

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique



Université Hadj Lakhdar –Batna

Institut de Génie Civil, d'Hydraulique et d'Architecture

Département de Génie Civil

Mémoire de Magister en Génie Civil

Option : Construction en Zone Sismique

Présenté par

AZZA GUELIANE

Pour obtenir le diplôme de Magister en

**ANALYSE PROBABILISTE DES STRUCTURES
EN UTILISANT LA PLASTICITE**

Sous la direction de Dr. DEMAGH K., MCA, Génie Civil, Univ-Batna

Mémoire soutenu le

Devant le jury composé de :

Jury	Grade	Affiliation	Qualité
CHABIL Hocine	Professeur	Univ-Constantine	Président
DEMAGH Kamel	MCA	Univ-Batna	Encadreur
BAHEDDI Mohamed	MCA	Univ-Batna	Examineur
LAHBARI Nouredine	MCA	Univ-Batna	Examineur

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord mon promoteur Monsieur Kamel DEMAGH, Maître de Conférences au Département de Génie Civil à l'université de Batna qui a accepté dirigé ce mémoire.

Je remercie également Monsieur Mohamed BAHEDDI, Maître de conférences de l'université de Batna et Nourddine LAHBARI, Maître de Conférences au Département de Génie Civil à l'université de Batna pour leur sympathique participation au jury de ce mémoire.

Je remercie Monsieur Hocine CHABIL, Professeur au Département de Génie Civil à l'université de Constantine d'avoir accepté de présider mon jury de ce mémoire.

J'adresse mes remerciements à l'ensemble des enseignants du Département de Génie Civil à l'université de BATNA qui ont contribué à ma formation au niveau de la graduation.

Je remercie tout mon entourage et particulièrement mes parents et ma famille.

DEDICACES

Je dédie ce travail :

À mes parents.

À mes sœurs.

À toute ma famille.

À l'ensemble de mes amis.

RESUME

Dans ce mémoire on utilise un couplage entre la plasticité et la mécanique, couplage mécano-fiabiliste plus la plasticité. En ce sens qu'on détermine à partir des mécanismes de rupture pour la probabilité de défaillance et l'indice de fiabilité d'un cadre simple et d'un cadre étagé pour deux lois de variation : loi normale et loi log normale. Les paramètres de simulation sont le rapport entre les moments plastiques du poteau et de la poutre ($\gamma = M_c/M_b$), le rapport des charges $\Omega = H/V$, le rapport des dimensions $\lambda = h/L$ et la limite élastique (235, 275 et 355). A partir des résultats trouvés des graphes sont tracés afin de montrer l'influence de chaque paramètre sur la valeur et la variation de l'indice de fiabilité et de la probabilité de défaillance.

Mots- clés : l'indice de fiabilité, analyse probabiliste des structures

ABSTRACT

In this memory we are dealing with the use of a coupling between plasticity and the mechanical coupling mechanical reliability based plus the plasticity .In this sense we determine that from the breaking mechanism for the failure probability and reliability index of a simple framework and a framework staged for two laws of variation normal law and log normal law . The simulation parameters are the link between the plastic moments of Column and the beam ($\gamma=M_c/M_b$), the load link $\Omega= H/V$, the link of dimension h/L and the elastic limit (235 ,275 et 355).From the results found graphs are plotted to a how the influence of each parameter on the value and the variation of reliability index and failure probability.

Key words: reliability index, probabilistic analysis of the structure.

Tables des matières

CHAPITRE I INTRODUCTION	
1.1 GENERALITES	01
1.2 PLAN DU MEMOIRE	01
CHAPITRE II SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
2.1 LA FIABILITE MECANIQUE	03
2.2 LE MODELE	03
2.3 LA FONCTION D'ETAT LIMITE	04
2.4 NIVEAU D'ESTIMATION	04
2.5 PROBABILITE DE DEFAILLANCE	05
2.6 ANALYSE DE LA SENSIBILITE	05
2.7 LES METHODES FORM ET SORM	07
2.7.1 Formulation fondamentale	07
2.7. 1.1 Méthode FORM	07
2.7.1.2 Méthode de SORM	08
2.7.1.3 Les méthodes Monte-Carlo	10
2.7.1.3.1 Formulation fondamentale	11
2.7.1.3.2. Tirages d'importance	11
2.7.1.3.3 Tirage directionnel	12
2.8. EVALUATION DE LA PROBABILITE DE DEFAILLANCE DES SYSTEMES	14
2.8.1 Combinaisons série	14
2.8.2 Combinaison parallèle	15
2.9 BORNES	16
2.9.1 Bornes du premier ordre ou bornes simples –systèmes en série	16
2.9.2 Bornes du premier ordre ou bornes simples –systèmes en parallèle	16
2.9.3 Bornes du second ordre - Bornes de Ditlevsen	17
2.10. LES LOIS	17
2.10.1 Fonctions utiles	17
2 .10.2 Lois de distribution ou de probabilité	17
2.10.2.1 Loi Normale	17
3.10.2.2 Loi Log-Normale	19
CHAPITRE III CALCUL FIABILISTE D'UN CADRE SIMPLE	
3.1 INTRODUCTION	21
3.2 DIMENSIONNEMENT	21

3.2.1 Les actions agissent sur le portique	21
3.2.2 Le choix des dimensions	21
3.2.3 Diagramme des moments fléchissant de la combinaison G+Q+E	21
3.3 CALCUL FIABILISTE	26
3.3.1 Mécanismes de rupture	26
3.3.2 Analyse de fiabilité d'un portique simple	28
3.3.2.1 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de γ pour loi normale	28
3.3.2.2 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de γ pour la loi log normale	40
3.3.2.3 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de $\Omega = H/V$ pour la loi normale	52
3.3.2.4 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de $\Omega = H/V$ pour la loi log normale	55
3.3.2.5 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de la résistance limite d'écoulement pour la loi normale	58
3.3.2.6 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de la résistance limite d'écoulement pour la loi log normale	64
3.4 LA COMPARAISON ENTRE LA LOI NORMALE ET LA LOI LOG NORMALE	71
Chapitre IV	
CALCUL FIABILISTE D'UN PORTIQUE ETAGE	
4.1 INTRODUCTION	85
4.2 DIMENSIONNEMENT D'UN CADRE ETAGE	85
4.2.1 Les actions agissent sur le portique à un étage	85
4.2.2 Le Choix des dimensions	85
4.2.3 Diagramme des moments fléchissant de la combinaison G+Q +E	85
4.3 CALCUL FIABILISTE	89
4.3.1 Mécanisme de rupture	89
4.3.2 Analyse de fiabilité d'un portique étagé	91
4.3.2.1 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de γ pour la loi normale	91
4.3.2.2 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de γ pour la loi log normale	104
4.3.2.3 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de $\Omega = H/V$ pour la loi normal	117
4.3.2.4 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de $\Omega = H/V$ pour la loi log normale	118
4.3.2.5 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de la résistance limité d'écoulement pour la loi normale	120
4.3.2.6. Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de la résistance limite d'écoulement pour loi log normal	124
4.4 COMPAIRISON ENTRE LES MECANISMES 9 ET C	128
4.4.1 L'influence de la zone	128
4.1.2 L'influence de $\Omega = H/V$	130
4.1.3 L'influence de la résistance limite d'écoulement	131

CHAPITRE V	
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	
5.1 CONCLUSIONS	138
5.1.1 Cadre à 1 niveau	138
5.1.1.1 L'indice de fiabilité en fonction de γ	138
5.1.1.2 L'indice de fiabilité en fonction de la zone	138
5.1.1.3 L'indice de fiabilité en fonction de $\Omega = H/V$.	139
5.1.1.4 L'indice de fiabilité en fonction de f_e	139
5.1.2 Portique étagé	139
5.1.2.1 L'indice de fiabilité en fonction de γ	139
5.1.2.2 L'indice de fiabilité en fonction de f_e	139
5.1.2.3 L'indice de fiabilité en fonction de $\Omega = H/V$	139
6.2 RECOMMANDATIONS	140
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXE A	
A. 1 LOIS DE DISTRIBUTION	141
A.1.1 Loi Uniforme	141
A.1.2 Loi Exponentielle	142
A.1.3. loi Trapézoïdale	143
A.1.4. Loi de Cauchy	144
A.1.5 Loi de Rayleigh	145
A.1.6 Loi de Laplace	146
A.1.7 Loi- Gamma	148
A.1.8 Loi de Beta	149
A.1.9 Loi de Gumbel (E_1 – Max , type I)	151
A.1.10 Loi de Frechet (E_2 – Max, Type II)	152
A.1.11 Loi de weibull (E_3 – Max, Type III)	153
A.1.12 Loi de Gumbel (E_1 –min, type)	154
A.1.13 Loi de Frehet (E_2 – Min type II)	155
A.1.14 Loi de weibull (E_3 – min, Type III)	156
A.1.15 Loi Semi-Normale	157
A.1.16 Loi de Pareto	158
A.1.17 La loi de Neville	160
A.1.18 Loi de Birnbaum / Saunders	161
A.1.19 Loi logistique	162

ANNEXE B	
B.1 PRE DIMENSIONNEMENT	163
B.1.1 La force sismique	163
B.1.2 Le choix des dimensions	163
B.1.3 LES COMBINAISONS	164
B.1.3.1 $-1.35G+1.5Q+1.5S_1\psi_0$, $\psi_0 = 0.87$, $1.35G+1.5Q + 1.305S_1$	164
B.1.3.2- $G+Q+E$	164
B.2.1 La combinaison $1.35G+1.5Q + 1.305S_1$ pour (les zones 1,2 et 3)	164
B.2.1.1 Le diagramme du moment fléchissant	164
B.2.1.2. Calcul des élancements	164
B.2.1.2.1 Suivant l'axe YY	164
B.2.1.2.2 Suivant l'axe X X	165
B.2.1.3 La vérification de la stabilité du poteau comprimé	166
B.2.1. 4 Poutre	166
B.2.1.4.1. La vérification au cisaillement	166
B.2.1.4.2 La vérification au déversement	167
B.3. 1 La combinaison $G+Q+E$ pour la zone 1	168
B.3.1.1 Le diagramme du moment fléchissant	168
B.3.1.2 Vérification de la stabilité du poteau	168
B.3.1.2 .1 La vérification de la stabilité du poteau 01	168
B.3.1.2. 1.1 Vérification de la stabilité du poteau comprimé	169
B.3.1.3 Vérification de la stabilité du poteau 2	169
B.3.1 .3.1.Vérification de la stabilité du poteau comprimé	169
B.4.1 La combinaison $G+Q+E$ pour la zone 2	169
B.4.1.1 Le diagramme du moment fléchissant	170
B.4.1.2 Vérification de la stabilité du poteau	170
B.4. 1.2.1 Vérification de la stabilité du poteau 1	170
B.4.1.2.1.1Vérification de la stabilité du poteau comprimé	170
B.4.1.2.2 La vérification de la stabilité du poteau 2	171
B.4.1.2.2.1 La vérification de la stabilité du poteau comprimé	171
B.5.1 La combinaison $G+Q+E$ pour la zone 3	171
B.5.1.1 Le diagramme du moment fléchissant	172
B.5.1.2. Vérification de la stabilité du poteau	172
B.5.1.2.1 La vérification de la stabilité du poteau1	172
B.5.1.2.1.1 La vérification de la stabilité du poteau comprimé	172
B.5.1.2.2 La vérification de la stabilité du poteau 2	173
B.5.1.2.2.1 La vérification de la stabilité du poteau comprimé	173

Liste des Figures

Figure 2. 1: modèle résistance sollicitation [13]	03
Figure 2. 2: représentation géométrique de l'indice de fiabilité	10
Figure 2. 3: Tirages importance	12
Figure 2. 4: tirage directionnel	13
Figure 2. 5 : Schéma d'un système en série	14
Figure 2. 6: Système de base en fiabilité avec deux variables aléatoires	15
Figure 2. 7: Schéma d'un système parallèle	15
Figure 3. 1: Portique et mécanisme de défaillance	26
Figure 3. 2: β en fonction de γ du mécanisme A	30
Figure 3. 3: β en fonction de γ du mécanisme B	31
Figure 3. 4: β en fonction de γ du mécanisme C	31
Figure 3. 5: β en fonction de γ du mécanisme D	32
Figure 3. 6: β en fonction de γ du mécanisme A	34
Figure 3. 7: β en fonction γ du mécanisme B	35
Figure 3. 8: β en fonction de γ du mécanisme C	35
Figure 3. 9: β en fonction de γ du mécanisme D	36
Figure 3. 10: β en fonction de γ du mécanisme A	38
Figure 3. 11: β en fonction de γ du mécanisme B	39
Figure 3. 12: β en fonction de γ du mécanisme C	39
Figure 3. 13: β en fonction γ du mécanisme D	40
Figure 3. 14 : β en fonction de γ du mécanisme A	42
Figure 3. 15: β en fonction de γ du mécanisme B	43
Figure 3. 16: β en fonction de γ du mécanisme C	43
Figure 3. 17: β en fonction de γ du mécanisme D	44
Figure 3. 18: β en fonction de γ du mécanisme D	46
Figure 3. 18: β en fonction de γ du mécanisme A	47
Figure 3. 19: β en fonction de γ du mécanisme B	47
Figure 3. 20: β en fonction de γ du mécanisme C	48
Figure 3. 21: β en fonction de γ du mécanisme D	50
Figure 3. 22: β en fonction de γ du mécanisme A	51
Figure 3. 23: β en fonction de γ du mécanisme B	51
Figure 3. 24: β en fonction de γ du mécanisme C	52
Figure 3. 25 : β en fonction de γ du mécanisme D	53
Figure 3. 26: β en fonction de $\Omega = H/V$ des mécanismes (C, D), $l = h$	

Figure 3. 27: β en fonction de $\Omega = H/V$ des mécanismes (C, D)	54
Figure 3. 28: β en fonction de $\Omega = H/V$ des mécanismes (C, D), $l = 2 h$	55
Figure 3. 29 : β en fonction de $\Omega = H/V$ des mécanismes (C, D), $l = h$	56
Figure 3. 30: β en fonction de $\Omega = H/V$ des mécanismes (C, D) , $l = 1.5 h$	57
Figure 3. 31: β en fonction de $\Omega = H/V$ des mécanismes (C et D). $L = 2 h$	58
Figure 3. 32: β en fonction de f_e du mécanisme C	59
Figure 3. 33 : β en fonction de f_e du mécanisme D	60
Figure 3. 34: β en fonction de f_e du mécanisme C	61
Figure 3. 35: β en fonction de f_e du mécanisme D	62
Figure 3. 36: β en fonction de f_e du mécanisme C	63
Figure 3. 37: β en fonction de f_e du mécanisme D	64
Figure 3. 38 : β en fonction de f_e du mécanisme C	66
Figure 3. 39: β en fonction de f_e du mécanisme D	66
Figure 3. 40: β en fonction de f_e du mécanisme C	68
Figure 3. 41: β en fonction de f_e du mécanisme D	68
Figure 3. 42: β en fonction de f_e du mécanisme C	70
Figure 3. 43: β en fonction de f_e du mécanisme D	70
Figure 3. 44: β en fonction de γ pour les mécanismes A, B, C et D	71
Figure 3. 45: β en fonction de γ pour les mécanismes A, B, C et D	71
Figure 3. 46: β en fonction de γ des mécanismes A, B, C et D	72
Figure 3. 47: β en fonction de γ du mécanisme C dans la zone 3	72
Figure 3.48: β en fonction de γ du mécanisme C pour la zone 1	73
Figure 3. 49: β en fonction de γ du mécanisme C pour la zone 1	73
Figure 3. 50: β en fonction de γ du mécanisme C pour la zone 1	74
Figure 3. 51: β en fonction de γ du mécanisme C pour la zone 2	74
Figure 3. 52: β fonction de γ du mécanisme C	75
Figure 3. 53: β en fonction de γ du mécanisme C	75
Figure 3. 54: β en fonction de γ du mécanisme C	76
Figure 3. 55: β en fonction de γ du mécanisme C	76
Figure 3. 56: β en fonction de γ du mécanisme C	77
Figure 3. 57: β en fonction de γ du mécanisme C	77
Figure 3. 58: β en fonction de γ du mécanisme C	78
Figure 3. 59: β en fonction de γ du mécanisme C	78
Figure 3. 60: β en fonction de la zone	79

Figure 3. 61: β en fonction de la zone du mécanisme C	79
Figure 3. 62: β en fonction de la zone	80
Figure 3. 63: β en fonction de la zone	80
Figure 3. 64: β en fonction de la zone	81
Figure 3. 65: β en fonction γ de la zone	81
Figure 3. 66: β en fonction γ de la zone	82
Figure 3. 67: β en fonction γ de la zone	82
Figure 3. 68: β en fonction de la zone	83
Figure 3. 69: β en fonction de $\Omega = H/V$ Pour le mécanisme C	83
Figure 3. 70: β en fonction de $\Omega = H/V$ pour le mécanisme C	84
Figure 3. 71: β en fonction de $\Omega = H/ V$ pour le mécanisme C	84
Figure 4. 1: portique étagé et mécanisme de défaillance	89
Figure 4. 2: β en fonction de γ du mécanisme 1	94
Figure 4. 3: β en fonction de γ du mécanisme 2	94
Figure 4.4: β en fonction de γ du mécanisme 3	95
Figure 4. 5: β en fonction de γ du mécanisme 4	95
Figure 4. 6: β en fonction de γ du mécanisme 7	96
Figure 4. 7: β en fonction de γ du mécanisme 8	96
Figure 4. 8: β en fonction de γ du mécanisme 9	97
Figure 4. 9: β en fonction de γ du mécanisme 1	100
Figure 4. 10: β en fonction de γ du mécanisme 2	101
Figure 4. 11: β en fonction de γ du mécanisme 3	101
Figure 4. 12: β en fonction de γ du mécanisme 4	102
Figure 4. 13: β en fonction de γ du mécanisme 7	102
Figure 4. 14: β en fonction de γ du mécanisme 8	103
Figure 4. 15: β en fonction de γ pour le mécanisme 9	103
Figure 4. 16: β en fonction de γ du mécanisme 1	107
Figure 4. 17: β en fonction de γ du mécanisme 2	107
Figure 4. 18: β en fonction de γ du mécanisme 3	108
Figure 4. 19: β en fonction de γ du mécanisme 4	108
Figure 4. 20: β en fonction de γ du mécanisme 7	109
Figure 4. 21: β en fonction de γ du mécanisme 8	109
Figure 4. 22: β en fonction de γ du mécanisme 9	110
Figure 4. 23: β en fonction de γ du mécanisme 1	113
Figure 3. 24: β en fonction de γ du mécanisme 2	114

Figure 4. 25: β en fonction de γ du mécanisme 3	114
Figure 4. 26: β en fonction de γ du mécanisme 4	115
Figure 4. 27: β en fonction de γ du mécanisme 7	115
Figure 4. 28: β en fonction de γ du mécanisme 8	116
Figure 4. 29: β en fonction de γ du mécanisme 9	116
Figure 4. 30: β en fonction de $\Omega = H/ V$ du mécanisme 9 , $l=h$	118
Figure4. 31: β en fonction de $\Omega = H/ V$ du mécanisme 9, $l=2h$	119
Figure 4. 32: β en fonction de f_e du mécanisme 9	121
Figure 4. 33: β en fonction de f_e du mécanisme 9	123
Figure 4. 34: β en fonction de f_e du mécanisme C	125
Figure 4. 35: β en fonction de f_e du mécanisme C	127
Figure 4. 36: β en fonction de la zone	128
Figure 4. 37: β en fonction de la zone	129
Figure 4. 38: β en fonction de la zone	129
Figure 4. 39: β en fonction de la zone	130
Figure 4. 40: β en fonction de la zone	130
Figure 4. 41: β en fonction de $\Omega = H/ V$ pour les mécanismes (C, 9)	131
Figure 4. 42: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C ,9)	131
Figure 4. 43: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C.9)	132
Figure 4. 44: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C.9)	132
Figure 4. 45: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C.9)	133
Figure 4. 46: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C.9)	133
Figure 4. 47: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C.9)	134
Figure 4.48: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C.9)	134
Figure 4.49: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C.9)	135
Figure 4.50: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C.9)	135
Figure 4. 51: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C.9)	136
Figure 4. 52: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C.9)	136
Figure 4. 53: β en fonction de f_e pour le mécanisme (C.9)	137

Liste des tableaux

	28
Tableau 3. 1: β en fonction de $\gamma = 1.1$ pour $l = h$	29
Tableau 3. 2: β en fonction de $\gamma = 1.2$ pour $l = h$	29
Tableau 3. 3: β en fonction de $\gamma = 1.3$ pour $l = h$	29
Tableau 3. 4: β en fonction de $\gamma = 1.4$ pour $l = h$	30
Tableau 3. 5: β en fonction de $\gamma = 1.5$ pour $l = h$	32
Tableau 3.6: β en fonction de $\gamma = 1.1$ pour $l = 1.5 h$	32
Tableau 3. 7: β en fonction $\gamma = 1.2$ pour $l = 1.5 h$	33
Tableau 3.8: β en fonction de $\gamma = 1.3$ pour $l = 1.5 h$	33
Tableau 3.9: β en fonction de $\gamma = 1.4$ pour $l = 1.5 h$	33
Tableau 3.10: β en fonction de $\gamma = 1.5$ pour $l = 1.5 h$	36
Tableau 3. 11: β en fonction de $\gamma = 1.1$ pour $l = 2 h$	36
Tableau 3.12: β en fonction $\gamma = 1.2$ pour $l = 2 h$	37
Tableau 3.13: β en fonction de $\gamma = 1.3$ pour $l = 2 h$	37
Tableau 3.14: β en fonction de $\gamma = 1.4$ pour $l = 2 h$	37
Tableau 3.15: β en fonction de $\gamma = 1.5$ pour $l = 2 h$	40
Tableau 3.16: β en fonction de $\gamma = 1.1$ pour $L = h$	41
Tableau 3.17: β en fonction de $\gamma = 1.2$ pour $l = h$	41
Tableau 3. 18: β en fonction de $\gamma = 1.3$ pour $l = h$	41
Tableau 3. 19: β en fonction de $\gamma = 1.4$ pour $l = h$	42
Tableau 3. 20: β en fonction de $\gamma = 1.5$ pour $l = h$	44
Tableau 3. 21: β en fonction de $\gamma = 1.1$ pour $l = 1.5 h$	44
Tableau 3. 22: β en fonction de $\gamma = 1.2$ pour $l = 1.5 h$	45
Tableau 3. 23: β en fonction de $\gamma = 1.3$ pour $l = 1.5 h$	45
Tableau 3. 24: β en fonction de $\gamma = 1.4$ pour $l = 1.5 h$	45
Tableau 3. 25: β en fonction de $\gamma = 1.5$ pour $l = 1.5 h$	48
Tableau 3. 26: β en fonction de $\gamma = 1.1$ pour $l = 2 h$	48
Tableau 3. 27: β en fonction de $\gamma = 1.2$ pour $l = 2 h$	48
Tableau 3. 28: β en fonction de $\gamma = 1.3$ pour $l = 2 h$	49
Tableau 3. 29: β en fonction de $\gamma = 1.4$ pour $l = 2 h$	49
Tableau 3. 30: β en fonction de $\gamma = 1.5$ pour $l = 2 h$.	49
Tableau 3. 31: β en fonction de $\Omega = H/V$ pour $l = h$	52

	53
Tableau 3. 32: β en fonction de $\Omega = H/V$ pour $l = 1.5 h$	54
Tableau 3. 33: β en fonction de $\Omega = H/V$ pour $l = 2 h$	55
Tableau 3. 34: β en fonction de $\Omega = H/V$ pour $l = h$	56
Tableau 3. 35: β en fonction de $\Omega = H/V$ pour $l = 1.5 h$	57
Tableau 3. 36: β en fonction de $\Omega = H/V$ pour $l = 2 h$	58
Tableau 3. 36: β en fonction de $f_e = 235 \text{ kn/m}^2$ pour $l = h$	58
Tableau 3.38: β en fonction de $f_e = 275 \text{ kn/m}^2$ pour $l = h$	59
Tableau 3. 39: β en fonction de $f_e = 355 \text{ kn/m}^2$ pour $l = h$	60
Tableau 3.40: β en fonction $f_e = 235 \text{ kn/m}^2$ pour $l = 1.5 h$	60
Tableau 3.41: en fonction $f_e = 275 \text{ kn/m}^2$ pour $l = 1.5 h$	61
Tableau 3.42 : β en fonction $f_e = 355 \text{ kn/m}^2$ pour $l = 1.5 h$	62
Tableau 3. 43: β en fonction de $f_e = 235 \text{ kn/m}^2$ $l = 2 h$	62
Tableau 3. 44: β en fonction de $f_e = 275 \text{ kn/m}^2$ pour $l = 2 h$	63
Tableau 3. 45: β en fonction de $f_e = 355 \text{ kn/m}^2$ pour $l = 2 h$	64
Tableau 3.46 : β en fonction de $f_e = 235 \text{ kn/m}^2$ pour $l = h$	65
Tableau 3.47 : β en fonction de $f_e = 275 \text{ kn/m}^2$ pour $l = h$	65
Tableau 3.48 : β en fonction de $f_e = 355 \text{ kn/m}^2$ pour $l = h$	67
Tableau 3.49 : β en fonction $f_e = 235 \text{ kn/m}^2$ pour $l = 1.5 h$	67
Tableau 3.50 : β en fonction de $f_e = 275 \text{ kn/m}^2$ pour $l = 1.5 h$	67
Tableau 3.51 : β en fonction de $f_e = 355 \text{ kn/m}^2$ pour $l = 1.5 h$	69
Tableau 3.52 : β en fonction de $f_e = 235 \text{ kn/m}^2$ pour $l = 2 h$	69
Tableau 3. 53 : β en fonction de $f_e = 275 \text{ kn/m}^2$ pour $l = 2 h$	69
Tableau 3. 54 : β en fonction de $f_e = 355 \text{ kn/m}^2$ pour $l = 2 h$	91
Tableau 4. 1: β en fonction de $\gamma = 1.1$ pour $L = h$	91
Tableau 4. 2: β en fonction de $\gamma = 1.2$ pour $l = h$	92
Tableau 4. 3 : β en fonction de $\gamma = 1.3$ pour $l = h$	92
Tableau 4. 4: β en fonction de $\gamma = 1.4$ pour $l = h$	93
Tableau 4. 5: β en fonction de $\gamma = 1.5$ pour $l = h$	97
Tableau 4. 6: β en fonction de $\gamma = 1.1$ pour $l = 2 h$	98
Tableau 4. 7: β en fonction $\gamma = 1.2$ pour $l = 2 h$	98
Tableau 4. 8: β en fonction de $\gamma = 1.3$ pour $l = 2 h$	98
Tableau 4. 9: β en fonction de $\gamma = 1.4$ pour $l = 2 h$	99

Tableau 4. 10: β en fonction de $\gamma = 1.5$ pour $l = 2 h$	99
Tableau 4. 11: β en fonction de $\gamma = 1.1$ pour $L = h$	104
Tableau 4. 12: β en fonction de $\gamma = 1.2$ pour $l = h$	104
Tableau 4. 13: β en fonction de $\gamma = 1.3$ pour $l = h$	105
Tableau 4. 14: β en fonction de $\gamma = 1.4$ pour $l = h$	105
Tableau 4. 15: β en fonction de $\gamma = 1.5$ pour $l = h$	106
Tableau 4. 16: β en fonction de $\gamma = 1.1$ pour $l = 2 h$	110
Tableau 4. 17: β en fonction de $\gamma = 1.2$ pour $l = 2 h$	111
Tableau 4. 18: β en fonction de $\gamma = 1.3$ pour $l = 2 h$	111
Tableau 4. 19: β en fonction de $\gamma = 1.4$ pour $l = 2 h$	112
Tableau 4. 20: β en fonction de $\gamma = 1.5$ pour $l = 2 h$	112
Tableau 4. 21: β en fonction de $\Omega = \frac{H}{V}$ pour $L = h$	117
Tableau 4. 22: β en fonction de $\Omega = \frac{H}{V}$ pour $L = 2 h$	117
Tableau 4. 23: β en fonction de $\Omega = \frac{H}{V}$ pour $L = h$	118
Tableau 4. 24: β en fonction $\Omega = H/V$ de pour $L = 2 h$	119
Tableau 4. 25: β en fonction de $f_e = 235 \text{kn/m}^2$ pour $l = h$	120
Tableau 4. 26: en fonction de $f_e = 275 \text{kn/m}^2$ pour $l = h$	120
Tableau 4. 27: β en fonction de $f_e = 355 \text{kn/m}^2$ pour $l = h$	121
Tableau 4.28: β en fonction de $f_e = 235 \text{kn/m}^2$ pour $l = 2 h$	122
Tableau 4.29: β en fonction $f_e = 275 \text{kn/m}^2$ pour $l = 2 h$	122
Tableau4.30: β en fonction $f_e = 355 \text{kn/m}^2$ pour $l = .2 h$	123
Tableau4. 31: β en fonction de $f_e = 235 \text{kn/m}^2$ pour $l = h$	124
Tableau 4.32: β en fonction de $f_e = 275 \text{kn/m}^2$ pour $l = .h$	124
Tableau 4.33: β en fonction de $f_e = 355 \text{kn/m}^2$ pour $l=h$	125
Tableau4.34: β en fonction de $f_e = 235 \text{kn/m}^2$ pour $l = 2 h$	126
Tableau 4.35: β en fonction de $f_e = 275 \text{kn/m}^2$ pour $l = 2 h$	126
Tableau4.36: β en fonction de $f_e = 355 \text{kn/m}^2$ pour $l = 2 h$	127

LISTE DES NOTATIONS ET ABREVIATIONS

S : sollicitation

R : Résistance

$A_i(t)$: les données d'entrée du système mécanique

$K_i(t)$: les données d'état du système mécanique

K_i^p : Données imposées par le cahier des charges

K_i^f : Données à la disposition du concepteur

$R_i(t)$: Résistance

$F(t, A_i, K_i^f, K_i^p, S_i)$: L'opérateur du modèle mécanique

G (X): la fonction d'état

P_f : La probabilité de défaillance

X: variable aléatoire

β : L'indice de fiabilité

α : Le gradient

μ_r : Le moment résistance

μ_s : Le moment sollicitation

σ : Écart type

C_v : Coefficient de variation

W : le poids total de la structure

R: coefficient de comportement

T : Période

c_T : Coefficient fonction du système de contreventement

h : Hauteur d'étage

l : Travée du portique

R : Coefficient de comportement global de la structure

D_1 : facteur d'amplification dynamique moyen

A_1 : Coefficient d'accélération de zone

V_1 : La charge horizontale de la zone 1

V_2 : La charge horizontale de la zone 1

V_3 : La charge horizontale de la zone 1

G : La charge permanentant

Q : La charge d'exploitions

M_{pl} : Moment plastique résistance

μ : Coefficient de frottement

f_y : Limite d'élasticité

σ : Contrainte normale

f_e : La résistance limite

Ω : Le rapport entre la charge vertical et la charge horizontal

γ : Le rapport entre le moment du poteau et le moment de la poutre

λ : Le rapport entre la travée et la hauteur d'étage

S_1 : La neige

B_{MY} : Le facteur de moment uniforme équivalent

μ_y : Coefficient de frottement

χ : Coefficient de réduction

Ψ : Rapport de contraintes

α_1 : Angle –Rapport-coefficient

λ_y : élancements réduites

CHAPITRE I
INTRODUCTION

1 INTRODUCTION

1.1 GENERALITES

Les méthodes de fiabilités des structures ont connu un développement important durant ces dernières années. Cela concerne les ouvrages de génie civil et les systèmes mécaniques de haute technologie (barrages, centrales nucléaires). Pour le dimensionnement des structures en tenant compte l'influence de la variabilité des paramètres : géométrie, le chargement, et le comportement de la structure.

Cette analyse permet d'établir une relation entre la probabilité tenant compte de l'influence de la variabilité des paramètres de la géométrie et du chargement. Pour effectuer l'analyse de fiabilité il y a deux types de méthodes : la première famille est basée sur la fonction de performance (méthodes de Mont Carlo) et la deuxième famille est basée sur la fonction d'état limite (méthode de FORM et méthodes de SORM). L'indice de fiabilité est solution courante pour la mesure de la probabilité, la détermination de l'indice de fiabilité nécessite d'avoir la disposition d'une fonction mathématique définissant l'état de défaillance de la structure étudiée. Cette fonction mathématique donne la plus souvent la valeur d'un ou de plusieurs paramètres du comportement mécanique comparée à une ou plusieurs valeurs limitées ne soit pas dépassées. Pour chacun des mécanismes de défaillance sont dirigées vers la vérification des éléments structuraux sous réserve de disposer d'une caractérisation probabiliste des variables et d'un état explicite.

La présente étude a pour l'objet de développer d'utiliser la théorie de la plasticité couplée à la fiabilité des structures.

1.2 PLAN DU MEMOIRE

Ce mémoire est composé de cinq chapitres, le chapitre 1 est une introduction générale dans lequel est présentée la fiabilité mécanique, le plan du mémoire et les objectifs de la recherche. Le chapitre 2 concerne une synthèse bibliographique dans laquelle on a mis en exergue les définitions et les notions de fiabilité, aussi sont présentés les outils nécessaires pour un calcul fiabiliste. Le chapitre 3 présente le calcul fiabiliste d'un cadre simple, à partir des différents mécanismes de rupture on écrit les équations qui régissent ces mécanismes ensuite on utilise deux lois de variation pour le moment plastique considéré comme variable aléatoire (loi normale et loi log normale) afin de calculer l'indice de fiabilité pour chacun des mécanismes. Des figures montrant la variation de l'indice de fiabilité en fonction des divers paramètres choisis sont tracées et enfin des conclusions sont émises. Le chapitre 4 présente le calcul fiabiliste d'un portique étagé, à partir des différents mécanismes de rupture on écrit les équations qui régissent ces mécanismes ensuite on utilise deux lois de variation pour le moment plastique

considéré comme variable aléatoire (loi normale et loi log normale) afin de calculer l'indice de fiabilité pour chacun des mécanismes. Des figures montrant la variation de l'indice de fiabilité en fonction des divers paramètres choisis sont tracées et enfin des conclusions sont émises et ce chapitre est dédié à l'analyse des résultats obtenus pour les cas étudiés précédemment : cadre simple et cadre étagé. Enfin le chapitre 5 rassemble les conclusions générales et quelques recommandations tirées de cette étude fiabiliste limitée.

CHAPITRE II
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

2 SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. LA FIABILITE MECANIQUE

La fiabilité mécanique prédictive qui consiste à calculer la probabilité de défaillance d'un composant d'une structure n'étudie généralement pas le composant réel. Une représentation ou un modèle est utilisé pour évaluer cette défaillance pour un mode de défaillance donné [1].

2.2 LE MODELE

Le modèle représente la structure mécanique réelle comme un système comportant une entrée, un état et une sortie, Fig .2.1.

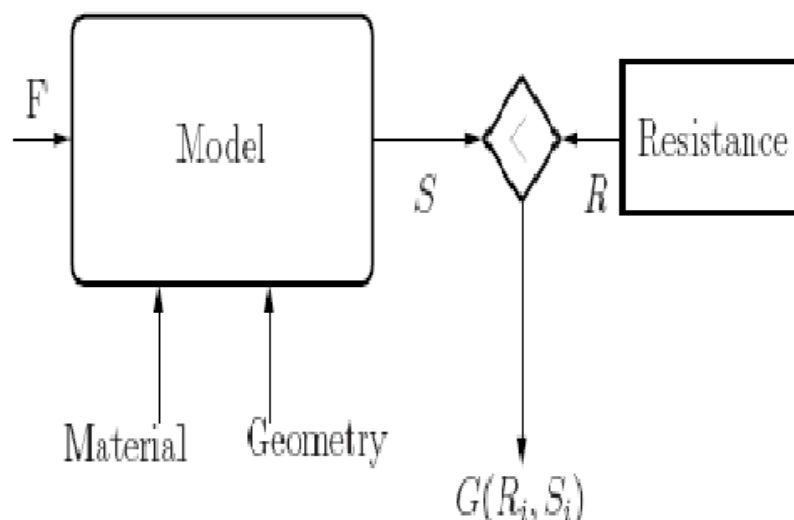


Figure 2. 1: modèle résistance sollicitation [13]

Nous pouvons définir [13] :

- $A_i(t)$ - les données d'entrée du système mécanique, fonction du temps t , qui sont en général le chargement et les actions,
- $k_i(t)$ -les données d'état du système mécanique, séparées en deux catégories : k_i^f (données imposées par le cahier des Charge) et k_i^p (données à la disposition du concepteur). Elles contiennent les caractéristiques géométriques, celles des matériaux et les conditions aux limites.
- $R_i(t)$ - les variables de la ressource disponible : résistances, déplacements admissibles, nombre de cycles avant défaillance,

Le modèle mécanique permet de simuler une réalisation des besoins (sollicitations) qui constitue la sortie du modèle, notée S_i . SI $F(\dots)$ est l'opérateur du modèle mécanique, il existe une relation du type [1] :

$$F(t, A_i, k_i^f k_i^p, S_i) = 0 \quad 2.1$$

2.3 LA FONCTION D'ETAT LIMITE

Soit X le vecteur des variables de base, qui peuvent être des variables définissant les actions extérieures, ou les caractéristiques matériaux, ou encore les caractéristiques géométriques d'un composante ou d'un système mécanique. L'aléa sur ces variables est défini par la densité conjointe de probabilité, Ce vecteur aléatoire est défini dans l'espace physique.

Une fonction de performance ou fonction d'état-limite $G(X)$ est définie telle que : $G(X) > 0$ soit le domaine de sureté, et $G(X) \leq 0$ soit le domaine de défaillance, ceci pour un scénario de défaillance donné. La frontière entre les deux domaines i.e $G(X) = 0$, est appelée l'état limite .Pour des éléments de structures , la fonction de performance est aussez souvent définie comme suit :

$$G(X) = R_{critique} - S(X) \quad 2.2$$

Ou $S(X)$ est la réponse du système appelée sollicitation et $R_{critique}$ est la limite critique de la réponse étudiée appelée résistance [10].

2.4 NIVEAU D'ESTIMATION

Les approches traitant de la fiabilité d'une structure sont généralement classées en cinq niveaux d'analyse

- **Niveau 0** : il correspond aux approches purement déterministes. La sécurité est caractérisée par un facteur de sécurité établi sans tenir compte de la variabilité des paramètres.
- **Niveau 1**: il s'agit des approches dites semi probabilistes. Elles consistent à appliquer des facteurs partiels de sécurité aux différentes grandeurs mécaniques intervenant dans la définition de l'ouvrage, grandeurs pour lesquelles les dispersions sont prises en compte par l'intermédiaire de valeurs caractéristiques établies sur la base d'une analyse préalable statistique, voire probabiliste.
- **Niveau 2** : la fiabilité est mesurée par un indice de fiabilité les indice de fiabilité de Cornell [3] et [Hasofer- Lind] sont généralement utilisés.
- **Niveau 3** : il s'agit des approches les plus raffinées pour l'analyse du risque. Toute les variables aléatoires sont caractérisées par leur loi conjointe. La probabilité de défaillance est évaluée directement en calculant une intégrale multiple sur le domaine de défaillance. Les méthodes de Monte Carlo-sont le plus souvent utilisées.

- **Niveau 4** : il concerne toutes les méthodes couplant l'approche fiabiliste à la théorie de la décision.

Les méthodes de niveau 0 et de niveau 1 n'entrent pas dans le cadre de l'approche probabiliste de la fiabilité : les méthodes de niveau 0 sont en voie de disparition du paysage de l'ingénierie de la construction, au profit des méthodes de niveau 1 qui forment le socle des codes de calcul et de conception des structures, tels que les actuels Euro codes [19]

2.5 PROBABILITE DE DEFAILLANCE

La probabilité de défaillance est la probabilité d'appartenance au domaine de défaillance. Elle est obtenue par intégration de la densité de probabilité conjointe de $\mathbf{x}$ sur le domaine de défaillance D_f

$$\text{Soit } P_f = P(G(\mathbf{X}) < 0) = \int_{G(\mathbf{X} < 0)} f_{\mathbf{X}}(\mathbf{X}) dX_1 \dots dX_n \quad 2.3$$

Avec

G : fonction d'état limite pour le vecteur aléatoire considéré

$\mathbf{X}$: vecteur aléatoire n dimensionnel ;

$\mathbf{x}$: réalisation du vecteur aléatoire $\mathbf{X}$;

$f_{\mathbf{X}}(\mathbf{X})$: densité de probabilité conjointe

L'évaluation de cette intégrale est rarement praticable, En effet, la densité conjointe n'est pas toujours disponible le domaine de défaillance et la fonction d'état limite ne sont pas toujours explicites. Le seul cas où (2.3) est calculable "analytiquement" concerne les fonctions d'état limites linéaires associées à des variables normales ou log normales dans ce cas, la précision de l'intégrale est liée à celle de l'estimation numérique de la loi multi normale centrée réduite. Dans tous les autres cas il est nécessaire de recourir à des techniques numériques d'intégration et ou des hypothèses simplificatrices concernant la forme du domaine de défaillance et la corrélation entre les variables aléatoires .C'est l'objet des méthodes de niveau 2 et de niveau 3 [16].

2.6 ANALYSE DE LA SENSIBILITE

A Partir de la détermination du point de défaillance le plus probable nous avons vu qu' il était possible de déterminer une probabilité de défaillance à l'aide de la distance entre le point de conception et l'origine. L'information sur l'orientation du point de conception dans l'espace normé (c'est à dire l'information reportée par le vecteur α^*) peut aussi être utilisée pour l'analyse de sensibilité. Cette mesure de la sensibilité identifie les variables aléatoires ayant un impact important sur la probabilité de défaillance .La mesure la plus simple de sensibilité est donc la dérivée partielle de l'indice de fiabilité :

$$\nabla_u \beta = \alpha^* \quad 2.4$$

$$\alpha^* = - \frac{\nabla_u H(u^*)}{|\nabla_u H(u^*)|} \quad 2.5$$

et

$$\nabla_u \beta = \left[\frac{\partial \beta}{\partial u_1}, \frac{\partial \beta}{\partial u_2}, \dots, \dots, \dots, \frac{\partial \beta}{\partial u_n} \right] \quad 2.6$$

Le vecteur α^* induit alors une mesure de la variation de β quand une variable aléatoire de base est perturbée. Puisque les dérivées partielles dans 2.4 sont évaluées au point de conception, l'analyse reflète seulement la sensibilité en ce qui concerne des variations des variables aléatoires autour de ce point particulier. Autrement dit ce vecteur donne une indication pour mesure une importance "relative" des variations de U. Puisque α est nécessaire pour obtenir le point de conception dans les algorithmes cites plus haut, la mesure de sensibilité est obtenue sans effort numérique supplémentaire.

A partir de cette sensibilité, plusieurs facteurs d'importance peuvent être évalués par rapport à la considération de la variation d'un paramètre r

$$\nabla_r \beta = \frac{\partial \beta}{\partial r} |_{P^*} \quad 2.7$$

Ainsi il est possible de calculer :

La sensibilité de l'indice de fiabilité au point de conception dans l'espace physique qui introduit le rôle des distributions et des corrélations : les sensibilités des variables de base avec les coordonnées du point de conception dans l'espace physique sont obtenues par les règles de transformation inverse :

$$\nabla_x \beta = (\nabla_u \beta) j_{u^*x^*} = j_{u^*x^*} \alpha^* \quad 2.8$$

Où $j_{u^*x^*}$ est le jacobien de la transformation entre l'espace normé est l'espace physique au point de conception. La sensibilité de l'indice de fiabilité par rapport aux paramètres p intervenant dans les lois de distribution (moyennes, écart type) afin d'évaluer les paramètres à prendre en compte pour l'optimisation de la fiabilité :

$$\nabla_p \beta = -j_{u^*p} \alpha^* \quad 2.9$$

Avec :

$$j_{u^*p}(i,j) = \frac{\partial T_i(x^*,P)}{\partial P_j} \quad 2.10$$

La matrice liant les transfor

mations iso probabilistes et les paramètres p_j des j variables.

La sensibilité de l'indice de fiabilité par rapport à un paramètre intervenant dans la fonction d'état limite .

$$\frac{\partial \beta}{\partial p} = \frac{1}{|\nabla_u H(u^*, p)|} \times \frac{\partial H(u^*, p)}{\partial p} \quad 2.11$$

La sensibilité par rapport aux paramètres p des lois de distributions est un bon indicateur de l'importance de ces paramètres de chaque variable aléatoire. Il n'est cependant pas possible de comparer directement l'influence des variables entre elles sans avoir au préalable effectuée une normalisation de ces sensibilités. Nous introduisons pour cela les élasticités ces paramètres définies par :

$$e_{pi} = \frac{p_i}{\beta} \frac{\partial \beta}{\partial p_i} \bigg|_{u^*} \quad 2.12$$

Le résultat de l'analyse de sensibilité pour les paramètres des lois de distributions apporte donc les solutions pour l'optimisation de la fiabilité. Autrement dit, l'élasticité par rapport aux moyennes des variables renseigne sur l'influence de la valeur de la variable et donc directement sur le dimensionnement à considérer en phase de conception. La sensibilité des écarts type quant à elle renseigne sur la qualité qui devra être faite lors de la phase de fabrication ou les séries produites doivent garantir que la variable considérée s'éloigne le moins possible de sa moyenne [1].

2.7 LES METHODES FORM ET SORM

2.7.1 Formulation fondamentale

Après application d'une transformation iso probabiliste, il est possible de recourir aux méthodes FORM et SORM. Elles consistent tout d'abord à trouver une approximation de la fonction de performance $g_U(u)$ notée $\widetilde{g}_U(u)$, par un développement en série de Taylor autour d'un point donné u_0 :

$$\widetilde{g}_U(u) = g_U(u_0) + a^t (u - u_0) + \frac{1}{2} (u - u_0)^t \times H(u - u_0) + O_{u-u_0}((u - u_0)^t (u - u_0)) \quad 2.13$$

Dans l'équation 2-13, a et H Représentent respectivement le gradient de la fonction d'état limité ainsi que la matrice Hessienne, évalués tous deux en u_0 .

2.7.1.1 Méthode FORM

L'approximation au premier ordre de la fonction d'état limité consiste à négliger les termes de second ordre. A cela s'ajoute qu'un point u_0 particulier est choisi, il s'agit du point où la fonction densité conjointe est maximale, appelé point de conception et noté u^* . Le point de conception est déterminé en recherchant le point de l'état limite le plus proche de l'origine de l'espace normé. Ainsi, le point de conception est solution du problème d'optimisation 2-14 :

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta = \min(\sqrt{u^t u}) \\ \text{Tel que: } g_U(u) = 0 \end{array} \right. \quad 2.14$$

Dans l'équation 2.14 β représente l'indice de fiabilité au sens de [Hasofer] et [Lind]. Cet indice diffère de celui de [Basler] et [Cornell] qui est basée sur une linéarisation autour du point moyen. Celle proposée par ces deux dernières auteurs est rarement retenue dans la pratique en raison du manque d'invariance quant à la manière de formuler la fonction d'état limité. L'indice de fiabilité, grandeur scalaire, permet de rendre compte de la fiabilité d'un mode de performance donné. En effet plus cet indice est élevé, plus la probabilité de défaillance sera fiable car le point de conception, très éloigné de l'origine de l'espace normé, tend à être présent dans les zones de densité très fiable appelées queues de distribution. Le résultat de ce problème de minimisation sous contraintes peut être mis sous la forme 2.15. Dans la suite de cette étude, l'algorithme de [Rackwitz -Fiessler] Sera utilisé dans la pratique pour la résolution de ce type problème :

$$U^* = -\alpha^t \beta \quad 2.15$$

Ou' α représente le gradient normalisé de la fonction d'état limite, évalué au point de conception u^* ,

$$\alpha = \frac{\nabla g_U(u^*)}{\|\nabla g_U(u^*)\|} \quad 2.16$$

En reportant la relation 2.13 dans 2.15, nous obtenons l'équation de l'hyperplan tangent au point de conception 2.17

$$\widetilde{g}_U(u) = \beta + \sum_{i=1}^n \alpha_i u_i \quad 2.17$$

A l'aide de cette approximation au premier ordre, il est possible de donner l'équation 2.18 dans laquelle ϕ représente la fonction de répartition de la loi gaussienne centrée et réduite

$$p_f \approx \phi(-\beta) \quad 2.18$$

Il est à noter que dans le cas d'une fonction d'état limité possédant une forte courbure, l'approximation au point de conception par un hyperplan tangent n'est évidemment plus adaptée. Il est alors nécessaire de recourir à une approximation au second ordre. [14]

2.7.1.2 Méthode de SORM

L'approximation au second ordre nécessite de considérer les termes de l'équation 2.13 Laissés de côté. La matrice Hessienne doit être déterminée puis diagonalisée pour que les

courbures principales k_i puissent être calculées. Ces dernières constituent le supplément d'information contenu dans la formulation SORM par rapport à FORM. Autrement dit une approximation quadratique SORM est possible, si les courbures sont évaluables. La résolution du problème aux valeurs propres qui se pose est en général délicat, surtout dans le cas des zones de faibles gradients. L'approximation SORM prend la forme d'un hyper paraboloïde tangent au point de conception qui la même courbure en ce point, pouvant s'exprime par :

$$\widetilde{g}_U(\mathbf{u}) = U_n - \beta - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} k_i u_i^2 \quad 2.19$$

Avec un tel hyperparaboloïde, la probabilité de défaillance peut être approchée par plusieurs approches. La probabilité de défaillance approchée par [Breitung 1984] [2] est :

$$p_{f \approx} \Phi(-\beta) \prod_{i=1}^{n-1} (1 + k_i \beta)^{\frac{-1}{2}} \quad 2.20$$

Hohenbicher et Rackwitz [Hohenbicher & Rackwitz, 1988] Proposent une approximation de probabilité de défaillance plus générale par rapport celle de Breitung. Cette Approximation est donnée par :

$$p_{f=} \Phi(-\beta) \prod_{i=1}^{n-1} \left(1 + k_i \frac{\varphi(\beta)}{\Phi(-\beta)} \right)^{\frac{-1}{2}} \quad 2.21$$

Dans cette approche le terme de $\frac{\varphi(\beta)}{\Phi(-\beta)}$ est obtenue par l'expression suivant :

$$\frac{\varphi(\beta)}{\Phi(-\beta)} = \beta + \beta^{-1} - 2\beta^{-3} + 10\beta^{-5} - 74\beta^{-7} + 706\beta^{-9} + \dots \quad 2.22$$

L'approximation de Breitung peut être obtenue par le premier terme de l'équation 1.22. Notons que la méthode SORM peut être ramenée à une approche au premier ordre en définissant un hyperplan tangent au point de conception, mais à une distance β' définie comme suivante [Cremona, 2003] [4].

$$\beta' = -\Phi^{-1}(p_f) \quad 2.23$$

β' est appelé indice de fiabilité généralisé, et diffère donc de l'indice d'Hasofer - Lind la Fig. 1.1 illustre une représentation géométrique de l'indice de fiabilité obtenu par les deux approches FORM et SORM.

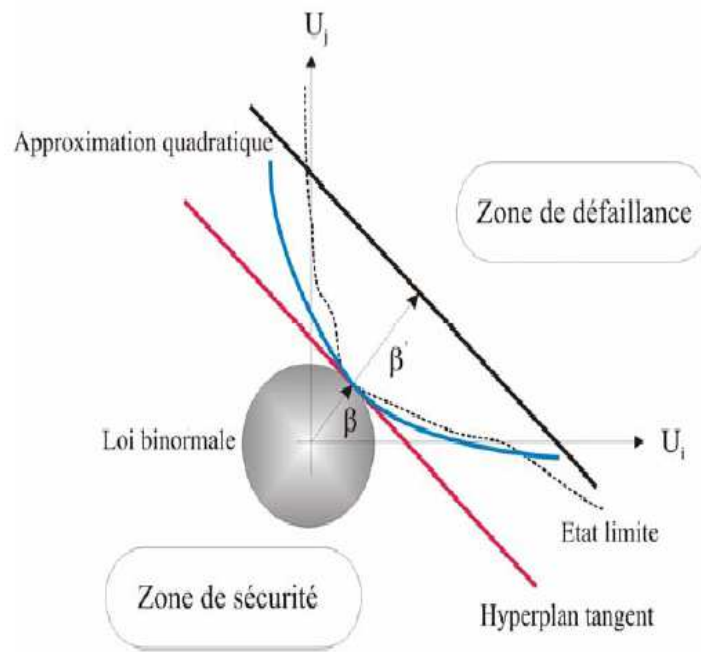


Figure 2. 2: représentation géométrique de l'indice de fiabilité

Remarquons que l'indice de fiabilité est concept indispensable dans la théorie de la fiabilité, à tel point qu'il est préféré à la probabilité de défaillance. En effet cette dernière est souvent très petite et varie entre 0 et 1. Dans le cas où l'origine est dans le domaine de défaillance, la valeur de l'indice de fiabilité est négatif.

Pour terminer cette section, il est essentiel de remarquer que l'application des méthodes FORM ou SORM, dans le cas d'un état limite implicite, requiert soit la construction d'une approximation de la fonction d'état limite au voisinage du point de conception, soit l'évaluation numérique de gradients et de matrices Hessiennes par un nombre réduit de calculs déterministe. De plus, il convient de préciser que la différence éventuelle entre les probabilités de défaillance obtenues par FORM et par SORM, peut être liée à la présence de fortes non linéarités ou de fortes courbures. Le temps de calcul est indépendant de l'ordre de grandeur de la probabilité de défaillance, par contre, dans la méthode FORM, il varie linéairement avec la dimension n de l'espace et le terme supplémentaire de SORM est évalué en n^2 [Devictor 1996] [9].

2.7.1.3 Les méthodes Monte-Carlo

Les méthodes de simulation de Monte Carlo visent à la construction d'une estimation de la probabilité de défaillance. Des tirages aléatoires sont effectués et l'évaluation de la réponse la structure est effectuée pour chaque jeu de données. Il existe plusieurs variantes de ces méthodes, visant à optimiser les stratégies de tirs dans le but de réduire le coût de calcul lié essentiellement au nombre d'appels du code de calcul aux éléments finis. Nous nous proposons tout d'abord de

présenter la formulation sur laquelle se fondent toutes ces méthodes, puis de préciser quelques unes d'entre-elles.

2.7.1.3.1 Formulation fondamentale

Définissons tout d'abord la fonction indicatrice du domaine de défaillance $\gamma_F(x)$. L'équation 2. 25 peut alors être mise sous la forme :

$$p_f = \int_{R^d} \gamma_F(x) P_X(x) dx \quad 2. 24$$

Ecrite autrement, nous obtenons l'équation 2. 25

$$P_f = E(\gamma_F(x)) \quad 2. 25$$

Dans l'équation 2. 25, $E(.)$ représente l'espérance de $\gamma_F(x)$ et il donc licite de faire appel à l'estimateur empirique 2. 26 :

$$P_f \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \gamma_F(x_i) \quad 2. 26$$

Remarquons que n évaluations de la fonction d'état limite sont nécessaires à la construction d'une bonne estimation de la probabilité de défaillance. De nombreuses relations empiriques, permettant de prédire le nombre de tirages n , existent. Une relation couramment employée est donnée par [Melchers, 1999] [15].

$$n = \frac{C}{P_f} \quad 2. 27$$

Où la constante C représente le niveau de confiance avec lequel on souhaite connaître p_f une valeur typique de C est 1000. Pour réduire le nombre de tirages, plusieurs stratégies de tirs ont été développées. Nous proposons dans la suite de présenter le principe pour deux d'entre-elles, à savoir le tirage d'importance et le tirage directionnel.

2.7.1.3.2. Tirages d'importance

L'équation 2.24 peut être mise sous la forme suivante 2.28, dans laquelle $h(x)$ est une densité de probabilité, a priori inconnue, qui devra être choisie de sorte que les tirages soient effectués dans la région participant le plus à l'intégrale 1.1 [Melchers 1999] [15]

$$P_f = \int_{R^d} \gamma(x) \frac{p_X(x)}{h(x)} h(x) dx \quad 2. 28$$

Comme précédemment, il est possible pour approcher cette intégrale, de recourir à l'estimateur 2. 29 où les V_i sont obtenues aléatoirement selon la distribution $h(x)$:

$$P_f \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \gamma_F(V_i) \frac{p_X(V_i)}{h(V_i)} \quad 2. 29$$

Une approximation du point de conception Fig. 1.2 est tout d'abord construite en effectuant par exemple quelques tirages et en ne retenant que le point appartenant au domaine

de défaillance le plus proche de l'origine de l'espace normé .Ensuite, la densité du tirage d'importance $h(x)$ peut être estimée et centrée en ce point .C'est alors qu'un tir de précision peut être réalisé .Notons cependant que de nombreux problèmes se posent lorsque la dimension de l'espace augmente. En effet, le nombre de tirages nécessaires à une bonne estimation de la probabilité de défaillance croît essentiellement avec la dimension .Cela est bien entendu, à relier avec le fait que, pour un nombre de tirage fixé, lorsque la dimension de l'espace physique augmente, la densité de tirage chute. Autrement dit, la densité de tirage reflète la quantité d'information contenue dans leur réponse.

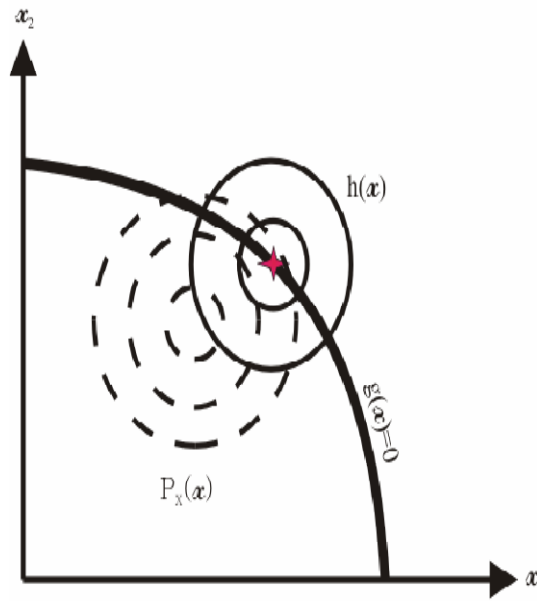


Figure 2. 3: Tirages importance

2.7.1.3.3 Tirage directionnel

Le fondement du tirage directionnel [Melchers1999] [15] réside dans la notion de probabilité conditionnelle En effet l'équation 2.1 peut être mise sous la forme suivant 2. 30 dans la quelle Ω_d , A et R représentent respectivement l'hyper sphère unitaire centrée en l'origine de l'espace normé de dimension d, un vecteur aléatoire unitaire dont les réalisations sont choisies uniformément depuis le centre de Ω_d vers l'extérieur et enfin, la solution de l'équation :

$$g_{R.A}(r a) = 0 \quad 2. 30$$

$$P_f = \int_{a \in \Omega_d} p(g_{R.A}(r a_i) \leq 0) p_A(a) da$$

Ainsi la probabilité de défaillance peut être approchée par l'estimateur 2.30

$$P_f \simeq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p(g_{R.A}(r a_i) \leq 0) \quad 2. 31$$

Il est à noter que la densité du tirage d'importance peut être utilisée avec le tirage directionnel. En effet, dans un tel cas, la densité en question n'est pas située au voisinage du point de conception mais dirigée vers lui Fig. 1.3. Comme la densité n'est pas placée sur le point de conception, elle ne peut donc être considérée comme optimale en ce sens. Cela a le mérite d'atténuer le problème d'augmentation exponentielle du nombre de tirages avec la dimension. Toutefois, la résolution de l'équation $g(r\alpha)=0$ peut devenir complexe dans le cas d'un état limite implicite

Au terme de cette brève présentation, nous pouvons affirmer que ces méthodes permettent de ne pas faire l'hypothèse d'une forme particulière de la fonction d'état limite. En effet, seul le signe de la fonction de performance est nécessaire à la conduite d'un calcul. Ainsi les difficultés liées à la présence de formes particulières de la fonction d'état limite, comme par exemple de fortes non linéarités ou courbures, ne sont pas pénalisantes pour l'application des méthodes Monte-Carlo. Cependant, l'obtention de résultats pertinents nécessite un lourd coût de calcul du, essentiellement, au fait qu'aucune expression analytique de la fonction d'état limite n'entre en jeu. Pour remédier à cette difficulté, la construction d'une approximation de la fonction d'état limite est nécessaire.

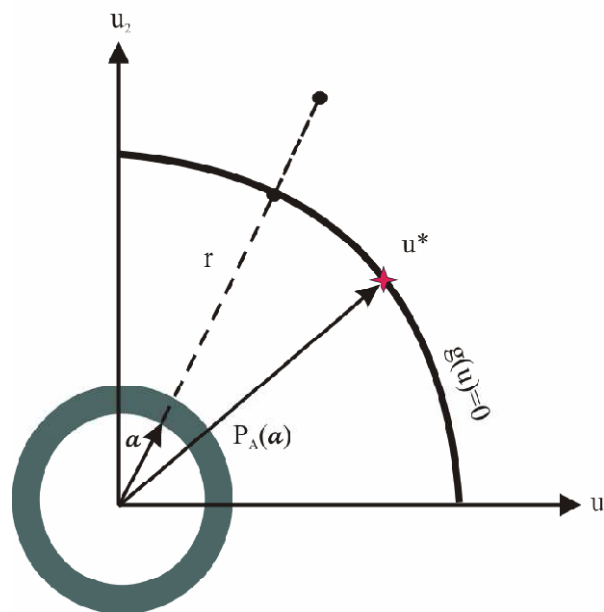


Figure 2. 4: tirage directionnel

2.8. EVALUATION DE LA PROBABILITE DE DEFAILLANCE DES SYSTEMES

Un système est défini comme un ensemble de mécanismes de défaillance dépendant de l'état de chacun de ces composants constitutifs. Rappelons qu'un mécanisme de défaillance est un sous ensemble d'élément qui, ayant tous défailli, entraînent la défaillance du système. Il est donc possible d'avoir plusieurs combinaisons pour atteindre la défaillance d'un système. Les principales combinaisons sont [Cremona, 2005a] [5]

- Combinaison série,
- Combinaison parallèle,
- Combinaison série de combinaisons parallèles,
- Combinaison parallèle de combinaisons séries.

