

Les deux premières catégories sont normalement associées à un budget d'exploitation. Selon l'ampleur des projets, la réparation peut être liée à un budget d'exploitation ou d'immobilisation. L'entretien préventif consiste à intervenir sur le pont, de façon à empêcher ou à ralentir la progression des dégradations pouvant entraîner la détérioration prématurée du pont.

L'entretien courant consiste en des interventions mineures visant à corriger des défauts ou des dégradations qui représentent un potentiel d'accidents ou qui affectent le confort des usagers. L'entretien courant permet d'offrir un niveau de sécurité et de confort acceptable sur le pont ouvert à la circulation.

La réparation inclut des activités ayant pour but de remettre un pont en bon état. La pertinence d'une réparation est jugée en fonction du prolongement de vie utile qu'elle peut donner et des coûts qui lui sont associés. Il faut prendre soin d'éliminer ou de contrôler les causes des dégradations ou des mauvais comportements avant d'effectuer des réparations.

## II. Estimation du coût de projet

### II. 1. Calcul du coefficient de majoration de déboursé K

Le coefficient de déboursé appelé aussi coefficient de vente est un coefficient qui permet de passer directement du déboursé sec DS au prix de vente hors taxe PVHT. Il varie en fonction de l'importance ou de l'ampleur des travaux et de la taille d'entreprise d'exécutions. Sa valeur est donnée par la formule suivante :

$$K = \frac{(1 + f_c) + (1 + f_g)}{1 - b_a \left(1 + \frac{TVA}{100}\right)}$$

Où,  $f_c$  : pourcentage des frais généraux (FG) ;

$f_g$  : pourcentage du frais de chantier (FC) ;

$b_a$  : pourcentage du bénéfice et des aléas (BA) ;

TVA : Taxe sur Valeur Ajoutée.

Le tableau qui suit donne les valeurs admises pour les différents coefficients

**Tableau 98 : Valeurs des coefficients pour le calcul de la déboursé K**

Nature des frais	Description	Valeurs
Frais généraux proportionnels aux déboursés (FG)	Nécessaire au bon fonctionnement de l'entreprise : - Frais de siège ; - Frais d'exploitation ; - Frais d'étude ...	(4 à 30%) de CP
Frais proportionnels aux dépenses indirectes de chantier (FC)	Les frais à imputables à un ouvrage mais ne peuvent pas être affecté à un ouvrage élémentaire : - Grues ; - Centrale béton...	(5 à 20%) de DS
Bénéfice et Aléas (BA)	Rémunération de capitale de l'entreprise et compensation des imprévus : - Arrêt de chantier ; - Reprise de mal façon...	(0 à 10%) de CP ou du PVHT

CP (=DS + FC) est le coût de production.

Soient :  $f_c = 15\%$  ;  $f_g = 25\%$  ;  $b_a = 7\%$  et TVA = 20%.

Ainsi, on a :

$$K = 1,56$$

## II. 2. Sous détails de prix

L'établissement des sous détails de prix est la première étape pour estimer le coût du projet, elle sert à déterminer les prix unitaires de chaque tâche. Les prix unitaires (PU) sont obtenus par la relation suivante :

$$PU = \frac{K \cdot D}{R}$$

Avec, K : le coefficient de déboursé ;

D : Somme des déboursés ;

R : rendement journalier.

Voici quelques exemples de sous détails de prix :

**Tableau 99 : Sous détails de prix – Phase I – Installation de chantier – Débroussaillage**

Désignation		Débroussaillage							
Rendement <b>R =</b>		<b>250</b>	<b>m<sup>2</sup>/j</b>						
Prix N°:		Unité:	m <sup>2</sup> /j						
Composant des prix			Coûts directs			Dépenses directes			
Désignation	U	Qté	U	Qté	PU	Matériel	Main d'œuvre	Matériau	Total
<b>Matériel</b>									
Lot de petit MTRL	Fft	1	fft	1	50 000	50 000			
						<b>Total Matériel</b>			<b>50 000</b>
<b>Main d'œuvre</b>									
Chef de chantier	Hj	1	h	1	6 000		6 000		
Chef d'équipe	Hj	1	h	1	4 000		4 000		
Manœuvre	Hj	10	h	8	800		64 000		
						<b>Total Main d'œuvre</b>			<b>74 000</b>
<b>Matériau</b>									
								0	
						<b>Total Matériau</b>			<b>0</b>
<b>K = 1,56</b>						<b>Total de déboursés en Ariary</b>			<b>124 000</b>
						<b>PU en Ariary</b>			<b>773,76</b>

**Tableau 100 : Sous détails de prix – Phase III – Superstructure – Mise en place de la charpente métallique**

Désignation		Opération de lancement et assemblage				MTRL : Matériel			
Rendement R = 2000 kg/j						MO : Main d'œuvre			
Prix N°: Unité: kg/j						MTRO : Matériau			
Composant des prix			Coûts directs			Dépenses directes			
Désignation	U	Qté	U	Qté	PU	MTRL	MO	MTRO	Total
<b>MTRL</b>									
Centrale Grue	U	1	H	4	220 000	880 000			
Avant-bec	U	1	H	4	150 000	600 000			
Poste de soudure	U	1	H	3	60 000	180 000			
chaises à patins	U	1	H	4	150 000	600 000			
Outillage	Fft	1	Fft	1	140 000	140 000			
								<b>Total</b>	<b>2</b>
								<b>MTRL</b>	<b>400 000</b>
<b>Main d'œuvre</b>									
Chef de chantier	Hj	1	H	2	4 500		9 000		
Chef d'équipe	Hj	1	H	8	3 000		24 000		
Manceuvre	Hj	4	H	8	1 500		48 000		
Ouvrier spécialisé	Hj	6	H	8	2 000		96 000		
								<b>Total Main d'œuvre</b>	<b>177 000</b>
<b>MTRO</b>									
Profilé d'acier	kg	1	m	20 000	8 000			160 000	
Gousset	kg	1	Kg	2 500	4 000			10 000 000	
Boulon HR	U	1	m	2 016	400			806 400	
								<b>Total MTRO</b>	<b>170 806 400</b>
<b>K= 1,56</b>								<b>Total des déboursés</b>	<b>173 383 400</b>
								<b>PU = K*D/R</b>	<b>135 239</b>

**Tableau 101 : Sous détails de prix – Phase II – Réalisation des appuis – Béton Q400**

**C25/30 pour pieux**

Désignation		<b>Béton Q400 , C25/30</b>							
Rendement R =		25 m <sup>3</sup> /j							
Prix N°:		Unité: m <sup>3</sup> /j							
<b>Composant des prix</b>			<b>Coûts directs</b>			<b>Dépenses directes</b>			
<b>Désignation</b>	<b>U</b>	<b>Qté</b>	<b>U</b>	<b>Qté</b>	<b>PU</b>	<b>Matériel</b>	<b>Main d'œuvre</b>	<b>Matériau</b>	<b>Total</b>
<b>Matériel</b>									
Centrale à béton	U	1	h	6	220 000	1 320 000			
Benne et pompe à béton	U	1	h	4	223 500	894 000			
Pervibrateur	U	1	h	2	80 000	160 000			
Outillage	Fft	1	fft	1	140 000	140 000			
						<b>Total Matériel</b>			<b>2 514 000</b>
<b>Main d'œuvre</b>									
Chef de chantier	Hj	1	h	2	4 500		9 000		
Chef d'équipe	Hj	2	h	8	3 000		48 000		
Manœuvre	Hj	6	h	8	1 500		72 000		
Ouvrier spécialisé	Hj	2	h	8	2 000		32 000		
						<b>Total Main d'œuvre</b>			<b>161 000</b>
<b>Matériau</b>									
Ciment	Kg	400	kg	25	550			5 500 000	
Sable	m <sup>3</sup>	0,4	m <sup>3</sup>	25	12 000			120 000	
Lubrifiant	L	0,23	L	25	6 000			34 500	
Adjuvant	L	2,2	L	25	8 500			467 500	
Gravillon	m <sup>3</sup>	0,8	m <sup>3</sup>	25	40 000			800 000	
						<b>Total Matériau</b>			<b>6 922 000</b>
<b>K = 1,56</b>						<b>Total de déboursés en Ariary</b>			<b>9 597 000</b>
						<b>PU en Ariary</b>			<b>598 852,8</b>

### II. 3. Devis quantitatifs et estimatifs

Il s'agit d'estimer et d'évaluer le prix global du projet.

Le coût de l'installation de chantier est estimé à 6% de prix de total de l'ouvrage tandis que le repli de chantier est 4%.

**Tableau 102 : Devis quantitatifs et estimatifs (DQE)**

Référence	Désignations	Unités	Quantités	P.U en Ariary	Montant en Ariary
<b>0</b>	<b>Installation du projet et travaux préparatoires</b>				
0.1	Installation du chantier	Fft	1	1 449 640 000	1 449 640 000
0.2	Nettoyage du lit du cour d'eau	Fft	1	12 452 000	12 452 000
0.3	Considération des riverains ayant des activités sur le site	Fft	1	87 000 000	87 000 000
0.4	Repli du chantier	Fft	1	966 426 600	966 426 600
	Sous total installation du projet et travaux préparatoires				<b>2 515 518 671</b>
<b>1</b>	<b>Terrassement</b>				
1.0	Déblai			-	-
1.0.0	Débroussaillage	m <sup>2</sup>	2 000	4 500	9 000 000
1.0.1	Enlèvement de terre de surface 20cm	m <sup>2</sup>	2 000	6 000	12 000 000
1.0.2	Déblai meuble	m <sup>3</sup>	1 400	9 500	13 300 000
1.1	Remblai			-	-
1.1.0	Remblai drainant	m <sup>3</sup>	200	8 900	1 780 000
1.1.1	Remblai courant	m <sup>3</sup>	950	8 500	8 075 000
1.1.2	Transport des matériaux	km	50	3 200	160 000
1.2	Gabion (contre affouillement)	m <sup>3</sup>	120	2 750 000	330 000 000
1.3	Tuyaux (drainage)	m	480	9 500	4 560 000
	Sous total terrassement				<b>378 875 000</b>
<b>2</b>	<b>Infrastructure</b>				
2.0	Fondation				-
2.0.0	Fouille	m <sup>3</sup>	350	145 700	50 995 000
2.0.1	Forage	m <sup>3</sup>	650	254 700	165 555 000
2.0.2	Béton Q400	m <sup>3</sup>	650	1 129 333	734 066 667
2.0.3	Béton Q350	m <sup>3</sup>	350	847 000	296 450 000

Référence	Désignations	Unités	Quantités	P.U en Ariary	Montant en Ariary
2.0.4	Acier HA	kg	27 966	9 500	265 672 543
2.1	Culées			-	-
2.1.0	Béton de propreté Q200	m3	24	564 667	13 416 480
2.1.1	Béton Q350	m3	540	847 000	457 380 000
2.1.2	Appareil d'appui	u	4	250 000	1 000 000
2.1.3	Acier HA	kg	22 313	9 500	211 974 217
2.2	Ancrage de l'arc			-	-
2.2.0	Béton de propreté Q200	m3	24	564 667	13 416 480
2.2.1	Béton Q400	m3	333	1 129 333	376 149 312
2.2.2	Acier HA	kg	47 350	9 500	449 821 485
2.2.3	Assemblage	fft	4	250 000	1 000 000
2.2.4	Enrochement	m3	60	457 000	27 420 000
	Sous total infrastructure				3 064 317 184
<b>3</b>	<b>Superstructure</b>				
3.0	Charpente métallique	kg		-	-
3.1	Platelage			-	-
3.1.0	Dalle orthotrope	m <sup>2</sup>	1 680	475 000	798 000 000
3.1.1	Revêtement de la chaussée	m <sup>2</sup>	1 680	357 000	599 760 000
3.2	Elément de l'arc	kg	995 468	15 000	14 932 018 800
3.3	Suspente	m	5 520	7 800	43 056 000
3.4	Potelets	kg	2 600	15 000	38 998 800
3.5	Poutre métallique	kg	263 760	15 000	3 956 400 000
3.6	Equipements			-	-
3.5.0	Joint de chaussée	m	84	1 650 000	138 600 000
3.5.1	Garde-corps	m	480	95 000	45 600 000
3.5.2	Tube anti-vandalisme	U	42	175 000	7 350 000
3.5.3	Gargouille	ml	60	46 800	2 808 000
	Sous total superstructure			-	20 562 591 600
<b>4</b>	<b>Ouvrages annexes</b>				
4.0	Dalle de transition			-	-
4.0.0	Béton Q350	m3	32	847 000	27 104 000

Référence	Désignations	Unités	Quantités	P.U en Ariary	Montant en Ariary
4.0.1	Acier HA	kg	2 002	9 500	19 016 625
4.0.2	Coffrage	m <sup>2</sup>	24	6 000	144 000
4.1	Signalisation routière			-	-
4.1.0	Béton Q300	m <sup>3</sup>	8	847 000	6 776 000
4.1.1	Acier HA	kg		9 500	-
4.1.2	Coffrage	m <sup>2</sup>	15	5 000	75 000
4.1.3	Barre en acier	kg	3	15 000	45 000
4.2.0	Béton Q300	m <sup>3</sup>	3	847 000	2 117 500
4.2.1	Acier HA	kg	8	9 500	76 000
4.2.2	Coffrage	m <sup>2</sup>	13	6 000	76 800
Sous total ouvrages annexes					55 430 925,00
TOTAL OUVRAGE HTVA					26 576 733 379,37
TVA =20%					5 315 346 675,87
MONTANT TTC					31 892 080 055,24
Coût au ml					132 883 666,90

### III. Etude de rentabilité du projet

#### III. 1. Généralité

Lorsqu'on évalue un projet, il est toujours nécessaire d'étudier sa rentabilité pour voir si ce projet vaut la peine d'être réalisé ou pas, c'est-à-dire s'il a un intérêt financier ou pas, et pour notre pont, si on arrivera à récupérer le capital investi pendant que le pont est en service ou pas. Pour ce faire, il faut mesurer la création de valeur du projet, elle est déterminée par le calcul de la VAN (Valeur Actuelle Nette). Un projet peut être adopté si la VAN est positive.

On utilise aussi l'IP (Indice de profitabilité) pour évaluer un projet, il permet de donner une indication de création de valeur relative à l'investissement initial. L'IP doit être supérieur à 1 pour que le projet soit admis.

Il est nécessaire de calculer le TRI (Taux de Rentabilité Interne) car il juge le projet en tenant compte de l'évolution économique du pays. Un projet est rentable si son TRI est supérieur ou égal au taux d'actualisation.

### III. 2. Valeur Actuelle Nette (VAN)

Elle donnée par la formule suivante :

$$VAN = \sum_{p=1}^n F_p (1 + r)^{-p} - I$$

Dans laquelle,  $F_p$  est le flux net de trésorerie,  $F_p = R_n - A$  ;  
 $R_n$  (= Recette – Dépense) est le bénéfice net ;  
 $A$  est l'amortissement ;  
 $I$  est le capital investi ;  
 $N$  la durée de vie du projet ;  
 $r$  est le taux d'actualisation de la banque centrale.

#### III. 2. 1. Le bénéfice net

La recette annuelle initiale (année 0) de mise en service est estimée à Ar 2 300 000 000,00 pour la région Analanjirofo avec un taux de croissance annuelle de 8%.

Les dépenses sont composées par le coût d'entretien tous les 2 ans pour maintenir l'ouvrage en bon état estimé à 7 % de la recette annuelle et les autres dépenses de la région est estimé à 11% de la recette annuelle.

#### III. 2. 2. L'amortissement

C'est la diminution de valeur du pont, on va estimer un taux d'amortissement de 1% vu que la durée de vie du projet est de 100 ans.

#### Application numérique

Le montant initial investi  $I$  désigne le coût du projet tout taxe compris :

$$I = 31\,892\,080\,055,24 \text{ Ariary}$$

Le taux d'actualisation est :

$$r = 12\%$$

La recette annuelle initiale est :  $R_0 = \text{Ar } 2\,300\,000\,000,00$

$$\text{La recette pour l'année } n \text{ est : } R_n = R_0 \cdot (1 + i_r)^{n-1}$$

$i_r$  étant le taux de croissance annuel de la recette :  $i_r = 8\%$

Pour les 5 premières années, nous avons les Recettes, dépenses et flux actualisés dans le tableau suivant :

**Tableau 103 : Recettes, Dépenses et Flux actualisés des 5 premières années**

Année	Recette	Dépense	R <sub>n</sub>	F <sub>p</sub>
0,00	2 300 000 000,00	414 000 000,00	1 886 000 000,00	1 567 079 199,45
1,00	2 300 000 000,00	414 000 000,00	1 886 000 000,00	1 567 079 199,45
2,00	2 484 000 000,00	447 120 000,00	2 036 880 000,00	1 717 959 199,45
3,00	2 682 720 000,00	482 889 600,00	2 199 830 400,00	1 880 909 599,45
4,00	2 897 337 600,00	521 520 768,00	2 375 816 832,00	2 056 896 031,45
5,00	3 129 124 608,00	563 242 429,44	2 565 882 178,56	2 246 961 378,01

Comme la durée de vie du projet est de 100 ans, la VAN est :

**VAN = 11 358 468 924,42 Ariary**

### III. 3. Le Taux de rentabilité interne (TRI)

C'est le taux d'actualisation qui annule la VAN. On l'obtient par interpolation de deux valeurs de taux d'actualisation, dont l'une donne un VAN < 0 et l'autre un VAN > 0.

On a :

$$0 = \sum_{p=1}^n F_p (1 + TRI)^{-p} - I$$

#### Application numérique

Pour x = 0,15 ; on a VAN =  $\sum_{p=1}^n F_p (1 + x)^{-p} - I = -2 841 739 399,50 < 0$

Pour x = 0,14 ; on a VAN =  $\sum_{p=1}^n F_p (1 + x)^{-p} - I = 1 425 447 796,28 > 0$

Donc ;  $0,14 < TRI < 0,15$

Par interpolation, on a : **TRI = 0,131**

### III. 4. L'indice de profitabilité (IP)

On le calcul par la formule suivante :

$$IP = \frac{\sum_{p=1}^n F_p (1 + r)^{-p}}{I} = 1 + \frac{VAN}{I}$$

#### Application numérique

VAN = Ar 15 709 494 652,69

I = Ar 32 875 744 914,76

=> **IP = 1,36**

### III. 5. Délai de récupération du capital investi (DRCI)

Comme son l'indique, c'est le nombre de période au bout duquel le capital investi va pu être récupéré. On le détermine en cumulant les flux de trésorerie successifs, et le DRCI correspond au nombre de période où le montant du capital investi est atteint.

Après calcul, on a :

**DRCI = 36 ans et 4 jours**

Les calculs sont détaillés dans l'annexeXII.D.

### III. 6. Résultats et interprétation

Nous avons les résultats de calcul suivant :

$VAN = 15\,709\,494\,652,69 \text{ Ariary} > 0$

$TRI = 0,131 > 0,12$

$IP = 1,36 > 1$

$DRCI = 36 \text{ ans } 4 \text{ jours}$

Avec ces résultats, on constate que le capital investi est récupéré seulement dans 36 ans et 4 jours. Nous avons une  $VAN > 0$ , un TRI supérieur au taux d'actualisation et un  $IP > 0$ , toutes les critères sont remplis, elles montrent que le projet est rentable et sa réalisation a un intérêt financier pour la région.

## CHAPITRE XV : ANALYSE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

L'environnement est devenu un thème délicat ces dernières années. Sa dégradation est un sujet que tout le monde ne devra plus négliger, d'où l'adoption de la loi charte de l'environnement à Madagascar en 1990. Ladite loi stipule que toutes interventions pouvant porter atteinte à l'environnement doit faire l'objet d'une évaluation environnementale, elle est appuyée par la promulgation du décret relatif à la Mise en Compatibilité des Investissements avec l'Environnement (MECIE). Ainsi le but de ce chapitre.

L'étude d'impact environnemental (selon le décret 99-954 relatif à la MECIE) consiste en l'analyse scientifique et préalable des impacts potentiels prévisibles d'une activité donnée sur l'environnement, et en l'examen de l'acceptabilité de leur niveau et des mesures d'atténuation permettant d'assurer l'intégrité de l'environnement dans les limites des meilleures technologies disponibles à un coût économiquement acceptable.

A Madagascar, le Ministère chargé de l'environnement représente l'Etat dans la gestion de l'environnement. Il lui appartient de concevoir, coordonner et assurer la cohérence de la politique de l'Etat dans le domaine transversal de l'environnement, notamment de promouvoir un développement durable. Le Ministère de l'environnement est assisté par des agences d'exécution placées sous sa tutelle technique, dont l'Office National pour l'Environnement (ONE), guichet unique chargé de l'exécution de la politique de mise en compatibilité des investissements avec l'environnement. Le ministère de l'environnement collabore avec les Cellules environnementales instaurées au niveau des différents départements sectoriels pour assurer l'intégration de la dimension environnementale dans les activités sectorielles.

### **I. Le milieu récepteur**

La description du milieu récepteur est essentielle à l'analyse environnementale afin d'obtenir une connaissance adéquate des composantes du milieu d'insertion du projet. L'étude d'impact doit fournir une description, les plus factuelles possibles, des milieux biophysique et humaines, tels qu'ils se présentent avant la réalisation du projet, et exprimer les tendances observées en termes d'intégrité. A cet effet, elle fournira toute information facilitant la compréhension ou l'interprétation des données présentées dans le rapport d'étude.

## **I. 1. Le milieu physique**

### **I. 1. 1. Le climat**

Le climat de la région Analanjirofo est typique des régions tropicales, chaud et humide presque toute l'année. La température est en moyenne 25°, le soleil frappe fort dans cette zone, et le vent tropical humide Alizé y souffle. La pluviométrie dépasse 2 000 mm.

### **I. 1. 2. Le relief**

Le relief, allant du littoral vers l'intérieur, est marqué par la succession de quatre couches bien distinctes: une bande de plaine littorale côtière relativement large d'Anove à Antanambe et le reste formé de plages isolées par des falaises granitiques descendant à pic jusqu'à la mer, une strate de basse colline, une zone des plateaux et une zone montagneuse accidentée.

### **I. 1. 3. L'altitude**

La zone d'influence représentée par l'environnement de la région d'Atsinanana et de la région d'Analanjirofo est située entre 0 à 900 m. L'altitude moyenne est à 400 m.

### **I. 1. 4. Le socle**

La roche mère est constituée de basalte et de dolérite durs qui affleurent parfois au bord de la mer formant des plages à talus rocheux particulier.

### **I. 1. 5. Le sol**

Les bas-fonds, les vallées et les cuvettes sont formés de sédiments argileux et latéritiques mélangés à des limons fins sableux propices à la riziculture. Les plateaux, les collines et les flancs des versants sont constitués de sols latéritiques et argileux très sensibles à l'érosion. Le littoral montre du sable dunaire instable.

### **I. 1. 6. Les cours d'eau**

Beaucoup de cours d'eau traverse la région, l'utilisation des bacs est inévitable pour faire traverser les marchandises et les véhicules. Comme dans le cas de notre projet, le bac d'Andrangazaha que va être remplacé par le pont.

## I. 2. Le milieu biologique

Les écosystèmes naturels existant sont très diversifiés allant des écosystèmes terrestres (Forêts denses humides sempervirentes, forêts secondaires ou SAVOKA, formations marécageuses), passant par les écosystèmes côtiers marins (Forêts littorales, mangroves, lagunes) jusqu'aux écosystèmes marins proprement dits (Récifs coralliens, îlots).

Les animaux restent dans la forêt où ils trouvent sécurité, habitat et nourriture. Concernant les lémurien, les plus communs appartiennent principalement au g Indri (Indriidée) et au g Propithecus (Indriidée). L'Aye-aye appartenant au g Daubentonia madagascariensis (Daubentonidée) est le mystérieux lémurien nocturne pour lequel Mananara est le seul endroit au monde où on peut l'observer facilement. A propos des carnivores, les espèces les plus connus se rapportent aux g *Cryptoprocta* et g *Galidia*. Au sujet des micromammifères, les genres suivants : g *Tenrec*, g *Microgale*, g *Rattus* abondent. Parmi les oiseaux, les Railovy sont particulièrement prospères.

Les principaux sites écologiquement sensibles comprennent la Réserve de Biosphère de Mananara- Nord, les forêts « KOLOALA », les forêts primaires protégées gérée par COBA, la forêt d'Ambodiriana, la Réserve Spéciale d'Ambatovaky, les récifs coralliens de Manompana à Imorona, les mangroves des embouchures des grands fleuves, et les lagons à Foulpointe, Manampona et Antanambe.

## I. 3. Le milieu humain

La population locale est en majorité des paysans. Ils vivent de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche.

La densité moyenne est de 95 habitants au km<sup>2</sup>, légèrement supérieure à la densité moyenne de la province de Tamatave (86,4 hab/ km<sup>2</sup>). Le taux de croissance de la population dans ces zones est conforme à la moyenne nationale évaluée à 3 % par an.

La population se répartit selon ses activités comme suit :

- Français, chinois, indiens possèdent la richesse (commerçant, hôtelier, restaurateur) ;
- Les terres appartiennent au Betsimisaraka (Cultivateurs et des pêcheurs) ;
- Les migrants Antemoro et Tsimihety se placent en aval des filières agricoles ;
- Les St Mariens sont des commerçants et des transporteurs ;
- Merina et Betsileo s'adonnent à la commercialisation ambulante.

## **II. Identification, évaluation et mesures prises sur les principaux impacts**

Dans le tableau qui suit, nous allons prévoir et déterminer les conséquences écologiques et sociales, positives et négatives, du projet. Aux impacts négatifs seront attribués des mesures d'atténuation ou de mesures de compensation contribuant à réduire les impacts. D'autres alternatives comme les impacts positifs seront aussi évalués avec des moyens d'optimisations. Pour évaluer un impact, on le mesure selon son intensité, sa durée d'existence et son étendue. On met 3 si c'est trop important et 1 si c'est moindre. La somme est ensuite notée sur 9, et c'est à partir de cette note qu'on détermine l'importance de l'impact, elle est majeure si la note est supérieure à 7 et mineur si inférieure à 4. L'impact résiduel donne une idée sur l'effet de l'impact après accomplissement des mesures.

**Tableau 104 : Evaluation des impacts**

Source d'impact	Impact	Type	Evaluation			Importance	Mesure	Impact résiduel
			Intensité	Durée	Etendue			
Phase I : Choix du site	Profanation	Négatif Direct	2	3	2	Majeure	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déplacement du lieu sacré si possible</li> <li>- Essayer de connaître et de respecter les coutumes locaux (exemple : Faire le « Joro », respect des tabous, ... )</li> </ul>	Négatif Mineur
	Expropriation des riverains	Négatif Direct	3	3	3	Majeure	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rémunération des foyers concernés</li> </ul>	Négatif Mineur
	Perte d'activité	Négatif Direct	2	3	2	Majeure	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recrutement de la population local</li> </ul>	Positif Moyen
Phase II : Travaux en cours	Création d'emploi	Positif Direct	2	1	2	Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recrutement de la population locale</li> <li>- Formation</li> </ul>	Positif Moyenne
	Accumulation d'ordure	Négatif Direct	3	1	3	Majeure	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Triage des éléments recyclables et biodégradables</li> <li>- Compostage des ordures</li> </ul>	Positif Majeur

Risque d'accident et de maladie des ouvriers	Négatif Direct	3	2	2	Majeure	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les travailleurs doivent se munir des équipements de protection et de sécurité convenable comme des casques, des gilets, lunette de soudure, ...</li> <li>- Installation de cantine et point d'eau potable pour les ouvriers</li> </ul>	Négatif Mineur
Insécurité du chantier	Négatif Direct	2	2	3	Majeure	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demander une coopération avec la force de l'ordre</li> </ul>	Positif Mineur
Pollution de l'air	Négatif Direct	3	1	1	Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limiter la production de gaz à effet de serre par jour</li> <li>- Entretien des engins</li> </ul>	Négatif Moyen
Pollution de l'eau	Négatif Direct	2	2	3	Majeure	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eviter les rejets des déchets néfastes à la population aquatique</li> <li>- Filtrer les eaux usées avant de les jeter dans le fleuve.</li> </ul>	Négatif Mineur
Perturbation de la faune et des habitants par les effets sonores	Négatif Direct	2	1	2	Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entretien périodique des engins</li> <li>- Formations des travailleurs</li> </ul>	Négatif Mineur

							- Utiliser des dispositifs d'atténuation des effets sonores	
	Destruction de la faune et de la flore	Négatif Direct	3	3	2	Majeure	- Reboisement - Création d'un air protégé à une distance considérable du projet	Positif Majeur
	Aggravation de l'érosion et dégradation de la couverture végétale dans les sites d'emprunt	Négatif Direct	2	2	1	Moyenne	- Choisir comme zone d'emprunt les aires non sensibles à l'érosion - Restaurer et réhabiliter les zones concernées après les exploitations - Respect du courbe de niveau et de l'angle de talus naturel	Positif Mineur
	Augmentation du niveau de vie de la population locale	Positif Indirect	2	2	2	Moyenne	- Inciter les investisseurs par des annonces, documentaires ou publicités. - Développer le secteur touristique	Positif Majeur
Phase III :	Aménagement	Positif Direct	2	1	2	Moyenne	- Entretien de l'ouvrage et des constructions relatives	Positif Moyen

Projet en service	Facilité de trafic des bois précieux	Négatif Indirect	3	2	2	Majeure	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renforcer la police forestière</li> <li>- Travailler en collaboration avec l'autorité locale</li> </ul>	Négatif Majeur
	Désenclavement	Positif Indirect	1	1	1	Mineure	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inciter les paysans à développer l'élevage et l'agriculture pour renforcer le marché et les échanges avec l'extérieur</li> </ul>	Positif Moyenne
	Valorisation des ressources locales : Exploitation des carrières et des Gisements meubles		3	1	1	Moyenne	<p>Développer pour chaque carrière un dossier d'agrément technique; et un PPES</p> <p>Mettre en œuvre des techniques d'exploitation appropriées</p>	Positif Majeur
	Propagation des Maladies Sexuellement Transmissibles	Négatif Indirect	1	2	3	Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibilisation des habitants</li> <li>- Mise en place d'un centre de santé pour des visites et examens</li> <li>- Mettre dans les programmes scolaires des informations sur les MST</li> </ul>	Négatif Moyen

	Assainissement longitudinal et transversal Amélioration de l'écoulement des eaux	Positif Direct	1	2	1	Moyenne	- Entretien périodique	Positif Moyen
--	--	----------------	---	---	---	---------	------------------------	---------------

### **III. Plan de gestion environnemental et social (PGES)**

#### **III. 1. Définition**

Le PGES est un document qui contient les études d'impacts environnementaux et permettra aux décideurs, à l'entreprise prestataire de travaux et au bureau en charge du contrôle et de la surveillance des travaux, de cerner le milieu d'intervention du projet et ses sensibilités environnementales afin de limiter les méfaits sur l'environnement.

L'entreprise doit présenter pour validation des instances compétentes le PGES avant le démarrage des travaux. Il doit mettre en œuvre le PGES au même titre que les prescriptions techniques des travaux.

#### **III. 2. Démarche d'établissement du PGES pour le projet**

Dès la collecte des informations requises pour l'établissement du PGES, une démarche participative a été adoptée, faisant intervenir les autorités locales, les Tangalamena, les riverains et les usagers. Lors des rencontres organisées, le projet et ses enjeux ont été présentés. Les informations obtenues lors des enquêtes ont été mises à profit pour s'enquérir des us et coutumes locales et pour avancer les mesures d'accompagnement en lien avec l'importance des enjeux autour de la route à savoir la préservation de l'aménagement, la responsabilisation des communautés locales, l'assainissement, la modification du tracé et la construction de nouveaux ouvrages de franchissement.

#### **III. 3. Contrôle de la qualité de mise en œuvre du PGES**

Le contrôle consisterait à renforcer l'acquisition du réflexe environnemental (Personnel de l'entreprise, riverain, usager) ; à apprécier l'évolution des impacts prévisionnels (registres de doléances, enquêtes au niveau des riverains, à optimiser les actions de renforcement de capacités et de compétences locales à tous les niveaux par les actions d'accompagnement au projet routier et enfin à instaurer un système de vigilance, au niveau des autorités locales administratives, dans leur tâche de gouvernance administrative et sociale.

