

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DU GENIE CIVIL



**Projet de fin d'études soutenu pour l'obtention du diplôme de
Master professionnel**

Spécialité : Génie Civil
Option : Constructions hydrauliques et aménagements

Présenté par :
HACHOUR Aghilas

Thème

**Analyse mécano-fiabiliste d'un réservoir posé au sol en béton
précontraint**

Proposé et dirigé par :

Mr HAMMOUM Hocine

2017/2018

Remerciement

Je remercie :

Mes chers parents et toute ma famille, qui m'ont soutenu le long de mon
parcours.

Mes amis auxquels je tiens beaucoup.

Mr HAMMOUM, qui m'a accompagné et encourager le long de ma formation
master.

Toutes les personnes aillant contribué, de près ou de loin, à ma réussite.

1. CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	2
3.1. Introduction.....	3
3.2. Caractéristiques des matériaux.....	3
1.1.1. Béton	3
1.1.2. Les aciers	3
3.3. Qu'est-ce que la corrosion ?	5
3.4. Processus de corrosion dans le béton	5
3.5. Les types de corrosion	6
1.1.3. Corrosion uniforme (carbonatation).....	6
1.1.4. Corrosion par piqûres (ions de chlorures).....	7
3.6. Model de corrosion	8
1.1.5. Model de corrosion pour le béton armé	8
1.1.6. Model de corrosion pour le béton précontraint :	10
3.7. Conclusion	12
2. CHAPITRE 2 : CALCUL DETERMINISTE DE LA PAROI D'UN RESERVOIR	13
2.1. Introduction.....	14
2.2. Calcul de la paroi sous chargement statique.....	14
2.2.1. Calcul des pressions.....	14
2.2.2. Calcul des efforts de traction.....	15
2.3. Calcul de la paroi sous chargement dynamique	15
2.3.1. Calcul des pressions	15
2.3.2. Calcul des efforts de tractions	16
2.4. Combinaisons de charges	16
2.5. Étude de cas	19
2.5.1. Présentation de l'ouvrage	19
2.5.2. Méthode de travail.....	20
2.6. Étude de la précontrainte	22
2.6.1. Les classes de précontrainte.....	22
2.6.2. Dimensionnement de la précontrainte	23
2.6.3. Les pertes de précontraintes.....	25
2.6.4. Vérification des efforts	41
2.7. Etude de la corrosion.....	55

2.8. Conclusion	60
3. CHAPITRE 3 : CALCUL FIABILISTE DE LA PAROI DU RESERVOIR	61
3.1. INTRODUCTION	62
3.2. Critère de défaillance et fonction d'état limite	62
3.3. Identification des variables.....	62
3.4. Génération des variables aléatoires.....	62
3.5. Evaluation de la probabilité de défaillance	64
3.6. Comparaison des résultats du calcul déterministe et fiabiliste.....	69
3.7. Conclusion	69
3. LES ANNEXES	72