2.8.1 Combinaisons série

Un système formé de n événements M_i de probabilité $P(M_i)$, est un système en série si l'occurrence d'un seul événement entraîne la défaillance du système, (principe du maillon faible) Fig 2.5. La probabilité de défaillances du système, p_f , est alors la probabilité de l'union des événements de défaillance :

$$P_f = p(\cup_{i=1}^n M_i) \quad 2.32$$

Dans le cas un système constitué de deux événements de défaillance, l'équation 2.33 s'écrit comme suit :

$$P_f = P(M_1) + P(M_2) - P(M_1 \cap M_2) \quad 2.33$$

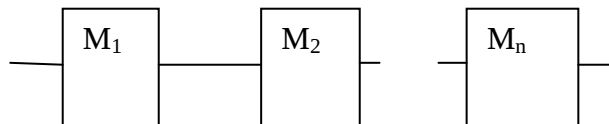


Figure 2.5 : Schéma d'un système en série

Il apparaît que la formulation en système en série ressemble à celle des modes de défaillance dans le quel, chaque mode de défaillance M_i est représenté par un état limite $G_i(X)=0$ dans l'espace des variables de bases la probabilité de défaillance P_f d'un système en série selon l'équation 2.1 donnée par :

$$P_f = \int_{D \in X} f_X(x) dx \quad 2.34$$

Où X le vecteur des variables de base et D le domaine de défaillance du système la Fig. 2.5 illustre l'expression 2.33 dans le cas de deux variables aléatoires

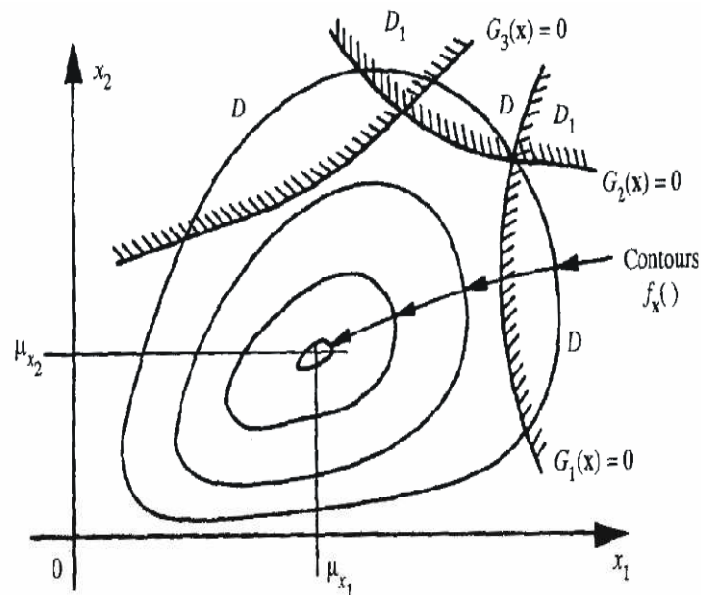


Figure 2.6: Système de base en fiabilité avec deux variables aléatoires d'après
[Melcher,1999] [15]

2.8.2 Combinaison parallèle

Un système formé de n les événements M_i , de probabilité $P(M_i)$ est un système en parallèle ou redondant si l'occurrence de la défaillance de tous les événements est nécessaire pour atteindre la défaillance du système Fig 2.7 .La probabilité de défaillance du système P_f est alors la probabilité des intersections des événements de défaillance.

$$P_f = P(\cap_{i=1}^n M_i) \quad 2.35$$

Dans le cas un système constitué de deux événements de défaillance, l'équation 2.37 s'écrit comme :

$$P_f = P(M_i) \times P\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$$

2.36

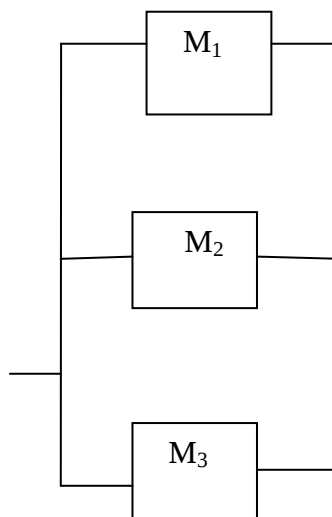


Figure 2.7: Schéma d'un système parallèle

La probabilité de défaillance P_f du système en parallèle selon l'équation 2.1 donnée par

$$P_f = \int_{D_1 \in X} f_X(x) dx \quad 2.37$$

Où D_1 est le domaine formé par les intersections présenté dans la Fig. 2.5. Cela montre que la défaillance d'un système parallèle est possible si tous ses événements constitutifs M_i ont atteint leurs limites $G_i(\{x\})=0$.

2.9 BORNES

Des approximations de la probabilité de défaillance P_f d'un système ont été développées pour obtenir rapidement des estimations : ces approximations ont généralement des couts de mise en œuvre très inférieurs à ceux des méthodes de simulations [Cremona, 2005 b][6] ces bornes sont souvent dérivées de la formule de Poincaré :

$$p_f = \sum_{i=1}^m p(M_i) - \sum_{j=2}^m \sum_{i=1}^{j-1} p(M_i \cap M_j) + \dots + (-1)^m p(M_1 \cap M_2 \cap \dots \cap M_m) \quad 2.38$$

Où $(E_i \cap E_j)$ est l'occurrence de la défaillance dans les deux modes i et j du système

2.9.1 Bornes du premier ordre ou bornes simples –systèmes en série

De telles bornes ne font intervenir que les probabilités des modes de défaillance seules.

$$\max_{1 \leq i \leq m} (p_{fi}) \leq p_{f,s} \leq 1 - \prod_{i=1}^m [1 - p_{fi}] \approx \sum_{i=1}^m p_{fi} \quad 2.39$$

Le terme de gauche correspond au cas d'une corrélation parfaite entre les événements (modes de défaillance). Le terme de droite est une approximation du cas où les modes de défaillance sont statistiquement indépendants. Cela montre que la probabilité de défaillance d'un système en série augmente d'une part avec le nombre des modes de défaillance et d'autre part est fortement conditionnée par l'élément le plus faible (principe du maillon faible).

2.9.2 Bornes du premier ordre ou bornes simples –systèmes en parallèle

La probabilité de défaillance d'un système en parallèle est encadrée par :

$$\prod_{i=1}^m p_{f,i} \leq p_{f,s} \leq \min_{1 \leq i \leq m} (p_{f,i}) \quad 2.40$$

Le terme de droite correspond au cas d'une corrélation parfaite entre les modes de défaillance du système et le terme de gauche correspond au cas où les modes de défaillance sont statistiquement indépendants.

Comme le montrent les équations 2.41, 2.42, dans de nombreuses situations pratiques, ces bornes sont trop éloignées pour être utiles.

2.9.3 Bornes du second ordre - Bornes de Ditlevsen

Ces bornes sont définies en retenant les probabilités des intersections de deux événements, $P(G_i(\{x\}) < 0 \cap G_j(\{X\}) < 0)$. En développant l'équation 2.38 il est possible d'observer que des singes alternés sont utilisés dans les termes. Cette caractéristique a été retenue par [Ditlevsen 1979], pour proposer la borne inférieure suivante :

$$p_{f,s} \geq p_{f,i} + \sum_{i=2}^m \max \{0, [p_{f,i} - \sum_{j=1}^{i-1} p(G_i(\{X\}) < 0 \cap G_j(\{X\}) < 0)]\} \quad 2.41$$

Il a également proposé la borne supérieure suivante :

$$p_{f,s} \leq \sum_{i=1}^m p_{f,i} + \sum_{i=2}^m \max_{j < i} p(G_i(\{X\}) < 0 \cap G_j(\{X\}) < 0) \quad 2.42 \quad [8]$$

2.10. LES LOINS

2.10.1 Fonctions utiles [18]

Constante d'Euler	$C=0.577215664$
Densité gaussienne (ou normale)	$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{x^2}{2})$
Fonction de répartition gaussienne (ou normale)	$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \varphi(u) du$
Fonction Erreur	$\text{erf}(x) = 2\Phi(x\sqrt{2}) - 1$
Fonction Gamma complète	$\Gamma(k) = \int_0^{+\infty} t^{k-1} \exp(-t) dt$
Fonction Béta complète	$\beta(r, t) = \int_0^{+\infty} x^{r-1} (1-x)^{t-1} dx = \frac{\Gamma(r) \times \Gamma(t)}{\Gamma(r+t)}$

2.10.2 Loïs de distribution ou de probabilité

Plusieurs dizaines de fonctions mathématiques peuvent répondre aux critères de définition d'une densité de probabilité $f_x()$ d'une variable scalaire :

-La fonction de répartition $F_X() = \text{prob}(X < x)$ est l'intégrale sur $]-\infty, x[$ ou sur $[0, x]$ si le domaine est borné inférieurement par a de la densité de probabilité, avec $0 \leq F_X(X) \leq 1$

-L'intégration de la densité de probabilité sur tout le domaine de définition de la variable est égale à l'unité [16].

2.10.2.1 Loi Normale

Fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \varphi\left(\frac{x-m}{\sigma}\right) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad 2.44$$

Fonction de répartition

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x-m}{\sigma}\right) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}\right) dt \quad 2.45$$

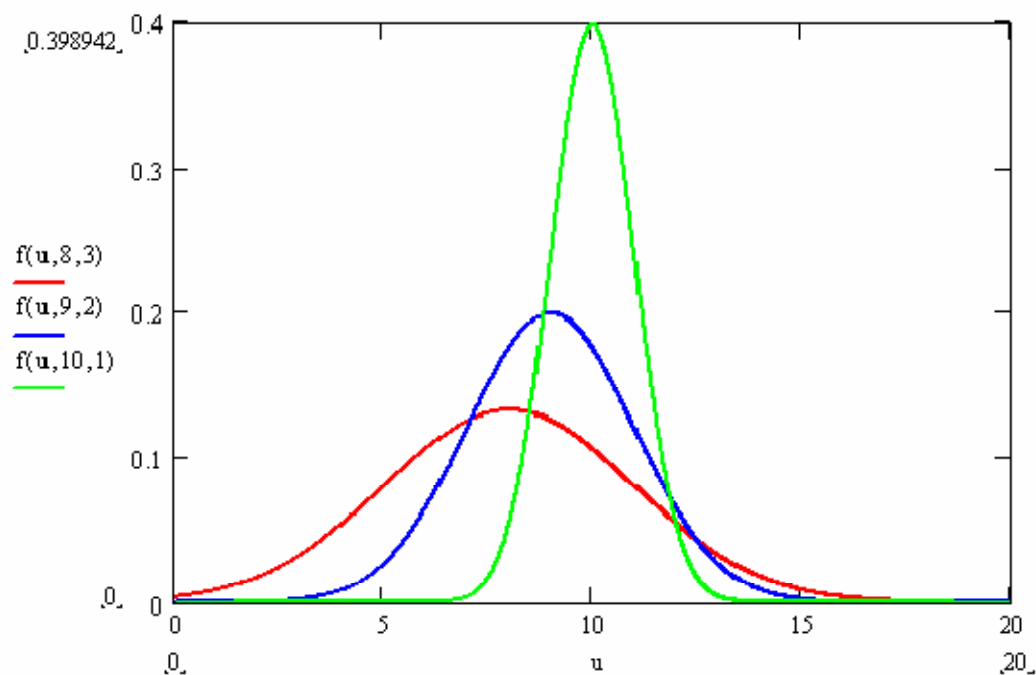
Informations générales

Domaine de validité	$-\infty \leq x \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$\sigma > 0$
Moyenne	M
Ecart-type	σ
Paramètres internes de la loi	$met\sigma$

Données d'entrées

Données d'entrées			
Jeu de paramètres	Paramètres		
	Restriction		
Moy & Ecarttype	Moyenne	m	
	Ecart-Type	σ	> 0
Moy & coeff variation	Moyenne	m	$\neq 0$
	Coefficient de variation	$\frac{\sigma}{ m }$	> 0

Représentations graphiques



Densité normale : N(8,3), N(9,2) et N (10,2)

3.10.2.2 Loi Log –Normale

Fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \frac{1}{(x-\tau)\sigma_y} \varphi\left(\frac{\ln(x-\tau)-m_y}{\sigma_y}\right) \quad 2.46$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}(x-\tau)\sigma_y} \exp\left(-\frac{(\ln(x-\tau)-m_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

Fonctions de répartition

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x-\tau)-m_y}{\sigma_y}\right) \quad 2.47$$

$$= \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}x\sigma_y} \exp\left(-\frac{(\ln(t)-m_y)^2}{2\sigma_y^2}\right) dt$$

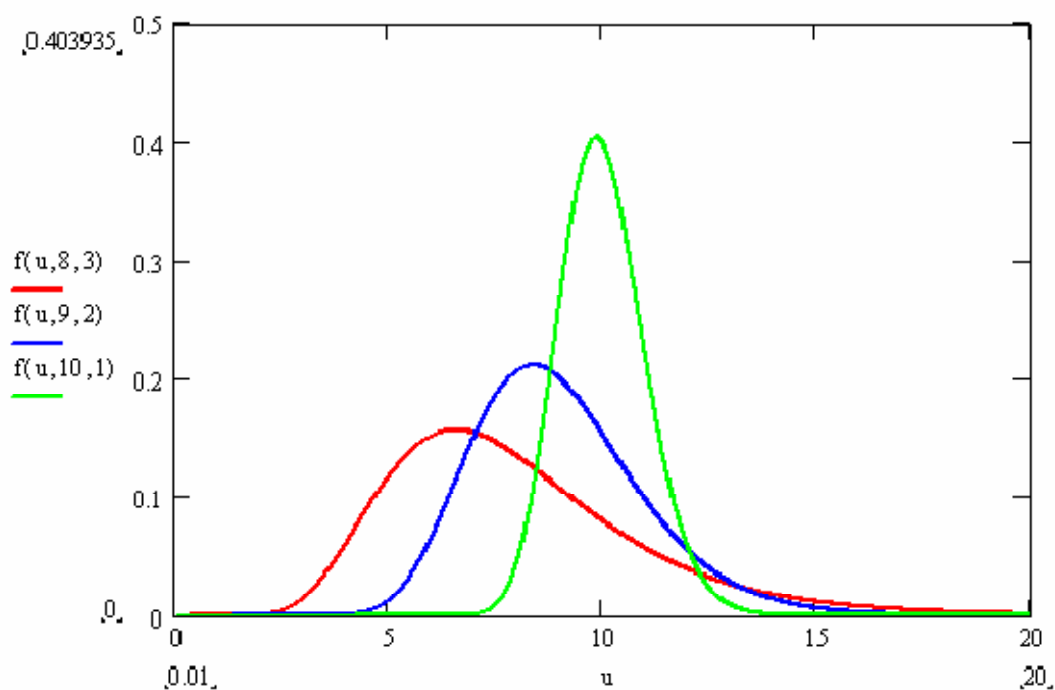
Informations générales

Domaine de validité	$0 \leq x \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$\begin{cases} m_y > 0 \\ \sigma_y > 0 \end{cases}$
Moyenne	$m_x = \exp\left(m_y + \frac{\sigma_y^2}{2}\right) + \tau$
Ecart-type	$\sigma_x = \exp\left(m_y + \frac{\sigma_y^2}{2}\right) \sqrt{\exp(\sigma_y^2) - 1}$
Paramètre internes de la loi	$m_y = \ln\left(\frac{(mx-\tau)^2}{\sqrt{(mx-\tau)^2 + \sigma_y^2}}\right)$ $\sigma_y = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{\sigma_x^2}{(mx-\tau)^2}\right)}$

Données d'entrées

Données d'entrées			
Jeu de paramètres	Paramètres	Restrictions	
Moy, Ecart –Type, Lim Inf.	Moyenne	m_x	
	Ecart-type	σ_x	$> \tau$
	Limite inferieure	τ	> 0
Moy, Coeff variation, Lim Inf.	Moyenne	m_x	
	Coefficient de variation	$\frac{\sigma_x}{ m_x }$	$> \tau$
	Limite inferieure	τ	> 0
Sing, Mu, Lim Inf.	Sing Y	σ_y	
	Mu Y	μ_y	> 0
	Limite inferieure	τ	

Représentation graphique



Densités log normale : LN (8,3), LN (9,2) et LN (10 ,1)

CHAPITRE III
CALCUL FIABILISTE D'UN CADRE
SIMPLE

3 CALCUL FIABILISTE D'UN CADRE SIMPLE

3.1 INTRODUCTION

Ce chapitre représente le calcul de l'indice de fiabilité en fonction du rapport $\lambda=L/h$, du rapport $\Omega =H/V$ et la résistance limite d'écoulement pour les deux lois de variation et la probabilité de défaillance d'un système série.

3.2 DIMENSIONNEMENT

3.2.1 Les actions agissent sur le portique

$$G=6\text{kn}/m^2, \quad Q=1\text{ kn}/m^2$$

3.2.2 Le choix des dimensions

$L=h$, HEA 220 (poutre), HEA 240 (poteau), pour Les zones 1, 2 et 3.

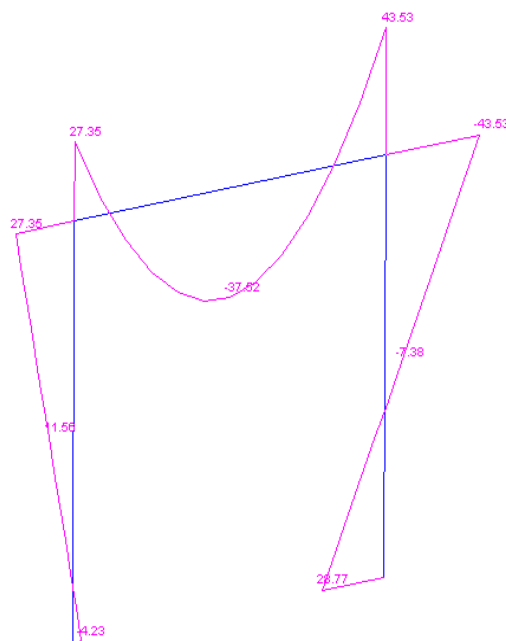
$L=1.5h$, HEA 260 (poutre), HEA 280 (Poteau), pour Les zones 1, 2 et 3.

$L=2h$, HEA 450 (poutre), HEA 500 (poteau), pour Les zones 1, 2 et 3.

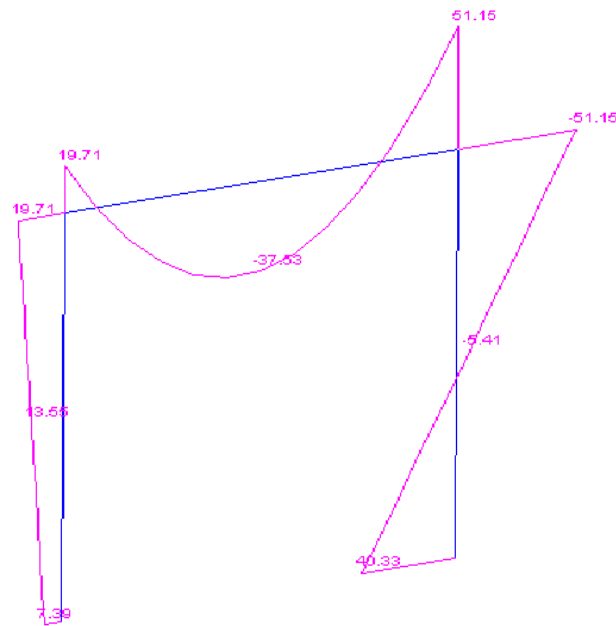
3.2.3 Diagramme des moments fléchissant de la combinaison G+Q+E

Les diagrammes des moments fléchissant aux dessous sont obtenus après l'application du logiciel de STAAD.

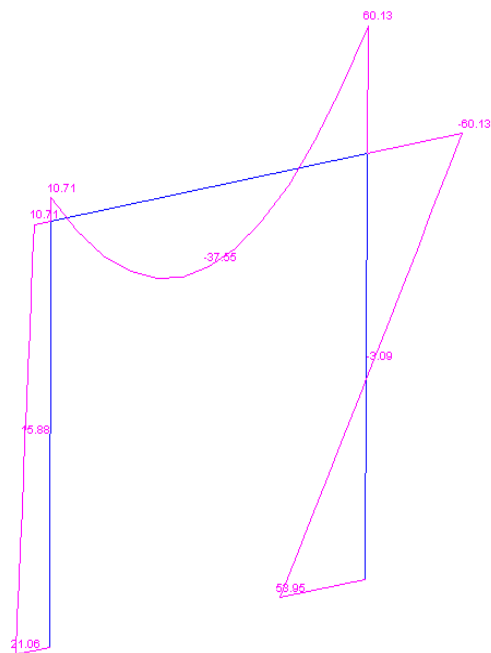
- $L=h$, La zone 1: $V_1= 10.18\text{ KN}$



- La zone 2 : $V_2=19.79$ kN

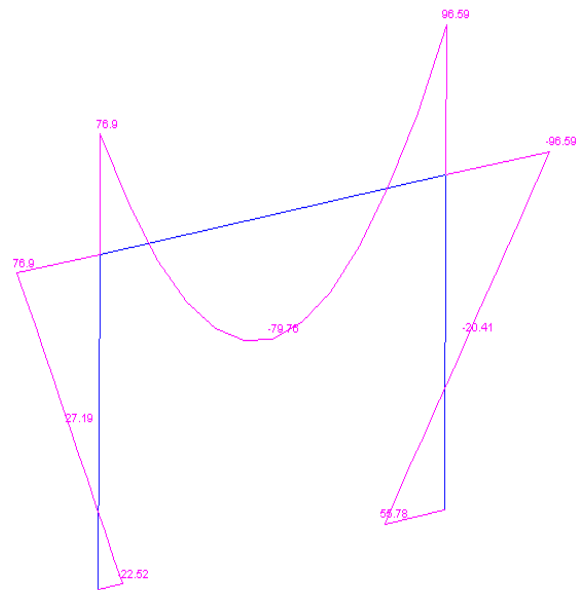


- La zone 3 : $V_3=31.11$ kN

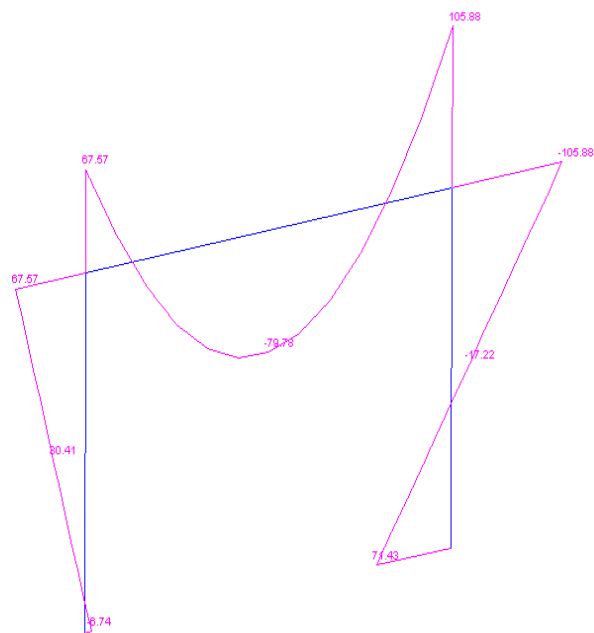


$$L=1.5 h$$

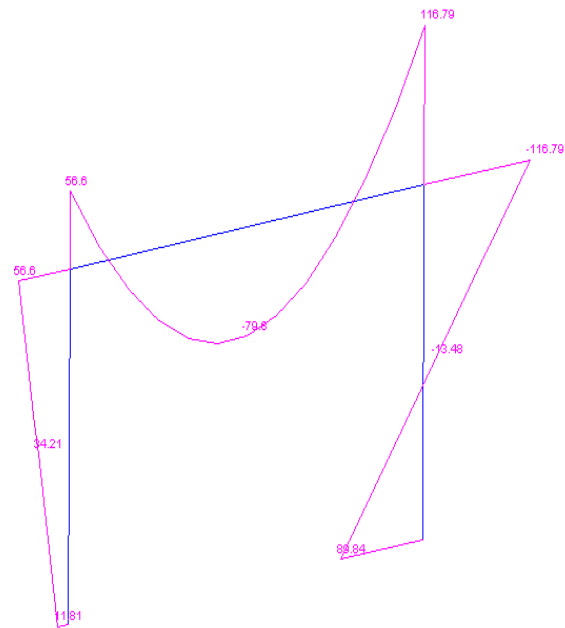
- La zone 1: $V_1=13.24$ KN



- La zone 2: $V_2=25.75$ KN

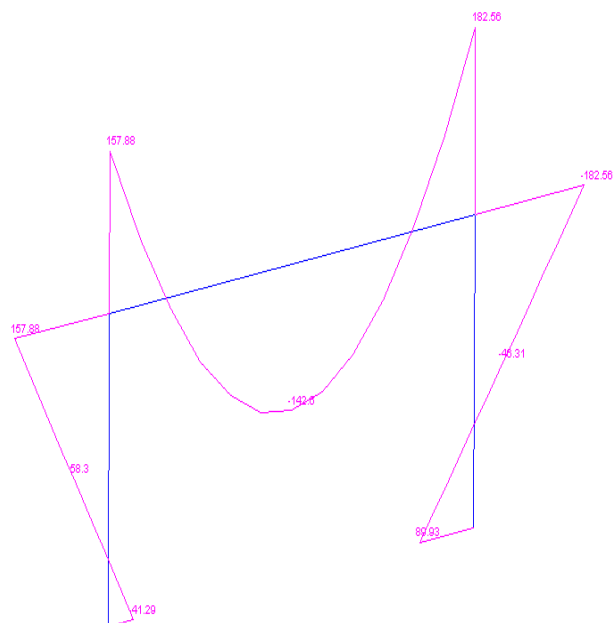


- La zone 3 : $V_3=40.46\text{KN}$

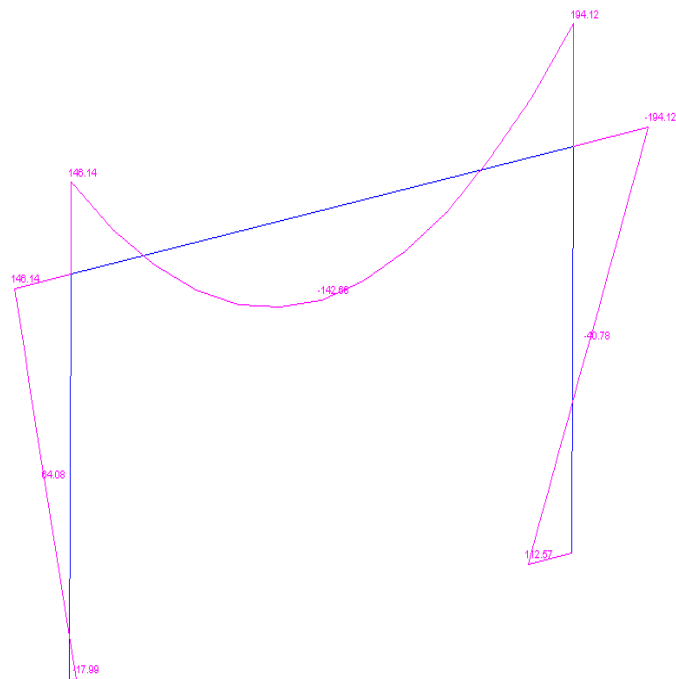


$l=2h,$

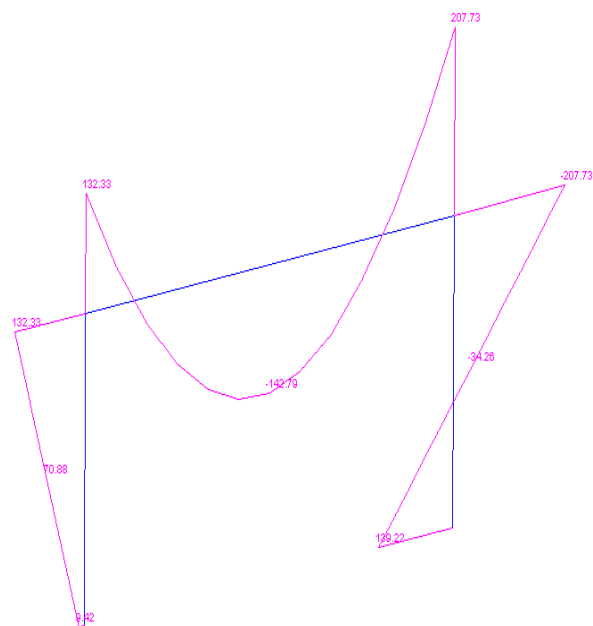
- La zone 1: $V_1=18.33\text{ KN}$



- La zone 2 : $V_2=35.64$ KN



- La zone 3 : $V_3=56.01$ KN



3.3 CALCUL FIABILISTE

3.3.1 Mécanismes de rupture

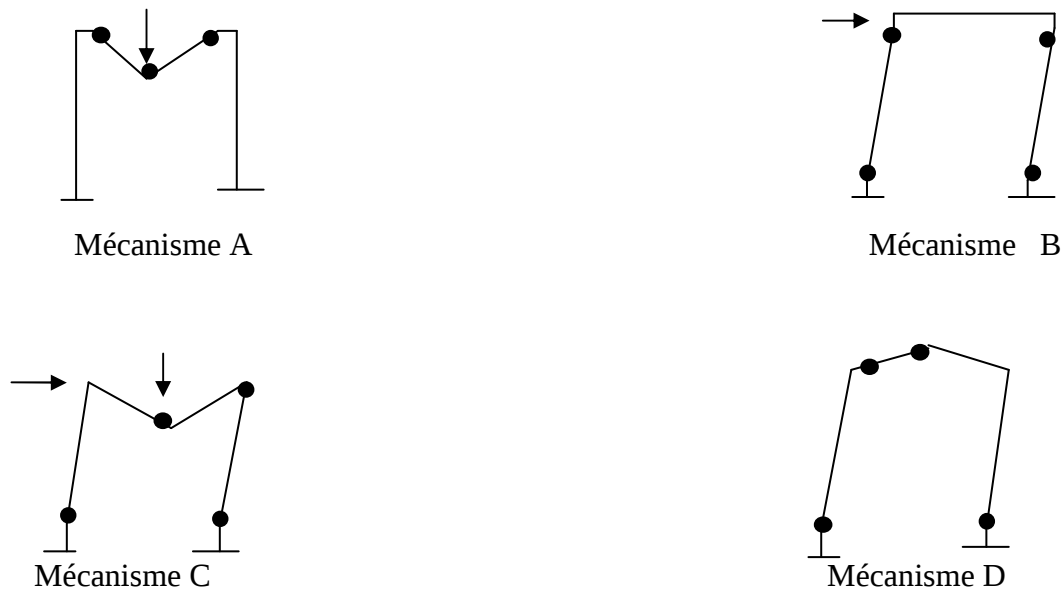


Figure 3. 1: Portique et mécanisme de défaillance

Les équations régissant ces mécanismes de rupture sont alors décrits de la manière suivante :

L = h

▪ **Zone 1**

$$\text{Mécanisme (A) : } m_2 + 2m_3 + m_4 - 140 \quad 3.1a$$

$$\text{Mécanisme (B) : } m_1 + m_2 + m_4 + m_5 - 40.72 \quad 3.2a$$

$$\text{Mécanisme (C) : } m_1 + 2m_3 + 2m_4 + m_5 - 180.72 \quad 3.3 a$$

$$\text{Mécanisme (D) : } m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_5 - 99.28 \quad 3.4a$$

▪ **Zone 2**

$$\text{Mécanisme (A) : } m_2 + 2m_3 + m_4 - 140 \quad 3.1b$$

$$\text{Mécanisme (B) : } m_1 + m_2 + m_4 + m_5 - 79.16 \quad 3.2b$$

$$\text{Mécanisme (C) : } m_1 + 2m_3 + 2m_4 + m_5 - 219.16 \quad 3.3b$$

$$\text{Mécanisme (D) : } m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_5 - 64.84 \quad 3.4b$$

▪ **Zone 3**

Mécanisme (A) : $m_2+2m_3+m_4$ -140	3.1c
Mécanisme (B) : $m_1+m_2+m_4+m_5$ -124.44	3.2c
Mécanisme (C) : $m_1+2m_3+2m_4+m_5$ -264.44	3.3c
Mécanisme (D) : $m_1+2m_2+2m_3+m_5$ -15.56	3.4c

L = 1.5 h**▪ Zone 1**

Mécanisme (A) : $m_2+2m_3+m_4$ -315	3.1d
Mécanisme (B) : $m_1+m_2+m_4+m_5$ -52.96	3.2d
Mécanisme (C) : $m_1+2m_3+2m_4+m_5$ -367.96	3.3d
Mécanisme (D) : $m_1+2m_2+2m_3+m_5$ -262.04	3.4d

▪ Zone 2

Mécanisme (A) : $m_2+2m_3+m_4$ -315	3.1e
Mécanisme (B) : $m_1+m_2+m_4+m_5$ -103.00	3.2e
Mécanisme (C) : $m_1+2m_3+2m_4+m_5$ -418	3.3e
Mécanisme (D) : $m_1+2m_2+2m_3+m_5$ -212 .	3.4e

▪ Zone 3

Mécanisme (A) : $m_2+2m_3+m_4$ -315	3.1f
Mécanisme (B) : $m_1+m_2+m_4+m_5$ -161.84	3.2f
Mécanisme (C) : $m_1+2m_3+2m_4+m_5$ -476.84	3.3f
Mécanisme (D) : $m_1+2m_2+2m_3+m_5$ -153.16	3.4f

L = 2 h**▪ Zone 1**

Mécanisme (A) : $m_2+2m_3+m_4$ -560	3.1g
Mécanisme (B) : $m_1+m_2+m_4+m_5$ - 73.32	3.2g
Mécanisme (C) : $m_1+2m_3+2m_4+m_5$ - 633.32	3.3 g
Mécanisme (D) : $m_1+2m_2+2m_3+m_5$ - 486.68	3.4g

▪ Zone 2

Mécanisme (A) : $m_2+2m_3+m_4$ -560	3.1h
Mécanisme (B) : $m_1+m_2+m_4+m_5$ - 142.59	3.2h
Mécanisme (C) : $m_1+2m_3+2m_4+m_5$ - 702.56	3.3 h

Mécanisme (D) : $m_1+2m_2+2m_3+m_5$ - 417.44 3.4h

▪ **Zone 3**

Mécanisme (A) : $m_2+2m_3+m_4$ -560 3.1k

Mécanisme (B) : $m_1+m_2+m_4+m_5$ - 224.04 3.2k

Mécanisme (C) : $m_1+2m_3+2m_4+m_5$ - 784.04 3.3 k

Mécanisme (D) : $m_1+2m_2+2m_3+m_5$ - 335.5 3.4k

3.3.2 Analyse de fiabilité d'un portique simple

3.3.2.1 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de γ pour loi normale

Les tableaux ci-dessous montrent les résultats des calculs en utilisant une loi normale pour l'indice de fiabilité et la pour probabilité de défaillance, avec un coefficient de variation de 10 % et 20%.

$$\beta = \frac{\mu_r - \mu_s}{\sqrt{\sigma_r^2 - \sigma_s^2}} \quad 3.5$$

γ : rapport moment poteau sur poutre=1.1-1.5

M_c : Moment plastique du poteau.

M_b : Moment plastique de la poutre.

μ_r : Moment de résistance.

μ_s : Moment de sollicitation.

σ_s : L'écart type de sollicitation.

σ_r : L'écart type de résistance.

C_v : Coefficient de variation.

Tableau 3. 1: β en fonction de $\gamma=1.1$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94$ kn.m et $M_b=144.49$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_f^s
01	A	140	577.96	10.18	70	6.81	9.70×10^{-12}	$9.7 \times 10^{-12} \leq p_f^s \leq 9.82 \times 10^{-12}$
	B	40.72	635.76			9.28	3.19×10^{-20}	
	C	180.72	895.84			7.40	1.20×10^{-13}	
	D	99.28	895.84			8.68	4.54×10^{-18}	
02	A	140	577.96	19.79	70	6.81	9.70×10^{-12}	$9.7 \times 10^{-12} \leq p_f^s \leq 1.92 \times 10^{-11}$
	B	79.16	635.76			8.49	3.02×10^{-17}	
	C	219.16	895.84			6.78	9.49×10^{-12}	
	D	60.84	895.84			9.23	3.28×10^{-20}	
03	A	140	577.96	31.11	70	6.81	9.70×10^{-12}	$9.45 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 9.55 \times 10^{-10}$
	B	124.44	635.76			7.48	8.07×10^{-14}	
	C	264.44	895.84			6.06	9.45×10^{-10}	
	D	15.56	895.84			9.82	9.85×10^{-23}	

Tableau 3. 2: β en fonction de $\gamma=1.2$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94$ kn.m, $M_b=132.45$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	140	529.80	10.18	70	6.50	8.13×10^{-11}	$8.13 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 8.18 \times 10^{-11}$
	B	40.72	635.76			9.28	3.19×10^{-20}	
	C	180.72	847.68			7.23	4.05×10^{-13}	
	D	99.28	847.68			8.59	9.79×10^{-18}	
02	A	140	529.80	19.79	70	6.50	8.13×10^{-11}	$8.13 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 1.18 \times 10^{-10}$
	B	79.16	635.76			8.49	3.02×10^{-17}	
	C	219.16	847.68			6.58	3.68×10^{-11}	
	D	60.84	847.68			9.18	5.44×10^{-20}	
03	A	140	529.80	31.11	70	6.50	8.13×10^{-11}	$3.87 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 3.95 \times 10^{-9}$
	B	124.44	635.76			7.48	8.07×10^{-14}	
	C	264.44	847.68			5.83	3.87×10^{-9}	
	D	15.56	847.68			9.80	1.61×10^{-22}	

Tableau 3. 3: β en fonction de $\gamma=1.3$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94$ kn.m $M_b=122.26$ K n.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	140	489.04	10.18	70	6.19	6.01×10^{-10}	$6.01 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 6.02 \times 10^{-10}$
	B	40.72	635.76			9.28	3.19×10^{-20}	
	C	180.72	806.92			7.08	1.28×10^{-12}	
	D	99.28	806.92			8.51	2.02×10^{-17}	
02	A	140	489.04	19.79	70	6.19	6.01×10^{-10}	$6.01 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 7.25 \times 10^{-10}$
	B	79.16	635.76			8.49	3.02×10^{-17}	
	C	219.16	806.92			6.40	1.24×10^{-10}	
	D	60.84	806.92			9.14	8.63×10^{-20}	
03	A	140	489.04	31.11	70	6.19	6.01×10^{-10}	$1.35 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 1.41 \times 10^{-8}$
	B	124.44	635.76			7.48	8.07×10^{-14}	
	C	264.44	806.92			5.62	1.35×10^{-8}	
	D	15.56	806.92			9.79	1.87×10^{-22}	

Tableau 3. 4: β en fonction de $\gamma=1.4$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94$ kn.m, $M_b=113.52$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	140	454.08	10.18	70	5.88	3.91×10^{-9}	$3.91 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 3.91 \times 10^{-9}$
	B	40.72	635.76			9.28	3.19×10^{-20}	
	C	180.72	771.96			6.93	3.64×10^{-12}	
	D	99.28	771.96			8.43	3.98×10^{-17}	
02	A	140	454.08	19.80	70	5.88	3.91×10^{-9}	$3.91 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 4.29 \times 10^{-9}$
	B	79.16	635.76			8.49	3.02×10^{-17}	
	C	219.16	771.96			6.22	3.79×10^{-10}	
	D	60.84	771.96			9.09	1.33×10^{-19}	
03	A	140	454.08	31.11	70	5.88	3.91×10^{-9}	$3.91 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 4.55 \times 10^{-8}$
	B	124.44	635.76			7.48	8.07×10^{-14}	
	C	264.44	771.96			5.42	4.16×10^{-8}	
	D	15.56	771.96			9.79	2.17×10^{-22}	

Tableau 3. 5: β en fonction de $\gamma=1.5$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94\text{kn.m}$, $M_b=105.96\text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_f^s
01	A	140	423.80	10.18	70	5.58	2.23×10^{-8}	$2.23 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 2.23 \times 10^{-8}$
	B	40.72	635.76			9.28	3.20×10^{-20}	
	C	180.72	741.68			6.79	9.52×10^{-12}	
	D	99.28	741.68			8.36	7.55×10^{-17}	
02	A	140	423.80	19.79	70	5.58	2.23×10^{-8}	$2.23 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 2.33 \times 10^{-8}$
	B	79.16	635.76			8.49	3.03×10^{-17}	
	C	219.16	741.68			6.06	1.05×10^{-9}	
	D	60.84	741.68			9.05	2.01×10^{-19}	
03	A	140	423.80	31.11	70	5.58	2.23×10^{-8}	$2.23 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 1.36 \times 10^{-7}$
	B	124.44	635.76			7.48	8.08×10^{-14}	
	C	264.44	741.68			5.23	1.13×10^{-7}	
	D	15.56	741.68			9.78	2.48×10^{-22}	

Commentaire

La figure 3.2 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente et l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme A, $l=h$.

La figure 3.3 montre que l'indice de fiabilité β reste constante des zones 1,2 et 3 même si γ augmente mais β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme B, $l=h$.

La figure 3.4 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme C, $l=h$.

La figure 3.5 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 3 est supérieur à celui des zones 1 et 2 pour le mécanisme D, $l=h$.

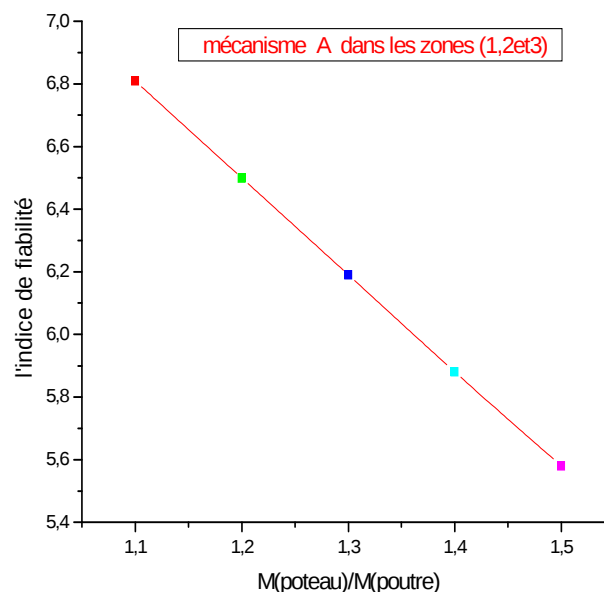
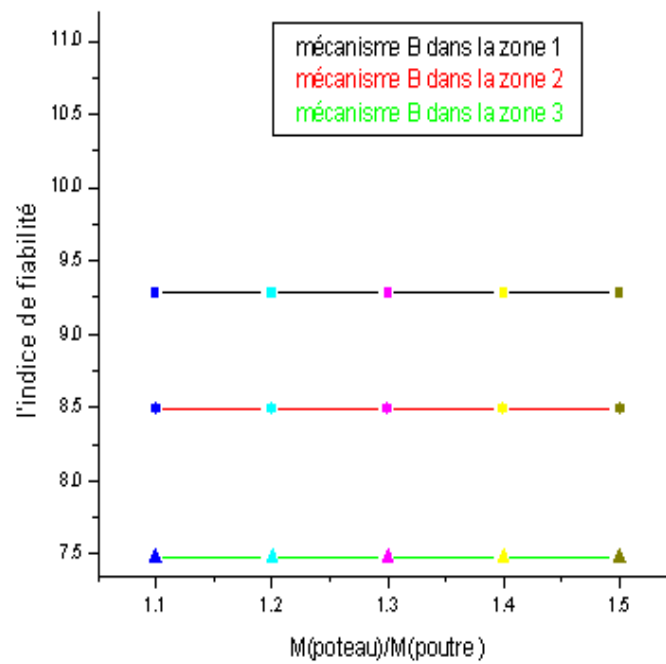
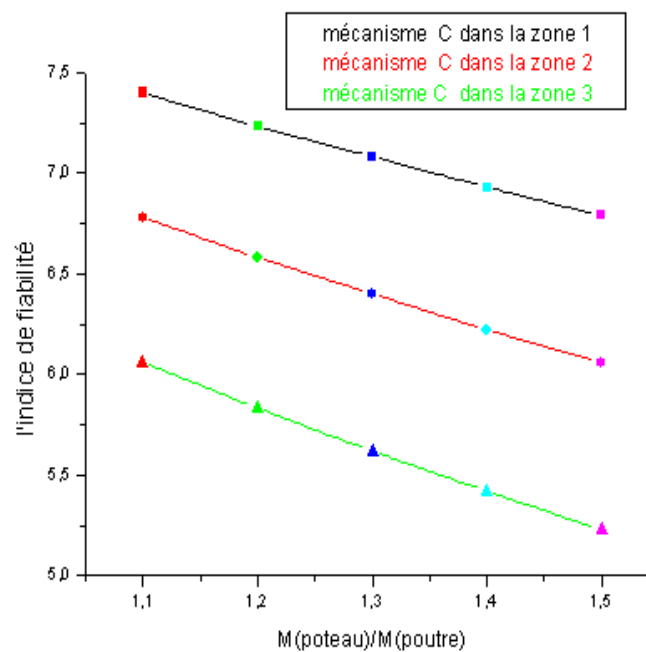
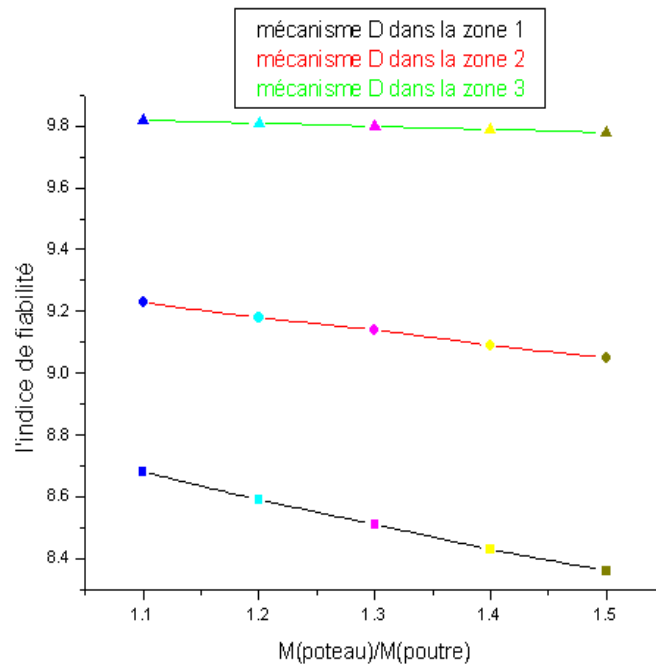


Figure 3. 2: β en fonction de γ du mécanisme AFigure 3. 3: β en fonction de γ du mécanisme BFigure 3. 4: β en fonction de γ du mécanisme C

Figure 3. 5: β en fonction de γ du mécanisme DTableau 3. 6: β en fonction de $\gamma=1.1$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=237.56$ kn.m, $M_b=215.96$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	863.84	13.24	105	5.13	1.90×10^{-7}	$1.90 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 1.90 \times 10^{-7}$
	B	52.96	950.24			9.38	8.06×10^{-21}	
	C	367.96	1338.96			6.35	1.39×10^{-10}	
	D	262.04	1338.96			7.48	5.21×10^{-14}	
02	A	315	864.84	25.75	105	5.13	1.90×10^{-7}	$1.9 \times 10^{-7} \leq p_f^s \leq 1.93 \times 10^{-7}$
	B	103.	950.24			8.71	3.27×10^{-18}	
	C	418.	1338.96			5.83	3.46×10^{-9}	
	D	212	1338.96			8.02	8.27×10^{-16}	
03	A	315	864.84	40.46	105	5.13	1.90×10^{-7}	$1.9 \times 10^{-7} \leq p_f^s \leq 2.86 \times 10^{-7}$
	B	161.84	950.24			7.85	3.82×10^{-15}	
	C	476.84	1338.96			5.24	9.63×10^{-8}	
	D	153.16	1338.96			8.63	5.24×10^{-18}	

Tableau 3. 7: β en fonction $\gamma=1.2$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=237.56$ kn.m, $M_b=197.96$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	791.84	13.24	105	4.71	1.60×10^{-6}	$1.60 \times 10^{-6} \leq p_f^s \leq 1.6 \times 10^{-6}$
	B	52.96	950.24			9.38	8.06×10^{-21}	
	C	367.96	1266.96			6.13	5.65×10^{-10}	
	D	262.04	1266.96			7.32	1.75×10^{-13}	
02	A	315	791.84	25.75	105	4.71	1.60×10^{-6}	$1.60 \times 10^{-6} \leq p_f^s \leq 1.61 \times 10^{-6}$
	B	103.	950.24			8.71	3.27×10^{-18}	
	C	418.	1266.96			5.59	1.42×10^{-8}	
	D	212	1266.96			7.89	2.34×10^{-15}	
03	A	315	791.84	40.46		4.71	1.60×10^{-6}	
	B	161.84	950.24			7.85	3.69×10^{-28}	

	C	476.84	1266.96		105	4.98	3.83×10^{-7}	$1.60 \times 10^{-6} \leq p_f^s \leq 1.98 \times 10^{-6}$
	D	153.16	1266.96			8.54	1.14×10^{-17}	

Tableau 3. 8: β en fonction de $\gamma=1.3$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=237.56$ kn.m, $M_b=182.74$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	730.96	13.24	105	4.31	1.04×10^{-5}	$1.04 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 1.04 \times 10^{-5}$
	B	52.96	950.24			9.38	8.06×10^{-21}	
	C	367.96	1206.08			5.93	1.98×10^{-9}	
	D	262.04	1206.08			7.17	5.33×10^{-13}	
02	A	315	730.96	25.75	105	4.31	1.04×10^{-5}	$1.04 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 1.05 \times 10^{-5}$
	B	103.	950.24			8.71	3.27×10^{-18}	
	C	418.	1206.08			5.37	4.97×10^{-8}	
	D	212	1206.08			7.77	6.15×10^{-15}	
03	A	315	730.96	40.46	105	4.31	1.04×10^{-5}	$1.04 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 1.17 \times 10^{-5}$
	B	161.84	950.24			7.85	3.81×10^{-15}	
	C	476.84	1206.08			4.74	1.27×10^{-6}	
	D	153.16	1206.08			8.46	3.39×10^{-17}	

Tableau 3. 9: β en fonction de $\gamma=1.4$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=237.56$ kn.m, $M_b=169.68$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	678.72	13.24	105	3.92	5.41×10^{-5}	$5.41 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 5.41 \times 10^{-5}$
	B	52.96	950.24			9.38	8.06×10^{-21}	
	C	367.96	1153.84			5.74	6.14×10^{-9}	
	D	262.04	1153.84			7.03	1.48×10^{-12}	
02	A	315	678.72	25.75	105	3.92	5.41×10^{-5}	$5.41 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 5.43 \times 10^{-5}$
	B	103.	950.24			8.71	3.27×10^{-18}	
	C	418.	1153.84			5.16	1.51×10^{-7}	
	D	212	1153.84			7.66	1.51×10^{-14}	
03	A	315	678.72	40.46	105	3.92	5.41×10^{-5}	$5.41 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 5.78 \times 10^{-5}$
	B	161.84	950.25			7.85	3.81×10^{-15}	
	C	476.84	1153.84			4.52	3.68×10^{-6}	
	D	153.16	1153.84			8.38	4.76×10^{-17}	

Tableau 3. 10: β en fonction de $\gamma=1.5$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=237.56$ kn.m, $M_b=158.37$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	633.48	13.24	105	3.56	0.00022	$0.00022 \leq p_f^s \leq 0.00022$
	B	52.96	950.24			9.38	8.06×10^{-21}	
	C	367.96	1208.06			5.56	1.87×10^{-9}	
	D	262.04	1208.06			6.90	5.05×10^{-13}	
02	A	315	633.48	25.75	105	3.56	0.00022	$0.00022 \leq p_f^s \leq 0.00022$
	B	103.	950.24			8.71	3.27×10^{-18}	
	C	418.	1208.06			4.97	4.69×10^{-8}	
	D	212	1208.06			7.55	5.87×10^{-15}	
03	A	315	633.48	40.46	105	3.56	0.0002	$0.00022 \leq p_f^s \leq 0.00022$
	B	161.84	950.24			7.85	3.81×10^{-15}	
	C	476.84	1208.06			4.32	1.21×10^{-6}	
	D	153.16	1208.06			8.30	2.30×10^{-17}	

Commentaire

La figure 3.6 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente et l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme A.

La figure 3.7 montre que l'indice de fiabilité β reste constante dans les zones 1, 2 et 3 même si γ augmente mais β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme B.

La figure 3.8 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme C.

La figure 3.9 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme D.

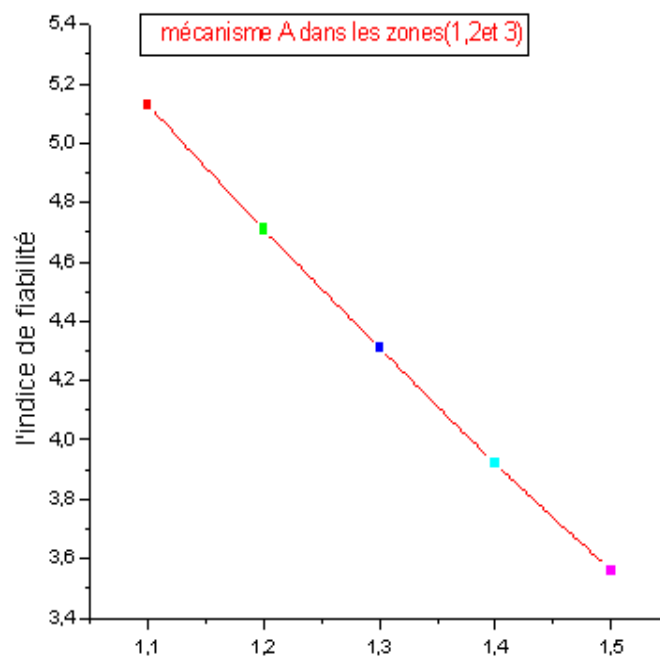


Figure 3. 6: β en fonction de γ du mécanisme A

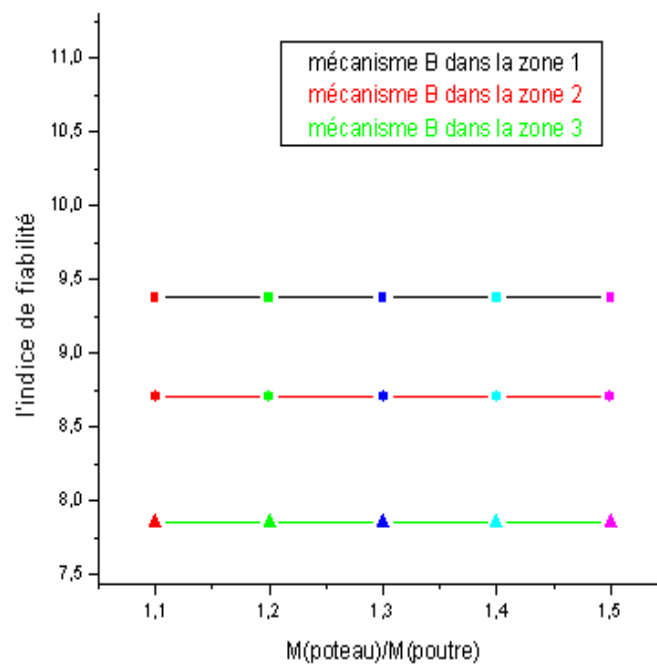


Figure 3. 7: β en fonction γ du mécanisme B

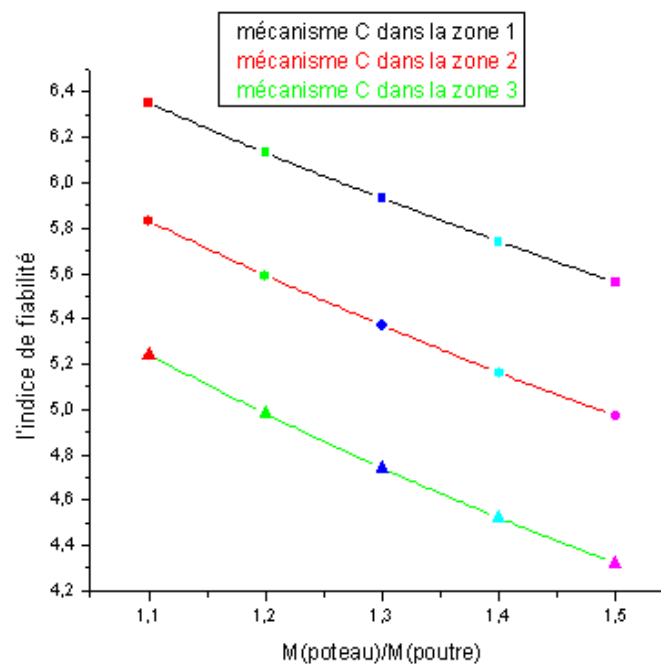
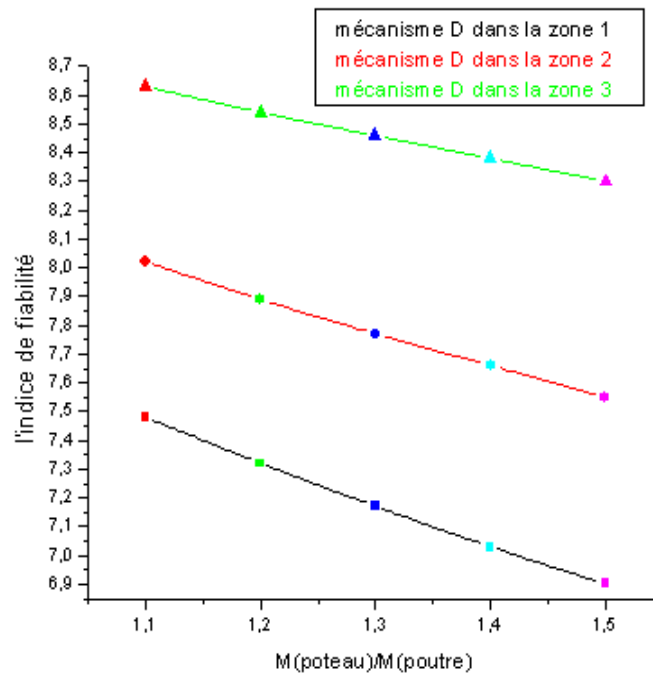


Figure 3. 8: β en fonction de γ du mécanisme C

Figure 3. 9: β en fonction de γ du mécanisme DTableau 3. 11: β en fonction de $\gamma=1.1$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m, $M_b=765.2$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	560	3060.80	18.33	140	7.67	1.02×10^{-14}	$1.02 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 1.03 \times 10^{-14}$
	B	73.32	3366.88			9.77	9.89×10^{-23}	
	C	633.32	4744.24			8.37	3.32×10^{-17}	
	D	486.68	4744.24			8.79	8.81×10^{-19}	
02	A	560	3060.80	35.64	140	7.67	1.02×10^{-14}	$1.02 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 1.04 \times 10^{-4}$
	B	142.59	3366.88			9.54	9.26×10^{-22}	
	C	702.56	4744.24			8.16	1.81×10^{-16}	
	D	417.44	4744.24			8.98	1.59×10^{-19}	
03	A	560	3060.80	56.01	140	7.67	1.02×10^{-14}	$1.02 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 1.15 \times 10^{-14}$
	B	224.04	3366.88			9.30	1.42×10^{-20}	
	C	784.04	4744.24			7.92	1.30×10^{-15}	
	D	335.96	4744.24			9.20	2.16×10^{-20}	

Tableau 3. 12: β en fonction $\gamma=1.2$ pour $l = 2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m, $M_b=701.43$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	560	2805.72	18.33	140	7.43	6.47×10^{-14}	$6.47 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 6.48 \times 10^{-14}$
	B	73.32	3366.88			9.77	9.89×10^{-23}	
	C	633.32	4489.16			8.26	8.11×10^{-17}	
	D	486.68	4489.16			8.71	1.76×10^{-18}	
02	A	560	2805.72	35.64	140	7.43	6.47×10^{-14}	$6.47 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 6.52 \times 10^{-14}$
	B	142.59	3366.88			9.54	9.26×10^{-22}	
	C	702.56	4489.16			8.04	4.83×10^{-16}	
	D	417.44	4489.16			8.91	2.88×10^{-19}	
	A	560	2805.72			7.43	6.47×10^{-14}	

03	B	224.04	3366.88	56.01	140	9.30	1.42×10^{-20}	$6.47 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 6.85 \times 10^{-14}$
	C	784.04	4489.16			7.79	3.82×10^{-19}	
	D	335.96	4489.16			9.14	3.48×10^{-20}	

Tableau 3. 13: β en fonction de $\gamma=1.3$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m , $M_b=647.47$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_f^s
01	A	560	2589.88	18.33	140	7.19	3.86×10^{-13}	$3.86 \times 10^{-13} \leq p_f^s \leq 3.86 \times 10^{-13}$
	B	73.32	3366.88			9.77	9.89×10^{-23}	
	C	633.32	4273.32			8.16	1.87×10^{-16}	
	D	486.68	4273.32			8.63	3.38×10^{-18}	
02	A	560	2589.88	35.64	140	7.19	3.86×10^{-13}	$3.86 \times 10^{-13} \leq p_f^s \leq 3.87 \times 10^{-13}$
	B	142.59	3366.88			9.54	9.26×10^{-22}	
	C	702.56	4273.32			7.93	1.20×10^{-15}	
	D	417.44	4273.32			8.85	5.05×10^{-19}	
03	A	560	2589.88	56.01	140	7.19	3.86×10^{-13}	$3.86 \times 10^{-13} \leq p_f^s \leq 3.96 \times 10^{-13}$
	B	224.04	3366.90			9.30	1.42×10^{-20}	
	C	784.04	4273.32			7.66	1.03×10^{-14}	
	D	335.96	4273.32			9.10	5.44×10^{-20}	

Tableau 3. 14: β en fonction de $\gamma=1.4$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m , $M_b=601.22$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_f^s
01	A	560	2404.88	18.33	140	6.95	2.17×10^{-12}	$2.17 \times 10^{-12} \leq p_f^s \leq 2.17 \times 10^{-12}$
	B	73.32	3366.88			9.77	9.89×10^{-23}	
	C	633.32	4088.32			8.07	4.08×10^{-16}	
	D	486.68	4088.32			8.57	6.25×10^{-18}	
02	A	560	2404.88	35.64	140	6.95	2.17×10^{-12}	$2.17 \times 10^{-12} \leq p_f^s \leq 2.18 \times 10^{-12}$
	B	142.59	3366.88			9.54	9.26×10^{-22}	
	C	702.56	4088.32			7.83	2.81×10^{-15}	
	D	417.44	4088.32			8.79	8.55×10^{-19}	
03	A	560	2404.88	56.01	140	6.95	2.17×10^{-9}	$2.17 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 2.20 \times 10^{-12}$
	B	224.04	3366.88			9.30	1.42×10^{-12}	
	C	784.04	4088.32			7.54	2.60×10^{-14}	
	D	335.96	4088.32			9.05	8.30×10^{-20}	

Tableau 3. 15: β en fonction de $\gamma=1.5$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m , $M_b=561.14$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_f^s
01	A	560	2244.56	18.33	140	6.71	1.15×10^{-11}	$1.15 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 1.15 \times 10^{-11}$
	B	73.32	3366.88			9.77	9.86×10^{-23}	
	C	633.32	3928.00			7.98	8.48×10^{-16}	
	D	486.68	3928.00			8.50	1.11×10^{-17}	
02	A	560	2244.56	35.64	140	6.71	1.15×10^{-11}	$1.15 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 1.15 \times 10^{-11}$
	B	142.59	3366.88			9.54	9.26×10^{-22}	
	C	702.56	3928.00			7.73	6.24×10^{-15}	
	D	417.44	3928.00			8.74	1.40×10^{-18}	
03	A	560	2244.56	56.01	140	6.71	1.15×10^{-11}	$1.15 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 1.15 \times 10^{-11}$
	B	224.04	3366.90			9.30	1.42×10^{-20}	
	C	784.04	3928.00			7.43	6.14×10^{-14}	
	D	335.35	3928.00			9.01	1.21×10^{-19}	

Commentaire

La figure 3.10 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme A.