#### **III. 4. Responsabilités et dispositions institutionnelles**

Les mesures d'atténuation comportent des interventions avant, pendant et après travaux. Ces

interventions sont du domaine technique, réglementaire ou social et visent à contribuer à l'optimisation des retombées attendues des aménagements ou à en atténuer les impacts négatifs. Chaque partie se doit de se référer à ses responsabilités reportées dans la présente section, dès le début du projet jusqu'à la phase d'exploitation des aménagements.

Les trois responsabilités ci-après ont été mises en exergue : la mise en œuvre des mesures environnementales, la surveillance environnementale et le suivi environnemental.

#### **III. 4. 1. Mise en œuvre des mesures environnementales**

Les mesures environnementales sont assimilées à des bonnes pratiques des opérations classiques de chantier. Leur mise en œuvre est de la responsabilité de l'entreprise prestataire des travaux. Avant la décision d'attribution, l'entreprise doit se soucrire à un engagement de respect des prescriptions environnementales applicables au projet et s'engager et à prévoir les postes budgétaires de responsable environnemental pour les nécessités de contrôle et surveillance la mise en œuvre et le suivi du PGES.

#### **III. 4. 2. Surveillance environnementale**

La surveillance environnementale consiste à vérifier que les mesures environnementales sont appliquées convenablement durant l'exécution du projet. En tant que Maître d'ouvrage délégué, l'Autorité Routière de Madagascar (ARM) assure la supervision de la Mission De Contrôle ou MDC. La Mission de Contrôle, contrôle le respect des dispositions règlementaires et légales relatives à la protection de l'environnement. Les autorités environnementales, à travers l'ONE et la cellule environnementale du Ministère en charge des Travaux publics, vérifient également l'application et la conformité de ces mesures environnementales. Les autorités locales ont leur droit de regard dans l'application de ces mesures environnementales.

#### **III. 4. 3. Suivi environnemental**

Le suivi environnemental concerne le suivi des impacts du projet sur le milieu récepteur ainsi que le contrôle de l'efficacité des mesures environnementales mises en œuvre. A ce propos, un registre de doléances devra être tenu au niveau de chaque municipalité (Soanierana Ivongo – Manompana – Antanambe – Imorona – Mananara nord). Les recommandations issues des éléments inscrits à ce registre seront adressées à l'entreprise, à l'organisme en charge du suivi et au promoteur.

## CONCLUSION

Pour conclure, il est fort de constater que construire un pont franchissant le fleuve Simianona pour remplacer le bac d'Andrangazaha se révèle être indispensable pour le désenclavement de la partie Nord-Est de Madagascar, cela favorisera l'échange avec les autres régions et accroîtra l'économie de la région.

Ainsi, la proposition d'un pont en arc métallique s'avère être un projet très intéressant. Il est la solution pour éviter un grand nombre de pile, sa légèreté le rend capable de franchir la grande distance de 240 m. Aussi, d'un point de vue architectural, c'est un pont digne de porter le nom « Ouvrage d'art », en ressortissant l'art par sa forme et par son harmonie avec le lieu d'implantation.

Concevoir ce pont en arc métallique a été un défi d'ingénierie, sa forme inhabituelle entraîne l'utilisation des méthodes de calculs beaucoup plus compliquées. Malgré cela, l'étude du pont s'est bien déroulée et les résultats correspondent aux attentes. Mais la complication continue dans sa réalisation, elle demande tout d'abord du temps, ensuite, une excellente collaboration entre les divers intervenants du projet et enfin une grande disponibilité de matériels et matériaux. De ce fait, la mise en œuvre de ce pont nécessite un grand travail d'ingénierie de très haut niveau et une étude intellectuelle bien réfléchie. Comme E. Moch le souligne dans son ouvrage intitulé : *The ARCHITECTE of Bridges - New York 1949* « Un grand ingénieur n'est pas esclave de ses formules. C'est un artiste qui utilise ses calculs comme des outils pouvant créer des formes aussi évidentes et harmonieuses dans leur apparence que les lois naturelles qui les sous entendent. Il manie ses matériaux avec une vision poétique, relevant ses forces ultimes à travers une structure appropriée à ses pouvoirs uniques. »

Vu le développement des entreprises d'aciérie, la construction métallique s'améliore et devient un élément clé pour se détacher de la forme monotone des ponts à Madagascar. Cela suscite des questions telles que, pourquoi ne pas construire un ouvrage d'art qui met en valeur l'art et pourquoi ne pas le construire en acier ? C'est un des défis que les ingénieurs, les concepteurs, les réalisateurs et même le gouvernement malgache doivent prendre en considération si le terme « Progrès » leurs intéressent vraiment.

## Bibliographie

- ⌘ AFNOR, 2003 ; NF EN 1990 ; Bases de calcul des structures; AFNOR ; 78 pages
- ⌘ Alain RANDRIAMAHERISOA, 2008 ; COURS D'ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ; formation ; ESPA ; 31 pages
- ⌘ American Institute of steel construction, 1963; Orthotropic steel plate deck bridges ; manual; United State of America; 237 pages
- ⌘ CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement), 2014; bulletin ouvrage d'art n° 69/70; Direction technique infrastructures de transport et matériaux ; 110 pages
- ⌘ Don Montague, 1996 ; Dictionnaire du bâtiment et du génie civil ; Dictionnaire ; E and FN SPON ; 469 pages
- ⌘ DTRF, 1993; règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil - Cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux FASCICULE N° 62 - Titre V ; texte officiel ; Ministère de l'équipement, du logement et des transports, 189 pages
- ⌘ EC 2 Fondations superficielles, 2006 ; 15 pages
- ⌘ *Eduar Nuñez* - Access Steel, 2008 ; Exemple : assemblage boulonné d'un cornière de contreventement en traction sur un gousset ; mode de calcul ; Eurocode made Easy; 10 pages
- ⌘ Eurocodes, 1993 ; Notations et formules ; guide technique ; ENLACE ; 4 pages
- ⌘ Fernanda Gomes, 2013 ; Influence du revêtement sur le comportement en fatiguées dalles orthotropes - Etude d'une solution en BFUP ; thèse de doctorat sciences ingénierie et environnement ; Université Paris-Est spécialité structure et matériaux ; 487 pages
- ⌘ Jean Christophe Carret, Bienvenu Rajaonson, Paul Jean Feno and JurgBrand , 2009 ; l'Environnement a madagascar : un atout a preserver, des enjeux a maitriser ; Note politique ; Banque Mondial ; 24 pages
- ⌘ Jean COURBON; Résistance des matériaux C 2 015- Structures élastiques à plan moyen ; Techniques de l'Ingénieur, traité Construction ; 54 pages
- ⌘ Jean COURBON, Jean-Noël THEILLOUT ; Résistance des matériaux C 2 060; formulaire ; Techniques de l'Ingénieur, traité Construction ; 150 pages
- ⌘ Marneffe, A. de, 1937-1938 ; Calcul direct de la poutre Vierendeel par la méthode des systèmes équivalents ; article ; Mémoires AIPC ; 29 pages

- ⌘ NCCI, Access Steel, 2010 ; Règles de conception et de calcul des poutres avec ouvertures dans l'âme ; manuel ; Eurocode made Easy; 18 pages
- ⌘ Pierre Smars, 2000 ; Etude sur la stabilité des arcs et voutes, Confrontation des méthodes de l'analyse limite aux voûtes gothiques en brabants, thèse de doctorat en Science appliqué ; Université Catholique de Louvre, Centre Raymond Lemaire pour la Conservation ; 245 pages
- ⌘ Robert, E. / Musette, L., 1955 ; Note sur le calcul des poutres Vierendeel ; article ; Mémoires AIPC ; 13 pages
- ⌘ S. Multon, 2012 ; BETON ARME ; Eurocode 2 ; Centre Genie Civil – INSA – Université Paul Sabatier ; 154 pages
- ⌘ Sebastien BRISARD - Service d'Etude techniques des routes et autoroutes, 2006 ; Les plénières 2006 du LCPC sciences et techniques du génie civil ; guide technique ; Laboratoire Central des ponts et chaussées ; 36 pages
- ⌘ Service d'Etude techniques des routes et autoroutes, 2000 ; Appareils d'appui en caoutchouc fretté – Utilisation sur les ponts – Viaducs et structures similaires ; guide technique ; 93 pages
- ⌘ SETRA, 1984 ; Dalles de transitions des ponts routes - technique et réalisation ; notice technique ; Ministère de l'urbanisme du logement et du transport – direction des routes; 42 pages

## ANNEXES

Liste des annexes :

<b>ANNEXE I : LOCALISATION DU PROJET ( TRAVERSEE DE LA RNS5 SUR LA RIVIERE SIMIANONA)</b> .....	<b>I</b>
<b>ANNEXE II</b> .....	<b>II</b>
ANNEXE II.A. FONCTION FACTORIELLE D'EULER .....	II
ANNEXE II.B : VALEUR DE F(x) PAR LA LOI DE PEARSON III .....	III
ANNEXE II.B : VALEUR DE F(x) PAR LA LOI DE PEARSON III (SUITE) .....	IV
ANNEXE II.C : TABLE DE DISTRIBUTION $\chi^2$ DE PEARSON.....	IV
ANNEXE II.D : ESTIMATION DES CRUES POUR UN SEUIL DE CONFIANCE 95%. FRECHET – GUMBEL.....	V
ANNEXE II.E : VALEUR DU COEFFICIENT DE RUGOSITE K DANS LA FORMULE DE MANNING-STRICKLER (D'APRES R. E. HORTON 1916, CITE PAR M. CARLIER 1972) .....	VI
ANNEXE II.F : .....	VII
<b>ANNEXE III</b> .....	<b>VIII</b>
ANNEXE III.A : RESULTAT DES ESSAIS AU PENETROMETRE DYNAMIQUE .....	VIII
ANNEXE III.C : COUPE DU SOL OBTENU PAR SONDAGE MECANIQUE.....	XI
<b>ANNEXE IV</b> .....	<b>XII</b>
ANNEXE IV.A : HAUTEUR A PRENDRE EN COMPTE POUR LE CALCUL DE $A_{REF,X}$ ( TABLEAU 8.1 DE LA NORME EN1991-1-4) ...	XII
ANNEXE IV.B : CATEGORIE ET PARAMETRE DE TERRAIN .....	XIII
<b>ANNEXE V</b> .....	<b>XIV</b>
ANNEXE V.A : COEFFICIENT CORRECTEUR DU TAUX D'ACCROISSEMENT GEOMETRIQUE .....	XIV
ANNEXE V .B: COEFFICIENT CORRECTEUR DE DUREE DE VIE .....	XIV
ANNEXE V.C: CATEGORIES DE TRAFIC EN ESE SELON LA METHODE CEBTP.....	XIV
<b>ANNEXE VI</b> .....	<b>XV</b>
ANNEXE VI.A : EFFORTS EN [kN] DANS LES MEMBRURES SUPERIEURES DE LA POUTRE .....	XV
ANNEXE VI.B : EFFORTS EN [kN] DANS LES MEMBRURES INFERIEURES DE LA POUTRE .....	XIX
ANNEXE VI.C : EFFORTS EN [kN] DANS LES DIAGONALES DE LA POUTRE .....	XXIII
ANNEXE VI.D: EFFORTS EN [kN] DANS LES MEMBRURES SUPERIEURES DE L'ARC .....	XXXI
ANNEXE VI.E : EFFORTS EN [kN] DANS LES MEMBRURES INFERIEURES DE L'ARC.....	XXXII
ANNEXE VI.F : EFFORTS EN [kN] DANS LES DIAGONALES DE L'ARC .....	XXXIV
ANNEXE VI.G: EFFORTS DE TRACTION EN [kN] DANS LES SUSPENTES $S_1$ .....	XXXVII
ANNEXE VI.H : SOLLICITATION DES POTELETS $P_1$ QUI S'APPUIENT DIRECTEMENT AU SOL .....	XXXVIII
<b>ANNEXE VII</b> .....	<b>XXXIX</b>
ANNEXE VII.A: RAPPORT LARGEUR-EPAISSEUR MAXIMAUX POUR LES PAROIS COMPRIEES (1/3) .....	XXXIX

ANNEXE VII.A : RAPPORT LARGEUR-EPAISSEUR MAXIMAUX POUR LES PAROIS COMPRIMEES (3/3).....	XLII
ANNEXE VII.B : CHOIX DE COURBE DE FLAMBEMENT POUR UNE SECTION TRANSVERSALE .....	XLII
ANNEXE VII.C : CHOIX DE COURBE DE FLAMBEMENT POUR UNE SECTION TRANSVERSALE (SUITE) .....	XLII
ANNEXE VII.D : COURBE DE FLAMBEMENT .....	XLIII
ANNEXE VII.E : DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE FLAMBEMENT.....	XLIV
ANNEXE VII.F : METHODE DE CALCUL DES FACTEURS D'INTERACTION $K_{ij}$ DONNEE PAR L'ANNEXE A DE L'EN1993-1-1 .....	XLV
ANNEXE VII.G : FACTEURS DE MOMENT UNIFORME EQUIVALENT $C_{M1,0}$ .....	XLVII
ANNEXE VII.H : CARACTERISTIQUES DES BOULONS D'ASSEMBLAGES .....	XLVII
ANNEXE VII.I : ENTRAXES ET PINCES MINIMALES DES BOULONS DANS UN ASSEMBLAGE .....	XLVIII

**ANNEXE VIII .....** XLIX

ANNEXE VIII.A: GROUPE D'ELEMENTS TENDUS.....	XLIX
ANNEXE VIII.B: VALEUR RECOMMANDEE DU COEFFICIENT PARTIEL $\Gamma_R$ .....	XLIX

**ANNEXE IX .....** L

ANNEXE IX.A : FACTEUR DE CORRELATION $B_w$ POUR LES SOUDURES D'ANGLE (SOURCE : TABLEAU 4.1 DE L'EN1993.1.8).....	L
ANNEXE IX.B: FACTEUR DE PLAQUE $\Psi$ .....	L
ANNEXE IX.C: FACTEUR DE PLAQUE (EN UTILISANT LES DIAGRAMMES) SELON LE TYPE DE ROUE.....	LII
ANNEXE IX.C :THE CARRY-OVER FACTOR K DANS UNE POUTRE CONTINUE.....	LII
ANNEXE IX.D - RIGIDITE EQUIVALENTE DE LA DALLE ORTHOTROPE : .....	LIII
ANNEXE IX.E - CARACTERISTIQUES STATIQUES DU TABLIER .....	LVI
TABLEAU IX.E : MODULES DE RESISTANCE DES ELEMENTS DE LA DALLE .....	LVII
ANNEXE IX.F: CALCUL DE $MCnQ . ssinn . \Pi . gb . sinn . \Pi 2 . cosn . \Pi . xb$ .....	LVII
ANNEXE IX.F: VALEURS DU RAPPORT $MCnQ . s$ EN FONCTION DE N DANS L'EXPRESSION DE $V_x$ .....	LVII
ANNEXE IX.F: CALCUL DE LA SOMME $MCnQ . ssinn . \Pi . gb . sinn . \Pi 2 . cosn . \Pi . xb$ SELON LE TYPE DE ROUE .....	LVIII
ANNEXE IX.G : VALEUR DE $\Gamma_{Mf}$ , FACTEUR PARTIEL DE RESISTANCE A LA FATIGUE .....	LVIII
ANNEXE IX.H: DETERMINATION DE $\Lambda_2$ .....	LIX
ANNEXE IX.I : DETERMINATION DE $\Lambda_3$ .....	LXI
ANNEXE IX.J: DETERMINATION DE $\Lambda_{MAX}$ POUR LES MOMENTS DES PONTS ROUTIERS.....	LXI
ANNEXE IX.K : VALEUR DE $\Psi$ , COEFFICIENT DE COMBINAISON DE CONTRAINTE LOCALE ET GLOBALE EN FONCTION DE L.....	LXI

**ANNEXE X : .....** LXII

ANNEXE X.A : ORGANIGRAMME DE CALCUL D'ARMATURE DE FLEXION SIMPLE SELON L'EUROCODE 2.....	LXII
ANNEXE X.A : ORGANIGRAMME DE CALCUL D'ARMATURE DE FLEXION SIMPLE SELON L'EUROCODE 2.....	LXIII
ANNEXE X.A : ORGANIGRAMME DE CALCUL D'ARMATURE DE FLEXION SIMPLE SELON L'EUROCODE 2.....	LXIV
ANNEXE X.B : TABLEAU DES MOMENTS REDUITS.....	LXV

**ANNEXE XI .....** LXVI

ANNEXE XI.A : FACTEURS PARTIELS DE RESISTANCE $\Gamma_R$ POUR LES PIEUX FORES.....	LXVI
ANNEXE XI.B: VALEURS DU FACTEUR DE PORTANCE, K, POUR LES PIEUX CHARGES AXIALEMENT .....	LXVI
ANNEXE XI.C: CHOIX DES COURBES DE FROTTEMENT LATERAL SUR LE FUT D'UN PIEU.....	LXVII
ANNEXE XI.D: FROTTEMENT LATERAL UNITAIRE $Q_s$ SUR LE FUT D'UN PIEU CHARGE AXIALEMENT .....	LXVIII

<b>ANNEXE XI.E: VALEURS DU FACTEUR DE PORTANCE, K, POUR LES FONDATIONS SUPERFICIELLES .....</b>	<b>LXVIII</b>
<b><u>ANNEXE XII .....</u></b>	<b><u>LXIX</u></b>
<b>ANNEXE XII.A: VALEUR DU FACTEUR DE PORTANCE <math>K_p</math> .....</b>	<b>LXIX</b>
<b>ANNEXE XII.B: COURBE DE FROTTEMENT UNITAIRE LIMITE LE LONG DU FUT DU PIEU .....</b>	<b>LXX</b>
<b>ANNEXE XII.C : CHOIX DES ABAQUES POUR LA DETERMINATION DE <math>Q_s</math> .....</b>	<b>LXXI</b>
<b>ANNEXE XII.D : DETAIL DE CALCUL DE LA RENTABILITE DU PROJET.....</b>	<b>LXXII</b>
<b><u>PLANING D'EXECUTION .....</u></b>	<b><u>LXXVI</u></b>

**ANNEXE I : Localisation du projet (Traversée de la RNS5 sur la rivière Simianona)**



ANNEXE II

ANNEXE II.A. Fonction factorielle d'Euler

FONCTION FACTORIELLE D'EULER  $\Gamma(x)$

x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
1,00	1,00000	1,25	0,90640	1,50	0,88623	1,75	0,91906
01	0,99433	26	0,90440	51	0,88659	76	0,92137
02	0,98884	27	0,90250	52	0,88704	77	0,92376
03	0,98355	28	0,90072	53	0,88757	78	0,92623
04	0,97844	29	0,89904	54	0,88818	79	0,92877
1,05	0,97350	1,30	0,89747	1,55	0,88887	1,80	0,93138
06	0,96874	31	0,89600	56	0,88964	81	0,93408
07	0,96415	32	0,89464	57	0,89049	82	0,93685
08	0,95973	33	0,89338	58	0,89142	83	0,93969
09	0,95546	34	0,89222	59	0,89243	84	0,94261
1,10	0,95135	1,35	0,89115	1,60	0,89352	1,85	0,94561
11	0,94740	36	0,89018	61	0,89468	86	0,94869
12	0,94359	37	0,88931	62	0,89592	87	0,95184
13	0,93993	38	0,88854	63	0,89724	88	0,95507
14	0,93642	39	0,88785	64	0,89864	89	0,95838
1,15	0,93304	1,40	0,88726	1,65	0,90012	1,90	0,96177
16	0,92980	41	0,88676	66	0,90167	91	0,96523
17	0,92670	42	0,88636	67	0,90330	92	0,96877
18	0,92373	43	0,88604	68	0,90500	93	0,97240
19	0,92089	44	0,88581	69	0,90678	94	0,97610
1,20	0,91817	1,45	0,88566	1,70	0,90864	1,95	0,97988
21	0,91558	46	0,88560	71	0,91057	96	0,98374
22	0,91311	47	0,88563	72	0,91258	97	0,98768
23	0,91075	48	0,88575	73	0,91467	98	0,99171
24	0,90852	49	0,88595	74	0,91683	99	0,99581
1,25	0,90640	1,50	0,88623	1,75	0,91906	2,00	1,00000

Les valeurs de la fonction gamma pour  $x < 1$  et  $x > 2$  peuvent être calculées à l'aide des formules :

$$\Gamma(x) = \frac{\Gamma(x + 1)}{x}, \quad \Gamma(x) = (x - 1) \Gamma(x - 1).$$

**Annexe II.B : Valeur de  $F(x)$  par la loi de Pearson III**

$\gamma \backslash F$	0,001	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,995	0,999
.1	.61-30	.59-23	.61-20	.62-17	.59-13	.61-10	.622-7	.359-5	.593-3	.174-1	.694-1	.266	.580	1.12	1.59	2.09	3.36
.2	.65-15	.20-11	.65-10	.209-8	.204-6	.653-5	.209-3	.159-2	.207-1	.121	.264	.605	1.03	1.67	2.20	2.75	4.10
.3	.70-10	.149-7	.150-6	.151-5	.321-4	.324-3	.327-2	.127-1	.731-1	.257	.460	.885	1.37	2.08	2.64	3.22	4.62
.4	.234-7	.131-5	.742-5	.419-4	.415-3	.235-2	.134-1	.375-1	.145	.397	.646	1.13	1.66	2.41	3.00	3.60	5.04
.5	.785-6	.196-4	.785-4	.314-3	.197-2	.790-2	.321-1	.742-1	.227	.537	.821	1.35	1.92	2.71	3.32	3.94	5.41
.6	.829-5	.121-3	.385-3	.122-2	.564-2	.181-1	.588-1	.120	.316	.675	.989	1.56	2.16	2.98	3.61	4.25	5.75
.7	.452-4	.450-3	.121-2	.327-2	.122-1	.331-1	.923-1	.173	.407	.810	1.15	1.76	2.38	3.23	3.88	4.53	6.06
.8	.163-3	.122-2	.290-2	.691-2	.219-1	.530-1	.132	.230	.501	.943	1.31	1.95	2.60	3.47	4.13	4.80	6.36
.9	.445-3	.266-2	.576-2	.125-1	.350-1	.772-1	.179	.292	.597	1.07	1.46	2.13	2.80	3.69	4.37	5.05	6.64
1.0	.100-7	.501-2	.101-1	.202-1	.513-1	.105	.223	.357	.693	1.20	1.61	2.30	3.00	3.91	4.61	5.30	6.91
1.1	.195-2	.847-2	.160-1	.302-1	.708-1	.137	.274	.424	.790	1.33	1.76	2.47	3.19	4.12	4.83	5.53	7.17
1.2	.343-2	.132-1	.236-1	.424-1	.931-1	.172	.328	.494	.888	1.46	1.90	2.64	3.37	4.33	5.05	5.76	7.42
1.3	.556-2	.193-1	.331-1	.569-1	.118	.210	.384	.965	.986	1.58	2.04	2.81	3.55	4.53	5.26	5.99	7.66
1.4	.843-2	.268-1	.443-1	.736-1	.146	.250	.442	.638	1.08	1.71	2.18	2.97	3.73	4.73	5.47	6.21	7.90
1.5	.121-1	.359-1	.574-1	.924-1	.176	.292	.503	.712	1.18	1.83	2.32	3.13	3.91	4.92	5.67	6.42	8.13
1.6	.168-1	.464-1	.723-1	.113	.208	.337	.564	.787	1.28	1.96	2.46	3.28	4.08	5.11	5.87	6.63	8.36
1.7	.224-1	.585-1	.889-1	.136	.242	.383	.628	.863	1.38	2.08	2.59	3.44	4.25	5.29	6.07	6.83	8.58
1.8	.290-1	.720-1	.107	.161	.278	.431	.692	.941	1.48	2.20	2.73	3.59	4.42	5.48	6.26	7.04	8.80
1.9	.367-1	.870-1	.127	.187	.316	.481	.758	1.02	1.58	2.32	2.86	3.74	4.58	5.66	6.45	7.23	9.02
2.0	.454-1	.103	.149	.215	.355	.532	.824	1.10	1.68	2.44	2.99	3.84	4.74	5.83	6.64	7.43	9.23
2.2	.661-1	.141	.196	.279	.438	.638	.961	1.26	1.88	2.68	3.26	4.18	5.06	6.18	7.01	7.81	9.65
2.4	.910-1	.183	.249	.341	.527	.748	1.10	1.42	2.08	2.91	3.52	4.47	5.38	6.53	7.37	8.19	10.1

$\gamma \backslash F$	0,001	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,995	0,999
2.6	.120	.230	.307	.412	.620	.863	1.24	1.58	2.28	3.15	3.77	4.76	5.69	6.86	7.72	8.56	10.5
2.8	.153	.282	.369	.488	.717	.981	1.39	1.75	2.47	3.38	4.03	5.04	5.99	7.19	8.07	8.92	10.8
3.0	.191	.338	.436	.567	.818	1.10	1.54	1.91	2.67	3.62	4.28	5.32	6.30	7.52	8.41	9.27	11.2
3.2	.231	.398	.507	.651	.922	1.23	1.68	2.08	2.87	3.85	4.53	5.60	6.59	7.84	8.74	9.62	11.6
3.4	.276	.461	.581	.738	1.03	1.35	1.84	2.25	3.07	4.08	4.78	5.87	6.89	8.15	9.07	9.97	12.0
3.6	.324	.529	.659	.828	1.14	1.48	1.99	2.42	3.27	4.31	5.02	6.14	7.18	8.47	9.40	10.3	12.3
3.8	.375	.599	.740	.921	1.25	1.61	2.14	2.59	3.47	4.53	5.27	6.41	7.47	8.78	9.72	10.6	12.7
4.0	.429	.672	.823	1.02	1.37	1.74	2.30	2.76	3.67	4.76	5.52	6.68	7.75	9.08	10.0	11.0	13.1
4.2	.485	.748	.910	1.11	1.48	1.88	2.45	2.94	3.87	4.99	5.76	6.95	8.04	9.39	10.4	11.3	13.4
4.4	.545	.827	.999	1.22	1.60	2.02	2.61	3.11	4.07	5.22	6.00	7.21	8.32	9.69	10.7	11.6	13.8
4.6	.607	.908	1.09	1.32	1.72	2.15	2.77	3.28	4.27	5.44	6.24	7.47	8.60	9.99	11.0	12.0	14.1
4.8	.672	.992	1.18	1.42	1.85	2.29	2.93	3.46	4.47	5.67	6.48	7.73	8.88	10.3	11.3	12.3	14.5
5.0	.739	1.08	1.28	1.53	1.97	2.43	3.09	3.63	4.67	5.89	6.72	7.99	9.15	10.6	11.6	12.6	14.8
5.5	.917	1.30	1.53	1.80	2.29	2.79	3.49	4.07	5.17	6.45	7.32	8.64	9.84	11.3	12.4	13.4	15.6
6.0	1.11	1.54	1.79	2.09	2.61	3.15	3.90	4.52	5.67	7.01	7.91	9.27	10.5	12.0	13.1	14.1	16.5
6.5	1.31	1.78	2.05	2.38	2.95	3.52	4.32	4.96	6.17	7.56	8.49	9.91	11.2	12.7	13.8	14.9	17.3
7.0	1.52	2.04	2.33	2.68	3.29	3.89	4.73	5.41	6.67	8.11	9.08	10.5	11.8	13.4	14.6	15.7	18.1
7.5	1.74	2.30	2.61	2.99	3.63	4.27	5.15	5.86	7.17	8.66	9.66	11.2	12.5	14.1	15.3	16.4	18.8
8.0	1.97	2.57	2.91	3.31	3.98	4.66	5.58	6.31	7.67	9.21	10.2	11.8	13.1	14.8	16.0	17.1	19.6
8.5	2.21	2.85	3.20	3.63	4.34	5.04	6.00	6.77	8.17	9.76	10.8	12.4	13.8	15.5	16.7	17.9	20.4
9.0	2.45	3.13	3.51	3.95	4.70	5.43	6.43	7.22	8.67	10.3	11.4	13.0	14.4	16.2	17.4	18.6	21.2
9.5	2.70	3.42	3.82	4.28	5.06	5.83	6.86	7.68	9.17	10.8	12.0	13.6	15.1	16.8	18.1	19.3	21.9
10.0	2.96	3.72	4.13	4.62	5.43	6.22	7.29	8.13	9.67	11.4	12.5	14.2	15.7	17.5	18.8	20.0	22.7
11.0	3.49	4.32	4.77	5.30	6.17	7.02	8.16	9.05	10.7	12.5	13.7	15.4	17.0	18.8	20.1	21.4	24.1
12.0	4.04	4.94	5.43	6.00	6.92	7.83	9.03	9.97	11.7	13.5	14.8	16.6	18.2	20.1	21.5	22.8	25.6
13.0	4.61	5.58	6.10	6.70	7.69	8.65	9.91	10.9	12.7	14.6	15.9	17.8	19.4	21.4	22.8	24.1	27.0
14.0	5.20	6.23	6.78	7.42	8.46	9.47	10.8	11.8	13.7	15.7	17.0	19.0	20.7	22.7	24.1	25.5	28.4
15.0	5.79	6.89	7.48	8.15	9.25	10.3	11.7	12.8	14.7	16.8	18.1	20.1	21.9	24.0	25.4	26.8	29.9
16.0	6.41	7.57	8.18	8.89	10.0	11.1	12.6	13.7	15.7	17.8	19.2	21.3	23.1	25.2	26.7	28.2	31.2
17.0	7.03	8.25	8.89	9.64	10.8	12.8	13.5	14.6	16.7	18.9	20.3	22.5	24.3	26.5	28.0	29.5	32.6

ANNEXE II.B : Valeur de  $F(x)$  par la loi de Pearson III (suite)