Figure 1.1 : Diagramme simplifié des contraintes en fonctions des déformations du béton.	3
Figure 1.2 : Diagramme simplifié des contraintes en fonctions des déformations des aciers passifs.	4
Figure 1.3 : Diagramme des contraintes en fonctions des déformations des aciers actifs..	5
Figure 1.4 : diagramme des deux phases de corrosion en fonction du temps.....	6
Figure 1.5 : processus de corrosion uniforme	7
Figure 1.6 : barre corrodée par carbonatation	7
Figure 1.7 : processus de corrosion par pique	8
Figure 1.8 : Montage de l'essai de Darmawan et Stewart.	11
Figure 2.1 : pressions hydrostatique agissant sur la paroi du réservoir	14
Figure 2.2 : pressions hydrodynamique agissant sur la paroi du réservoir	16
Figure 2.3 : diagramme de la méthode de travail	20
Figure 2.4 : vue de dessus d'une coupe transversale de la paroi.....	25
Figure 2.5 : détails de la coupe A-A.....	26
Figure 2.6 : diagramme des contraintes après perte par frottement	28
Figure 2.7 : tension dans un câble avant et après recul d'ancrage	29
Figure 2.8 : position du point C dans le diagramme des tensions dans le câble	30
Figure 2.9 : diagramme des tensions dans le câble après perte par frottement et recul d'ancrage.	32
Figure 2.10 : diagramme des tensions dans le câble le plus sollicité après les trois pertes instantanées	34
Figure 2.11 diagramme des tensions dans le câble le plus sollicité après les quatre pertes	36
Figure 2.12 : diagramme des tensions dans le câble le plus sollicité après les cinq pertes	38
Figure 2.13 : diagramme des tensions du câble le plus sollicité après toutes pertes.....	40
Figure 2.14 : coupe transversale dans la paroi au niveau d'une bande	41
Figure 2.15 : fuseau d'efforts sous l'effet des combinaisons rares le long du câble dans la fibre la plus éloignée vers l'intérieur	44
Figure 2.16 : fuseau d'efforts sous l'effet des combinaisons rares aux voisinages du câble....	45
Figure 2.17 : fuseau d'efforts sous l'effet des combinaisons rares le long du câble dans la fibre la plus éloignée vers l'extérieur	46
Figure 2.18 : fuseau d'efforts sous l'effet de la combinaison fréquente le long du câble dans la	

fibre la plus éloignée vers l'intérieur	48
Figure 2.19 : fuseau de contraintes au droit du câble	49
Figure 2.20 : fuseau d'efforts sous l'effet de la combinaison fréquente le long du câble dans la fibre la plus éloignée vers l'extérieur	50
Figure 2.21 : fuseau d'efforts sous l'effet de la combinaison quasi-permanente le long du câble dans la fibre la plus éloignée vers l'intérieur	52
Figure 2.22 : fuseau d'efforts sous l'effet de la combinaison quasi-permanente au droit du câble	53
Figure 2.23 : fuseau d'efforts sous l'effet de la combinaison quasi-permanente le long du câble dans la fibre la plus éloignée vers l'extérieur	54
Figure 2.24 : diagramme de la diminution de la section d'un câble dans le temps pour les différents degrés d'agressivité.....	57
Figure 2.25 : âges de l'ouvrage selon le degré d'agressivité de la région	59
Figure 3.1 organigramme de génération des variables aléatoires	63
Figure 3.2 : algorithme utilisé pour le calcul de la probabilité de défaillance en fonction du temps.....	65
Figure 3.3 Organigramme de calcul de la probabilité de défaillance en utilisant la méthode des simulations de Monte Carlo.	65
Figure 3.4 : diagramme de l'évolution de la probabilité de défaillance en fonction du temps selon les différentes régions d'implantation	67
Figure 3.5 : diagramme de la probabilité de défaillance en fonction du temps, en prenant considération le temps d'initiation à la corrosion	68

Table des matières

Tableau 1-1 : fiche technique d'un toron super 7T15s.....	4
Tableau 2-1 récapitulatif des résultats obtenus	21
Tableau 2-2 récapitulatif des résultats de la précontrainte	25
Tableau 2-3 : tensions après perte par frottement	27
Tableau 2-4 : tensions dans le câble le plus sollicité après les trois pertes	33
Tableau 2-5 : tensions dans le câble le plus sollicité après les cinq pertes.....	37
Tableau 2-6	39
Tableau 2-7 :	43
Tableau 2-8 : vitesse de corrosion pour les différentes régions (M. Otieno et Al)	55
Tableau 3-1 : exemple de variables déterministes et aléatoires.	62
Tableau 3-2 probabilité de défaillance selon le secteur industriel	64
Tableau 3-3	69

Introduction générale

La durabilité des ouvrages dépend de leur comportement face aux conditions climatiques et environnementales qui existent dans les milieux où ils sont construits. Ces constructions sont souvent exposées à de nombreuses agressions physico-chimiques auxquelles ils doivent résister afin d'accomplir leurs rôles (toutes les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus) de façon satisfaisante pendant leur période d'exploitation. Lorsqu'ils ne peuvent plus résister à ces agressions, des désordres (le cas le plus fréquent est la fissuration du béton qui engendre la corrosion des armatures) apparaissent et entraîne la dégradation des structures voire carrément leur ruine.