La figure 3.11 montre que l'indice de fiabilité β reste constante dans les zones 1, 2 et 3 même si γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme B.

La figure 3.12 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme C.

La figure 3.13 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 3 est supérieur à celui des zones 1 et 2 pour le mécanisme D.

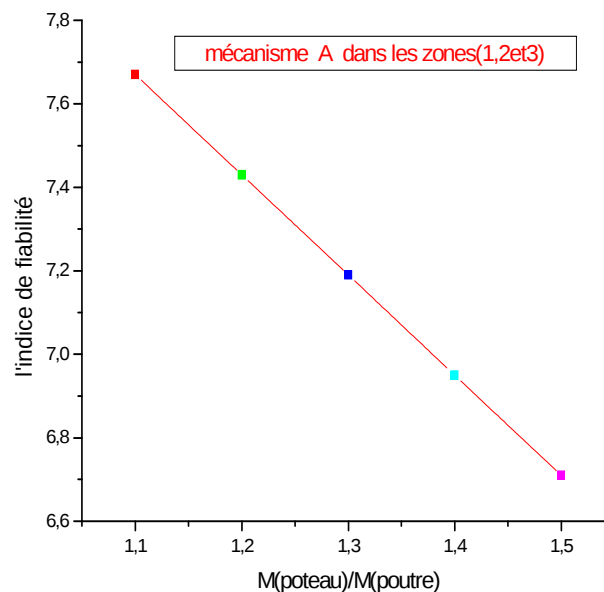


Figure 3. 10: β en fonction de γ du mécanisme A

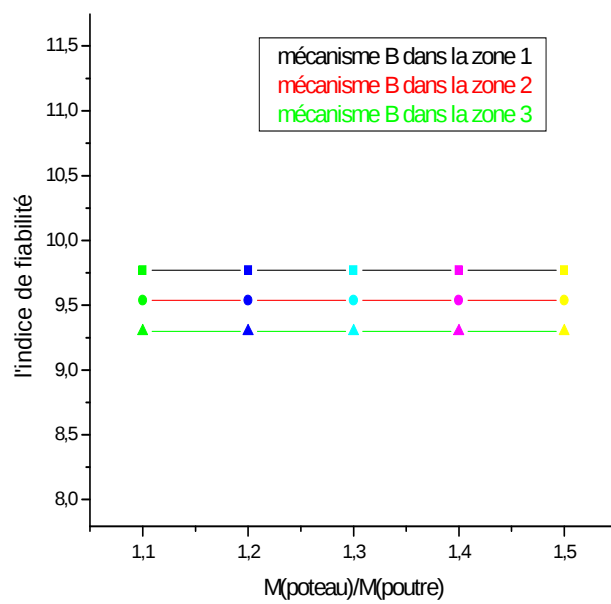


Figure 3. 11: β en fonction de γ du mécanisme B

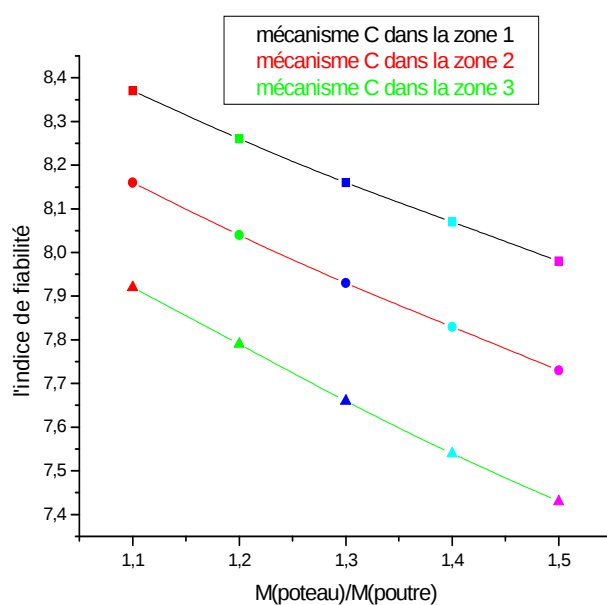
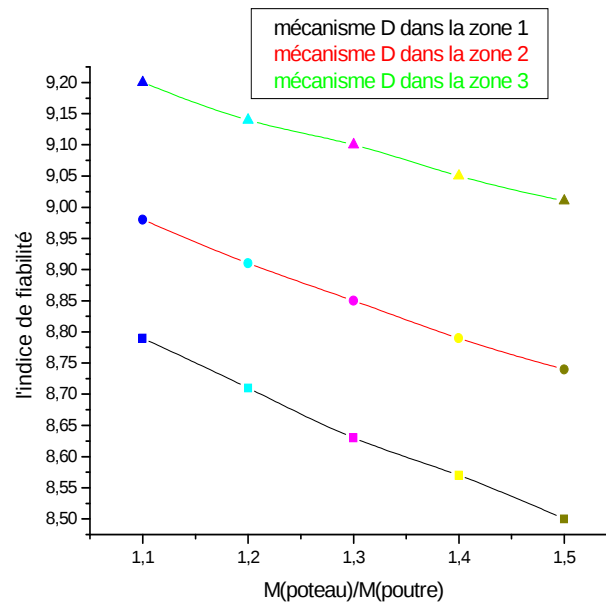


Figure 3. 12: β en fonction de γ du mécanisme C

Figure 3. 13: β en fonction γ du mécanisme D

3.3.2.2 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de γ pour la loi log normale

Les tableaux ci-dessous montrent les résultats des calculs en utilisant une loi log normale pour l'indice de fiabilité et la pour probabilité de défaillance, avec un coefficient de variation de 10 % et 20%.

$$\beta = \frac{\ln \frac{\mu_r}{\mu_s}}{\sqrt{\delta r^2 + \delta s^2}} \quad 3.6$$

avec

$$\mu = \exp\left(\lambda + \frac{\zeta^2}{2}\right), \quad \lambda = \ln \mu, \quad \zeta = \sqrt{\ln(1 + \delta^2)} \quad \text{et} \quad \sigma = \mu \sqrt{\exp(\zeta^2) - 1}$$

δ : Coefficient de variation.

Tableau 3. 16: β en fonction de $\gamma = 1.1$ pour $L=h$ avec $M_c=158.94 \text{ kn.m}$, $M_b=144.49 \text{ kn.m}$

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_f^s
01	A	140	577.96	10.18	70	6.34	1.41×10^{-10}	$1.41 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 1.41 \times 10^{-10}$
	B	40.72	635.76			12.28	3.72×10^{-29}	
	C	180.72	895.84			7.15	5.55×10^{-13}	
	D	99.26	895.84			9.83	6.2×10^{-23}	
02	A	140	577.96	19.79	70	6.34	1.41×10^{-10}	$1.86 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 3.27 \times 10^{-10}$
	B	79.16	635.76			9.31	8.88×10^{-21}	
	C	219.16	895.84			6.29	1.86×10^{-10}	
	D	60.84	895.84			12.02	1.31×10^{-28}	
03	A	140	577.96	31.11	70	6.34	1.41×10^{-10}	$2.54 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 2.55 \times 10^{-8}$
	B	124.44	635.76			7.29	2.08×10^{-13}	
	C	264.44	895.84			5.45	2.54×10^{-8}	
	D	15.56	895.84			18.12	3.38×10^{-39}	

Tableau 3. 17: β en fonction de $\gamma=1.2$ pour $l=h$ avec $M_C=158.94$ kn.m , $M_b=132.45$ kN.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	140	529.80	10.18	70	5.95	1.53×10^{-9}	$1.53 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 1.53 \times 10^{-9}$
	B	40.72	635.76			12.28	3.72×10^{-29}	
	C	180.72	847.68			6.91	3.18×10^{-12}	
	D	99.26	847.68			9.59	6.49×10^{-22}	
02	A	140	529.80	19.97	70	5.95	1.53×10^{-9}	$1.53 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 2.39 \times 10^{-9}$
	B	79.16	635.76			9.31	8.88×10^{-21}	
	C	219.16	847.68			6.04	8.56×10^{-10}	
	D	60.84	847.68			11.78	4.42×10^{-28}	
03	A	140	529.80	31.11	70	5.95	1.53×10^{-9}	$9.37 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 9.53 \times 10^{-8}$
	B	124.44	635.76			7.29	2.08×10^{-13}	
	C	264.44	847.68			5.20	9.37×10^{-8}	
	D	15.56	847.68			17.87	7.99×10^{-39}	

Tableau 3. 18: β en fonction de $\gamma = 1.3$ pour $l=h$ avec $M_C=158.94$ kn.m, $M_b=122.26$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_r	μ_s	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	140	489.04	10.18	70	5.59	1.2×10^{-8}	$1.20 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 1.20 \times 10^{-8}$
	B	40.72	635.76			12.28	3.72×10^{-29}	
	C	180.72	806.92			6.69	1.43×10^{-11}	
	D	99.26	806.92			9.37	5.32×10^{-21}	
02	A	140	489.04	19.79	70	5.59	1.2×10^{-8}	$1.19 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 1.19 \times 10^{-8}$
	B	79.16	635.76			9.31	8.88×10^{-21}	
	C	219.16	806.92			5.82	3.15×10^{-9}	
	D	60.84	806.92			11.56	1.39×10^{-27}	
03	A	140	489.04	31.11	70	5.59	1.20×10^{-8}	$1.2 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 2.97 \times 10^{-7}$
	B	124.44	635.76			7.29	2.08×10^{-13}	
	C	264.44	806.92			4.98	2.84×10^{-7}	
	D	15.56	806.92			17.65	1.71×10^{-38}	

Tableau 3. 19: β en fonction de $\gamma=1.4$ pour $l=h$ avec $M_C=158.94$ kn.m, $M_b=113.52$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	140	454.08	10.18	70	5.26	7.14×10^{-8}	$7.14 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 7.15 \times 10^{-8}$
	B	40.72	635.76			12.28	3.72×10^{-29}	
	C	180.72	771.96			6.49	5.29×10^{-11}	
	D	99.26	771.96			9.17	3.40×10^{-20}	
02	A	140	454.08	19.79	70	5.26	7.14×10^{-8}	$7.14 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 8.122 \times 10^{-8}$
	B	79.16	635.76			9.31	8.88×10^{-21}	
	C	219.16	771.96			5.63	9.75×10^{-9}	
	D	60.84	771.96			11.36	4.15×10^{-27}	
03	A	140	454.08	31.11	70	5.26	7.14×10^{-8}	$7.14 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 8.07 \times 10^{-7}$
	B	124.44	635.76			7.29	2.08×10^{-13}	
	C	264.44	771.96			4.79	7.36×10^{-7}	
	D	15.56	771.96			17.46	3.23×10^{-38}	

Tableau 3. 20: β en fonction de $\gamma=1.5$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94\text{kn.m}$, $M_b=105.96\text{kn.m}$

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	140	423.84	10.18	70	4.95	3.37×10^{-7}	$3.37 \times 10^{-7} \leq p_f^s \leq 3.37 \times 10^{-7}$
	B	40.72	635.76			12.28	3.72×10^{-29}	
	C	180.72	741.72			6.31	1.66×10^{-10}	
	D	99.26	741.72			8.99	1.76×10^{-19}	
02	A	140	423.84	19.79	70	4.95	3.37×10^{-7}	$3.37 \times 10^{-7} \leq p_f^s \leq 3.63 \times 10^{-7}$
	B	79.16	635.76			9.31	8.88×10^{-21}	
	C	219.16	741.72			5.45	2.60×10^{-8}	
	D	60.84	741.72			11.18	1.16×10^{-26}	
03	A	140	423.84	31.11	70	4.95	3.37×10^{-7}	$1.68 \times 10^{-6} \leq p_f^s \leq 2.01 \times 10^{-6}$
	B	124.44	635.76			7.29	2.10×10^{-13}	
	C	264.44	741.72			4.61	1.68×10^{-6}	
	D	15.56	741.72			17.28	6.29×10^{-38}	

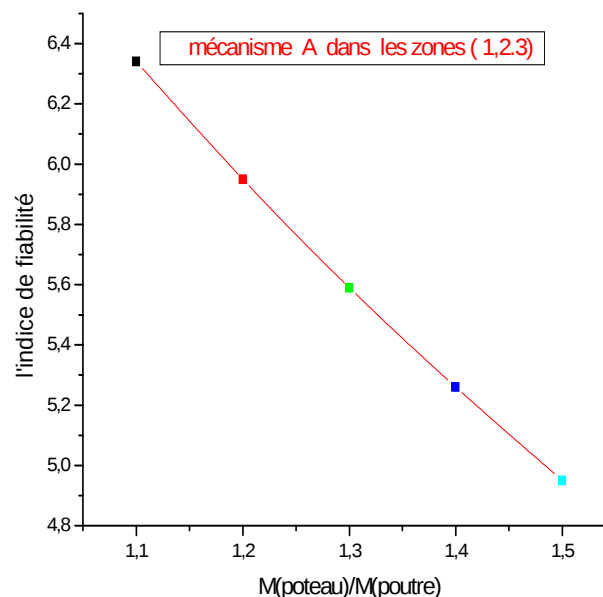
Commentaire

La figure 3.14 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente et l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme A

La figure 3.15 montre que l'indice de fiabilité β reste constante des zones 1,2 et 3 même si γ augmente, mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme B.

La figure 3.16 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme C.

La figure 3.17 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme C.

**Figure 3. 14 :** β en fonction de γ du mécanisme A

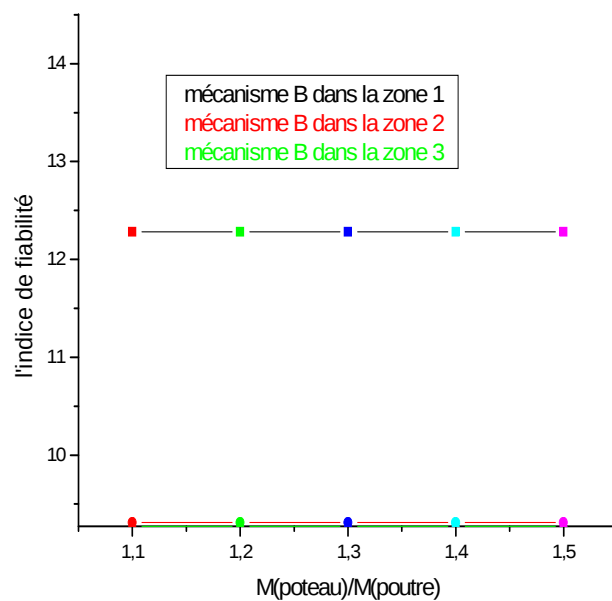


Figure 3. 15: β en fonction de γ du mécanisme B

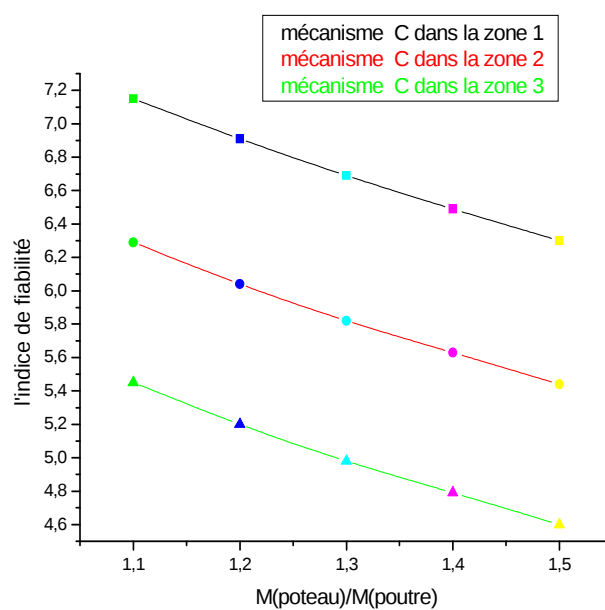
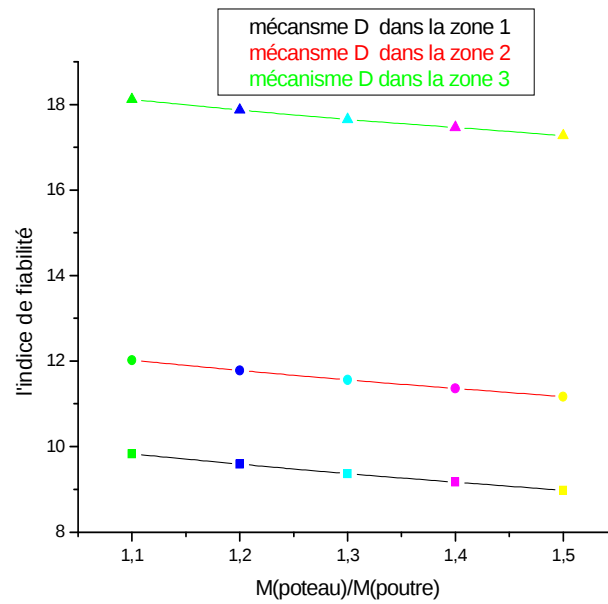


Figure 3. 16: β en fonction de γ du mécanisme C

Figure 3. 17: β en fonction de γ du mécanisme DTableau 3. 21: β en fonction de $\gamma=1.1$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=237.56\text{kn.m}$, $M_b=215.96\text{kn.m}$

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	863.84	13.24	105	4.51	2.62×10^{-6}	$2.62 \times 10^{-6} \leq p_f^s \leq 2.63 \times 10^{-6}$
	B	52.96	950.24			12.91	2.02×10^{-30}	
	C	367.96	1338.96			5.77	4.27×10^{-13}	
	D	262.04	1338.96			7.29	2.07×10^{-13}	
02	A	315	864.84	25.75	105	4.51	2.62×10^{-6}	$2.62 \times 10^{-6} \leq p_f^s \leq 2.72 \times 10^{-6}$
	B	103.	950.25			9.93	2.50×10^{-23}	
	C	418.	1338.96			5.20	9.53×10^{-8}	
	D	212	1338.96			8.24	1.23×10^{-16}	
03	A	315	864.84	40.46	105	4.51	2.62×10^{-6}	$2.62 \times 10^{-6} \leq p_f^s \leq 4.26 \times 10^{-6}$
	B	161.84	950.25			7.91	1.76×10^{-15}	
	C	476.84	1338.96			4.61	1.63×10^{-6}	
	D	153.16	1338.96			9.69	2.37×10^{-22}	

Tableau 3. 22: β en fonction de $\gamma=1.2$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=237.56\text{kn.m}$, $M_b=197.96\text{kn.m}$

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	791.84	13.24	105	4.12	1.34×10^{-5}	$1.34 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 1.34 \times 10^{-5}$
	B	52.96	950.24			12.91	2.02×10^{-30}	
	C	367.96	1266.96			5.52	1.71×10^{-8}	
	D	262.04	1266.96			7.04	1.23×10^{-12}	
02	A	315	791.84	25.75	105	4.12	1.34×10^{-5}	$1.34 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 1.37 \times 10^{-5}$
	B	103.	950.24			9.93	2.50×10^{-23}	
	C	418.	1266.96			4.95	3.29×10^{-7}	
	D	212	1266.96			7.99	9.38×10^{-16}	
03	A	315	791.87	40.46	105	4.12	1.34×10^{-5}	$1.34 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 1.82 \times 10^{-5}$
	B	161.84	950.25			7.91	1.77×10^{-15}	
	C	476.84	1266.96			4.37	4.84×10^{-6}	
	D	153.16	1266.96			9.44	2.53×10^{-21}	

Tableau 3. 23: β en fonction de $\gamma=1.3$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=237.56$ kn.m , $M_b=182.74$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	730.92	13.24	105	3.76	5.21×10^{-5}	$5.21 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 5.21 \times 10^{-5}$
	B	52.96	950.24			12.91	2.02×10^{-30}	
	C	367.96	1206.04			5.30	5.59×10^{-8}	
	D	262.04	1206.04			6.82	5.71×10^{-12}	
02	A	315	730.92	25.75	105	3.76	5.21×10^{-5}	$5.21 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 5.30 \times 10^{-5}$
	B	103.	950.25			9.93	2.51×10^{-23}	
	C	418.	1206.04			4.73	9.40×10^{-7}	
	D	212	1206.04			7.77	5.41×10^{-15}	
03	A	315	730.92	40.46	105	3.76	5.21×10^{-5}	$5.21 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 6.40 \times 10^{-5}$
	B	161.84	950.24			7.91	1.76×10^{-15}	
	C	476.84	1206.04			4.14	1.20×10^{-5}	
	D	153.16	1206.04			9.22	2.03×10^{-20}	

Tableau 3. 24: β en fonction de $\gamma=1.4$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=237.56$ kn.m, $M_b=169.68$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	678.72	13.24	105	3.43	0.00016	$0.00016 \leq p_f^s \leq 0.00016$
	B	52.96	950.24			12.91	2.02×10^{-30}	
	C	367.96	1153.84			5.11	1.54×10^{-70}	
	D	262.04	1153.84			6.62	2.16×10^{-11}	
02	A	315	678.72	25.75	105	3.43	0.00016	$0.00016 \leq p_f^s \leq 0.00016$
	B	103.	950.24			9.93	2.50×10^{-23}	
	C	418.	1153.84			4.54	2.30×10^{-6}	
	D	212	1153.84			7.57	2.50×10^{-14}	
03	A	315	678.72	40.46	105	3.43	0.00016	$0.00016 \leq p_f^s \leq 0.00018$
	B	161.84	950.24			7.91	1.77×10^{-15}	
	C	476.84	1153.84			3.95	2.60×10^{-5}	
	D	153.16	1153.84			9.03	1.26×10^{-19}	

Tableau 3. 25: β en fonction de $\gamma=1.5$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=237.56$ kn.m, $M_b=158.37$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	633.48	13.24	105	3.12	0.0004	$0.0004 \leq p_f^s \leq 0.0004$
	B	52.96	950.24			12.91	2.02×10^{-30}	
	C	367.96	1108.60			4.93	3.75×10^{-7}	
	D	262.04	1108.60			6.45	7.00×10^{-11}	
02	A	315	633.48	25.75	105	3.12	0.0004	$0.0004 \times \leq p_f^s \leq 0.0004$
	B	103.	950.24			9.93	2.50×10^{-23}	
	C	418.	1108.60			4.36	5.01×10^{-6}	
	D	212	1108.60			7.39	9.64×10^{-14}	
03	A	315	633.48	40.46	105	3.12	0.0004	$0.0004 \times \leq p_f^s \leq 0.0004$
	B	161.84	950.24			7.91	1.77×10^{-15}	
	C	476.84	1108.60			3.77	5.05×10^{-5}	
	D	153.16	1108.60			8.85	2.30×10^{-17}	

Commentaire

La figure 3.18 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme A.

La figure 3.19 montre que l'indice de fiabilité β reste constante dans les zones 1,2 et 3 quand γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme B.

La figure 3.20 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme C.

La figure 3.21 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 3 est supérieur à celui des zones 1 et 2 pour le mécanisme D.

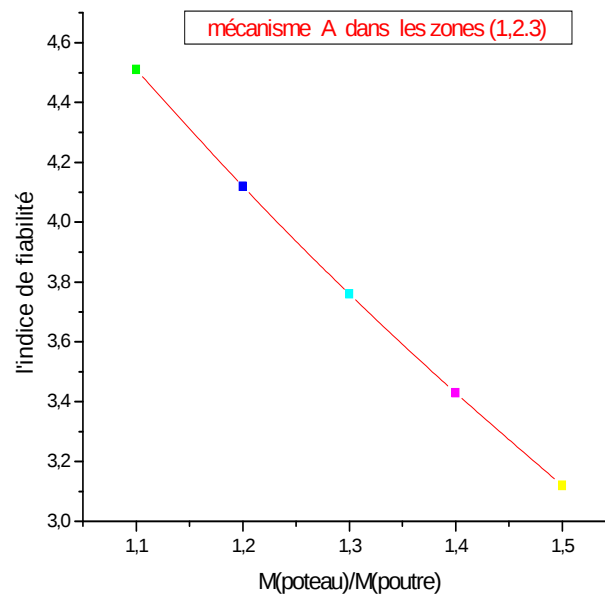


Figure 3. 18: β en fonction de γ du mécanisme A

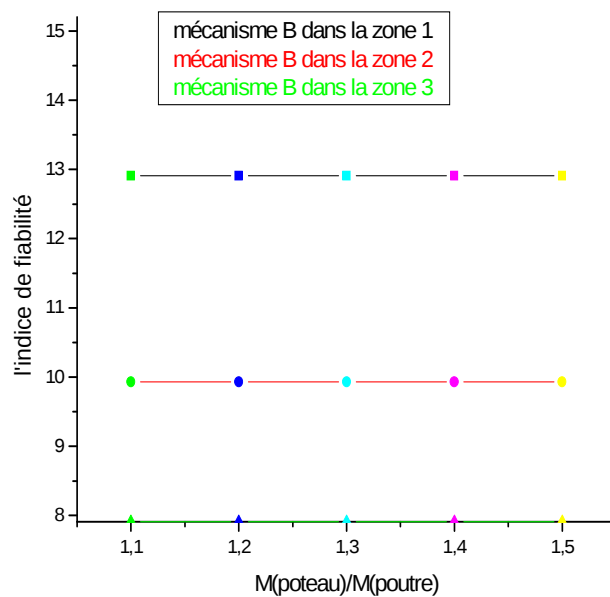


Figure 3. 19: β en fonction de γ du mécanisme B

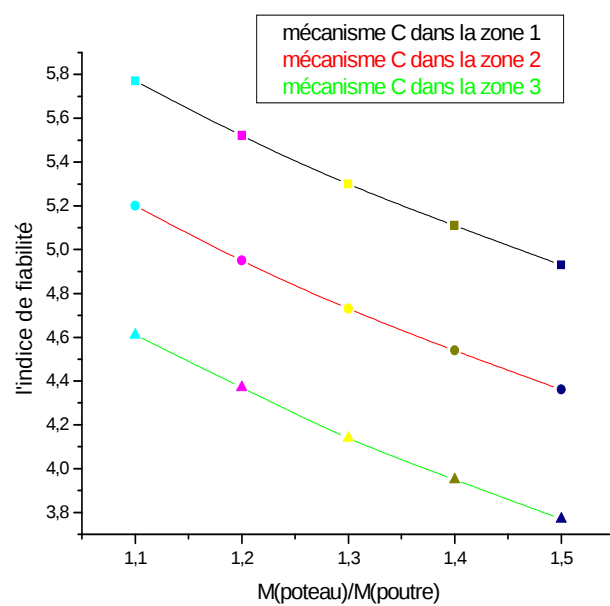
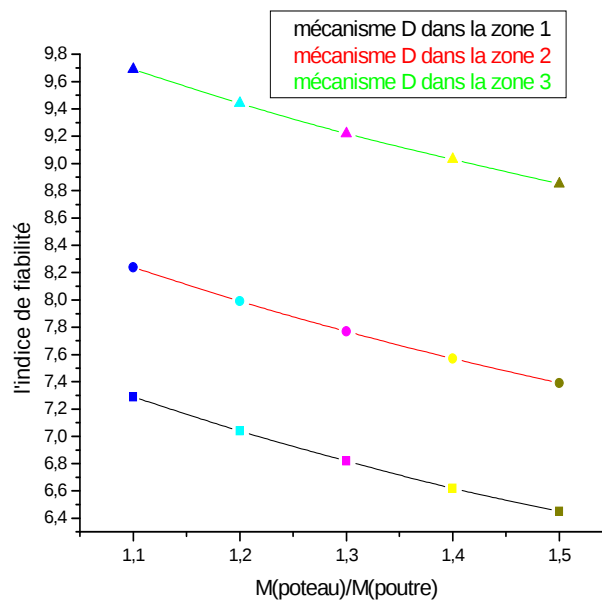


Figure 3. 20: β en fonction de γ du mécanisme C

Figure 3. 21: β en fonction de γ du mécanisme DTableau 3. 26: β en fonction de $\gamma=1.1$ pour $l=2h$ avec $M_C=841.72\text{kn.m}$, $M_b=765.20\text{ kn.m}$

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	560	3060.80	18.33	140	7.59	2.16×10^{-14}	$2.16 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 2.16 \times 10^{-14}$
	B	73.32	3366.88			17.11	1.15×10^{-37}	
	C	633.32	4744.24			9.00	1.59×10^{-19}	
	D	486.68	4744.24			10.18	3.89×10^{-24}	
02	A	560	3060.80	35.64	140	7.59	2.16×10^{-14}	$2.16 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 2.16 \times 10^{-14}$
	B	142.56	3366.88			14.14	1.04×10^{-32}	
	C	702.56	4744.24			8.54	9.78×10^{-18}	
	D	417.44	4744.24			10.86	1.13×10^{-25}	
03	A	560	3060.80	56.01	140	7.59	2.16×10^{-14}	$2.16 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 2.24 \times 10^{-14}$
	B	224.04	3366.88			12.11	8.46×10^{-29}	
	C	789.36	4744.24			8.02	7.64×10^{-16}	
	D	330.64	4744.24			11.91	2.28×10^{-28}	

Tableau 3. 27: β en fonction de $\gamma=1.2$ $l=2h$ avec $M_C=841.72\text{kn.m}$, $M_b=701.43\text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	560	2805.72	18.33	140	7.20	3.93×10^{-13}	$3.93 \times 10^{-13} \leq p_f^s \leq 3.93 \times 10^{-13}$
	B	73.32	3366.88			17.11	1.15×10^{-37}	
	C	633.32	4489.16			8.75	1.46×10^{-18}	
	D	486.68	4489.16			9.93	2.51×10^{-23}	
02	A	560	2805.72	35.64	140	7.20	3.93×10^{-13}	$3.93 \times 10^{-13} \leq p_f^s \leq 3.93 \times 10^{-13}$
	B	142.56	3366.88			14.14	9.49×10^{-33}	
	C	702.56	4489.16			8.29	6.28×10^{-17}	
	D	417.44	4489.16			10.62	9.86×10^{-25}	
03	A	560	2805.72	56.01	140	7.20	3.93×10^{-13}	$3.93 \times 10^{-13} \leq p_f^s \leq 3.98 \times 10^{-13}$
	B	224.04	3366.88			12.11	8.45×10^{-29}	
	C	789.36	4489.16			7.77	5.47×10^{-15}	
	D	330.64	4489.16			11.66	8.18×10^{-28}	

Tableau 3. 28: β en fonction de $\gamma=1.3$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72\text{kn.m}$, $M_b=647.47\text{kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	560	2589.88	18.33	140	6.84	4.92×10^{-12}	$4.92 \times 10^{-12} \leq p_f^s \leq 4.92 \times 10^{-12}$
	B	73.32	3366.88			17.11	1.15×10^{-37}	
	C	633.32	4273.32			8.53	1.00×10^{-17}	
	D	486.68	4273.32			9.71	1.97×10^{-22}	
02	A	560	2589.88	35.64	140	6.84	4.92×10^{-12}	$4.92 \times 10^{-12} \leq p_f^s \leq 4.92 \times 10^{-12}$
	B	142.56	3366.88			14.14	1.00×10^{-32}	
	C	702.56	4273.32			8.07	4.95×10^{-16}	
	D	417.44	4273.32			10.40	2.35×10^{-24}	
03	A	560	2589.88	56.01	140	6.84	4.92×10^{-12}	$4.92 \times 10^{-12} \leq p_f^s \leq 4.94 \times 10^{-12}$
	B	224.04	3366.88			12.11	8.45×10^{-29}	
	C	789.36	4273.32			7.55	1.73×10^{-14}	
	D	330.64	4273.32			11.44	2.65×10^{-27}	

Tableau 3. 29: β en fonction de $\gamma=1.4$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72 \text{ kn.m}$, $M_b=601.22 \text{ kn.m}$

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	560	2404.88	18.33	140	6.51	4.53×10^{-11}	$4.53 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 4.53 \times 10^{-11}$
	B	73.32	3366.88			17.11	1.15×10^{-37}	
	C	633.32	4088.32			8.34	5.45×10^{-17}	
	D	486.68	4088.32			9.51	1.31×10^{-21}	
02	A	560	2404.88	35.64	140	6.51	4.53×10^{-11}	$4.53 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 4.53 \times 10^{-11}$
	B	142.56	3366.88			14.14	1.00×10^{-32}	
	C	702.56	4088.32			7.87	2.43×10^{-15}	
	D	417.44	4088.32			10.20	3.50×10^{-24}	
03	A	560	2404.88	56.01	140	6.51	4.53×10^{-11}	$4.51 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 4.54 \times 10^{-11}$
	B	224.04	3366.88			12.11	8.45×10^{-29}	
	C	789.36	4088.32			7.35	1.32×10^{-13}	
	D	330.64	4088.32			11.24	8.15×10^{-27}	

Tableau 3. 30: β en fonction de $\gamma=1.5$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72 \text{ kn.m}$, $M_b=561.14 \text{ kn.m}$.

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	560	2244.56	18.33	140	6.20	3.23×10^{-10}	$3.23 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 3.23 \times 10^{-10}$
	B	73.32	3366.88			17.11	1.15×10^{-37}	
	C	633.32	3928.00			8.16	2.42×10^{-16}	
	D	486.68	3928.00			9.33	7.21×10^{-21}	
02	A	560	2244.56	35.64	140	6.20	3.23×10^{-10}	$3.23 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 3.22 \times 10^{-10}$
	B	142.56	3366.90			14.14	9.49×10^{-33}	
	C	702.56	3928.00			7.69	7.92×10^{-15}	
	D	417.44	3928.00			10.02	1.66×10^{-23}	
03	A	560	2244.56	56.01	140	6.20	3.23×10^{-10}	$3.23 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 3.23 \times 10^{-10}$
	B	224.04	3366.90			12.11	8.45×10^{-29}	
	C	789.36	3928.00			7.17	4.90×10^{-13}	
	D	330.64	3928.00			11.06	2.40×10^{-26}	

Commentaire

La figure 3.22 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente dans les zones 1, 2 et 3 pour le mécanisme A

La figure 3.23 montre que β reste constante dans les zones 1, 2 et 3 même si γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme B.

La figure 3.24 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme C.

La figure 3.25 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 3 est supérieur à celui des zones 2 et 1 pour le mécanisme D.

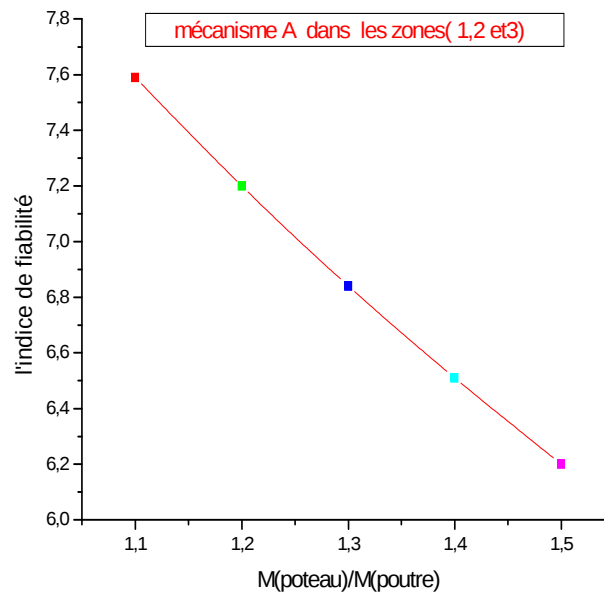


Figure 3. 22: β en fonction de γ du mécanisme A

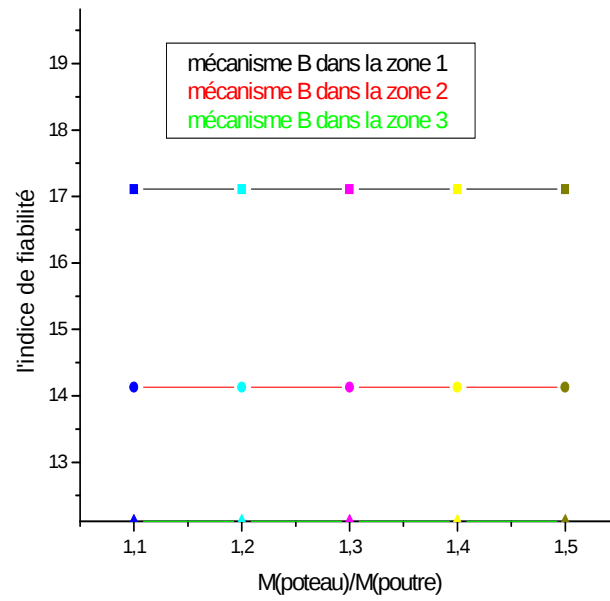


Figure 3. 23: β en fonction de γ du mécanisme B

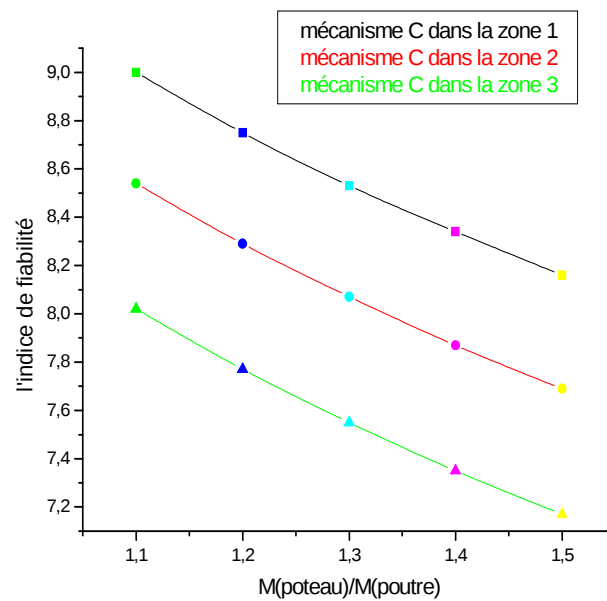
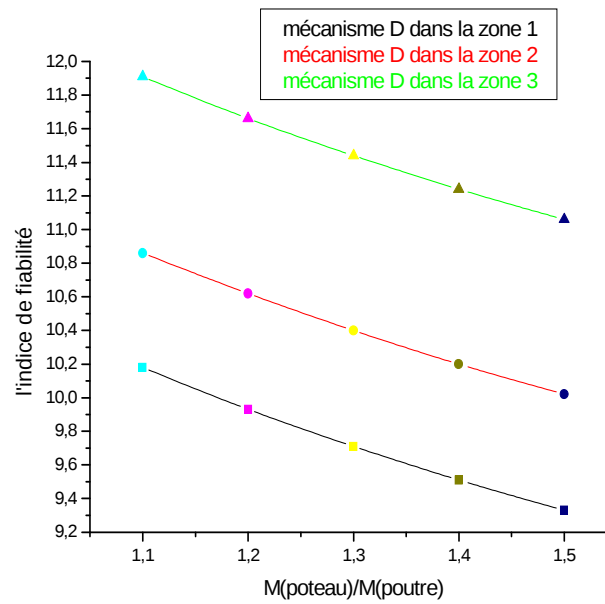


Figure 3. 24: β en fonction de γ du mécanisme C

Figure 3. 25: β en fonction de γ du mécanisme D

3.3.2.3 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de $\Omega = H/V$ pour la loi normale

Tableau 3. 31: β en fonction de $\Omega = H/V$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94\text{kn.m}$, $M_b=121.34\text{kn.m}$.

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	140	485.36	7	70	6.16	7.27×10^{-10}	$7.27 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 7.27 \times 10^{-10}$
	B	28	635.76			9.52	3.54×10^{-21}	
	C	168	803.24			7.29	2.8×10^{-13}	
	D	112	803.24			8.28	1.32×10^{-16}	
02	A	140	485.36	14	70	6.16	7.27×10^{-10}	$7.27 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 7.36 \times 10^{-10}$
	B	56	635.76			8.98	4.77×10^{-19}	
	C	196	803.24			6.79	9.4×10^{-12}	
	D	84	803.24			8.76	2.43×10^{-18}	
03	A	140	485.36	21	70	6.16	7.27×10^{-10}	$7.27 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 9.66 \times 10^{-10}$
	B	84	635.76			8.39	7.19×10^{-17}	
	C	224	803.24			6.29	2.39×10^{-10}	
	D	56	803.24			9.21	4.56×10^{-10}	

Commentaire

La figure 3.26 montre que β diminue quand $\Omega = H/V$ augmente du mécanisme C. Par contre β augmente quand $\Omega = H/V$ augmente du mécanisme D, et ces deux mécanismes sont pour la loi normale

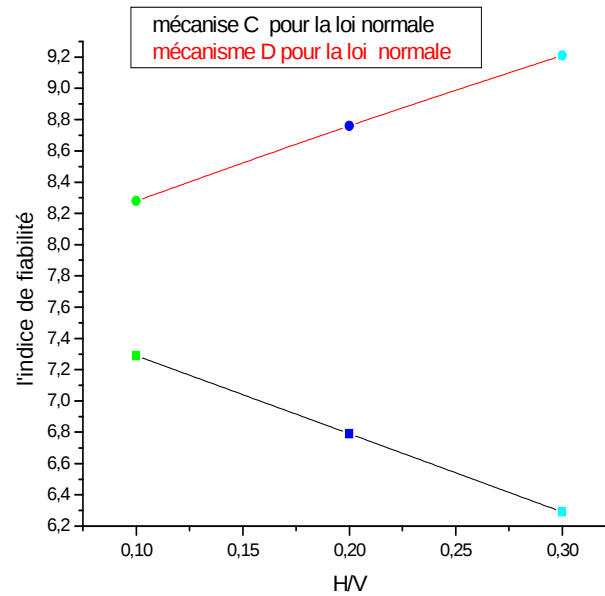


Figure 3. 26: β en fonction de $\Omega= H/V$ des mécanismes (C , D), $l=h$

Tableau 3. 32: β en fonction de $\Omega= H/V$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=237.56$ kn.m , $M_b=196.54$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	786.16	10.5	105	4.67	1.90×10^{-6}	$1.9 \times 10^{-6} \leq p_f^s \leq 2.09 \times 10^{-6}$
	B	42	950.24			9.52	2.25×10^{-21}	
	C	462	1261.28			5.11	1.96×10^{-7}	
	D	237	1261.28			7.19	2.23×10^{-14}	
02	A	315	786.16	21.0	105	4.67	1.90×10^{-6}	$1.9 \times 10^{-6} \leq p_f^s \leq 3.54 \times 10^{-6}$
	B	84	950.24			8.97	3.27×10^{-19}	
	C	504	1261.28			4.69	1.63×10^{-6}	
	D	231	1261.28			7.67	1.36×10^{-14}	
03	A	315	786.16	31.5	105	4.67	1.9×10^{-6}	$1.06 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 1.25 \times 10^{-5}$
	B	126	950.24			8.38	5.2×10^{-17}	
	C	546	1261.28			4.28	1.06×10^{-5}	
	D	189	1261.28			8.14	3.20×10^{-16}	

Commentaire

La figure 3. 27 montre que β diminue quand $\Omega= H/V$ augmente du mécanisme C , par contre l'indice de fiabilité augmente quand $\Omega= H/V$ augmente du mécanisme D et ces deux mécanismes sont pour la loi normale , $l=1.5h$.

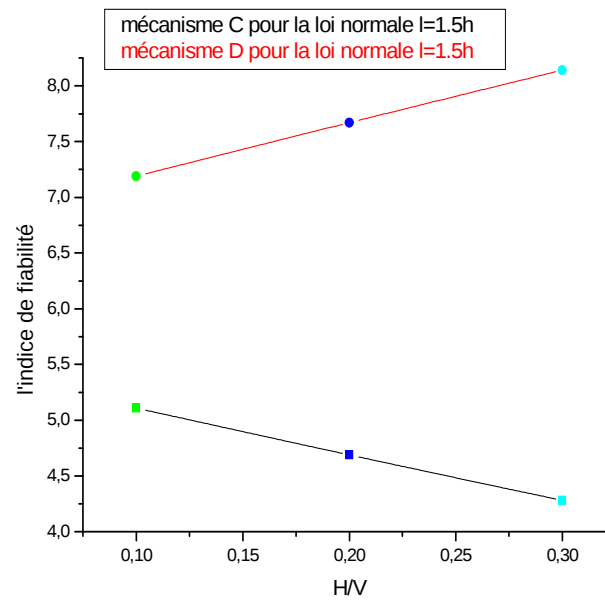


Figure 3. 27: β en fonction de $\Omega = H/V$ des mécanismes (C,D)

Tableau 3. 33: β en fonction de $\Omega = H/V$ pour $l=2h$ avec $M_C=841.72 \text{ kn.m}$, $M_b=687.90 \text{ kn.m}$

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	560	2751.60	14	140	7.37	9.91×10^{-14}	$9.91 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 9.92 \times 10^{-14}$
	B	56	3366.88			9.82	5.72×10^{-23}	
	C	616	4435.04			8.29	6.30×10^{-17}	
	D	504	4435.04			8.64	3.27×10^{-18}	
02	A	560	2751.60	28	140	7.37	9.91×10^{-14}	$9.91 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 9.94 \times 10^{-14}$
	B	112	3366.88			9.64	3.40×10^{-22}	
	C	672	4435.04			8.12	2.73×10^{-16}	
	D	448	4435.04			8.81	7.41×10^{-19}	
03	A	560	2751.60	42	140	7.37	9.91×10^{-14}	$9.91 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 1.00 \times 10^{-13}$
	B	168	3366.88			9.45	2.14×10^{-21}	
	C	728	4435.04			7.94	1.16×10^{-15}	
	D	392	4435.04			8.97	1.68×10^{-19}	

Commentaire

La figure 3. 28 montre que β diminue quand $\Omega = H/V$ augmente du mécanisme C par contre l'indice de fiabilité augmente quand $\Omega = H/V$ augmente du mécanisme D et ces deux mécanismes sont pour la loi normale, $l=2h$.

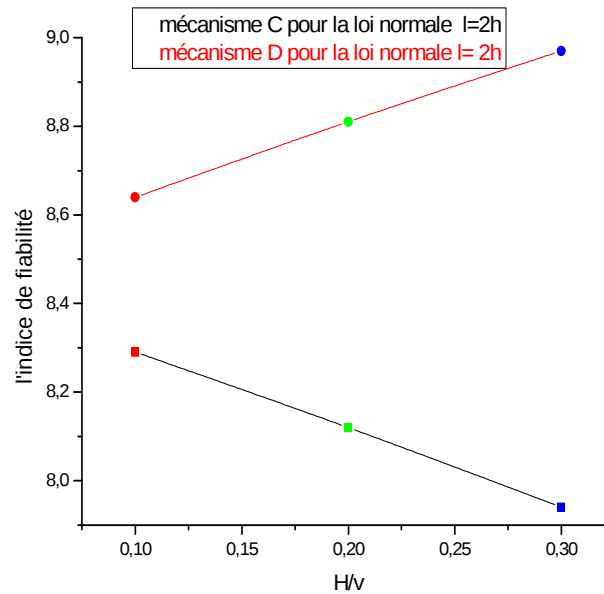


Figure 3. 28: β en fonction de $\Omega=H/V$ des mécanismes (C, D), $l=2h$

3.3.2.4 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de $\Omega= H/V$ pour la loi log normale

Tableau 3. 34: β en fonction de $\Omega= H/V$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94\text{kn.m}$, $M_b=121.34\text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	140	485.36	7	70	5.56	1.44×10^{-8}	$1.44 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 1.44 \times 10^{-18}$
	B	28	635.76			13.96	2.12×10^{-32}	
	C	168	803.24			6.99	1.75×10^{-12}	
	D	112	803.24			8.81	9.21×10^{-19}	
02	A	140	485.36	14	70	5.56	1.44×10^{-8}	$1.69 \times 10^{-15} \leq p_f^s \leq 1.71 \times 10^{-15}$
	B	56	635.76			10.86	9.43×10^{-26}	
	C	196	803.24			6.30	1.73×10^{-10}	
	D	84	803.24			10.09	6.79×10^{-24}	
03	A	140	485.36	21	70	5.56	1.44×10^{-8}	$1.44 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 2.06 \times 10^{-8}$
	B	84	635.76			9.05	2.43×10^{-23}	
	C	224	803.24			5.71	6.21×10^{-9}	
	D	56	803.24			11.91	2.29×10^{-28}	

Commentaire

La figure 3.29 montre que β diminue quand $\Omega = H/V$ augmente du mécanisme C par contre l'indice de fiabilité augmente quand $\Omega = H/V$ augmente du mécanisme D et ces deux mécanismes sont pour la loi log normale, $l = 2h$.

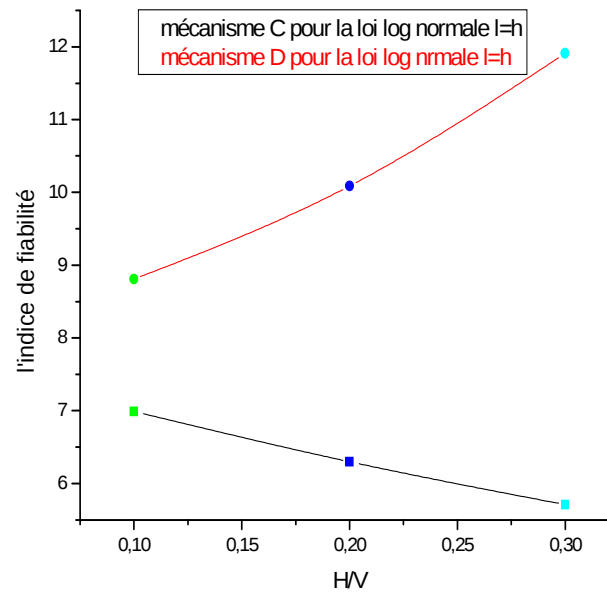


Figure 3. 29 : β en fonction de $\Omega = H/V$ des mécanismes (C, D), $l=2h$

Tableau 3. 35: β en fonction de $\Omega = H/V$ pour $l=1.5h$ avec $M_C=347.8$ kn.m, $M_b=231.86$ kn.m.

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	786.16	10.5	105	4.09	1.52×10^{-5}	$1.52 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 1.81 \times 10^{-5}$
	B	42	950.24			13.94	2.31×10^{-32}	
	C	462	1261.28			5.64	2.87×10^{-6}	
	D	237	1261.28			6.84	5.35×10^{-14}	
02	A	315	786.16	21.0	105	4.09	1.52×10^{-5}	$1.52 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 2.98 \times 10^{-5}$
	B	84	950.24			10.84	1.07×10^{-25}	
	C	504	1261.28			5.14	1.45×10^{-5}	
	D	231	1261.28			7.59	2.24×10^{-14}	
03	A	315	786.16	31.5	105	4.09	1.52×10^{-5}	$1.52 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 7.12 \times 10^{-5}$
	B	126	950.24			9.03	1.21×10^{-19}	
	C	546	1261.28			4.69	5.59×10^{-5}	
	D	189	1261.28			8.48	1.54×10^{-17}	

Commentaire

La figure 3.30 montre que β diminue quand $\Omega = H/V$ augmente du mécanisme C par contre l'indice de fiabilité augmente quand $\Omega = H/V$ augmente du mécanisme D et ces deux mécanismes sont pour la loi log normale $l = 1.5h$.

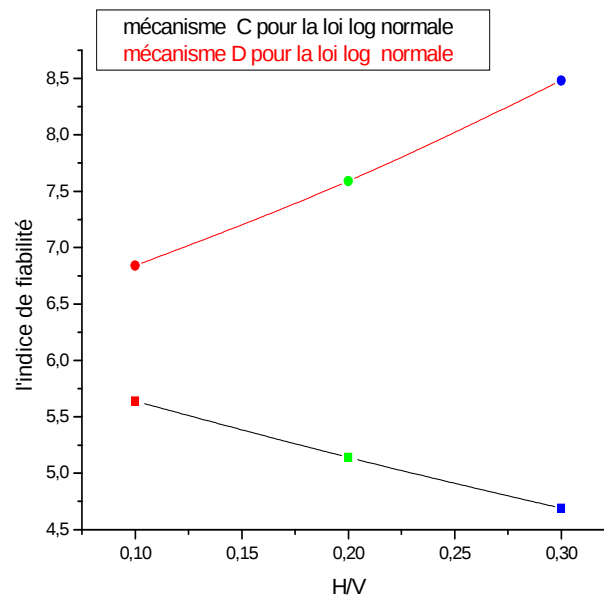


Figure 3. 30: β en fonction de $\Omega = H/V$ des mécanismes (C , D) , $l=1.5h$

Tableau 3. 36: β en fonction de $\Omega = H/V$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72 \text{ kn.m}$, $M_b=687.90 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	560	2751.60	14	140	7.11	7.36×10^{-13}	$7.36 \times 10^{-13} \leq p_f^s \leq 7.36 \times 10^{-13}$
	B	56	3366.88			18.31	1.76×10^{-39}	
	C	616	4435.04			8.82	7.89×10^{-19}	
	D	504	4435.04			9.72	3.95×10^{-25}	
02	A	560	2751.60	28	140	7.11	7.36×10^{-13}	$7.36 \times 10^{-13} \leq p_f^s \leq 7.36 \times 10^{-13}$
	B	112	3366.88			15.21	1.37×10^{-34}	
	C	672	4435.04			8.43	2.35×10^{-17}	
	D	448	4435.04			10.25	2.80×10^{-24}	
03	A	560	2751.60	42	140	7.11	7.36×10^{-13}	$7.36 \times 10^{-13} \leq p_f^s \leq 7.36 \times 10^{-13}$
	B	168	3366.88			13.40	2.31×10^{-31}	
	C	728	4435.04			8.08	4.67×10^{-16}	
	D	392	4435.04			10.84	1.07×10^{-25}	

Commentaire

La figure 3.31 montre que β diminue quand $\Omega = H/V$ augmente du mécanisme C par contre l'indice de fiabilité augmente quand $\Omega = H/V$ augmente du mécanisme D et ces deux mécanismes sont pour la loi normale, $l = 2h$.

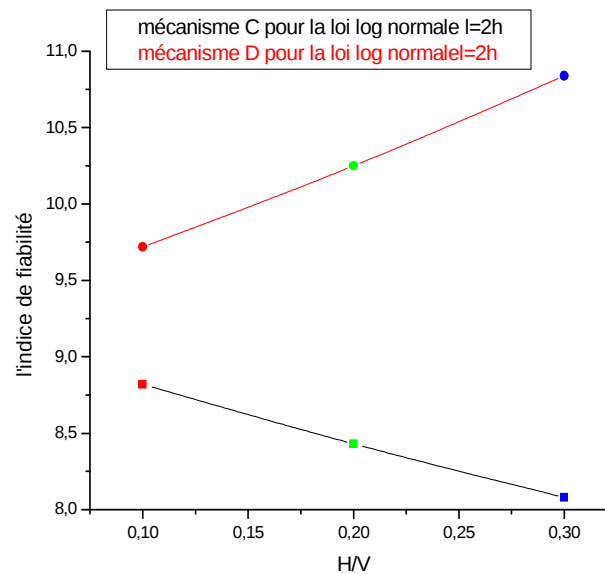


Figure 3.31: β en fonction de $\Omega = H/V$ des mécanismes (C et D). $L=2h$

3.3.2.5 Calcul β en fonction de la résistance limite d'écoulement pour la loi normale

Tableau 3. 37: β en fonction de $f_e=235 \text{ kn/m}^2$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94 \text{ kn.m}$, $M_b=121.34 \text{ kn.m}$

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	p_f	P_s^f
01	A	140	485.36	10.18	70	6.16	7.27×10^{-10}	$7.27 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 7.28 \times 10^{-10}$
	B	40.72	635.76			9.28	3.19×10^{-20}	
	C	180.72	803.24			7.06	1.42×10^{-12}	
	D	99.28	803.24			8.50	2.16×10^{-17}	
02	A	140	485.36	19.79	70	6.16	7.27×10^{-10}	$7.27 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 8.66 \times 10^{-10}$
	B	79.16	635.76			8.49	3.02×10^{-17}	
	C	219.16	803.24			6.38	1.39×10^{-10}	
	D	60.84	803.24			9.13	9.01×10^{-20}	
03	A	140	485.36	31.11	70	6.16	7.2×10^{-10}	$1.03 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 1.10 \times 10^{-8}$
	B	124.44	635.76			7.49	8.07×10^{-14}	
	C	264.44	803.24			5.60	1.03×10^{-8}	
	D	15.56	803.24			9.79	1.90×10^{-22}	

Tableau 3.38: β en fonction de $f_e=275 \text{ kn/m}^2$ pour $l=h$ avec $M_c=185.99 \text{ kn.m}$, $M_b=141.99 \text{ kn.m}$

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	p_f	P_s^f
01	A	140	567.96	10.18	70	6.75	1.47×10^{-11}	$1.47 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 1.48 \times 10^{-11}$
	B	40.72	743.96			9.39	9.32×10^{-21}	
	C	180.72	939.94			7.53	4.25×10^{-14}	
	D	99.28	939.94			8.75	2.39×10^{-18}	
02	A	140	567.96	19.79	70	6.75	1.47×10^{-11}	$1.47 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 1.77 \times 10^{-11}$
	B	79.16	743.96			8.74	6.75×10^{-24}	
	C	219.16	939.94			6.94	2.99×10^{-12}	
	D	60.84	939.94			9.25	2.23×10^{-20}	
03	A	140	567.96	31.11	70	6.75	1.47×10^{-11}	$1.91 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 2.05 \times 10^{-10}$
	B	124.44	743.96			7.89	3.23×10^{-15}	
	C	264.44	939.94			6.26	1.91×10^{-10}	
	D	15.56	939.94			9.82	1.19×10^{-22}	

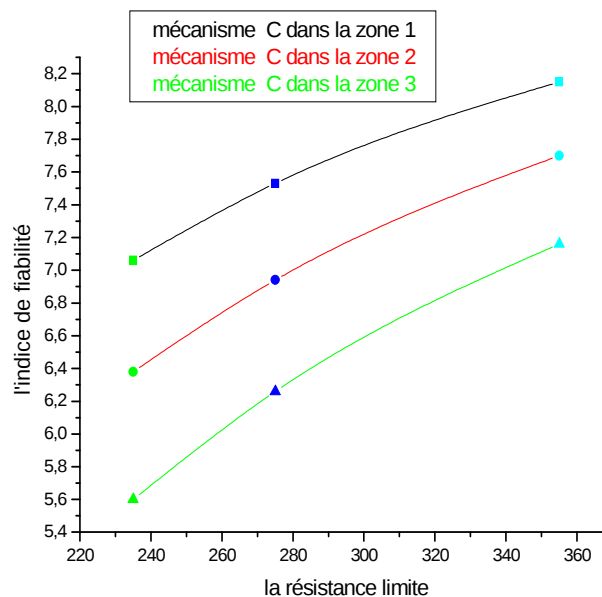
Tableau 3. 39: β en fonction de $f_e=355 \text{ kn/m}^2$ pour $l=h$ avec $M_c=240.10 \text{ kn.m}$, $M_b=183.3 \text{ kn.m}$

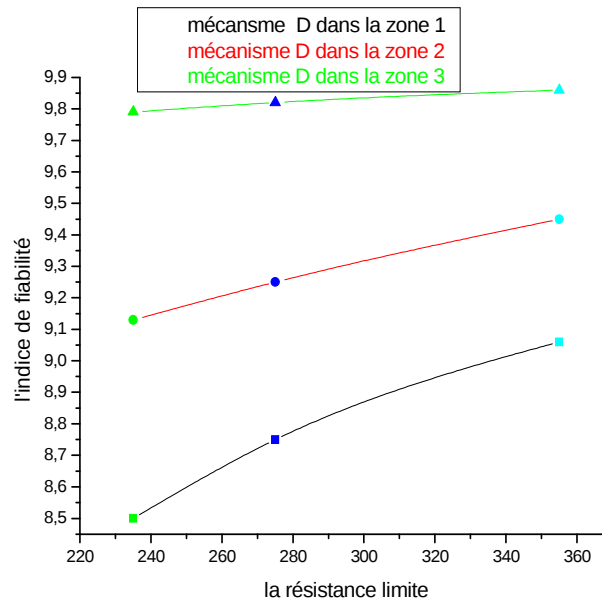
Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	140	733.2	10.18	70	7.55	4.33×10^{-14}	$4.33 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 4.36 \times 10^{-14}$
	B	40.72	960.40			9.54	1.83×10^{-21}	
	C	180.72	1213.4			8.15	2.97×10^{-16}	
	D	99.28	1213.4			9.06	1.27×10^{-19}	
02	A	140	733.2	19.79	70	7.55	4.33×10^{-14}	$4.33 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 5.38 \times 10^{-14}$
	B	79.16	960.40			9.05	1.63×10^{-19}	
	C	219.16	1213.4			7.70	1.04×10^{-14}	
	D	60.84	1213.4			9.45	3.54×10^{-21}	
03	A	140	733.2	31.11	70	7.55	4.33×10^{-14}	$4.33 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 4.46 \times 10^{-13}$
	B	124.44	960.40			8.42	3.73×10^{-17}	
	C	264.44	1213.4			7.16	4.03×10^{-13}	
	D	15.56	1213.4			9.86	6.45×10^{-23}	

Commentaire

La figure 3.32 montre que l'indice de fiabilité β augmente quand la résistance limite d'écoulement augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme C.