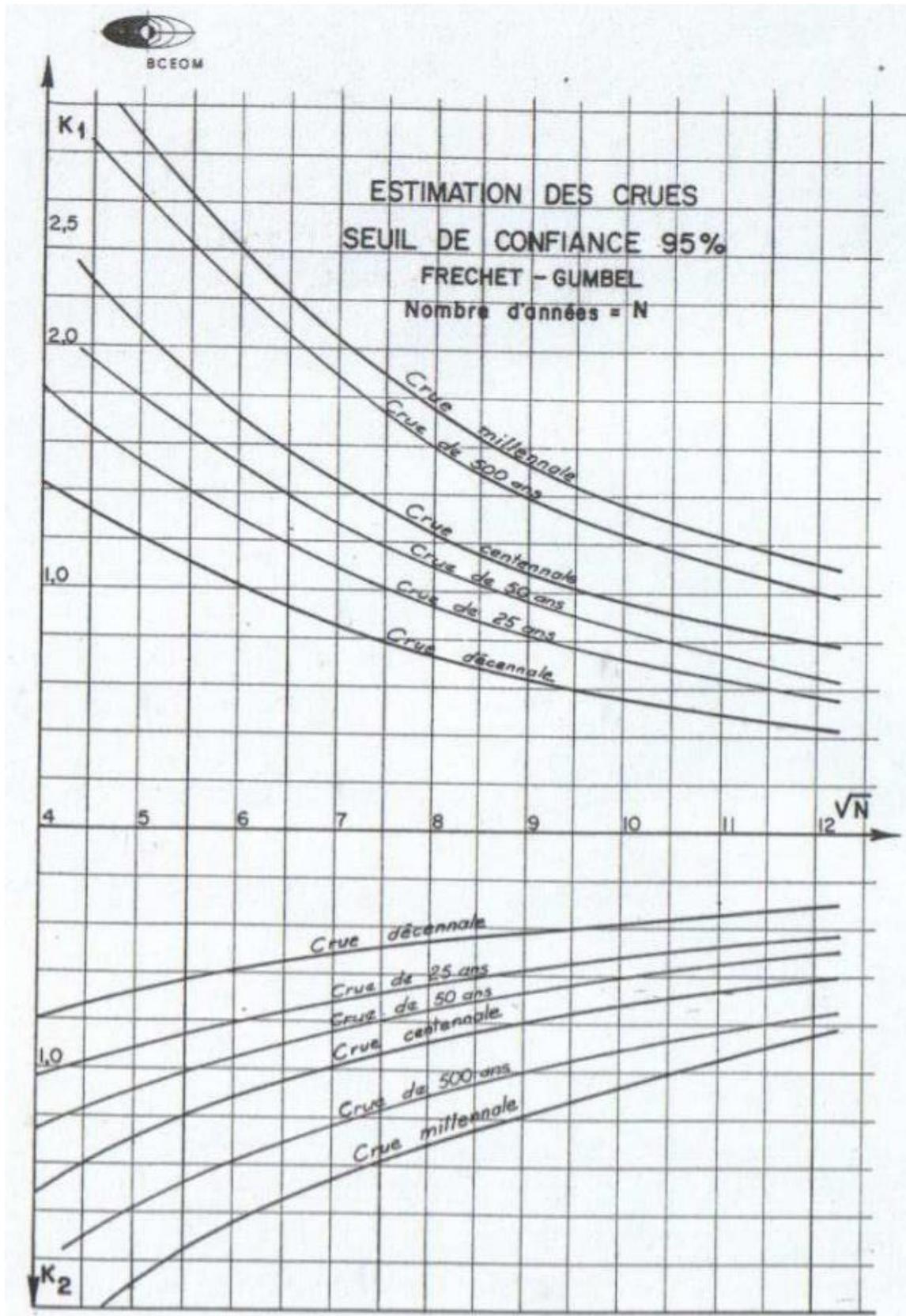
$\gamma$	0,001	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,995	0,999
18.0	7.66	8.94	9.62	10.4	11.6	12.8	14.4	15.6	17.7	20.0	21.4	23.6	25.5	27.7	29.3	30.8	34.0
19.0	8.31	9.64	10.3	11.2	12.4	13.7	15.3	16.5	18.7	21.0	22.5	24.8	26.7	29.0	30.6	32.1	35.4
20.0	8.96	10.4	11.1	11.9	13.3	14.5	16.2	17.4	19.7	22.1	23.6	25.9	27.9	30.2	31.8	33.4	36.7
22.0	10.3	11.8	12.6	13.5	14.9	16.2	18.0	19.3	21.7	24.2	25.8	28.2	30.2	32.7	34.4	35.9	39.4
24.0	11.6	13.3	14.1	15.0	16.5	18.0	19.8	21.2	23.7	26.3	28.0	30.5	32.6	35.1	36.8	38.5	42.0
26.0	13.0	14.7	15.6	16.6	18.2	19.7	21.6	23.1	25.7	28.4	30.2	32.7	34.9	37.5	39.3	41.0	44.6
28.0	14.4	16.2	17.2	18.2	19.9	21.5	23.5	25.0	27.7	30.5	32.3	35.0	37.2	39.9	41.8	43.5	47.2
30.0	15.9	17.8	18.7	19.8	21.6	23.2	25.3	26.9	29.7	32.6	34.5	37.2	39.5	42.3	44.2	46.0	49.8
32.0	17.3	19.3	20.3	21.5	23.3	25.0	27.2	28.8	31.7	34.7	36.6	39.4	41.8	44.7	46.6	48.4	52.4
34.0	18.8	20.9	21.9	23.1	25.0	26.8	29.0	30.7	33.7	36.8	38.8	41.7	44.1	47.0	49.0	50.9	54.9
36.0	20.3	22.4	23.5	24.8	26.7	28.6	30.9	32.6	35.7	38.9	40.9	43.9	46.4	49.4	51.4	53.3	57.4
38.0	21.8	24.0	25.1	26.4	28.5	30.3	32.7	34.5	37.7	41.0	43.1	46.1	48.7	51.7	53.8	55.7	59.9
40.0	23.3	25.6	26.8	28.1	30.2	32.1	34.6	36.5	39.7	43.1	45.2	48.3	50.9	54.0	56.2	58.2	62.4
42.0	27.2	28.4	29.8	33.9	33.9	36.5	38.4	41.7	45.1	47.3	50.5	53.2	56.4	58.5	60.6	64.9	
44.0	26.3	28.8	30.1	31.5	33.7	35.7	38.3	40.3	43.7	47.2	49.5	52.7	55.4	58.7	60.9	63.0	67.4
44.0	26.3	28.8	30.1	31.5	33.7	35.7	38.3	40.3	43.7	47.2	49.5	52.7	55.4	58.7	60.9	63.0	67.4
46.0	27.8	30.4	31.7	33.2	35.4	37.6	40.2	42.2	45.7	49.3	51.6	54.9	57.7	61.0	63.2	65.3	69.8
48.0	29.4	32.0	33.4	34.9	37.2	39.4	42.1	44.1	47.7	51.4	53.7	57.1	59.9	63.3	65.6	67.7	72.3
50.0	31.0	33.7	35.0	36.6	39.0	41.2	44.0	46.1	49.7	53.5	55.8	59.2	62.2	65.6	67.9	70.1	74.7
55.0	34.9	37.8	39.2	40.9	43.4	45.7	48.7	50.9	54.7	58.6	61.1	64.7	67.7	71.3	73.7	76.0	80.8
60.0	38.9	41.9	43.5	45.2	47.9	50.3	53.4	55.7	59.7	63.8	66.4	70.1	73.3	77.0	79.5	81.8	86.8
65.0	42.9	46.1	47.7	49.5	52.3	54.9	58.1	60.5	64.7	69.0	71.7	75.5	78.8	82.6	85.2	87.6	92.8
70.0	47.0	50.3	52.0	53.9	56.8	59.5	62.9	65.4	69.7	74.1	76.9	80.9	84.3	88.2	90.9	93.4	98.7
75.0	51.1	54.6	56.3	58.3	61.3	64.1	67.6	70.2	74.7	79.3	82.2	86.3	89.8	93.8	96.6	99.2	105.
80.0	55.2	58.8	60.7	62.7	65.9	68.8	72.4	75.1	79.7	84.4	87.4	91.7	95.3	99.4	102.	105.	111.
85.0	59.3	63.1	65.0	67.2	70.4	73.4	77.2	79.9	84.7	89.6	92.6	97.0	101.	105.	108.	111.	116.
90.0	63.5	67.4	69.4	71.6	75.0	78.1	81.9	84.8	89.7	94.7	97.9	102.	106.	111.	114.	116.	122.
95.0	67.7	71.8	73.8	76.1	79.6	82.7	86.7	89.7	94.7	99.9	103.	108.	112.	116.	119.	122.	128.
100.0	71.9	76.1	78.2	80.6	84.1	87.4	91.5	94.5	99.7	105.	108.	113.	117.	122.	125.	128.	134.

Les valeurs suivies de  $-m$  sont à multiplier par  $10^{-m}$

Annexe II.C : Table de distribution  $\chi^2$  de Pearson

$\lambda$	0,9995	0,999	0,995	0,990	0,975	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001	0,0005	$\rho$	$\lambda$	
1	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	0,0157	1	1
2	0,0100	0,0200	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	0,211	0,446	0,713	1,02	1,39	1,83	2,41	3,22	4,61	5,99	7,38	9,21	10,6	13,8	15,2	17,7	2	2
3	0,0153	0,0243	0,0153	0,0243	0,0516	0,103	0,211	0,446	0,713	1,02	1,39	1,83	2,41	3,22	4,61	5,99	7,38	9,21	10,6	13,8	15,2	17,7	3	3
4	0,0639	0,0908	0,0639	0,0908	0,207	0,297	0,484	0,711	1,06	1,65	2,19	2,75	3,36	4,04	4,88	5,99	7,78	9,49	11,1	13,3	14,9	18,5	4	4
5	0,158	0,210	0,158	0,210	0,554	0,831	1,15	1,61	2,34	3,00	3,66	4,35	5,13	6,06	7,29	9,24	11,1	12,8	15,1	16,7	20,5	22,1	5	5
6	0,299	0,381	0,299	0,381	0,872	1,24	1,64	2,20	3,07	3,83	4,57	5,35	6,21	7,23	8,56	10,6	12,6	14,4	16,8	18,5	22,5	24,1	6	6
7	0,485	0,598	0,485	0,598	1,24	1,69	2,17	2,83	3,82	4,67	5,49	6,35	7,28	8,38	9,80	12,0	14,1	16,0	18,5	20,3	24,3	26,0	7	7
8	0,710	0,857	0,710	0,857	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	4,59	5,53	6,42	7,34	8,35	9,52	11,0	13,4	15,5	17,5	20,1	22,0	26,1	8	8
9	0,972	1,15	0,972	1,15	2,09	2,70	3,33	4,17	5,38	6,39	7,36	8,34	9,41	10,7	12,2	14,7	16,9	19,0	21,7	23,6	27,9	29,7	9	9
10	1,26	1,48	1,26	1,48	2,56	3,25	3,94	4,87	6,18	7,27	8,30	9,34	10,5	11,8	13,4	16,0	18,3	20,5	23,2	25,2	29,6	31,4	10	10
11	1,59	1,83	1,59	1,83	3,05	3,82	4,57	5,58	6,99	8,15	9,24	10,3	11,5	12,9	14,6	17,3	19,7	21,9	24,7	26,8	31,3	33,1	11	11
12	1,93	2,21	1,93	2,21	3,57	4,40	5,23	6,30	7,81	9,03	10,2	11,3	12,6	14,0	15,8	18,5	21,0	23,3	26,2	28,3	32,9	34,8	12	12
13	2,31	2,62	2,31	2,62	4,11	5,01	5,89	7,04	8,63	9,93	11,1	12,3	13,6	15,1	17,0	19,8	22,4	24,7	27,7	29,8	34,5	36,5	13	13
14	2,70	3,04	2,70	3,04	4,66	5,63	6,57	7,79	9,47	10,8	12,1	13,3	14,7	16,2	18,2	21,1	23,7	26,1	29,1	31,3	36,1	38,1	14	14
15	3,11	3,48	3,11	3,48	5,23	6,26	7,26	8,55	10,3	11,7	13,0	14,3	15,7	17,3	19,3	22,3	25,0	27,5	30,6	32,8	37,7	39,7	15	15
16	3,54	3,94	3,54	3,94	5,81	6,91	7,96	9,31	11,2	12,6	14,0	15,3	16,8	18,4	20,5	23,5	26,3	28,8	32,0	34,3	39,3	41,3	16	16
17	3,98	4,42	3,98	4,42	6,41	7,56	8,67	10,1	12,0	13,5	14,9	16,3	17,8	19,5	21,6	24,8	27,6	30,2	33,4	35,7	40,8	42,9	17	17
18	4,44	4,90	4,44	4,90	7,01	8,23	9,39	10,9	12,9	14,4	15,9	17,3	18,9	20,6	22,8	26,0	28,9	31,5	34,8	37,2	42,3	44,4	18	18
19	4,91	5,41	4,91	5,41	7,63	8,91	10,1	11,7	13,7	15,4	16,9	18,3	19,9	21,7	23,9	27,2	30,1	32,9	36,2	38,6	43,8	46,0	19	19
20	5,40	5,92	5,40	5,92	8,26	9,59	10,9	12,4	14,6	16,3	17,8	19,3	21,0	22,8	25,0	28,4	31,4	34,2	37,6	40,0	45,3	47,5	20	20
21	5,90	6,45	5,90	6,45	8,90	10,3	11,6	13,2	15,4	17,2	18,8	20,3	22,0	23,9	26,2	29,6	32,7	35,5	38,9	41,4	46,8	49,0	21	21
22	6,40	6,98	6,40	6,98	9,54	11,0	12,3	14,0	16,3	18,1	19,7	21,3	23,0	24,9	27,3	30,8	33,9	36,8	40,3	42,8	48,3	50,5	22	22
23	6,92	7,53	6,92	7,53	10,2	11,7	13,1	14,8	17,2	19,0	20,7	22,3	24,1	26,0	28,4	32,0	35,2	38,1	41,6	44,2	49,7	52,0	23	23
24	7,45	8,08	7,45	8,08	10,9	12,4	13,8	15,7	18,1	19,9	21,7	23,3	25,1	27,1	29,6	33,2	36,4	39,4	43,0	45,6	51,2	53,5	24	24
25	7,99	8,65	7,99	8,65	11,5	13,1	14,6	16,5	18,9	20,9	22,6	24,3	26,1	28,2	30,7	34,4	37,7	40,6	44,3	46,9	52,6	54,9	25	25
26	8,54	9,22	8,54	9,22	12,2	13,8	15,4	17,3	19,8	21,8	23,6	25,3	27,2	29,2	31,8	35,6	38,9	41,9	45,6	48,3	54,1	56,4	26	26
27	9,09	9,80	9,09	9,80	12,9	14,6	16,2	18,1	20,7	22,7	24,5	26,3	28,2	30,3	32,9	36,7	40,1	43,2	47,0	49,6	55,5	57,9	27	27
28	9,66	10,4	9,66	10,4	13,6	15,3	16,9	18,9	21,6	23,6	25,5	27,3	29,2	31,4	34,0	37,9	41,3	44,5	48,3	51,0	56,9	59,3	28	28
29	10,2	11,0	10,2	11,0	14,3	16,0	17,7	19,8	22,5	24,6	26,5	28,3	30,3	32,5	35,1	39,1	42,6	45,7	49,6	52,3	58,3	60,7	29	29
30	10,8	11,6	10,8	11,6	15,0	16,8	18,5	20,6	23,4	25,5	27,4	29,3	31,3	33,5	36,3	40,3	43,8	47,0	50,9	53,7	59,7	62,2	30	30

Annexe II.D : Estimation des crues pour un seuil de confiance 95%. FRECHET – GUMBEL



*Annexe II.E : Valeur du coefficient de rugosité K dans la formule de Manning-Strickler (d'après R. E. HORTON 1916, cité par M. CARLIER 1972)*

	Etats des berges et du fond			
	Parfait	Bon	Assez bon	Mauvais
<i>A. Canaux artificiels</i>				
Canaux et fossés en terre, droits et uniformes.....	59	50	44	40
Canaux et fossés avec pierres, lisses et uniformes.....	40	33	30	29
Canaux et fossés avec pierres, rugueux et irréguliers.....	29	25	22	—
Canaux en terre à larges méandres.....	44	40	36	33
Canaux en terre dragués.....	40	36	33	30
Canaux avec lits de pierres rugueuses, herbes sur les rives de terre.....	40	33	29	25
Canaux à fond en terre, côtés avec pierres.....	36	33	30	29
<i>B. Cours d'eau naturels</i>				
1) Propres, rives en ligne droite, l'eau au niveau le plus haut, sans gué ou fosse profonde.....	40	36	33	30
2) Le même que (1) mais avec quelques herbes et pierres.....	33	30	29	25
3) Avec méandres, avec quelques étangs et endroits peu profonds, propres.....	29	25	22	20
4) Le même que (3), l'eau à l'étiage, pente et sections plus faibles.....	25	22	20	18
5) Le même que (3) avec quelques herbes et pierres.....	30	29	25	22
6) Le même que (4) avec pierres.....	22	20	18	17
7) Zones à eau coulant lentement avec herbes ou fosses très profondes.....	20	17	14	13
8) Zones avec beaucoup de mauvaises herbes.....	13	10	8	7

*Annexe II.F :*

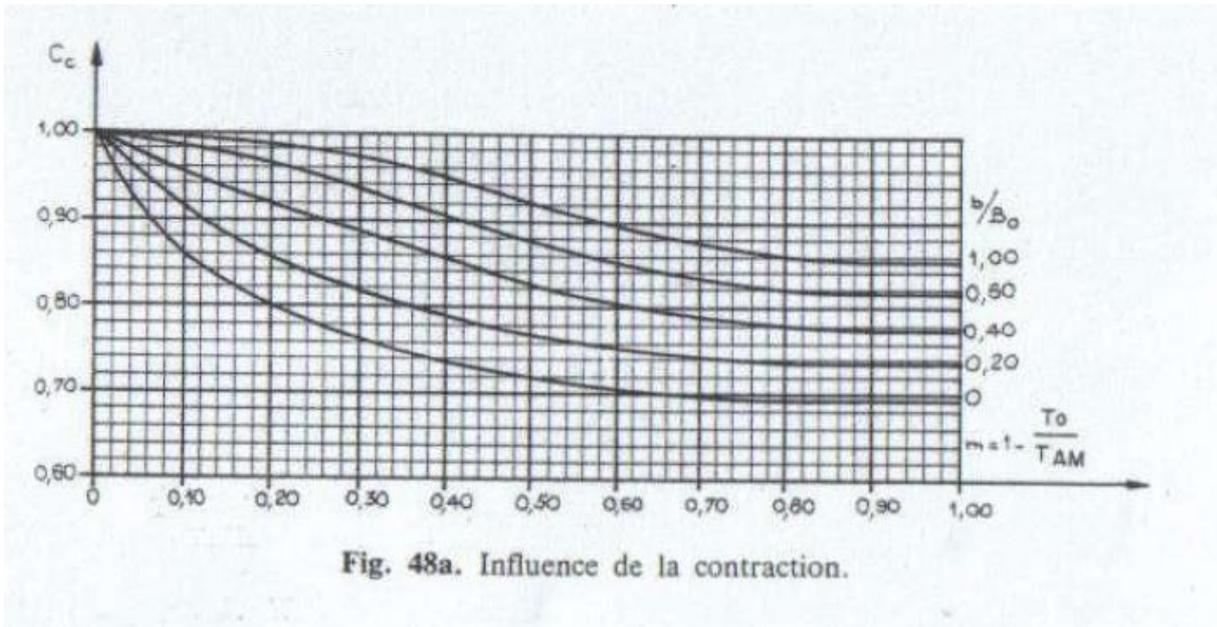
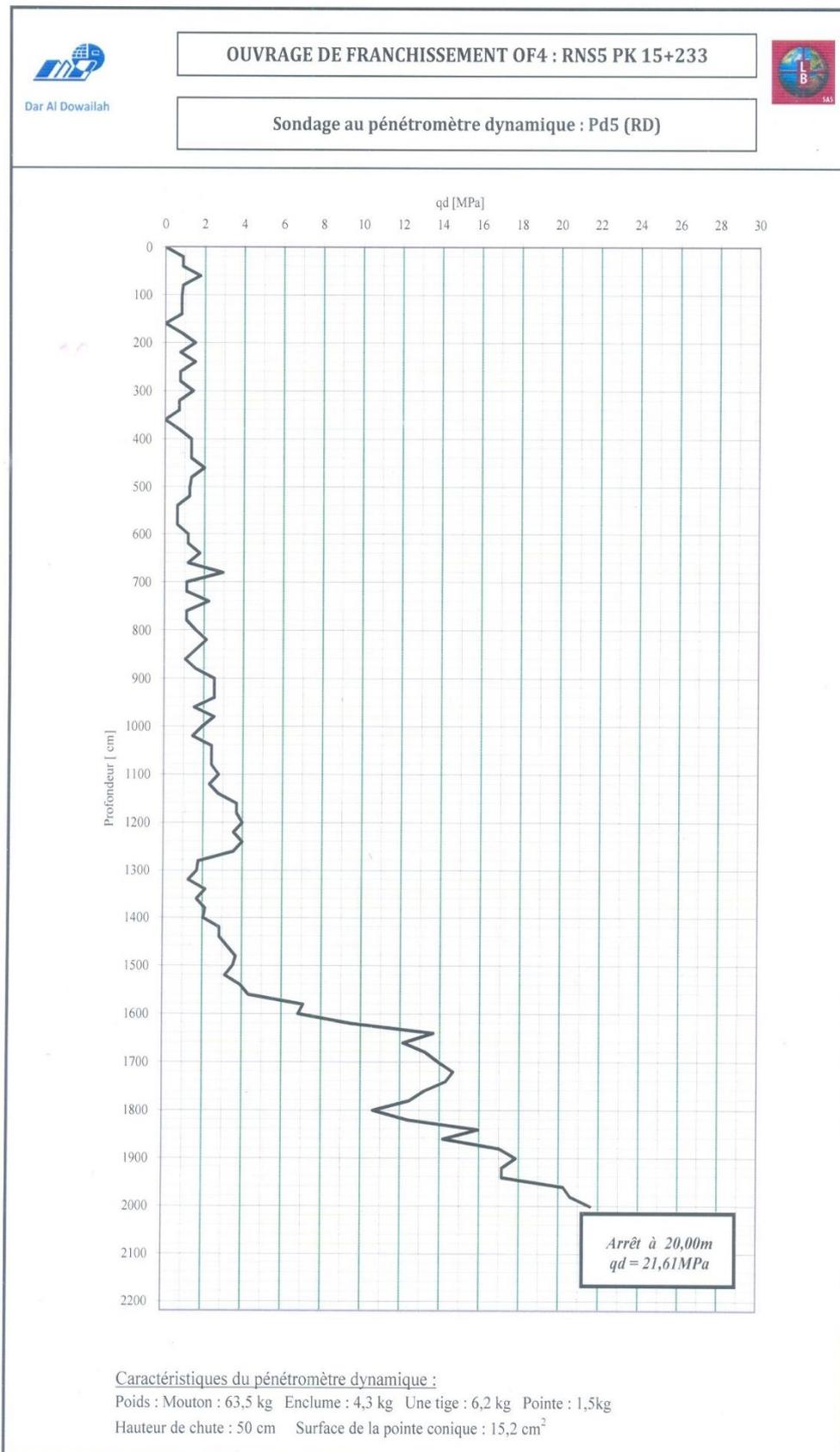


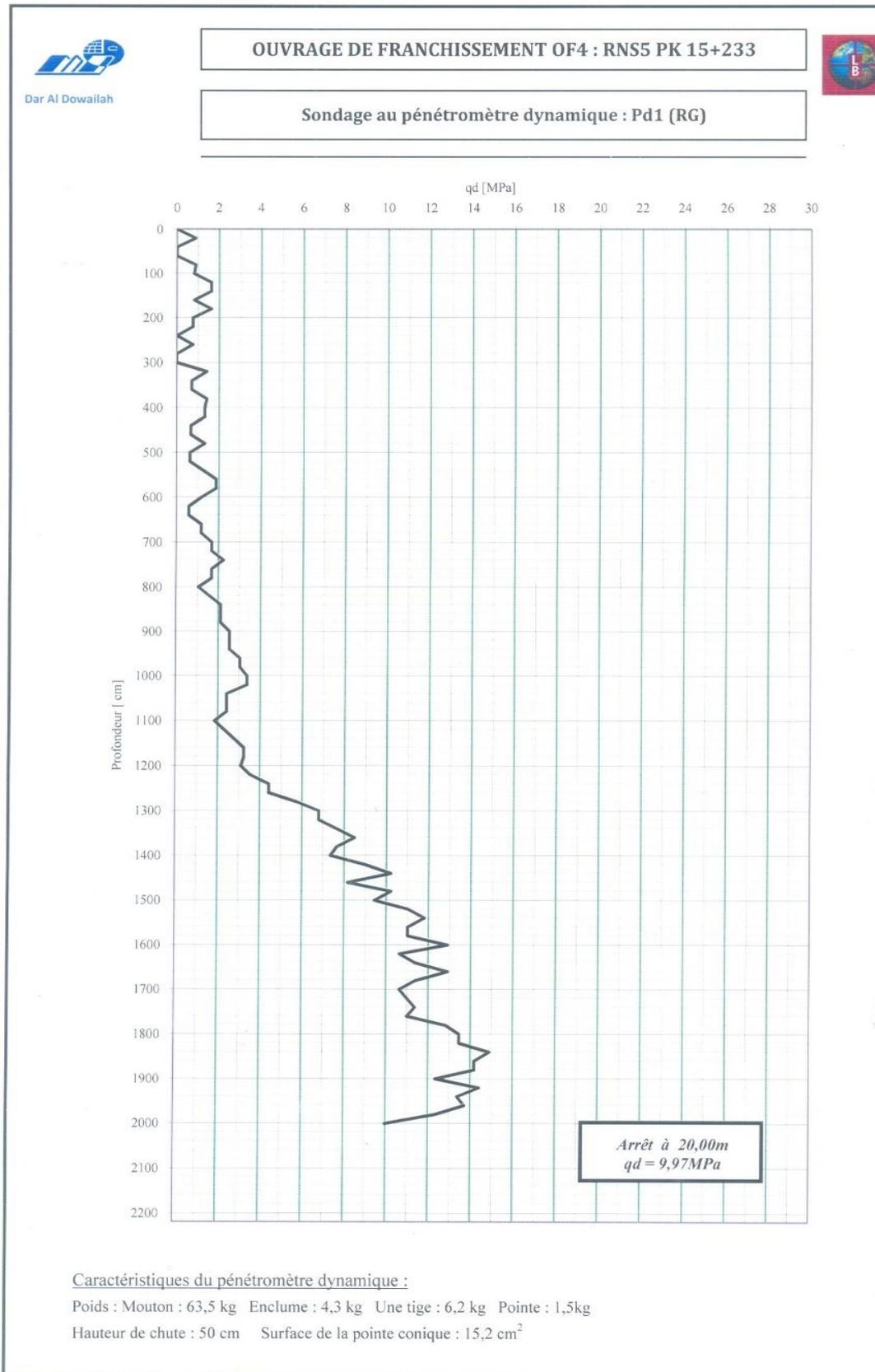
Fig. 48a. Influence de la contraction.

### ANNEXE III

#### ANNEXE III.A : Résultat des essais au pénétromètre dynamique



**ANNEXE III.A : Résultat des essais au pénétromètre dynamique**



**Annexe III.B : Résultats de l'essai au pressiomètre**

		<b>OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT n° 4</b> <b>RNS 5 : PK 15+233</b> <b>SOANIERANA IVONGO – MANANARA NORD</b>	
		<b>SONDAGE PRESSIOMETRIQUE : Pr1</b>	
Prof (m)	COUPE DU SOL	MODULE PRESSIOMETRIQUE E (MPa)	PRESSIION LIMITE PL (MPa)
1	Sable argileux gris	1,04	0,04
2		1,47	0,05
3	Argile sableuse grise	1,45	0,09
4		1,42	0,10
5		1,26	0,13
6	Sable fin à moyen argileux micacé jaune	1,70	0,17
7		1,96	0,20
8		1,92	0,24
9	Sable moyen légèrement argileux micacé jaunâtre	2,14	0,45
10		4,20	0,56
11		6,30	0,72
12		8,04	0,83
13		9,36	0,99
14	Sable moyen à grossier micacé jaunâtre	12,5	1,50
15		12,3	1,30
16		11,8	1,32
17	Argile sableuse compacte jaunâtre	15,8	1,73
18		19,6	1,74
19		20,3	2,05
20		23,7	1,96

Remarques : Zéro sondeur = fond du lit de la rivière

**Annexe III.C : Coupe du sol obtenu par sondage mécanique**

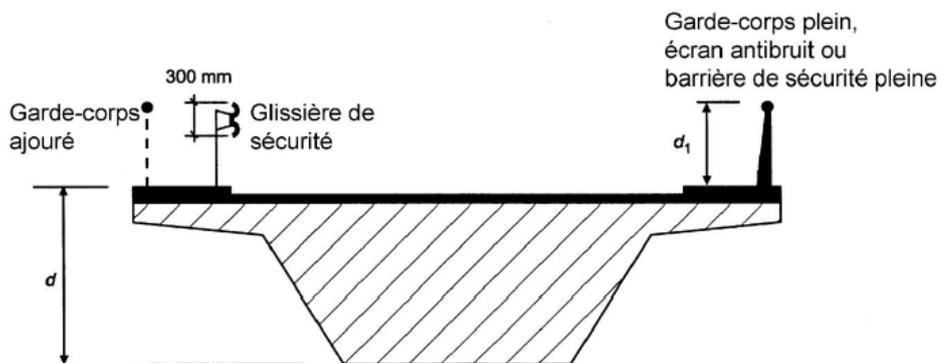
		<p><b>OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT n° 4</b>  <b>RNS 5 : PK 15+233</b>  <b>SOANIERANA IVONGO – MANANARA NORD</b></p>
		
<p><b>SONDAGE MECANIQUE : SM1</b></p>		
Prof (m)	COUPE DU SOL	
0 à 3.00m		Sable argileux gris
3.00 à 6.00m		Argile sableuse grisâtre
6.00 à 9.00m		Sable fin légèrement argileux micacé jaunâtre
9.00 à 12.50m		Sable fin à moyen micacé jaunâtre
12.50 à 18.0m		Sable moyen à grossier micacé jaunâtre
18.0 à 25.0m		Sable fin à moyen compact jaunâtre
<p>Remarques : Zéro sondeur = fond du lit de la rivière</p>		

## ANNEXE IV

**Annexe IV.A : Hauteur à prendre en compte pour le calcul de  $A_{ref,x}$  ( Tableau 8.1 de la norme EN1991-1-4)**

Dispositif de retenue sur la chaussée	sur un côté	des deux côtés
Garde-corps ajouré ou glissière de sécurité	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$
Garde-corps plein ou barrière de sécurité pleine	$d + d_1$	$d + 2 d_1$
Garde-corps ajouré et glissière de sécurité	$d + 0,6 \text{ m}$	$d + 1,2 \text{ m}$

Avec  $d$  la hauteur définie par la figure suivante :



Hauteur à prendre en compte pour le calcul de  $A_{ref,x}$ .

