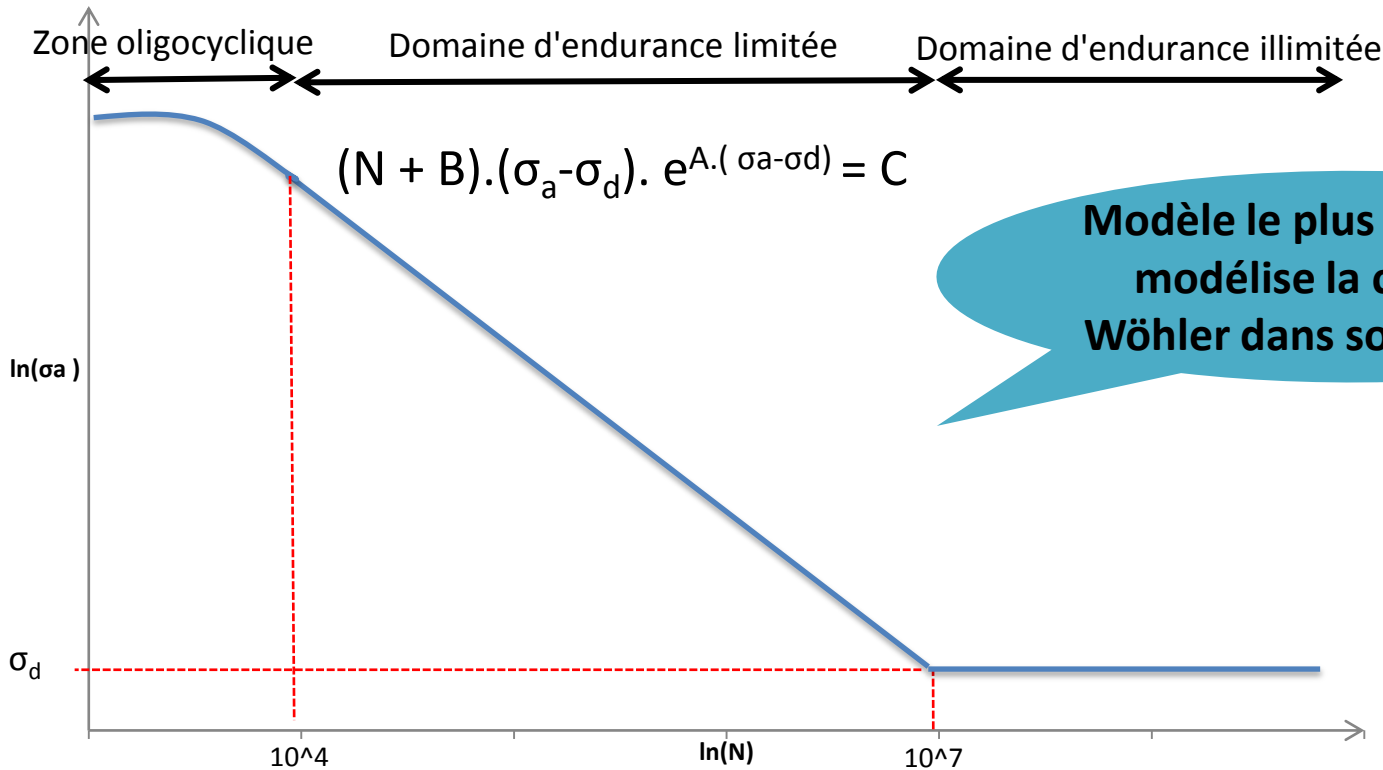
3- Modèles mécaniques



$$N = A \sigma_a^{-b}$$

3- Modèles mécaniques

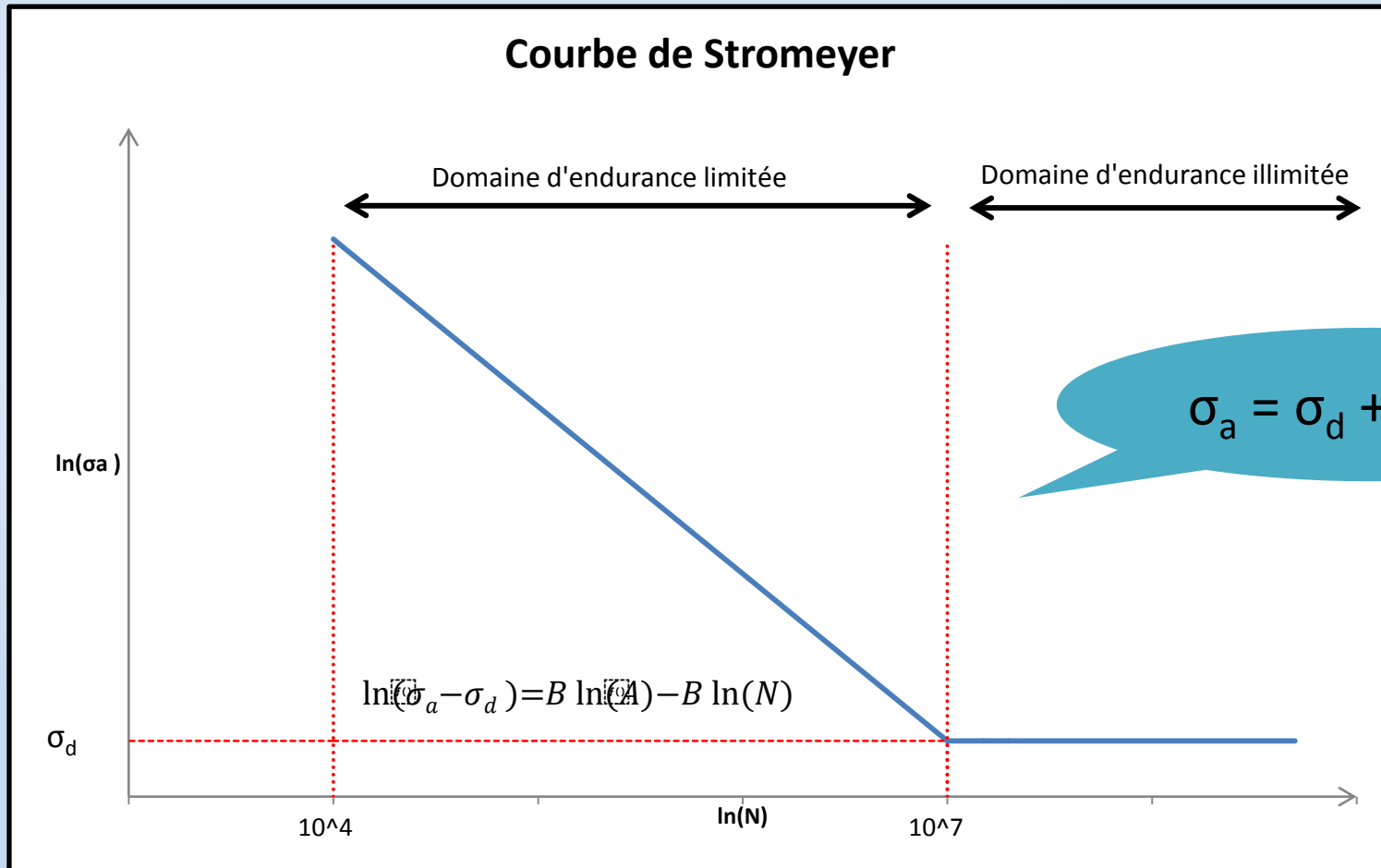
Courbe de Bastenaire



Modèle le plus complet qui modélise la courbe de Wöhler dans son ensemble

3- Modèles mécaniques

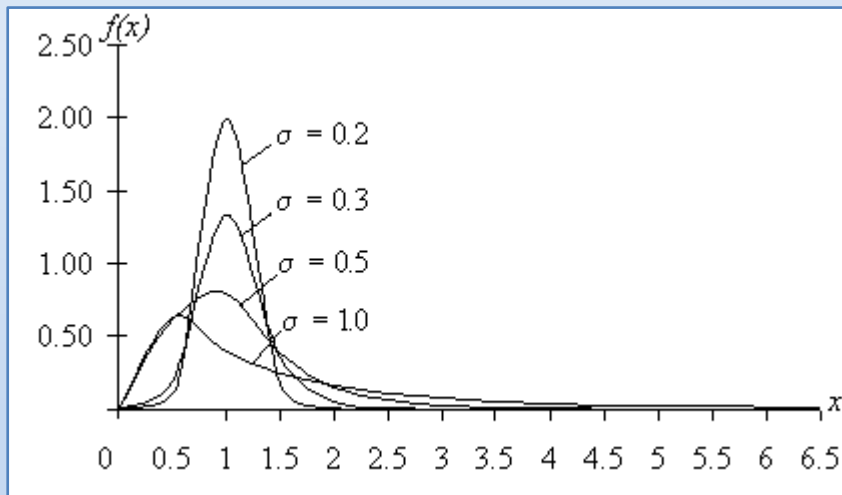