La figure 3.33 montre que l'indice de fiabilité β augmente quand la résistance limite d'écoulement augmente, mais l'indice de fiabilité β en zone 3 est supérieur à celui des zones 1 et 2 pour le mécanisme D.

**Figure 3. 32:** β en fonction de f_e du mécanisme C

Figure 3.33 : β en fonction de f_e du mécanisme DTableau 3.40: β en fonction $f_e = 235 \text{ kn/m}^2$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=237.56 \text{ kn.m}$, $M_b=196.54 \text{ kn.m}$

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	786.16	13.24	105	4.67	1.9×10^{-6}	$1.52 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 1.9 \times 10^{-6}$
	B	52.96	950.24			9.38	1.99×10^{-20}	
	C	367.96	1261.36			6.11	2.07×10^{-10}	
	D	262.04	1261.36			7.31	3.11×10^{-14}	
02	A	315	786.16	25.75	105	4.67	1.9×10^{-6}	$1.9 \times 10^{-6} \leq p_f^s \leq 1.91 \times 10^{-6}$
	B	103.00	950.24			8.71	3.27×10^{-18}	
	C	418.00	1261.36			5.57	1.59×10^{-8}	
	D	212	1261.36			7.88	2.54×10^{-15}	
03	A	315	786.16	40.46	105	4.67	1.9×10^{-6}	$1.9 \times 10^{-6} \leq p_f^s \leq 2.33 \times 10^{-6}$
	B	161.84	950.24			7.85	6.76×10^{-15}	
	C	476.84	1261.36			4.96	4.27×10^{-7}	
	D	153.16	1261.36			8.53	1.22×10^{-17}	

Tableau 3.41: en fonction $f_e = 275 \text{ kn/m}^2$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=277.99 \text{ kn.m}$, $M_b=229.99 \text{ kn.m}$

zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	919.96	13.24	105	5.42	3.91×10^{-8}	$3.91 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 3.92 \times 10^{-8}$
	B	52.96	1111.96			9.48	2.86×10^{-21}	
	C	367.96	1475.94			6.71	1.24×10^{-11}	
	D	262.04	1475.94			7.75	6.86×10^{-15}	
02	A	315	919.96	25.75	105	5.42	3.91×10^{-8}	$3.91 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 3.93 \times 10^{-7}$
	B	103.00	1111.96			8.92	4.71×10^{-19}	
	C	418.00	1475.94			6.23	2.89×10^{-10}	
	D	212	1475.94			8.23	1.47×10^{-16}	
03	A	315	919.96	40.46	105	5.42	3.91×10^{-8}	$3.91 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 4.72 \times 10^{-8}$
	B	161.84	1111.96			8.20	2.12×10^{-16}	
	C	476.84	1475.94			5.68	8.10×10^{-9}	
	D	153.16	1475.94			8.77	1.44×10^{-18}	

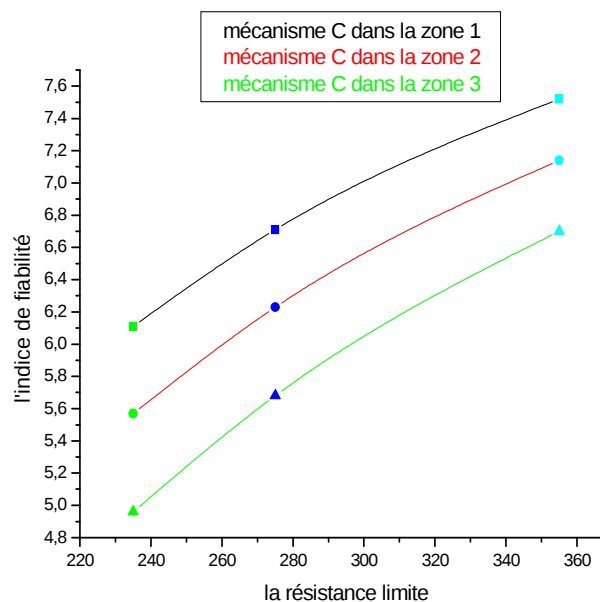
Tableau3.42 : β en fonction $f_e = 355 \text{ kn/m}^2$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=358.85 \text{ kn.m}$, $M_b=296.89 \text{ kn.m}$

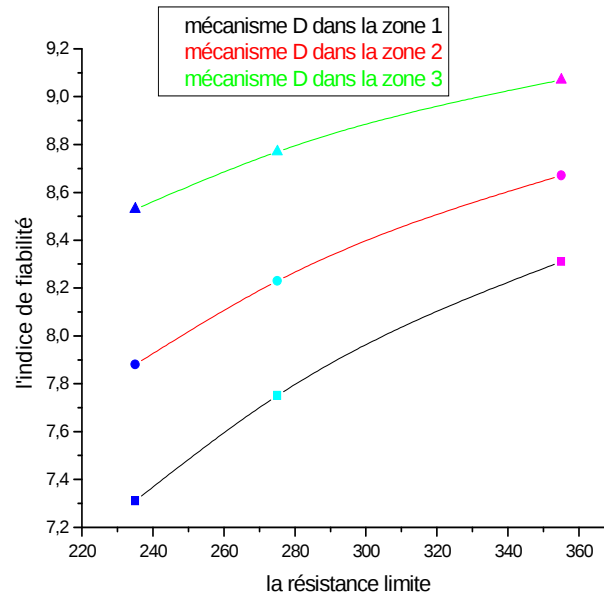
zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	1187.56	13.24	105	6.49	6.01×10^{-11}	$6.58 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 6.01 \times 10^{-11}$
	B	52.96	1435.40			9.60	7.34×10^{-22}	
	C	367.96	1905.26			7.52	3.50×10^{-14}	
	D	262.04	1905.26			8.31	6.58×10^{-9}	
02	A	315	1187.56	25.75	105	6.49	6.01×10^{-11}	$6.01 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 6.07 \times 10^{-11}$
	B	103.00	1435.40			9.18	3.63×10^{-20}	
	C	418.00	1905.26			7.14	5.74×10^{-13}	
	D	212	1905.26			8.67	2.11×10^{-19}	
03	A	315	1187.56	40.46	105	6.49	6.01×10^{-11}	$6.01 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 7.29 \times 10^{-11}$
	B	161.84	1435.40			8.65	4.16×10^{-18}	
	C	476.84	1905.26			6.70	1.28×10^{-11}	
	D	153.16	1905.26			9.07	8.49×10^{-20}	

Commentaire

La figure.3.34 montre que l'indice de fiabilité β augmente quand la résistance limite d'écoulement augmente, mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme C, $l=1.5h$.

La figure3.35 montre que l'indice de fiabilité β augmente quand la résistance limite d'écoulement augmente, mais l'indice de fiabilité β dans les zones 3 est Supérieur à celui des zones 2 et 1 pour le mécanisme D, $l=1.5h$.

**Figure 3. 34:** β en fonction de f_e du mécanisme C

Figure 3. 35: β en fonction de f_e du mécanisme DTableau 3. 43: β en fonction de $f_e = 235 \text{ kn/m}^2$ $l=2h$ avec $M_c=841.72 \text{ kn.m}$, $M_b=687.90 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_f
01	A	560	2751.60	18.33	140	7.37	9.91×10^{-14}	$9.91 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 9.93 \times 10^{-14}$
	B	73.32	3366.88			9.77	9.89×10^{-23}	
	C	633.32	4335.04			8.24	1.46×10^{-16}	
	D	486.68	4335.04			8.69	2.79×10^{-18}	
02	A	560	2751.60	35.64	140	7.37	9.91×10^{-14}	$9.81 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 1.00 \times 10^{-13}$
	B	142.56	3366.88			9.54	9.25×10^{-22}	
	C	702.56	4335.04			8.02	9.20×10^{-16}	
	D	417.44	4335.04			8.90	4.28×10^{-19}	
03	A	560	2751.60	56.01	140	7.37	9.91×10^{-14}	$9.91 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 1.06 \times 10^{-13}$
	B	224.04	3366.88			9.25	1.42×10^{-20}	
	C	784.04	4335.04			7.76	7.71×10^{-15}	
	D	335.96	4335.04			9.13	4.77×10^{-20}	

Tableau 3. 44: β en fonction de $f_e=275 \text{ kn/m}^2$ pour $l=2h$ avec $M_c=984.99 \text{ kn.m}$, $M_b=804.98 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_f
01	A	560	3219.92	18.33	140	7.80	3.7×10^{-15}	$3.7 \times 10^{-15} \leq p_f^s \leq 3.71 \times 10^{-15}$
	B	73.32	3939.96			9.80	6.77×10^{-23}	
	C	633.32	5189.9			8.52	8.56×10^{-18}	
	D	486.68	5189.9			8.90	3.09×10^{-19}	
02	A	560	3219.92	35.64	140	7.80	3.7×10^{-15}	$3.7 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 3.7 \times 10^{-15}$
	B	142.56	3939.96			9.61	4.5×10^{-22}	
	C	702.56	5189.9			8.34	4.08×10^{-17}	
	D	417.44	5189.9			9.07	6.5×10^{-20}	
03	A	560	3219.92	56.01	140	7.80	3.7×10^{-15}	$3.7 \times 10^{-11} \leq p_f^s \leq 3.95 \times 10^{-15}$
	B	224.04	3939.96			9.37	4.54×10^{-21}	
	C	784.04	5189.9			8.12	2.53×10^{-16}	
	D	335.96	5189.9			9.27	1.05×10^{-20}	

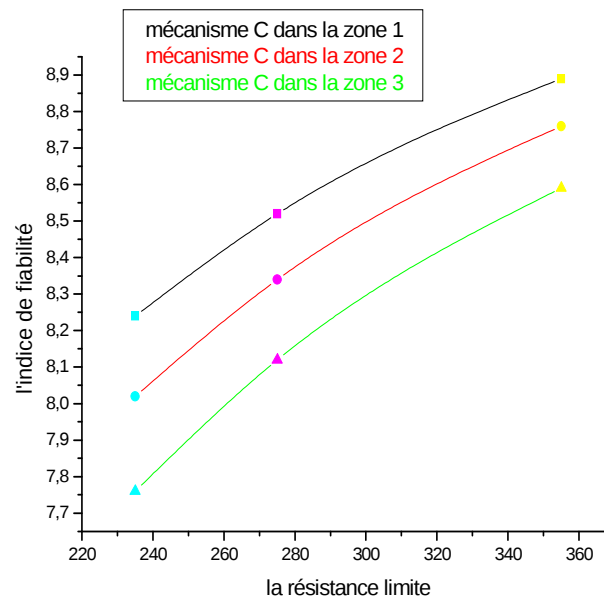
Tableau 3. 45: β en fonction de $f_e=355\text{kn/m}^2$ pour $l=2h$ ave $M_c=1271.5\text{kn.m}$, $M_c=1039.1\text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	560	4156.6	18.33	140	8.35	3.91×10^{-17}	$3.91 \times 10^{-17} \leq p_f^s \leq 3.95 \times 10^{-17}$
	B	73.32	5086.12			9.85	4.12×10^{-23}	
	C	633.32	6699.66			8.89	3.26×10^{-19}	
	D	486.68	6699.66			9.17	2.53×10^{-20}	
02	A	560	4156.6	35.64	140	8.35	3.91×10^{-7}	$3.91 \times 10^{-7} \leq p_f^s \leq 4.02 \times 10^{-17}$
	B	142.56	5086.12			9.70	1.75×10^{-22}	
	C	702.56	6699.66			8.76	1.1×10^{-18}	
	D	417.44	6699.66			9.30	7.71×10^{-21}	
03	A	560	4156.6	56.01	140	8.35	3.91×10^{-17}	$3.91 \times 10^{-17} \leq p_f^s \leq 4.37 \times 10^{-17}$
	B	224.04	5086.12			9.52	1.02×10^{-21}	
	C	784.04	6699.66			8.59	4.60×10^{-18}	
	D	335.96	6699.66			9.45	1.93×10^{-21}	

Commentaire

La figure 3.36 montre que β augmente quand la résistance limite d'écoulement augmente, mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme C, $l=2h$.

La figure 3.37 montre que β augmente quand la résistance limite d'écoulement augmente, mais l'indice de fiabilité β en zone 3 est Supérieur à celui des zones 2 et 1 pour le mécanisme D, $l=2h$.

**Figure 3. 36:** β en fonction de f_e du mécanisme C

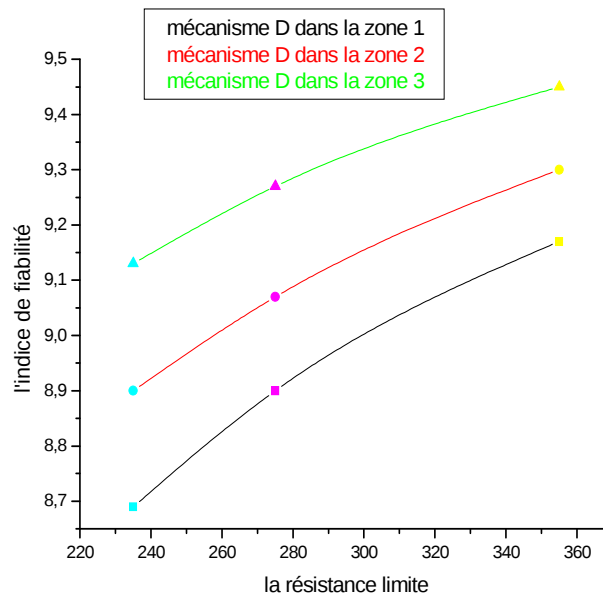


Figure 3. 37: β en fonction de f_e du mécanisme D

3.3.2.6 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de la résistance limite d'écoulement pour la loi log normale

Tableau 3.46: β en fonction de $f_e=235\text{kn/m}^2$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94\text{ kn.m}$, $M_b=121.34\text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	140	485.36	10.18	70	5.55	1.44×10^{-8}	$1.44 \times 10^{-8} \leq p_f^s \leq 1.44 \times 10^{-8}$
	B	40.72	635.76			12.28	3.72×10^{-29}	
	C	180.72	803.27			6.67	1.44×10^{-11}	
	D	99.28	803.27			9.34	6.50×10^{-21}	
02	A	140	485.36	19.79	70	5.55	1.44×10^{-8}	$1.44 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 1.802 \times 10^{-8}$
	B	79.16	635.76			9.31	8.87×10^{-21}	
	C	219.16	803.24			5.80	3.55×10^{-9}	
	D	60.84	803.24			11.53	1.61×10^{-27}	
03	A	140	485.36	31.11	70	5.55	1.44×10^{-8}	$3.14 \times 10^{-7} \leq p_f^s \leq 3.28 \times 10^{-7}$
	B	124.44	635.76			7.29	2.08×10^{-13}	
	C	264.44	803.24			4.96	3.14×10^{-7}	
	D	15.56	803.24			17.63	1.84×10^{-38}	

Tableau 3.47: β en fonction de $f_e = 275 \text{ kn/m}^2$ pour $l=h$ avec $M_c = 185.99 \text{ kn.m}$, $M_b = 141.99 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	140	567.96	10.18	70	6.26	2.3×10^{-10}	$2.3 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 2.77 \times 10^{-10}$
	B	40.72	743.96			12.99	1.40×10^{-30}	
	C	180.72	939.94			7.7	1.15×10^{-13}	
	D	99.28	939.94			10.05	9.38×10^{-24}	
02	A	140	567.96	19.79	70	6.26	2.3×10^{-10}	$2.3 \times 10^{-10} \leq p_f^s \leq 2.77 \times 10^{-10}$
	B	79.16	743.96			10.01	8.98×10^{-24}	
	C	219.16	939.94			6.51	4.71×10^{-11}	
	D	60.84	939.94			12.24	3.35×10^{-26}	
03	A	140	567.96	31.11	70	6.26	2.30×10^{-10}	$7.76 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 7.99 \times 10^{-9}$
	B	124.44	743.96			7.99	9.25×10^{-16}	
	C	264.44	939.94			5.61	7.76×10^{-9}	
	D	15.56	939.94			18.34	1.60×10^{-39}	

Tableau 3.48: β en fonction de $f_e = 355 \text{ kn/m}^2$ pour $l=h$ avec $M_c = 240.10 \text{ kn.m}$, $M_b = 183.3 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	140	733.2	10.18	70	7.40	9.16×10^{-14}	$9.16 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 9.17 \times 10^{-14}$
	B	40.72	960.41			14.3	5.60×10^{-33}	
	C	180.72	1213.4			8.51	1.22×10^{-17}	
	D	99.28	1213.4			11.19	1.09×10^{-26}	
02	A	140	733.2	19.79	70	7.40	9.16×10^{-14}	$9.16 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 1.05 \times 10^{-13}$
	B	79.16	960.41			11.16	1.51×10^{-26}	
	C	219.16	1213.4			7.65	1.39×10^{-14}	
	D	60.84	1213.4			13.38	2.52×10^{-31}	
03	A	140	733.2	31.11	70	7.40	9.16×10^{-14}	$3.92 \times 10^{-12} \leq p_f^s \leq 4.01 \times 10^{-12}$
	B	124.44	960.41			9.13	4.68×10^{-20}	
	C	264.44	1213.4			6.81	3.92×10^{-12}	
	D	15.56	1213.4			19.48	3.63×10^{-41}	

Commentaire

La figure 3.38 montre que β augmente quand la résistance limite d'écoulement augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme C.

La figure 3.39 montre que β augmente quand la résistance limite d'écoulement augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 3 est Supérieur à celui des zones 2 et 1 pour le mécanisme D.

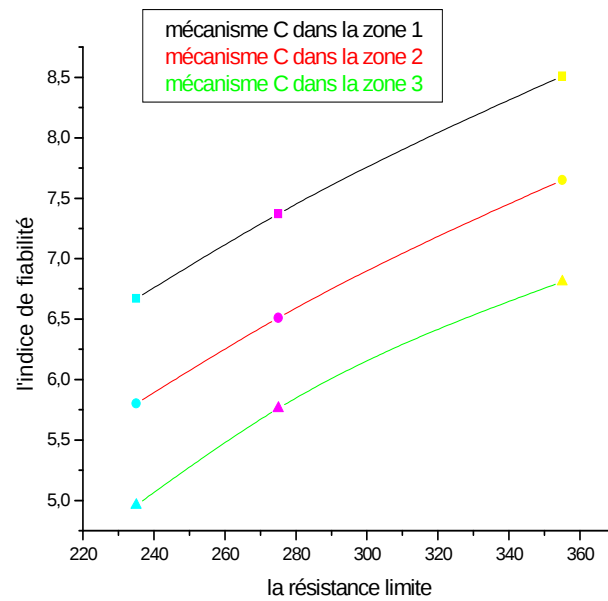


Figure 3. 38 : β en fonction de f_e du mécanisme C

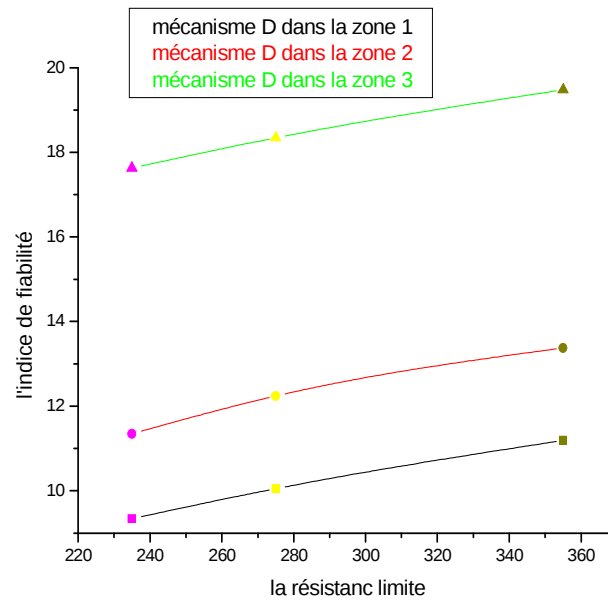


Figure 3. 39: β en fonction de f_e du mécanisme D

Tableau 3.49: β en fonction $f_e=235 \text{ kn/m}^2$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=237.56 \text{ kn.m}$, $M_b=196.54 \text{ kn.m}$.

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	786.16	13.24		4.09	1.52×10^{-5}	$1.52 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 1.52 \times 10^{-5}$
	B	52.97	950.24			12.91	2.02×10^{-30}	
	C	367.97	1261.28			5.5	1.9×10^{-8}	
	D	262.04	1261.28			7.02	1.41×10^{-12}	
02	A	315	786.16	25.75		4.09	1.52×10^{-5}	$1.52 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 1.56 \times 10^{-5}$
	B	103.00	950.24			9.93	2.50×10^{-23}	
	C	418.00	1261.28			4.93	3.62×10^{-7}	
	D	211.99	1261.28			7.95	1.10×10^{-15}	
03	A	315	786.16	40.46		4.09	1.52×10^{-5}	$1.52 \times 10^{-5} \leq p_f^s \leq 2.05 \times 10^{-5}$
	B	161.84	950.24			7.91	1.77×10^{-15}	
	C	476.86	1261.28			435	5.26×10^{-6}	
	D	153.13	1261.28			9.42	3.07×10^{-21}	

Tableau 3.50: β en fonction de $f_e=275 \text{ kn/m}^2$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=277.99 \text{ kn.m}$, $M_b=229.99 \text{ kn.m}$.

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	919.96	13.24		4.79	7.29×10^{-7}	$5.24 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 2.66 \times 10^{-9}$
	B	52.96	1111.96			13.61	9.36×10^{-32}	
	C	367.97	1475.94			6.21	3.16×10^{-10}	
	D	262.04	1475.94			7.73	7.67×10^{-15}	
02	A	315	919.96	25.75		4.79	7.29×10^{-7}	$5.24 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 2.66 \times 10^{-9}$
	B	103.00	1111.96			10.63	7.62×10^{-25}	
	C	418.00	1475.94			5.64	9.17×10^{-9}	
	D	211.99	1475.94			8.67	2.98×10^{-18}	
03	A	315	919.96	40.46		4.79	7.29×10^{-7}	$7.29 \times 10^{-7} \leq p_f^s \leq 9.36 \times 10^{-7}$
	B	161.84	1111.96			8.61	4.99×10^{-18}	
	C	476.86	1475.94			5.05	2.07×10^{-7}	
	D	153.13	1475.94			10.13	5.28×10^{-24}	

Tableau 3.51: β en fonction de $f_e=355 \text{ kn/m}^2$ pour $l=1.5h$ avec $M_c=358.85 \text{ kn.m}$, $M_b=296.89 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	315	1187.56	13.24	70	5.93	1.69×10^{-9}	$1.69 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 1.69 \times 10^{-9}$
	B	52.96	1435.4			14.75	8.43×10^{-34}	
	C	367.97	1905.26			7.35	1.33×10^{-13}	
	D	262.04	1905.26			8.87	5.32×10^{-19}	
02	A	315	1187.56	25.75	70	5.93	1.69×10^{-9}	$1.69 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 1.7 \times 10^{-9}$
	B	103.00	1435.40			11.78	4.42×10^{-28}	
	C	418.00	1905.26			6.78	7.68×10^{-12}	
	D	211.99	1905.26			9.81	7.34×10^{-23}	
03	A	315	1187.56	40.46	70	5.93	1.69×10^{-9}	$1.69 \times 10^{-9} \leq p_f^s \leq 2.05 \times 10^{-9}$
	B	161.84	1435.40			9.76	1.28×10^{-22}	
	C	476.86	1905.26			6.19	3.52×10^{-10}	
	D	153.13	1905.26			11.27	1.90×10^{-27}	

Commentaire

La figure 3.40 que β augmente quand la résistance limite d'écoulement augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 du mécanisme C pour la loi log normale $l=1.5h$

La figure 3.41 montre que l'indice de fiabilité β augmente quand la résistance limite d'écoulement augmente, l'indice de fiabilité β dans les zones 3 est Supérieur à celui des zones 2 et 1 du mécanisme D pour la loi normale, $l=1.5h$.

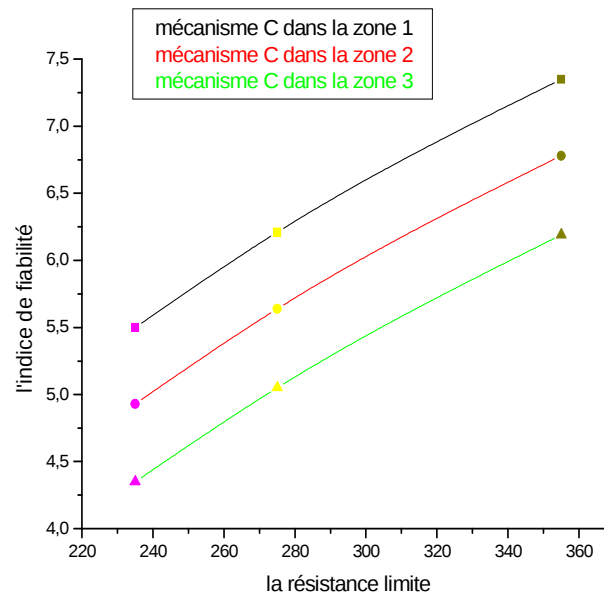


Figure 3. 40: β en fonction de f_e du mécanisme C

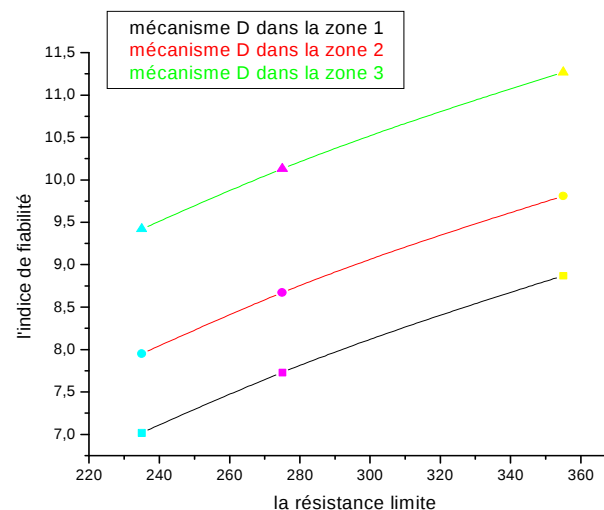


Figure 3. 41: β en fonction de f_e du mécanisme D

Tableau 3.52: β en fonction de $f_e = 235 \text{ kn/m}^2$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72 \text{ kn.m}$, $M_b=687.9 \text{ kn.m}$.

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	560	2751.60	18.33	140	7.11	7.36×10^{-13}	$7.36 \times 10^{-13} \leq p_f^s \leq 7.36 \times 10^{-13}$
	B	73.32	3366.88			17.11	1.15×10^{-37}	
	C	633.32	4435.04			8.70	5.78×10^{-18}	
	D	486.68	4435.04			9.88	1.03×10^{-22}	
02	A	560	2751.60	35.64	140	7.11	7.36×10^{-13}	$7.36 \times 10^{-13} \leq p_f^s \leq 7.36 \times 10^{-13}$
	B	142.56	3366.88			14.14	1.09×10^{-32}	
	C	702.56	4435.04			8.24	2.93×10^{-16}	
	D	417.44	4435.04			10.56	1.07×10^{-24}	
03	A	560	2751.60	56.01	140	7.11	7.36×10^{-13}	$7.36 \times 10^{-13} \leq p_f^s \leq 7.51 \times 10^{-13}$
	B	224.04	3366.88			12.11	8.45×10^{-29}	
	C	784.04	4435.04			7.74	1.45×10^{-14}	
	D	335.96	4435.04			11.53	1.94×10^{-27}	

Tableau 3. 53: β en fonction de $f_e = 275 \text{ kn/m}^2$ pour $l=2h$ $M_c=984.99 \text{ kn.m}$, $M_b=804.98 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	560	3219.92	18.33	140	7.82	3.72×10^{-15}	$3.72 \times 10^{-15} \leq p_f^s \leq 3.72 \times 10^{-15}$
	B	73.32	3939.96			17.81	9.83×10^{-39}	
	C	633.32	5189.94			9.40	3.79×10^{-21}	
	D	486.68	5189.94			10.58	1.87×10^{-24}	
02	A	560	3219.92	35.64	140	7.82	3.72×10^{-15}	$3.72 \times 10^{-15} \leq p_f^s \leq 3.72 \times 10^{-15}$
	B	142.56	3939.96			14.84	1.25×10^{-34}	
	C	702.56	5189.94			8.94	2.81×10^{-19}	
	D	417.44	5189.94			11.27	6.93×10^{-27}	
03	A	560	3219.92	56.01	140	7.82	3.72×10^{-15}	$3.72 \times 10^{-15} \leq p_f^s \leq 3.74 \times 10^{-15}$
	B	224.04	3939.96			12.34	1.96×10^{-29}	
	C	784.04	5189.94			8.45	2.10×10^{-17}	
	D	335.96	5189.94			12.24	4.53×10^{-29}	

Tableau 3. 54: en fonction de $f_e = 355 \text{ kn/m}^2$ pour $l=2h$ avec $M_c=1271.53 \text{ kn.m}$, $M_b=1039.15 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	A	560	4156.6	18.33	140	8.96	2.31×10^{-19}	$2.31 \times 10^{-19} \leq p_f^s \leq 2.31 \times 10^{-19}$
	B	73.32	5086.12			18.95	2.06×10^{-40}	
	C	633.32	6699.66			10.54	4.93×10^{-24}	
	D	486.68	6699.66			11.72	5.97×10^{-28}	
02	A	560	4156.6	35.64	140	8.96	2.31×10^{-19}	$2.13 \times 10^{-19} \leq p_f^s \leq 2.31 \times 10^{-19}$
	B	142.56	5086.12			15.98	7.21×10^{-36}	
	C	702.56	6699.66			10.08	7.39×10^{-24}	
	D	417.44	6699.66			12.41	2.01×10^{-29}	
03	A	560	4156.6	56.01	140	8.96	2.31×10^{-19}	$2.31 \times 10^{-19} \leq p_f^s \leq 2.32 \times 10^{-19}$
	B	224.04	5086.12			13.96	2.13×10^{-32}	
	C	784.04	6699.66			9.59	6.33×10^{-22}	
	D	335.96	6699.66			13.38	2.52×10^{-31}	

Commentaire

La figure 3.42 montre que l'indice de fiabilité β augmente quand la résistance limite d'écoulement augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 1 est Supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme C, $l=2h$.

La figure 3.43 montre que β augmente quand la limite d'élasticité augmente mais l'indice de fiabilité β en zone 3 est Supérieur à celui des zones 2 et 1 pour le mécanisme D, $l=2h$.

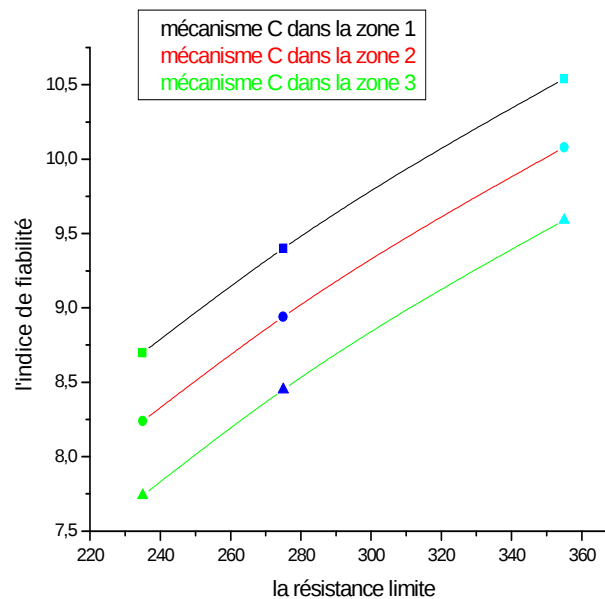


Figure 3. 42: β en fonction de f_e du mécanisme C

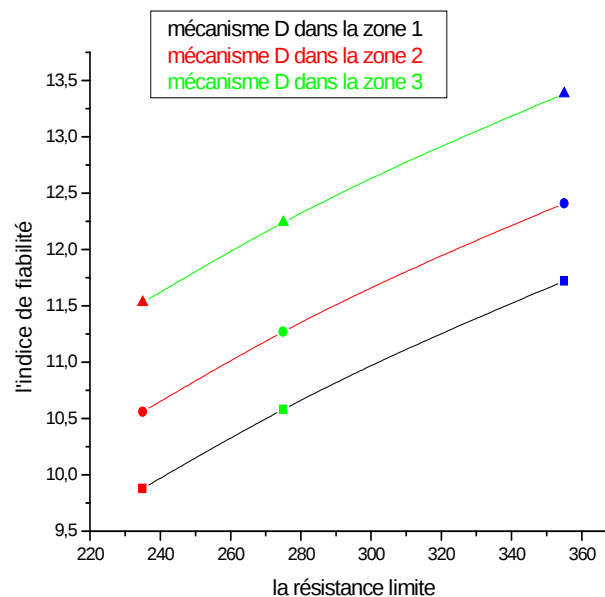


Figure 3. 43: β en fonction de f_e du mécanisme D

3.4 LA COMPARAISON ENTRE LA LOI NORMALE ET LA LOI LOG NORMALE

La figure 3.44 montre que β diminue quand γ augmente pour les mécanismes A, C et D mais l'indice de fiabilité β reste constante pour le mécanisme B et cette dernière est supérieur des mécanismes D, C et A pour la loi normal , $l=h$.

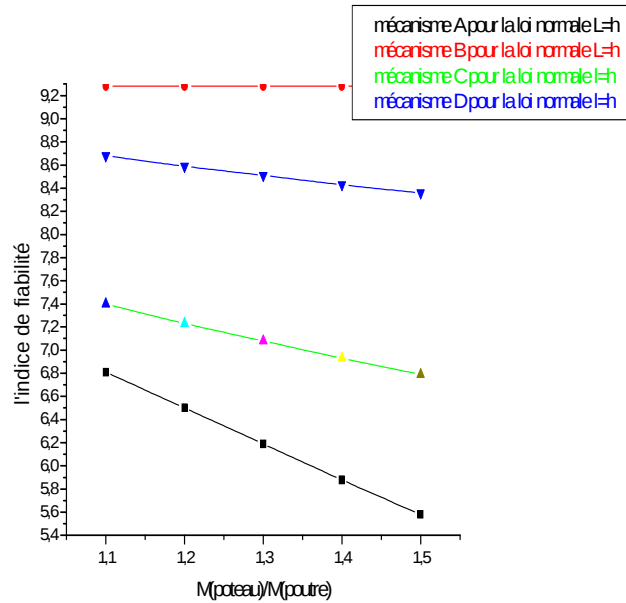


Figure 3. 44: β en fonction de γ pour les mécanismes A, B, C et D

La figure 3.45 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente pour les mécanismes A, C et D mais β reste constante pour le mécanisme B et cette dernière est supérieur des mécanismes D, C et A pour la loi normal , $l=1.5h$.

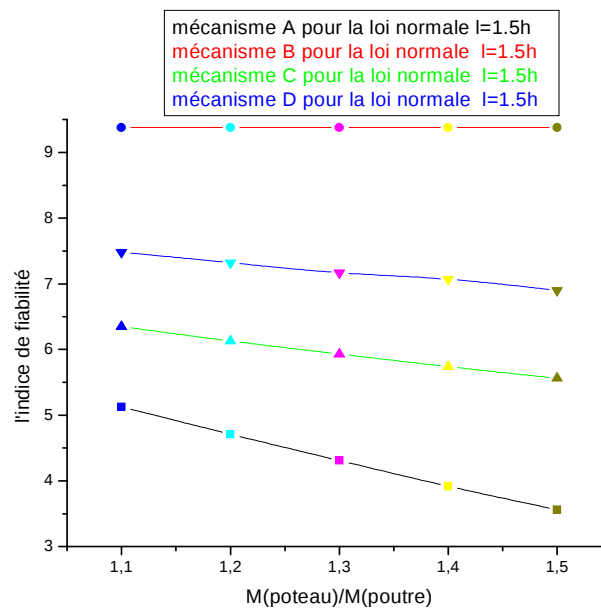


Figure 3. 45: β en fonction de γ pour les mécanismes A, B, C et D

La figure 3.46 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente pour les mécanismes A,C et D mais β reste constante pour le mécanisme B et cette dernière est supérieur des mécanismes D,C et A pour la loi normal , $l=2h$

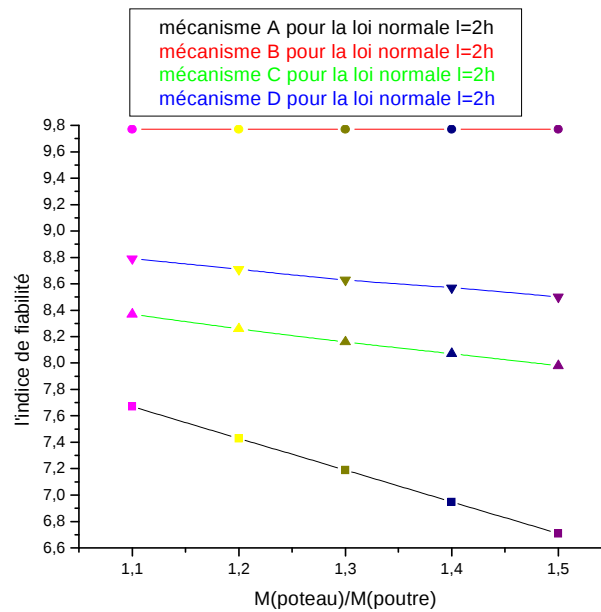


Figure 3. 46: β en fonction de γ des mécanismes (A , B ,C et D)

La figure 3.47 montre que β diminue quand γ augmente pour le mécanisme C et l'indice de fiabilité pour $l=2h$ est supérieur à celui pour $l=1.5h$ et $l=h$ de la loi normale en zone 3.

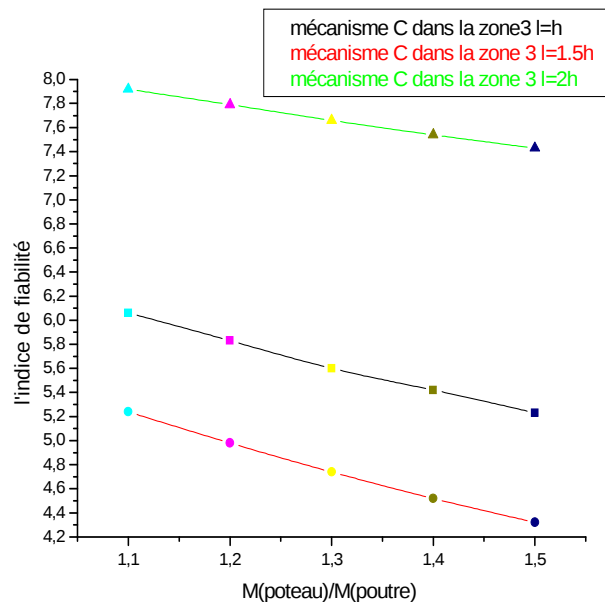


Figure 3.47: β en fonction de γ du mécanisme C dans la zone 3

La figure 3.48 montre que β diminue quand γ augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β de la loi log normale est supérieur à celui de la loi normale pour le mécanisme C en zone 1, pour $l=2h$

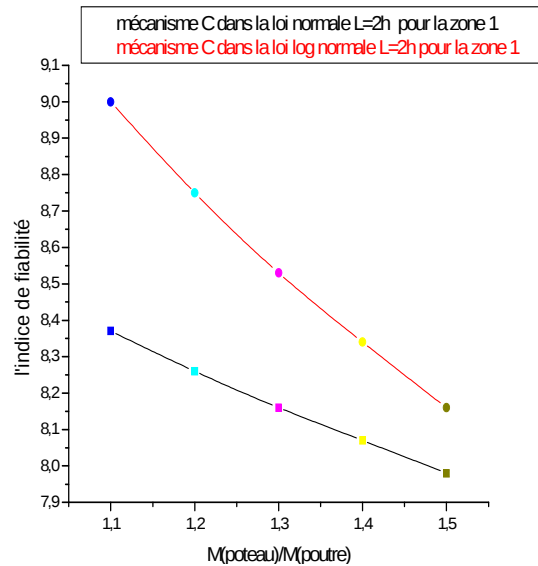


Figure 3.48: β en fonction de γ du mécanisme C pour la zone 1

La figure 3.49 montre que β diminue quand γ augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β de la loi normale est supérieur à celui de la loi-log normale pour le mécanisme C en zone 1, $l=1.5h$.

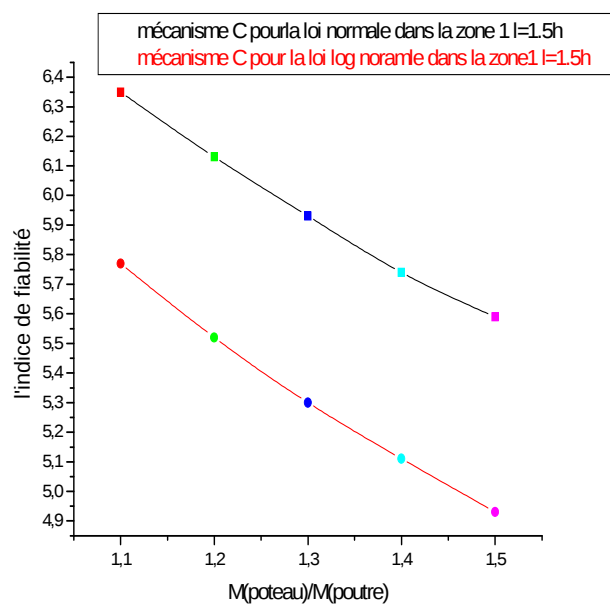


Figure 3. 49: β en fonction de γ du mécanisme C pour la zone 1

La figure 3.50 montre que β diminue quand γ augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β de la loi normale est supérieur à celui de la loi log normale pour le mécanisme C en zone 1, $l=h$.

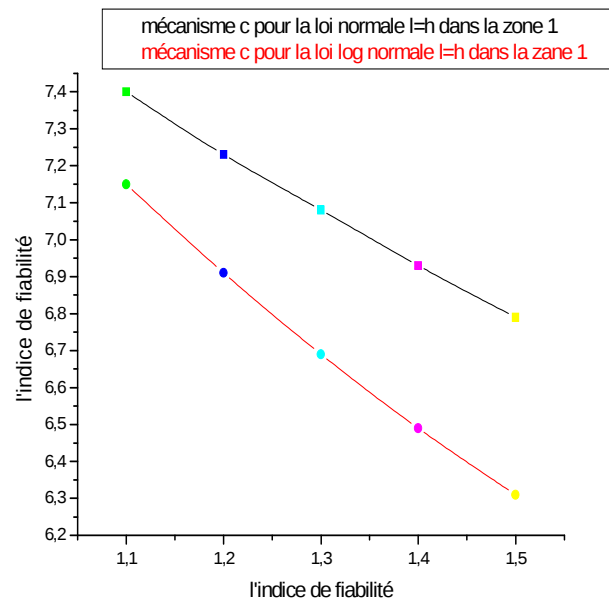


Figure 3. 50: β en fonction de γ du mécanisme C pour la zone 1

La figure 3. 51 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente pour les deux lois de variations, et l'indice de fiabilité β de la loi normale est supérieur à celui de la loi-log normale pour le mécanisme C en zone 2, $l=h$

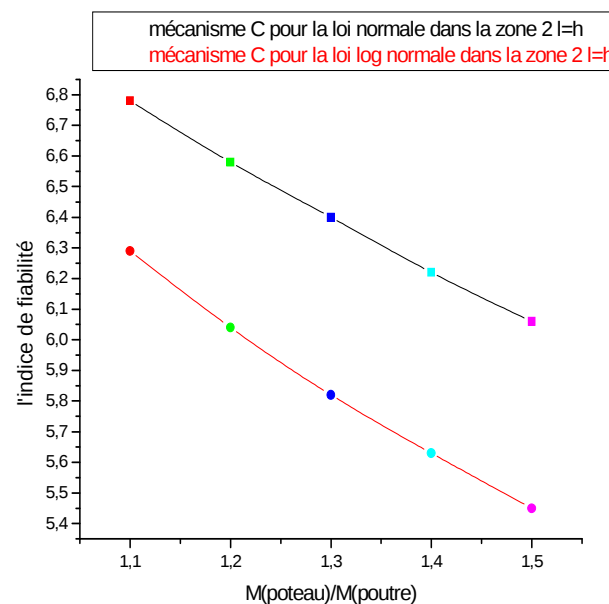


Figure 3. 51: β en fonction de γ du mécanisme C pour la zone 2

La figure 3. 52 montre que β diminue quand γ augmente pour les deux lois de variations , et l'indice de fiabilité β de la loi normale est supérieur à celui de la loi-log normale pour le mécanisme C en zone 2 , $l=1.5h$.

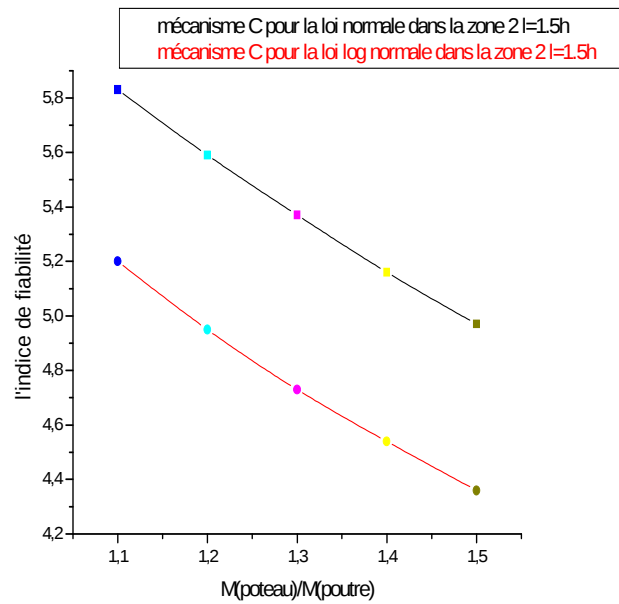


Figure 3. 52: β fonction de γ du mécanisme C

La figure 3.53 montre que β diminue quand γ augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β de la loi log normale est supérieur à celui de la loi normale dans l'intervalle $\gamma=1.1$ à 1.45 à partir de cette valeur la tendance s'inverse et tout ça dans la zone 2 , $l=2h$.

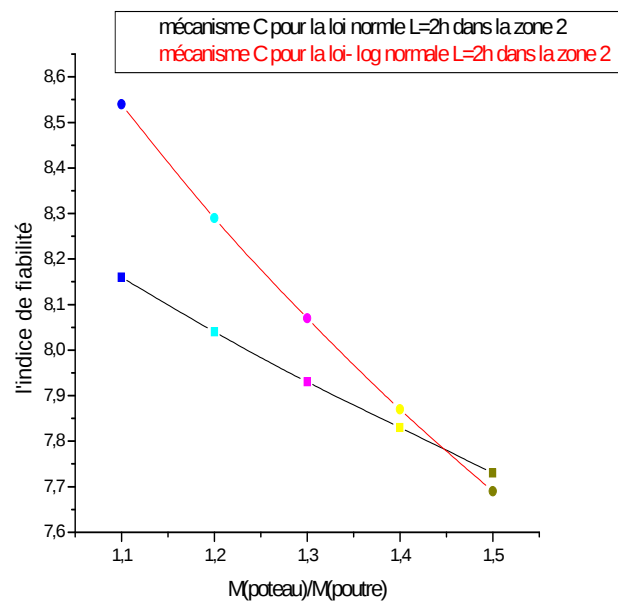


Figure 3. 53: β en fonction de γ du mécanisme C

La figure 3. 54 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand γ augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β de la loi normale est supérieur à celui de la loi log normale pour le mécanisme C en zone 2 , $l=h$.

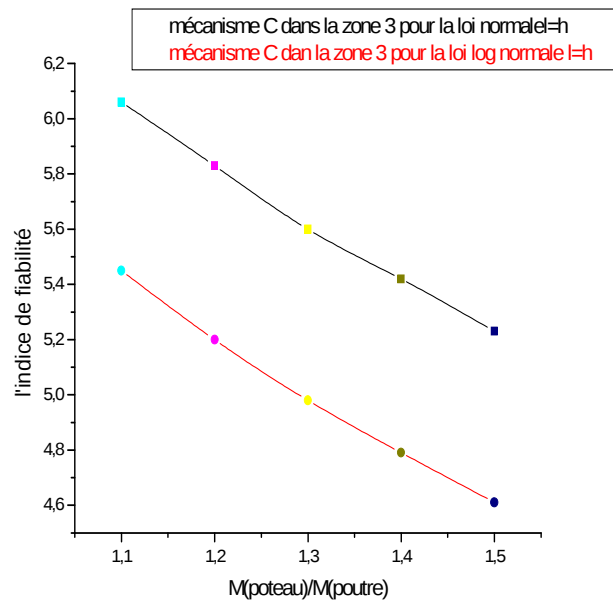


Figure 3. 54: β en fonction de γ du mécanisme C

La figure 3.55 montre que β diminue quand γ augmente et l'indice de fiabilité de la loi normale supérieur à celui de la loi log normale pour le mécanisme C en zone 3 , $l=1.5h$.

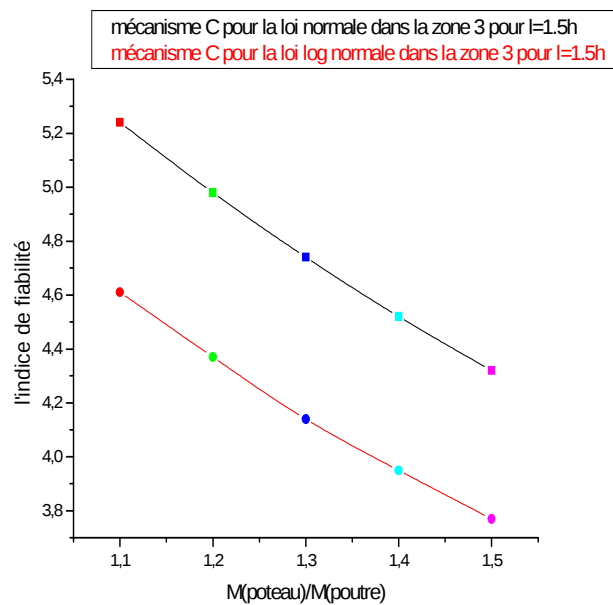


Figure 3. 55: β en fonction de γ du mécanisme C

La figure 3.56 montre que β diminue quand γ augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β pour la loi log normale est supérieur à celui de la loi normale dans l'intervalle $\gamma=1.1$ à 1.18 à partir de cette valeur la tendance s'inverse et tout ça dans la zone 3, $l=2h$.

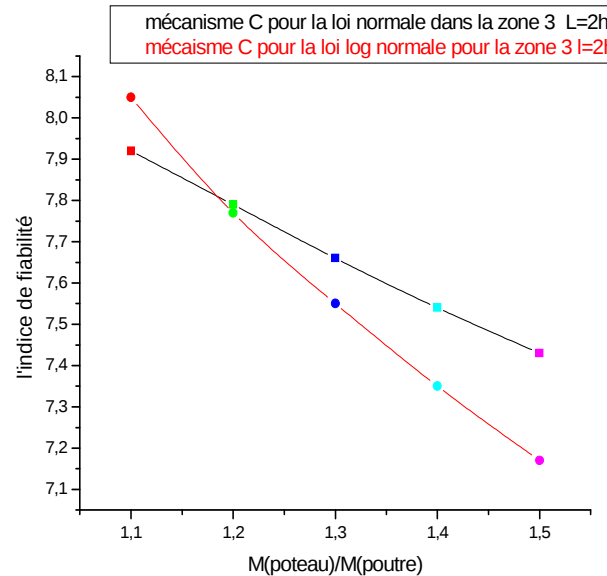


Figure 3. 56: β en fonction de γ du mécanisme C

La figure 3.57 montre que β diminue quand la sismicité augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β de la loi normale est supérieur à celui de la loi log –normale pour le mécanisme C en zone 3, $l=h$, $\gamma=1.1$

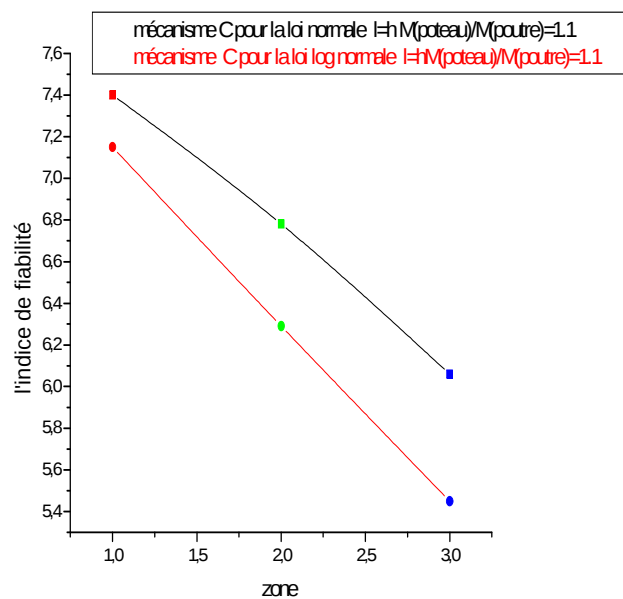


Figure 3.57: β en fonction de γ du mécanisme C

La figure 3.58 montre que β diminue quand la sismicité augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β de la loi normale est supérieur à celui de la loi log normale pour le mécanisme C, $\gamma = 1.1$, $l = 1.5h$

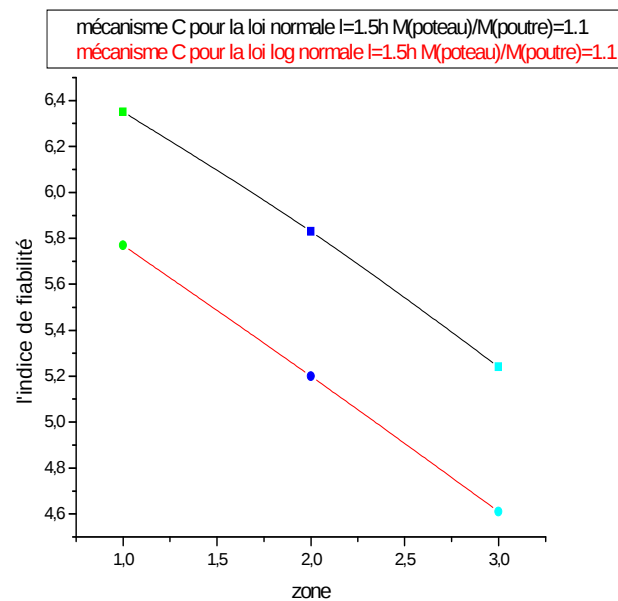


Figure 3. 58: β en fonction de γ du mécanisme C

La figure 3.59 montre que β diminue quand la sismicité augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β de la loi log normale est supérieur à celui de la loi normale pour le mécanisme C, $\gamma = 1.1$, $l = 2h$.

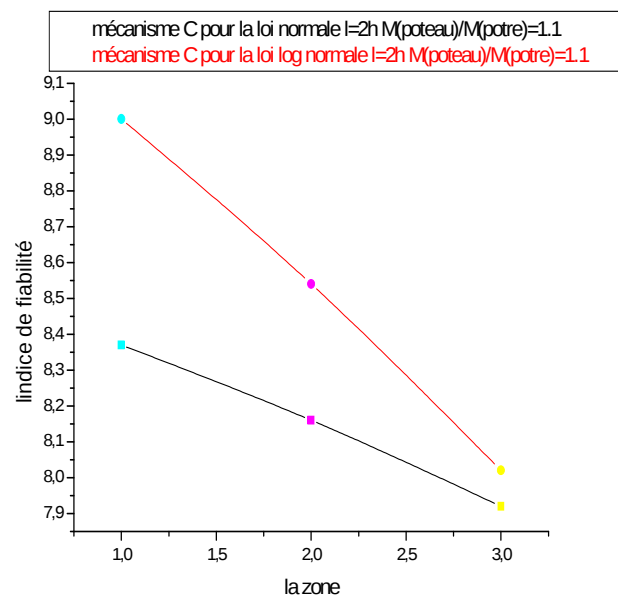


Figure 3. 59: β en fonction de γ du mécanisme C

La figure 3. 60 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand la sismicité augmente pour les deux lois de variation, et l'indice de fiabilité β pour la loi- normale est supérieur à celui de la loi log normale pour le mécanisme C , $\gamma = 1.2$, $l=h$.

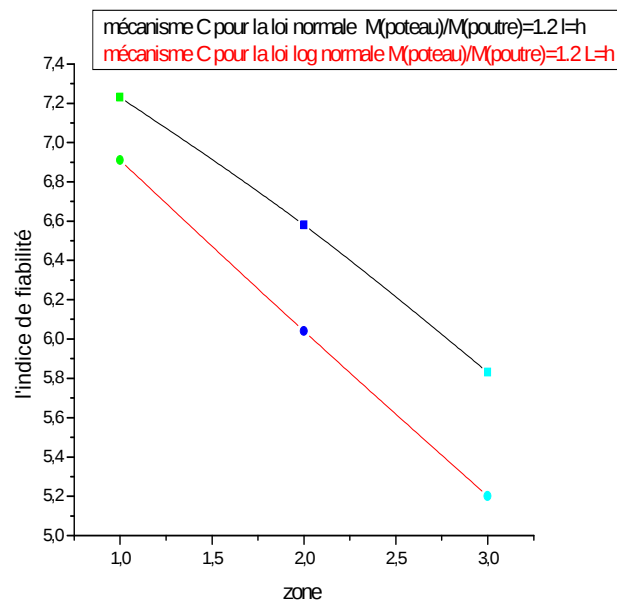


Figure 3. 60: β en fonction de la zone

La figure 3. 61 montre que β diminue quand la sismicité augmente pour les deux lois de variation, et l'indice de fiabilité β pour la loi normale est supérieur à celui de la loi -log normale pour le mécanisme C , $\gamma = 1.2$, $l=1.5h$.

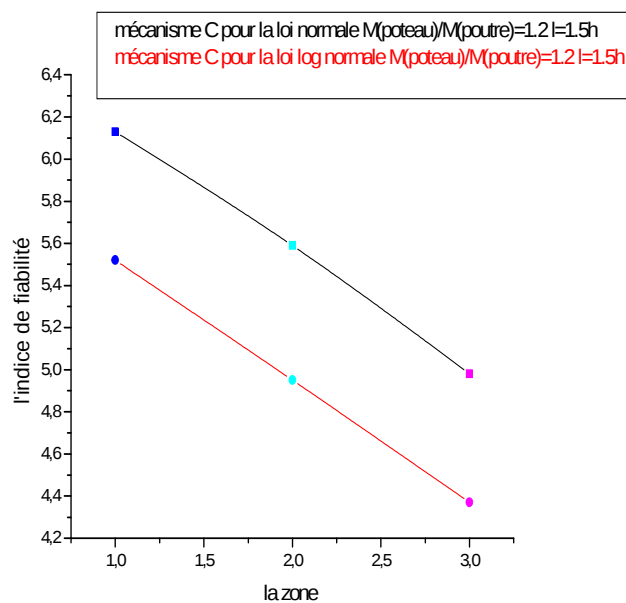


Figure 3. 61: β en fonction de la zone du mécanisme C

La figure 3.62 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand la sismicité augmente pour les deux lois de variation, et l'indice de fiabilité β pour la loi log normale est supérieur à celui de la loi normale pour le mécanisme C, $\gamma = 1.2$, $l=2h$.

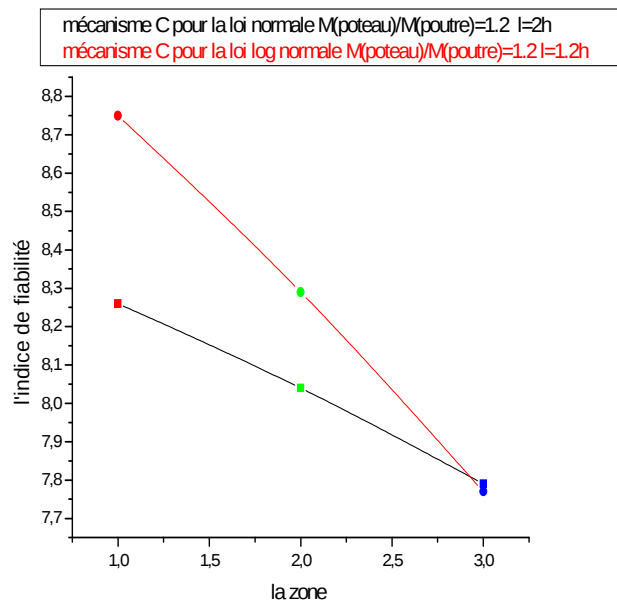


Figure 3. 62: β en fonction de la zone

La figure 3. 63 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand la sismicité augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β pour la loi normale est supérieur à celui de la loi log normale pour le mécanisme C, $l=h$, $\gamma = 1.3$.

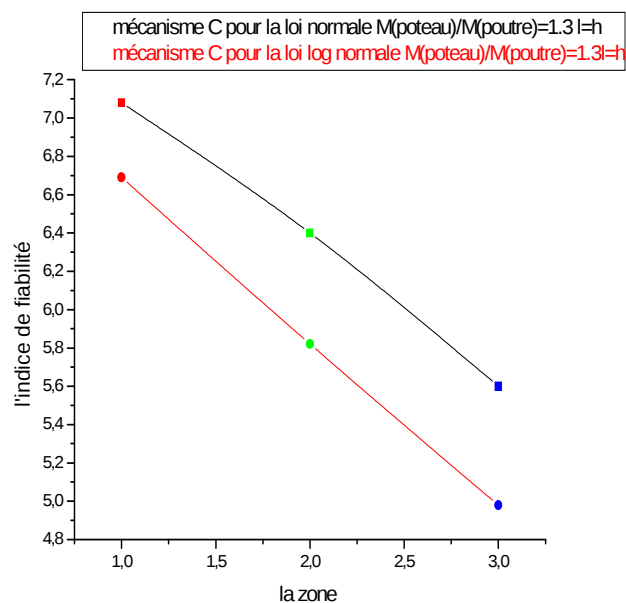


Figure 3. 63: β en fonction de la zone

La figure 3.64 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand la sismicité augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β de la loi normale est supérieur à celui de la loi log normale pour le mécanisme C , $l=h$, $\gamma = 1.3$.