*AnnexeIV.B : Catégorie et paramètre de terrain*

<b>Catégorie de terrain</b>	<b><math>z_0</math></b> [m]	<b><math>z_{min}</math></b> [m]
<b>0</b> Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer	0,003	1
<b>I</b> Lacs ou zone plate et horizontale à végétation négligeable et libre de tous obstacles	0,01	1
<b>II</b> Zone à végétation basse telle que de l'herbe, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments) séparés les uns des autres d'au moins 20 fois leur hauteur	0,05	2
<b>III</b> Zone avec une couverture végétale régulière ou des bâtiments, ou avec des obstacles isolés séparés d'au plus 20 fois leur hauteur (par exemple des villages, des zones suburbaines, des forêts permanentes)	0,3	5
<b>IV</b> Zone dont au moins 15 % de la surface sont recouverts de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m	1,0	10

## ANNEXE V

### ANNEXE V.A : Coefficient correcteur du taux d'accroissement géométrique

$\tau$ [%]	$\alpha$
6	0,73
8	0,85
10	1
12	1,17
15	1,5

### ANNEXE V.B: Coefficient correcteur de durée de vie

Durée de vie	$\beta$
8	0,36
10	0,5
15	1
20	1,8

### ANNEXE V.C: Catégories de trafic en ESE selon la méthode CEBTP

T1	T2	T3	T4	T5
< 500 000 <	< 1 500 000 <	< 4 000 000 <	< 10 000 000 <	

## ANNEXE VI

### ANNEXE VI.A : Efforts en [kN] dans les membrures supérieures de la poutre

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N2	N4	MS1	1	à 3	40,45	Traction	54,60
N4	N6	MS2	3	à 5	-25,19	Compression	-34,01
N6	N8	MS3	5	à 7	15,71	Traction	21,21
N8	N10	MS4	7	à 9	-49,47	Compression	-66,78
N10	N12	MS5	9	à 11	33,73	Traction	45,54
N12	N14	MS6	11	à 13	-20,13	Compression	-27,18
N14	N16	MS7	13	à 15	-13,53	Compression	-18,27
N16	N18	MS8	15	à 17	-144,00	Compression	-194,40
N18	N20	MS9	17	à 19	165,67	Traction	223,65
N20	N22	MS10	19	à 21	131,46	Traction	200,34
N22	N24	MS11	21	à 23	108,51	Traction	168,01
N24	N26	MS12	23	à 25	86,66	Traction	137,18
N26	N28	MS13	25	à 27	65,90	Traction	107,86
N28	N30	MS14	27	à 29	46,24	Traction	80,04
N30	N32	MS15	29	à 31	27,67	Traction	53,73
N32	N34	MS16	31	à 33	10,20	Traction	28,92
N34	N36	MS17	33	à 35	-6,18	Compression	5,62
N36	N38	MS18	35	à 37	-21,47	Compression	-16,18
N38	N40	MS19	37	à 39	-35,66	Compression	-36,47
N40	N42	MS20	39	à 41	-48,75	Compression	-55,26
N42	N44	MS21	41	à 43	-60,76	Compression	-72,55
N44	N46	MS22	43	à 45	-71,66	Compression	-88,33
N46	N48	MS23	45	à 47	-81,48	Compression	-102,60
N48	N50	MS24	47	à 49	-90,20	Compression	-115,37
N50	N52	MS25	49	à 51	-97,82	Compression	-126,63
N52	N54	MS26	51	à 53	-104,35	Compression	-136,39
N54	N56	MS27	53	à 55	-109,79	Compression	-144,65

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N56	N58	MS28	55	à 57	-114,13	Compression	-151,40
N58	N60	MS29	57	à 59	-117,38	Compression	-156,64
N60	N62	MS30	59	à 61	-119,53	Compression	-160,38
N62	N64	MS31	61	à 63	-120,59	Compression	-162,62
N64	N66	MS32	63	à 65	-120,55	Compression	-163,35
N66	N68	MS33	65	à 67	-119,42	Compression	-162,58
N68	N70	MS34	67	à 69	-117,19	Compression	-160,30
N70	N72	MS35	69	à 71	-113,87	Compression	-156,51
N72	N74	MS36	71	à 73	-109,46	Compression	-151,22
N74	N76	MS37	73	à 75	-103,95	Compression	-144,43
N76	N78	MS38	75	à 77	-97,35	Compression	-136,13
N78	N80	MS39	77	à 79	-89,65	Compression	-126,33
N80	N82	MS40	79	à 81	-80,86	Compression	-115,02
N82	N84	MS41	81	à 83	-70,98	Compression	-102,21
N84	N86	MS42	83	à 85	-60,00	Compression	-87,89
N86	N88	MS43	85	à 87	-47,92	Compression	-72,07
N88	N90	MS44	87	à 89	-34,75	Compression	-54,74
N90	N92	MS45	89	à 91	-20,49	Compression	-35,91
N92	N94	MS46	91	à 93	-5,13	Compression	-15,58
N94	N96	MS47	93	à 95	11,32	Traction	6,26
N96	N98	MS48	95	à 97	28,87	Traction	29,61
N98	N100	MS49	97	à 99	47,51	Traction	54,46
N100	N102	MS50	99	à 101	67,25	Traction	80,82
N102	N104	MS51	101	à 103	88,08	Traction	108,68
N104	N106	MS52	103	à 105	110,00	Traction	138,04
N106	N108	MS53	105	à 107	15,71	Traction	21,21
N108	N110	MS54	107	à 109	157,13	Traction	201,29
N110	N112	MS55	109	à 111	182,34	Traction	235,17
N112	N114	MS56	111	à 113	208,64	Traction	270,55

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N114	N116	MS57	113	à 115	236,04	Traction	307,44
N116	N118	MS58	115	à 117	264,53	Traction	345,83
N118	N120	MS59	117	à 119	294,11	Traction	385,73
N120	N122	MS60	119	à 121	315,43	Traction	414,49
N122	N124	MS61	121	à 123	294,11	Traction	385,73
N124	N126	MS62	123	à 125	264,53	Traction	345,83
N126	N128	MS63	125	à 127	236,04	Traction	307,44
N128	N130	MS64	127	à 129	208,64	Traction	270,55
N130	N132	MS65	129	à 131	182,34	Traction	235,17
N132	N134	MS66	131	à 133	157,13	Traction	201,29
N134	N136	MS67	133	à 135	133,02	Traction	168,91
N136	N138	MS68	135	à 137	110,00	Traction	138,04
N138	N140	MS69	137	à 139	88,08	Traction	108,68
N140	N142	MS70	139	à 141	67,25	Traction	80,82
N142	N144	MS71	141	à 143	47,51	Traction	54,46
N144	N146	MS72	143	à 145	28,87	Traction	29,61
N146	N148	MS73	145	à 147	11,32	Traction	6,26
N148	N150	MS74	147	à 149	-5,13	Compression	-15,58
N150	N152	MS75	149	à 151	-20,49	Compression	-35,91
N152	N154	MS76	151	à 153	-34,75	Compression	-54,74
N154	N156	MS77	153	à 155	-47,92	Compression	-72,07
N156	N158	MS78	155	à 157	-60,00	Compression	-87,89
N158	N160	MS79	157	à 159	-70,98	Compression	-102,21
N160	N162	MS80	159	à 161	-80,86	Compression	-115,02
N162	N164	MS81	161	à 163	-89,65	Compression	-126,33
N164	N166	MS82	163	à 165	-97,35	Compression	-136,13
N166	N168	MS83	165	à 167	-103,95	Compression	-144,43
N168	N170	MS84	167	à 169	-109,46	Compression	-151,22
N170	N172	MS85	169	à 171	-113,87	Compression	-156,51

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N172	N174	MS86	171	à 173	-117,19	Compression	-160,30
N174	N176	MS87	173	à 175	-119,42	Compression	-162,58
N176	N178	MS88	175	à 177	-120,55	Compression	-163,35
N178	N180	MS89	177	à 179	-120,59	Compression	-162,62
N180	N182	MS90	179	à 181	-119,53	Compression	-160,38
N182	N184	MS91	181	à 183	-117,38	Compression	-156,64
N184	N186	MS92	183	à 185	-114,13	Compression	-151,40
N186	N188	MS93	185	à 187	-109,79	Compression	-144,65
N188	N190	MS94	187	à 189	-104,35	Compression	-136,39
N190	N192	MS95	189	à 191	-97,82	Compression	-126,63
N192	N194	MS96	191	à 193	-90,20	Compression	-115,37
N194	N196	MS97	193	à 195	-81,48	Compression	-102,60
N196	N198	MS98	195	à 197	-71,66	Compression	-88,33
N198	N200	MS99	197	à 199	-60,76	Compression	-72,55
N200	N202	MS100	199	à 201	-48,75	Compression	-55,26
N202	N204	MS101	201	à 203	-35,66	Compression	-36,47
N204	N206	MS102	203	à 205	-21,47	Compression	-16,18
N206	N208	MS103	205	à 207	-6,18	Compression	5,62
N208	N210	MS104	207	à 209	10,20	Traction	28,92
N210	N212	MS105	209	à 211	27,67	Traction	53,73
N212	N214	MS106	211	à 213	46,24	Traction	80,04
N214	N216	MS107	213	à 215	65,90	Traction	107,86
N216	N218	MS108	215	à 217	86,66	Traction	137,18
N218	N220	MS109	217	à 219	108,51	Traction	168,01
N220	N222	MS110	219	à 221	131,46	Traction	200,34

**ANNEXE VI.B : Efforts en [kN] dans les membrures inférieures de la poutre**

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)	ELS	Conclusion	ELU
N1	N3	MI1	0 à 2	37,36	Traction	50,43
N3	N5	MI2	2 à 4	9,27	Traction	12,51
N5	N7	MI3	4 à 6	-3,10	Compression	-4,18
N7	N9	MI4	6 à 8	0,26	Traction	0,35
N9	N11	MI5	8 à 10	9,27	Traction	12,51
N11	N13	MI6	10 à 12	23,93	Traction	32,31
N13	N15	MI7	12 à 14	0,30	Traction	0,41
N15	N17	MI8	14 à 16	-61,63	Compression	-83,21
N17	N19	MI9	16 à 18	97,97	Traction	132,26
N19	N21	MI10	18 à 20	12,43	Traction	16,79
N21	N23	MI11	20 à 22	119,85	Traction	183,98
N23	N25	MI12	22 à 24	97,45	Traction	152,40
N25	N27	MI13	24 à 26	76,15	Traction	122,33
N27	N29	MI14	26 à 28	55,94	Traction	93,76
N29	N31	MI15	28 à 30	36,82	Traction	66,70
N31	N33	MI16	30 à 32	18,80	Traction	41,14
N33	N35	MI17	32 à 34	1,87	Traction	17,08
N35	N37	MI18	34 à 36	-13,96	Compression	-5,47
N37	N39	MI19	36 à 38	-28,70	Compression	-26,52
N39	N41	MI20	38 à 40	-42,34	Compression	-46,06
N41	N43	MI21	40 à 42	-54,89	Compression	-64,09
N43	N45	MI22	42 à 44	-66,35	Compression	-80,62
N45	N47	MI23	44 à 46	-76,71	Compression	-95,65
N47	N49	MI24	46 à 48	-85,97	Compression	-109,17

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N49	N51	MI25	48	à 50	-94,15	Compression	-121,19
N51	N53	MI26	50	à 52	-101,22	Compression	-131,70
N53	N55	MI27	52	à 54	-107,21	Compression	-140,71
N55	N57	MI28	54	à 56	-112,09	Compression	-148,21
N57	N59	MI29	56	à 58	-115,89	Compression	-154,21
N59	N61	MI30	58	à 60	-118,59	Compression	-158,70
N61	N63	MI31	60	à 62	-120,19	Compression	-161,69
N63	N65	MI32	62	à 64	-120,70	Compression	-163,17
N65	N67	MI33	64	à 66	-120,12	Compression	-163,15
N67	N69	MI34	66	à 68	-118,44	Compression	-161,62
N69	N71	MI35	68	à 70	-115,67	Compression	-158,59
N71	N73	MI36	70	à 72	-111,80	Compression	-154,06
N73	N75	MI37	72	à 74	-106,84	Compression	-148,02
N75	N77	MI38	74	à 76	-103,95	Compression	-144,43
N77	N79	MI39	76	à 78	-100,79	Compression	-140,47
N79	N81	MI40	78	à 80	-93,64	Compression	-131,42
N81	N83	MI41	80	à 82	-85,39	Compression	-120,86
N83	N85	MI42	82	à 84	-76,06	Compression	-108,80
N85	N87	MI43	84	à 86	-65,62	Compression	-95,24
N87	N89	MI44	86	à 88	-54,09	Compression	-80,17
N89	N91	MI45	88	à 90	-41,47	Compression	-63,60
N91	N93	MI46	90	à 92	-27,76	Compression	-45,52
N93	N95	MI47	92	à 94	-12,95	Compression	-25,93
N95	N97	MI48	94	à 96	2,96	Traction	-4,84
N97	N99	MI49	96	à 98	19,96	Traction	17,75
N99	N101	MI50	98	à 100	38,05	Traction	41,85
N101	N103	MI51	100	à 102	57,24	Traction	67,45
N103	N105	MI52	102	à 104	77,52	Traction	94,56
N105	N107	MI53	104	à 106	98,90	Traction	123,17

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N107	N109	MI54	106	à 108	121,37	Traction	153,29
N109	N111	MI55	108	à 110	144,94	Traction	184,91
N111	N113	MI56	110	à 112	169,60	Traction	218,04
N113	N115	MI57	112	à 114	195,35	Traction	252,67
N115	N117	MI58	114	à 116	222,20	Traction	288,81
N117	N119	MI59	116	à 118	250,15	Traction	326,45
N119	N121	MI60	118	à 120	279,18	Traction	365,60
N121	N123	MI61	120	à 122	315,56	Traction	414,68
N123	N125	MI62	122	à 124	315,56	Traction	414,68
N125	N127	MI63	124	à 126	279,18	Traction	365,60
N127	N129	MI64	126	à 128	250,15	Traction	326,45
N129	N131	MI65	128	à 130	222,20	Traction	288,81
N131	N133	MI66	130	à 132	195,35	Traction	252,67
N133	N135	MI67	132	à 134	169,60	Traction	218,04
N135	N137	MI68	134	à 136	144,94	Traction	184,91
N137	N139	MI69	136	à 138	121,37	Traction	153,29
N139	N141	MI70	138	à 140	98,90	Traction	123,17
N141	N143	MI71	140	à 142	77,52	Traction	94,56
N143	N145	MI72	142	à 144	57,24	Traction	67,45
N145	N147	MI73	144	à 146	38,05	Traction	41,85
N147	N149	MI74	146	à 148	19,96	Traction	17,75
N149	N151	MI75	148	à 150	2,96	Traction	-4,84
N151	N153	MI76	150	à 152	-12,95	Compression	-25,93
N153	N155	MI77	152	à 154	-27,76	Compression	-45,52
N155	N157	MI78	154	à 156	-54,09	Compression	-80,17
N157	N159	MI79	156	à 158	-65,62	Compression	-95,24
N159	N161	MI80	158	à 160	-76,06	Compression	-108,80
N161	N163	MI81	160	à 162	-85,39	Compression	-120,86
N163	N165	MI82	162	à 164	-93,64	Compression	-131,42

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N165	N167	MI83	164	à 166	-100,79	Compression	-140,47
N167	N169	MI84	166	à 168	-106,84	Compression	-148,02
N169	N171	MI85	168	à 170	-111,80	Compression	-154,06
N171	N173	MI86	170	à 172	-115,67	Compression	-158,59
N173	N175	MI87	172	à 174	-118,44	Compression	-161,62
N175	N177	MI88	174	à 176	-120,12	Compression	-163,15
N177	N179	MI89	176	à 178	-120,70	Compression	-163,17
N179	N181	MI90	178	à 180	-120,19	Compression	-161,69
N181	N183	MI91	180	à 182	-118,59	Compression	-158,70
N183	N185	MI92	182	à 184	-115,89	Compression	-154,21
N185	N187	MI93	184	à 186	-112,09	Compression	-148,21
N187	N189	MI94	186	à 188	-107,21	Compression	-140,71
N189	N191	MI95	188	à 190	-101,22	Compression	-131,70
N191	N193	MI96	190	à 192	-94,15	Compression	-121,19
N193	N195	MI97	192	à 194	-85,97	Compression	-109,17
N195	N197	MI98	194	à 196	-76,71	Compression	-95,65
N197	N199	MI99	196	à 198	-66,35	Compression	-80,62
N199	N201	MI100	198	à 200	-54,89	Compression	-64,09
N201	N203	MI101	200	à 202	-42,34	Compression	-46,06
N203	N205	MI102	202	à 204	-28,70	Compression	-26,52
N205	N207	MI103	204	à 206	-13,96	Compression	-5,47
N207	N209	MI104	206	à 208	1,87	Traction	17,08
N209	N211	MI105	208	à 210	18,80	Traction	41,14
N211	N213	MI106	210	à 212	36,82	Traction	66,70
N213	N215	MI107	212	à 214	55,94	Traction	93,76
N215	N217	MI108	214	à 216	76,15	Traction	122,33
N217	N219	MI109	216	à 218	97,45	Traction	152,40
N219	N221	MI110	218	à 220	119,85	Traction	183,98

**ANNEXE VI.C : Efforts en [kN] dans les diagonales de la poutre**

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)	ELS	Conclusion	ELU
N1	N2	D1	0 à 1	99,78	Traction	134,70
N2	N3	D2	1 à 2	37,03	Traction	49,99
N3	N4	D3	2 à 3	-25,72	Compression	-34,72
N4	N5	D4	3 à 4	-88,46	Compression	-119,43
N5	N6	D5	4 à 5	128,57	Traction	173,56
N6	N7	D6	5 à 6	65,82	Traction	88,85
N7	N8	D7	6 à 7	3,07	Traction	4,14
N8	N9	D8	7 à 8	-59,68	Compression	-80,56
N9	N10	D9	8 à 9	138,92	Traction	187,55
N10	N11	D10	9 à 10	76,18	Traction	102,84
N11	N12	D11	10 à 11	13,43	Traction	18,13
N12	N13	D12	11 à 12	-49,32	Compression	-66,58
N13	N14	D13	12 à 13	68,79	Traction	92,87
N14	N15	D14	13 à 14	6,04	Traction	8,16
N15	N16	D15	14 à 15	-56,70	Compression	-76,55
N16	N17	D16	15 à 16	-119,45	Compression	-161,26
N17	N18	D17	16 à 17	474,45	Traction	640,51
N18	N19	D18	17 à 18	411,71	Traction	555,80
N19	N20	D19	18 à 19	348,96	Traction	471,09
N20	N21	D20	19 à 20	-568,33	Compression	-767,25

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N21	N22	D21	20	à 21	-21,51	Compression	-30,29
N22	N23	D22	21	à 22	-21,01	Compression	-29,60
N23	N24	D23	22	à 23	-20,51	Compression	-28,91
N24	N25	D24	23	à 24	-20,01	Compression	-28,22
N25	N26	D25	24	à 25	-19,51	Compression	-27,54
N26	N27	D26	25	à 26	-19,01	Compression	-26,85
N27	N28	D27	26	à 27	-18,50	Compression	-26,16
N28	N29	D28	27	à 28	-18,00	Compression	-25,47
N29	N30	D29	28	à 29	-17,50	Compression	-24,78
N30	N31	D30	29	à 30	-17,00	Compression	-24,09
N31	N32	D31	30	à 31	-16,50	Compression	-23,40
N32	N33	D32	31	à 32	-16,00	Compression	-22,71
N33	N34	D33	32	à 33	-15,50	Compression	-22,02
N34	N35	D34	33	à 34	-15,00	Compression	-21,34
N35	N36	D35	34	à 35	-14,50	Compression	-20,65
N36	N37	D36	35	à 36	-13,99	Compression	-19,96
N37	N38	D37	36	à 37	-13,49	Compression	-19,27
N38	N39	D38	37	à 38	-12,99	Compression	-18,58
N39	N40	D39	38	à 39	-12,49	Compression	-17,89
N40	N41	D40	39	à 40	-11,99	Compression	-17,20
N41	N42	D41	40	à 41	-11,49	Compression	-16,51
N42	N43	D42	41	à 42	-10,99	Compression	-15,82
N43	N44	D43	42	à 43	-10,49	Compression	-15,14
N44	N45	D44	43	à 44	-9,99	Compression	-14,45
N45	N46	D45	44	à 45	-9,49	Compression	-13,76
N46	N47	D46	45	à 46	-8,98	Compression	-13,07
N47	N48	D47	46	à 47	-8,48	Compression	-12,38
N48	N49	D48	47	à 48	-7,98	Compression	-11,69
N49	N50	D49	48	à 49	-7,48	Compression	-11,00

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N50	N51	D50	49	à 50	-6,98	Compression	-10,31
N51	N52	D51	50	à 51	-6,48	Compression	-9,62
N52	N53	D52	51	à 52	-5,98	Compression	-8,94
N53	N54	D53	52	à 53	-5,48	Compression	-8,25
N54	N55	D54	53	à 54	-4,98	Compression	-7,56
N55	N56	D55	54	à 55	-4,48	Compression	-6,87
N56	N57	D56	55	à 56	-3,97	Compression	-6,18
N57	N58	D57	56	à 57	-3,47	Compression	-5,49
N58	N59	D58	57	à 58	-2,97	Compression	-4,80
N59	N60	D59	58	à 59	-2,47	Compression	-4,11
N60	N61	D60	59	à 60	-1,97	Compression	-3,42
N61	N62	D61	60	à 61	-1,47	Compression	-2,74
N62	N63	D62	61	à 62	-0,97	Compression	-2,05
N63	N64	D63	62	à 63	-0,47	Compression	-1,36
N64	N65	D64	63	à 64	0,03	Traction	-0,67
N65	N66	D65	64	à 65	0,53	Traction	0,02
N66	N67	D66	65	à 66	1,04	Traction	0,71
N67	N68	D67	66	à 67	1,54	Traction	1,40
N68	N69	D68	67	à 68	2,04	Traction	2,09
N69	N70	D69	68	à 69	2,54	Traction	2,78
N70	N71	D70	69	à 70	3,04	Traction	3,46
N71	N72	D71	70	à 71	3,54	Traction	4,15
N72	N73	D72	71	à 72	4,04	Traction	4,84
N73	N74	D73	72	à 73	4,54	Traction	5,53
N74	N75	D74	73	à 74	5,04	Traction	6,22
N75	N76	D75	74	à 75	5,54	Traction	6,91
N76	N77	D76	75	à 76	6,05	Traction	7,60
N77	N78	D77	76	à 77	6,55	Traction	8,29
N78	N79	D78	77	à 78	7,05	Traction	8,98

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N79	N80	D79	78	à 79	7,55	Traction	9,66
N80	N81	D80	79	à 80	8,05	Traction	10,35
N81	N82	D81	80	à 81	8,55	Traction	11,04
N82	N83	D82	81	à 82	9,05	Traction	11,73
N83	N84	D83	82	à 83	9,55	Traction	12,42
N84	N85	D84	83	à 84	10,05	Traction	13,11
N85	N86	D85	84	à 85	10,55	Traction	13,80
N86	N87	D86	85	à 86	11,06	Traction	14,49
N87	N88	D87	86	à 87	11,56	Traction	15,18
N88	N89	D88	87	à 88	12,06	Traction	15,86
N89	N90	D89	88	à 89	12,56	Traction	16,55
N90	N91	D90	89	à 90	13,06	Traction	17,24
N91	N92	D91	90	à 91	13,56	Traction	17,93
N92	N93	D92	91	à 92	14,06	Traction	18,62
N93	N94	D93	92	à 93	14,56	Traction	19,31
N94	N95	D94	93	à 94	15,06	Traction	20,00
N95	N96	D95	94	à 95	15,56	Traction	20,69
N96	N97	D96	95	à 96	16,07	Traction	21,38
N97	N98	D97	96	à 97	16,57	Traction	22,06
N98	N99	D98	97	à 98	17,07	Traction	22,75
N99	N100	D99	98	à 99	17,57	Traction	23,44
N100	N101	D100	99	à 100	18,07	Traction	24,13
N101	N102	D101	100	à 101	18,57	Traction	24,82
N102	N103	D102	101	à 102	19,07	Traction	25,51
N103	N104	D103	102	à 103	19,57	Traction	26,20
N104	N105	D104	103	à 104	20,07	Traction	26,89
N105	N106	D105	104	à 105	20,57	Traction	27,58
N106	N107	D106	105	à 106	21,08	Traction	28,26
N107	N108	D107	106	à 107	21,58	Traction	28,95

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N108	N109	D108	107	à 108	22,08	Traction	29,64
N109	N110	D109	108	à 109	22,58	Traction	30,33
N110	N111	D110	109	à 110	23,08	Traction	31,02
N111	N112	D111	110	à 111	23,58	Traction	31,71
N112	N113	D112	111	à 112	24,08	Traction	32,40
N113	N114	D113	112	à 113	24,58	Traction	33,09
N114	N115	D114	113	à 114	25,08	Traction	33,78
N115	N116	D115	114	à 115	25,58	Traction	34,46
N116	N117	D116	115	à 116	26,09	Traction	35,15
N117	N118	D117	116	à 117	26,59	Traction	35,84
N118	N119	D118	117	à 118	27,09	Traction	36,53
N119	N120	D119	118	à 119	27,59	Traction	37,22
N120	N121	D120	119	à 120	28,09	Traction	37,91
N121	N122	D121	120	à 121	0,00	Traction	0,00
N122	N123	D122	121	à 122	-28,09	Compression	-37,91
N123	N124	D123	122	à 123	-27,59	Compression	-37,22
N124	N125	D124	123	à 124	-27,09	Compression	-36,53
N125	N126	D125	124	à 125	-26,59	Compression	-35,84
N126	N127	D126	125	à 126	-26,09	Compression	-35,15
N127	N128	D127	126	à 127	-25,58	Compression	-34,46
N128	N129	D128	127	à 128	-25,08	Compression	-33,78
N129	N130	D129	128	à 129	-24,58	Compression	-33,09
N130	N131	D130	129	à 130	-24,08	Compression	-32,40
N131	N132	D131	130	à 131	-23,58	Compression	-31,71
N132	N133	D132	131	à 132	-23,08	Compression	-31,02
N133	N134	D133	132	à 133	-22,58	Compression	-30,33
N134	N135	D134	133	à 134	-22,08	Compression	-29,64
N135	N136	D135	134	à 135	-21,58	Compression	-28,95
N136	N137	D136	135	à 136	-21,08	Compression	-28,26

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N137	N138	D137	136	à 137	-20,57	Compression	-27,58
N138	N139	D138	137	à 138	-20,07	Compression	-26,89
N139	N140	D139	138	à 139	-19,57	Compression	-26,20
N140	N141	D140	139	à 140	-19,07	Compression	-25,51
N141	N142	D141	140	à 141	-18,57	Compression	-24,82
N142	N143	D142	141	à 142	-18,07	Compression	-24,13
N143	N144	D143	142	à 143	-17,57	Compression	-23,44
N144	N145	D144	143	à 144	-17,07	Compression	-22,75
N145	N146	D145	144	à 145	-16,57	Compression	-22,06
N146	N147	D146	145	à 146	-16,07	Compression	-21,38
N147	N148	D147	146	à 147	-15,56	Compression	-20,69
N148	N149	D148	147	à 148	-15,06	Compression	-20,00
N149	N150	D149	148	à 149	-14,56	Compression	-19,31
N150	N151	D150	149	à 150	-14,06	Compression	-18,62
N151	N152	D151	150	à 151	-13,56	Compression	-17,93
N152	N153	D152	151	à 152	-13,06	Compression	-17,24
N153	N154	D153	152	à 153	-12,56	Compression	-16,55
N154	N155	D154	153	à 154	-12,06	Compression	-15,86
N155	N156	D155	154	à 155	-11,56	Compression	-15,18
N156	N157	D156	155	à 156	-11,06	Compression	-14,49
N157	N158	D157	156	à 157	-10,55	Compression	-13,80
N158	N159	D158	157	à 158	-10,05	Compression	-13,11
N159	N160	D159	158	à 159	-9,55	Compression	-12,42
N160	N161	D160	159	à 160	-9,05	Compression	-11,73
N161	N162	D161	160	à 161	-8,55	Compression	-11,04
N162	N163	D162	161	à 162	-8,05	Compression	-10,35
N163	N164	D163	162	à 163	-7,55	Compression	-9,66
N164	N165	D164	163	à 164	-7,05	Compression	-8,98
N165	N166	D165	164	à 165	-6,55	Compression	-8,29

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N166	N167	D166	165	à 166	-6,05	Compression	-7,60
N167	N168	D167	166	à 167	-5,54	Compression	-6,91
N168	N169	D168	167	à 168	-5,04	Compression	-6,22
N169	N170	D169	168	à 169	-4,54	Compression	-5,53
N170	N171	D170	169	à 170	-4,04	Compression	-4,84
N171	N172	D171	170	à 171	-3,54	Compression	-4,15
N172	N173	D172	171	à 172	-3,04	Compression	-3,46
N173	N174	D173	172	à 173	-2,54	Compression	-2,78
N174	N175	D174	173	à 174	-2,04	Compression	-2,09
N175	N176	D175	174	à 175	-1,54	Compression	-1,40
N176	N177	D176	175	à 176	-1,04	Compression	-0,71
N177	N178	D177	176	à 177	-0,53	Compression	-0,02
N178	N179	D178	177	à 178	-0,03	Compression	0,67
N179	N180	D179	178	à 179	0,47	Traction	1,36
N180	N181	D180	179	à 180	0,97	Traction	2,05
N181	N182	D181	180	à 181	1,47	Traction	2,74
N182	N183	D182	181	à 182	1,97	Traction	3,42
N183	N184	D183	182	à 183	2,47	Traction	4,11
N184	N185	D184	183	à 184	2,97	Traction	4,80
N185	N186	D185	184	à 185	3,47	Traction	5,49
N186	N187	D186	185	à 186	3,97	Traction	6,18
N187	N188	D187	186	à 187	4,48	Traction	6,87
N188	N189	D188	187	à 188	4,98	Traction	7,56
N189	N190	D189	188	à 189	5,48	Traction	8,25
N190	N191	D190	189	à 190	5,98	Traction	8,94
N191	N192	D191	190	à 191	6,48	Traction	9,62
N192	N193	D192	191	à 192	6,98	Traction	10,31
N193	N194	D193	192	à 193	7,48	Traction	11,00
N194	N195	D194	193	à 194	7,98	Traction	11,69

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère global)		ELS	Conclusion	ELU
N195	N196	D195	194	à 195	8,48	Traction	12,38
N196	N197	D196	195	à 196	8,98	Traction	13,07
N197	N198	D197	196	à 197	9,49	Traction	13,76
N198	N199	D198	197	à 198	9,99	Traction	14,45
N199	N200	D199	198	à 199	10,49	Traction	15,14
N200	N201	D200	199	à 200	10,99	Traction	15,82
N201	N202	D201	200	à 201	11,49	Traction	16,51
N202	N203	D202	201	à 202	11,99	Traction	17,20
N203	N204	D203	202	à 203	12,49	Traction	17,89
N204	N205	D204	203	à 204	12,99	Traction	18,58
N205	N206	D205	204	à 205	13,49	Traction	19,27
N206	N207	D206	205	à 206	13,99	Traction	19,96
N207	N208	D207	206	à 207	14,50	Traction	20,65
N208	N209	D208	207	à 208	15,00	Traction	21,34
N209	N210	D209	208	à 209	15,50	Traction	22,02
N210	N211	D210	209	à 210	16,00	Traction	22,71
N211	N212	D211	210	à 211	16,50	Traction	23,40
N212	N213	D212	211	à 212	17,00	Traction	24,09
N213	N214	D213	212	à 213	17,50	Traction	24,78
N214	N215	D214	213	à 214	18,00	Traction	25,47
N215	N216	D215	214	à 215	18,50	Traction	26,16
N216	N217	D216	215	à 216	19,01	Traction	26,85
N217	N218	D217	216	à 217	19,51	Traction	27,54
N218	N219	D218	217	à 218	20,01	Traction	28,22
N219	N220	D219	218	à 219	20,51	Traction	28,91
N220	N221	D220	219	à 220	21,01	Traction	29,60

**ANNEXE VI.D: Efforts en [kN] dans les membrures supérieures de l'arc**

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère local)		ELS	Conclusion	ELU
N0	N2	MS1	1,02	2,04	819,71	Traction	1254,84
N2	N4	MS2	2,04	6,12	590,86	Traction	932,22
N4	N6	MS3	6,12	10,2	312,66	Traction	539,07
N6	N8	MS4	10,2	14,28	65,22	Traction	188,22
N8	N10	MS5	14,28	18,36	-151,45	Compression	-120,33
N10	N12	MS6	18,36	22,44	-337,35	Compression	-386,57
N12	N14	MS7	22,44	26,52	-492,48	Compression	-610,51
N14	N16	MS8	26,52	30,6	-616,84	Compression	-792,15
N16	N18	MS9	30,6	34,68	-710,43	Compression	-931,49
N18	N20	MS10	34,68	38,76	-773,26	Compression	-1028,53
N20	N22	MS11	38,76	42,84	-805,31	Compression	-1083,26
N22	N24	MS12	42,84	46,92	-806,60	Compression	-1095,69
N24	N26	MS13	46,92	51	-777,11	Compression	-1065,83
N26	N28	MS14	51	55,08	-716,86	Compression	-993,66
N28	N30	MS15	55,08	59,16	-625,84	Compression	-879,18
N30	N32	MS16	59,16	63,24	-504,05	Compression	-722,41
N32	N34	MS17	63,24	67,32	-351,49	Compression	-523,33
N34	N36	MS18	67,32	71,4	-168,16	Compression	-281,96
N36	N38	MS19	71,4	75,48	45,94	Traction	1,72
N38	N40	MS20	75,48	79,56	290,80	Traction	327,70
N40	N42	MS21	79,56	83,64	566,44	Traction	695,98
N42	N44	MS22	83,64	87,72	872,84	Traction	1106,57
N44	N46	MS23	87,72	91,8	1210,02	Traction	1559,45
N46	N48	MS24	91,8	95,88	1577,96	Traction	2054,64
N48	N50	MS25	95,88	99,96	1976,67	Traction	2592,13
N50	N52	MS26	99,96	104,04	2128,57	Traction	2797,10
N52	N54	MS27	104,04	108,12	1781,29	Traction	2328,65
N54	N56	MS28	108,12	112,2	1397,36	Traction	1811,48
N56	N58	MS29	112,2	116,28	1044,20	Traction	1336,61

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère local)		ELS	Conclusion	ELU
N58	N60	MS30	116,28	120,36	721,81	Traction	904,05
N60	N62	MS31	120,36	124,44	430,18	Traction	513,78
N62	N64	MS32	124,44	128,52	169,33	Traction	165,82
N64	N66	MS33	128,52	132,6	-60,75	Compression	-139,84
N66	N68	MS34	132,6	136,68	-260,07	Compression	-403,19
N68	N70	MS35	136,68	140,76	-428,62	Compression	-624,25
N70	N72	MS36	140,76	144,84	-566,40	Compression	-803,00
N72	N74	MS37	144,84	148,92	-673,41	Compression	-939,45
N74	N76	MS38	148,92	153	-749,65	Compression	-1033,61
N76	N78	MS39	153	157,08	-795,12	Compression	-1085,45
N78	N80	MS40	157,08	161,16	-809,82	Compression	-1095,00
N80	N82	MS41	161,16	165,24	-793,75	Compression	-1062,25
N82	N84	MS42	165,24	169,32	-746,92	Compression	-987,19
N84	N86	MS43	169,32	173,4	-669,31	Compression	-869,83
N86	N88	MS44	173,4	177,48	-560,94	Compression	-710,17
N88	N90	MS45	177,48	181,56	-421,79	Compression	-508,21
N90	N92	MS46	181,56	185,64	-251,88	Compression	-263,95
N92	N94	MS47	185,64	189,72	-51,20	Compression	22,62
N94	N96	MS48	189,72	193,8	180,25	Traction	351,48
N96	N98	MS49	193,8	197,88	442,47	Traction	722,65
N98	N100	MS50	197,88	200	735,45	Traction	1136,12