Courbe de Stromeyer



4- Modèles probabilistes

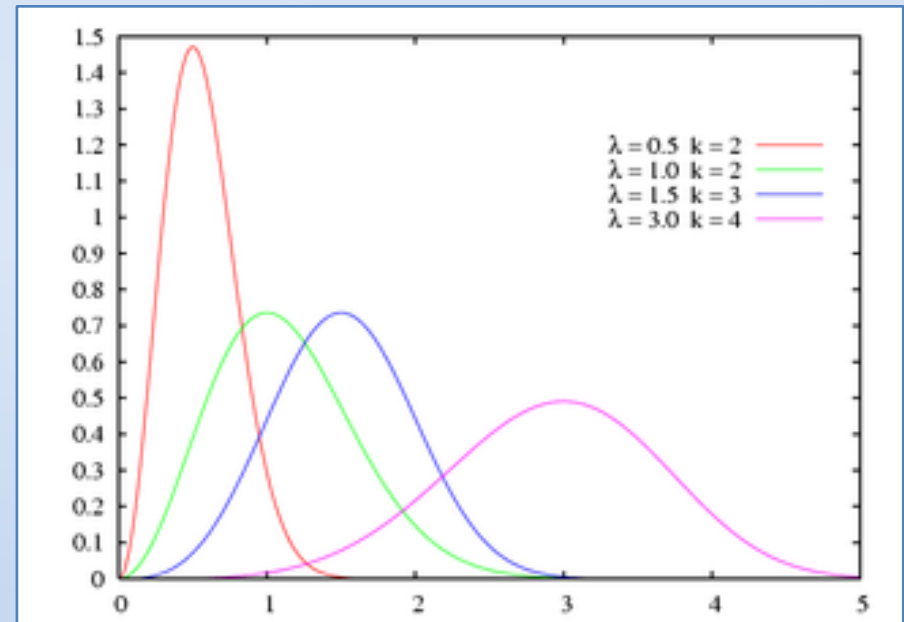
Loi LogNormale

- Utilisée en général pour l'analyse de fiabilité



Loi de Weibull

- Utilisée dans le domaine de l'analyse de la durée de vie



4- Modèles probabilistes

- Maximum de vraisemblance

Principe

- Définir la probabilité d'avoir obtenu un certain nombre de défaillances et de censures à des instants ou des intervalles de temps donnés.
- Exprimer la probabilité maximale pour un jeu de paramètres de loi de distribution identifiée, par exemple β et η pour une loi de Weibull.