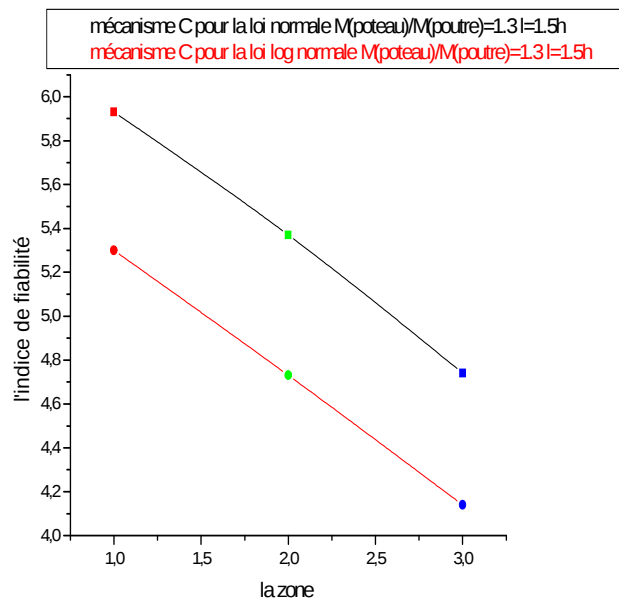


Figure 3. 64: β en fonction de la zone

La figure 3. 65 montre que β diminue quand la sismicité augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β pour la loi-log-normale est supérieur à celui de la loi-normale en zone 1 et 2 , et entre la zone 2 et 3 l'indice de fiabilité de la loi log normal est inférieur de la loi normal pour le mécanisme C , $l=2h$. $\gamma = 1.3$.

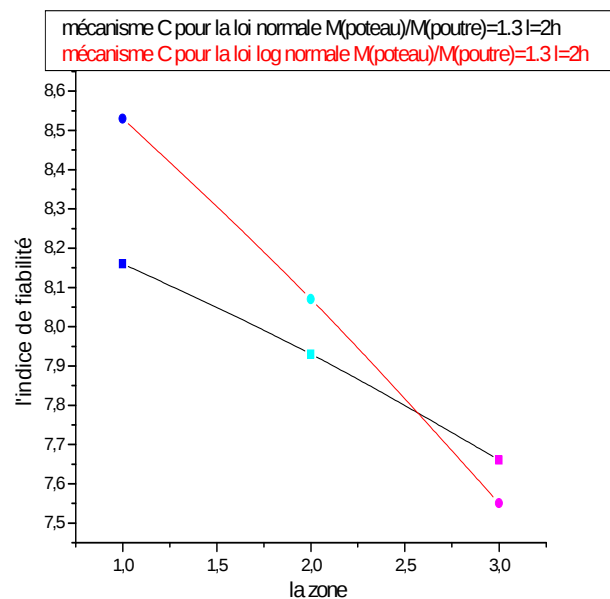


Figure 3. 65: β en fonction γ de la zone

La figure 3. 66 montre que β diminue quand la sismicité augmente pour les deux loi de variation et l'indice de fiabilité pour la loi normale est supérieur à celui de la loi log normale pour le mécanisme C , $l=h$, $\gamma = 1.5$.

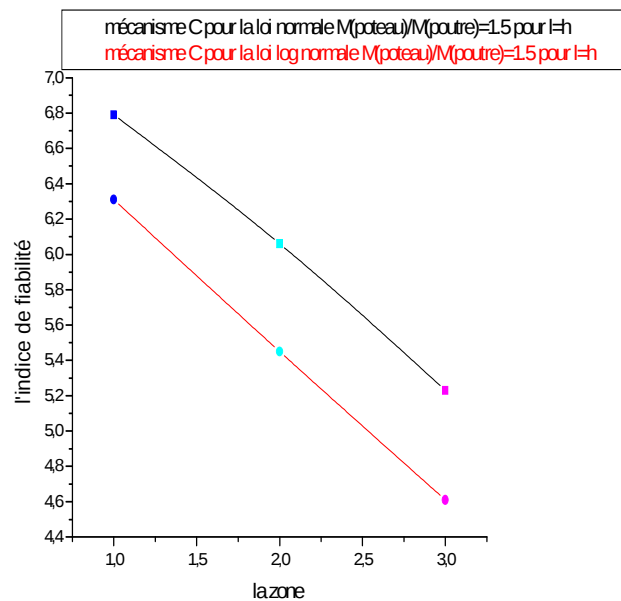


Figure 3. 66: β en fonction γ de la zone

La figure 3.67 montre que β diminue quand la sismicité augmente pour les deux loi de variation et l'indice de fiabilité β de la loi normale est supérieur à celui de la loi log normale pour le mécanisme C , $l=1.5h$, $\gamma = 1.5$.

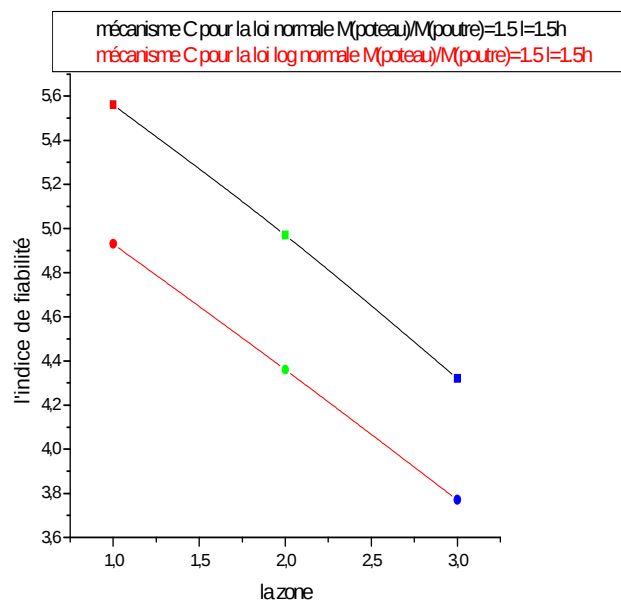


Figure 3. 67: β en fonction γ de la zone

La figure 3.68 montre que β diminue quand la sismicité augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β pour la loi-log-normale est supérieur à celui de la loi-normale en zone 1 et 2 et entre la zone 2 et 3 l'indice de fiabilité de la loi log normal est inférieur de la loi normal pour le mécanisme C, $l=2h$, $\gamma = 1.5$.

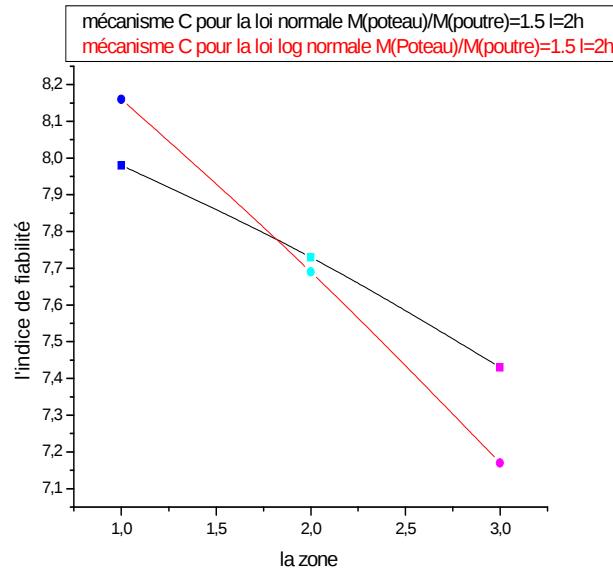


Figure 3. 68: β en fonction de la zone

La figure 3.69 montre que β diminue quand $\Omega = H/V$ augmente pour les deux lois de variation, et l'indice de viabilité β de la loi normale est supérieur à celui de la loi log normale pour $l=h$.

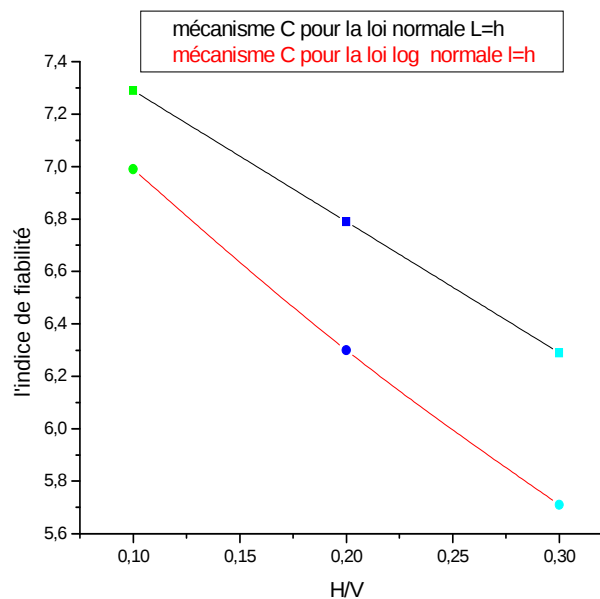


Figure 3. 69: β en fonction de $\Omega = H/V$ Pour le mécanisme C

La figure 3.70 montre que β diminue quand $\Omega = H/V$ augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β pour la loi log-normale est supérieur à celui de la loi normale pour $l=1.5h$.

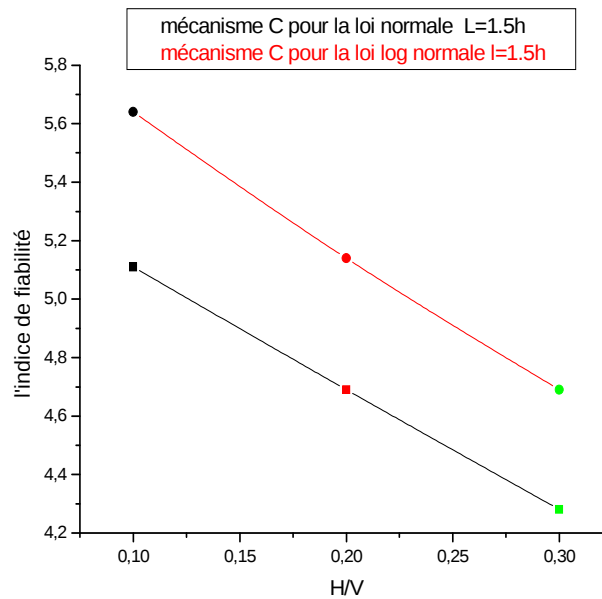


Figure 3. 70: β en fonction de $\Omega = H/V$ pour le mécanisme C

La figure 3.71 montre que l'indice de fiabilité β diminue quand $\Omega = H/V$ augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β de la loi log normale est supérieur à celui pour la loi normale, $l=2h$.

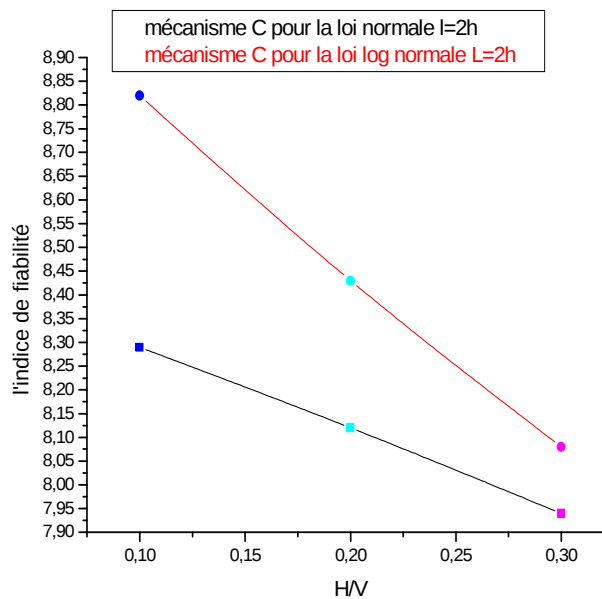


Figure 3. 71: β en fonction de $\Omega = H/V$ pour le mécanisme C

CHAPITRE IV
CALCUL FIABILISTE D'UN PORTIQUE
ETAGE

4 CALCUL FIABILIST D'UN PORTIQUE ETAGE

4.1 INTRODUCTION

Ce chapitre représente le calcul de l'indice de fiabilité en fonction du rapport $\lambda=L/h$, du rapport $\Omega =H/V$ et la résistance limite d'écoulement pour les deux lois de variation et la probabilité de défaillance d'un système en parallèle

4.2 DIMENSIONNEMENT D'UN CADRE ETAGE

4.2.1 Les actions agissent sur le portique à un étage

$$G=6 \text{ kn/m}^2, Q=1 \text{ kn/m}^2$$

4.2.2 Le Choix des dimensions

$L=h$, HEA 220 (poutre), HEA 240 (poteau), pour les zones 1, 2 et 3.

$L=1.5h$, HEA 260(poutre), HEA 280 (Poteau), pour les zones 1,2 et 3.

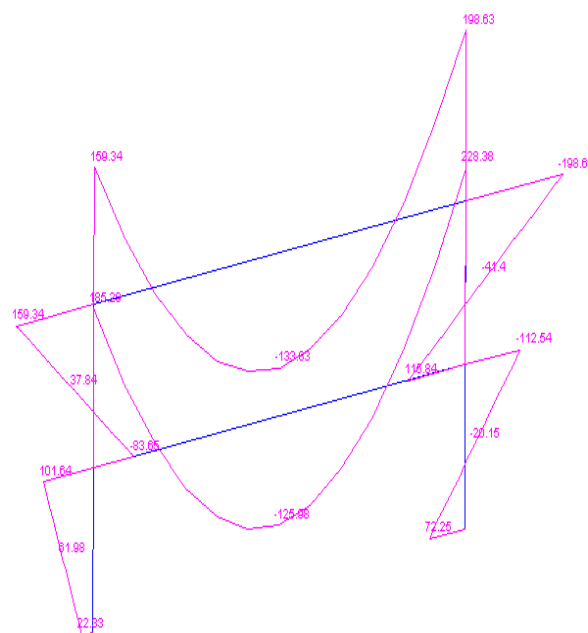
$L=2h$, HEA 450 (poutre), HEA 500 (poteau), pour les zones 1,2 et 3.

4.2.3 Diagramme des moments fléchissant de la combinaison $G+Q+E$

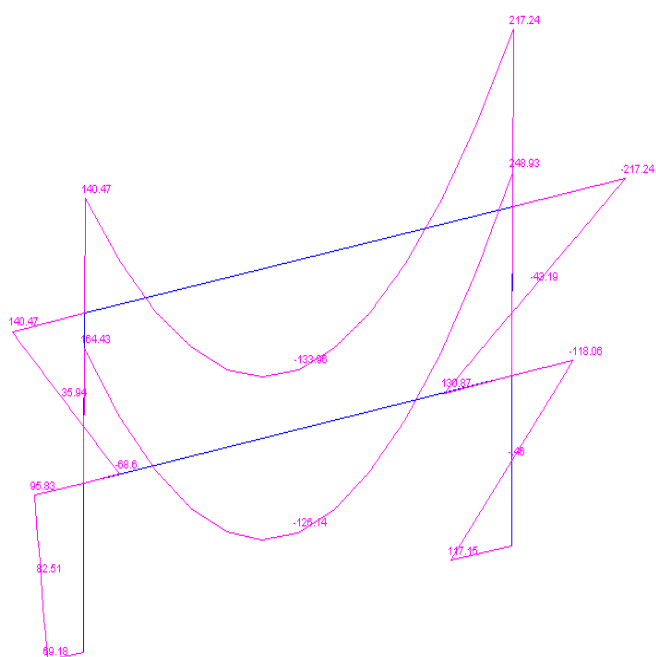
Les diagrammes des moments fléchissant sous dissous sont obtenus après l'application du logiciel de stade.

$L=h$,

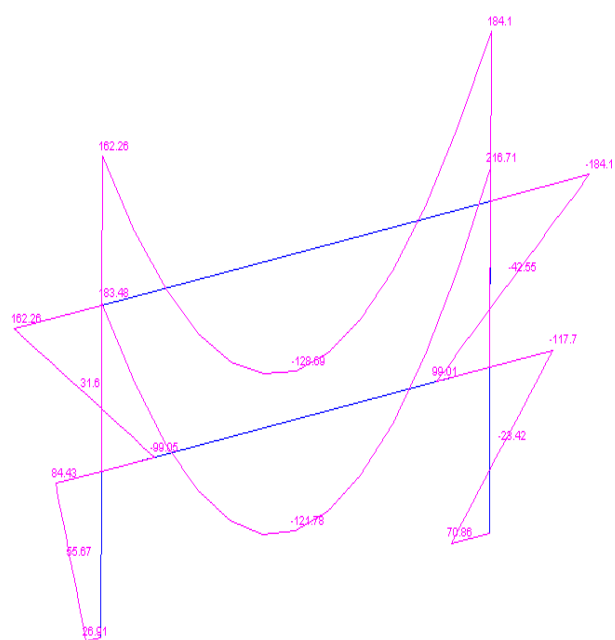
▪ La zone 1



▪ **La zone 2**

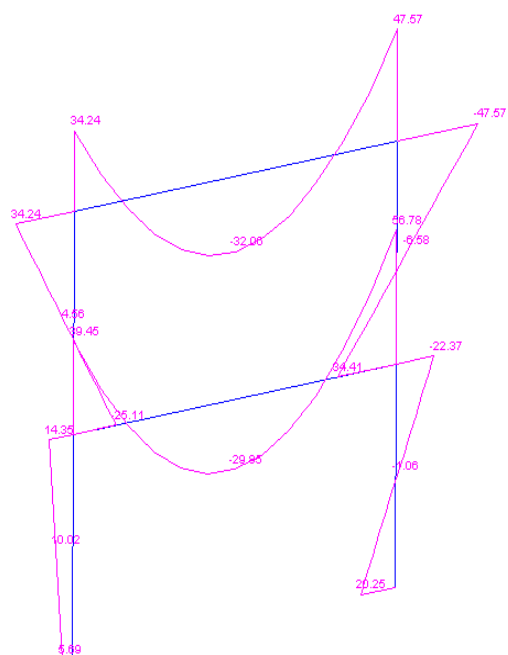


▪ **La zone 3**

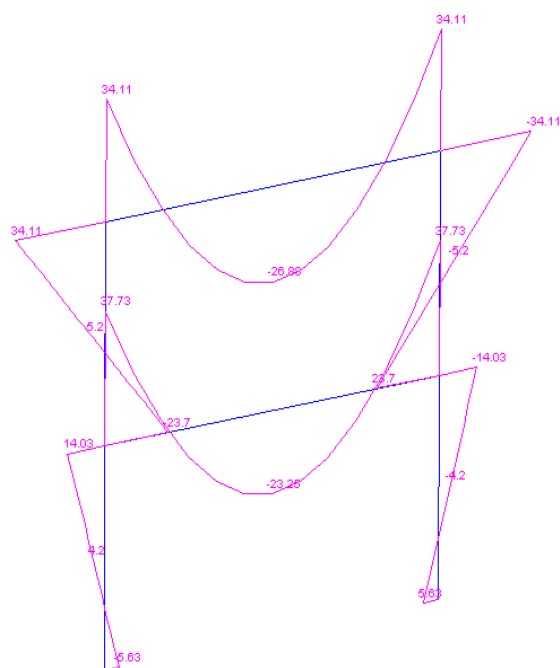


$L=2h$

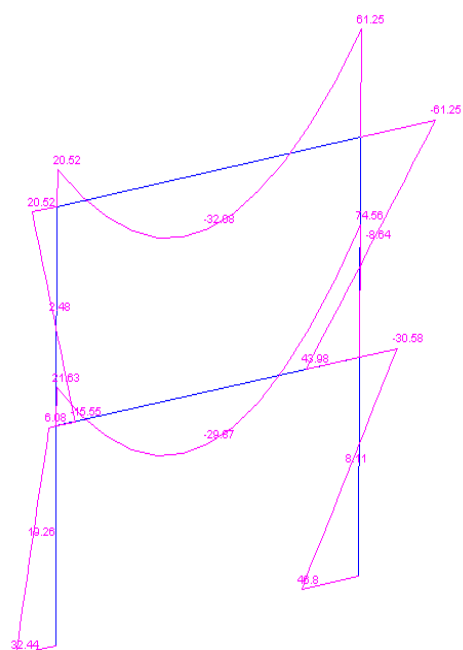
▪ La zone 1



▪ La zone 2

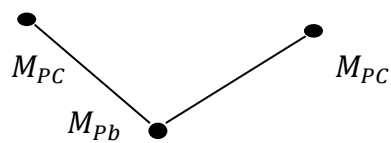


▪ La zone 3

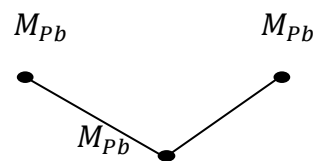


4.3 CALCUL FIABILISTE

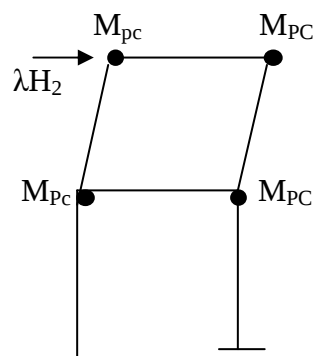
4.3.1 Mécanisme de rupture



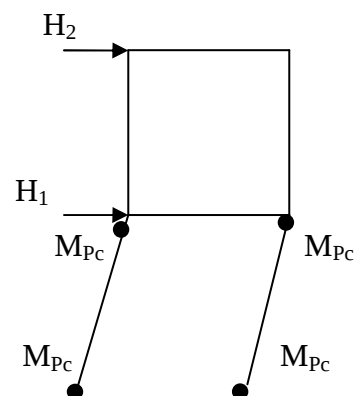
Mécanisme 1



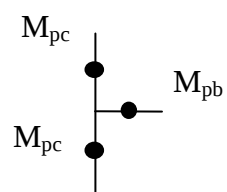
Mécanisme 2



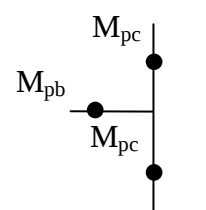
Mécanisme 3



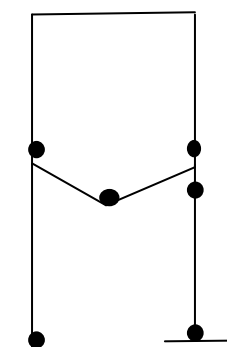
Mécanisme 4



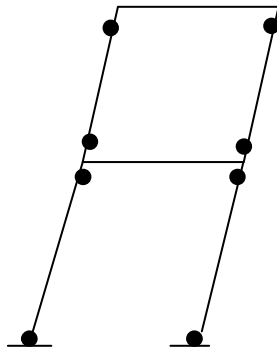
Mécanisme 5



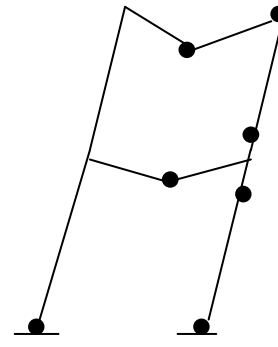
Mécanisme 6



Mécanisme 7



Mécanisme 8



Mécanisme 9

Figure 4.1 : portique étagé et mécanisme de défaillance

Les équations régissant ces mécanismes de rupture sont alors décrits de la manière suivante.

$$M_{pc} = M_{p.poteau}$$

$$M_{pb} = M_{p.poutre}$$

$$\textbf{Mécanisme 1: } v \frac{L}{2} \theta = 2M_{pb} \theta + 2M_{pc} \theta \quad 4.1$$

$$vL = 4M_{pb} (1 + \gamma)$$

$$\textbf{Mécanisme 2 : } v \frac{L}{2} \theta = 4M_{pb} \theta \quad 4.2$$

$$vL = 8M_{pb}$$

$$\textbf{Mécanisme 3: } H_2 \times h \theta = 4M_{pc} \theta \quad 4.3$$

$$H_2 \times h = 4M_{pb} \gamma$$

$$\textbf{Mécanisme 4 : } h(H_1 + H_2) \theta = 4M_{pc} \theta \quad 4.4$$

$$h(H_1 + H_2) = 4M_{pb} \gamma$$

$$\textbf{Mécanisme 7: } 7 = 4 + 2 + 5 + 6$$

$$h(H_1 + H_2) \theta + V_2 L \theta = 4\gamma M_{pb} \theta + 8M_{pb} \theta - M_{pb} \theta - \gamma M_{pb} \theta + \gamma M_{pb} \theta - M_{pb} \theta + 2\gamma M_{pb} \theta \quad 4.5$$

$$h(H_1 + H_2) + V_2 L = (6 + 6\gamma) M_{pb}$$

$$\textbf{Mécanisme 8: } 8 = 4 + 3$$

$$(H_1 + H_2) h \theta + h H_2 \theta = 4\gamma M_{pb} \theta + 4\gamma M_{pb} \theta \quad 4.6$$

$$5Hh = 8\gamma M_{pb}$$

$$\textbf{Mécanisme 9: } 9 = 8 + 1 + 2 + 6 + 5$$

$$9 = 8\gamma M_{pb} \theta + 4(1 + \gamma) M_{pb} \theta + 8M_{pb} \theta - 2\gamma M_{pb} \theta - M_{pb} \theta - 2\gamma M_{pb} \theta - M_{pb} \theta + 2\gamma M_{pb} \theta \quad 4.7$$

$$5Hh + 2Vl = (10\gamma + 10) M_{pb}$$

4.3.2 Analyse de fiabilité d'un portique étagé

4.3.2.1 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de γ pour la loi normaleTableau 4. 1: β en fonction de $\gamma=1.1$ pour $L=h$ avec $M_c=158.94$ kn.m, $M_b=121.34$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1019,25	5.66	70	6,35	1.5×10^{-10}	$8.38 \times 10^{-100} \leq p_f^s \leq 4.18 \times 10^{-19}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	45.28	533,89			9,02	4.18×10^{-19}	
	4	67.92	533,89			8,45	5.06×10^{-17}	
	7	347.92	1528,88			7,03	1.14×10^{-12}	
	8	113.2	1067,79			8,74	2.27×10^{-18}	
	9	393.2	2693,748			8,19	1.57×10^{-16}	
02	1	280	1019,25	11.00	70	6,35	1.50×10^{-10}	$8.38 \times 10^{-100} \leq p_f^s \leq 3.38 \times 10^{-15}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	88	533,89			7,93	3.38×10^{-15}	
	4	132	533,89			6,74	1.66×10^{-11}	
	7	412	1528,88			6,43	8.28×10^{-11}	
	8	220	1067,79			7,34	1.73×10^{-13}	
	9	500	2693,748			7,63	1.41×10^{-14}	
03	1	280	1019,25	17.29	70	6,35	1.54×10^{-10}	$8.38 \times 10^{-100} \leq p_f^s \leq 9.94 \times 10^{-14}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	138.32	533,89			6,57	5.03×10^{-11}	
	4	207.48	533,89			4,82	1.02×10^{-6}	
	7	487.48	1528,88			5,74	5.76×10^{-9}	
	8	345.8	1067,79			5,67	9.25×10^{-9}	
	9	625.8	2693,748			6,96	9.94×10^{-14}	

Tableau 4. 2: β en fonction de $\gamma=1.2$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94$ kn.m, $M_b=121.34$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1067,79	5.66	70	6,53	4.70×10^{-11}	$1.34 \times 10^{-102} \leq p_f^s \leq 7.73 \times 10^{-19}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	45.28	582,43			9,11	1.66×10^{-19}	
	4	67.92	582,43			8,60	1.36×10^{-17}	
	7	347.92	1601,68			7,17	4.80×10^{-13}	
	8	113.2	1164,86			8,86	7.71×10^{-19}	
	9	393.2	2839,35			8,30	6.54×10^{-17}	
02	1	280	1067,79	11.00	70	6,53	4.70×10^{-11}	$1.13 \times 10^{-85} \leq p_f^s \leq 6.7 \times 10^{-16}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	88	582,43			8,12	6.70×10^{-16}	
	4	132	582,43			7,04	2.09×10^{-12}	
	7	412	1601,68			6,60	2.60×10^{-11}	
	8	220	1164,86			7,58	2.63×10^{-14}	
	9	500	2839,35			7,77	4.84×10^{-15}	
03	1	280	1067,79	12.29	70	6,53	4.70×10^{-11}	$1.85 \times 10^{-68} \leq p_f^s \leq 5.88 \times 10^{-13}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	138.32	582,43			6,88	6.09×10^{-12}	
	4	207.48	582,43			5,24	1.21×10^{-7}	
	7	487.48	1601,68			5,94	1.75×10^{-9}	
	8	345.8	1164,86			6,04	1.00×10^{-9}	
	9	625.8	2839,35			7,13	5.88×10^{-13}	

Tableau 4. 3: β en fonction de $\gamma=1.3$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94$ kn.m, $M_b=121.34$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H_1	V	β	P_f	P_f
01	1	280	1116,32	5.66	70	6,69	1.57×10^{-11}	$4.19 \times 10^{-112} \leq p_f^s \leq 2.55 \times 10^{-22}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	45.28	630,96			9.18	7.63×10^{-20}	
	4	67.92	630,96			8.72	4.74×10^{-18}	
	7	347.92	1674.49			7.31	1.19×10^{-15}	
	8	113.2	1261,93			8.95	2.55×10^{-22}	
	9	393.2	2984,96			8.36	4.80×10^{-19}	
02	1	280	1116,32	11.00	70	6.69	1.57×10^{-11}	$9.14 \times 10^{-89} \leq p_f^s \leq 1.66 \times 10^{-16}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	88	630,96			8.28	1.66×10^{-16}	
	4	132	630,96			7.29	3.33×10^{-13}	
	7	412	1674.49			6.76	2.17×10^{-11}	
	8	220	1261,93			7.79	5.13×10^{-15}	
	9	500	2984,9			7.89	1.82×10^{-15}	
03	1	280	1116,32	12.29	70	6.69	1.57×10^{-11}	$4.42 \times 10^{-72} \leq p_f^s \leq 9.32 \times 10^{-13}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	138.32	630,96			7.15	9.32×10^{-13}	
	4	207.48	630,96			5.60	1.61×10^{-8}	
	7	487.48	1674.49			6.12	1.45×10^{-9}	
	8	345.8	1261,93			6.36	1.32×10^{-10}	
	9	625.8	2984,96			7.28	1.88×10^{-13}	

Tableau 4. 4: β en fonction de $\gamma=1.4$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94$ kn.m , $M_b=121.34$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_f
01	1	280	1164,86	5.66	70	6,84	5.59×10^{-12}	$2.27 \times 10^{-108} \leq p_f^s \leq 3.35 \times 10^{-21}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	45.28	679,50			9,25	3.35×10^{-21}	
	4	67.92	679,50			8,82	1.70×10^{-18}	
	7	347.92	1747,29			7,44	6.88×10^{-14}	
	8	113.2	1359,00			9.04	1.41×10^{-19}	
	9	393.2	3130,57			8.48	1.42×10^{-17}	
02	1	280	1164,86	11.00	70	6,84	5.59×10^{-12}	$2.69 \times 10^{-92} \leq p_f^s \leq 4.98 \times 10^{-17}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	88	679,50			8.42	4.98×10^{-17}	
	4	132	679,50			7.51	6.55×10^{-14}	
	7	412	1747,29			6,91	3.13×10^{-12}	
	8	220	1359,00			7.97	1.22×10^{-15}	
	9	500	3130,57			8.00	7.42×10^{-16}	
03	1	280	1164,86	17.29	70	6,84	5.59×10^{-12}	$3.26 \times 10^{-76} \leq p_f^s \leq 6.56 \times 10^{-14}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	138.32	679,50			7.37	1.75×10^{-13}	
	4	207.48	679,50			5.92	2.46×10^{-9}	
	7	487.48	1747,29			6.29	1.91×10^{-10}	
	8	345.8	1359,00			6.64	2.08×10^{-11}	
	9	625.8	3130,57			7.42	6.56×10^{-14}	

Tableau 4. 5: β en fonction de $\gamma=1.5$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94\text{kn.m}$, $M_b=121.34\text{ kn.m}$

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1213,4	5.66	70	6,98	2.11×10^{-12}	$2.64 \times 10^{-109} \leq p_f^s \leq 2.18 \times 10^{-20}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	45.28	728,04			9,30	2.18×10^{-20}	
	4	67.92	728,04			8,91	7.37×10^{-19}	
	7	347.92	1820,1			7,55	2.86×10^{-14}	
	8	113.2	1456,08			9.11	7.15×10^{-20}	
	9	393.2	3276,18			8.55	7.32×10^{-18}	
02	1	280	1213,4	11.00	70	6,98	2.11×10^{-12}	$3.94 \times 10^{-95} \leq p_f^s \leq 1.73 \times 10^{-17}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	88	728,04			8.54	1.73×10^{-17}	
	4	132	728,04			7.69	1.53×10^{-14}	
	7	412	1820,1			7,04	1.19×10^{-12}	
	8	220	1456,08			8.12	3.48×10^{-16}	
	9	500	3276,18			8.10	3.25×10^{-10}	
03	1	280	1213,4	17.29	70	6,98	2.11×10^{-12}	$1.20 \times 10^{-82} \leq p_f^s \leq 2.44 \times 10^{-17}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	138.32	728,04			7.57	3.93×10^{-14}	
	4	207.48	728,04			6.21	4.28×10^{-10}	
	7	487.48	1820,1			6.45	6.84×10^{-11}	
	8	345.8	1456,08			6.88	3.90×10^{-12}	
	9	625.8	3276,18			7.55	2.44×10^{-17}	

Commentaire

La figure 4.2 montre que l'indice de fiabilité β augmente quand γ augmente dans les zones 1, 2 et 3 pour le mécanisme 1, $l=h$.

La figure 4.3 montre que l'indice de fiabilité β reste constant quand γ augmente pour le mécanisme 2, $l=h$.

La figure 4.4 montre que l'indice de fiabilité β augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 3, $l=h$.

La figure 4.5 montre que l'indice de fiabilité β augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 6, $l=h$.

La figure 4.6 montre que l'indice de fiabilité β augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 7, $l=h$.

La figure 4.7 montre que β augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 8, $l=h$.

La figure 4.8 montre que β augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 3 est supérieur à celui des zones 1 et 2 pour le mécanisme 9, $l=h$.

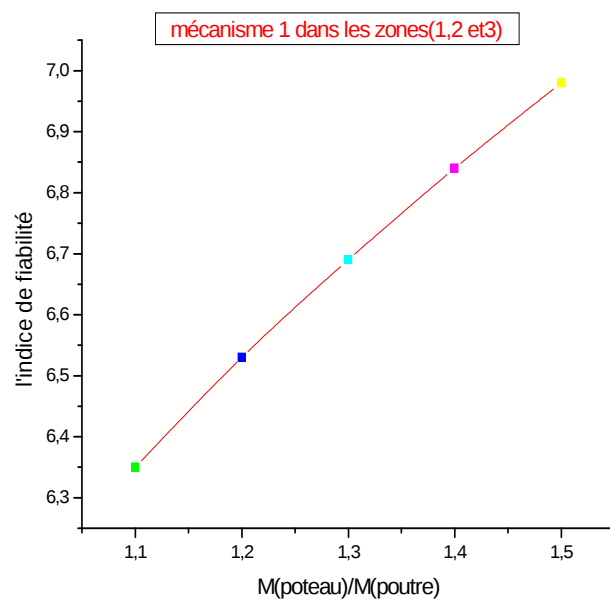


Figure 4. 2: β en fonction de γ du mécanisme 1

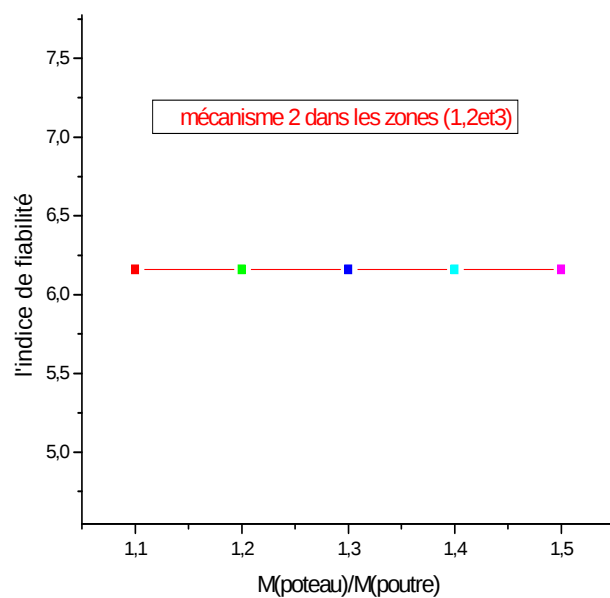


Figure 4. 3: β en fonction de γ du mécanisme 2

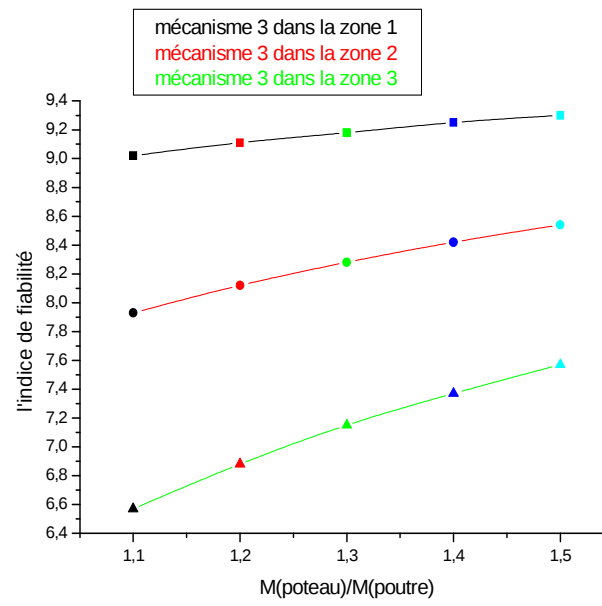


Figure 4. 4: β en fonction de γ du mécanisme 3

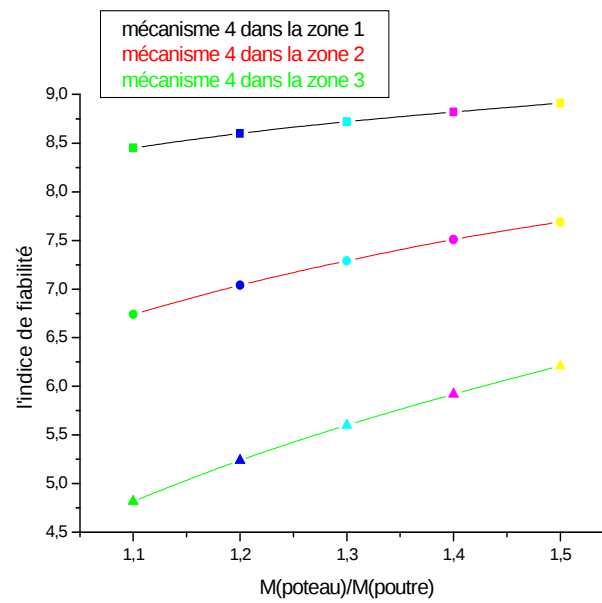
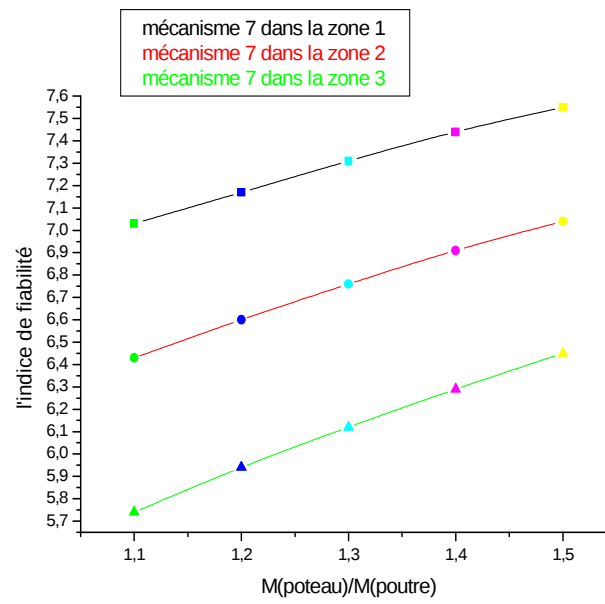
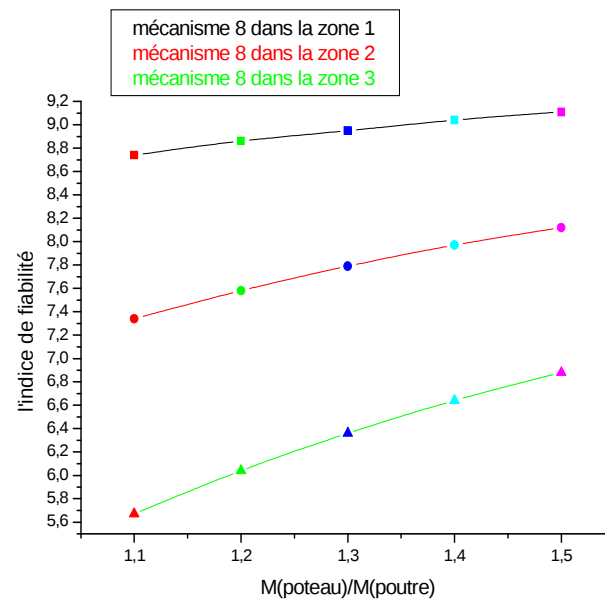
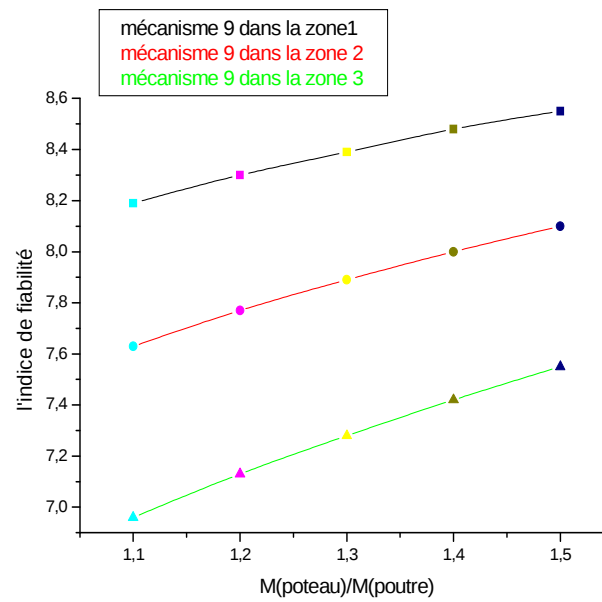


Figure 4. 5: β en fonction de γ du mécanisme 4

Figure 4. 6: β en fonction de γ du mécanisme 7Figure 4. 7: β en fonction de γ du mécanisme 8

Figure 4. 8: β en fonction de γ du mécanisme 9Tableau 4. 6: β en fonction de $\gamma=1.1$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72\text{kn.m}$, $M_b=687.90\text{ kn.m}$

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_f^s
01	1	1120	5778,36	17.87	140	7,51	3.13×10^{-14}	$6.31 \times 10^{-102} \leq p_f^s \leq 1.19 \times 10^{-22}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	146.64	3026.76			9,48	3.63×10^{-7}	
	4	219.96	3026.76			9.19	7.18×10^{-7}	
	7	219.96	8667,54			8.08	1.19×10^{-22}	
	8	366.6	6053,52			9.34	6.38×10^{-21}	
	9	926.6	15065.01			9,32	1.11×10^{-20}	
02	1	1120	5778,36	34.76	140	7,51	3.13×10^{-14}	$8.46 \times 10^{-98} \leq p_f^s \leq 1.19 \times 10^{-22}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	285.12	3026.76			8,93	1.31×10^{-6}	
	4	427.68	3026.76			8.31	4.81×10^{-6}	
	7	219.96	8667,54			7.75	1.19×10^{-22}	
	8	712.8	6053,59			8.62	5.07×10^{-18}	
	9	1272.8	15065.01			9.04	7.78×10^{-21}	
03	1	1120	5778,36	54.62	140	7,51	3.13×10^{-14}	$2.07 \times 10^{-90} \leq p_f^s \leq 2.80 \times 10^{-20}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	448.08	3026.76			8.22	5.77×10^{-6}	
	4	672.12	3026.76			7.10	4.01×10^{-5}	
	7	219.96	8667,54			7.35	2.80×10^{-20}	
	8	1120.2	6053,59			7.70	1.87×10^{-17}	
	9	1680.2	15065.01			8.18	5.99×10^{-18}	

Tableau 4. 7: β en fonction $\gamma=1.2$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m , $M_b=987.90$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	6053,52	17.87	140	7,64	1.17×10^{-14}	$2.48 \times 10^{-131} \leq p_f^s \leq 1.67 \times 10^{-22}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	146.64	3301,92			9,53	1.17×10^{-21}	
	4	219.96	3301,92			9,27	1.44×10^{-20}	
	7	219.96	7760.28			8,18	1.67×10^{-22}	
	8	366.6	6603,84			9,40	3.56×10^{-21}	
	9	926.6	16096,86			9,36	2.31×10^{-21}	
02	1	1120	6053,52	34.76	140	7,64	1.17×10^{-14}	$4.42 \times 10^{-122} \leq p_f^s \leq 1.66 \times 10^{-22}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	285.12	3301,92			9,03	1.41×10^{-19}	
	4	427.68	3301,92			8,47	2.22×10^{-17}	
	7	219.96	7760.28			7,86	1.66×10^{-22}	
	8	712.8	6603,84			8,75	1.58×10^{-18}	
	9	1272.8	16096,86			9,11	4.98×10^{-20}	
03	1	1120	6053,52	54.62	140	7,64	1.17×10^{-14}	$1.57 \times 10^{-111} \leq p_f^s \leq 1.65 \times 10^{-22}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	448.08	3301,92			8,38	4.58×10^{-17}	
	4	672.12	3301,92			7,44	9.66×10^{-14}	
	7	219.96	7760.28			7,49	1.65×10^{-22}	
	8	1120.2	6603,84			7,92	2.07×10^{-15}	
	9	1680.2	16096,86			8,31	9.70×10^{-19}	

Tableau 4. 8: β en fonction de $\gamma=1.3$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m , $M_b=987.99$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	6328,68	17.87	140	7,75	4.77×10^{-15}	$9.63 \times 10^{-133} \leq p_f^s \leq 9.40 \times 10^{-23}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	146.64	3577,08			9,56	7.84×10^{-22}	
	4	219.96	3577,08			9,33	7.87×10^{-21}	
	7	219.96	9493,02			8,27	9.40×10^{-23}	
	8	366.6	7154,16			9,45	2.17×10^{-21}	
	9	926.6	16922.34			9,40	1.76×10^{-21}	
02	1	1120	6328,68	34.76	140	7,75	4.77×10^{-15}	$3.32 \times 10^{-124} \leq p_f^s \leq 3.17 \times 10^{-20}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	285.12	3577,08			9,11	6.42×10^{-20}	
	4	427.68	3577,08			8,60	6.82×10^{-18}	
	7	219.96	9493,02			7,97	9.37×10^{-23}	
	8	712.8	7154,16			8,86	5.90×10^{-19}	
	9	1272.8	16922.34			9,15	3.17×10^{-20}	
03	1	1120	6328,68	54.62	140	7,75	4.77×10^{-15}	$2.29 \times 10^{-114} \leq p_f^s \leq 9.33 \times 10^{-23}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	448.08	3577,08			8,52	1.33×10^{-17}	
	4	672.12	3577,08			7,66	1.73×10^{-14}	
	7	219.96	9493,02			7,61	9.33×10^{-23}	
	8	1120.2	7154,16			8,10	4.63×10^{-16}	
	9	1680.2	16922.34			8,40	5.31×10^{-19}	

Tableau 4. 9: β en fonction de $\gamma=1.4$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m , $M_b=687.90$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	6603,84	17.87	140	7,86	2.06×10^{-15}	$8.23 \times 10^{-134} \leq p_f^s \leq 8.53 \times 10^{-23}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	146.64	3852,24			9,60	5.57×10^{-22}	
	4	219.96	3852,24			9,38	4.69×10^{-21}	
	7	219.96	9905,76			8,35	8.53×10^{-23}	
	8	366.6	7704,48			9,49	1.42×10^{-21}	
	9	926.6	17747.82			9,43	1.38×10^{-21}	
02	1	1120	6603,84	34.76	140	7,86	2.06×10^{-15}	$6.79 \times 10^{-126} \leq p_f^s \leq 8.43 \times 10^{-23}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	285.12	3852,24			9,18	3.26×10^{-20}	
	4	427.68	3852,24			8,71	2.46×10^{-18}	
	7	219.96	9905,76			8,06	8.43×10^{-23}	
	8	712.8	7704,48			8,95	2.53×10^{-19}	
	9	1272.8	17747.82			9,20	2.10×10^{-20}	
03	1	1120	6603,84	54.62	140	7,86	2.06×10^{-15}	$1.16 \times 10^{-116} \leq p_f^s \leq 8.40 \times 10^{-23}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	448.08	3852,24			8,64	4.59×10^{-18}	
	4	672.12	3852,24			7,85	3.83×10^{-15}	
	7	219.96	9905,76			7,72	8.40×10^{-23}	
	8	1120.2	7704,48			8,25	1.36×10^{-16}	
	9	1680.2	17747.82			8,49	3.07×10^{-19}	

Tableau 4. 10: β en fonction de $\gamma=1.5$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m , $M_b=687.90$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	6879	17.87	140	7,96	9.51×10^{-16}	$9.00 \times 10^{-135} \leq p_f^s \leq 7.66 \times 10^{-23}$
	2	1120	5503.20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	146.64	4127,40			9,63	4.15×10^{-22}	
	4	219.96	4127,40			9,42	3.00×10^{-21}	
	7	219.96	10318,5			8,42	7.66×10^{-23}	
	8	366.6	8254,8			9,53	9.92×10^{-22}	
	9	926.6	18573.3			9,46	1.1×10^{-21}	
02	1	1120	6879	34.76	140	7,96	9.51×10^{-16}	$2.17 \times 10^{-127} \leq p_f^s \leq 7.64 \times 10^{-23}$
	2	1120	5503.20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	285.12	4127,40			9,24	1.82×10^{-20}	
	4	427.68	4127,40			8,81	1.02×10^{-18}	
	7	219.96	10318,5			8,15	7.64×10^{-23}	
	8	712.8	8254,8			9,03	1.22×10^{-19}	
	9	1272.8	18573.3			9,24	1.45×10^{-20}	
03	1	1120	6879	54.62	140	7,96	9.51×10^{-15}	$9.15 \times 10^{-119} \leq p_f^s \leq 7.48 \times 10^{-23}$
	2	1120	5503.20			7,37	8.89×10^{-14}	
	3	448.08	4127,40			8,74	1.79×10^{-18}	
	4	672.12	4127,40			8,01	9.80×10^{-16}	
	7	219.96	10318,5			7,82	7.48×10^{-23}	
	8	1120.2	8254,8			8,38	3.97×10^{-17}	
	9	1680.2	18573.3			8,56	1.86×10^{-19}	

Commentaire

La figure 4.9 montre que l'indice de fiabilité augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité c'est le même dans les zones 1, 2 et 3 pour le mécanisme 1, $l=2h$.

La figure 4.10 montre que l'indice de fiabilité reste constant quand γ augmente dans les zones 1, 2 et 3 pour le mécanisme 2, $l=2h$.

La figure 4.11 montre que l'indice de fiabilité augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 3, $l=2h$.

La figure 4.12 montre que l'indice de fiabilité augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 4, $l=2h$.

La figure 4.13 montre que l'indice de fiabilité augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 7, $l=2h$.

La figure 4.14 montre que l'indice de fiabilité augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 8, $l=2h$.

La figure 4.15 montre que l'indice de fiabilité augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 9, $l=2h$.

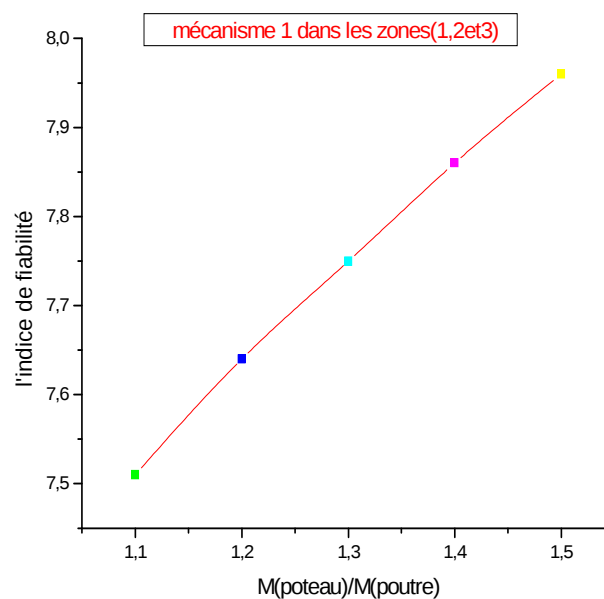


Figure 4. 9: β en fonction de γ du mécanisme 1

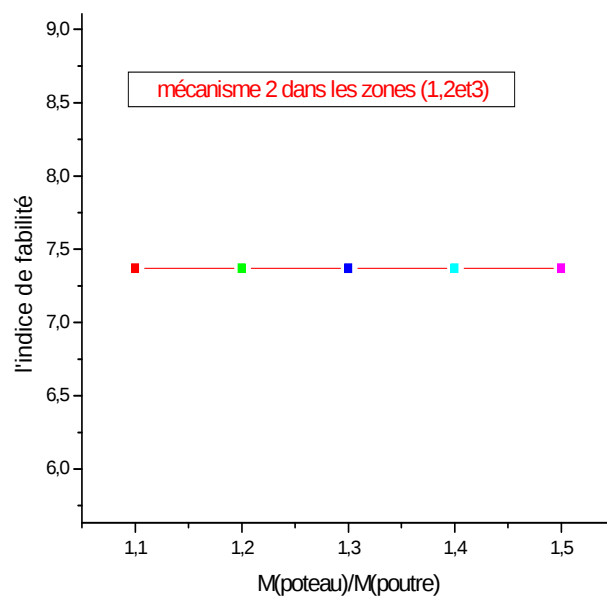


Figure 4. 10: β en fonction de γ du mécanisme 2

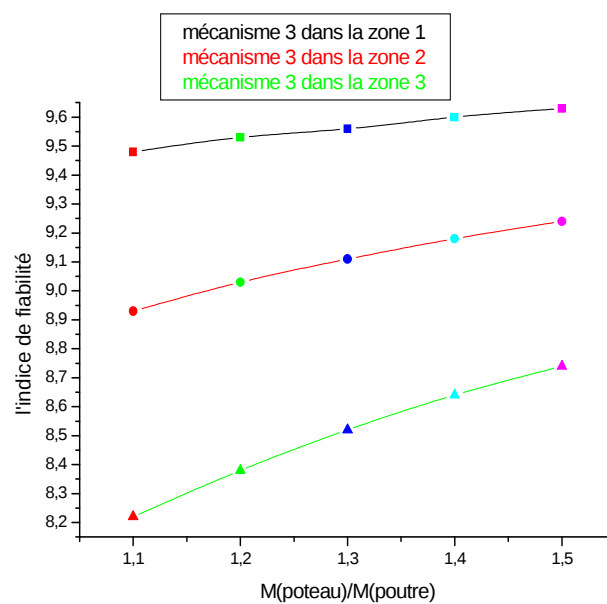


Figure 4.11: β en fonction de γ du mécanisme 3

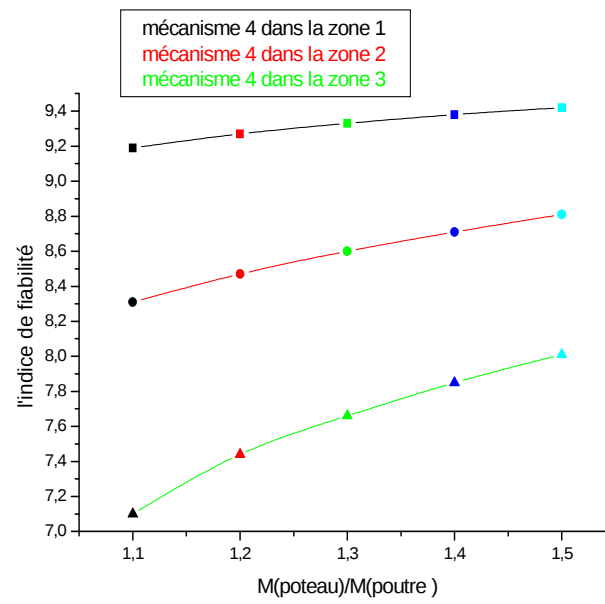


Figure 4.1 2: β en fonction de γ du mécanisme 4

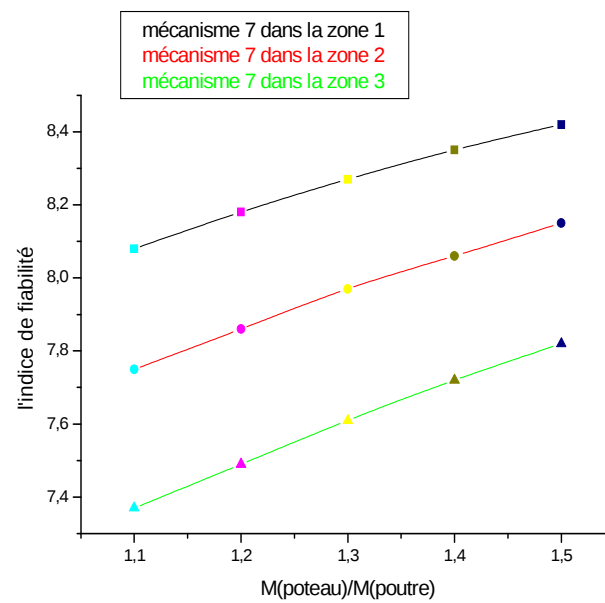


Figure 4.1 3: β en fonction de γ du mécanisme 7

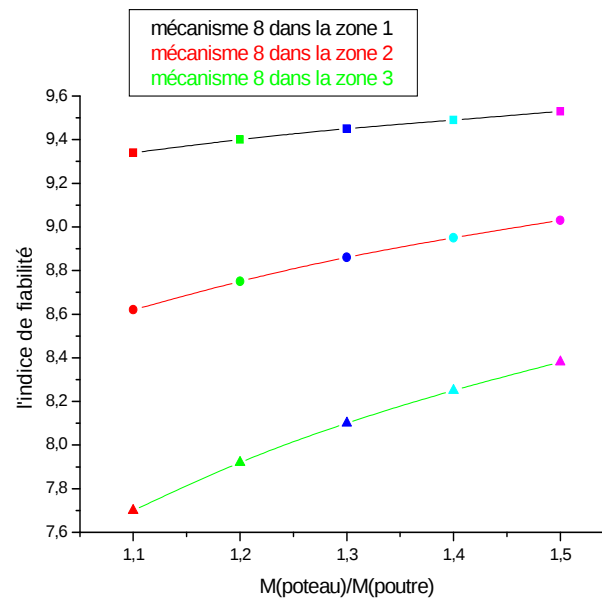


Figure 4. 14: β en fonction de γ du mécanisme 8

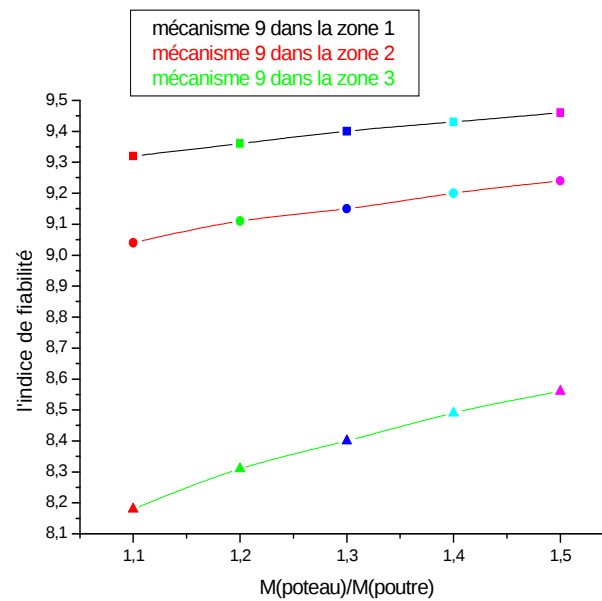


Figure 4. 15: β en fonction de γ du mécanisme 9

4.3.2.2 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de γ pour la loi log normaleTableau 4. 11: β en fonction de $\gamma=1.1$ pour $L=h$ avec $M_c=158.94$ kn.m, $M_b=121.34$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1019.25	5.66	70	5,77	4.23×10^{-9}	$5.48 \times 10^{-113} \leq p_f^s \leq 2.94 \times 10^{-26}$
	2	280	970.72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	45.28	533.89			11.03	2.94×10^{-26}	
	4	67.92	533.89			9.22	2.18×10^{-20}	
	7	347.92	1528.88			6.62	2.30×10^{-11}	
	8	113.2	1067.79			10.03	1.07×10^{-23}	
	9	393.2	2693.74			8.6	5.59×10^{-18}	
02	1	280	1019.25	11.00	70	5,77	4.23×10^{-9}	$3.03 \times 10^{-86} \leq p_f^s \leq 1.00 \times 10^{-20}$
	2	280	970.72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	88	533.89			8.06	1.00×10^{-20}	
	4	132	533.89			6.24	4.96×10^{-16}	
	7	412	1528.88			5.86	2.57×10^{-9}	
	8	220	1067.79			7.06	1.08×10^{-12}	
	9	500	2693.74			7.53	3.54×10^{-14}	
03	1	280	1019.25		70	5,77	4.23×10^{-9}	$5.24 \times 10^{-65} \leq p_f^s \leq 1.78 \times 10^{-15}$
	2	280	970.72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	138.32	533.89			6.04	1.78×10^{-15}	
	4	207.48	533.89			4.22	3.43×10^{-10}	
	7	487.48	1528.88			5.11	1.54×10^{-7}	
	8	345.8	1067.79			5.04	2.18×10^{-7}	
	9	625.8	2693.74			6.52	4.13×10^{-11}	

Tableau 4. 12: β en fonction de $\gamma=1.2$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94$ kn.m, $M_b=121.34$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1067,79	5.66	70	5,98	1.25×10^{-9}	$3.07 \times 10^{-118} \leq p_f^s \leq 2.96 \times 10^{-27}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	45.28	582,43			11.42	2.96×10^{-27}	
	4	67.92	582,43			9.61	5.44×10^{-22}	
	7	347.92	1601,68			6.82	5.66×10^{-12}	
	8	113.2	1164,86			10.42	2.64×10^{-24}	
	9	393.2	2839,35			8.84	7.01×10^{-19}	
02	1	280	1067,79	11	70	5,98	1.25×10^{-9}	$7.74 \times 10^{-88} \leq p_f^s \leq 2.11 \times 10^{-17}$
	2	280	970,72			5,55	5.23×10^{-15}	
	3	88	582,43			8.45	2.11×10^{-17}	
	4	132	582,43			6.63	2.04×10^{-11}	
	7	412	1601,68			6.07	7.46×10^{-10}	
	8	220	1164,86			7.45	6.35×10^{-14}	
	9	500	2839,35			7.76	5.76×10^{-15}	
03	1	280	1067,79	17.29		5,98	1.25×10^{-9}	$5.42 \times 10^{-59} \leq p_f^s \leq 8.83 \times 10^{-12}$
	2	280	970,72			5,55	2.40×10^{-8}	
	3	138.32	582,43			6.42	8.02×10^{-11}	
	4	207.48	582,43			4.61	1.64×10^{-6}	
	7	487.48	1601,68			5.31	5.28×10^{-8}	
	8	345.8	1164,86			5.43	2.91×10^{-8}	
	9	625.8	2839,35			6.76	8.83×10^{-12}	

Tableau 4. 13: β en fonction de $\gamma = 1.3$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94\text{kn.m}$, $M_b=121.34\text{k n.m}$.