**ANNEXE VI.E : Efforts en [kN] dans les membrures inférieures de l'arc**

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère local)		ELS	Conclusion	ELU
N1	N3	MI1	0	4,08	741,51	Traction	1144,65
N3	N5	MI2	4,08	8,16	447,92	Traction	730,35
N5	N7	MI3	8,16	12,24	185,09	Traction	358,36
N7	N9	MI4	12,24	16,32	-46,96	Compression	28,66
N9	N11	MI5	16,32	20,4	-248,24	Compression	-258,74

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère local)		ELS	Conclusion	ELU
N11	N13	MI6	20,4	24,48	-418,76	Compression	-503,83
N13	N15	MI7	24,48	28,56	-558,51	Compression	-706,62
N15	N17	MI8	28,56	32,64	-667,48	Compression	-867,11
N17	N19	MI9	32,64	36,72	-745,69	Compression	-985,30
N19	N21	MI10	36,72	40,8	-793,13	Compression	-1061,18
N21	N23	MI11	40,8	44,88	-809,80	Compression	-1094,77
N23	N25	MI12	44,88	48,96	-795,70	Compression	-1086,05
N25	N27	MI13	48,96	53,04	-750,83	Compression	-1035,03
N27	N29	MI14	53,04	57,12	-675,20	Compression	-941,71
N29	N31	MI15	57,12	61,2	-568,79	Compression	-806,08
N31	N33	MI16	61,2	65,28	-431,61	Compression	-628,16
N33	N35	MI17	65,28	69,36	-263,67	Compression	-407,93
N35	N37	MI18	69,36	73,44	-64,96	Compression	-145,41
N37	N39	MI19	73,44	77,52	164,52	Traction	159,42
N39	N41	MI20	77,52	81,6	424,77	Traction	506,56
N41	N43	MI21	81,6	85,68	715,79	Traction	895,99
N43	N45	MI22	85,68	89,76	1037,58	Traction	1327,72
N45	N47	MI23	89,76	93,84	1390,14	Traction	1801,76
N47	N49	MI24	93,84	97,92	1773,47	Traction	2318,10
N49	N51	MI25	97,92	102	2128,57	Traction	2797,10
N51	N53	MI26	102	106,08	1984,79	Traction	2603,09
N53	N55	MI27	106,08	110,16	1585,48	Traction	2064,77
N55	N57	MI28	110,16	114,24	1216,93	Traction	1568,76
N57	N59	MI29	114,24	118,32	879,16	Traction	1115,04
N59	N61	MI30	118,32	122,4	572,15	Traction	703,63
N61	N63	MI31	122,4	126,48	295,91	Traction	334,52
N63	N65	MI32	126,48	130,56	50,44	Traction	7,71
N65	N67	MI33	130,56	134,64	-164,26	Compression	-276,80
N67	N69	MI34	134,64	138,72	-348,19	Compression	-519,01
N69	N71	MI35	138,72	142,8	-501,35	Compression	-718,91

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère local)		ELS	Conclusion	ELU
N71	N73	MI36	142,8	146,88	-623,75	Compression	-876,52
N73	N75	MI37	146,88	150,96	-715,37	Compression	-991,82
N75	N77	MI38	150,96	155,04	-749,65	Compression	-1033,61
N77	N79	MI39	155,04	159,12	-776,23	Compression	-1064,82
N79	N81	MI40	159,12	163,2	-806,31	Compression	-1095,52
N81	N83	MI41	163,2	167,28	-805,63	Compression	-1083,91
N83	N85	MI42	167,28	171,36	-774,18	Compression	-1030,01
N85	N87	MI43	171,36	175,44	-711,96	Compression	-933,80
N87	N89	MI44	175,44	179,52	-618,97	Compression	-795,29
N89	N91	MI45	179,52	183,6	-495,21	Compression	-614,48
N91	N93	MI46	183,6	187,68	-340,69	Compression	-391,37
N93	N95	MI47	187,68	191,76	-155,39	Compression	-125,95
N95	N97	MI48	191,76	195,84	60,68	Traction	181,76
N97	N99	MI49	195,84	199,92	307,51	Traction	531,78

**ANNEXE VI.F : Efforts en [kN] dans les diagonales de l'arc**

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère local)		ELS	Conclusion	ELU
N0	N1	D1	0	2,04	-274,48	Compression	-387,90
N1	N2	D2	2,04	4,08	-262,71	Compression	-371,66
N2	N3	D3	4,08	6,12	-250,82	Compression	-355,26
N3	N4	D4	6,12	8,16	-238,82	Compression	-338,70
N4	N5	D5	8,16	10,2	-226,71	Compression	-322,00
N5	N6	D6	10,2	12,24	-214,48	Compression	-305,14
N6	N7	D7	12,24	14,28	-202,15	Compression	-288,13
N7	N8	D8	14,28	16,32	-189,70	Compression	-270,98
N8	N9	D9	16,32	18,36	-177,15	Compression	-253,68
N9	N10	D10	18,36	20,4	-164,48	Compression	-236,23
N10	N11	D11	20,4	22,44	-151,71	Compression	-218,63
N11	N12	D12	22,44	24,48	-138,84	Compression	-200,89
N12	N13	D13	24,48	26,52	-125,86	Compression	-183,02
N13	N14	D14	26,52	28,56	-112,78	Compression	-165,00
N14	N15	D15	28,56	30,6	-99,59	Compression	-146,85
N15	N16	D16	30,6	32,64	-86,31	Compression	-128,57
N16	N17	D17	32,64	34,68	-72,94	Compression	-110,16
N17	N18	D18	34,68	36,72	-59,47	Compression	-91,62

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère local)		ELS	Conclusion	ELU
N18	N19	D19	36,72	38,76	-45,91	Compression	-72,96
N19	N20	D20	38,76	40,8	-32,26	Compression	-54,18
N20	N21	D21	40,8	42,84	-18,52	Compression	-35,28
N21	N22	D22	42,84	44,88	-4,71	Compression	-16,28
N22	N23	D23	44,88	46,92	9,19	Traction	2,84
N23	N24	D24	46,92	48,96	23,16	Traction	22,05
N24	N25	D25	48,96	51	37,20	Traction	41,37
N25	N26	D26	51	53,04	51,32	Traction	60,77
N26	N27	D27	53,04	55,08	65,49	Traction	80,26
N27	N28	D28	55,08	57,12	79,73	Traction	99,83
N28	N29	D29	57,12	59,16	94,02	Traction	119,48
N29	N30	D30	59,16	61,2	108,36	Traction	139,20
N30	N31	D31	61,2	63,24	122,75	Traction	158,98
N31	N32	D32	63,24	65,28	137,19	Traction	178,82
N32	N33	D33	65,28	67,32	151,66	Traction	198,71
N33	N34	D34	67,32	69,36	166,16	Traction	218,65
N34	N35	D35	69,36	71,4	180,69	Traction	238,62
N35	N36	D36	71,4	73,44	195,25	Traction	258,62
N36	N37	D37	73,44	75,48	209,82	Traction	278,65
N37	N38	D38	75,48	77,52	224,40	Traction	298,69
N38	N39	D39	77,52	79,56	239,00	Traction	318,74
N39	N40	D40	79,56	81,6	253,59	Traction	338,80
N40	N41	D41	81,6	83,64	268,18	Traction	358,84
N41	N42	D42	83,64	85,68	282,76	Traction	378,88
N42	N43	D43	85,68	87,72	297,32	Traction	398,89
N43	N44	D44	87,72	89,76	311,86	Traction	418,88
N44	N45	D45	89,76	91,8	326,38	Traction	438,83
N45	N46	D46	91,8	93,84	340,86	Traction	458,74
N46	N47	D47	93,84	95,88	355,31	Traction	478,60
N47	N48	D48	95,88	97,92	369,71	Traction	498,39
N48	N49	D49	97,92	99,96	384,06	Traction	518,13
N49	N50	D50	99,96	102	-0,28	Compression	-0,38
N50	N51	D51	102	104,04	-384,63	Compression	-518,90
N51	N52	D52	104,04	106,08	-370,27	Compression	-499,17
N52	N53	D53	106,08	108,12	-355,87	Compression	-479,37
N53	N54	D54	108,12	110,16	-341,43	Compression	-459,52
N54	N55	D55	110,16	112,2	-326,95	Compression	-439,61
N55	N56	D56	112,2	114,24	-312,43	Compression	-419,66
N56	N57	D57	114,24	116,28	-297,89	Compression	-399,68
N57	N58	D58	116,28	118,32	-283,33	Compression	-379,66
N58	N59	D59	118,32	120,36	-268,75	Compression	-359,63
N59	N60	D60	120,36	122,4	-254,16	Compression	-339,58
N60	N61	D61	122,4	124,44	-239,57	Compression	-319,53

Nœuds		Barres	Abscisse x [m] (repère local)		ELS	Conclusion	ELU
N61	N62	D62	124,44	126,48	-224,98	Compression	-299,48
N62	N63	D63	126,48	128,52	-210,39	Compression	-279,43
N63	N64	D64	128,52	130,56	-195,82	Compression	-259,41
N64	N65	D65	130,56	132,6	-181,26	Compression	-239,40
N65	N66	D66	132,6	134,64	-166,73	Compression	-219,43
N66	N67	D67	134,64	136,68	-152,23	Compression	-199,49
N67	N68	D68	136,68	138,72	-137,75	Compression	-179,60
N68	N69	D69	138,72	140,76	-123,32	Compression	-159,76
N69	N70	D70	140,76	142,8	-108,93	Compression	-139,97
N70	N71	D71	142,8	144,84	-94,58	Compression	-120,25
N71	N72	D72	144,84	146,88	-80,29	Compression	-100,60
N72	N73	D73	146,88	148,92	-66,05	Compression	-81,03
N73	N74	D74	148,92	150,96	-51,87	Compression	-61,53
N74	N75	D75	150,96	153	-37,76	Compression	-42,12
N75	N76	D76	153	155,04	-23,71	Compression	-22,81
N76	N77	D77	155,04	157,08	-9,74	Compression	-3,59
N77	N78	D78	157,08	159,12	4,16	Traction	15,53
N78	N79	D79	159,12	161,16	17,98	Traction	34,54
N79	N80	D80	161,16	163,2	31,72	Traction	53,44
N80	N81	D81	163,2	165,24	45,37	Traction	72,22
N81	N82	D82	165,24	167,28	58,94	Traction	90,89
N82	N83	D83	167,28	169,32	72,41	Traction	109,43
N83	N84	D84	169,32	171,36	85,79	Traction	127,85
N84	N85	D85	171,36	173,4	99,07	Traction	146,14
N85	N86	D86	173,4	175,44	112,26	Traction	164,29
N86	N87	D87	175,44	177,48	125,35	Traction	182,31
N87	N88	D88	177,48	179,52	138,33	Traction	200,20
N88	N89	D89	179,52	181,56	151,21	Traction	217,94
N89	N90	D90	181,56	183,6	163,99	Traction	235,54
N90	N91	D91	183,6	185,64	176,65	Traction	252,99
N91	N92	D92	185,64	187,68	189,21	Traction	270,30
N92	N93	D93	187,68	189,72	201,66	Traction	287,46
N93	N94	D94	189,72	191,76	214,00	Traction	304,48
N94	N95	D95	191,76	193,8	226,23	Traction	321,34
N95	N96	D96	193,8	195,84	238,35	Traction	338,05
N96	N97	D97	195,84	197,88	250,35	Traction	354,61
N97	N98	D98	197,88	200	262,24	Traction	371,02

**ANNEXE VI.G: Efforts de traction en [kN] dans les suspentes  $S_i$**

<b>Nœuds</b>	<b>Suspentes</b>	<b>Abscisse x[m] (repère global)</b>	<b>ELS</b>	<b>ELU</b>	<b>Conclusion</b>
N33	S1	32	176,20	240,91	Traction
N37	S2	36	179,48	245,43	Traction
N41	S3	40	182,77	249,94	Traction
N45	S4	44	186,05	254,46	Traction
N49	S5	48	189,33	258,97	Traction
N53	S6	52	192,62	263,48	Traction
N57	S7	56	195,90	268,00	Traction
N61	S8	60	199,18	272,51	Traction
N65	S9	64	202,46	277,03	Traction
N69	S10	68	205,75	281,54	Traction
N73	S11	72	209,03	286,06	Traction
N77	S12	76	212,31	290,57	Traction
N81	S13	80	215,60	295,09	Traction
N85	S14	84	218,88	299,60	Traction
N89	S15	88	222,16	304,11	Traction
N93	S16	92	225,45	308,63	Traction
N97	S17	96	228,73	313,14	Traction
N101	S18	100	232,01	317,66	Traction
N105	S19	104	235,30	322,17	Traction
N109	S20	108	238,58	326,69	Traction
N113	S21	112	241,86	331,20	Traction
N117	S22	116	245,15	335,72	Traction
N121	S23	120	925,01	1253,61	Traction
N125	S24	124	158,03	218,28	Traction
N129	S25	128	161,32	222,79	Traction
N133	S26	132	164,60	227,30	Traction
N137	S27	136	167,88	231,82	Traction
N141	S28	140	171,17	236,33	Traction
N145	S29	144	174,45	240,85	Traction
N149	S30	148	177,73	245,36	Traction
N153	S31	152	181,02	249,88	Traction
N157	S32	156	184,30	254,39	Traction
N161	S33	160	187,58	258,91	Traction
N165	S34	164	190,86	263,42	Traction
N169	S35	168	194,15	267,93	Traction
N173	S36	172	197,43	272,45	Traction
N177	S37	176	200,71	276,96	Traction
N181	S38	180	204,00	281,48	Traction
N185	S39	184	207,28	285,99	Traction
N189	S40	188	210,56	290,51	Traction
N193	S41	192	213,85	295,02	Traction

Nœuds	Suspentes	Abscisse x[m] (repère global)	ELS	ELU	Conclusion
N197	S42	196	217,13	299,54	Traction
N201	S43	200	220,41	304,05	Traction
N205	S44	204	223,70	308,56	Traction
N209	S45	208	226,98	313,08	Traction

*ANNEXE VI.H : Sollicitation des potelets  $P_i$  qui s'appuient directement au sol*

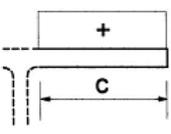
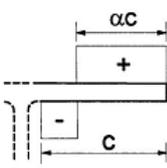
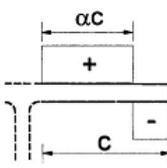
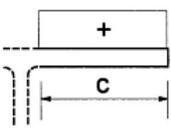
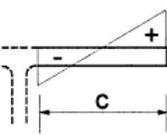
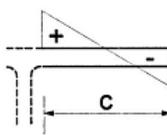
Nœuds	Potelets	Abscisse x[m] (repère global)	ELS			ELU		
			Moments[kN.m]	Effort normal[kN]		Moments[kN.m]	Effort normal[kN]	
				Max	Min		Max	Min
N5	P1	4	-979,8	847,9	96	-1 322,73	1 144,665	129,6
N9	P2	8	3 507,87	106,6	-1147,3	4 735,6245	143,91	-1 548,8
N13	P3	12	-13 462,5	4 418	2 120,3	-18 174,375	5 964,3	2 862,405
N17	P4	16	49 932,09	-7 514	-16 374	67 408,3215	-10 143,9	-22 104,9

# ANNEXE VII

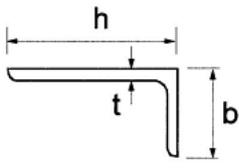
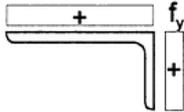
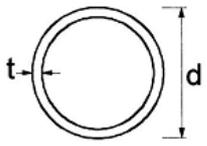
## ANNEXE VII.A: Rapport largeur-épaisseur maximaux pour les parois comprimées (1/3)

Parois comprimées internes						
Classe	Paroi fléchie	Paroi comprimée	Paroi fléchie et comprimée			
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	lorsque $\alpha > 0,5$ : $d/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha-1}$ lorsque $\alpha \leq 0,5$ : $d/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	lorsque $\alpha > 0,5$ : $d/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha-1}$ lorsque $\alpha \leq 0,5$ : $d/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	lorsque $\psi > -1$ : $d/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ lorsque $\psi \leq -1$ *) : $d/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

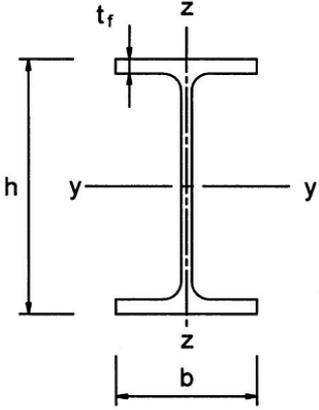
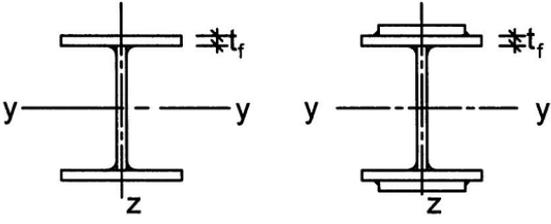
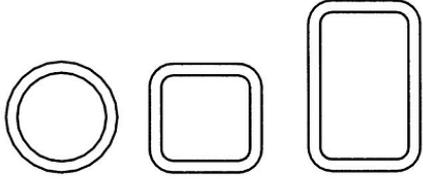
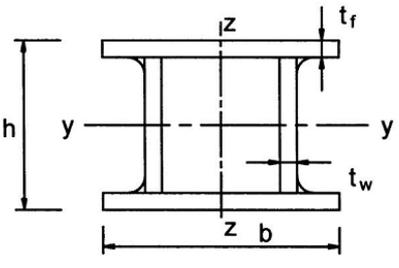
## ANNEXE VII.A : Rapport largeur-épaisseur maximaux pour les parois comprimées (2/3)

Semelles en console						
Classe	Paroi comprimée	Paroi fléchie et comprimée				
		Extrémité comprimée		Extrémité tendue		
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ Pour $k_\sigma$ , voir l'EN 1993-1-5				
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

**ANNEXE VII.A : Rapport largeur-épaisseur maximum pour les parois comprimées (3/3)**

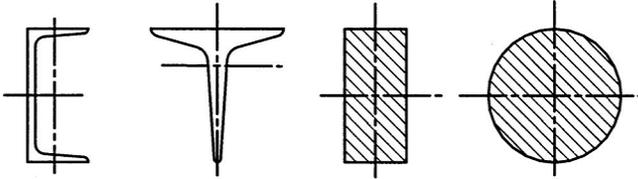
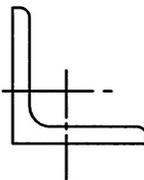
<p>Consulter également «Semelles en console» (voir feuille 2 sur 3)</p>		<p style="text-align: center;"><b>Cornières</b></p> 		<p style="text-align: center;">Ne s'applique pas aux cornières en contact continu avec d'autres composants</p>				
Classe	Section comprimée							
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)								
3	$h/t \leq 15\epsilon$ et $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\epsilon$							
<p style="text-align: center;"><b>Sections tubulaires</b></p> 								
Classe	Section fléchie et/ou comprimée							
1	$d/t \leq 50\epsilon^2$							
2	$d/t \leq 70\epsilon^2$							
3	$d/t \leq 90\epsilon^2$							
NOTE : Pour $d/t > 90\epsilon^2$ , voir l'EN 1993-1-6.								
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460		
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71		
	$\epsilon^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51		

**Annexe VII.B : Choix de courbe de flambement pour une section transversale**

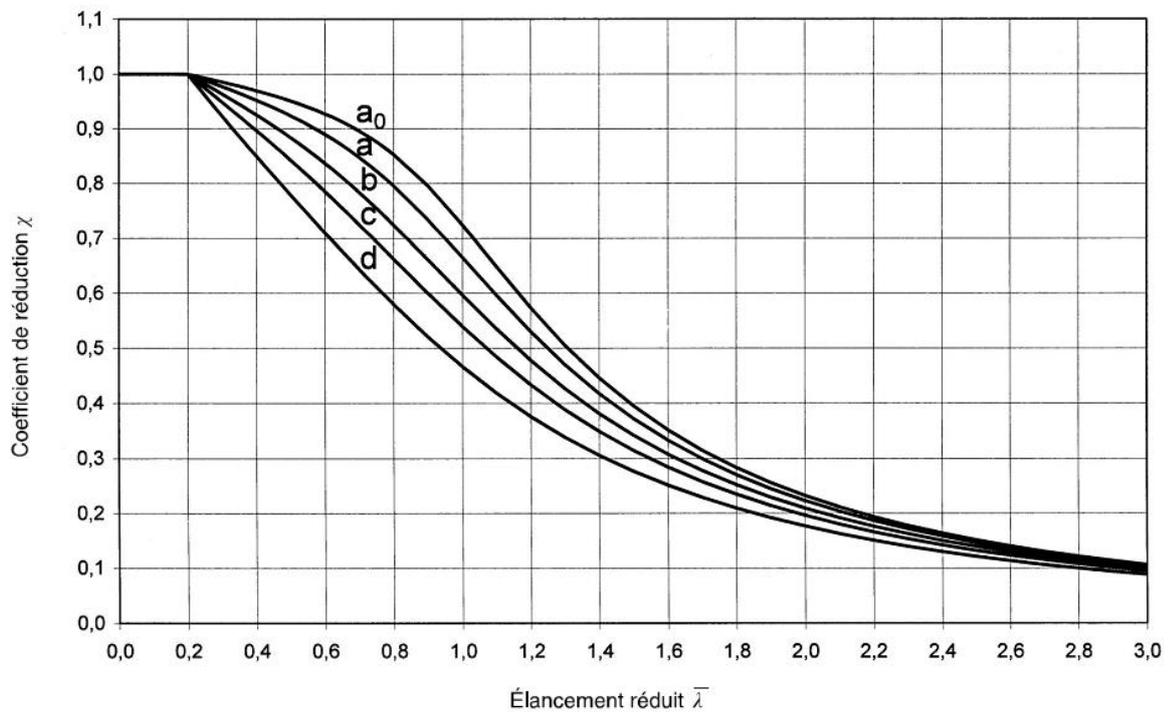
Section transversale		Limites	Flambement Selon l'axe	Courbe de flambement		
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
Sections en I laminées		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$ $40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	a b	$a_0$ $a_0$
				y-y z-z	b c	a a
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$ $t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a
				y-y z-z	d d	c c
Sections en I soudées		$t_f \leq 40 \text{ mm}$ $t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c	
			y-y z-z	c d	c d	
Sections creuses		Finies à chaud	Quelconque	a	$a_0$	
		Formées à froid	Quelconque	c	c	
Sections en caisson soudées		En général (sauf comme indiqué ci-dessous)	Quelconque	b	b	
		Soud. épaisses : $a > 0,5 t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Quelconque	c	c	

(à suivre)

**Annexe VII.C : Choix de courbe de flambement pour une section transversale (suite)**

Section transversale	Limites	Flambement Selon l'axe	Courbe de flambement	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Sections en U, T et pleines		Quelconque	<i>c</i>	<i>c</i>
Sections en L		Quelconque	<i>b</i>	<i>b</i>

**Annexe VII.D : Courbe de flambement**



**Annexe VII.E : Détermination de la longueur de flambement**

<b>MEMBRURES</b>					
dans le plan			hors-plan		
Sections en I ou en H	Autres sections ouvertes	Sections creuses	Sections en I ou en H	Autres sections ouvertes	Sections creuses
0,9L	1,0L	0,9L	1,0L <sub>s</sub>	1,0L <sub>s</sub>	0,9L <sub>s</sub>

Avec, L : longueur d'épure dans le plan (distance entre les nœuds) ;

L<sub>s</sub> : longueur d'épure hors-plan (longueur du tronçon entre maintiens latéraux).

<b>BARRES DU TREILLIS</b>		
dans le plan (exceptées pour les cornières)		hors-plan
attache appropriée et maintien d'extrémité (avec au moins 2 boulons ou par soudage)	maintien d'extrémité inapproprié (avec 1 boulon)	dans tous les cas
0,9L	1,0L	1,0L

Avec, L : longueur d'épure dans le plan (distance entre les nœuds) ;

**Annexe VII.F : Méthode de calcul des facteurs d'interaction  $k_{ij}$  donnée par l'annexe A de l'EN1993-1-1**

Facteurs d'interaction	hypothèses de calcul	
	Propriétés élastiques de sections Classe 3, Classe 4	Propriétés plastiques de sections Classe 1, Classe 2
$k_{yy}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}}$
$k_{yz}$	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{yz}} 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$
$k_{zy}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$
$k_{zz}$	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{zz}}$

Termes auxiliaires :	
$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$ $\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$ $w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1,5$ $w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1,5$ $n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M0}}$ $C_{my}, \text{ voir Tableau A.2}$ $a_{LT} = 1 - \frac{l_T}{l_y} \geq 0$	$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max}^{-2} \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$ <p>avec <math>b_{LT} = 0,5 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{\chi_{LT}} \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}</math></p> $C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{\max}^{-2}}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$ <p>avec <math>c_{LT} = 10 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{5 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}</math></p> $C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max}^{-2}}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$ <p>avec <math>d_{LT} = 2 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{0,1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}}</math></p> $C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[ 2 - \frac{1,6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1,6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{\max}^{-2} - e_{LT} \right] n_{pl} \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$ <p>avec <math>e_{LT} = 1,7 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{0,1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}</math></p>

(à suivre)

**Annexe VII.F : Méthode de calcul des facteurs d'interaction  $k_{ij}$  donnée par l'annexe A de l'EN1993-1-1 (suite)**

$$\bar{\lambda}_{\max} = \max \begin{cases} \bar{\lambda}_y \\ \bar{\lambda}_z \end{cases}$$

$\bar{\lambda}_0$  = élancement réduit pour le déversement dans le cas du moment fléchissant uniforme, c'est-à-dire  $\psi_y = 1,0$  dans le Tableau A.2.

$\bar{\lambda}_{LT}$  = élancement réduit pour le déversement

$$\text{Si } \bar{\lambda}_0 \leq 0,2 \sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}$$

$$C_{my} = C_{my,0}$$

$$C_{mz} = C_{mz,0}$$

$$C_{mLT} = 1,0$$

$$\text{Si } \bar{\lambda}_0 > 0,2 \sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}$$

$$C_{my} = C_{my,0} + \left(1 - C_{my,0}\right) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}$$

$$C_{mz} = C_{mz,0}$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} \geq 1$$

$C_{mi,0}$ , voir Tableau A.2

$C_1$  est un facteur dépendant du chargement et des conditions aux extrémités et peut être pris comme étant  $C_1 = k_c^{-2}$ , où  $k_c$  doit être repris du Tableau 6.6.

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} \text{ pour les sections transversales de Classes 1, 2 et 3}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A_{eff}}{W_{eff,y}} \text{ pour les sections transversales de Classe 4}$$

$N_{cr,y}$  = effort normal critique de flambement élastique par flexion selon l'axe y-y

$N_{cr,z}$  = effort normal critique de flambement élastique par flexion selon l'axe z-z

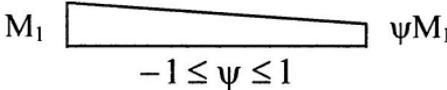
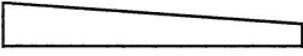
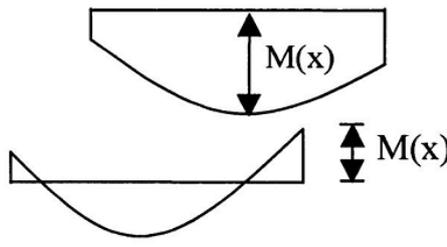
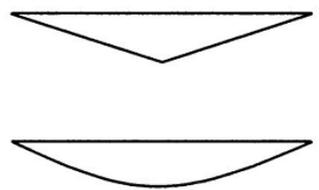
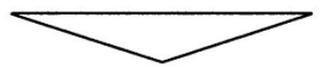
$N_{cr,T}$  = effort normal critique de flambement élastique par torsion

$N_{cr,TF}$  = effort normal critique de flambement élastique par flexion-torsion

$I_T$  = inertie de torsion de Saint-Venant

$I_y$  = moment d'inertie de flexion par rapport à l'axe y-y

**Annexe VII.G : Facteurs de moment uniforme équivalent  $C_{mi,0}$**

Diagramme de moment	$C_{mi,0}$
 <p><math>M_1</math>  <math>\psi M_1</math> <math>-1 \leq \psi \leq 1</math></p>	$C_{mi,0} = 0,79 + 0,21\psi_i + 0,36(\psi_i - 0,33)\frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$
 <p> <math>M(x)</math>  <math>\delta_x</math></p>	$C_{mi,0} = 1 + \left( \frac{\pi^2 E I_i  \delta_x }{L^2  M_{i,Ed}(x) } - 1 \right) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$ <p><math>M_{i,Ed}(x)</math> est le moment maximal <math>M_{y,Ed}</math> ou <math>M_{z,Ed}</math> obtenu par une analyse au premier ordre <math> \delta_x </math> est la flèche maximale locale le long de la barre</p>
 <p> </p>	$C_{mi,0} = 1 - 0,18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$ $C_{mi,0} = 1 + 0,03 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$

**Annexe VII.H : Caractéristiques des boulons d'assemblages**

Désignation	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
d (mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
$d_0$ (mm)	9	11	13	15	18	20	22	24	26	30	33
A ( $mm^2$ )	50.3	78.5	113	154	201	254	314	380	452	573	707
$A_s$ ( $mm^2$ )	36.6	58	84.3	115	157	192	245	303	353	459	561
$\Phi$ rondelle (mm)	16	20	24	27	30	34	36	40	44	50	52
$\Phi$ clé (mm)	21	27	31	51	51	51	58	58	58	58	58

**Annexe VII.I : Entraxes et pinces minimales des boulons dans un assemblage**

Pincés et entraxes Fig. 14	Minimale	Maximale <sup>(1)(2)(3)</sup>		
		Ossature construite avec des aciers conformes à l'EN10025 (aciers fabriqués selon l'EN 10025 - 5 non compris)		Ossature construite avec des aciers conformes à l'EN10025 - 5
		Acier exposé aux intempéries ou dans un milieu corrosif	Acier à l'abri des intempéries et d'autres risques de corrosion	Acier non protégé
Pince longitudinale $e_1$	$1,2 d_0$	$4 t + 40 \text{ mm}$		Inf (8 t ; 125 mm)
Pince transversale $e_2$	$1,2 d_0$	$4 t + 40 \text{ mm}$		Inf (8 t ; 125 mm)
Distance $e_3$ dans les trous oblongs	$1,5 d_0^{(4)}$			
Distance $e_4$ dans les trous oblongs	$1,5 d_0^{(4)}$			
Entraxe $p_1$	$2,2 d_0$	Inf (14 t ; 200 mm)	Inf (14 t ; 200 mm)	Inf (14 $t_{\min}$ ; 175 mm)
Entraxe $p_{1,0}$		Inf (14 t ; 200 mm)		
Entraxe $p_{1,1}$		Inf (28 t ; 400 mm)		
Entraxe $p_2^{(5)}$	$2,4 d_0$	Inf (14 t ; 200 mm)	Inf (14 t ; 200 mm)	Inf (14 $t_{\min}$ ; 175 mm)
<sup>(1)</sup> Les valeurs maximales des entraxes et des pinces ne sont limitées que dans les cas suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>- pour les éléments comprimés, afin d'éviter un flambement local et prévenir la corrosion pour les éléments exposés</li> <li>- pour les éléments tendus pour prévenir la corrosion</li> </ul>				
<sup>(2)</sup> La résistance au voilement local des plats comprimés entre éléments d'attache doit être calculée selon l'EN-1993-1-1, utilisant $0,6 p_1$ comme longueur de flambement. Le voilement local entre les éléments d'attache n'est pas à vérifier si $p_1 / t < 9\epsilon$ . La valeur de la pince transversale ne devrait pas dépasser les exigences de voilement local de la plaque extérieure des éléments comprimés. La pince longitudinale n'est pas affectée par cette nécessité.				
<sup>(3)</sup> $t$ : épaisseur du plat le plus mince, situé vers l'extérieur				
<sup>(4)</sup> Les limites dimensionnelles pour les trous oblongs sont données dans la référence standard, groupe 7				
<sup>(5)</sup> Pour les éléments d'attache en quinconce, un espacement entre lignes de $p_2 = 1,2 d_0$ peut être utilisé, sous réserve que la distance minimale $L$ , entre deux éléments d'attache soit plus grande que $2,4 d_0$ .				