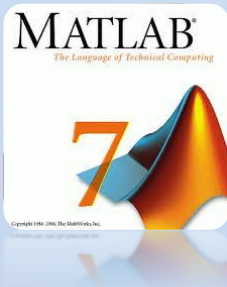


Formules

La vraisemblance avec censures, s'écrit :

$$\text{Weibull} : \mathcal{L}(\beta, \eta) = \prod f(t_i, \beta, \eta) \prod R(t_i, \beta, \eta)$$

$$\text{Normale} : \mathcal{L}(\mu, \sigma) = \prod f(t_i, \mu, \sigma) \prod R(t_i, \mu, \sigma)$$



4- Modèles probabilistes

- Intervalle de confiance

- Matrice de Fisher

A

$$[F] = \begin{bmatrix} \left(-\frac{\partial^2 \ln \mathcal{L}(a,b,c)}{\partial a^2} \right)_{\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}} & \left(-\frac{\partial^2 \ln \mathcal{L}(a,b,c)}{\partial a \partial b} \right)_{\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}} & \left(-\frac{\partial^2 \ln \mathcal{L}(a,b,c)}{\partial a \partial c} \right)_{\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}} \\ \left(-\frac{\partial^2 \ln \mathcal{L}(a,b,c)}{\partial b \partial a} \right)_{\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}} & \left(-\frac{\partial^2 \ln \mathcal{L}(a,b,c)}{\partial b^2} \right)_{\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}} & \left(-\frac{\partial^2 \ln \mathcal{L}(a,b,c)}{\partial b \partial c} \right)_{\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}} \\ \left(-\frac{\partial^2 \ln \mathcal{L}(a,b,c)}{\partial c \partial a} \right)_{\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}} & \left(-\frac{\partial^2 \ln \mathcal{L}(a,b,c)}{\partial c \partial b} \right)_{\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}} & \left(-\frac{\partial^2 \ln \mathcal{L}(a,b,c)}{\partial c^2} \right)_{\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}} \end{bmatrix}$$

b

**Paramètre
de forme**

→ Programmée sous Matlab

4- Modèles probabilistes

- Intervalle de confiance

Intervalle de confiance bilatéral pour un niveau de confiance de 90%

Panneau De Calcul Rapide (QCP)

QCP

Calculs de Base | Bornes de Confiance | Bornes du Paramètre

Inférieur	Std	Supérieur
0,0421	0,0555	0,0732
Inférieur	K	Supérieur
0,0016	0,0019	0,0022
Inférieur	n	Supérieur
0,0035	0,0148	0,0261

Calculer les Bornes

Résultats

Fiabilité

Inférieur

Confiance

Calculer

Fermer

Rapport...