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1116,32	5.66	70	6,18	3.74×10^{-10}	$1.07 \times 10^{-123} \leq p_f^s \leq 4.42 \times 10^{-28}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	45.28	630.96			11.78	4.42×10^{-28}	
	4	67.92	630.96			9.96	1.90×10^{-23}	
	7	347.92	1674,49			7.02	1.42×10^{-12}	
	8	113.2	1261,93			10.78	1.78×10^{-25}	
	9	393.2	2984,96			9.06	9.24×10^{-20}	
02	1	280	1116,32	11	70	6,18	3.74×10^{-10}	$7.71 \times 10^{-87} \leq p_f^s \leq 9.31 \times 10^{-19}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	88	630.96			8.80	9.31×10^{-19}	
	4	132	630.96			6.99	1.76×10^{-12}	
	7	412	1674,49			6.27	2.19×10^{-10}	
	8	220	1261,93			7.81	4.05×10^{-15}	
	9	500	2984,9			7.99	9.75×10^{-16}	
03	1	280	1116,32	17.29	70	6,18	3.74×10^{-10}	$1.69 \times 10^{-63} \leq p_f^s \leq 7.5 \times 10^{-12}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	138.32	630.96			6.78	7.50×10^{-12}	
	4	207.48	630.96			4.97	3.06×10^{-7}	
	7	487.48	1674,49			5.51	1.81×10^{-8}	
	8	345.8	1261,93			5.78	3.97×10^{-9}	
	9	625.8	2984,96			6.98	1.88×10^{-12}	

Tableau 4. 14: β en fonction de $\gamma = 1.4$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94 \text{ kn.m}$, $M_b=121.34\text{kn.m}$.

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1164,86	5.66	70	6,37	1.13×10^{-10}	$2.81 \times 10^{-128} \leq p_f^s \leq 8.69 \times 10^{-29}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	45.28	679.50			12.11	8.69×10^{-29}	
	4	67.92	679.50			10.29	2.38×10^{-24}	
	7	347.92	1747,29			7.21	3.64×10^{-13}	
	8	113.2	1359,00			11.11	1.78×10^{-26}	
	9	393.2	3130,57			9.27	1.28×10^{-20}	
02	1	280	1164,86	11	70	6,37	1.13×10^{-10}	$5.31 \times 10^{-92} \leq p_f^s \leq 5.50 \times 10^{-20}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	88	679.50			9.14	5.50×10^{-20}	
	4	132	679.50			7.32	1.87×10^{-13}	
	7	412	1747,29			6.46	6.52×10^{-11}	
	8	220	1359,00			8.14	2.81×10^{-16}	
	9	500	3130,57			8.20	1.70×10^{-16}	
03	1	280	1164,86	17.29	70	6,37	1.13×10^{-10}	$1.00 \times 10^{-67} \leq p_f^s \leq 7.41 \times 10^{-13}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	138.32	679.50			7.11	7.41×10^{-13}	
	4	207.48	679.50			5.30	5.69×10^{-8}	
	7	487.48	1747,29			5.7	6.28×10^{-9}	
	8	345.8	1359,00			6.12	5.55×10^{-10}	
	9	625.8	3130,57			7.19	4.13×10^{-13}	

Tableau 4. 15: β en fonction de $\gamma=1.5$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94\text{kn.m}$, $M_b=121.34\text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1213,4	5.66	70	6,55	3.40×10^{-11}	$4.53 \times 10^{-134} \leq p_f^s \leq 6.47 \times 10^{-30}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	45.28	728.04			12.42	6.47×10^{-30}	
	4	67.92	728.04			10.60	2.63×10^{-26}	
	7	347.92	1820,1			7.39	9.51×10^{-14}	
	8	113.2	1456,08			11.42	2.96×10^{-27}	
	9	393.2	3276,18			9.48	1.86×10^{-21}	
02	1	280	1213,4	11	70	6,55	3.47×10^{-11}	$1.11 \times 10^{-104} \leq p_f^s \leq 8.63 \times 10^{-24}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	88	728.04			9.44	8.63×10^{-24}	
	4	132	728.04			7.63	1.97×10^{-19}	
	7	412	1820,1			6.64	1.96×10^{-11}	
	8	220	1456,08			8.45	2.11×10^{-17}	
	9	500	3276,18			8.40	3.10×10^{-17}	
03	1	280	1213,4	17.29	70	6,55	3.47×10^{-11}	$6.93 \times 10^{-82} \leq p_f^s \leq 6.98 \times 10^{-19}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	138.32	728.04			7.42	6.98×10^{-19}	
	4	207.48	728.04			5.61	1.20×10^{-13}	
	7	487.48	1820,1			5.89	2.19×10^{-9}	
	8	345.8	1456,08			6.42	8.02×10^{-11}	
	9	625.8	3276,18			7.40	9.28×10^{-14}	

Commentaire

La figure 4.16 montre que l'indice de fiabilité augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité c'est le même dans les zones 1, 2 et 3 pour le mécanisme 1, $l=h$.

La figure 4.17 montre que l'indice de fiabilité reste constant quand γ augmente dans les zones 1, 2 et 3 pour le mécanisme 2, $l=h$.

La figure 4.18 montre que l'indice de fiabilité augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 3, $l=h$.

La figure 4.19 montre que l'indice de fiabilité augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 4, $l=h$.

La figure 4.20 montre que l'indice de fiabilité augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 7, $l=h$.

La figure 4.21 montre que l'indice de fiabilité augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 8, $l=h$.

La figure 4.22 montre que l'indice de fiabilité augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 9, $l=h$.

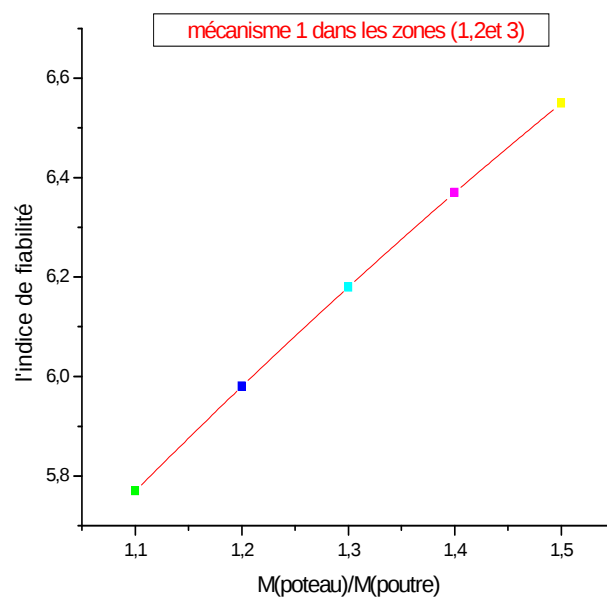


Figure 4. 16: β en fonction de γ du mécanisme 1

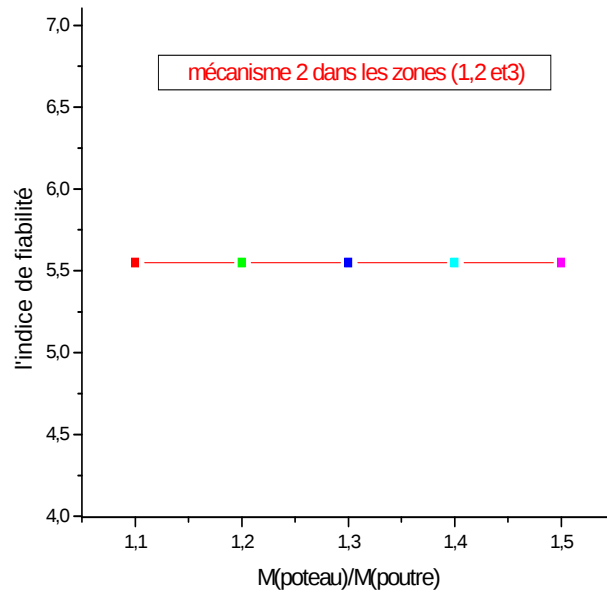


Figure 4.17: β en fonction de γ du mécanisme 2

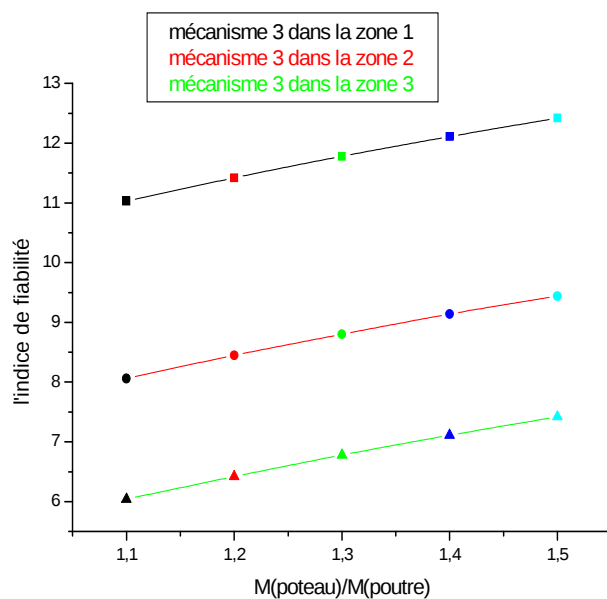


Figure 4.18: β en fonction de γ du mécanisme 3

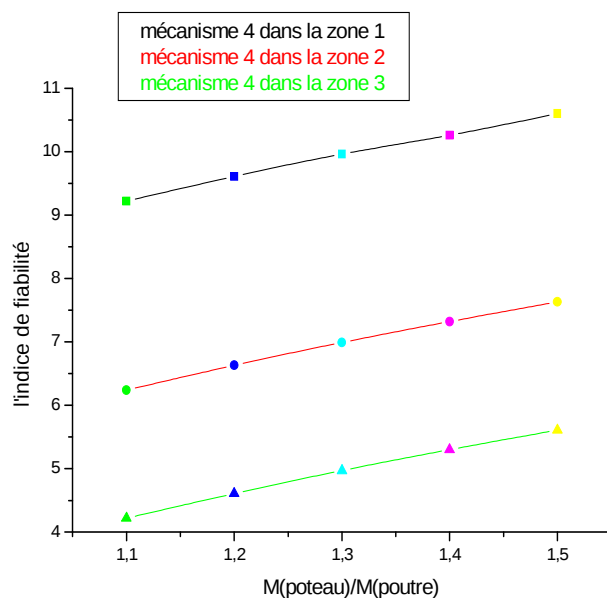


Figure 4.19: β en fonction de γ du mécanisme 4

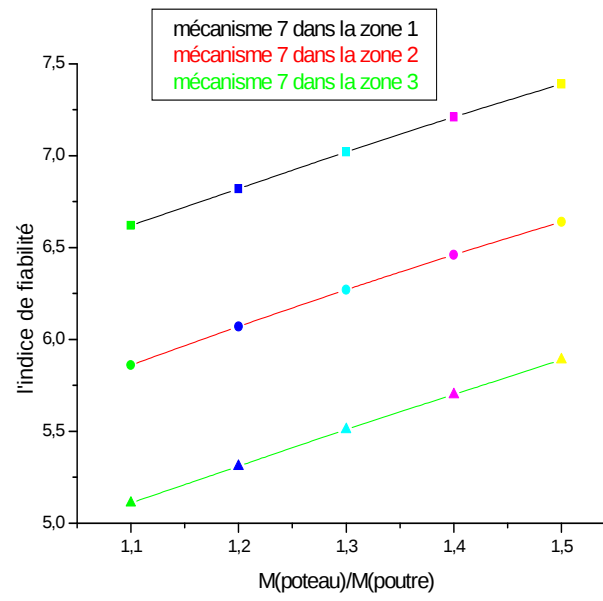


Figure 4. 20: β en fonction de γ du mécanisme 7

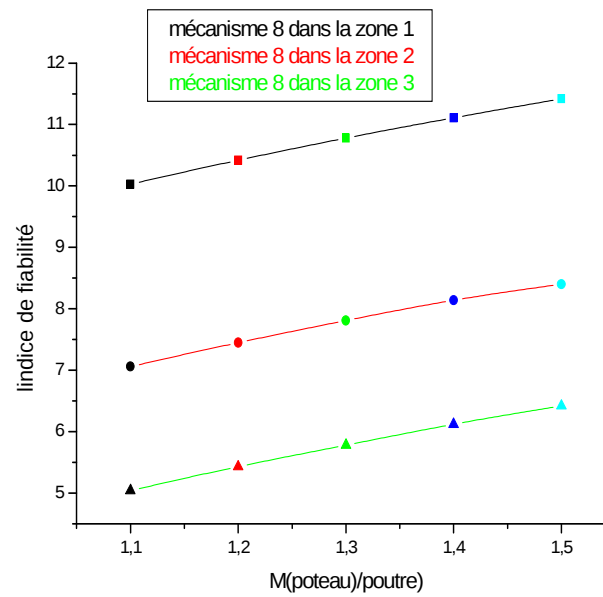
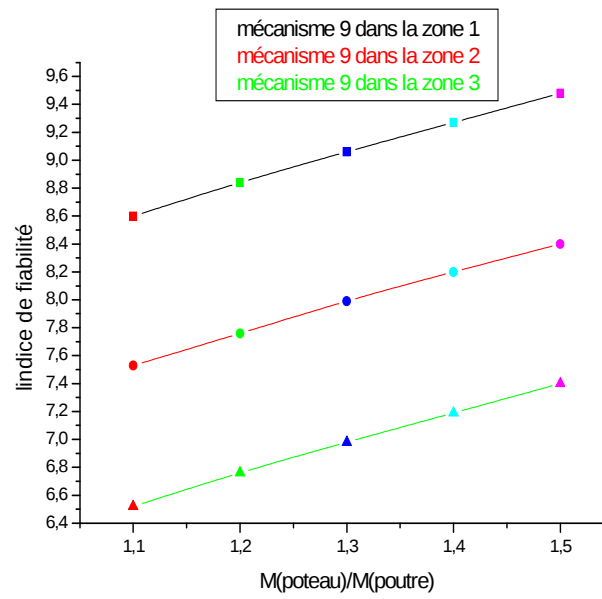


Figure 4. 21: β en fonction de γ du mécanisme 8

Figure 4. 22: β en fonction de γ du mécanisme 9Tableau 4. 16: β en fonction de $\gamma=1.1$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m, $M_b=687.90$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	5778,36	17.87	140	7.33	1.50×10^{-13}	$2.36 \times 10^{-138} \leq p_f^s \leq 7.22 \times 10^{-30}$
	2	1120	5503,20			7.11	7.36×10^{-13}	
	3	146.64	3026.79			13.65	1.28×10^{-9}	
	4	219.96	3026.79			11.83	7.52×10^{-29}	
	7	219.96	8667,54			8.36	4.85×10^{-22}	
	8	366.6	6053,52			12.65	7.22×10^{-30}	
	9	926.6	15271.38			10.44	6.28×10^{-26}	
02	1	1120	5778,36	34.76	140	7.32	1.50×10^{-13}	$2.44 \times 10^{-137} \leq p_f^s \leq 1.56 \times 10^{-26}$
	2	1120	5503,20			7.11	7.36×10^{-13}	
	3	285.12	3026.79			10.67	1.56×10^{-26}	
	4	427.68	3026.79			8.86	1.37×10^{-22}	
	7	219.96	8667,54			7.73	1.31×10^{-24}	
	8	712.8	6053,59			9.76	8.14×10^{-22}	
	9	1272.8	15271.38			9.52	9.58×10^{-24}	
03	1	1120	5778,36	54.62	140	7.33	1.50×10^{-13}	$7.25 \times 10^{-120} \leq p_f^s \leq 4.22 \times 10^{-22}$
	2	1120	5503,20			7.11	7.36×10^{-13}	
	3	448.08	3026.79			8.65	4.22×10^{-22}	
	4	672.12	3026.79			6.84	1.35×10^{-17}	
	7	219.96	8667,54			7.09	1.11×10^{-18}	
	8	1120.2	6053,59			7.65	2.86×10^{-18}	
	9	1680.2	15271			8.63	3.56×10^{-21}	

Tableau 4. 17: β en fonction de $\gamma=1.2$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m , $M_b=687.90$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	6053.52	17.87		7,54	3.17×10^{-14}	$8.12 \times 10^{-164} \leq p_f^s \leq 1.61 \times 10^{-32}$
	2	1120	5503.2			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	146.64	3301.96			14.04	1.61×10^{-32}	
	4	219.96	3301.96			12.22	5.58×10^{-29}	
	7	219.96	9080.28			8.57	1.61×10^{-22}	
	8	366.6	6603.84			13.04	1.21×10^{-30}	
	9	926.6	16097.07			10.68	1.96×10^{-26}	
02	1	1120	6053.52	34.76		7,54	3.17×10^{-14}	$8.68 \times 10^{-138} \leq p_f^s \leq 3.71 \times 10^{-32}$
	2	1120	5503.2			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	285.12	3301.96			11.06	3.71×10^{-32}	
	4	427.68	3301.96			9.25	4.60×10^{-20}	
	7	219.96	9080.28			7.94	4.19×10^{-21}	
	8	712.8	6603.84			10.06	1.92×10^{-23}	
	9	1272.8	16097.07			9.76	2.69×10^{-24}	
03	1	1120	6053.52	54.62		7,54	3.17×10^{-14}	$8.14 \times 10^{-112} \leq p_f^s \leq 7.13 \times 10^{-22}$
	2	1120	5503.2			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	448.08	3301.96			9.04	3.09×10^{-19}	
	4	672.12	3301.96			7.23	7.40×10^{-13}	
	7	219.96	9080.28			7.29	1.39×10^{-19}	
	8	1120.2	6603.84			8.04	1.53×10^{-15}	
	9	1680.2	16097.07			8.87	7.13×10^{-22}	

Tableau 4. 18: β en fonction de $\gamma=1.3$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m , $M_b=687.90$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	6328,68	17.87		7,74	6.85×10^{-15}	$1.85 \times 10^{-166} \leq p_f^s \leq 1.21 \times 10^{-31}$
	2	1120	5503,20			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	146.64	3577.18			14.39	1.21×10^{-31}	
	4	219.96	3577.18			12.58	3.10×10^{-30}	
	7	219.96	9493,02			8.77	5.74×10^{-23}	
	8	366.6	7154,16			13.40	2.47×10^{-31}	
	9	926.6	16922.34			10.90	6.85×10^{-27}	
02	1	1120	6328,68	34.76		7,74	6.85×10^{-15}	$1.38 \times 10^{-146} \leq p_f^s \leq 5.31 \times 10^{-28}$
	2	1120	5503,20			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	285.12	3577.18			11.42	5.31×10^{-28}	
	4	427.68	3577.18			9.61	3.32×10^{-24}	
	7	219.96	9493,02			8.14	1.40×10^{-21}	
	8	712.8	7154,16			10.42	1.27×10^{-24}	
	9	1272.8	16922.34			9.98	8.54×10^{-25}	
03	1	1120	6328,68	54.62		7,74	6.85×10^{-15}	$7.29 \times 10^{-126} \leq p_f^s \leq 9.76 \times 10^{-24}$
	2	1120	5503,20			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	448.08	3577.18			9.40	9.76×10^{-24}	
	4	672.12	3577.18			7.58	2.23×10^{-19}	
	7	219.96	9493,02			7.49	4.53×10^{-20}	
	8	1120.2	7154,16			8.40	8.16×10^{-17}	
	9	1680.2	16922.34			9.09	1.78×10^{-22}	

Tableau 4. 19: β en fonction de $\gamma=1.4$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m, $M_b=687.90$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	6603,84	17.87	140	7,93	1.52×10^{-15}	$7.70 \times 10^{-171} \leq p_f^s \leq 9.55 \times 10^{-34}$
	2	1120	5503,20			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	146.64	3852.24			14,73	9.55×10^{-34}	
	4	219.96	3852.24			12,91	2.18×10^{-30}	
	7	219.96	9905,76			8,96	2.17×10^{-23}	
	8	366.6	7704,48			13,73	5.95×10^{-32}	
	9	926.6	17747.82			11,11	2.54×10^{-27}	
02	1	1120	6603,84	34.76	140	7,93	1.52×10^{-15}	$8.34 \times 10^{-147} \leq p_f^s \leq 6.05 \times 10^{-28}$
	2	1120	5503,20			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	285.12	3852.24			11,75	6.05×10^{-28}	
	4	427.68	3852.24			9,94	6.39×10^{-23}	
	7	219.96	9905,76			8,33	5.21×10^{-22}	
	8	712.8	7704,48			10,75	1.26×10^{-24}	
	9	1272.8	17747.82			10,19	2.91×10^{-25}	
03	1	1120	6603,84	54.62	140	7,93	1.52×10^{-15}	$8.4 \times 10^{-123} \leq p_f^s \leq 4.89 \times 10^{-23}$
	2	1120	5503,20			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	448.08	3852.24			9,73	4.82×10^{-22}	
	4	672.12	3852.24			7,92	4.16×10^{-15}	
	7	219.96	9905,76			7,68	1.58×10^{-20}	
	8	1120.2	7704,48			8,73	4.80×10^{-18}	
	9	1680.2	17747.82			9,31	4.89×10^{-23}	

Tableau 4. 20: β en fonction de $\gamma=1.5$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72$ kn.m, $M_b=687.90$ kn.m

Zone	Mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	6879	17.87	140	8,11	3.47×10^{-16}	$1.08 \times 10^{-177} \leq p_f^s \leq 2.88 \times 10^{-38}$
	2	1120	5503.2			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	146.64	4127.45			15,03	2.88×10^{-34}	
	4	219.96	4127.45			13,22	5.44×10^{-31}	
	7	219.96	10318,5			9,14	8.74×10^{-24}	
	8	366.6	8254,8			14,04	1.61×10^{-32}	
	9	926.6	18573.3			13,45	1.91×10^{-31}	
02	1	1120	6879	34.76	140	8,11	3.47×10^{-16}	$9.25 \times 10^{-152} \leq p_f^s \leq 1.23 \times 10^{-28}$
	2	1120	5503.2			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	285.12	4127.45			12,06	1.23×10^{-28}	
	4	427.68	4127.45			10,25	3.81×10^{-24}	
	7	219.96	10318,5			8,51	9.02×10^{-22}	
	8	712.8	8254,8			11,06	3.71×10^{-26}	
	9	1272.8	18573.3			10,40	1.01×10^{-25}	
03	1	1120	6879	54.62	140	8,11	3.47×10^{-16}	$5.89 \times 10^{-128} \leq p_f^s \leq 1.54 \times 10^{-29}$
	2	1120	5503.2			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	448.08	4127.45			10,04	2.44×10^{-23}	
	4	672.12	4127.45			8,22	3.49×10^{-16}	
	7	219.96	10318,5			7,87	5.63×10^{-21}	
	8	1120.2	8254,8			9,04	3.10×10^{-19}	
	9	1680.2	18573.3			9,51	1.54×10^{-23}	

Commentaire

La figure 4.23 montre que β augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité c'est le même dans les zones 1, 2 et 3 pour le mécanisme 1, $l=2h$.

La figure 4.24 montre que β reste constant quand γ augmente dans les zones 1, 2 et 3 pour le mécanisme 2, $l=2h$.

La figure 4.25 montre que β augmente quand γ augmente dans les zones 1 et 2 et 3 et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 3, $l=2h$.

La figure 4.26 montre que β augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 6, $l=2h$.

La figure 4.27 montre que β augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 7, $l=2h$.

La figure 4.28 montre que β augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 8, $l=2h$.

La figure 4.29 montre que β augmente quand γ augmente et l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 pour le mécanisme 9, $l=2h$.

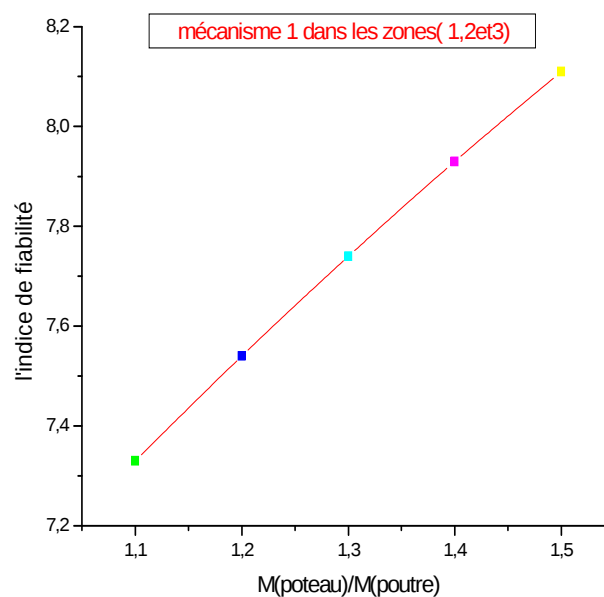


Figure 4. 23: β en fonction de γ du mécanisme 1

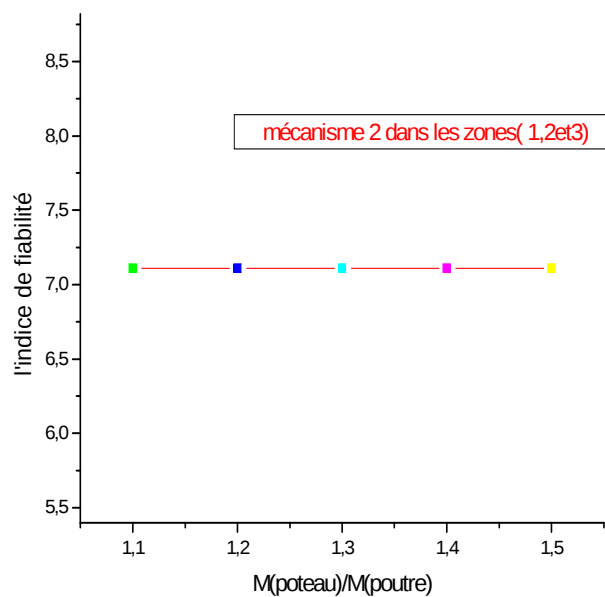


Figure 4. 24: β en fonction de γ du mécanisme 2

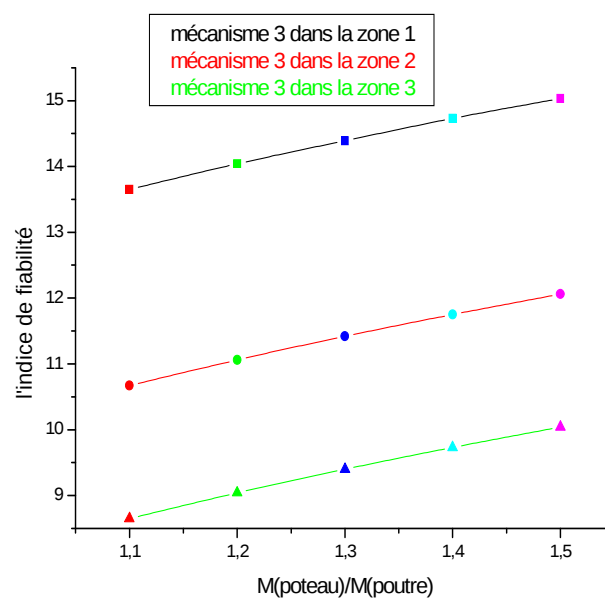


Figure 4. 25: β en fonction de γ du mécanisme 3

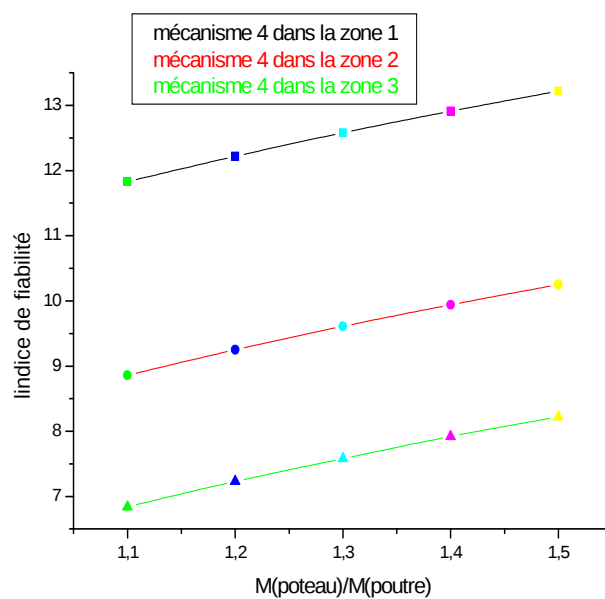


Figure 4. 26: β en fonction de γ du mécanisme 4

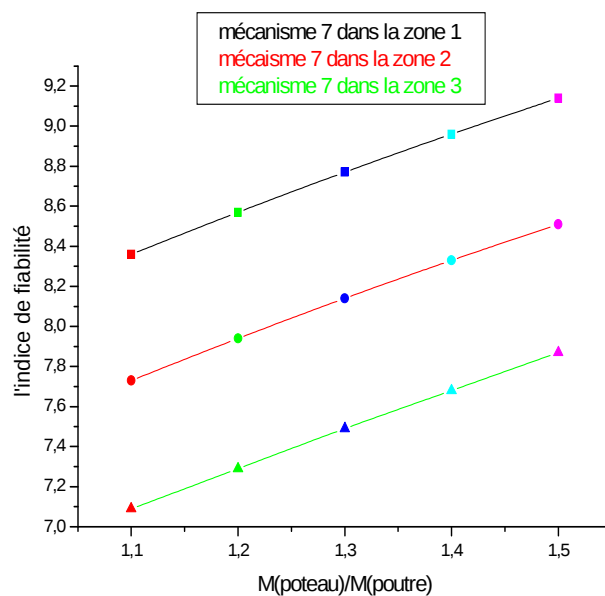


Figure 4. 27: β en fonction de γ du mécanisme 7

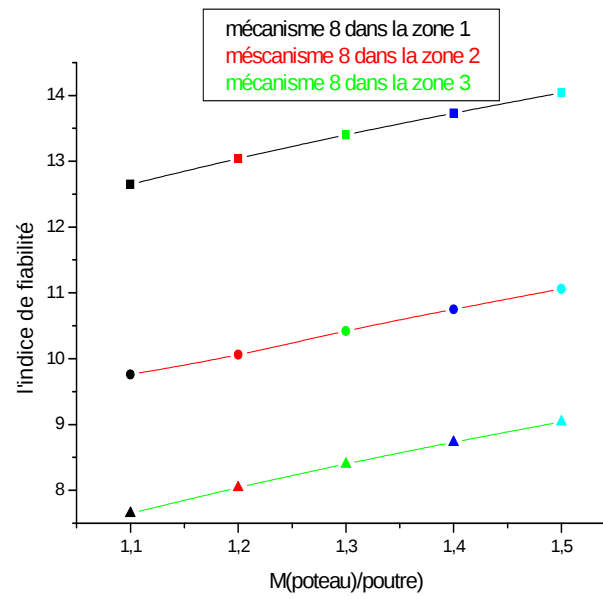


Figure 4. 28: β en fonction de γ du mécanisme

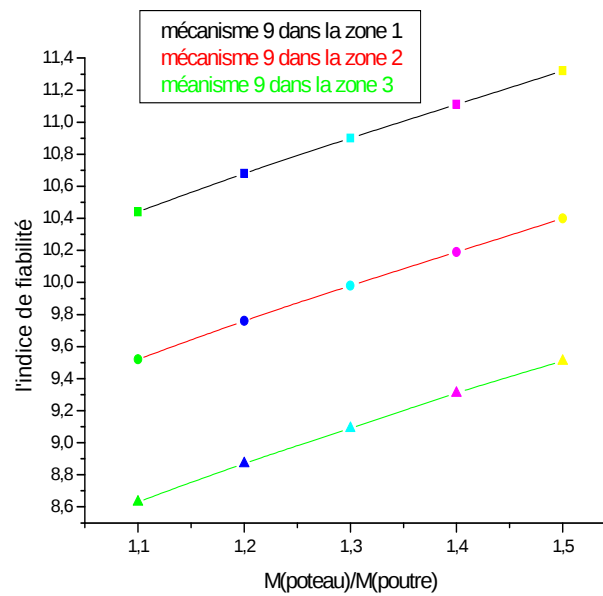


Figure 4. 29: β en fonction de γ du mécanisme 9

4.3.2.3 Calcul de l'indice de fiabilité en fonction de $\Omega=H/V$ pour la loi normalTableau 4. 21: β en fonction de $\Omega = \frac{H}{V}$ pour $L=h$ avec $M_c=158.94$ kn.m , $M_b=121.34$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_f^s
1	1	280	1116,32	7	70	6,69	1.57×10^{-11}	$4.29 \times 10^{-102} \leq p_f^s \leq 3.69 \times 10^{-18}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	56	630,96			9.18	5.35×10^{-9}	
	4	84	630,96			8.72	8.49×10^{-17}	
	7	364	1674.49			7.31	3.75×10^{-14}	
	8	140	1261,93			8.95	3.69×10^{-18}	
	9	420	2984,96			8.39	8.40×10^{-17}	
2	1	280	1116,32	14	70	6,69	1.57×10^{-11}	$5.60 \times 10^{-82} \leq p_f^s \leq 1.21 \times 10^{-14}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	112	630,96			8.28	1.21×10^{-14}	
	4	168	630,96			7.29	9.40×10^{-11}	
	7	448	1674.49			6.76	4.02×10^{-12}	
	8	280	1261,93			7.79	8.67×10^{-13}	
	9	560	2984,96			7.63	1.72×10^{-14}	
3	1	280	1116,32	21	70	6,69	1.57×10^{-11}	$2.96 \times 10^{-62} \leq p_f^s \leq 2.74 \times 10^{-10}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	224	630,96			7.81	1.29×10^{-7}	
	4	252	630,96			5.60	1.96×10^{-6}	
	7	532	1674.49			6.12	2.74×10^{-10}	
	8	420	1261,93			7.19	1.88×10^{-8}	
	9	700	2984,96			6.96	2.48×10^{-12}	

Tableau 4. 22: β en fonction de $\Omega = \frac{H}{V}$ pour $L=2h$ avec $M_c=842.72$ kn.m , $M_b=687.90$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_f^s
1	1	1120	6108,55	14	140	7,66	9.79×10^{-15}	$1.04 \times 10^{-128} \leq p_f^s \leq 6.01 \times 10^{-22}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	112	3356,95			9.64	6.01×10^{-22}	
	4	168	3356,95			9.45	1.60×10^{-17}	
	7	1288	9162,82			9.09	7.14×10^{-17}	
	8	280	6713,90			9.54	7.53×10^{-22}	
	9	1176	16261.95			9.43	2.32×10^{-20}	
2	1	1120	6108,55	28	140	7,66	9.79×10^{-15}	$3.85 \times 10^{-120} \leq p_f^s \leq 3.91 \times 10^{-21}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.00×10^{-14}	
	3	224	3356,95			9,25	3.91×10^{-21}	
	4	336	3356,95			8,82	7.83×10^{-19}	
	7	1456	9162,82			8.85	6.06×10^{-16}	
	8	560	6713,90			9.04	9.12×10^{-20}	
	9	1232	16261.95			9.22	3.34×10^{-20}	
3	1	1120	6108,55	46	140	7,66	9.79×10^{-15}	$4.91 \times 10^{-113} \leq p_f^s \leq 7.88 \times 10^{-20}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	336	3356,95			8.69	7.88×10^{-20}	
	4	504	3356,95			7.9	2.42×10^{-16}	
	7	1624	9162,82			8.53	4.8×10^{-15}	
	8	840	6713,90			8.60	1.19×10^{-17}	
	9	1288	16261.95			8.94	5.05×10^{-20}	

4.3.2.4 calcul de l'indice de fiabilité en fonction de $\Omega = H/V$ pour la loi log normaleTableau 4. 23: β en fonction de $\Omega = \frac{H}{V}$ pour $L=h$ avec $M_C=158.94$ kn.m , $M_b=121.34$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
1	1	280	1116,32	7	70	6,18	3.74×10^{-10}	$7.78 \times 10^{-117} \leq p_f^s \leq 7.95 \times 10^{-27}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	56	630.96			10.83	1.92×10^{-26}	
	4	84	630.96			9.01	8.78×10^{-22}	
	7	364	1674.49			6.82	2.30×10^{-11}	
	8	140	1261,93			9.83	3.96×10^{-24}	
	9	420	2984,96			8.77	9.29×10^{-20}	
2	1	280	1116,32	14	70	6,18	3.74×10^{-10}	$1.44 \times 10^{-62} \leq p_f^s \leq 7.50 \times 10^{-12}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	112	630.96			7.73	7.50×10^{-12}	
	4	168	630.96			5.91	3.06×10^{-7}	
	7	448	1674.49			5.89	1.54×10^{-7}	
	8	280	1261,93			6.73	3.97×10^{-9}	
	9	560	2984,96			7.48	1.88×10^{-12}	
3	1	280	1116,32	21	70	6,18	3.74×10^{-10}	$1.19 \times 10^{-85} \leq p_f^s \leq 1.21 \times 10^{-18}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	224	630.96			5.91	1.21×10^{-18}	
	4	252	630.96			4.10	1.76×10^{-12}	
	7	532	1674.49			5.12	2.57×10^{-9}	
	8	420	1261,93			4.92	4.08×10^{-15}	
	9	700	2984,96			6.48	9.75×10^{-16}	

Commentaire

La figure 4.30 montre que β diminue quand $\Omega = H/V$ augmente pour les deux lois de variations et l'indice de fiabilité β de la loi log normale est supérieur à celui de la loi normale dans l'intervalle $\Omega = 0.1$ à 0.2 à partir de cette valeur la tendance s'inverse du mécanisme 9 , $l=h$.

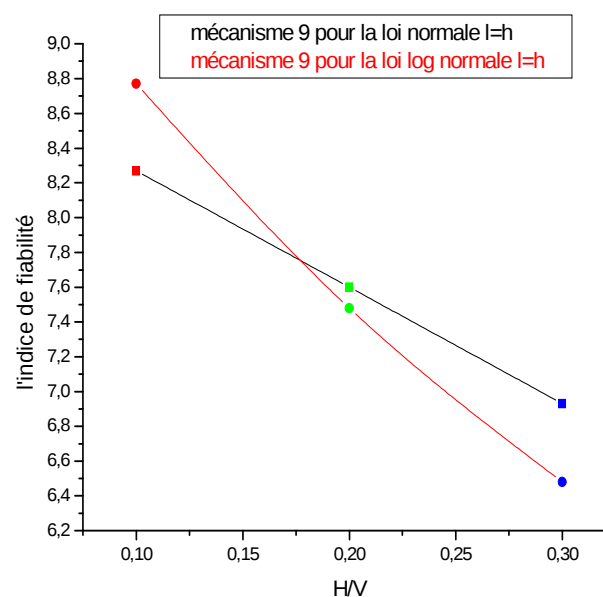
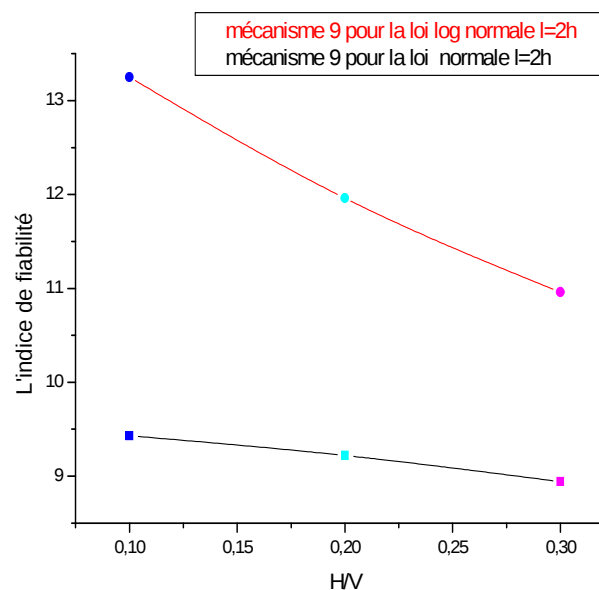
Figure 4. 30: β en fonction de $\Omega = H/V$ du mécanisme 9, $l=h$

Tableau 4. 24: β en fonction $\Omega = H/V$ de pour $L=2h$ avec $M_C=842.72$ kn.m , $M_b=687.90$ kn.m

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	6108,55	14	140	7,58	2.33×10^{-14}	$6.78 \times 10^{-169} \leq p_f^s \leq 2.66 \times 10^{-9}$
	2	1120	5503,20			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	112	3356.95			15.20	1.58×10^{-19}	
	4	168	3356.95			13.39	6.19×10^{-31}	
	7	1288	9162,82			11.32	1.22×10^{-26}	
	8	280	6713,99			14.20	4.09×10^{-19}	
	9	1176	16261.95			13.25	5.80×10^{-31}	
02	1	1120	6108,55	28	140	7,58	2.33×10^{-14}	$2.28 \times 10^{-136} \leq p_f^s \leq 4.29 \times 10^{-28}$
	2	1120	5503,20			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	224	3356.95			12.10	8.23×10^{-27}	
	4	336	3356,95			10.29	8.10×10^{-21}	
	7	1456	9162,82			10.39	1.02×10^{-23}	
	8	560	6713,99			11.10	4.51×10^{-14}	
	9	1232	16261.95			11.96	4.29×10^{-28}	
03	1	1120	6108,55	42	140	7,58	2.33×10^{-14}	$3.48 \times 10^{-128} \leq p_f^s \leq 4.66 \times 10^{-27}$
	2	1120	5503,20			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	336	3356.95			10.29	5.64×10^{-20}	
	4	504	3356,95			8.48	1.91×10^{-13}	
	7	1624	9162,82			9.62	2.20×10^{-10}	
	8	840	6713,90			9.29	1.10×10^{-24}	
	9	1288	16261.95			10.96	4.66×10^{-27}	

Commentaire

La figure 4.31 montre que β diminue quand $\Omega = H/V$ augmente pour les deux lois de variation et l'indice de fiabilité β de la loi log normale est supérieur à celui de la loi normale du mécanisme 9 , $l=2h$.

**Figure 4. 31:** β en fonction de $\Omega = H/V$ du mécanisme .9

4.3.2.5 Calcul β en fonction de la résistance limitée d'écoulement pour la loi normaleTableau 4. 25: β en fonction de $f_e = 235 \text{ kn/m}^2$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94 \text{ kn.m}$, $M_b=121.34 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1116,32	5.66	70	6,69	1.57×10^{-11}	$3.6 \times 10^{-104} \leq p_f^s \leq 7.63 \times 10^{-20}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	45.28	630,96			9,18	7.63×10^{-20}	
	4	67.92	630,96			8,72	4.46×10^{-18}	
	7	347.92	1674.49			7,31	1.43×10^{-12}	
	8	113.2	1261,93			8,95	3.09×10^{-19}	
	9	393.2	2984,96			8,39	2.94×10^{-17}	
02	1	280	1116,32	11.00	70	6,69	1.57×10^{-11}	$3.69 \times 10^{-88} \leq p_f^s \leq 1.74 \times 10^{-16}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	88	630,96			8,28	1.74×10^{-16}	
	4	132	630,96			7,29	3.33×10^{-13}	
	7	412	1674.49			6,76	8.39×10^{-11}	
	8	220	1261,93			7,79	5.13×10^{-15}	
	9	500	2984,96			7,89	1.82×10^{-15}	
03	1	280	1116,32	19.29	70	6,69	1.57×10^{-11}	$1.96 \times 10^{-71} \leq p_f^s \leq 1.88 \times 10^{-13}$
	2	280	970,72			6,16	5.15×10^{-10}	
	3	138.32	630,96			7,76	9.93×10^{-13}	
	4	207.48	630,96			5,60	1.61×10^{-8}	
	7	487.48	1674.49			6,12	5.83×10^{-9}	
	8	345.8	1261,93			7,19	1.37×10^{-10}	
	9	625.8	2984,96			7,28	1.88×10^{-13}	

Tableau 4. 26: en fonction de $f_e = 275 \text{ kn/m}^2$ pour $l=h$ avec $M_c=185.99 \text{ kn.m}$, $M_b=141.99 \text{ kn.m}$

zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1306,30	5.66	70	7,22	3.81×10^{-13}	$2.42 \times 10^{-118} \leq p_f^s \leq 1.95 \times 10^{-20}$
	2	280	1135,92			6,75	1.02×10^{-11}	
	3	45.28	738,34			9,31	1.95×10^{-20}	
	4	67.92	738,34			8,93	2.12×10^{-19}	
	7	347.92	1959.46			7,75	3.30×10^{-17}	
	8	113.2	1476,69			9,12	1.96×10^{-20}	
	9	393.2	3492,95			8,65	2.20×10^{-20}	
02	1	280	1306,30	11.00	70	7,22	3.81×10^{-13}	$6.43 \times 10^{-105} \leq p_f^s \leq 1.11 \times 10^{-11}$
	2	280	1135,92			6,75	1.02×10^{-11}	
	3	88	738,34			8,56	3.17×10^{-18}	
	4	132	738,34			7,73	7.82×10^{-16}	
	7	412	1959.46			7,27	5.22×10^{-16}	
	8	220	1476,69			8,15	3.25×10^{-17}	
	9	500	3492,95			8,23	3.88×10^{-17}	
03	1	280	1306,30	17.29	70	7,22	3.81×10^{-13}	$1.15 \times 10^{-93} \leq p_f^s \leq 7.05 \times 10^{-16}$
	2	280	1135,92			6,75	1.02×10^{-11}	
	3	138.32	738,34			8,09	8.92×10^{-16}	
	4	207.48	738,34			6,26	1.42×10^{-12}	
	7	487.48	1959.46			6,74	1.16×10^{-12}	
	8	345.8	1476,69			7,60	2.80×10^{-14}	
	9	625.8	3492,95			7,72	7.05×10^{-16}	

Tableau 4. 27: β en fonction de $f_e=355 \text{ kn/m}^2$ pour $l=h$ avec $M_c=240.10 \text{ kn.m}$, $M_b=183.30 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1686,36	5.66	70	7,91	1.79×10^{-19}	$2.57 \times 10^{-123} \leq p_f^s \leq 3.23 \times 10^{-21}$
	2	280	1466,4			7,55	3.00×10^{-14}	
	3	45.28	953,16			9.48	3.23×10^{-21}	
	4	67.92	953,16			9,19	4.61×10^{-20}	
	7	347.92	2529.54			8.31	2.83×10^{-16}	
	8	113.2	1906,32			9.34	7.66×10^{-21}	
	9	393.2	4509.18			8.99	1.46×10^{-19}	
02	1	280	1686,36	11.00	70	7.91	1.79×10^{-15}	$3.00 \times 10^{-14} \leq p_f^s \leq 3.42 \times 10^{-14}$
	2	280	1466,4			7.55	3.00×10^{-14}	
	3	88	953,16			8.92	1.92×10^{-19}	
	4	132	953,16			8,30	1.57×10^{-17}	
	7	412	2529.54			7.95	2.40×10^{-15}	
	8	220	1906,32			8.61	1.18×10^{-18}	
	9	500	4509.18			8.68	1.18×10^{-18}	
03	1	280	1686,36	17.29	70	7.91	1.79×10^{-15}	$9.78 \times 10^{-106} \leq p_f^s \leq 1.28 \times 10^{-17}$
	2	280	1466,4			7.55	3.00×10^{-14}	
	3	138.32	953,16			8.56	1.89×10^{-17}	
	4	207.48	953,16			7.17	8.71×10^{-15}	
	7	487.48	2529.54			7.53	2.72×10^{-14}	
	8	345.8	1906,32			8.15	3.11×10^{-16}	
	9	625.8	4509.18			8.29	1.28×10^{-17}	

Commentaire

La figure 4.32 montre que l'indice de fiabilité augmente quand f_e augmente et l'indice de fiabilité β en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3. $l=h$

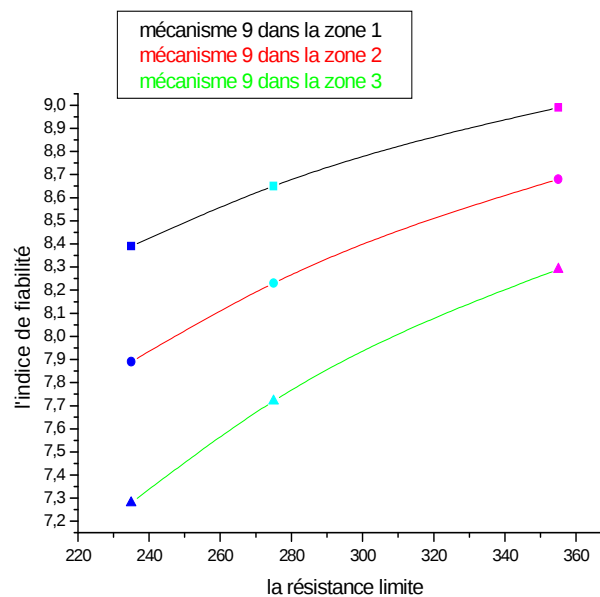
**Figure 4. 32:** β en fonction de f_e du mécanisme 9

Tableau 4.28: β en fonction de $f_e=235 \text{ kn/m}^2$ pour $l=2h$ avec $M_c=841.72 \text{ kn.m}$, $M_b=687.9 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	6108.55	17.87	140	7,66	9.70×10^{-15}	$1.47 \times 10^{-124} \leq p_f^s \leq 9.51 \times 10^{-22}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	142,96	3356.95			9.53	9.51×10^{-22}	
	4	214,44	3356.95			9.28	1.05×10^{-20}	
	7	774,44	9162,82			9.02	9.78×10^{-20}	
	8	917,4	6713,90			9.41	4.66×10^{-17}	
	9	917,4	16261.95			9.37	3.64×10^{-21}	
02	1	1120	6108.55	34.76	140	7,66	9.79×10^{-15}	$7.66 \times 10^{-115} \leq p_f^s \leq 3.99 \times 10^{-20}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	278,08	3356.95			9.04	9.37×10^{-20}	
	4	417,12	3356.95			8.49	1.19×10^{-17}	
	7	977,12	9162,82			8.73	1.31×10^{-18}	
	8	1255,2	6713,90			8.77	1.46×10^{-14}	
	9	1255,2	16261.95			9.12	3.99×10^{-20}	
03	1	1120	6108.55	54.62	140	7,66	9.79×10^{-15}	$1.21 \times 10^{-103} \leq p_f^s \leq 7.01 \times 10^{-19}$
	2	1120	5503,20			7,37	9.03×10^{-14}	
	3	436,96	3356.95			8.41	2.39×10^{-14}	
	4	655,44	3356.95			7.49	3.91×10^{-14}	
	7	1215,44	9162,82			8.38	2.80×10^{-17}	
	8	1652,4	6713,99			8.34	7.41×10^{-12}	
	9	1652,4	16261.95			8.8	7.01×10^{-19}	

Tableau 4.29: β en fonction $f_e=275 \text{ kn/m}^2$ pour $l=2h$ avec $M_c=984.99 \text{ kn.m}$, $M_b=804.98 \text{ kn.m}$

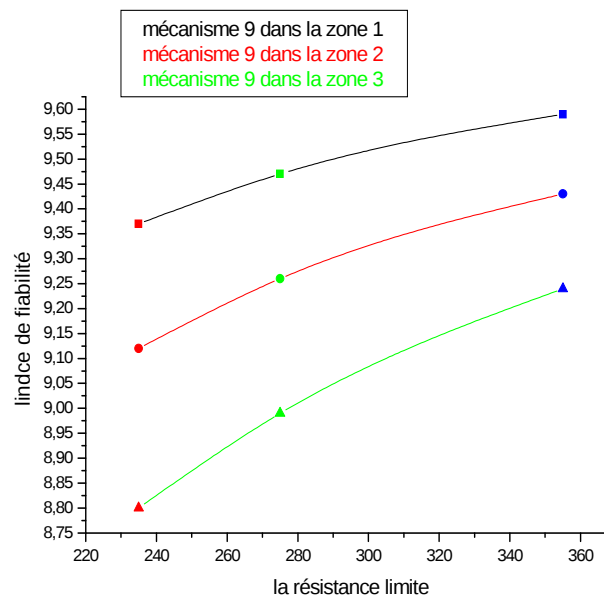
Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	7148.22	17.87	140	8,04	2.25×10^{-16}	$1.45 \times 10^{-134} \leq p_f^s \leq 4.61 \times 10^{-22}$
	2	1120	6439.84			7,80	3.38×10^{-15}	
	3	142,96	3928,3			9.61	4.61×10^{-22}	
	4	214,44	3928,3			9.39	3.51×10^{-21}	
	7	774,44	10722.33			9.18	2.30×10^{-20}	
	8	917,4	7856.60			9.90	3.58×10^{-22}	
	9	917,4	19029.72			9.47	1.42×10^{-21}	
02	1	1120	7148.22	34.76	140	8,04	2.25×10^{-16}	$3.59 \times 10^{-122} \leq p_f^s \leq 1.08 \times 10^{-20}$
	2	1120	6439.84			7,80	3.38×10^{-15}	
	3	278,08	3928,3			9,20	2.23×10^{-20}	
	4	417,12	3928,3			8.74	1.39×10^{-18}	
	7	977,12	10722.33			8.94	2.09×10^{-19}	
	8	1255,2	7856.60			8.97	6.69×10^{-16}	
	9	1255,2	19029.72			9.26	1.08×10^{-20}	
03	1	1120	7148.22	54.62	140	8,04	2.25×10^{-16}	$4.41 \times 10^{-118} \leq p_f^s \leq 6.32 \times 10^{-24}$
	2	1120	6439.84			7,80	3.38×10^{-15}	
	3	436,96	3928,3			8.67	2.51×10^{-18}	
	4	655,44	3928,3			7.90	1.61×10^{-15}	
	7	1215,44	10722.33			8.64	6.32×10^{-24}	
	8	1652,4	7856.60			8.58	1.84×10^{-13}	
	9	1652,4	19029.72			8.99	1.22×10^{-19}	

Tableau 4.30: β en fonction $f_e = 355 \text{ kn/m}^2$ pour $l = 2h$ avec $M_c = 1271.53 \text{ kn.m}$, $M_b = 1039.16 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	9227.74	17.87	140	8,53	7.46×10^{-18}	$1.001 \times 10^{-143} \leq p_f^s \leq 3.11 \times 10^{-23}$
	2	1120	83131.28			8,35	3.11×10^{-23}	
	3	142,96	5071.10			9,70	1.78×10^{-22}	
	4	214,44	5071.10			9,54	8.39×10^{-22}	
	7	774,44	13841.61			9,38	3.49×10^{-21}	
	8	917,4	10142.20			9,62	1.95×10^{-19}	
	9	917,4	24565.74			9,59	4.20×10^{-22}	
02	1	1120	9227.74	34.76	140	8,53	7.43×10^{-18}	$2.33 \times 10^{-137} \leq p_f^s \leq 3.11 \times 10^{-23}$
	2	1120	83131.28			8,35	3.11×10^{-23}	
	3	278,08	5071.10			9,39	3.43×10^{-21}	
	4	417,12	5071.10			9,05	8.06×10^{-20}	
	7	977,12	13841.61			9,20	1.87×10^{-20}	
	8	1255,2	10142.20			9,22	9.87×10^{-18}	
	9	1255,2	24565.74			9,43	1.95×10^{-21}	
03	1	1120	9227.74	54.62	140	8,53	7.46×10^{-18}	$9.69 \times 10^{-130} \leq p_f^s \leq 3.11 \times 10^{-23}$
	2	1120	83131.28			8,35	3.11×10^{-23}	
	3	436,96	5071.10			9,00	1.27×10^{-19}	
	4	655,44	5071.10			8,43	2.00×10^{-17}	
	7	1215,44	13841.61			8,98	1.39×10^{-19}	
	8	1652,4	10142.20			8,91	9.42×10^{-16}	
	9	1652,4	24565.74			9,24	1.24×10^{-20}	

Commentaire

La figure 4.33 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limite augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3. $l = 2h$.

**Figure 4. 33:** β en fonction du f_e du mécanisme 9

4.3.2.6. Calcul β en fonction de la résistance limite d'écoulement pour loi log normalTableau 4. 31: β en fonction de $f_e=235 \text{ kn/m}^2$ pour $l=h$ avec $M_c=158.94 \text{ kn.m}$, $M_b=121.34 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1116,32	5.66	70	6,18	3.74×10^{-10}	$1.07 \times 10^{-123} \leq p_f^s \leq 4.42 \times 10^{-28}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	45.28	630,96			11.78	4.42×10^{-28}	
	4	67.92	630,96			9.96	1.90×10^{-23}	
	7	347.92	1674.49			7.02	1.42×10^{-12}	
	8	113.2	1261,93			10.78	1.78×10^{-25}	
	9	393.2	2984,96			9.06	9.24×10^{-20}	
02	1	280	1116,32	11.00	70	6,18	3.74×10^{-10}	$7.70 \times 10^{-87} \leq p_f^s \leq 9.31 \times 10^{-19}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	88	630,96			8.8	9.31×10^{-19}	
	4	132	630,96			6.99	1.76×10^{-12}	
	7	412	1674.49			6.27	2.19×10^{-10}	
	8	220	1261,93			7.81	4.05×10^{-15}	
	9	500	2984,96			7.99	9.74×10^{-16}	
03	1	280	1116,32	17.29	70	6,18	3.74×10^{-10}	$1.69 \times 10^{-63} \leq p_f^s \leq 1.88 \times 10^{-12}$
	2	280	970,72			5,55	1.44×10^{-8}	
	3	138.32	630,96			6.78	7.50×10^{-12}	
	4	207.48	630,96			4.97	3.06×10^{-7}	
	7	487.48	1674.49			5.51	1.81×10^{-8}	
	8	345.8	1261,93			5.78	3.97×10^{-9}	
	9	625.8	2984,96			6.98	1.88×10^{-12}	

Tableau 4.32: β en fonction de $f_e=275 \text{ kn/m}^2$ pour $l=h$ avec $M_c=185.99 \text{ kn.m}$, $M_b=141.99 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1306,30	5.66	70	6,88	3.76×10^{-12}	$2.85 \times 10^{-136} \leq p_f^s \leq 1.45 \times 10^{-29}$
	2	280	1135,92			6,26	2.3×10^{-10}	
	3	45.28	738,34			12.48	1.45×10^{-29}	
	4	67.92	738,34			10.67	5.27×10^{-25}	
	7	347.92	1789.07			7.72	1.68×10^{-13}	
	8	113.2	1476,69			11.48	2.12×10^{-27}	
	9	393.2	3492,95			9.76	1.20×10^{-22}	
02	1	280	1306,30	11.00	70	6,88	3.76×10^{-12}	$1.24 \times 10^{-101} \leq p_f^s \leq 1.38 \times 10^{-21}$
	2	280	1135,92			6,26	2.30×10^{-10}	
	3	88	738,34			9.51	1.38×10^{-21}	
	4	132	738,34			7.69	9.76×10^{-15}	
	7	412	1789.07			6.97	3.27×10^{-11}	
	8	220	1476,69			8.51	1.23×10^{-17}	
	9	500	3492,95			8.69	2.60×10^{-18}	
03	1	280	1306,30	17.29	70	6,88	3.76×10^{-12}	$6.10 \times 10^{-76} \leq p_f^s \leq 1.05 \times 10^{-14}$
	2	280	1135,92			6,26	2.30×10^{-10}	
	3	138.32	738,34			7.49	4.83×10^{-14}	
	4	207.48	738,34			5.67	7.54×10^{-9}	
	7	487.48	1789.07			6.22	3.42×10^{-9}	
	8	345.8	1476,69			6.49	5.34×10^{-11}	
	9	625.8	3492,95			7.68	1.05×10^{-14}	

Tableau 4.33: β en fonction de $f_e=355 \text{ kn/m}^2$ pour $l=h$ avec $M_c=240.10 \text{ kn.m}$, $M_b=183.3 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	280	1686,36	5.66	70	8,02	7.09×10^{-16}	$2.34 \times 10^{-158} \leq p_f^s \leq 9.66 \times 10^{-32}$
	2	280	1466,4			7,40	9.16×10^{-14}	
	3	45.28	953,16			13.62	9.66×10^{-32}	
	4	67.92	953,16			11.81	3.79×10^{-28}	
	7	347.92	2529.5			8.87	1.88×10^{-17}	
	8	113.2	1906,32			12.62	7.54×10^{-30}	
	9	393.2	4509.18			10.91	6.90×10^{-26}	
02	1	280	1686,36	11.00	70	8,02	7.09×10^{-16}	$5.85 \times 10^{-129} \leq p_f^s \leq 6.40 \times 10^{-25}$
	2	280	1466,4			7,40	9.16×10^{-14}	
	3	88	953,16			10.65	6.40×10^{-25}	
	4	132	953,16			8.84	7.30×10^{-19}	
	7	412	2529.5			8.11	9.05×10^{-15}	
	8	220	1906,32			9.65	3.48×10^{-22}	
	9	500	4509.18			9.83	6.34×10^{-23}	
03	1	280	1686,36	12.29	70	8,02	7.09×10^{-16}	$5.05 \times 10^{-101} \leq p_f^s \leq 7.64 \times 10^{-19}$
	2	280	1466,4			7,40	9.16×10^{-14}	
	3	138.32	953,16			8.63	4.46×10^{-18}	
	4	207.48	953,16			6.81	6.05×10^{-12}	
	7	487.48	2529.5			7.36	2.33×10^{-12}	
	8	345.8	1906,32			7.63	1.61×10^{-14}	
	9	625.8	4509.18			8.83	7.64×10^{-19}	

Commentaire

La Figure 4.34 montre que l'indice de fiabilité β augmente quand la résistance limite d'écoulement augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3.