## ANNEXE VIII

### *Annexe VIII.A: Groupe d'éléments tendus*

Groupe	Principaux éléments tendus	Composant
A	tige (barre)	barres de traction, barre de précontrainte
B	fil métallique circulaire	toron hélicoïdal (monotoron)
	fils circulaires et fils en Z	câble clos
	fil métallique circulaire et fil toronné	câble torsadé
C	fil métallique circulaire	câble à fils parallèles (PWS)
	fil métallique circulaire	faisceau de fils parallèles (câble filé en l'air)
	toron (de précontrainte) à sept fils	faisceau de torons parallèles

Dans notre cas, il s'agit d'un élément de groupe C

### *Annexe VIII.B: Valeur recommandée du coefficient partiel $\gamma_R$*

Mesures constructives visant à minimiser les contraintes de flexion aux ancrages	$\gamma_R$
Oui	0,90
Non	1,00

## ANNEXE IX

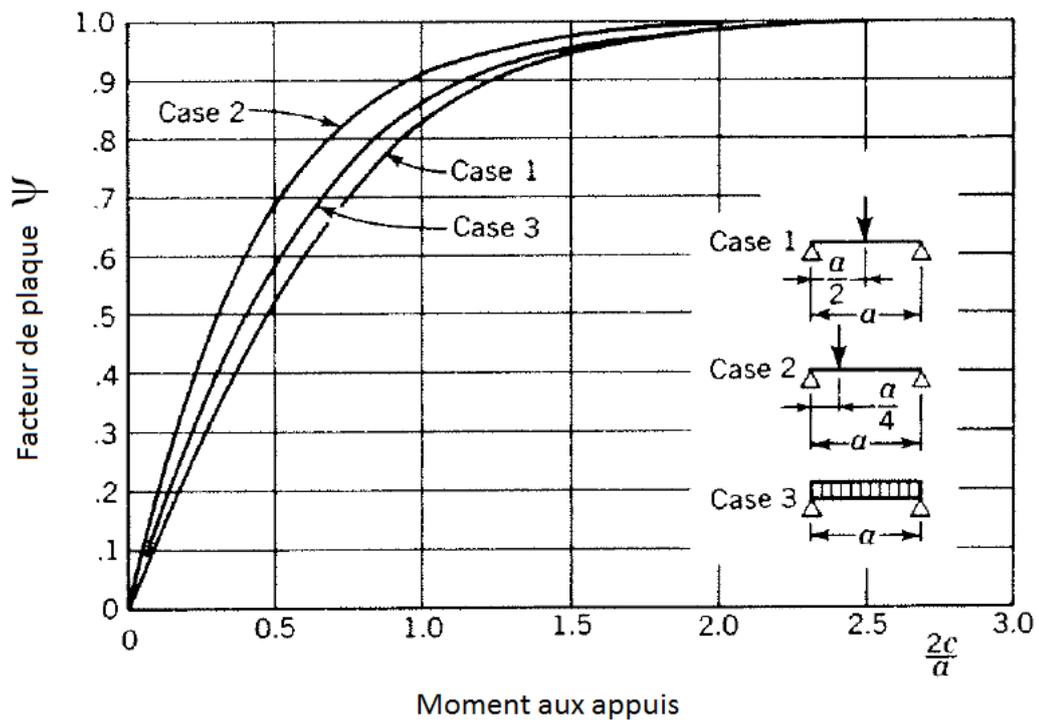
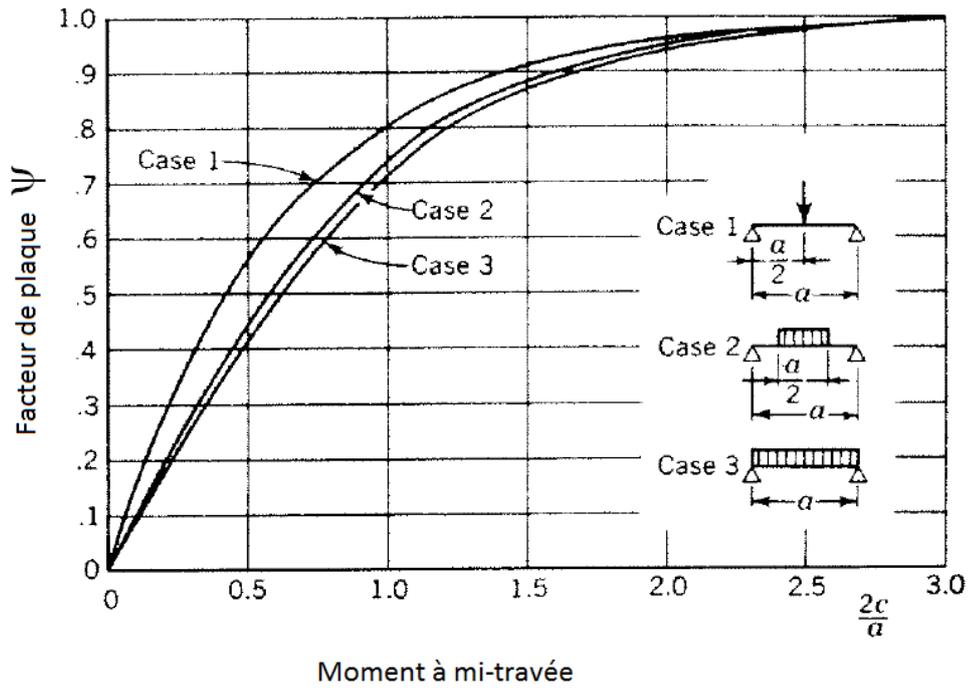
*Annexe IX.A : Facteur de corrélation  $\beta_w$  pour les soudures d'angle (Source : Tableau 4.1 de l'EN1993.1.8)*

Norme et nuance d'acier			Facteur de corrélation $\beta_w$
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

### *ANNEXE IX.B: Facteur de plaque $\psi$*

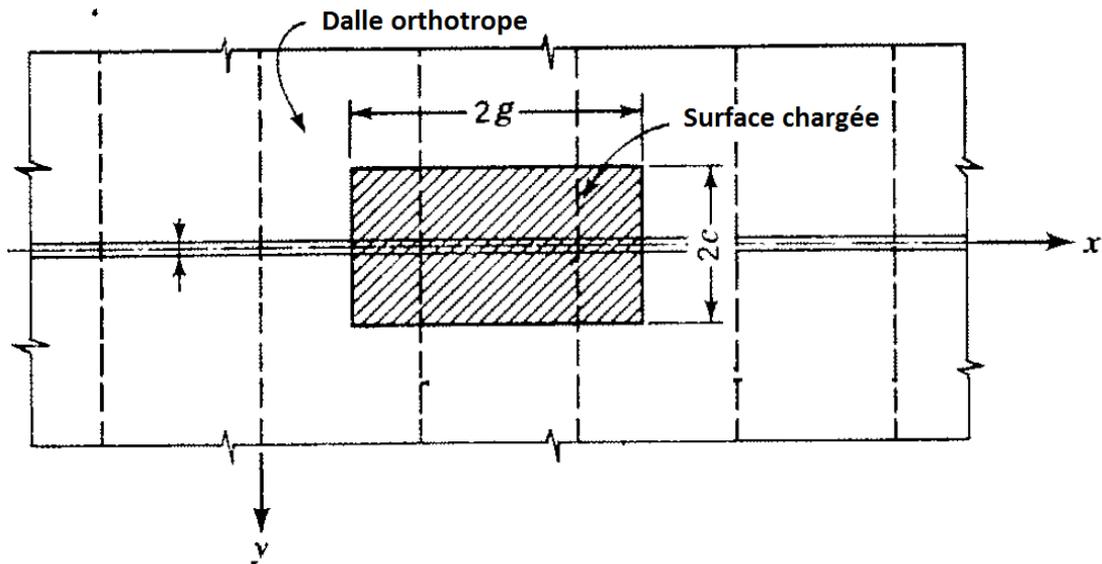
Le facteur de plaque  $\psi$  est le rapport entre le moment fléchissant  $M_P$ , dans la direction x de la plaque entière, et le moment fléchissant par unité de largeur  $M_B$ , dans la poutre continue.

$$\psi = \frac{M_P}{M_B}$$



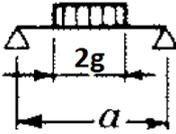
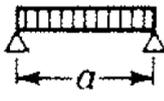
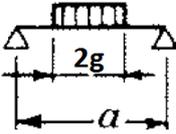
Pour la détermination du facteur de plaque, il faut connaître quelques paramètres :

- La position de la charge
- La longueur  $a$  d'une travée
- Les dimensions  $2g \times 2c$  du rectangle d'impact d'une roue



Surface d'impact d'une roue sur la dalle

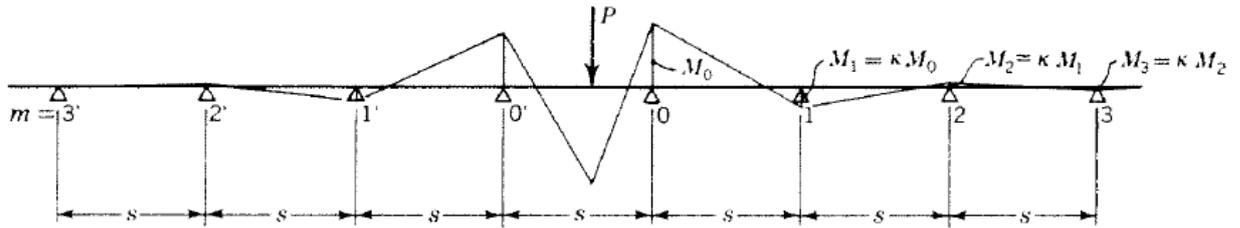
*ANNEXE IX.C: Facteur de plaque (en utilisant les diagrammes) selon le type de roue*

Type de roue		A	B	C
Surface d'impact de la roue	2g [m]	0,22	0,54	0,27
	2c[m]	0,32	0,32	0,32
Position de la charge				
Longueur d'une travée a [m]		0,300	0,300	0,300
2c/a		1,066	1,066	1,066
Facteur de plaque pour moment en travée		0,75	0,73	0,75
Facteur de plaque pour moment aux appuis		0,88	0,88	0,88

*ANNEXE IX.C :The Carry-over factor  $\kappa$  dans une poutre continue*

Dans une poutre continue à moment d'inertie constante, reposant sur des appuis rigides d'espacement uniforme, l'ampleur du moment fléchissant, de l'effort tranchant, des déformations, etc... pour les

travées non chargées, diminuent suivant un coefficient  $\kappa$  (kappa), appelé Carry-over coefficient, comme illustré dans la figure suivante :



**Figure XI.C : Diagramme du moment fléchissant pour une poutre continue sur appuis rigides, soumise à une charge ponctuelle P**

Si  $M_0$  est le moment correspondant à l'appui  $m = 0$ , alors,

$$M_1 = \kappa \cdot M_0$$

$$M_2 = \kappa \cdot M_1 = \kappa^2 \cdot M_0 \quad (1)$$

$$M_3 = \kappa \cdot M_2 = \kappa^3 \cdot M_0$$

Etc. ...

La valeur de  $\kappa$  est obtenue par la méthode des trois moments pour poutre non chargée, qui est :

$$M_0 + 4 \cdot M_1 + M_2 = 0 \quad (2)$$

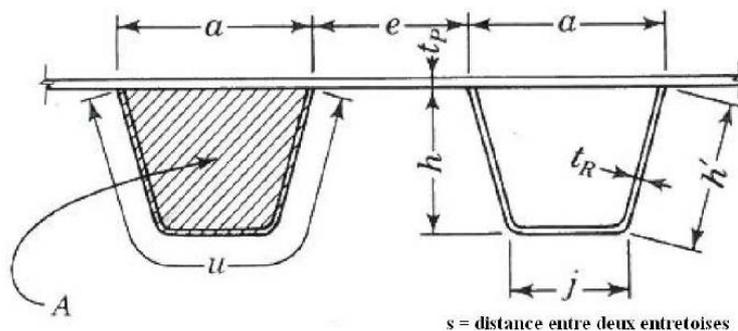
En substituant l'équation (1) dans cette équation, on a :

$$M_0 (1 + 4 \cdot \kappa + \kappa^2) = 0$$

Ainsi,

$$\kappa = -2 + \sqrt{3} = -0,2679$$

**ANNEXE IX.D - Rigidité équivalente de la dalle orthotrope :**



**Dimensions des augets**

- Rigidité de flexion longitudinale

$$D_y = \frac{E \cdot I_R}{a + e}$$

Où,  $E = 210\,000$  [MPa] : Module d'Young ;  
 $I_R = 0,79 \cdot 10^{-4}$  [m<sup>4</sup>] : Moment d'inertie des raidisseurs ;  
 $a = 300$ [mm] : largeur du raidisseur ;  
 $e = 300$ [mm] : longueur entre augets.

$$\Rightarrow D_y = 27\,650 \text{ kNm}$$

- **Rigidité de flexion transversale**

$$D_x = \frac{E \cdot I_p}{s}$$

Avec,  $s = 4$ [m] : distance entre pièce de pont ;  
 $I_p = 9,14 \cdot 10^{-7}$  [m<sup>4</sup>] : Moment d'inertie de la tôle de platelage ;  
 $E = 210\,000$ [MPa] : Module d'Young.

$$\Rightarrow D_x = 48,02 \text{ kNm}$$

- **Rigidité de torsion**

$$H = \frac{1}{2} \left( \frac{\mu \cdot G \cdot K}{a + e} \right)$$

Dans laquelle,  $G = 81\,000$  [MPa] : Module de cisaillement de l'acier ;  
 $\mu$  : est un coefficient de réduction qui dépend de la flexibilité de la tôle de platelage et de la distance entre augets ;  
 $K$  : propriété de la section qui caractérise la résistance à la torsion ;

$K$  est donné par :

$$K = \frac{4 \cdot A^2}{\left(\frac{u}{t_R}\right) + \left(\frac{a}{t_P}\right)}$$

$A = 50\,000$  [mm<sup>2</sup>] étant la surface interne de l'auget fermé ;  
 $u = 612,31$  [mm] est le périmètre de l'auget fermé ;  
 $a = 300$ [mm] : largeur de l'auget ;  
 $t_R = 8$ [mm] : épaisseur du raidisseur ;  
 $t_P = 14$  [mm] : épaisseur de la tôle de platelage.

Pour dalle avec raidisseur trapézoïdal, de largeur égale à la distance entre augets ( $a = e$ ),  $\mu$  est déterminé à l'aide des expressions suivantes :

$$\frac{1}{\mu} = 1 + \frac{G \cdot K}{E \cdot I_p} \cdot \left(\frac{a}{48}\right) \cdot \left(\frac{\pi}{s_2}\right)^2 \left[ 1 + \left(\frac{a-j}{a+j} + \lambda\right)^2 + \frac{\lambda^2}{\rho} \cdot \left(\frac{j}{a}\right)^3 + \frac{24}{\rho} \cdot \left(\frac{h'}{a}\right) \cdot \left(c_1^2 + c_1 \cdot c_2 + \frac{c_2^2}{3}\right) \right]$$

$$\lambda = \frac{(2 \cdot a + j) \cdot (2 \cdot a \cdot j \cdot h') - \rho \cdot a^3 \cdot (a - j)}{(a + j) \cdot [2 \cdot h' \cdot (a^2 + a \cdot j + j^2) + j^3 + \rho \cdot a^3]}$$

$$c_1 = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{j}{a}$$

$$c_2 = \frac{\lambda}{2} \left(\frac{a-j}{a}\right) - \frac{j}{a+j}$$

$$E \cdot I_p = \frac{E \cdot t_p^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}$$

$$\rho = \left(\frac{t_R}{t_p}\right)^3$$

$$s_2 = 0,81 \cdot s$$

Dans lesquelles,

$G = 81\,000$  [Mpa] : Module de cisaillement de l'acier ;

$I_p = I_p = 2,28 \cdot 10^{-7}$  [m<sup>4</sup>] : Moment d'inertie de la tôle de platelage ;

$E = 210\,000$  [Mpa] : Module d'Young.

$K$  : propriété de la section qui caractérise la résistance à la torsion ;

$a = 300$  [mm] : largeur de l'auget ;

$t_R = 8$  [mm] : épaisseur du raidisseur ;

$t_p = 14$  [mm] : épaisseur de la tôle de platelage ;

$j = 200$  [mm] : largeur de base des raidisseurs ;

$h' = 206,15$  [mm] : longueur de la partie inclinée des raidisseurs ;

$h = 200$  [mm] : hauteur des raidisseurs.

$$\mathbf{K = 0,00010207 \text{ m}^2}$$

$$\mathbf{\rho = 0,18658892}$$

$$\mathbf{\lambda = 0,4221424}$$

$$\mathbf{c_1 = 0,14071413}$$

$$\mathbf{c_2 = -0,32964293}$$

$$\mathbf{E \cdot I_p = 52,7692308 \text{ [kNm]}}$$

$$\mathbf{s_2 = 3,24 \text{ [m]}}$$

$$\mu = 0,30104349$$

$$\Rightarrow H = 2\,074,21 \text{ [kN/m]}$$

### ANNEXE IX.E - Caractéristiques statiques du tablier

#### \* Calcul du moment d'inertie

Pour la tôle de platelage uniquement, on a une section rectangulaire, donc, on a :

$$I_t = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Où,  $b$  : la largeur de la section ;

$h = 0,14\text{[m]}$  : la hauteur de la section.

Pour 1[m] de longueur, on a :

$$I_t = \frac{0,014^3}{12} = 22,87 \cdot 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}$$

Pour l'ensemble « tôle de platelage + raidisseur », on a une section quelconque, en utilisant le théorème d'Huygens, on a :

$$I = 4,087 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^4\text{]}$$

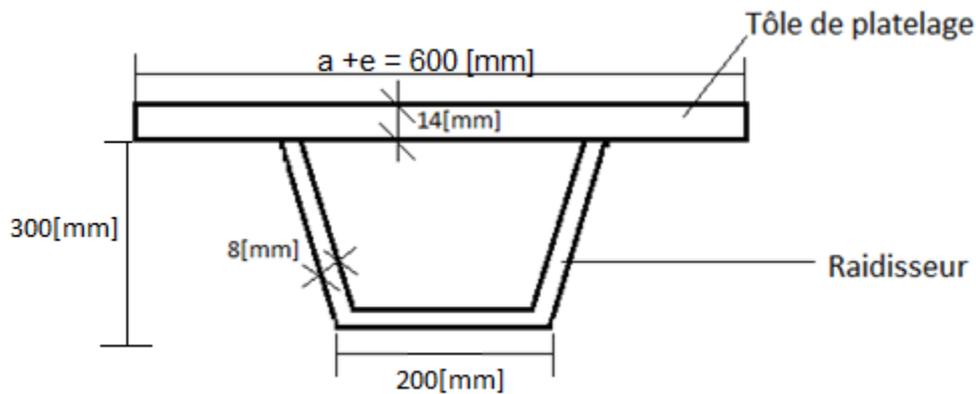


Figure L5 : Ensemble raidisseur – tôle de platelage

#### \* Calcul du module de résistance des éléments de la dalle $W_y$ :

$$W_y = \frac{I}{v}$$

Où,  $I$  : moment d'inertie de l'élément ;

$v$  : distance entre l'axe de l'élément et sa fibre la plus éloignée.

Comme on a des sections rectangulaires, le moment d'inertie est :  $I = \frac{b.h^3}{12}$  ; b étant la largeur et h la hauteur (h = t, épaisseur de l'élément) ; par unité de longueur des éléments, b = 1 ,  $I = \frac{h^3}{12}$  . Et la distance v = h/2. La valeur du module est, par conséquent :

$$W_y = \frac{b.h^2}{6}$$

**Tableau IX.E : Modules de résistance des éléments de la dalle**

	Tôle de platelage	Raidisseur
h [m]	0,014	0,008
b [m]	1	1
W <sub>y</sub> [m <sup>3</sup> /m]	3,27.10 <sup>-5</sup>	1,067.10 <sup>-5</sup>

**ANNEXE IX.F: Calcul de  $\sum \frac{M_{Cn}}{Q.s} \sin \frac{n.\Pi.g}{b} . \sin \frac{n.\Pi}{2} . \cos \frac{n.\Pi.x}{b}$**

Les valeurs de  $\frac{M_{Cn}}{Q.s}$  en fonction de n sont données par le tableau suivant, elles sont indépendantes de l'abscisse x.

**ANNEXE IX.F: Valeurs du rapport  $\frac{M_{Cn}}{Q.s}$  en fonction de n dans l'expression de V<sub>x</sub>**

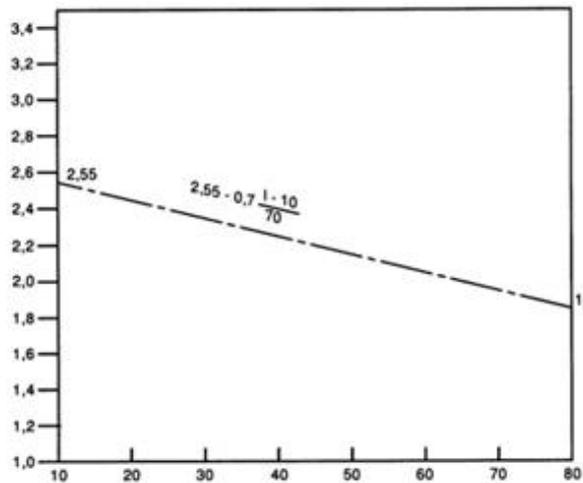
(1)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(40)
n	$\frac{M_0^*}{s}$ eq. (4.43)	$\frac{\cosh \alpha[(s/2) - c]}{\cosh(\alpha s/2)}$ Note 1	A Note 2	B Note 3	$M_{Cn}/Q_s = A + B$ eq. (4.47)	(4) × (39) eq. (4.46)
1	-0.42883	0.98013	0.21667	-0.06437	0.15230	+0.043150
3	-0.02928	0.89609	0.12590	-0.01946	0.10644	+0.028166
5	-0.00502	0.82362	0.07693	-0.00448	0.07245	+0.016622
7	-0.00108	0.76071	0.05327	-0.00104	0.05223	+0.009500
9	-0.00025	0.70344	0.03993	-0.00025	0.03968	+0.005058
11	-0.00006	0.65051	0.03150	-0.00006	0.03144	+0.002269
13	-0.00002	0.60158	0.02571	-0.00002	0.02569	+0.000560
15	0	0.55630	0.02151	0	0.02151	-0.000406
17	0	0.51453	0.01832	0	0.01832	-0.000856
19	0	0.47582	0.01584	0	0.01584	-0.000956
21	0	0.44004	0.01385	0	0.01385	-0.000840
23	0	0.40694	0.01223	0	0.01223	-0.000610
25	0	0.37633	0.01088	0	0.01088	-0.000345
27	0	0.34802	0.00975	0	0.00975	-0.000102
29	0	0.32187	0.00879	0	0.00879	+0.000086
31	0	0.27966	0.00797	0	0.00797	+0.000204
33	0	0.27527	0.00726	0	0.00726	+0.000252
35	0	0.25656	0.00662	0	0.00662	+0.000241
					$\frac{M_C}{Q_0 s} = \sum_{n=1}^{35} \frac{Q_{nz}}{Q_0} \frac{M_{Cn}}{Q_s} =$	+0.101993

**ANNEXE IX.F: Calcul de la somme  $\sum \frac{M_{Cn}}{Q.s} \sin \frac{n.\Pi.g}{b} . \sin \frac{n.\Pi}{2} . \cos \frac{n.\Pi.x}{b}$  selon le type de roue**

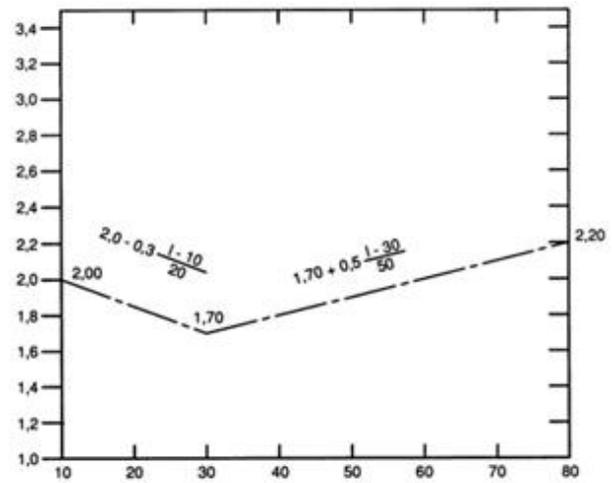
n		$\frac{M_{Cn}}{Q.s}$	$\sin \frac{n.\Pi.g}{b} . \sin \frac{n.\Pi}{2} \cos \frac{n.\Pi.x}{b}$			$\frac{M_{Cn}}{Q.s} \sin \frac{n.\Pi.g}{b} . \sin \frac{n.\Pi}{2} \cos \frac{n.\Pi.x}{b}$		
			A	B	C	A	B	C
	g[m]		0.11	0.27	0.135			
	x[m]		4.55					
1		0.1523	-0.00450	-0.01102	-0.00552	-0.00068	-0.00168	-0.00084
3		0.10644	-0.03973	-0.09630	-0.04870	-0.00423	-0.01025	-0.00518
5		0.07245	-0.10628	-0.25190	-0.12998	-0.00770	-0.01825	-0.00942
7		0.05223	-0.19669	-0.45052	-0.23973	-0.01027	-0.02353	-0.01252
9		0.03968	-0.30067	-0.65728	-0.36481	-0.01193	-0.02608	-0.01448
11		0.03144	-0.40607	-0.83586	-0.48988	-0.01277	-0.02628	-0.01540
13		0.02569	-0.50005	-0.95479	-0.59906	-0.01285	-0.02453	-0.01539
15		0.02151	-0.57029	-0.99301	-0.67759	-0.01227	-0.02136	-0.01458
17		0.01832	-0.60623	-0.94356	-0.71340	-0.01111	-0.01729	-0.01307
19		0.01584	-0.60005	-0.81472	-0.69838	-0.00950	-0.01291	-0.01106
21		0.01385	-0.54756	-0.62866	-0.62933	-0.00758	-0.00871	-0.00872
23		0.01223	-0.44858	-0.41750	-0.50831	-0.00549	-0.00511	-0.00622
25		0.01088	-0.30713	-0.21770	-0.34252	-0.00334	-0.00237	-0.00373
27		0.00975	-0.13112	-0.06370	-0.14363	-0.00128	-0.00062	-0.00140
29		0.00879	0.06826	0.01810	0.07329	0.00060	0.00016	0.00064
31		0.00797	0.27746	0.01400	0.29131	0.00221	0.00011	0.00232
33		0.00726	0.48173	-0.07467	0.49324	0.00350	-0.00054	0.00358
35		0.00662	0.66635	-0.23172	0.66334	0.00441	-0.00153	0.00439
$\sum \frac{M_{Cn}}{Q.s} \sin \frac{n.\Pi.g}{b} . \sin \frac{n.\Pi}{2} . \cos \frac{n.\Pi.x}{b} =$						<b>-0.10028</b>	<b>-0.20076</b>	<b>-0.12106</b>

**ANNEXE IX.G : Valeur de  $\gamma_{Mf}$ , facteur partiel de résistance à la fatigue**

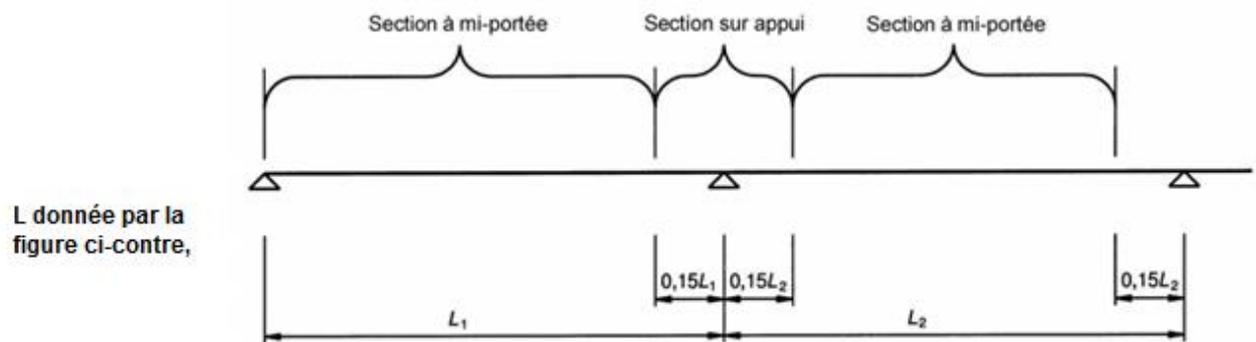
Méthode d'évaluation	Conséquence de la ruine	
	conséquences peu importantes	conséquences importantes
Tolérance de l'endommagement	1,00	1,15
Durée de vie sûre	1,15	1,35



a) Longueur de travée  $L$  [m]  
À mi-travée



b) Longueur de travée  $L$  [m]  
Sur appui



### $\lambda_1$ pour les moments dans les ponts routiers

#### ANNEXE IX.H: détermination de $\lambda_2$

$Q_{m1}$	$N_{Obs}$							
	$0,25 \times 10^6$	$0,50 \times 10^6$	$0,75 \times 10^6$	$1,00 \times 10^6$	$1,25 \times 10^6$	$1,50 \times 10^6$	$1,75 \times 10^6$	$2,00 \times 10^6$
200	0,362	0,417	0,452	0,479	0,500	0,519	0,535	0,550
300	0,544	0,625	0,678	0,712	0,751	0,779	0,803	0,825
400	0,725	0,833	0,904	0,957	1,001	1,038	1,071	1,100
500	0,907	1,042	1,130	1,197	1,251	1,298	1,338	1,374
600	1,088	1,250	1,356	1,436	1,501	1,557	1,606	1,649

$Q_{m1}$  est le poids moyen du poids-lourd circulant sur la voie lente

$$Q_{m1} = \left( \frac{\sum n_i Q_i^5}{\sum n_i} \right)^{1/5}$$

$Q_0 = 480 \text{ kN}$

$N_0 = 0,5 \times 10^6$

$N_{Obs}$  est le nombre total annuel des poids-lourds circulant sur la voie lente, voir 9.2.2(2) ;

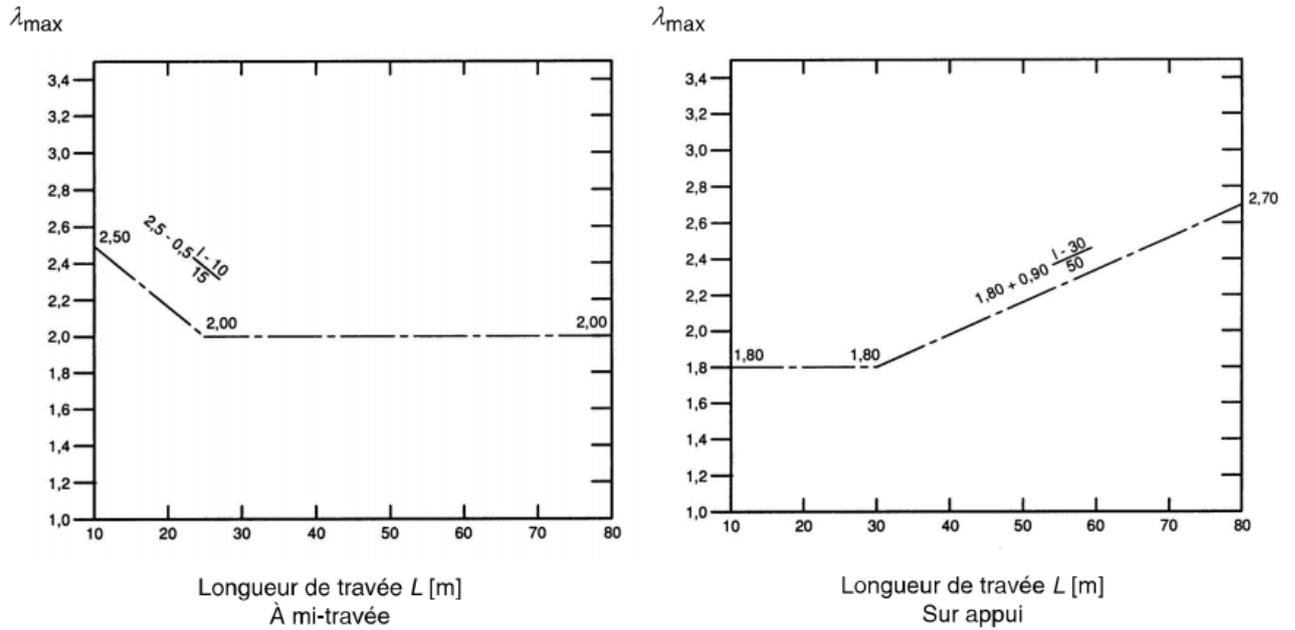
$Q_i$  est le poids (en kN) du poids-lourd  $i$  circulant sur la voie lente, tel que spécifié par l'autorité compétente ;

$n_i$  est le nombre de poids-lourds de poids  $Q_i$  circulant sur la voie lente, tel que spécifié par l'autorité compétente.