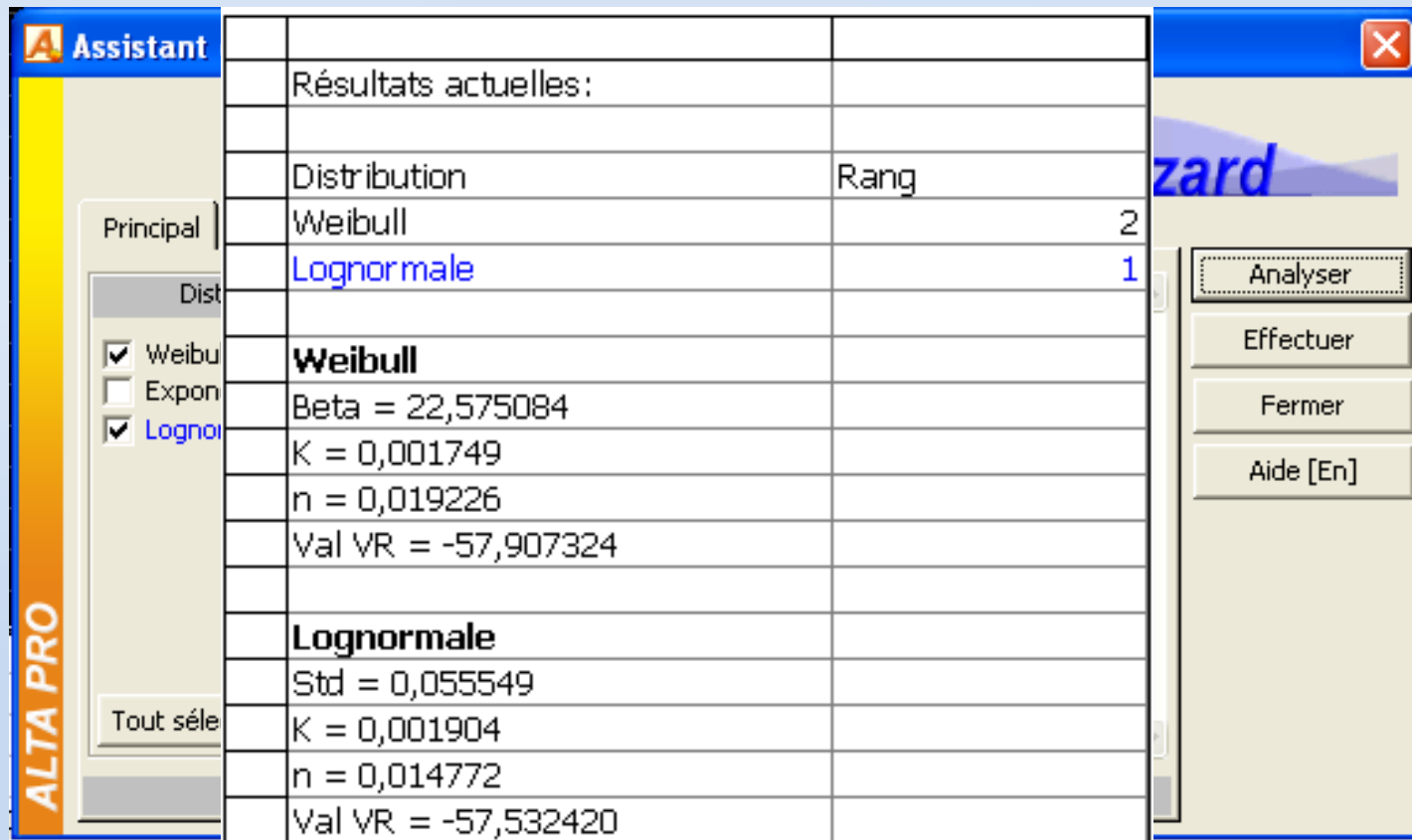
Aide [En]

Folio: Flexion_Co_550_A (Données 1)

Echantillon A en Flexion 550°C pour une sollicitation en contrainte suivant une loi logNormale

5- Résultats obtenus

- Test d'hypothèse



The screenshot shows the 'Assistant' window of the ALTA PRO software. On the left, a sidebar contains a 'Principal' tab and a 'Dist' section with three checked options: 'Weibu', 'Expon', and 'Logno'. Below these is a 'Tout sélectionner' button. The main table displays the results of the hypothesis tests. The first section, 'Résultats actuelles:', shows 'Distribution' as 'Weibull' with a 'Rang' of 2, and 'Lognormale' with a 'Rang' of 1. The second section, 'Weibull', lists parameters: Beta = 22,575084, K = 0,001749, n = 0,019226, and Val VR = -57,907324. The third section, 'Lognormale', lists parameters: Std = 0,055549, K = 0,001904, n = 0,014772, and Val VR = -57,532420. On the right, a panel contains buttons for 'Analyser', 'Effectuer', 'Fermer', and 'Aide [En]'.

Résultats actuelles:		
Distribution		Rang
Weibull		2
Lognormale		1
Weibull		
Beta =	22,575084	
K =	0,001749	
n =	0,019226	
Val VR =	-57,907324	
Lognormale		
Std =	0,055549	
K =	0,001904	
n =	0,014772	
Val VR =	-57,532420	

5- Résultats obtenus

- Test d'hypothèse

Détermination de la meilleure loi à l'aide de la valeur de la **vraisemblance**.