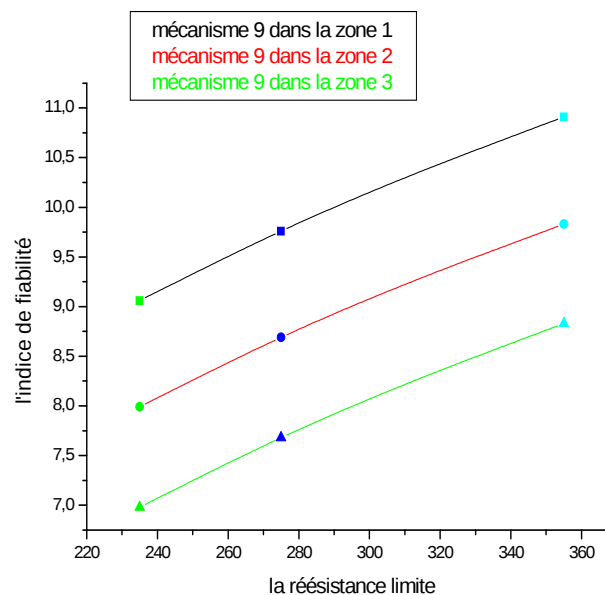
**Figure 4. 34:** β en fonction de f_e du mécanisme 9

Tableau 4.34: β en fonction de $f_e = 235 \text{ kn/m}^2$ pour $l=2h$ avec $M_c=842.72 \text{ kn.m}$, $M_b=687.90 \text{ kn.m}$

Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	6108.55	17.87	140	7,58	2.33×10^{-14}	$1.96 \times 10^{-160} \leq p_f^s \leq 1.14 \times 10^{-32}$
	2	1120	5503,20			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	142,96	3356.95			14,11	1.14×10^{-32}	
	4	214,44	3356.95			12,30	3.40×10^{-29}	
	7	774,44	9162,82			11,04	2.71×10^{-26}	
	8	917,4	6713,90			13,11	4.09×10^{-19}	
	9	917,4	16261.95			12,85	2.63×10^{-30}	
02	1	1120	6108.55	34.76	140	7,58	2.33×10^{-14}	$3.31 \times 10^{-135} \leq p_f^s \leq 2.5 \times 10^{-27}$
	2	1120	5503,20			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	278,08	3356.95			11,13	1.55×10^{-26}	
	4	417,12	3356.95			9,32	8.14×10^{-21}	
	7	977,12	9162,82			10,00	1.34×10^{-23}	
	8	1255,2	6713,90			10,14	4.51×10^{-14}	
	9	1255,2	16261.95			11,45	2.5×10^{-27}	
03	1	1120	6108.55	54.62	140	7,58	2.33×10^{-14}	$5.59 \times 10^{-111} \leq p_f^s \leq 1.10 \times 10^{-24}$
	2	1120	5503,20			7,11	7.36×10^{-13}	
	3	436,96	3356.95			9,11	5.65×10^{-20}	
	4	655,44	3356.95			7,30	1.91×10^{-13}	
	7	1215,44	9162,82			9,03	1.22×10^{-19}	
	8	1652,4	6713,99			8,12	2.20×10^{-10}	
	9	1652,4	16261.95			10,25	1.10×10^{-24}	

Tableau 4.35: β en fonction de $f_e = 275 \text{ kn/m}^2$ pour $l=2h$ avec $M_c = 984.99 \text{ kn.m}$, $M_b = 1039.15 \text{ kn.m}$

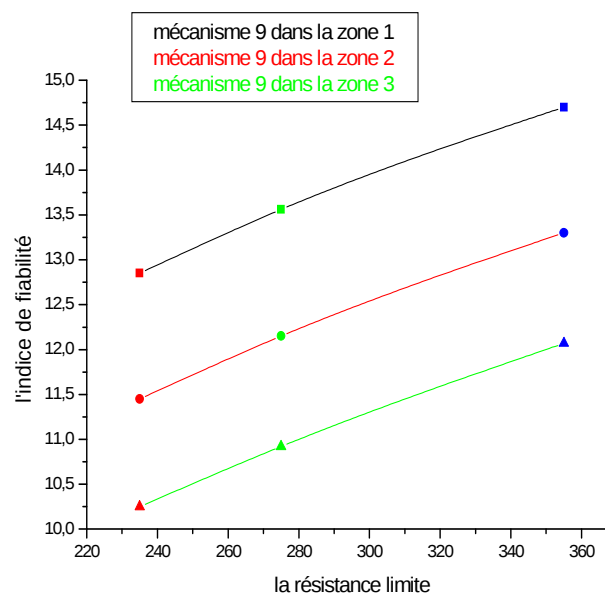
Zone	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	7148.22	17.87	70	8,28	8.36×10^{-17}	$2.19 \times 10^{-172} \leq p_f^s \leq 6.63 \times 10^{-34}$
	2	1120	6439.84			7,82	3.72×10^{-15}	
	3	142,96	3928,3			14,81	6.63×10^{-34}	
	4	214,44	3928,3			13,00	1.34×10^{-30}	
	7	774,44	10722.33			11,75	1.20×10^{-26}	
	8	917,4	7856.60			13,82	5.63×10^{-22}	
	9	917,4	19029.72			13,56	1.16×10^{-31}	
02	1	1120	7148.22	34.76	70	8,28	8.36×10^{-17}	$1.39 \times 10^{-148} \leq p_f^s \leq 6.96 \times 10^{-29}$
	2	1120	6439.84			7,82	3.72×10^{-15}	
	3	278,08	3928,3			11,84	3.25×10^{-28}	
	4	417,12	3928,3			10,02	1.14×10^{-23}	
	7	977,12	10722.33			10,72	9.99×10^{-24}	
	8	1255,2	7856.60			10,84	1.72×10^{-16}	
	9	1255,2	19029.72			12,15	6.96×10^{-29}	
03	1	1120	7148.22	54.62	70	8,28	8.36×10^{-17}	$4.97 \times 10^{-127} \leq p_f^s \leq 1.01 \times 10^{-28}$
	2	1120	6439.84			7,82	3.72×10^{-15}	
	3	436,96	3928,3			9,82	7.22×10^{-23}	
	4	655,44	3928,3			8,00	8.46×10^{-16}	
	7	1215,44	10722.33			9,73	1.22×10^{-19}	
	8	1652,4	7856.60			8,82	2.08×10^{-12}	
	9	1652,4	19029.72			10,92	1.01×10^{-28}	

Tableau 4.36: β en fonction de $f_e = 355 \text{ kn/m}^2$ pour $l=2h$ avec $M_c=1271.53 \text{ kn.m}$, $M_b=1039.15 \text{ kn.m}$

one	mécanisme	μ_s	μ_r	H	V	β	P_f	P_s^f
01	1	1120	9227.74	17.87	140	9,43	3.01×10^{-21}	$3.49 \times 10^{-197} \leq p_f^s \leq 7.7 \times 10^{-36}$
	2	1120	83131.28			8,96	1.66×10^{-23}	
	3	142,96	5071.10			15.96	7.78×10^{-36}	
	4	214,44	5071.10			14.15	9.69×10^{-33}	
	7	774,44	13841.61			12.89	2.20×10^{-30}	
	8	917,4	10142.20			14.96	4.24×10^{-27}	
	9	917,4	24565.74			14.70	9.86×10^{-31}	
02	1	1120	9227.74	34.76	140	9,43	3.01×10^{-21}	$5.1 \times 10^{-127} \leq p_f^s \leq 5.40 \times 10^{-28}$
	2	1120	83131.28			8,96	1.66×10^{-23}	
	3	278,08	5071.10			12.98	1.47×10^{-30}	
	4	417,12	5071.10			11.17	8.46×10^{-16}	
	7	977,12	13841.61			11.85	3.08×10^{-28}	
	8	1255,2	10142.20			11.98	6.84×10^{-21}	
	9	1255,2	24565.74			13.30	5.67×10^{-28}	
03	1	1120	9227.74	54.62	140	9,43	3.01×10^{-21}	$3.14 \times 10^{-157} \leq p_f^s \leq 1.03 \times 10^{-28}$
	2	1120	83131.28			8,96	1.66×10^{-23}	
	3	436,96	5071.10			10.96	4.68×10^{-26}	
	4	655,44	5071.10			9.15	4.22×20	
	7	1215,44	13841.61			10.87	8.60×10^{-26}	
	8	1652,4	10142.20			9.96	3.55×10^{-16}	
	9	1652,4	24565.74			12.07	1.03×10^{-28}	

Commentaire

La figure 4.35 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limite d'écoulement augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3.

**Figure 4. 35:** β en fonction de f_e du mécanisme 9

4.4 COMPARAISON ENTRE LES MECANISMES 9 ET C

Dans ce qui suit on va analyser les résultats obtenus et faire la comparaison entre les deux lois de variation afin de tirer des conclusions.

4.4.1 L' influence de la zone

La figure 4.36 montre que l'indice de fiabilité diminue quand la sismicité augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C pour $\gamma = 1.1$ et l'indice de fiabilité β de la loi log normale est supérieur à celui de la loi normale, $l=2h$.

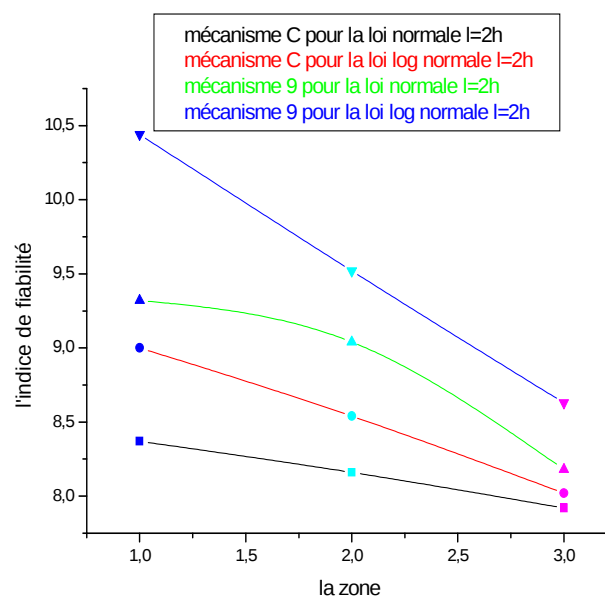


Figure 4. 36: β en fonction de la zone

La figure 4.37 montre que l'indice de fiabilité diminue quand la sismicité augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C pour $\gamma = 1.1$, $l=h$.

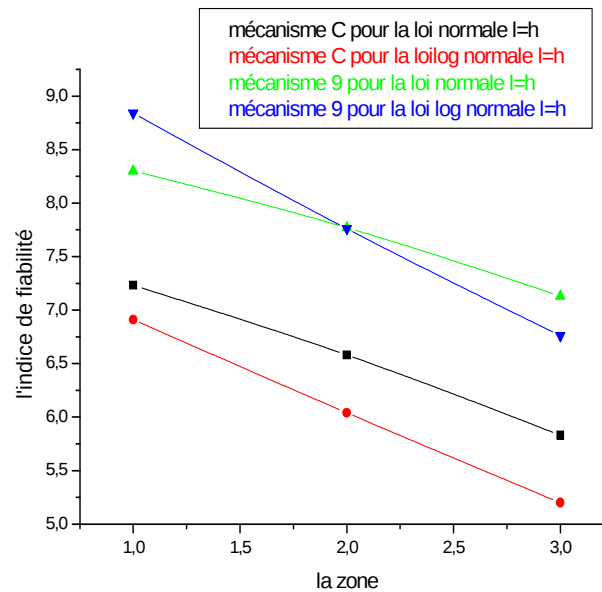


Figure 4. 37: β en fonction de la zone

La figure 4.38 montre que l'indice de fiabilité diminue quand la sismicité augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9), et l'indice de fiabilité β du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C pour $\gamma = 1.2$ et $l=h$.

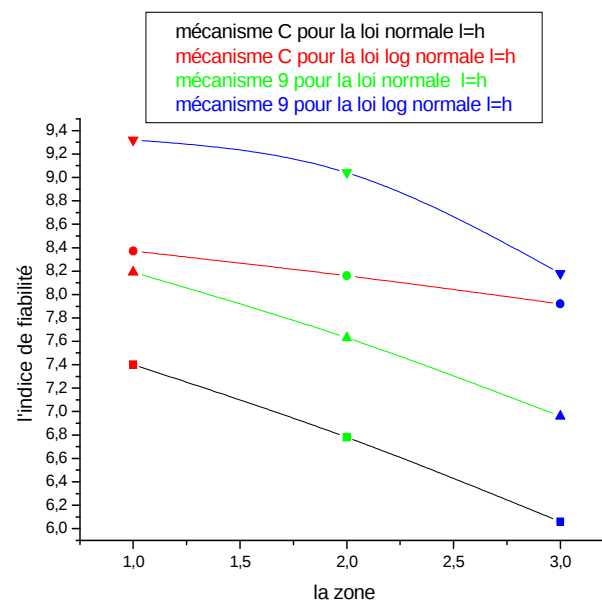
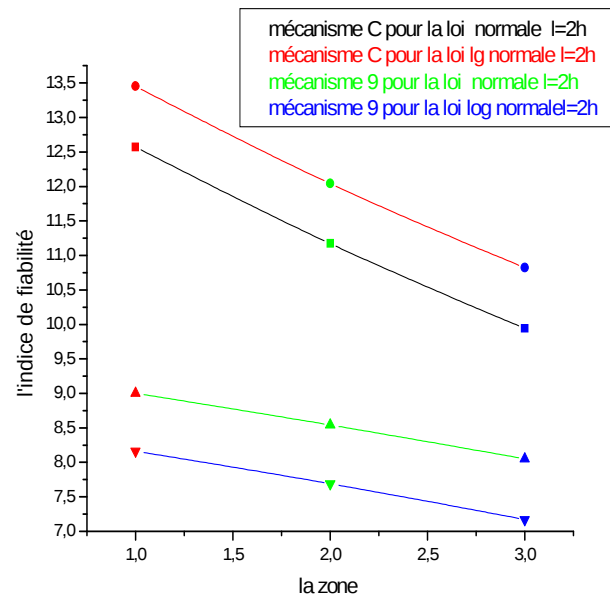


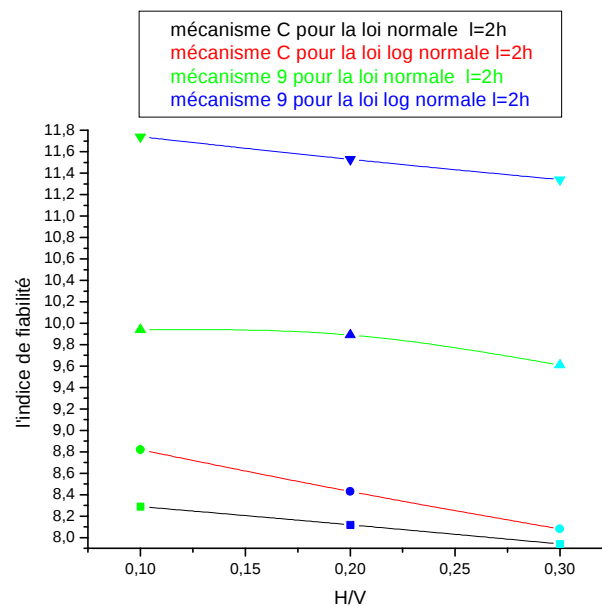
Figure 4. 38: β en fonction de la zone

La figure 4.39 montre que l'indice de fiabilité diminue quand la sismicité augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C pour $\gamma = 1.2$ et $l=2h$.

Figure 4. 39: β en fonction de la zone

4.1.2 L'influence de $\Omega = H/V$

La figure 4.40 montre que l'indice de fiabilité diminue quand la zone augmente pour Les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C, $\gamma = 1.1$, $l=2h$.

Figure 4. 40. β en fonction de la zone

La figure 4.41 montre que l'indice de fiabilité diminue quand Ω augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C, $\gamma = 1.1, l=h$.

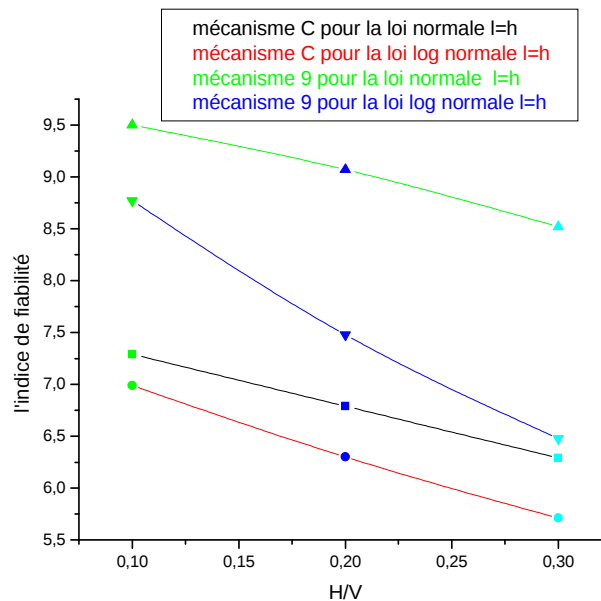


Figure 4. 41: β en fonction de $\Omega=H/V$ pour les mécanismes

4.1.3 L'influence de la résistance limite d'écoulement

La figure 4.42 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limitée d'écoulement augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9), et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C, pour la loi normale $l=h$ dans la zone 1.

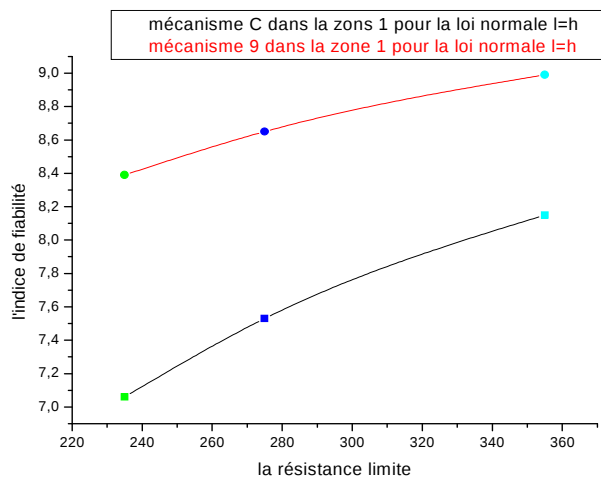


Figure 4. 42: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C, 9)

La figure 4.43 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limitée d'écoulement augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9), et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C pour la loi normale, $l=2h$ dans la zone 1.

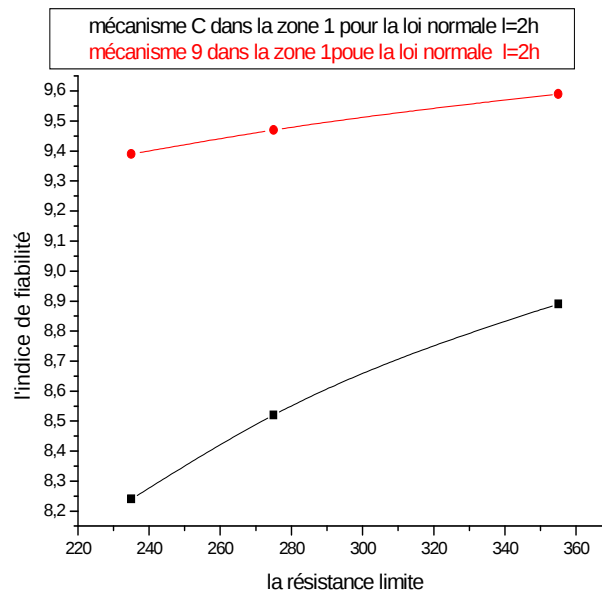


Figure 4. 43: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C ,9)

La figure 4.44 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limitée d'écoulement augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C pour la loi normale, $l=h$ dans la zone 2.

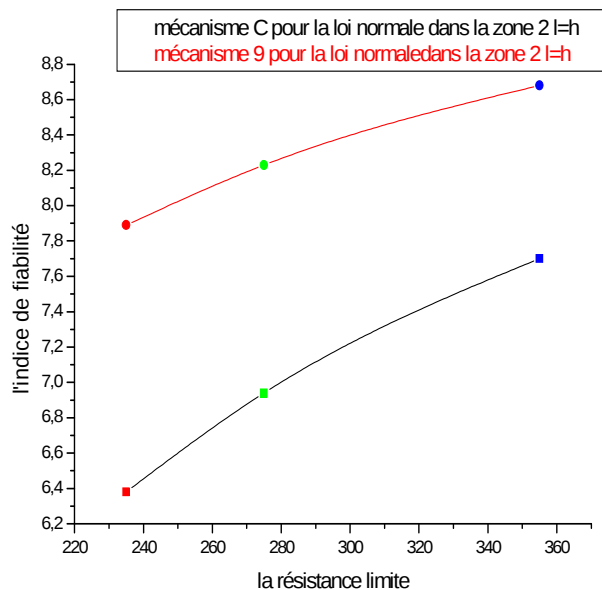


Figure 4. 44: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C ,9)

La figure 4.45 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limitée d'écoulement augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C en zone 3 pour la loi normale, $l=h$.

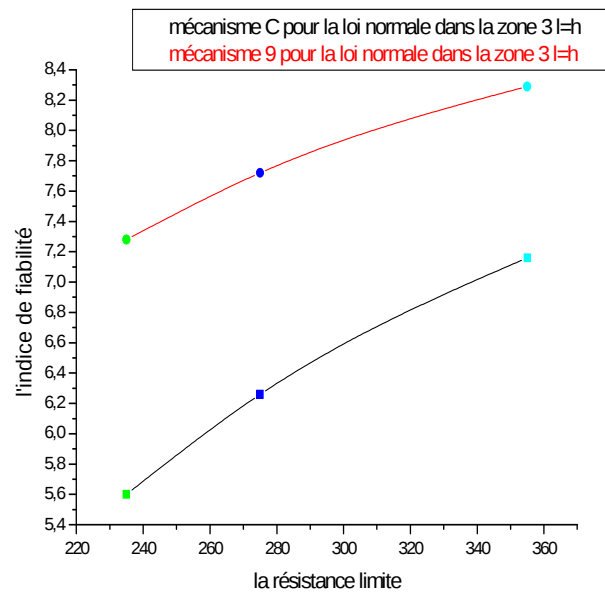


Figure 4. 45: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C ,9)

La figure 4.46 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limitée d'écoulement augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C en zone 1 pour la loi log normale, $l=2h$.

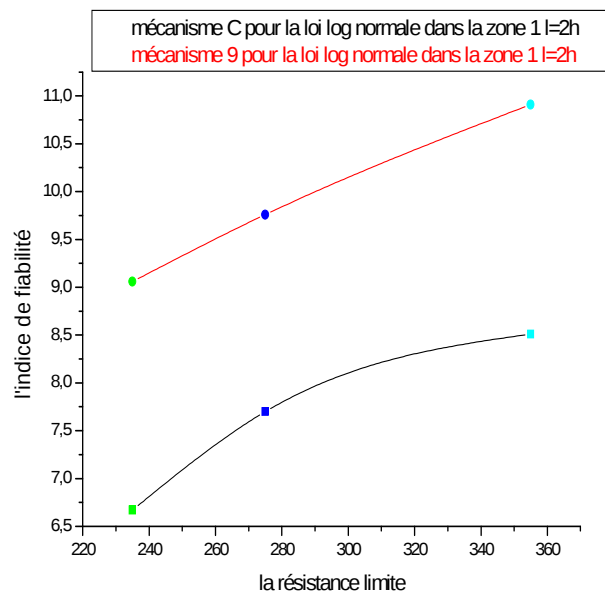


Figure 4. 46 : β en fonction de f_e pour les mécanismes (C ,9)

La figure 4.47 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limitée d'écoulement augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C en zone 2 pour la loi log normale, $l=2h$.

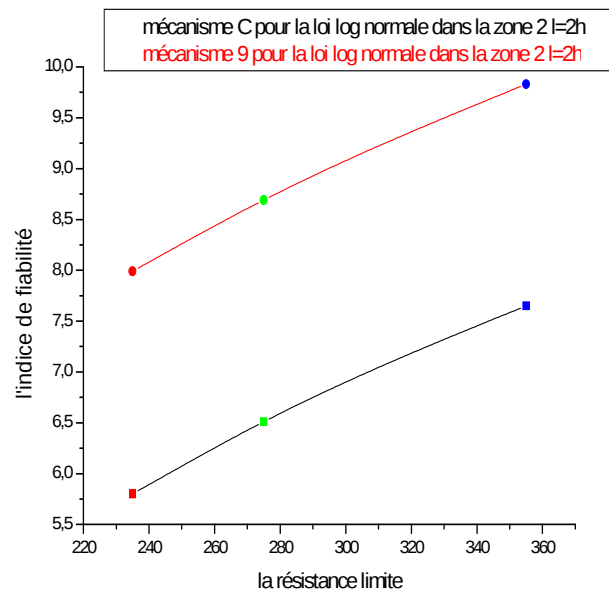


Figure 4. 47: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C ,9)

La figure 4.48 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limitée d'écoulement augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C en zone 3 pour la loi log normale, $l=2h$.

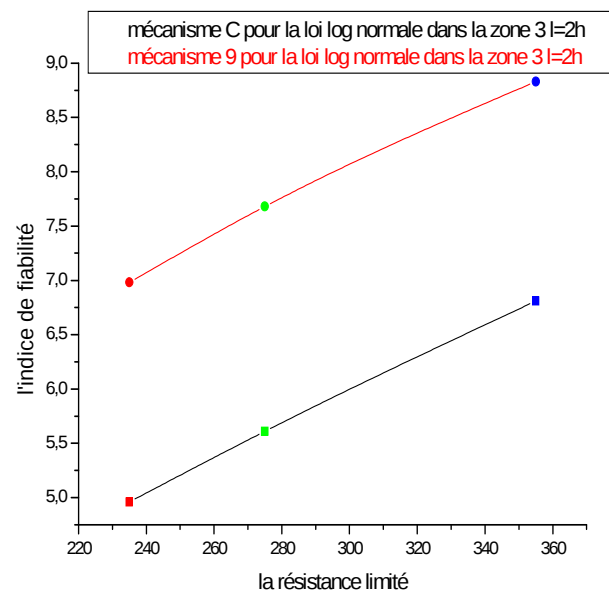


Figure 4. 48: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C ,9)

La figure 4.49 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limitée d'écoulement augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C en zone 2 pour la loi normale, $l=2h$.

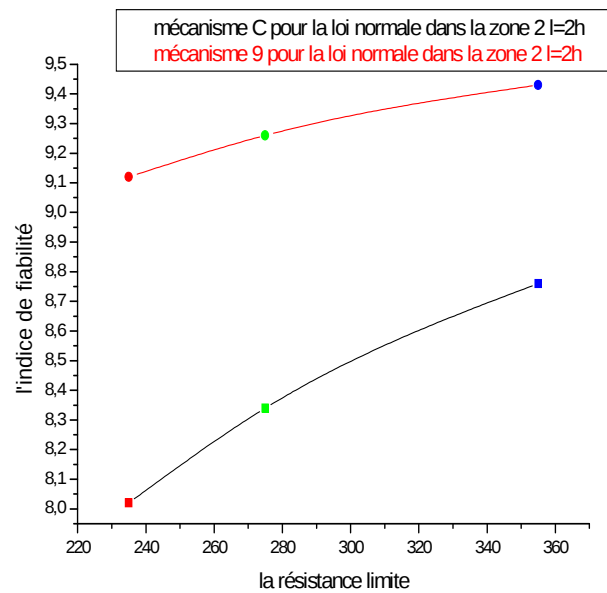


Figure 4. 49: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C ,9)

La figure 4.50 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limitée d'écoulement augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C en zone 3 pour la loi normale, $l=2h$.

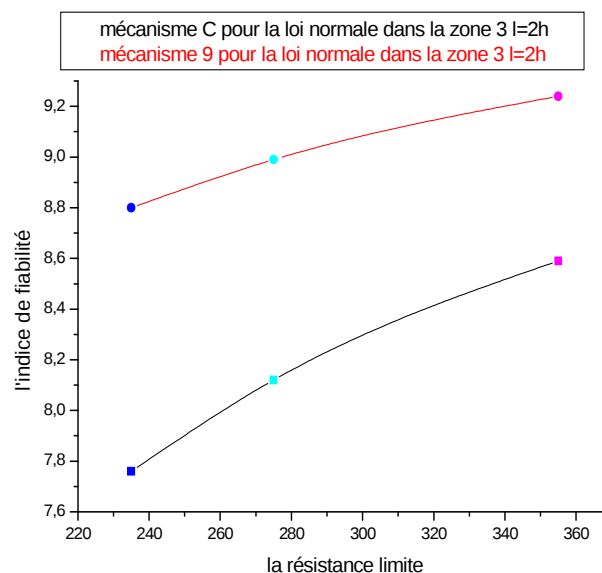


Figure 4. 50 : β en fonction de f_e pour les mécanismes (C ,9)

La figure 4.51 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limitée d'écoulement augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9), et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C en zone 1 pour la loi log normale, $l=2h$.

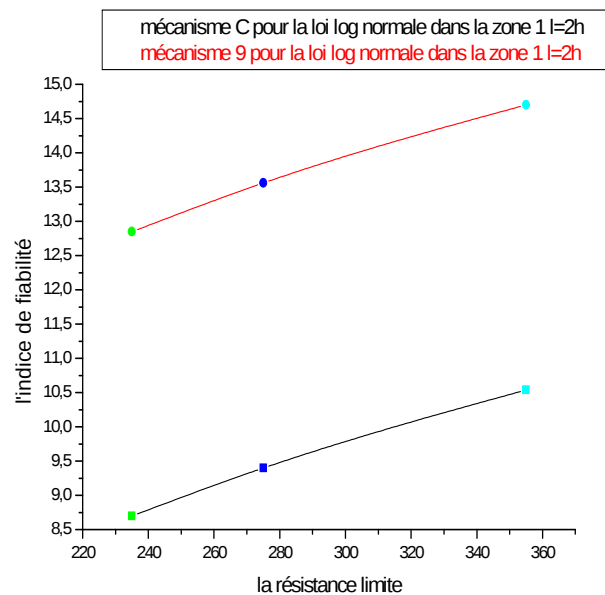


Figure 4. 51: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C ,9)

La figure 4.52 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limitée d'écoulement augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C en zone 2 pour la loi log normale, $l=2h$.

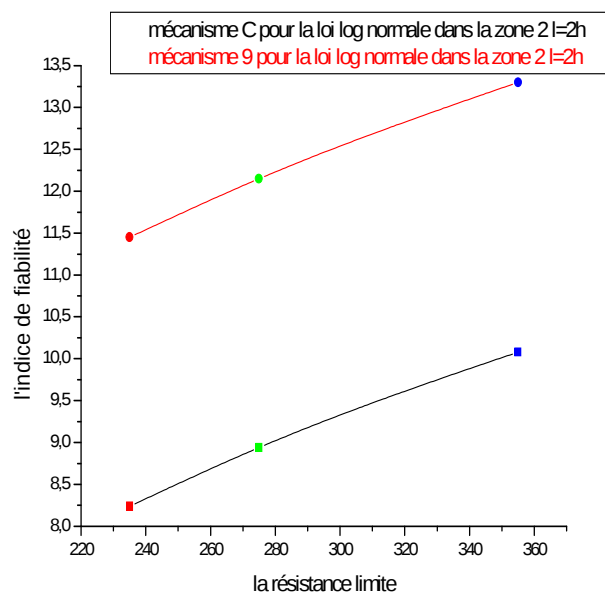


Figure 4. 52 : β en fonction de f_e pour les mécanismes (C ,9)

La figure 4.53 montre que l'indice de fiabilité augmente quand la résistance limitée d'écoulement augmente pour les deux mécanismes de portique (C, 9) et l'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C en zone 3 pour la loi log normale, $l=2h$.

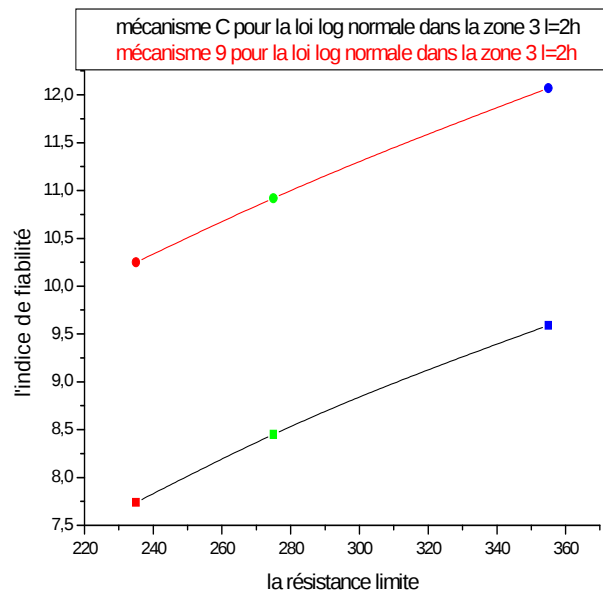


Figure 4. 53: β en fonction de f_e pour les mécanismes (C ,9)

CHAPITRE V

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

5.1 CONCLUSIONS

5.1.1 Cadre à 1 niveau

Dans le chap. 3 est présentée la variation de l'indice de fiabilité en fonction du rapport $\gamma = M_c/M_b$, du rapport $\Omega = H/V$, du rapport $\lambda = l/h$ et de la résistance limite d'écoulement f_e . Les résultats obtenus pour le mécanisme C sont les suivants :

5.1.1.1 L'indice de fiabilité en fonction de γ

- Pour les différentes valeurs de λ pour les deux lois de variation et dans les différentes zones, l'indice de fiabilité diminue quand γ augmente et l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3.
- Pour les valeurs de $\lambda=1, 1.5$ dans les différentes zones, l'indice de fiabilité de la loi normale est supérieur de celui de la loi log normale.
- Pour $\lambda=2$ l'indice de fiabilité β pour la loi log normale est supérieur à celui de la loi normale dans l'intervalle $\gamma = 1$ à 1.40, à partir de cette valeur la tendance s'inverse et tout ça dans la zone 2. L'indice de fiabilité β pour la loi log normale est supérieur à celui de la loi normale dans l'intervalle $\gamma = 1$ à 1.20, à partir de cette valeur la tendance s'inverse et tout ça dans la zone 3. L'indice de fiabilité β pour la loi normale est supérieur à celui de la loi log normale et ce en zone 1.

5.1.1.2 L'indice de fiabilité en fonction de la zone

- Pour les différentes valeurs de la sismicité pour les deux lois de variation, l'indice de fiabilité diminue quand la sismicité augmente. L'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui dans les zones 2 et 3.
- Pour les valeurs de $\lambda=1, 1.5$, l'indice de fiabilité de la loi normale est supérieur de celui de la loi log normale.
- Pour la valeur de $\lambda=2$, et pour $\gamma \geq 1.3$ l'indice de fiabilité pour la loi log normale est supérieur à celui de la loi normale en zone 1 et 2. Pour $\gamma \leq 1.3$ l'indice de fiabilité pour la loi normale est supérieur à celui de la loi log normale dans toutes les zones.

5.1.1.3 L'indice de fiabilité en fonction de $\Omega=H/V$.

- Pour le mécanisme C pour les différentes valeurs de λ et pour les deux lois de variations, l'indice de fiabilité diminue quand Ω augmente. Par contre pour le mécanisme D l'indice de fiabilité augmente quand $\Omega=H/V$ augmente ;
- Pour le mécanisme C l'indice de fiabilité de la loi log normale est supérieur à celui de la loi normale et ce pour $\lambda=1.5$ et 2 ;
- Pour le mécanisme C l'indice de fiabilité de la loi normale est supérieur à celui de la loi log normale et ce pour $\lambda=1$.

5.1.1.4 L'indice de fiabilité en fonction de f_e

- Pour le mécanisme de rupture (C), pour les différentes valeurs de λ pour les deux lois de variation et dans les différentes zones, l'indice de fiabilité augmente quand f_e augmente.

5.1.2 Portique étagé

Dans le chap. 4 est présentée la variation de l'indice de fiabilité en fonction du rapport $\gamma=M_c/M_b$, du rapport $\Omega=H/V$, du rapport $\lambda=l/h$ et de la résistance limite d'écoulement f_e . Les résultats obtenus pour le mécanisme 9 sont les suivants :

5.1.2.1 L'indice de fiabilité en fonction de γ

- Pour le mécanisme 9, pour $\lambda=1,2$ pour les deux lois de variations et dans les différentes zones, l'indice de fiabilité augmente quand γ augmente, l'indice de fiabilité en zone 1 est supérieur à celui des zones 2 et 3 .

5.1.2.2 L'indice de fiabilité en fonction de f_e

- L'indice de fiabilité augmente quand f_e augmente.

5.1.2.3 L'indice de fiabilité en fonction de $\Omega=H/V$

- Pour le mécanisme 9, pour $\lambda=1$, pour les deux lois de variation l'indice de fiabilité diminue quand $\Omega=H/V$ augmente pour les deux lois de variations et l'indice de fiabilité β de la loi log normale est supérieur à celui dans l'intervalle $\Omega=0.1$ à 0.2 à partir de cette valeur la tendance s'inverse.

- Pour le mécanisme 9, pour $\lambda = 2$ pour les deux lois de variation β diminue quand $\Omega = H/V$ augmente et l'indice de fiabilité β de la loi normale est supérieur à celui de la loi log normale du mécanisme 9, $l = 2h$;
- L'indice de fiabilité du mécanisme 9 est supérieur à celui du mécanisme C.

6.2 RECOMMANDATIONS

- Pour le portique simple β diminue quand γ augmente il est recommandée de choisir un γ moyen proche de 1.3 (règlement)
- Pour le portique simple β diminue quand la sismicité augmente il est recommandée de choisir une rigidité suffisante.
- Pour le portique simple β diminue quand Ω augmente il est recommandée de choisir un coefficient H/V pas trop grand
- Pour le portique simple β augmente quand la limite d'écoulement augmente il est recommandé de prendre f_e pas trop grand.
- Pour le portique étage β augmente quand γ augmente il est recommandée de choisir un γ moyen proche de 1.3 (règlement)
- Pour le portique étage β diminue quand Ω augmente il est recommandée de choisir un coefficient H/V pas trop grand.

ANNEXE A

A. 1 LOIS DE DISTRIBUTION

A.1.1 Loi Uniforme

- Fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \frac{1}{b-a} \quad \text{A.1}$$

- Fonction de répartition

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{pour } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{pour } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{pour } x \geq b \end{cases} \quad \text{A.2}$$

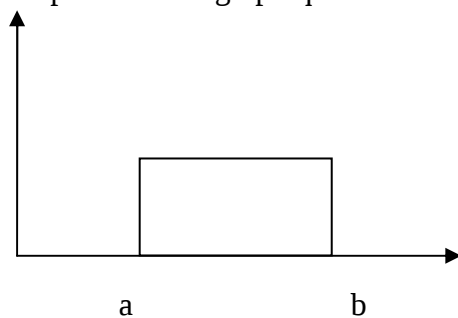
- Informations générales

Domaine de validité	$a \leq x \leq b$
Restriction sur les paramètres	$a < b$
Moyenne	$m_x = \frac{a+b}{2}$
Ecart –Type	$\sigma_x = \frac{b-a}{\sqrt{12}}$
Paramètres internes de la loi	a et b

- Données d'entrées

Données d'entrées			
Jeu de paramètres	Paramètres	Restrictions	
Limites	Limite Inférieure	a	$> a$
	Limite Supérieure	b	
Moy, Lim Inf.	Moyenne	m_x	
	Limite Inférieure	a	
Moy, Ecart Type	Moyenne	m_x	> 0
	Ecart-Type	σ_y	
Moy, Coeff variation	Moyenne	m_x	$\neq 0$
	Coefficient de variation	$\frac{\sigma_x}{ m_x }$	

- Représentation graphique



Densité Uniforme entre a et b

A.1.2 Loi Exponentielle

- Fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \lambda \exp[-\lambda(x - \tau)] \quad \text{A. 3}$$

- Formation de répartition :

$$F(x) = 1 - \exp[-\lambda(x - \tau)] \quad \text{A. 4}$$

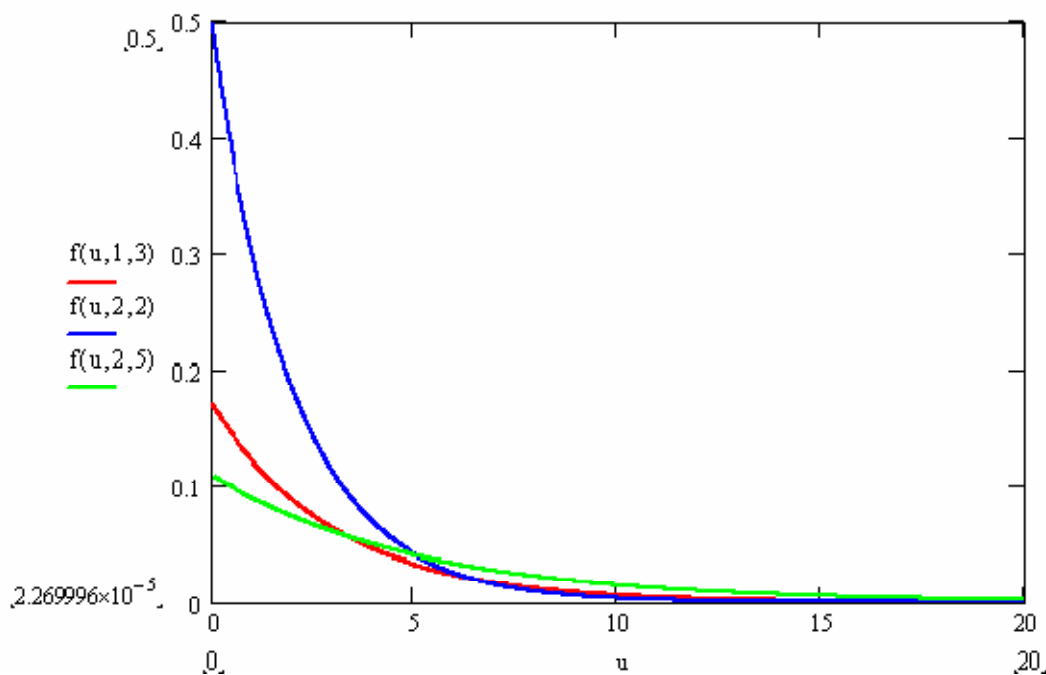
- Informations générales

Domaine de validité	$\tau \leq x \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$\lambda \geq 0$
Moyenne	$m_x = \tau + \frac{1}{\lambda}$
Ecart -Type	$\sigma = \frac{1}{\lambda}$
Paramètres internes de la loi	$\begin{cases} \lambda = \frac{1}{\sigma} \\ \tau = m_x - \sigma \end{cases}$

- Données d'entrées

Données d'entrées			
Jeu de paramètres	Paramètres	restrictions	
Moy, Lim Inf.	Moyenne	m_x	$> \tau$
	Limite inférieure	τ	
Moy, Ecart type	Moyenne	m_x	> 0
	Ecart Type	σ_y	
Taux, Lim Inf.	Taux de défaillance	λ	> 0
	Limité inférieure	τ	

■ Représentation graphique



Densités Exponentielle : E(1,3),E(2,2)et E(2,5)

A.1.3. loi Trapézoïdale

■ Fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{pour } x \leq 0 \\ \frac{x-a}{b-a} h & \text{pour } a \leq x \leq b \\ h & \text{pour } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} h & \text{pour } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{pour } d \leq 0 \end{cases} \quad \text{A. 5}$$

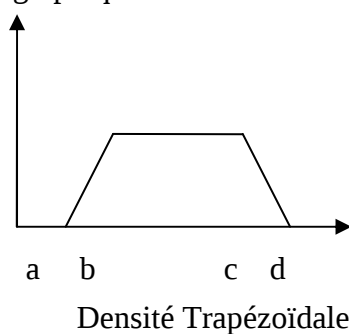
■ Fonction de répartition

$$F(X) = \begin{cases} 0 & \text{pour } x \leq 0 \\ \frac{(x-a)^2}{2(b-a)^2} h & \text{Pour } a \leq x \leq b \\ h(x-b) + \frac{h}{2}(b-a) & \text{pour } b \leq x \leq c \\ 1 - \frac{(d-x)^2}{2(d-c)^2} h & \text{pour } c \leq x \leq d \\ 1 & \text{pour } d \leq x \end{cases} \quad \text{A.6}$$

- Informations générales

Domaine de validité	$a \leq x \leq d$
Restriction sur les paramètres	$a \leq b \leq c \leq d$
Moyenne	m_y numérique
Ecart -type	σ_x numérique
Paramètre à entrée	a, b ,c et d
Paramètres internes de la loi	$H = \frac{1}{\frac{b-a}{2} + (c-b) + \frac{d-c}{2}}$

- Représentation graphique



A.1.4. Loi de Cauchy

- Fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \frac{1}{\pi \lambda [1 + (\frac{x-\theta}{\lambda})^2]} \quad \text{A. 7}$$

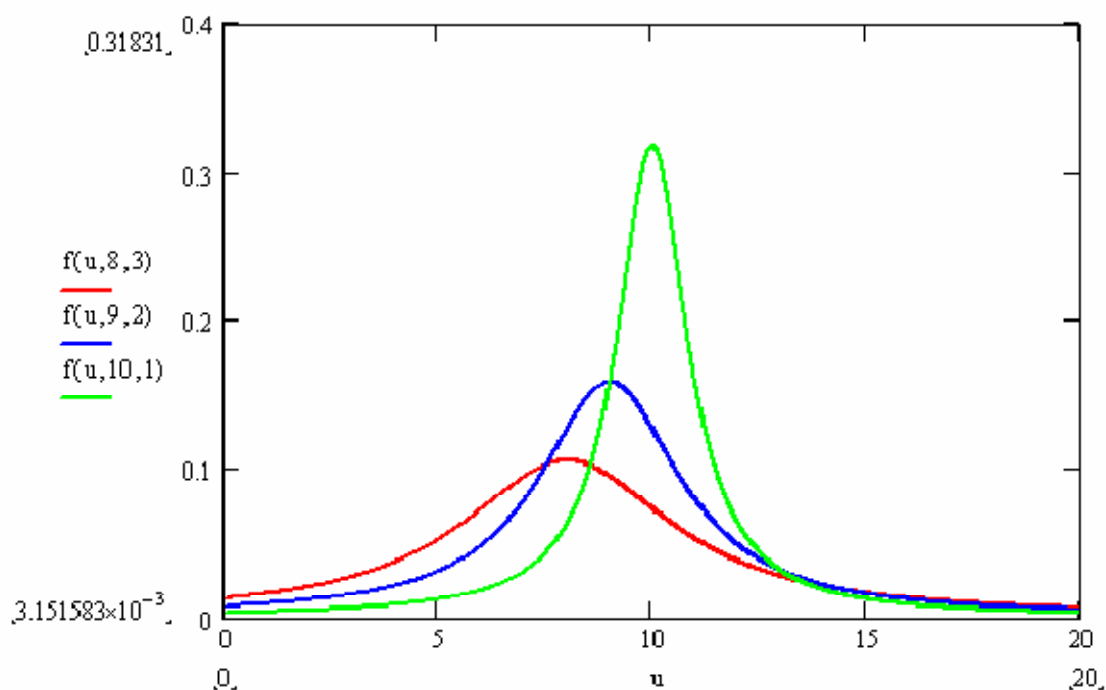
- Fonction de répartition

$$F(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctan\left(\frac{x-\theta}{\lambda}\right) \quad \text{A. 8}$$

- Informations générales

Domaine de validité	$-\infty \leq X \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$\lambda > 0$
Moyenne	$m_x = \infty$
Ecart- Type	$\sigma_x = \infty$
Paramètres à entres	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Décalage } \theta \\ \text{Pseudo dispersion } \lambda \end{array} \right.$
Paramètres internes de la loi	$\theta \text{ et } \lambda$

- Représentation graphique



Densités de Cauchy : C(8,3), C(9,2) et C(10,1)

A.1.5 Loi de Rayleigh

- Fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \frac{x-\tau}{\alpha^2} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\tau}{\alpha}\right)^2\right] \quad \text{A. 9}$$

- Fonction de répartition

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\tau}{\alpha}\right)^2\right) \quad \text{A. 10}$$

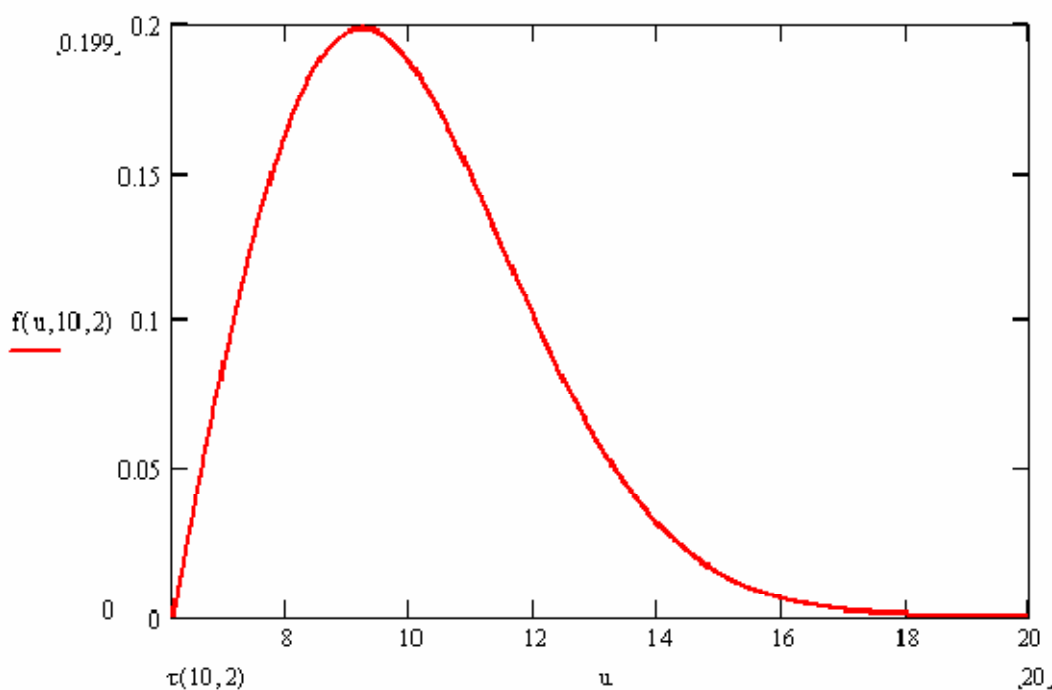
- Informations générales

Domaine de validité	$\tau \leq X \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$\alpha > 0$
Moyenne	$m_X = \tau + \alpha \sqrt{\frac{\pi}{2}}$
Ecart-Type	$\sigma_X = \alpha \sqrt{2 - \frac{\pi}{2}}$
Paramètres internes de la loi	$\begin{cases} \alpha = \frac{\sigma_x}{\sqrt{2 - \frac{\pi}{2}}} \\ \tau = m_x - \alpha \sqrt{\frac{\pi}{2}} \end{cases}$

Données d'entrées

Données d'entrées			
Jeu de paramètres	Paramètres	restrictions	
Moy, Ecart Type	Moyenne Ecart-Type	m_x σ_y	> 0
Alpha, Lim Inf.	Alpha Limite inferieure	α τ	> 0
Moy ,Lim Inf	Moyenne Limité inférieure	m_x τ	$> \tau$

Représentation graphique



Densités de Rayleigh R (10,2)

A.1.6 Loi de Laplace

Fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \frac{1}{2\theta} \exp\left(-\frac{|x-\tau|}{\theta}\right) \quad \text{A. 11}$$

Fonction de répartition

$$F(X) = \begin{cases} \frac{1}{2} \exp\left(\frac{x-\tau}{\theta}\right) & \text{pour } x \leq \tau \\ 1 - \frac{1}{2} \exp\left(\frac{x-\tau}{\theta}\right) & \text{pour } \tau \leq x \end{cases} \quad \text{A. 12}$$

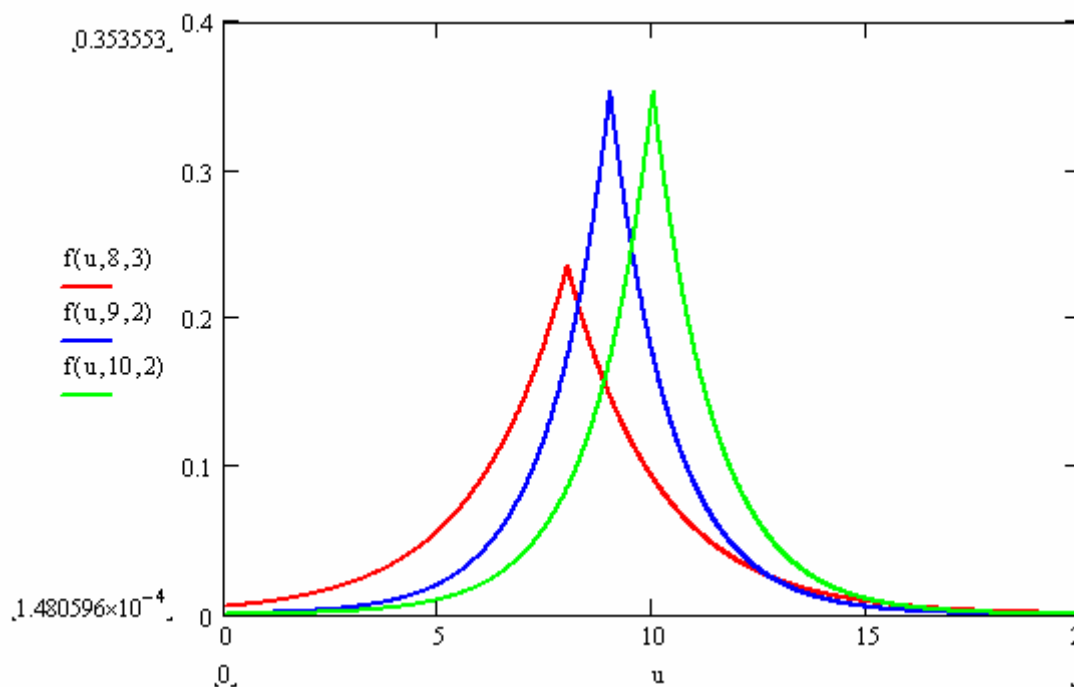
■ Informations générales

Domaine de validité	$-\infty \leq x \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$\theta \geq 0$
Moyenne	$m_y = \tau$
Ecart –Type	$\sigma_x = \sqrt{2\theta}$
Paramètres internes de la loi	$\tau = m_x$ $\theta = \frac{\sigma_x}{\sqrt{2}}$

■ Données d'entrées

Données d'entrées			
Jeu de paramètres	Paramètres	Restrictions	
Moy, Ecart Type	Moyenne	m_x	> 0
	Ecart Type	σ_y	
Moy, Téta	Moyenne	m_x	
	Téta	θ	> 0

■ Représentation graphique



Densité de Laplace : C (8,3), C (9,2) et C (10,1).

A.1.7 Loi- Gamma

- Fonction de densité de probabilité

$$f(X) = \frac{1}{\Gamma(K)} \lambda (\lambda(X - \tau))^{K-1} \exp(-\lambda(X - \tau)) \quad \text{A. 13}$$

- Fonction de répartition

$$F(X) = \int_0^X f(U) dU \quad \text{A. 14}$$

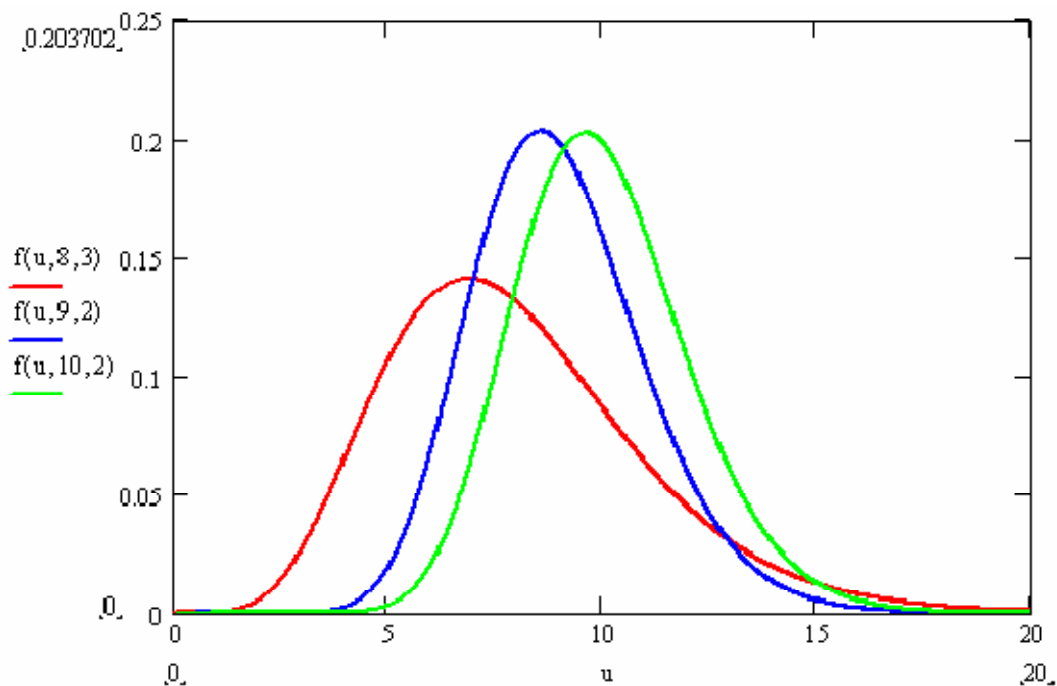
- Informations générales

Domaine de validité	$0 \leq X \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$\lambda > 0$ $K > 0$
Moyenne	$m_x = \frac{\kappa}{\lambda} + \tau$
Ecart-Type	$\sigma_x = \frac{\sqrt{\kappa}}{\lambda}$
Paramètres-internes de la loi	$K = \left(\frac{m_x - \tau}{\sigma}\right)^2$ $\lambda = \frac{\kappa}{m_x - \tau} = \frac{m_x - \tau}{\sigma^2}$

- Données d'entrées

Données d'entrées			
Jeu de paramètres	Paramètres	Restrictions	
Moy ,Ecart Type ,Lim Inf	moyenne Ecart-type Limite inférieure	m_x σ_y τ	$> \tau$ > 0
Moy, Coeff variation, Lim Inf.	moyenne coefficient de variation Limite inferieure	m_x $\frac{\sigma_x}{ m_x }$ τ	> 0
κ , Lambda, Lim Inf.	κ Lambda Limité inférieure	κ λ τ	> 0

- Représentation graphique



Densités Gamma : G(8,3), G(9,2) et G(10,1)

A.1.8 Loi de Beta

- Fonction de densité de probabilité

$$f(X) = \frac{\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^{r-1} \left(1 - \frac{x-a}{b-a}\right)^{t-1}}{\beta(r,t) \times (b-a)} \quad \text{A. 15}$$

- Fonction de répartition

$$F(X) = \int_a^x f(U) dU \quad \text{A. 16}$$

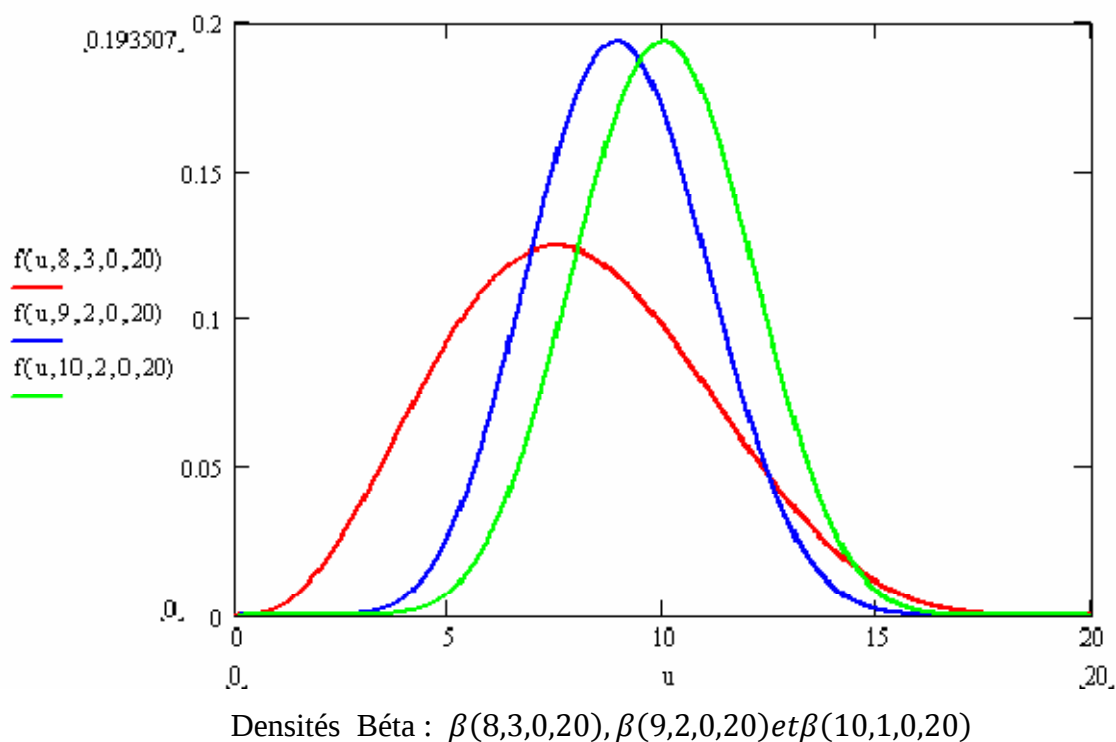
- Informations générales

Domaines de validité	$a \leq X \leq b$
Restriction sur les paramètres	$a < b$ $r > 0$ $t > 0$
moyenne	$m_x = a + (b-a) \frac{r}{r+t}$
Ecart type	$\sigma_x = (b-a) \sqrt{\frac{rt}{(r+t)^2(r+t+1)}}$
Paramètres internes de la loi	$\begin{cases} v = \frac{m_x - a}{b - a} \\ t = v - 1 + v \left(\frac{(1-v)(b-a)}{\sigma_x} \right) \\ r = \frac{t-v}{1-v} \end{cases}$

■ Données d'entrées

Données d'entrées			
Jeu de paramètres	Paramètres	Restrictions	
Moy, Ecart Type, Lim	moyenne	m_x	> 0
	Ecart type	σ_x	$< m_x$
	limité inférieure	a	$> m_x$
	limité supérieure	b	
Moy, Coef variation, Lim	moyenne	m_x	$\neq 0$
	Coefficient de variation	$\frac{\sigma_x}{ m_x }$	> 0
	limite inférieure	a	$< m_x$
	Limite supérieure	b	$> m_x$
R, T, Lim	R	r	> 0
	T	t	> 0
	limité inférieure	a	
	limité supérieure	b	$> a$
A, mode, B	limite inférieure	a	$< \mu$
	Mode	μ	$m_x = \frac{a+4\mu+b}{6}$
	limité supérieures	b	$\sigma_x = \frac{b-a}{6}$
			$> \mu$

■ Représentation graphique



A.1.9 Loi de Gumbel (E_1 – Max , type I)

- Fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \alpha \times \exp \left[-a(x - \tau) - \exp[-a(x - \tau)] \right] \quad \text{A. 17}$$

- Fonction de répartition

$$F(X) = \exp[-\exp[-\alpha(x - \tau)]] \quad \text{A. 18}$$

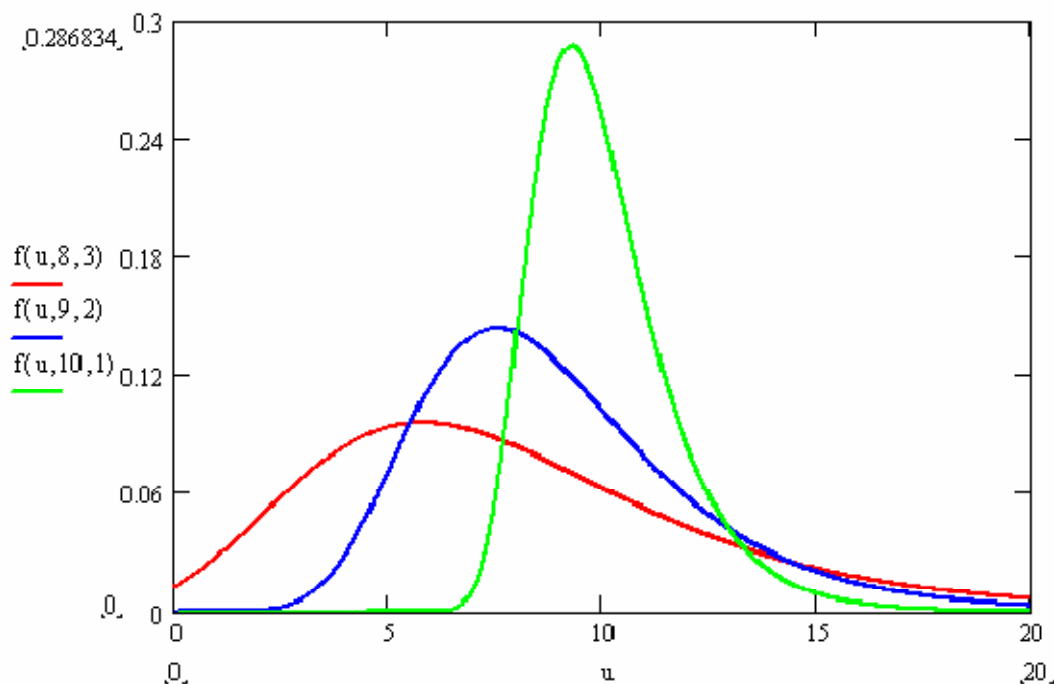
- Informations générales

Domaine de validité	$-\infty \leq x \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$\alpha > 0$
Moyenne	$m_x = \tau + \frac{c}{\alpha}$
Ecart –type	$\sigma_x = \frac{\pi}{\alpha\sqrt{6}}$
Paramètres internes de la loi	$\alpha = \frac{\pi}{\sigma_x\sqrt{6}}$ $\tau = m_x - \frac{c}{\alpha}$

- Données d'entrées

Données d'entrées			
Jeu de paramètres	Paramètres		Restrictions
Moy, Ecart-type	Moyenne	m_x	> 0
	Ecart-Type	σ_x	
Moy, Coefficient de variation	moyenne	m_x	$\neq 0$ > 0
	Coefficient de variation	$\frac{\sigma_x}{m_x}$	
Alpha, Tau	α	$\propto$	
	τ	τ	

▪ Représentation graphique



Densités de Gumbel E1- max : $G_1(8,3)$, $G_1(9,2)$ et $G_1(10,1)$.