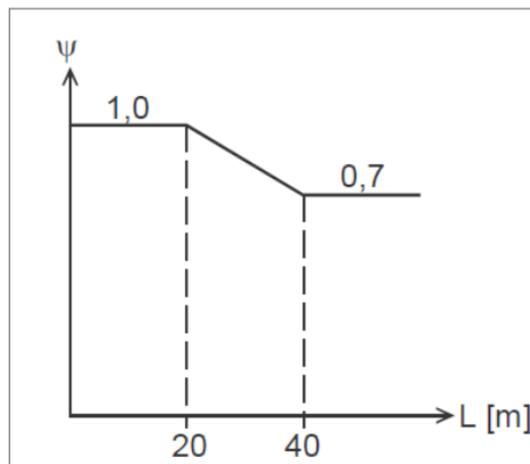
**ANNEXE IX.I : détermination de  $\lambda_3$**

Durée de vie de calcul en années	50	60	70	80	90	100	120
Coefficient $\lambda_3$	0,871	0,903	0,931	0,956	0,979	1,00	1,037

**ANNEXE IX.J : Détermination de  $\lambda_{max}$  pour les moments des ponts routiers**



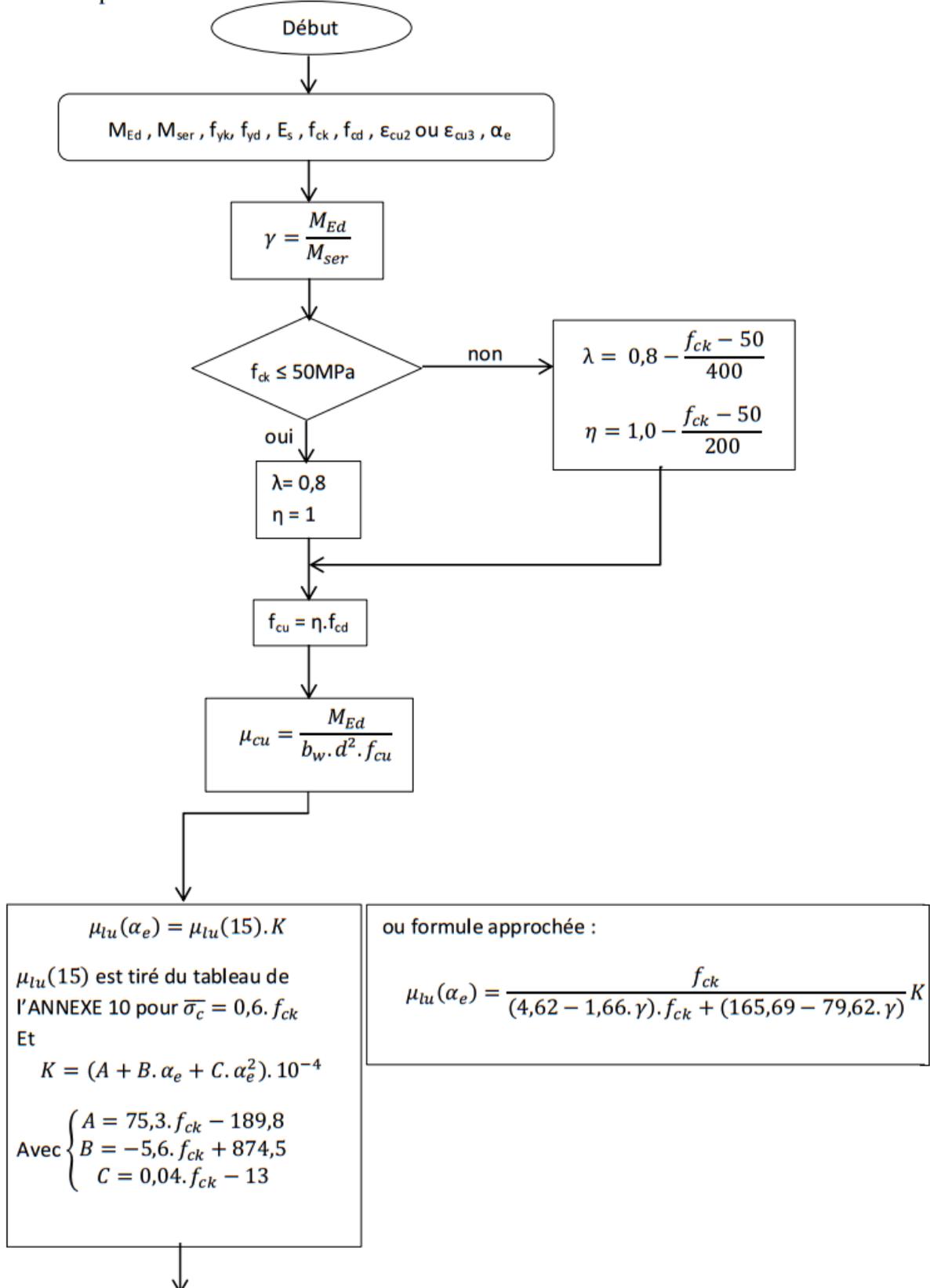
**ANNEXE IX.K : Valeur de  $\Psi$ , coefficient de combinaison de contrainte locale et globale en fonction de la portée  $L$**

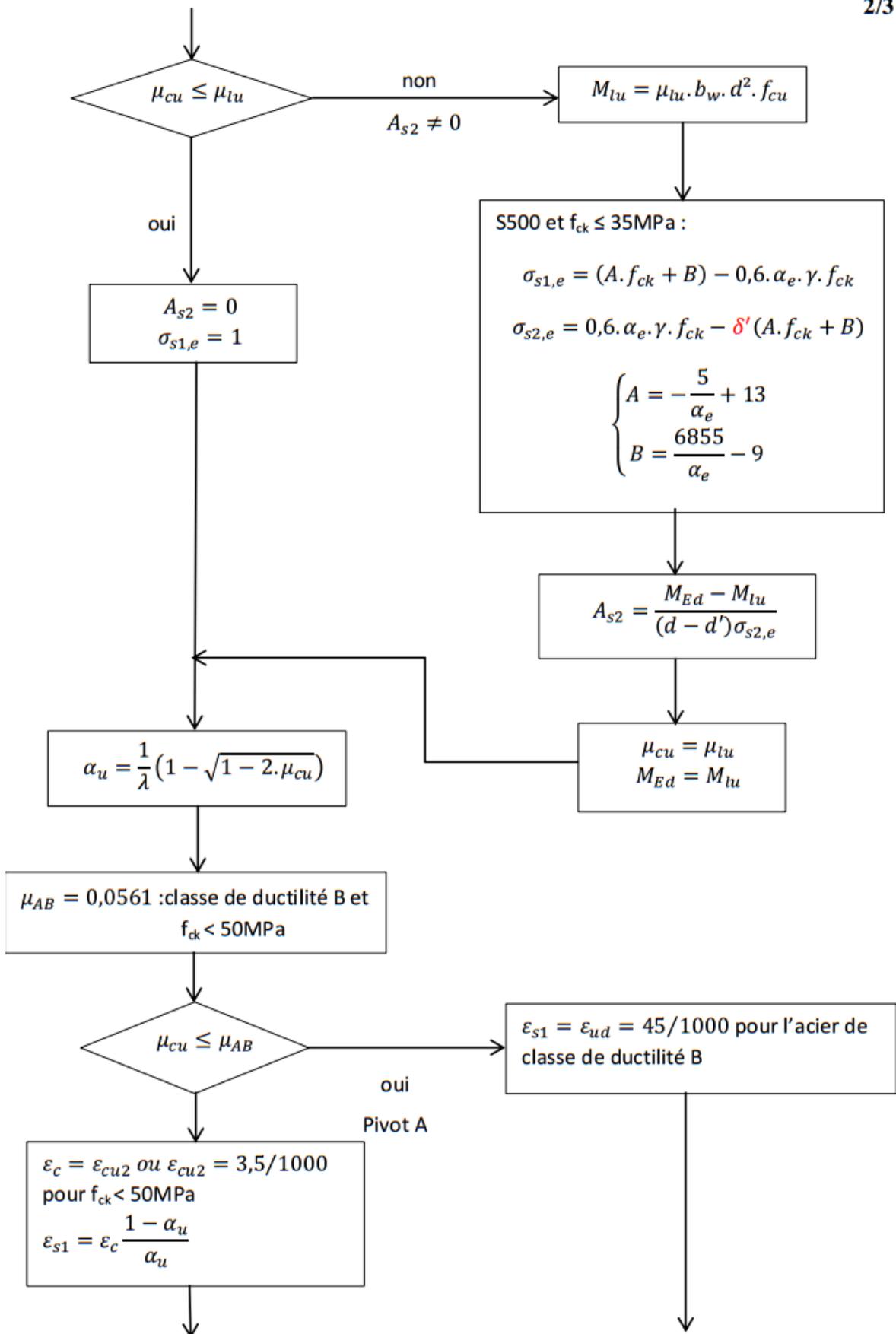


ANNEXE X :

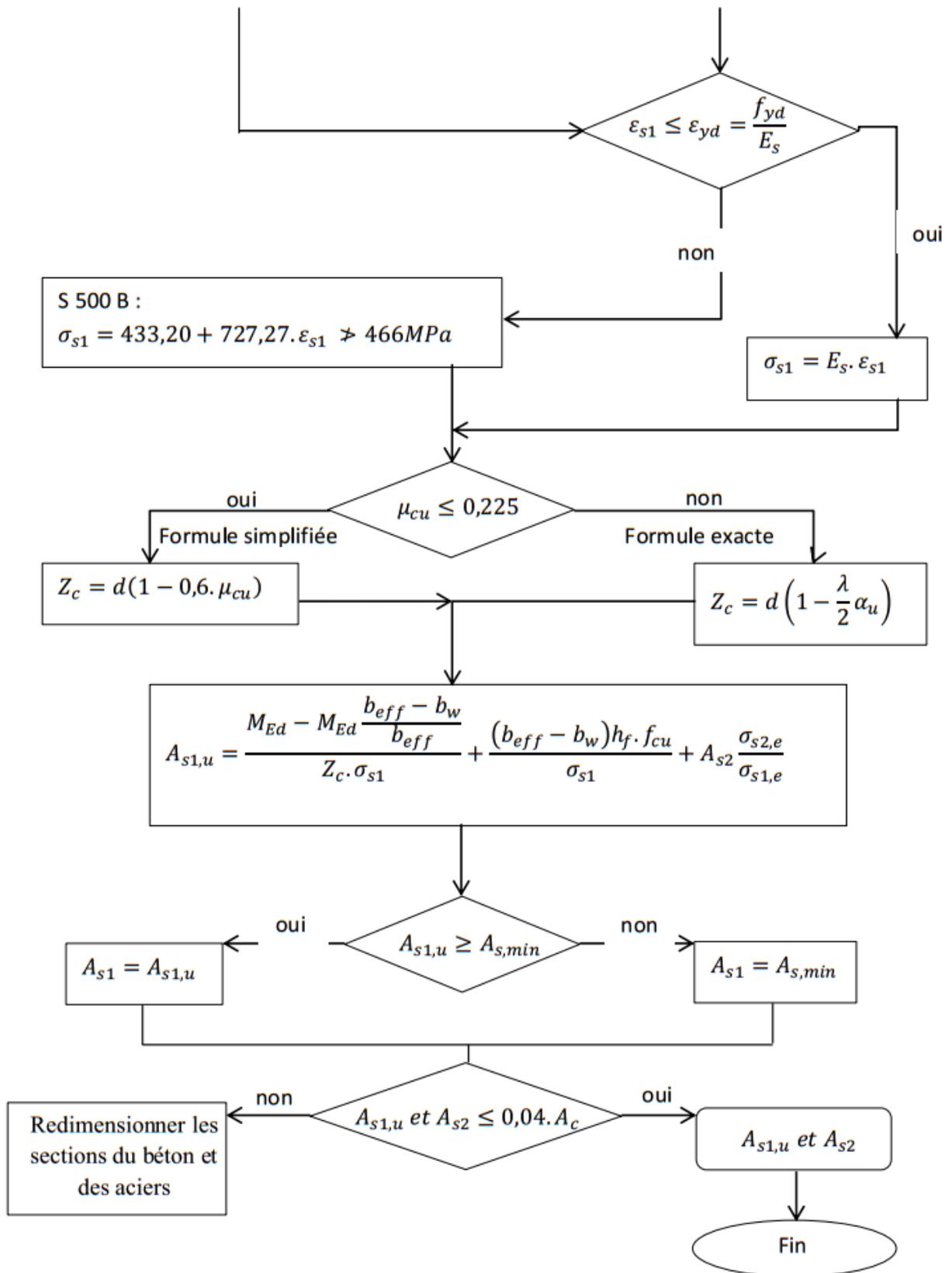
Annexe X.A : Organigramme de calcul d'armature de flexion simple selon l'Eurocode 2

Organigramme de calcul d'armatures à l'ELU où le diagramme  $\sigma$ - $\epsilon$  des aciers présente un palier incliné : 1/3





Annexe X.A : Organigramme de calcul d'armature de flexion simple selon l'Eurocode 2  
3/3



*Annexe X.B : Tableau des moments réduits*

$\bar{\sigma}_c = 0,6 \cdot f_{ck}$	Béton→		C12/C15	C16/C20	C20/C25	C25/C30	C30/C37	C35/C45	C40/C50
	Acier↓	$\gamma$ ↓							
S500	1,35	15	1363	1651	1886	2125	2319	2479	2613
	1,40	15	1454	1757	2003	2252	2453	2618	2756
	1,45	15	1549	1866	2123	2382	2590	2760	2901
	1,50	15	1645	1977	2245	2513	2728	2903	3049

$\bar{\sigma}_c = 0,6 \cdot f_{ck}$	Béton→		C45/C55	C50/C60	C55/C67	C60/C75	C70/C85	C80/C95	C90/C105
	Acier↓	$\gamma$ ↓							
S500	1,35	15	2726	2824	2994	3163	4077		
	1,40	15	2873	2972	3149	3325	4622		
	1,45	15	3021	3123	3307	3706			
	1,50	15	3171	3275	3466	4673			

Les cases grisées du tableau ci-dessus (avec ou sans indication de valeur) correspondent aux cas où  $\mu_{lu} > \mu_{ls}$ . Pour ces cas, il convient donc de prendre  $\mu_{lu} = \mu_{ls}$ .

## ANNEXE XI

### ANNEXE XI.A : Facteurs partiels de résistance $\gamma_R$ pour les pieux forés

**Tableau A.7 — Facteurs partiels de résistance ( $\gamma_R$ ) pour les pieux forés**

Résistance	Symbole	Ensemble			
		R1	R2	R3	R4
Pointe	$\gamma_b$	1,25	1,1	1,0	1,6
Fût (compression)	$\gamma_s$	1,0	1,1	1,0	1,3
Total/combine (compression)	$\gamma_t$	1,15	1,1	1,0	1,5
Fût en traction	$\gamma_{s;t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

### ANNEXE XI.B: Valeurs du facteur de portance, $k$ , pour les pieux chargés axialement

Catégorie de sol	Catégorie de $p_{LM}$	$p_{LM}$ [MPa]	Pieux forés et pieux à faible refoulement	Pieux avec refoulement total
argile et limon	A	< 0,7	1,1	1,4
	B	1,2 – 2,0	1,2	1,5
	C	> 2,5	1,3	1,6
sable et gravier	A	< 0,	1,0	4,2
	B	1,0 – 2,0	1,1	3,7
	C	> 2,5	1,2	3,2
craie	A	< 0,7	1,1	1,6
	B	1,0 – 2,5	1,4	2,2
	C	> 3,0	1,8	2,6
marne	A	1,5 – 4,0	1,8	2,6
	B	> 4,5	1,8	2,6
roche altérée	A	2,5 – 4,0	a)	a)
	B	> 4,5		

a) Choisir  $k$  pour la catégorie de sol la plus proche.

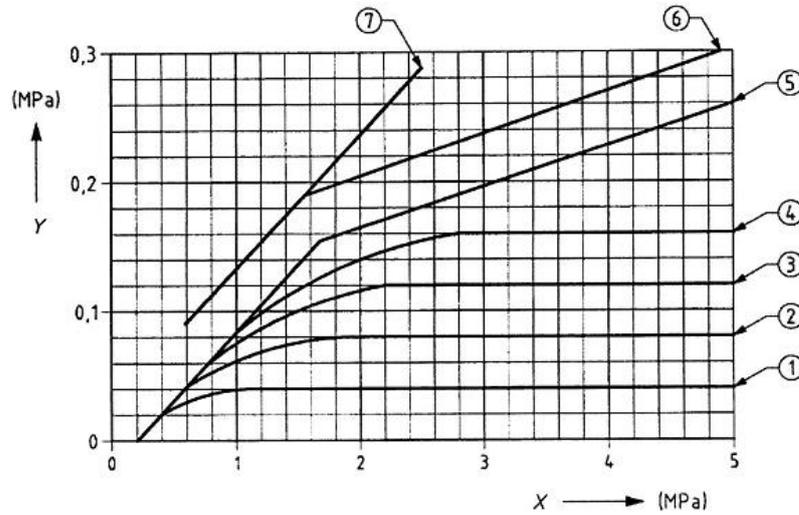
**ANNEXE XI.C: Choix des courbes de frottement latéral sur le fût d'un pieu**

**Tableau E.5 — Choix des courbes de frottement latéral sur le fût d'un pieu**

Catégorie de sol		Argile et limon			Sable et gravier			Craie			Marne		Roche altérée
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	
Catégorie de $p_{LM}$													
Type de pieu													
pieux forés et caissons	simple	1	1/2	2/3	—	—	—	1	3	4/5	3	4/5	6
	à la boue	1	1/2	1/2	1	1/2	2/3	1	3	4/5	3	4/5	6
	tubage temporaire	1	1/2	1/2	1	1/2	2/3	1	2	3/4	3	4	—
	tubage permanent	1	1	1	1	1	2				2	3	—
puits creusé manuellement		1	2	3	—	—	—	1	2	3	4	5	6
pieux avec refoulement	tube en acier fermé à la base	1	2	2	2	2	3				3	4	4
	béton préfabriqué	1	2	2	3	3	3				3	4	4
	battu moulé en place	1	2	2	2	2	3	1	2	3	3	4	—
	fût enrobé (acier battu et béton) <sup>a)</sup>	1	2	2	3	3	4				3	4	—
pieux injectés	basse pression	1	2	2	3	3	3	2	3	4	5	5	—
	haute pression	1	4	5	5	5	6	—	5	6	6	6	7

*a) Un pieu préfabriqué en acier de section tubulaire ou en H, avec base élargie, mis en œuvre par battage avec pompage simultané de béton (ou mortier) dans l'espace annulaire.*

**ANNEXE XI.D: frottement latéral unitaire  $q_s$  sur le fût d'un pieu chargé axialement**



**Légende**

- X Pression limite ( $p_{LM}$ ) (MPa)
- Y Frottement latéral unitaire (Mpa)
- 1 à 7 Courbes de frottement latéral unitaire

**ANNEXE XI.E: Valeurs du facteur de portance,  $k$ , pour les fondations superficielles**

Catégorie de sol		$p_{LM}, [MPa]$	$k$
argile et limon	A	< 0,7	$0,8 \times [1 + 0,25(0,6 + 0,4B/L) \times D_e/B]$
	B	1,2 – 2,0	$0,8 \times [1 + 0,35(0,6 + 0,4B/L) \times D_e/B]$
	C	> 2,5	$0,8 \times [1 + 0,50(0,6 + 0,4B/L) \times D_e/B]$
sables et graviers	A	< 0,5	$[1 + 0,35(0,6 + 0,4B/L) \times D_e/B]$
	B	1,0 – 2,0	$[1 + 0,50(0,6 + 0,4B/L) \times D_e/B]$
	C	> 2,5	$[1 + 0,80(0,6 + 0,4B/L) \times D_e/B]$
Craie			$1,3 \times [1 + 0,27(0,6 + 0,4B/L) \times D_e/B]$
marne et roche altérée			$[1 + 0,27(0,6 + 0,4B/L) \times D_e/B]$

## ANNEXE XII

### ANNEXE XII.A: Valeur du facteur de portance $k_p$

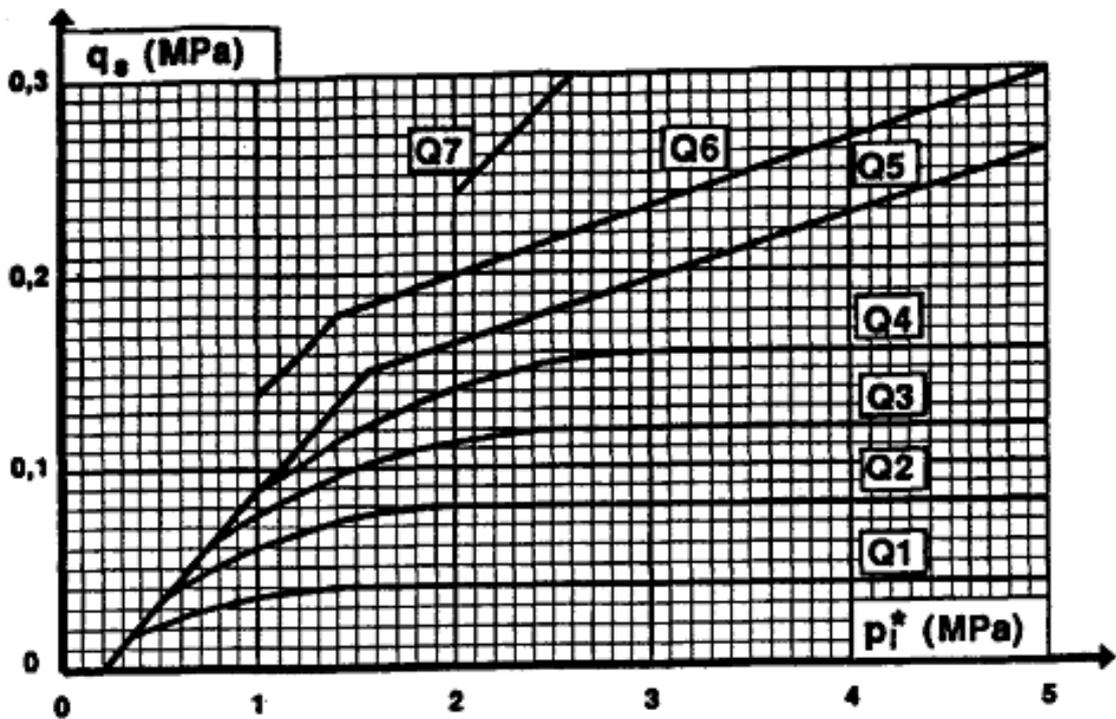
Nature des terrains		Éléments mis en œuvre sans refoulement du sol	Éléments mis en œuvre avec refoulement du sol
ARGILES - LIMONS	A	1,1	1,4
	B	1,2	1,5
	C	1,3	1,6
SABLES - GRAVES	A	1,0	4,2
	B	1,1	3,7
	C	1,2 (***)	3,2
CRAIES	A	1,1	1,6
	B	1,4	2,2
	C	1,8	2,6
MARNES, MARNO-CALCAIRES		1,8	2,6
ROCHES ALTÉRÉES <sup>(1)</sup> (***)		1,1 à 1,8	1,8 à 3,2

(1) La valeur de  $k_p$  pour ces formations est prise égale à celle de la formation meuble du tableau à laquelle le matériau concerné s'apparente le plus.

Z [m]	PIM [Mpa]	E [Mpa]	Lithologie	Catégorie de Plm	Kp	courbe pour qs	qsi (abaque)	pl/pn	qs[Mpa] (formule)
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	0,04	1,04	sable argileux gris	A	1	1	0	0,02666667	0,00210489
2	0,05	1,47					0	0,03333333	0,00262222
3	0,09	1,45	argile sableuse grise	A	1,1	1	0	0,06	0,004656
4	0,1	1,42					0	0,06666667	0,00515556
5	0,13	1,26					0	0,08666667	0,00663289
6	0,17	1,7	sable fin à moyen argileux micacé jaune	A	1	1	0	0,11333333	0,00855289
7	0,2	1,96					0	0,13333333	0,00995556
8	0,24	1,92					0,01	0,16	0,011776
9	0,45	2,14	sable moyen légèrement argileux micacé jaunâtre	B	1,1	1 ou 2	0,02	0,3	0,0204
10	0,56	4,2					0,025	0,37333333	0,02429156
11	0,72	6,3					0,025	0,48	0,029184
12	0,83	8,04					0,025	0,55333333	0,03201956
13	0,99	9,36					0,025	0,66	0,035376
14	1,5	12,5					0,025	1	0,04

Z [m]	PIM [Mpa]	E [Mpa]	Lithologie	Catégorie de Plm	Kp	courbe pour qs	qsi (abaque)	pl/pn	qs[Mpa] (formule)
15	1,3	12,3	Sable moyen grossier micacé jaunâtre	B	1,1	1 ou 2	0,025	0,86666667	0,03928889
16	1,32	11,8					0,025	0,88	0,039424
17	1,73	15,8					0,025	1,153333333	0,03905956
18	1,74	19,6	Argile sableuse compacte jaunâtre	B	1,2	1 ou 2	0,025	1,16	0,038976
19	2,05	20,3					0,025	1,36666667	0,03462222
20	1,96	23,7					0,025	1,30666667	0,03623822

ANNEXE XII.B: Courbe de frottement unitaire limite le long du fût du pieu



ANNEXE XII.C : Choix des abaques pour la détermination de  $q_s$

	ARGILES LIMONS			SABLES GRAVES			CRAIES			MARNES		ROCHES
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	
Foré simple	$Q_1$	$Q_1, Q_2^{(1)}$	$Q_2, Q_3^{(1)}$	-			$Q_1$	$Q_3$	$Q_4, Q_5^{(1)}$	$Q_3$	$Q_4, Q_5^{(1)}$	$Q_6$
Foré boue	$Q_1$	$Q_1, Q_2^{(1)}$		$Q_1$	$Q_2, Q_1^{(2)}$	$Q_3, Q_2^{(2)}$	$Q_1$	$Q_3$	$Q_4, Q_5^{(1)}$	$Q_3$	$Q_4, Q_5^{(1)}$	$Q_6$
Foré tubé (tube récupéré)	$Q_1$	$Q_1, Q_2^{(3)}$		$Q_1$	$Q_2, Q_1^{(2)}$	$Q_3, Q_2^{(2)}$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3, Q_4^{(3)}$	$Q_3$	$Q_4$	-
Foré tubé (tube perdu)	$Q_1$			$Q_1$	$Q_2$	<sup>(4)</sup>			$Q_2$	$Q_3$	-	
Puits <sup>(5)</sup>	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	-			$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$	$Q_6$
Métal battu fermé	$Q_1$	$Q_2$		$Q_2$	$Q_3$	<sup>(4)</sup>			$Q_3$	$Q_4$	$Q_4$	
Battu préfabriqué béton	$Q_1$	$Q_2$		$Q_3$			<sup>(4)</sup>			$Q_3$	$Q_4$	$Q_4$
Battu moulé	$Q_1$	$Q_2$		$Q_2$	$Q_3$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_3$	$Q_4$	-	
Battu enrobé	$Q_1$	$Q_2$		$Q_3$	$Q_4$	<sup>(4)</sup>			$Q_3$	$Q_4$	-	
Injecté basse pression	$Q_1$	$Q_2$		$Q_3$			$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$	-	
Injecté haute pression <sup>(6)</sup>	-	$Q_4$	$Q_5$	$Q_5$	$Q_6$	-	$Q_5$	$Q_6$	$Q_6$	$Q_6$	$Q_7^{(7)}$	

(1) Réalésage et rainurage en fin de forage.

(2) Pieux de grande longueur (supérieure à 30 m).

(3) Forage à sec, tube non louvoyé.

(4) Dans le cas des craies, le frottement latéral peut être très faible pour certains types de pieux. Il convient d'effectuer une étude spécifique dans chaque cas.

(5) Sans tubage ni virole foncés perdus (parois rugueuses).

(6) Injection sélective et répétitive à faible débit.

(7) Injection sélective et répétitive à faible débit et traitement préalable des massifs fissurés ou fracturés avec obturation des cavités (\*\*\*,\*\*).