	Weibull	LogNormale
Nombre de cycle	13 échantillons sur 56	<ul style="list-style-type: none">• Procédé LD converter• Procédé Basic electric arc furnace• Population
Contrainte	29 échantillons sur 56	<ul style="list-style-type: none">• Procédé LD converter• Procédé Basic electric arc furnace• Population

5- Résultats obtenus

- Contrainte

Modèle de la loi de puissance inverse :

$$N = \frac{1}{K\sigma^n}$$

Modèle de Basquin :

$$N = A\sigma^{-b}$$



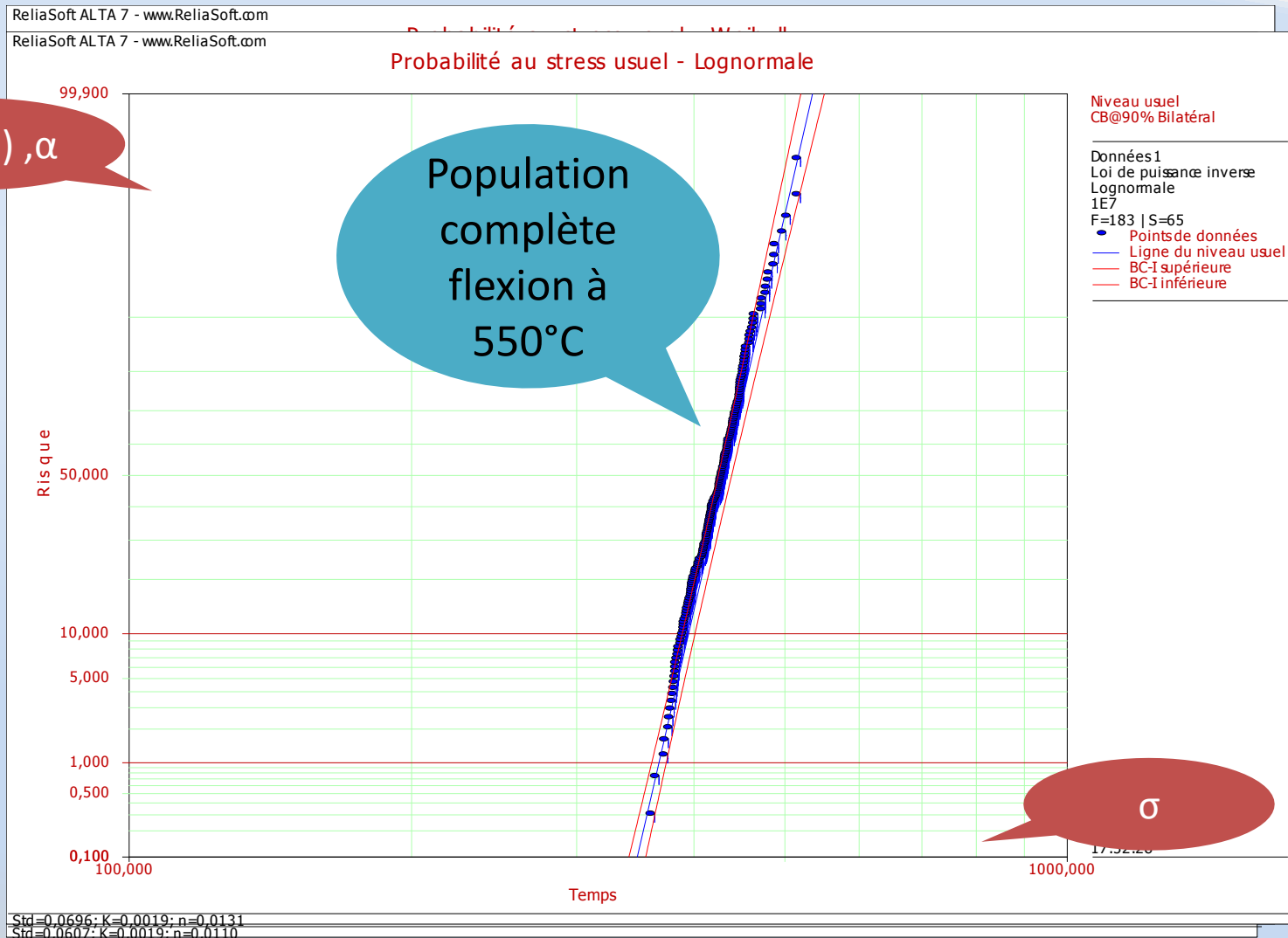
Etant en étude en contrainte nous en déduisons :