A.1.10 Loi de Frechet ($E_2 - Max$, Type11)

▪ Fonction de densité de probabilité

$$f(X) = \frac{k}{v-a} \left(\frac{v-a}{x-a} \right)^{k+1} \exp\left[-\left(\frac{v-a}{x-a}\right)^k\right] \quad \text{A. 19}$$

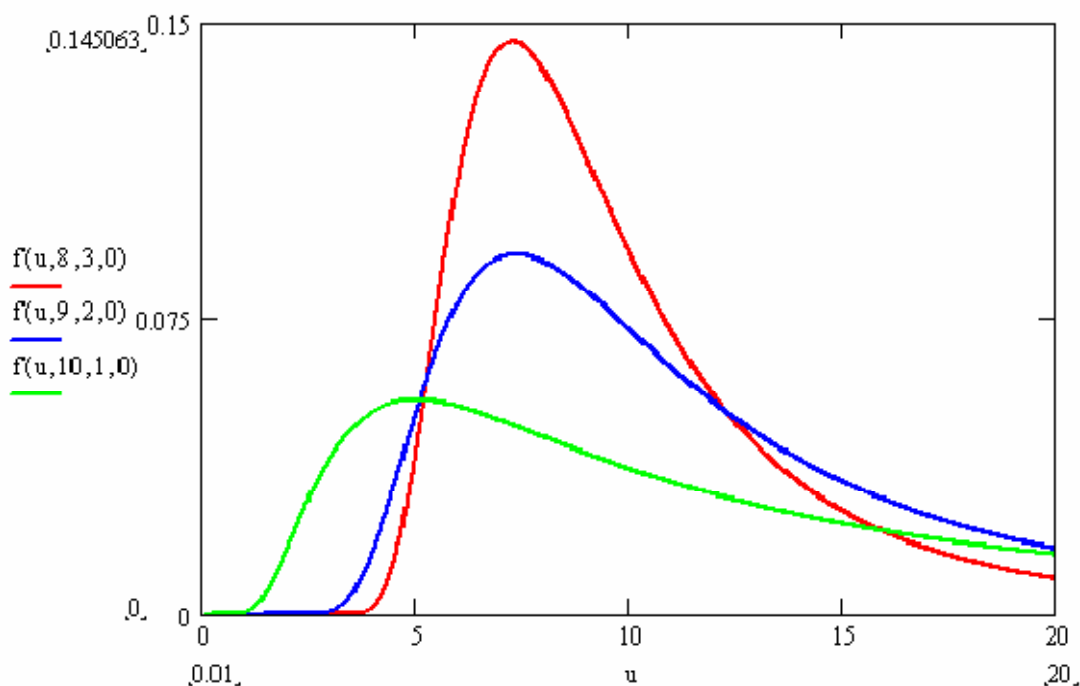
▪ Fonction de répartition

$$F(x) = \exp\left[-\left(\frac{v-a}{x-a}\right)^k\right] \quad \text{A. 20}$$

▪ Informations générales

Domaine de validité	$a \leq x \leq +\infty$
Restriction sur des paramètres	$\begin{cases} v > 0 \\ k > 0 \end{cases}$
Moyenne	$m_x = a + (v-a) \times \Gamma\left(1 - \frac{1}{k}\right)$
Ecart -Type	$\sigma_x = (v-a) \sqrt{\Gamma\left(1 - \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 - \frac{1}{k}\right)}$
Paramètres à entrer	$\begin{cases} \text{décalage } v \\ \text{puissance } k \\ \text{borne inférieure } a \end{cases}$
-paramètres internes de la loi	v, k, a

■ Représentation graphique



Densités de Frechet E2- max : $F_1(8,3,0)$, $F_1(9,32,0)$ et $F_1(10,1,0)$

A.1.11 Loi de weibull (E_3 – Max, Type III)

■ Fonction de densité de probabilité

$$f(X) = \frac{k}{v-a} \left[\left(\frac{x-a}{v-a} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{x-a}{v-a} \right)^k \right] \right] \quad \text{A. 21}$$

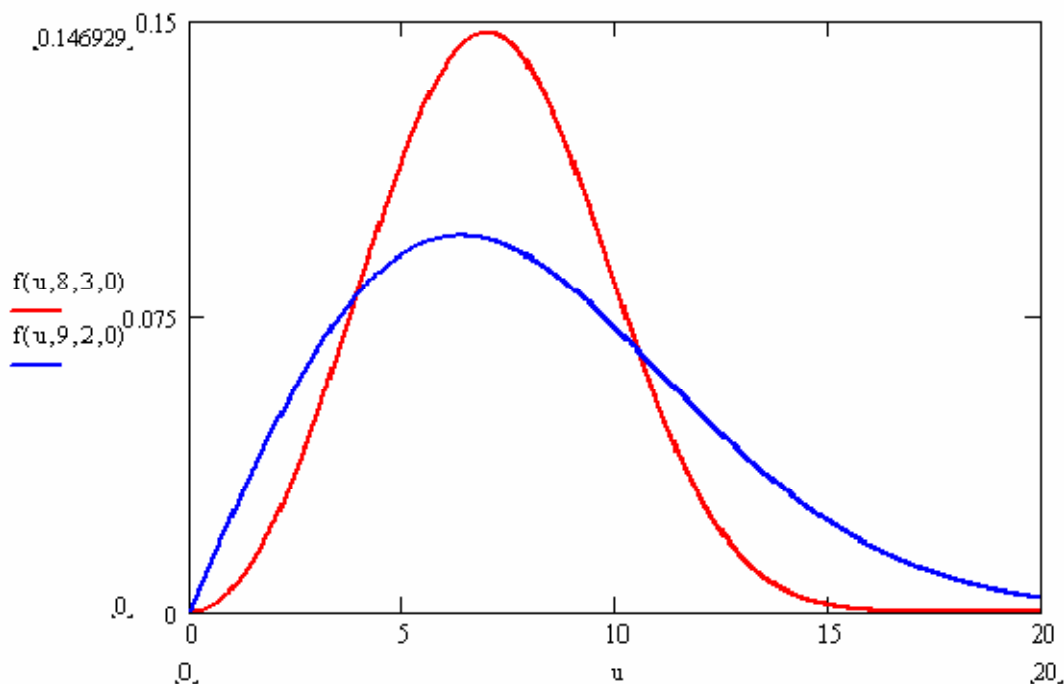
■ Fonction de répartition

$$F(X) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x-a}{v-a} \right)^k \right] \quad \text{A. 22}$$

■ Informations générales

Domaine de validité	$a \leq x \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$v > a$ $k > 0$
Moyenne	$m_x = a - (v-a) \tau \left(1 - \frac{1}{k} \right)$
Ecart –Type	$\sigma_x = (v-a) \sqrt{\Gamma \left(1 + \frac{2}{k} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{k} \right)}$
paramètre à entrer	Décalage v Puissance κ Borne inférieure a
Paramètres internes de la loi	v, k, a

■ Représentation graphique



Densité de weibull E_3 –max : $w_1(8, 3, 0)$, $w_1(9, 2, 0)$

A.1.12 Loi de Gumbel (E_1 –min, type)

■ Fonction de densité de probabilité

$$f(X) = \alpha \exp[\alpha(x - \tau)] \exp[-(\alpha(x - \tau))] \quad \text{A. 23}$$

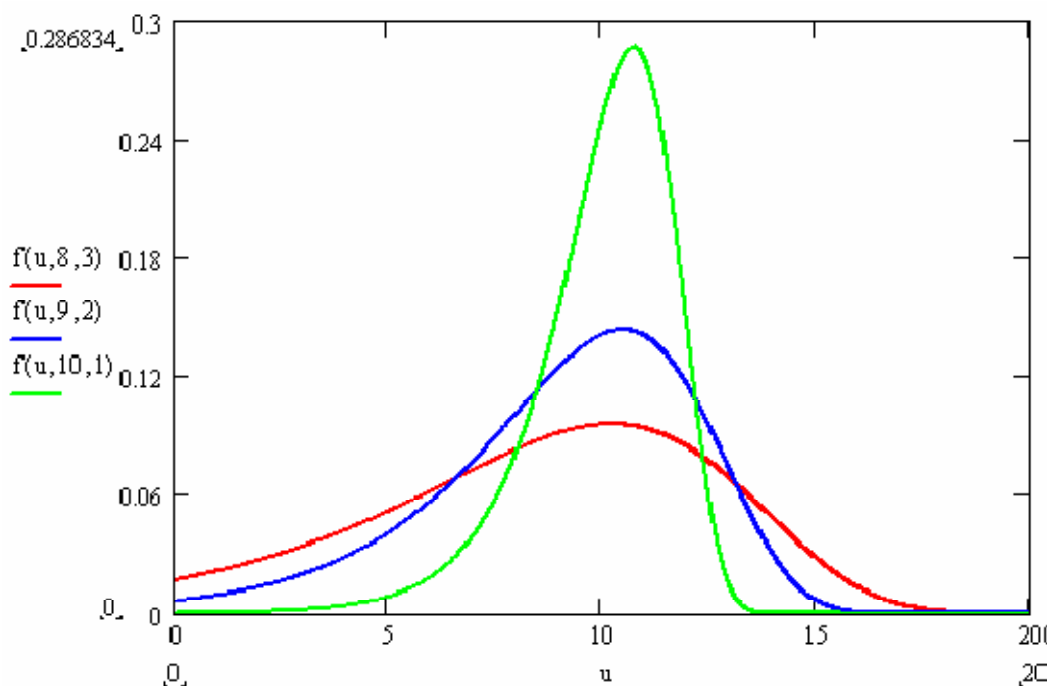
■ Fonction de répartition

$$F(X) = 1 - [-\exp[-\alpha(x - \tau)]] \quad \text{A. 24}$$

■ Informations générales

Domaine de validité	$-\infty \leq x \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$\alpha > 0$
Moyenne	$m_x = \tau - \frac{c}{\alpha}$
Ecart –Type	$\sigma_x = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}}$
Paramètres à entre	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Moyenne } m_x \\ \text{Ecart type } \sigma_y \end{array} \right.$
Paramètres internes de la loi	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}} \\ \tau = m_x + \frac{c}{\alpha} \end{array} \right.$

■ Représentation graphique



Densité de Gumbel $E_1 - \min$: $G_2(8,3)$, $G_2(9,2)$ et $G_2(10,1)$,

A.1.13 Loi de Frehet ($E_2 - \text{Min type II}$)

■ Fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \frac{\kappa}{b-v} \left(\frac{b-v}{b-x} \right)^{k+1} \exp \left[- \left(\frac{b-v}{b-x} \right)^k \right] \quad \text{A. 25}$$

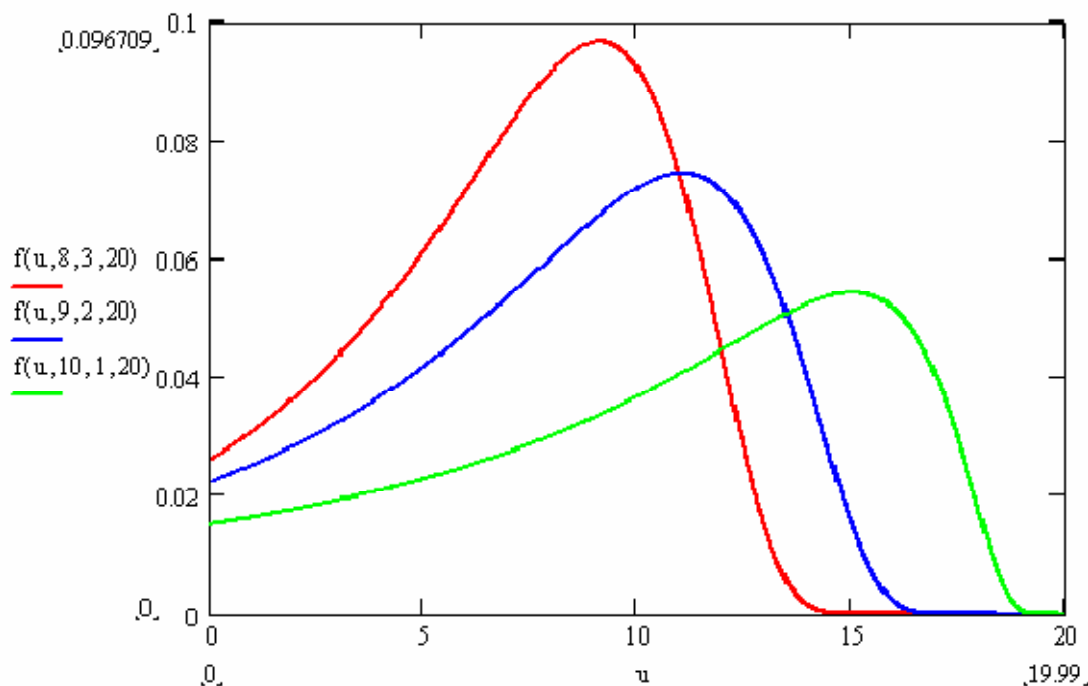
■ Fonction de répartition

$$F(X) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{b-v}{b-x} \right)^k \right] \quad \text{A. 26}$$

■ Informations générales

Domaine de validité	$-\infty \leq x \leq b$
Restriction sur les paramètres	$b > v$ $k > 0$
Moyenne	$m_x = b - (b-v) \times \Gamma\left(1 - \frac{1}{k}\right)$
Ecart-Type	$\sigma_x = (b-v) \sqrt{\tau\left(1 - \frac{2}{k}\right) - \tau^2\left(1 - \frac{1}{k}\right)}$
Paramètre à entrer	$\left\{ \begin{array}{l} \text{décalage } v \\ \text{puissance } k \\ \text{borne supérieure } b \end{array} \right.$
Paramètres internes de la loi	v, k, b

- Représentation graphique



Densité de Frechet $E_2 - \min : F_2(8,3,20), F_2(9,2,20), F_2(10,1,20)$

A.1.14 Loi de weibull ($E_3 - \min$, Type III)

- Fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \frac{k}{b-v} \left(\frac{b-x}{b-v} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{b-x}{b-v} \right)^k \right] \quad \text{A. 27}$$

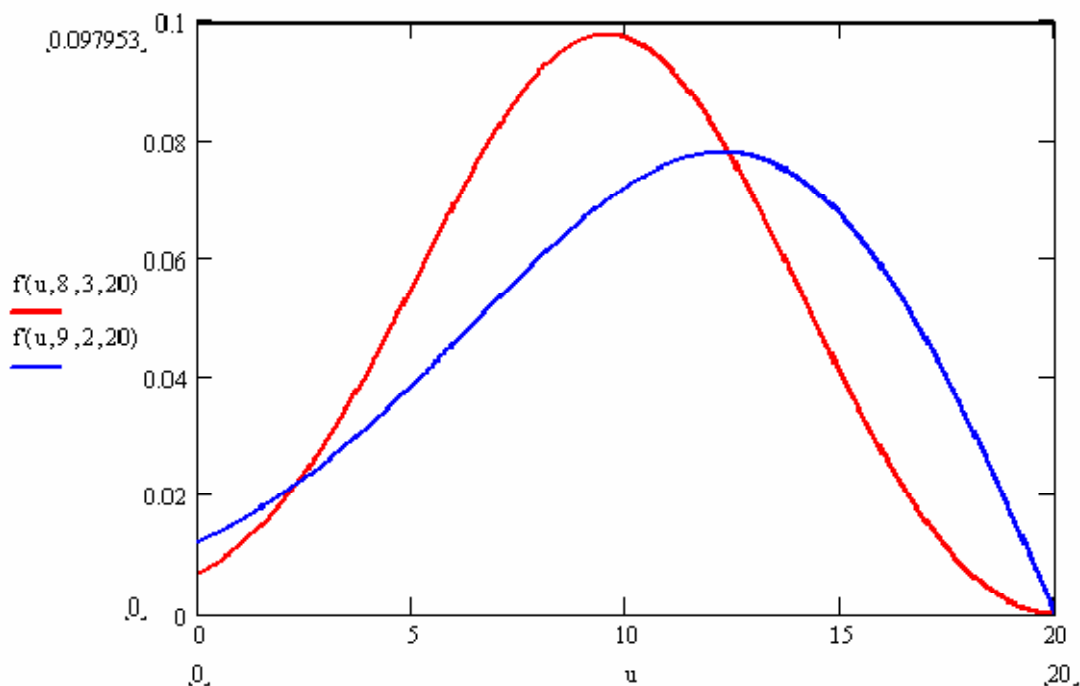
- Fonction de répartition

$$F(X) = \exp \left[- \left(\frac{b-x}{b-v} \right)^k \right] \quad \text{A. 28}$$

- Informations générales

Domaine de validité	$-\infty \leq x \leq b$
Restriction sur les paramètres	$b > v$ $k > 0$
Moyenne	$m_x = b - (b-v) \times \tau(1+1/k)$
Ecart-Type	$\sigma_x = (b-v) \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)}$
Paramètres à entres	$\left\{ \begin{array}{l} \text{décalage } v \\ \text{puissance } k \\ \text{borne supérieure } b \end{array} \right.$
Paramètres internes de la loi	v, κ, b

- Représentation graphique



Densités de weibullt E3- min : $W2(8,3,20), W2(9,2,20)$

A.1.15 Loi Semi-Normale

- Fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \frac{2}{\sigma} \varphi\left(\frac{x-a}{\sigma}\right) \quad \text{A. 29}$$

- Fonction de répartition

$$F(x) = 2\Phi\left(\frac{x-a}{\sigma}\right) - 1 \quad \text{A. 30}$$

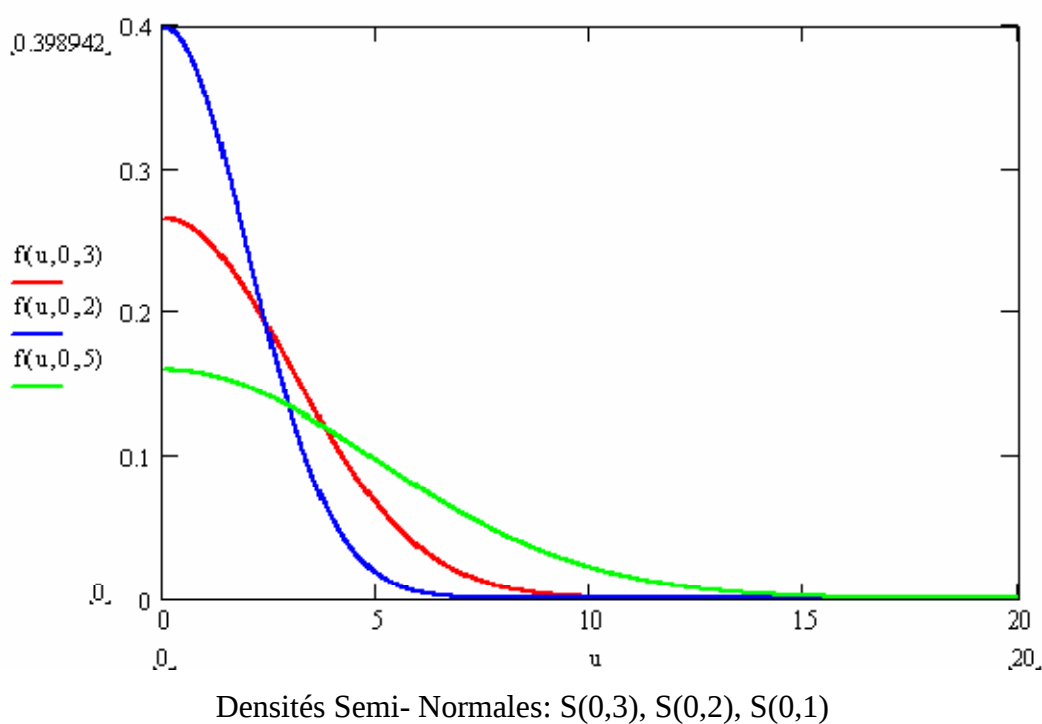
- Informations générales

Domaine de validité	$0 \leq x \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$\sigma_y > 0$
Moyenne	$m_x = a + \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma$
Ecart-Type	$\sigma_x = \sqrt{1 - \frac{2}{\pi}} \sigma$
Paramètres internes de la loi	$\begin{cases} a = m_x - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma_y \\ \sigma = \frac{\sigma_y}{\sqrt{1 - \frac{2}{\pi}}} \end{cases}$

- Données d'entrées

Données d'entrées			
Jeu de paramètres	Paramètres		Restrictions
Moy, Ecart-Type	Moyenne	m_x	> 0
	Ecart Type	σ_x	
Moy, Lim Inf	Moyenne	m_x	
	Limite Inférieure	a	
Ecart Type, Lim Inf	Ecart Type	σ_x	> 0
	Limite Inférieure	a	

- Représentation graphique



A.1.16 Loi de Pareto

- Fonction de densité de probabilité

$$f(x) = \kappa \frac{ak}{x^{k+1}} \quad \text{A. 31}$$

- Fonction de répartition :

$$F(x) = 1 - \left(\frac{a}{x}\right)^k \quad \text{A. 32}$$

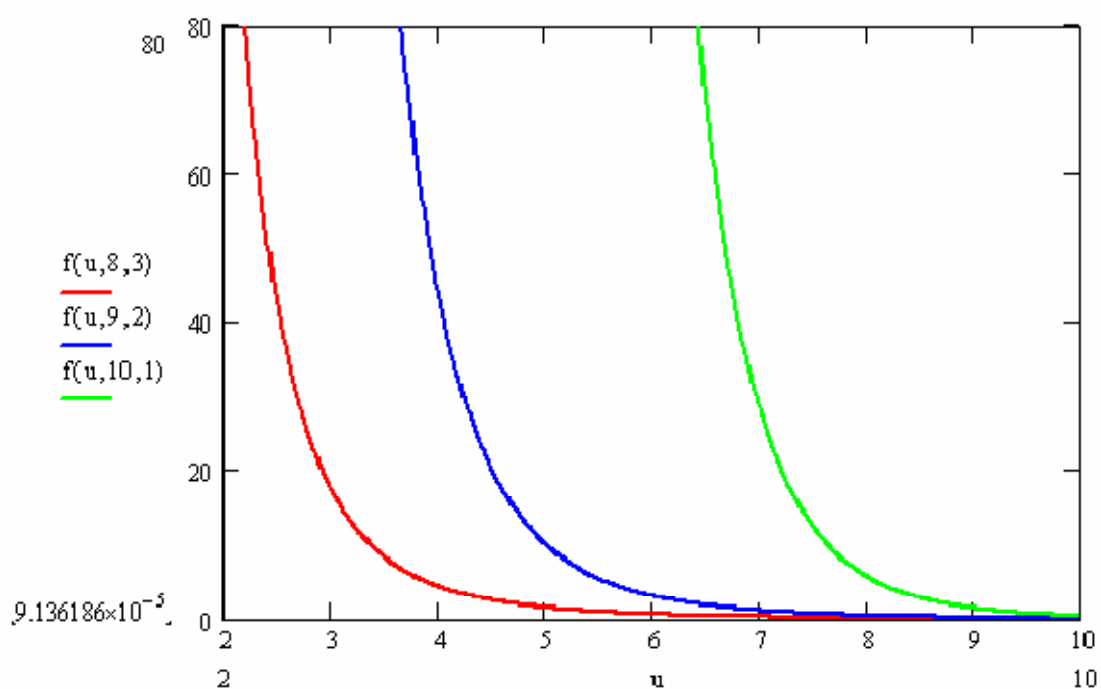
■ Informations générales

Domaine de validité	$0 \leq x \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$a > 0$ $K > 0$
Moyenne	$m_x = \frac{k \times a}{k - 1}$
Ecart Type	$\sigma_x = \frac{a}{k - 1} \sqrt{\frac{k}{k - 2}}$
Paramètres internes de la loi	$\begin{cases} \kappa = 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{m_x}{\sigma_x}\right)^2} \\ a = m_k \frac{K-1}{K} \end{cases}$

■ Données d'entrées

Données d'entrées			
Jeu de paramètres	Paramètres		Restrictions
Moy-Ecart Type	Moyenne	m_x	> 0
	Ecart Type	σ_x	
K, lim Inf.	K	K	> 0
	Limite Inferieure	a	> 0

■ Représentation graphique



Densités de Pareto : p(8,3) , p(9,2)et p(10,1)

A.1.17 La loi de Neville

- Fonction de densité de probabilité

$$f(X) = \frac{k}{a} \left[\frac{\rho(x)^{k-1}}{(1+\rho(x)^k)^2} \right] \quad \text{A. 33}$$

$$\rho(X) = \frac{x-v}{a} \quad \text{A. 34}$$

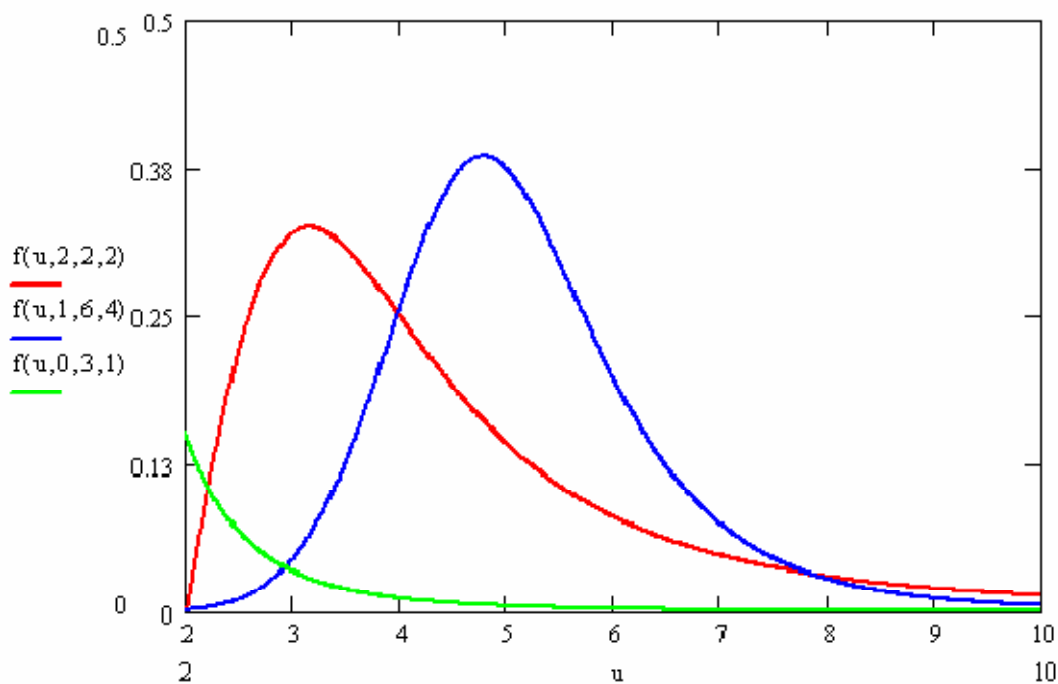
- Fonction de répartition

$$F(X) = 1 - \frac{1}{1+\rho(X)^k} \quad \text{A. 35}$$

- Informations générales

Domaine de validité	$v \leq x \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$\begin{cases} v > 0 \\ k > 0 \end{cases}$
Moyenne	numérique pour $k > 1$
Ecart –Type	numérique pour $k > 2$
Paramètres à entrer	$\begin{cases} \text{Décalage } v \\ \text{Puissance } k \\ \text{Pseudo .dispersion } a \end{cases}$
Paramètres internes de la loi	v, k, a

- Représentation graphique :



Densité de Neville : $N_e(2,2,2)$, $N_e(1,6,4)$ et $N_e(0,3,1)$.

A.1.18 Loi de Birnbaum / Saunders

- Fonction de densité de probabilité

$$f(X) = \frac{\beta^2(1+\frac{x}{\beta})}{2\alpha x^2} \varphi\left[\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\frac{1}{2}}\right]\right] \quad \text{A. 35}$$

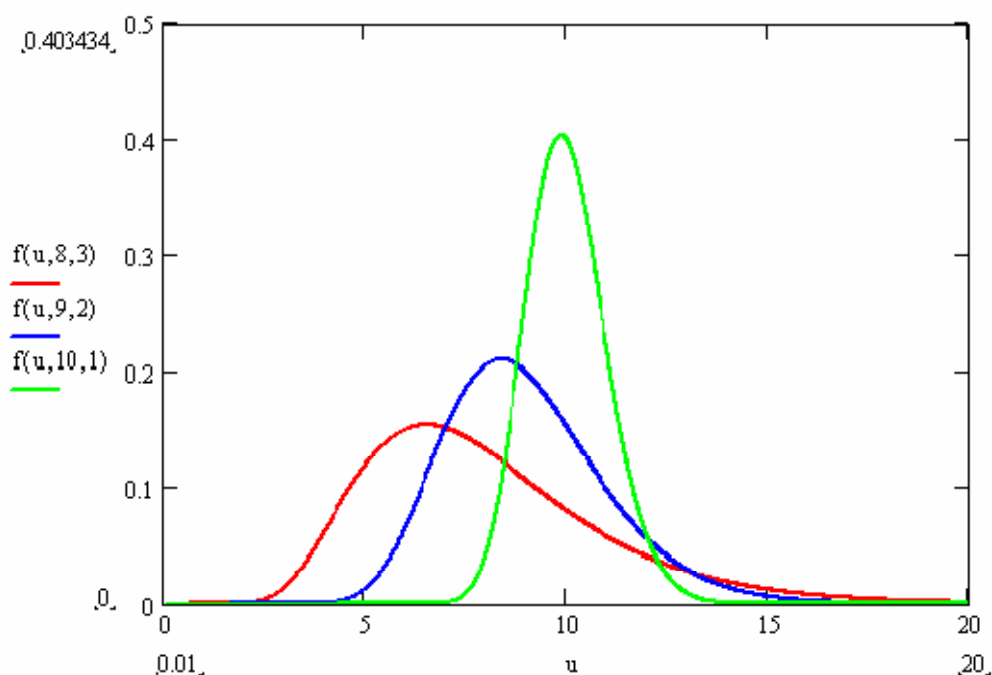
- Fonction de réparation

$$F(x) = \Phi\left(\frac{1}{\alpha}\left[\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\frac{1}{2}}\right]\right) \quad \text{A. 36}$$

- Informations générales

Domaine de validité	$0 \leq x \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$\alpha > 0$ $\beta > 0$
Moyenne	$m_x = \beta(1 + \frac{\alpha^2}{2})$
Ecart -Type	$\sigma_x = \alpha\beta \sqrt{1 + \frac{5}{4}\alpha^2}$
Paramètres à entres	$\left\{ \begin{array}{l} \text{moyenne } m_x \\ \text{Ecart- Type } \sigma_x \end{array} \right.$
Paramètres internes de la loi	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \sqrt{2 \frac{[-(m_x^2 - \sigma_x^2) + \sqrt{m_x^4 + 3m_x^2\sigma_x^2}]}{5m_x^2 - \sigma_x^2}} \\ \beta = \frac{m_x}{1 + \frac{\alpha^2}{2}} \end{array} \right.$

- Représentation graphique



Densités de Birnbaum/ Saunders : $B_i(8,3)$, $B_i(9,2)$ et $B_i(10,1)$.

A.1.19 Loi logistique

- Fonction de densité de probabilité

$$f(X) = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{3}} \times \frac{\left[\frac{-\pi}{\sigma\sqrt{3}}(x-m_x)\right]}{(1+\exp\left[\frac{-\pi}{\sigma\sqrt{3}}(x-m_x)\right])^2} \quad \text{A. 37}$$

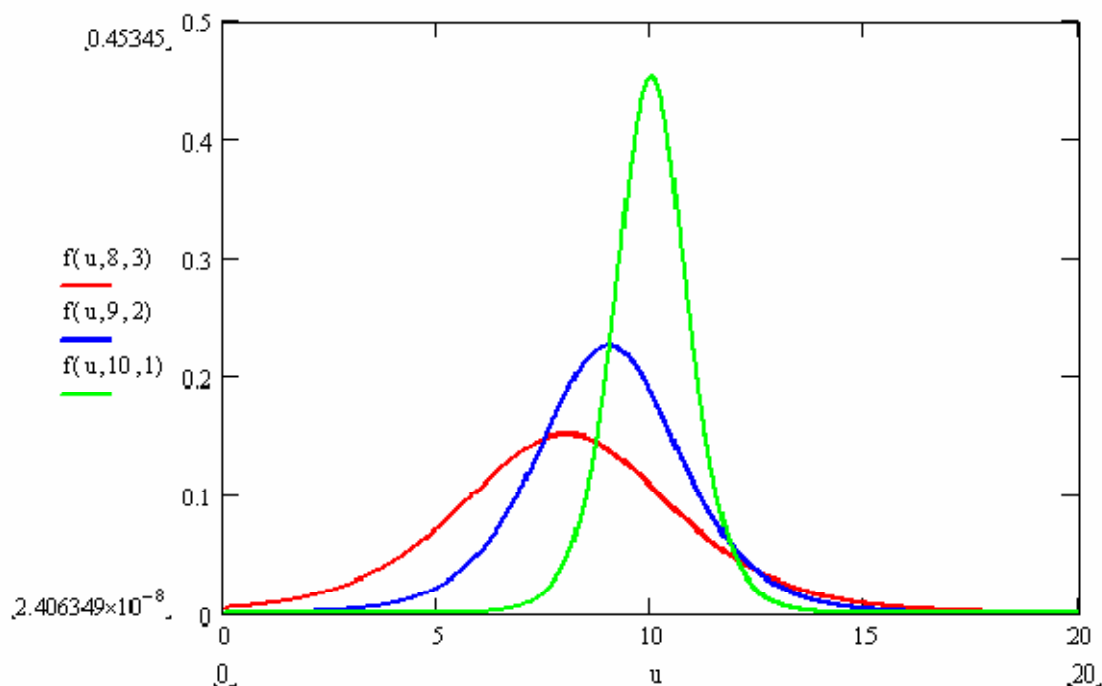
- Fonction de répartition

$$F(X) = \frac{1}{1+\exp\left[\frac{-\pi}{\sigma\sqrt{3}}(x-m_x)\right]} \quad \text{A. 38}$$

- Informations générales

Domaine de validité	$-\infty \leq x \leq +\infty$
Restriction sur les paramètres	$\sigma > 0$
Moyenne	m_x
Ecart Type	σ_x
Paramètres à entrer	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Moyenne } m_x \\ \text{Ecart type } \sigma_x \end{array} \right.$
Paramètres internes de la loi	$m_x . \sigma_x$

- Représentation graphique



Densités logistique : LO (8,3),LO(9,2) et LO(10,1)

ANNEXE B

B.1 PRE DIMENSIONNEMENT

B.1.1 La force sismique d'après [17]

$$V = (A_1 \times D_1 \times Q) / R \times W$$

$$Q = 1 + \sum_1^6 p_q = 1.2$$

$$T = c_T h_N^{\frac{3}{4}} = 0.085(4)^{\frac{3}{4}} = 0.085(4)^{\frac{3}{4}} = 0.24s$$

$$C_T = 0.085 \text{ (portique autostables en acier sans remplissage)}$$

$$R = 4 \text{ (portique autostables ordinaires)}$$

$$D_1 = 2.5\eta = 2.5 \times 1$$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}} \geq 0.7\xi = 5\%$$

- Coefficient d'accélération de la zone A_1

A_1	Zone01	Zone 02	Zone 03
B_1	0.10	0.20	0.30
2	0.08	0.15	0.25
$\frac{B_1 + 2}{2}$	0.09	0.175	0.275

$$D_1 = \begin{cases} -2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ -2.5\left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0 S \\ -2.5\eta\left(\frac{T_2}{3.0}\right)^{\frac{2}{3}}\left(\frac{3.00}{T}\right)^{\frac{5}{4}} & T \geq 3 S \end{cases}$$

$$T \leq T_2 \text{ (site1, site2, site3, site 4)}$$

$$D_1 = 2.5$$

B.1.2 Le choix des dimensions

Choisissons un profilé HEA 450 (poutre) et HEA 500 (poteau)

$$W = (240 + 11.2 + 12.4) + 0.2(40)$$

$$W = 271.6 \text{ kN}$$

$$\text{La force de la charge horizontale } V_1 = \frac{0.09 \times 2.5 \times 1.2}{4} \times 271.6 = 18.33 \text{ KN}$$

Rotation pente rapport

$$\phi = 0.5[1 + \alpha_1(\lambda - 0.2) + \lambda^2]$$

$$\phi = 0.5[1 + 0.21(0.411 - 0.2) + 0.411^2]$$

$$\phi = 0.606$$

Coefficient de réduction

$$X_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \quad X_y = \frac{1}{0.606 + \sqrt{0.606^2 - 0.411^2}} = 0.951$$

B.2.1.2.2. Suivant l'axe X X

$$\lambda_x = \frac{l}{i_x} = \frac{4000}{210} = 19.04$$

$$\lambda_l = 93.9 \varepsilon \quad \lambda_l = 93.9$$

$$\lambda_x = \frac{19.04}{93.9} = 0.202$$

$$h/b = 490/300 \geq 1.2$$

$$t_f = 23 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$$

Axe de flambement xx Courbe b :

$$\alpha_1 = 0.34 \quad \lambda_x = 0.204$$

Rotation pente rapport :

$$\phi = 0.5 [1 + \alpha_1(\lambda - 0.2) + \lambda^2]$$

$$\phi = 0.5 [1 + 0.34(0.202 - 0.2) + 0.202^2]$$

$$\phi = 0.520$$

Coefficient de réduction

$$= \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0.520 + \sqrt{0.520^2 - 0.202^2}} = 1$$

$$X_{min} = \min (0.951, 1)$$

$$X_{min} = 0.951$$

Coefficient de frottement

$$\mu_y = \lambda_y(2\beta_{My} - 4) + \frac{w_{ply} - w_{el}}{w_{el}}$$

Le facteur de moment uniforme équivalent

$$\beta_{My} = 1.8 - 0.7\psi$$

$$= 1.8 - 0.7(-0.387)$$

$$= 2.07$$

Rapport de contrant

$$\psi = \frac{95.50}{246.61} = -0.387$$

$$\mu_y = 0.411(2 \times 2.07 - 4) + \frac{1970 \times 2 - 3550}{3550}$$

$$\mu_y = 0.167$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{sd}}{X_y A F_y}$$

$$k_y = 1 - \frac{0.167 \times 226.47 \times 10^3}{0.951 \times 197.5 \times 10^2 \times 235}$$

$$k_y = 0.951$$

B.2.1.3 La vérification de la stabilité du poteau comprimé

$$\frac{\frac{N_{sd}}{\chi A f_y}}{\gamma_{M1}} + \frac{\frac{k_y M_{sd}}{w_{ply} f_y}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{226.47 \times 10^3}{0.951 \times 197.5 \times 10^2 \times 235}}{1.1} + \frac{\frac{0.991 \times 246.61 \times 10^6}{235 \times 2 \times 1970 \times 10^3}}{1.1} \leq 1$$

$$0.320 \leq 1$$

B.2. 1.4 Poutre

B.2.1.4.1. La vérification au cisaillement

$$V_s \leq 0.5 V_p$$

$$V_{PRD} = \frac{A_W}{\gamma_{M0}} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)$$

$$A_W = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

$$A_W = 17800 - 2 \times 300 \times 21 + (11.5 + 2 \times 27)21$$

$$A_W = 65.75 \text{ cm}^2$$

$$V_{PLRD} = \frac{6575.5}{1.1} \times \frac{235}{\sqrt{3}}$$

$$V_{PLRD} = 811.04 \text{ kn}$$

$$V_{Sd} = 226.47 \text{ kn}$$

Le moment fléchissant

$$M_{sd} \leq M_{PLRd}$$

$$M_{PLRd} = w_{pl} f_y / \gamma_{M0}$$

$$= \frac{1610 \times 235 \times 2}{1.1} = 687.90 \text{ KN.m}$$

$$206.34 \text{ kn .m} \leq 687.90 \text{ kn.m}$$

B.2.1.4.2 La vérification au déversement

Le moment ultime de déversement est alors donné par l'expression suivant :

$$M_{brd} = \frac{\chi_{LT} \beta_W W_{PLY} f_Y}{\gamma_{M1}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + [\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2]^{0.5}} \quad \text{Mais } \chi_{LT} \leq 1 \quad \alpha_{LT} = 0.21 \quad \lambda_{LT} = \left[\frac{\beta_W W_{PLY} f_Y}{M_{cr}} \right]^{0.5}$$

Le moment critique élastique ultime de déversement pour une poutre à section transversales constant et doublement symétrique chargée uniformément en son centre de cisaillement est donné par la relation :

$$c_2 = 0, \quad M_{cr} = \frac{c_1 \pi^2 E I_y}{(KL)^2} \left[\left(\frac{K}{K_W} \right)^2 \frac{I_W}{I_y} + \frac{(KL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_y} \right]^{0.5} \quad K = K_W = 1$$

$$M_{cr} = \frac{c_1 \pi^2 E I_y}{(L)^2} \left[\frac{I_W}{I_z} + \frac{(L)^2 G I_t}{\pi^2 E y} \right]^{0.5}$$

$$c_1 = 1.132, \quad G = 80800 \text{ N/mm}^2 \quad E = 210000 \text{ N/mm}^2 \quad \beta_w = 1 \quad I_y = 9465 \text{ cm}^4$$

$$I_W = \frac{I_y h_s^2}{4} \quad h_s = h - t_f = 440 - 21 = 419 \text{ mm} \quad h_s = 41.9 \text{ cm}$$

$$I_W = \frac{9465 \times 41.9^2}{4} = 4154212.16 \text{ cm}^6, \quad I_t = 257 \text{ cm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{1.132 \times 3.14^2 \times 210000 \times 9465 \times 10^4}{(8000)^2} \left[\frac{4154212.16 \times 10^6}{9465 \times 10^4} + \frac{(8000)^2 80800 \times 257 \times 10^4}{3.14^2 \times 210000 \times 9465 \times 10^4} \right]^{0.5}$$

$$M_{cr} = 73216.75 \text{ knm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{2 \times 1610 \times 235 \times 10^6 \times 10^{-6} \times 10^{-3}}{73216.72}}$$

$$\lambda_{LT} = 0.101$$

$$\phi_{LT} = 0.5 [1 + 0.21 \times (0.101 - 0.2) + 0.101^2]$$

$$\phi_{IT} = 0.494$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + [\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2]^{0.5}} \quad \chi_{LT} = \frac{1}{0.494 + [0.494^2 - 0.101^2]^{0.5}}$$

$$\chi_{LT} = 1.02$$

$$M_{brd} = \frac{1.02 \times 2 \times 1610 \times 10^3 \times 235 \times 10^{-3} \times 10^{-3}}{1.1}$$

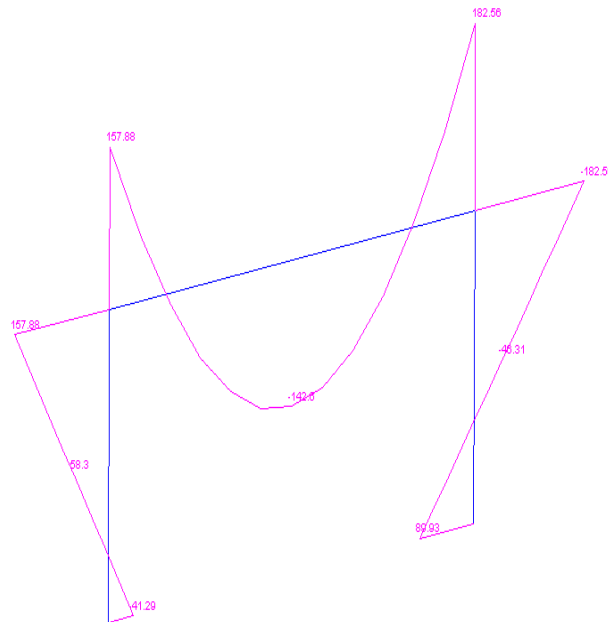
$$M_{brd} = 703.04 \text{ knm}$$

$$206.34 \text{ kn.m} \leq 703.04 \text{ kn.m}$$

B.3.1 La combinaison G+Q+E pour la zone 1

$$V_1 = \frac{0.09 \times 1.2 \times 2.5}{4} \times 271.6 = 18.33 \text{ KN}$$

B.3.1.1 Le diagramme du moment fléchissant



B.3.1.2 Vérification de la stabilité du poteau

B.3.1.2.1 La vérification de la stabilité du poteau 01

μ : coefficient de frottement

$$B_{MY} = 1.8 - 0.7\psi$$

$$\psi = \frac{41.29}{157.88} = -0.261$$

$$B_{MY} = 1.8 - 0.7(-0.261)$$

$$= 1.983$$

$$\mu_y = 0.411 (2 \times 1.983 - 4) + \frac{1970 \times 2 - 3550}{3550}$$

$$\mu_y = 0.095$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{sd}}{X_y A F_Y}$$

$$k_{y1} = 1 - \frac{0.095 \times 153.32 \times 10^3}{0.951 \times 197.5 \times 10^2 \times 235}$$

$$k_{y1} = 0.996$$

B.3.1.2. 1.1 Vérification de la stabilité du poteau comprimé

$$\frac{\frac{N_{sd}}{\chi A f_y}}{\gamma_M} + \frac{\frac{k_{y1} M_{sd}}{W_{PLy} f_y}}{\gamma_M} \leq 1$$

$$\frac{\frac{153.3210^3}{0.949 \times 235 \times 197.5 \times 10^2}}{1.1} + \frac{\frac{0.996 \times 157.88 \times 10^6}{235 \times 2 \times 1970 \times 10^3}}{1.1} \leq 1$$

$$0.225 \leq 1$$

B.3.1.3 Vérification de la stabilité du poteau 2

$$\psi = \frac{89.94}{182.56} = -0.492$$

$$B_{MY1} = 1.8 - 0.7(-0.492)$$

$$= 2.144$$

$$\mu_y = 0.4118(2 \times 2.1448 - 4) + \frac{1970 \times 2 - 3550}{3550}$$

$$\mu_y = 0.224$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{sd}}{X_y A F_y}$$

$$k_y = 1 - \frac{0.224 \times 159.49 \times 10^3}{0.951 \times 124.4 \times 10^2 \times 235}$$

$$k_y = 0.987$$

B.3.1.3.1 Vérification de la stabilité du poteau comprimé

$$\frac{\frac{N_{sd}}{\chi A f_y}}{\gamma_M} + \frac{\frac{k_y M_{sd}}{W_{PLy} f_y}}{\gamma_M} \leq 1$$

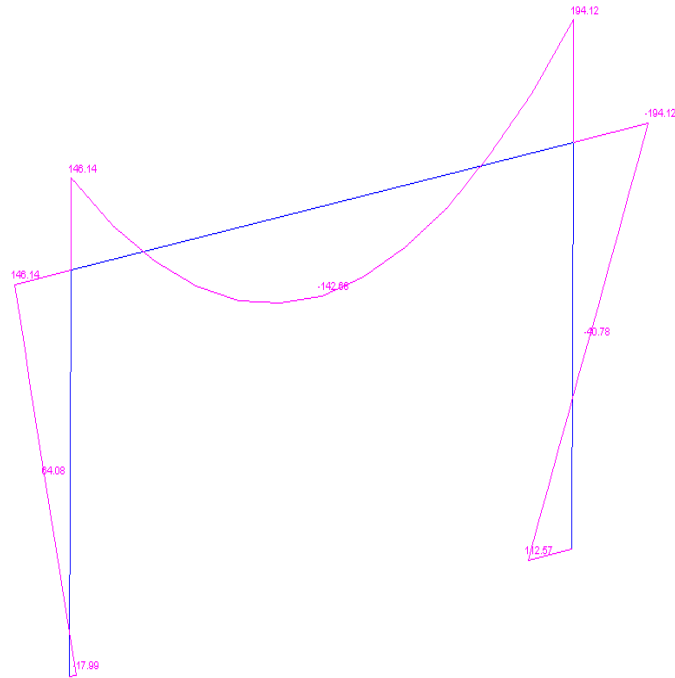
$$\frac{\frac{159.49 \times 10^3}{0.949 \times 235 \times 124.4 \times 10^2}}{1.1} + \frac{\frac{0.987 \times 182.56 \times 10^6}{235 \times 2 \times 1970 \times 10^3}}{1.1} \leq 1$$

$$0.277 \leq 1$$

B.4.1 La combinaison G+Q+E pour la zone 2

$$V_2 = \frac{0.175 \times 2.5 \times 1.2}{4} \times 271.6 = 35.64 \text{ kN}$$

B.4.1.1 le diagramme du moment fléchissant



B.4.1.2 Vérification de la stabilité du poteau

B.4.1.2.1 Vérification de la stabilité du poteau 1

$$B_{MY} = 1.8 - 0.7\psi$$

$$\psi = \frac{17.98}{146.14} = -0.123$$

$$\beta_{MY} = 1.8 - 0.7(-0.123)$$

$$B_{MY} = 1.88$$

$$\mu_y = 0.411(2 \times 1.88 - 4) + \frac{1970 \times 2 - 3550}{3550}$$

$$\mu_y = 0.001$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{sd}}{X_y A F_y}$$

$$k_y = 1 - \frac{0.011 \times 150.41 \times 10^3}{0.951 \times 197.5 \times 10^2 \times 235}$$

$$k_y = 0.99$$

B.4.1.2.1.1 Vérification de la stabilité du poteau comprimé

$$\frac{N_{sd}}{\chi A f_y} + \frac{k_{y1} M_{sd}}{W_{PL} f_y} \leq 1$$

$$\frac{144.41 \times 10^3}{0.951 \times 235 \times 124.4 \times 10^2} + \frac{0.993 \times 146.14 \times 10^6}{235 \times 2 \times 1970 \times 10^3} \leq 1$$

$$0.29 \leq 1$$

B.4.1.2.2 La vérification de la stabilité du poteau 2

$$\mu_y = \lambda_y(2\beta_{M\psi} - 4) + \frac{W_{ply} - W_{el}}{W_{el}}$$

Le facteur de moment uniforme équivalent

$$B_{MY} = 1.8 - 0.7\psi$$

$$\psi = \frac{112.58}{194.13} = -0.579$$

$$B_{MY} = 1.8 - 0.7(-0.579)$$

$$B_{MY} = 2.205$$

$$\mu_y = 0.411(2 \times 2.205 - 4) + \frac{1970 \times 2 - 3550}{3550}$$

$$\mu_y = 0.279$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{sd}}{X_y A F_y}$$

$$k_y = 1 - \frac{0.279 \times 162.41 \times 10^3}{0.951 \times 197.5 \times 10^2 \times 235}$$

$$k_y = 0.989$$

B.4.1.2.2.1 La vérification de la stabilité du poteau comprimé

$$\frac{\frac{N_{sd}}{\chi A f_y}}{\gamma_M} + \frac{\frac{k_{y1} M_{sd}}{W_{PLy} f_y}}{\gamma_M} \leq 1$$

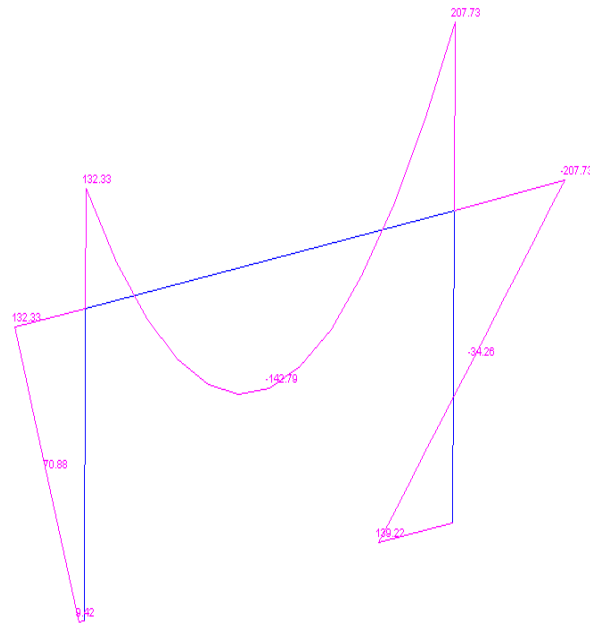
$$\frac{\frac{162.41 \times 10^3}{0.951 \times 235 \times 197.5 \times 10^2}}{1.1} + \frac{\frac{0.989 \times 146.14 \times 10^6}{235 \times 2 \times 1970 \times 10^3}}{1.1} \leq 1$$

$$0.212 \leq 1$$

B.5.1 La combinaison G+Q+E pour la zone 3

$$V_3 = \frac{0.275 \times 2.5 \times 1.2}{4} \times 271.6 = 56.01 \text{ kN}$$

B.5.1.1 le diagramme du moment fléchissant



B.5.1.2 Vérification de la stabilité du poteau

B.5.1.2.1 La vérification de la stabilité du poteau 1

μ : coefficient de frottement

$$B_{MY} = 1.8 - 0.7\psi$$

$$\psi = \frac{9.43}{132.32} = 0.0712$$

$$B_{MY} = 1.8 - 0.7(0.071)$$

$$B_{MY} = 0.950$$

$$\mu_y = 0.411 (2 \times 0.950 - 4) + \frac{1970 \times 2 - 3550}{3550}$$

$$\mu_y = -0.753$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{sd}}{X_y A F_y}$$

$$k_y = 1 - \frac{-0.753 \times 146.98 \times 10^3}{0.951 \times 197.5 \times 10^2 \times 235}$$

$$k_y = 1.025$$

B.5.1.2. 1.1 La vérification de la stabilité du poteau comprimé

$$\frac{\frac{N_{sd}}{\chi A f_y}}{\gamma_M} + \frac{\frac{K_y M_{sd}}{W P L_y f_y}}{\gamma_M} \leq 1$$

$$\frac{\frac{146.98 \times 10^3}{0.951 \times 235 \times 197.5 \times 10^2}}{1.1} + \frac{\frac{1.025 \times 132.32 \times 10^6}{235 \times 2 \times 1970 \times 10^3}}{1.1} \leq 1$$

$$0.197 \leq 1$$

B.5.1.2.2 La vérification de la stabilité du poteau 2

$$\mu_y = \lambda_y(2B_y - 4) + \frac{w_{ply} - w_{el}}{w_{el}}$$

μ Coefficient de frottement

$$B_{MY} = 1.8 - 0.7\psi$$

$$\psi = \frac{139.23}{207.74} = -0.670$$

$$\beta_{M\psi} = 1.8 - 0.7(-0.670)$$

$$\beta_{M\psi} = 2.269$$

$$\mu_y = 0.951(2 \times 2.269 - 4) + \frac{1970 \times 2 - 3550}{3550}$$

$$\mu_y = 0.621$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{sd}}{X_y A F_y}$$

$$k_y = 1 - \frac{0.3621 \times 165.83 \times 10^3}{0.951 \times 197.5 \times 10^2 \times 235}$$

$$k_y = 0.976$$

B.5.1.2.2.1 La vérification de la stabilité du poteau comprimé

$$\frac{\frac{N_{sd}}{\chi A f_y}}{\gamma_M} + \frac{\frac{K_y M_{sd}}{W_{PLy} f_y}}{\gamma_M} \leq 1$$

$$\frac{\frac{160.36 \times 10^3}{0.951 \times 235 \times 197.5 \times 10^2}}{1.1} + \frac{\frac{0.976 \times 207.74 \times 10^6}{235 \times 2 \times 1970 \times 10^3}}{1.1} \leq 1$$

$$0.24 \leq 1$$

Bibliographie

- [1] **Alexandre MICOL** " Approche probabiliste dans la conception des modules de puissance "thèse de doctorat, PP 25 ,43-44.
- [2] **Breiting, K**, "Asymptotic approximation for multinomial Integrals" Engineering mechanics. ASCE, 110 (3), pp -357-366, 1984.
- [3] **Cornell C.A.**, "A probability –based structured code, journal of the American concrete institute".
- [4] **Cremona, C.**, " Application des notons de fiabilité à la gestion des ouvrages existants, Association Français de Génie civil. Presse de l'Ecole nationale des ponts. Et chaussées 2003
- [5] **Cremona** "sécurité structurale des ouvrages module maintenance pathologie et réparation des constructions" Master génie civil européen ENPC 2005a
- [6] **Cremona, C. et al.** "Evaluations et prédiction de la fiabilité des structures "IPSN, journée d'étude, octobre 2005b
- [7] Catalogue charpente
- [8] **Philippe SZKLAREK** " CONSTRUCTION METALLIQUE "
- [9] **Devictor, N**, " Fiabilité et mécanique : méthodes FORM/SORM et couplages avec des codes d'élément fins par des surfaces de réponse adaptatives" .thèse .présentée .pour obtenir le grade de docteur, d'université. décembre 1996.
- [10] **François DEHEEGER**, " coulage-mécano-fiabiliste –SMART-Méthodologie d'apprentissage stochastique en fiabilité", pp .10.
- [11] **Jacques Brozzetti Manfred A.Hirt Rolf Bez**" construction métallique Exemples numériques adaptés aux Eurocodes ".
- [12] **Jean Morel**, " Calcul des structures métalliques selon L'Eurocode 3"
- [13] **LEMAIRE**, " cours IFMA introduction à la fiabilité en mécanique M ",(2001)

- [14] **M. Soheil MOHAMMADKHANI SHALI** ".Contribution al étude de la redondance dans les pontes : analyse des mécanismes de défaillance par surfaces de réponse" thèse de doctorat, pp.12-21,23-24.
- [15] **MELCHERS,R.E.**," structural reliability analysis and prediction "second edition, wiley 1999.
- [16] **Nicolas HYVERT**."Application de l'approche de la probabilité des produites préfabriqué", pp 87-88.
- [17] REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA 99 /VERSION 2003.
- [18] **PHIMECA SOFTWARE**." Manuel d'utilisation version 2",P 88-120
- [19] **Xuan Son NGUVEN**."Algorithmes probabilité a la durabilité et a la mécanique des ouvrages de génie civil" thèse de doctorat, pp 24.