**ANNEXE XII.D : Détail de calcul de la rentabilité du projet**

<b>Année p</b>	<b>Recette R</b>	<b>Dépense D</b>	<b>Rn</b>	<b>Fp</b>	<b>(Fp. (1 + r)<sup>-p</sup>)</b>	<b>Σ Fp. (1 + r)<sup>-p</sup></b>	<b>VAN</b>
0,00	2 300 000 000,00	414 000 000,00	1 886 000 000,00	1 567 079 199,45	0,00		
1,00	2 300 000 000,00	414 000 000,00	1 886 000 000,00	1 567 079 199,45	1 399 177 856,65	1 399 177 856,65	-30 492 902 198,59
2,00	2 484 000 000,00	447 120 000,00	2 036 880 000,00	1 717 959 199,45	1 369 546 555,68	2 768 724 412,33	-29 123 355 642,91
3,00	2 682 720 000,00	482 889 600,00	2 199 830 400,00	1 880 909 599,45	1 338 794 300,81	4 107 518 713,14	-27 784 561 342,10
4,00	2 897 337 600,00	521 520 768,00	2 375 816 832,00	2 056 896 031,45	1 307 194 613,38	5 414 713 326,53	-26 477 366 728,71
5,00	3 129 124 608,00	563 242 429,44	2 565 882 178,56	2 246 961 378,01	1 274 986 229,64	6 689 699 556,17	-25 202 380 499,07
6,00	3 379 454 576,64	608 301 823,80	2 771 152 752,84	2 452 231 952,29	1 242 377 023,38	7 932 076 579,55	-23 960 003 475,69
7,00	3 649 810 942,77	656 965 969,70	2 992 844 973,07	2 673 924 172,52	1 209 547 501,31	9 141 624 080,86	-22 750 455 974,38
8,00	3 941 795 818,19	709 523 247,27	3 232 272 570,92	2 913 351 770,37	1 176 653 917,25	10 318 277 998,11	-21 573 802 057,13
9,00	4 257 139 483,65	766 285 107,06	3 490 854 376,59	3 171 933 576,04	1 143 831 046,10	11 462 109 044,21	-20 429 971 011,03
10,00	4 597 710 642,34	827 587 915,62	3 770 122 726,72	3 451 201 926,17	1 111 194 654,30	12 573 303 698,50	-19 318 776 356,74
11,00	4 965 527 493,73	893 794 948,87	4 071 732 544,86	3 752 811 744,30	1 078 843 699,67	13 652 147 398,17	-18 239 932 657,07
12,00	5 362 769 693,23	965 298 544,78	4 397 471 148,44	4 078 550 347,89	1 046 862 289,63	14 699 009 687,80	-17 193 070 367,44
13,00	5 791 791 268,68	1 042 522 428,36	4 749 268 840,32	4 430 348 039,77	1 015 321 424,01	15 714 331 111,81	-16 177 748 943,43
14,00	6 255 134 570,18	1 125 924 222,63	5 129 210 347,55	4 810 289 546,99	984 280 545,73	16 698 611 657,54	-15 193 468 397,70
15,00	6 755 545 335,79	1 215 998 160,44	5 539 547 175,35	5 220 626 374,80	953 788 920,13	17 652 400 577,67	-14 239 679 477,57
16,00	7 295 988 962,66	1 313 278 013,28	5 982 710 949,38	5 663 790 148,83	923 886 861,41	18 576 287 439,08	-13 315 792 616,16
17,00	7 879 668 079,67	1 418 340 254,34	6 461 327 825,33	6 142 407 024,78	894 606 822,86	19 470 894 261,93	-12 421 185 793,31
18,00	8 510 041 526,04	1 531 807 474,69	6 978 234 051,35	6 659 313 250,80	865 974 365,60	20 336 868 627,53	-11 555 211 427,71
19,00	9 190 844 848,13	1 654 352 072,66	7 536 492 775,46	7 217 571 974,91	838 009 018,98	21 174 877 646,51	-10 717 202 408,73
20,00	9 926 112 435,98	1 786 700 238,48	8 139 412 197,50	7 820 491 396,95	810 725 044,46	21 985 602 690,97	-9 906 477 364,27
21,00	10 720 201 430,85	1 929 636 257,55	8 790 565 173,30	8 471 644 372,75	784 132 113,43	22 769 734 804,40	-9 122 345 250,84
22,00	11 577 817 545,32	2 084 007 158,16	9 493 810 387,16	9 174 889 586,61	758 235 908,34	23 527 970 712,74	-8 364 109 342,50
23,00	12 504 042 948,95	2 250 727 730,81	10 253 315 218,14	9 934 394 417,58	733 038 655,58	24 261 009 368,32	-7 631 070 686,92
24,00	13 504 366 384,86	2 430 785 949,28	11 073 580 435,59	10 754 659 635,04	708 539 597,45	24 969 548 965,76	-6 922 531 089,48
25,00	14 584 715 695,65	2 625 248 825,22	11 959 466 870,43	11 640 546 069,88	684 735 409,90	25 654 284 375,67	-6 237 795 679,57

26,00	15 751 492 951,30	2 835 268 731,23	12 916 224 220,07	12 597 303 419,52	661 620 572,12	26 315 904 947,79	-5 576 175 107,45
27,00	17 011 612 387,41	3 062 090 229,73	13 949 522 157,68	13 630 601 357,12	639 187 693,02	26 955 092 640,81	-4 936 987 414,43
28,00	18 372 541 378,40	3 307 057 448,11	15 065 483 930,29	14 746 563 129,74	617 427 799,55	27 572 520 440,36	-4 319 559 614,88
29,00	19 842 344 688,67	3 571 622 043,96	16 270 722 644,71	15 951 801 844,16	596 330 591,03	28 168 851 031,39	-3 723 229 023,85
30,00	21 429 732 263,77	3 857 351 807,48	17 572 380 456,29	17 253 459 655,74	575 884 663,05	28 744 735 694,44	-3 147 344 360,80
31,00	23 144 110 844,87	4 165 939 952,08	18 978 170 892,79	18 659 250 092,24	556 077 704,67	29 300 813 399,12	-2 591 266 656,12
32,00	24 995 639 712,46	4 499 215 148,24	20 496 424 564,22	20 177 503 763,66	536 896 671,48	29 837 710 070,60	-2 054 369 984,64
33,00	26 995 290 889,46	4 859 152 360,10	22 136 138 529,35	21 817 217 728,80	518 327 937,53	30 356 038 008,14	-1 536 042 047,10
34,00	29 154 914 160,61	5 247 884 548,91	23 907 029 611,70	23 588 108 811,15	500 357 428,31	30 856 395 436,45	-1 035 684 618,79
35,00	31 487 307 293,46	5 667 715 312,82	25 819 591 980,64	25 500 671 180,09	482 970 736,97	31 339 366 173,42	-552 713 881,82
36,00	34 006 291 876,94	6 121 132 537,85	27 885 159 339,09	27 566 238 538,54	466 153 225,67	31 805 519 399,09	-86 560 656,15
37,00	36 726 795 227,09	6 610 823 140,88	30 115 972 086,22	29 797 051 285,66	449 890 113,67	32 255 409 512,76	363 329 457,52
38,00	39 664 938 845,26	7 139 688 992,15	32 525 249 853,11	32 206 329 052,56	434 166 553,79	32 689 576 066,55	797 496 011,31
39,00	42 838 133 952,88	7 710 864 111,52	35 127 269 841,36	34 808 349 040,81	418 967 698,46	33 108 543 765,01	1 216 463 709,77
40,00	46 265 184 669,11	8 327 733 240,44	37 937 451 428,67	37 618 530 628,12	404 278 756,57	33 512 822 521,59	1 620 742 466,35
41,00	49 966 399 442,64	8 993 951 899,68	40 972 447 542,96	40 653 526 742,41	390 085 042,23	33 902 907 563,82	2 010 827 508,58
42,00	53 963 711 398,05	9 713 468 051,65	44 250 243 346,40	43 931 322 545,85	376 372 016,33	34 279 279 580,15	2 387 199 524,91
43,00	58 280 808 309,89	10 490 545 495,78	47 790 262 814,11	47 471 342 013,56	363 125 321,77	34 642 404 901,92	2 750 324 846,68
44,00	62 943 272 974,69	11 329 789 135,44	51 613 483 839,24	51 294 563 038,69	350 330 813,11	34 992 735 715,02	3 100 655 659,78
45,00	67 978 734 812,66	12 236 172 266,28	55 742 562 546,38	55 423 641 745,83	337 974 581,23	35 330 710 296,26	3 438 630 241,02
46,00	73 417 033 597,67	13 215 066 047,58	60 201 967 550,09	59 883 046 749,54	326 042 973,76	35 656 753 270,02	3 764 673 214,78
47,00	79 290 396 285,49	14 272 271 331,39	65 018 124 954,10	64 699 204 153,55	314 522 611,56	35 971 275 881,58	4 079 195 826,34
48,00	85 633 627 988,33	15 414 053 037,90	70 219 574 950,43	69 900 654 149,88	303 400 401,97	36 274 676 283,56	4 382 596 228,32
49,00	92 484 318 227,39	16 647 177 280,93	75 837 140 946,46	75 518 220 145,91	292 663 549,07	36 567 339 832,62	4 675 259 777,38
50,00	99 883 063 685,59	17 978 951 463,41	81 904 112 222,18	81 585 191 421,63	282 299 561,36	36 849 639 393,98	4 957 559 338,74
51,00	107 873 708 780,43	19 417 267 580,48	88 456 441 199,95	88 137 520 399,40	272 296 257,30	37 121 935 651,28	5 229 855 596,04
52,00	116 503 605 482,87	20 970 648 986,92	95 532 956 495,95	95 214 035 695,40	262 641 768,76	37 384 577 420,05	5 492 497 364,81
53,00	125 823 893 921,50	22 648 300 905,87	103 175 593 015,63	102 856 672 215,07	253 324 542,91	37 637 901 962,96	5 745 821 907,72
54,00	135 889 805 435,22	24 460 164 978,34	111 429 640 456,88	111 110 719 656,32	244 333 342,55	37 882 235 305,51	5 990 155 250,27

55,00	146 760 989 870,03	26 416 978 176,61	120 344 011 693,43	120 025 090 892,87	235 657 245,27	38 117 892 550,78	6 225 812 495,54
56,00	158 501 869 059,64	28 530 336 430,73	129 971 532 628,90	129 652 611 828,35	227 285 641,44	38 345 178 192,22	6 453 098 136,98
57,00	171 182 018 584,41	30 812 763 345,19	140 369 255 239,21	140 050 334 438,66	219 208 231,36	38 564 386 423,58	6 672 306 368,34
58,00	184 876 580 071,16	33 277 784 412,81	151 598 795 658,35	151 279 874 857,80	211 415 021,53	38 775 801 445,11	6 883 721 389,87
59,00	199 666 706 476,85	35 940 007 165,83	163 726 699 311,02	163 407 778 510,47	203 896 320,39	38 979 697 765,50	7 087 617 710,26
60,00	215 640 042 995,00	38 815 207 739,10	176 824 835 255,90	176 505 914 455,35	196 642 733,36	39 176 340 498,86	7 284 260 443,62
61,00	232 891 246 434,60	41 920 424 358,23	190 970 822 076,37	190 651 901 275,82	189 645 157,53	39 365 985 656,39	7 473 905 601,15
62,00	251 522 546 149,37	45 274 058 306,89	206 248 487 842,48	205 929 567 041,93	182 894 775,96	39 548 880 432,35	7 656 800 377,11
63,00	271 644 349 841,32	48 895 982 971,44	222 748 366 869,88	222 429 446 069,33	176 383 051,61	39 725 263 483,96	7 833 183 428,72
64,00	293 375 897 828,62	52 807 661 609,15	240 568 236 219,47	240 249 315 418,92	170 101 721,14	39 895 365 205,10	8 003 285 149,86
65,00	316 845 969 654,91	57 032 274 537,88	259 813 695 117,03	259 494 774 316,48	164 042 788,44	40 059 407 993,54	8 167 327 938,30
66,00	342 193 647 227,30	61 594 856 500,91	280 598 790 726,39	280 279 869 925,84	158 198 518,12	40 217 606 511,66	8 325 526 456,42
67,00	369 569 139 005,49	66 522 445 020,99	303 046 693 984,50	302 727 773 183,95	152 561 428,80	40 370 167 940,46	8 478 087 885,22
68,00	399 134 670 125,93	71 844 240 622,67	327 290 429 503,26	326 971 508 702,71	147 124 286,49	40 517 292 226,94	8 625 212 171,70
69,00	431 065 443 736,00	77 591 779 872,48	353 473 663 863,52	353 154 743 062,97	141 880 097,81	40 659 172 324,75	8 767 092 269,51
70,00	465 550 679 234,88	83 799 122 262,28	381 751 556 972,60	381 432 636 172,05	136 822 103,36	40 795 994 428,11	8 903 914 372,87
71,00	502 794 733 573,67	90 503 052 043,26	412 291 681 530,41	411 972 760 729,86	131 943 771,01	40 927 938 199,12	9 035 858 143,88
72,00	543 018 312 259,57	97 743 296 206,72	445 275 016 052,84	444 956 095 252,29	127 238 789,31	41 055 176 988,43	9 163 096 933,19
73,00	586 459 777 240,33	105 562 759 903,26	480 897 017 337,07	480 578 096 536,52	122 701 060,98	41 177 878 049,41	9 285 797 994,17
74,00	633 376 559 419,56	114 007 780 695,52	519 368 778 724,04	519 049 857 923,49	118 324 696,42	41 296 202 745,83	9 404 122 690,59
75,00	684 046 684 173,12	123 128 403 151,16	560 918 281 021,96	560 599 360 221,41	114 104 007,44	41 410 306 753,27	9 518 226 698,03
76,00	738 770 418 906,97	132 978 675 403,26	605 791 743 503,72	605 472 822 703,17	110 033 500,96	41 520 340 254,23	9 628 260 198,99
77,00	797 872 052 419,53	143 616 969 435,52	654 255 082 984,02	653 936 162 183,46	106 107 872,92	41 626 448 127,15	9 734 368 071,91
78,00	861 701 816 613,09	155 106 326 990,36	706 595 489 622,74	706 276 568 822,18	102 322 002,33	41 728 770 129,48	9 836 690 074,24
79,00	930 637 961 942,14	167 514 833 149,59	763 123 128 792,56	762 804 207 992,00	98 670 945,37	41 827 441 074,85	9 935 361 019,61
80,00	1 005 088 998 897,51	180 916 019 801,55	824 172 979 095,96	823 854 058 295,41	95 149 929,70	41 922 591 004,55	10 030 510 949,31
81,00	1 085 496 118 809,31	195 389 301 385,68	890 106 817 423,64	889 787 896 623,08	91 754 348,88	42 014 345 353,43	10 122 265 298,19
82,00	1 172 335 808 314,06	211 020 445 496,53	961 315 362 817,53	960 996 442 016,98	88 479 756,91	42 102 825 110,34	10 210 745 055,10
83,00	1 266 122 672 979,18	227 902 081 136,25	1 038 220 591 842,93	1 037 901 671 042,38	85 321 862,97	42 188 146 973,31	10 296 066 918,07

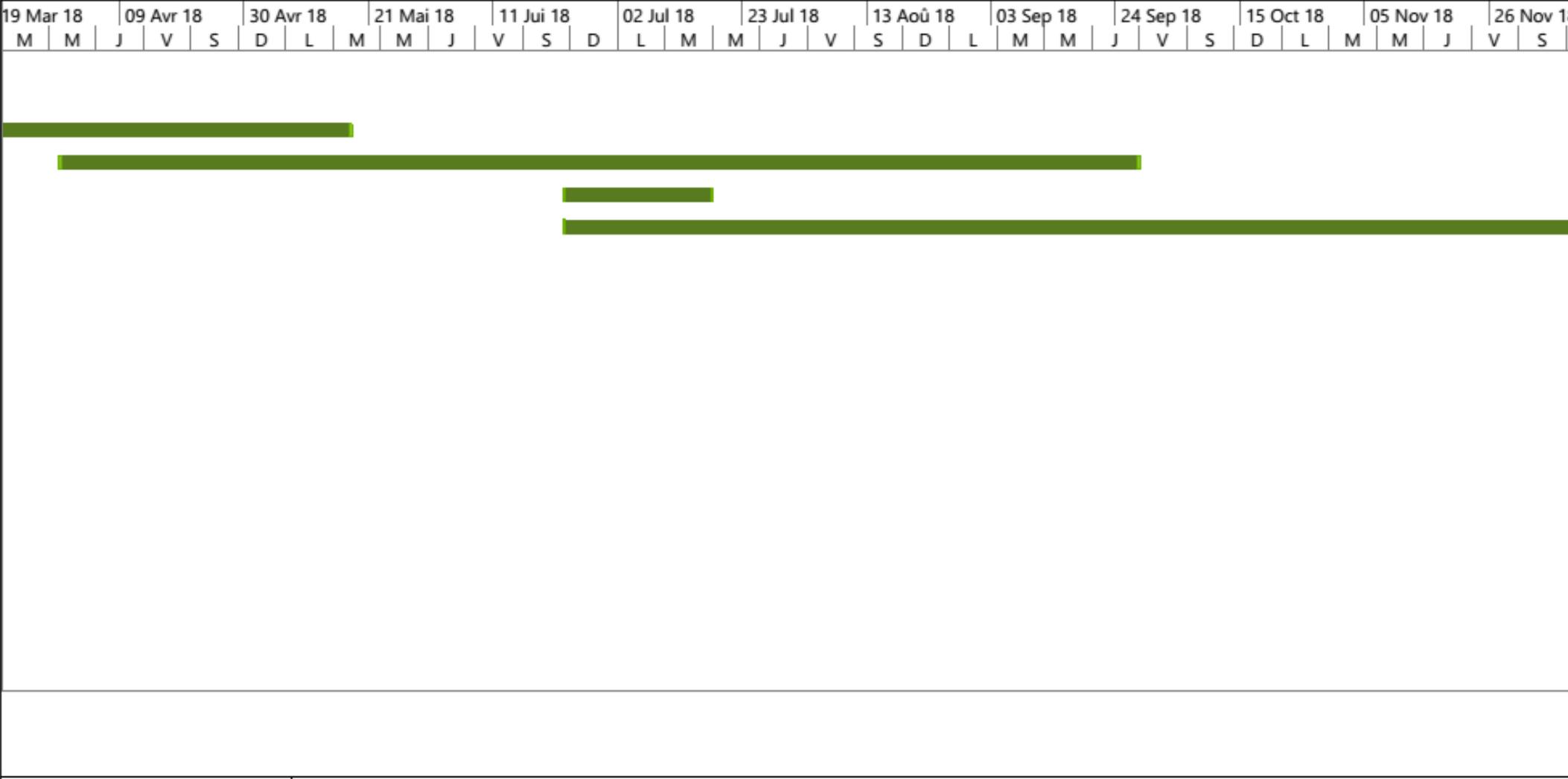
84,00	1 367 412 486 817,52	246 134 247 627,15	1 121 278 239 190,36	1 120 959 318 389,81	82 276 526,24	42 270 423 499,56	10 378 343 444,32
85,00	1 476 805 485 762,92	265 824 987 437,33	1 210 980 498 325,59	1 210 661 577 525,04	79 339 750,89	42 349 763 250,45	10 457 683 195,21
86,00	1 594 949 924 623,95	287 090 986 432,31	1 307 858 938 191,64	1 307 540 017 391,09	76 507 681,23	42 426 270 931,68	10 534 190 876,44
87,00	1 722 545 918 593,87	310 058 265 346,90	1 412 487 653 246,97	1 412 168 732 446,42	73 776 596,97	42 500 047 528,65	10 607 967 473,41
88,00	1 860 349 592 081,38	334 862 926 574,65	1 525 486 665 506,73	1 525 167 744 706,18	71 142 908,62	42 571 190 437,27	10 679 110 382,03
89,00	2 009 177 559 447,89	361 651 960 700,62	1 647 525 598 747,27	1 647 206 677 946,72	68 603 153,05	42 639 793 590,32	10 747 713 535,08
90,00	2 169 911 764 203,72	390 584 117 556,67	1 779 327 646 647,05	1 779 008 725 846,50	66 153 989,19	42 705 947 579,51	10 813 867 524,27
91,00	2 343 504 705 340,02	421 830 846 961,20	1 921 673 858 378,81	1 921 354 937 578,26	63 792 193,81	42 769 739 773,32	10 877 659 718,08
92,00	2 530 985 081 767,22	455 577 314 718,10	2 075 407 767 049,12	2 075 088 846 248,57	61 514 657,51	42 831 254 430,83	10 939 174 375,59
93,00	2 733 463 888 308,59	492 023 499 895,55	2 241 440 388 413,05	2 241 121 467 612,50	59 318 380,76	42 890 572 811,59	10 998 492 756,35
94,00	2 952 140 999 373,28	531 385 379 887,19	2 420 755 619 486,09	2 420 436 698 685,54	57 200 470,11	42 947 773 281,70	11 055 693 226,46
95,00	3 188 312 279 323,14	573 896 210 278,17	2 614 416 069 044,98	2 614 097 148 244,43	55 158 134,52	43 002 931 416,22	11 110 851 360,98
96,00	3 443 377 261 669,00	619 807 907 100,42	2 823 569 354 568,58	2 823 250 433 768,02	53 188 681,81	43 056 120 098,02	11 164 040 042,78
97,00	3 718 847 442 602,52	669 392 539 668,45	3 049 454 902 934,06	3 049 135 982 133,51	51 289 515,20	43 107 409 613,22	11 215 329 557,98
98,00	4 016 355 238 010,72	722 943 942 841,93	3 293 411 295 168,79	3 293 092 374 368,24	49 458 129,98	43 156 867 743,20	11 264 787 687,96
99,00	4 337 663 657 051,57	780 779 458 269,28	3 556 884 198 782,29	3 556 565 277 981,74	47 692 110,32	43 204 559 853,52	11 312 479 798,28
100,00	4 684 676 749 615,70	843 241 814 930,83	3 841 434 934 684,87	3 841 116 013 884,32	45 989 126,14	43 250 548 979,66	11 358 468 924,42

## PLANING D'EXECUTION

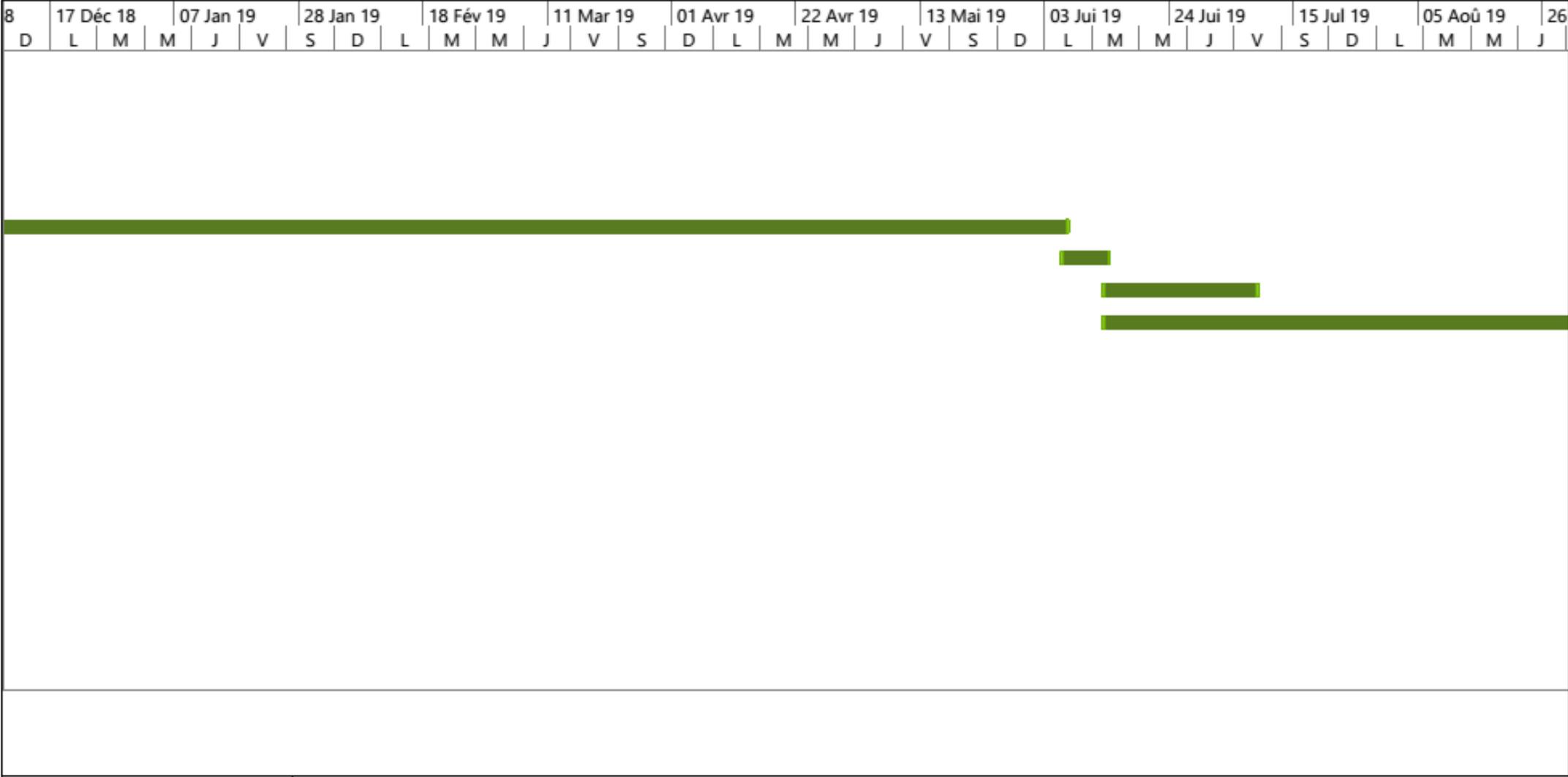
Planning d'exécution : Proposition de pont en arc métallique remplaçant le bac d'Andrangazaha sur la RNS 5 au PK178+232 (page 1/4)

N°	Texte26	Texte3	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	14 Déc 17		25 Déc 17			15 Jan 18		05 Fév 18		26 Fév 18		19	
							M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L
1	<b>A.</b>	1	<b>Etude du projet</b>	30 jours	Ven 08/12/17	Jeu 18/01/18													
2	<b>B.</b>	2	<b>Installation du chantier</b>	24 jours	Mar 09/01/18	Ven 09/02/18													
3	<b>C. Fondation</b>	3	Réalisation des fouilles	70 jours	Ven 09/02/18	Jeu 17/05/18													
4		4	Forage	130 jours	Ven 30/03/18	Jeu 27/09/18													
5		5	Armature	18 jours	Sam 23/06/18	Mar 17/07/18													
6		6	Bétonnage	250 jours	Sam 23/06/18	Jeu 06/06/19													
7	<b>D. Culée</b>	7	Béton de propreté	6 jours	Jeu 06/06/19	Jeu 13/06/19													
8		8	Ferailage	18 jours	Jeu 13/06/19	Lun 08/07/19													
9		9	Coffrage+betonnage	67 jours	Jeu 13/06/19	Ven 13/09/19													
10		10	Ancrage de l'arc																
11		11	Béton de propreté	6 jours	Ven 13/09/19	Ven 20/09/19													
12		12	Ferrailage	30 jours	Ven 13/09/19	Jeu 24/10/19													
13		13	Coffrage+betonnage	83 jours	Ven 13/09/19	Mar 07/01/20													
14	<b>E. Arc</b>	14	Lançage arc	40 jours	Mar 07/01/20	Lun 02/03/20													
15		15	Raidisseur et entretoise	10 jours	Mar 07/01/20	Lun 20/01/20													
16	<b>F. Tablier</b>	16	Montage poutre en acier	11 jours	Lun 02/03/20	Lun 16/03/20													
17		17	Raidisseur et entretoise	10 jours	Lun 16/03/20	Ven 27/03/20													
18		18	Platelage	5 jours	Ven 27/03/20	Jeu 02/04/20													
19	<b>G.</b>	19	<b>Finition</b>	20 jours	Jeu 02/04/20	Mer 29/04/20													
20	<b>H.</b>	20	<b>Repli de chantier</b>	10 jours	Mer 29/04/20	Mar 12/05/20													

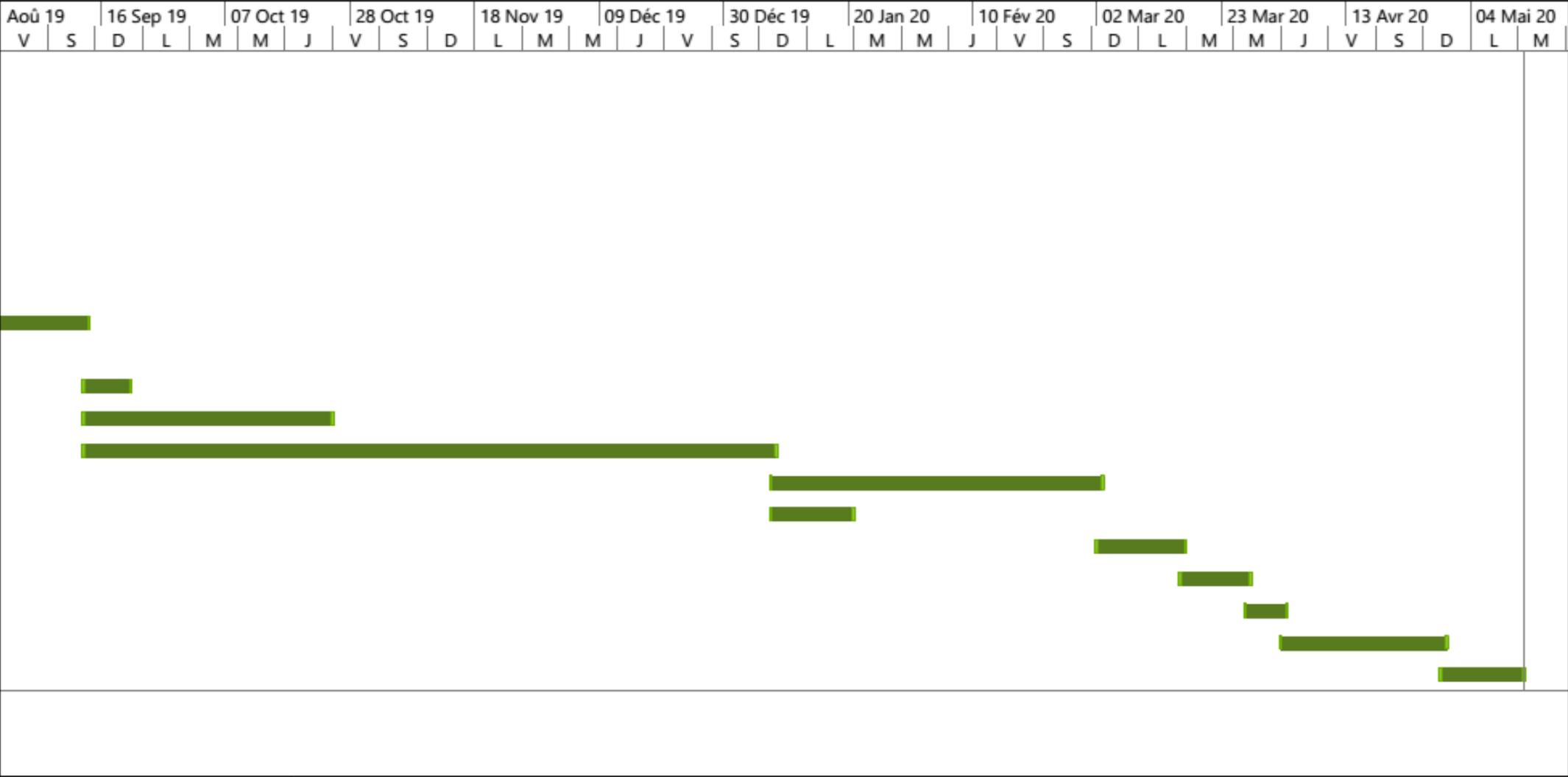
Planning d'exécution : Proposition de pont en arc métallique remplaçant le bac d'Andrangazaha sur la RNS 5 au PK178+232 (page 2/4)



Planning d'exécution : Proposition de pont en arc métallique remplaçant le bac d'Andrangazaha sur la RNS 5 au PK178+232 (page 3/4)



Planning d'exécution : Proposition de pont en arc métallique remplaçant le bac d'Andrangazaha sur la RNS 5 au PK178+232 (page 4/4)





Nom : RANDRIANASOLO

Prénom : Nantenaina Milliarde

Adresse : LOT IIF 43 Bis Andraisoro

Contact : 033 20 167 94

Email : [rnmnat@gmail.com](mailto:rnmnat@gmail.com)



TITRE DU MEMOIRE :

**PROPOSITION D'UN PONT EN ARC METALLIQUE REMPLACANT LE BAC  
D'ANDRANGAZAHA SUR LA RNS5 AU PK 178 + 232**

RESUME :

Ce mémoire concerne l'étude de construction d'un pont en arc métallique franchissant le fleuve Simianona afin de remplacer le bac d'Andrangazaha. Effectivement, la vétusté et la non-conformité dudit bac à la norme internationale constitue un grand obstacle pour le développement de la partie Nord-Est de Madagascar. C'est ainsi que la mise en place d'un nouveau pont en arc métallique s'avère indispensable. La réalisation de ce pont nécessite d'une part des études hydrauliques et hydrologiques, géotechniques qui mettent en valeur l'importance et les enjeux majeurs du projet, et d'autre part, des études techniques suivant les normes Eurocodes qui permettent de savoir si le projet est réalisable ou non.

ABSTRACT :

The present project of report consists on a study of building a metal arch bridge. This bridge will cross the Simianona river, and will replace Andrangazaha's ferry. Indeed, Andrangazaha's ferry is dilapidated, and in non-accordance with international norms. Thus, it constitutes an obstacle for the development of the North-East region of Madagascar. For all these reasons, the construction of a new metal arch bridge seems necessary. The fulfillment of this bridge needs hydraulic, hydrologic and geotechnical studies. These technics will emphasize the importance and benefits of this project, as well as they will allow knowing if the project is feasible, according to Eurocodes norms.

Nombre de page : 310

Nombre de tableau : 106

Nombre de figure : 118

Mots clés : pont, acier, trafic, arc, ancrage, projet

Rapporteur : Monsieur RIVONIRINA RAKOTOARIVELO