$$A = e^{-\frac{1}{n}\ln(K)} \text{ et } b = \frac{1}{n}$$

5- Résultats obtenus

CONTRAINTE		A			b			loi
		borne <u>inf</u>	A	borne sup	borne <u>inf</u>	b	borne sup	
Flexion 550	G	2,37E+77	8,39E+101	2,39E+143	26,81	35,71	51,28	LN
	H	2,07E+102	6,22E+139	2,23E+221	36,23	50,00	80,65	W
	I	3,80E+101	1,22E+127	2,68E+169	35,97	45,45	61,73	W
	J	1,62E+100	2,88E+144	2,72E+243	35,84	52,63	90,91	LN
	K	2,95E+118	8,22E+162	3,47E+280	42,37	58,82	103,09	LN
	L	6,24E+83	6,05E+110	2,47E+156	29,67	40,00	57,47	LN
	ABCEGHIJK	3,51E+171	2,43E+247	∞	62,50	90,91	169,49	LN
	DFL	3,13E+100	2,85E+161	∞	35,59	58,82	142,86	LN
	ABCDEFGHIJKL	1,17E+155	2,12E+209	∞	56,50	76,92	119,05	LN

5- Résultats obtenus



5- Résultats obtenus

- Nombre de cycle

Modèle de la loi log linéaire généralisé : $\sigma = e^{\alpha_0 + \frac{\alpha_1}{\ln(N)}}$

Modèle de Basquin : $N = A\sigma^{-b}$

donc $A = e^{b \cdot \alpha_0}$ *et* $b = -\frac{1}{\alpha_1} (\ln(N))^2$



Nos paramètres dépendent de N.

5- Résultats obtenus

- Paramètre de forme
 - Test du rapport de vraisemblance

Si
$$T = 2 \cdot \ln \left(\mathcal{L}(\hat{\beta}) - \mathcal{L}(\hat{\beta}_0) \right) > \chi^2_{\alpha, ddl-1}$$

Les valeurs de forme diffèrent statistiquement

Si
$$T = 2 \cdot \ln \left(\mathcal{L}(\hat{\beta}) - \mathcal{L}(\hat{\beta}_0) \right) < \chi^2_{\alpha, ddl-1}$$

Les valeurs de forme ne diffèrent pas statistiquement

5- Résultats obtenus

- Paramètre de forme

Vérification que β
et σ sont
constants?

- Traction retour à 0
- Procédé LD converter
- Présence des données ayant plus de 3 défaillances pour une contrainte donnée
- Niveau d'importance de **10%**

ALTA PRO

Test du rapport des vraisemblances

Calculs | Résultats

Entrée

Niveau d'importance: 0,1

Paramètre de forme

Std: 1,21315500422858

Résultats

T: 21,630571864607

Khi-Deux (alpha, j-1): 6,25138854980469

Puisque la valeur du statistique du test du rapport des vraisemblances, T, est supérieure à la Khi-Deux, les valeurs de forme diffèrent statistiquement au niveau 10%.

Calculer Fermer Aide [En]

5- Résultats obtenus

- Paramètre de forme

Vérification que β
et σ sont
constants?

Test du rapport des vraisemblances

Calculs | Résultats | Entrée

Niveau d'importance: 0,00005

Paramètre de forme

Std: 1,21315500422858

Résultats

T: 21,630571864607

Khi-Deux (alpha, j-1): 22,5546875

Puisque la valeur du statistique du test du rapport des vraisemblances, T, est inférieure ou égale à la Khi-Deux, les valeurs de forme ne diffèrent pas statistiquement au niveau 0,005%.

ALTA PRO

Calculer Fermer Aide [En]

5- Résultats obtenus

- Vérification de l'hypothèse coefficient de variation

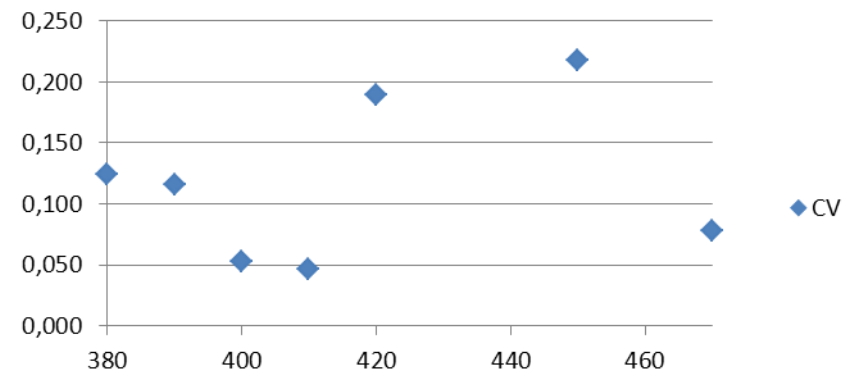
Tableau : Coefficients de variation pour chaque niveau de contrainte

$$CV = \frac{\text{Ecart-type}}{\text{Moyenne}}$$

Graphique : Variation du CV en fonction du niveau de contrainte

D					
Nf	Ln(Nf)	Sigma	Moyenne Ln(NF)	Ecart type LN (Nf)	CV
714000	13,479	380	15,739	1,958	0,124
21200000	16,870				
21200000	16,870				
567000	13,248	390	15,395	1,789	0,116
2180000	14,595				
21200000	16,870				
21200000	16,870				
627000	13,349	400	13,854	0,727	0,052
749000	13,526				
2390000	14,687				
427000	12,965	410	13,405	0,623	0,046
1030000	13,845				
395000	12,887	420	14,878	2,816	0,189
21200000	16,870				
342000	12,743	430			
325000	12,692	440			
236000	12,372	450	14,621	3,181	0,218
21200000	16,870				
119000	11,687	460			
84600	11,346	470	12,163	0,954	0,078
152000	11,932				
546000	13,210				
286000	12,564	490			
184000	12,123	510			

CV Echantillon D - Flexion 550°C



Pour le niveau de contrainte 510 MPa, on a une valeur unique donc on ne peut pas calculer le CV.

Conclusion

Paramètre de
forme non
constant

Etude du modèle
de Basquin

Coefficient de
variation : pas
assez de
données

Pente de Basquin
 $30 < b < 90$



Nombre de
Cycles reste à
approfondir

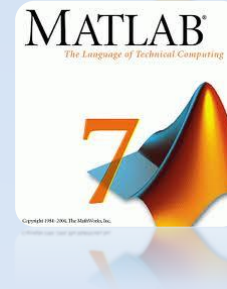
Les populations
complètes suivent
une loi Lognormale

Conclusion

- Travail collectif sur un sujet de Sûreté de fonctionnement dans le monde professionnel

- Outils utilisés :

- Excel
- Matlab
- Alta7



- Découverte des domaines inconnus pour nous, celui de la recherche et de l'automobile.
- Problèmes rencontrés :
 - Manque de temps
 - Difficulté pour trouver les informations techniques



Merci de votre attention