Les ingénieurs civils des bureaux d'études techniques analysent les réservoirs posés au sol, par des méthodes déterministes, en se basant sur les coefficients de sécurité donnés par les codes de dimensionnement. Or, l'incertitude liée à la variabilité des paramètres du calcul déterministe, nécessite une étude fiabiliste.

La théorie de la fiabilité repose sur une approche probabiliste de la sécurité structurale. Elle vise à évaluer la probabilité de défaillance de la structure, connaissant un critère d'état limite, ainsi que la variabilité des paramètres qui interviennent dans ce critère. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude.

Dans le premier chapitre, nous exposons quelques propriétés des matériaux de constructions, leurs comportements dans des milieux agressifs et quelques modèles de corrosions aussi bien pour le béton armé que pour le béton précontraint.

Le deuxième chapitre porte sur le calcul déterministe de la paroi d'un réservoir en béton armé puis en béton précontraint et on termine avec l'analyse de l'évolution de la corrosion des câbles de précontraintes dans le temps.

Dans le troisième chapitre, nous essayerons au calcul fiabiliste de la paroi, en considérant la résistance à la compression du béton (f_{c28}) et l'excentricité du câble (e_0) comme variables aléatoires, par la méthode de simulation de **Monté Carlo**, et en tenant compte de l'agressivité des différentes zones d'implantations.

Les résultats de l'analyse fiabiliste feront l'objet d'une conclusion générale.

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

3.1. Introduction

Ce chapitre sera consacré pour définir quelques propriétés des matériaux de constructions, leurs comportements dans des milieux agressifs et quelques modèles de corrosions aussi bien pour le béton armé et le béton précontraint.

3.2. Caractéristiques des matériaux

1.1.1. Béton

Le béton qu'on va utiliser pour la réalisation de notre ouvrage est un béton a haute performance, qui a les caractéristique suivante :

- le dosage du ciment est de l'ordre de 400 à 500 Kg/m³
- résistance à la compression égale à 35 MPa.

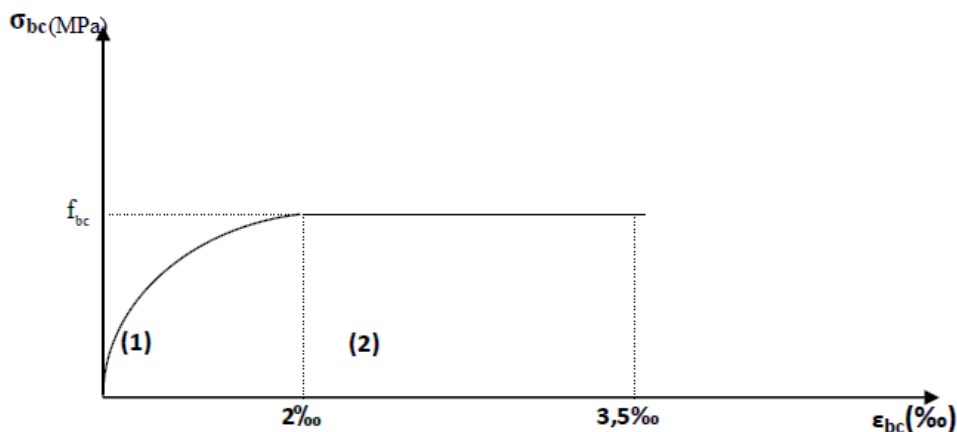


Figure 1.1 : Diagramme simplifié des contraintes en fonctions des déformations du béton.

1.1.2. Les aciers

➤ Aciers passifs

Les aciers passifs qu'on va utiliser dans notre ouvrage ont les caractéristiques suivantes :

Aciers à haute adhérence de classe FeE400 ;

Limite d'élasticité $f_e = 400$ Mpa ;

Module d'élasticité $E_s = 2 \times 10^5$ Mpa.

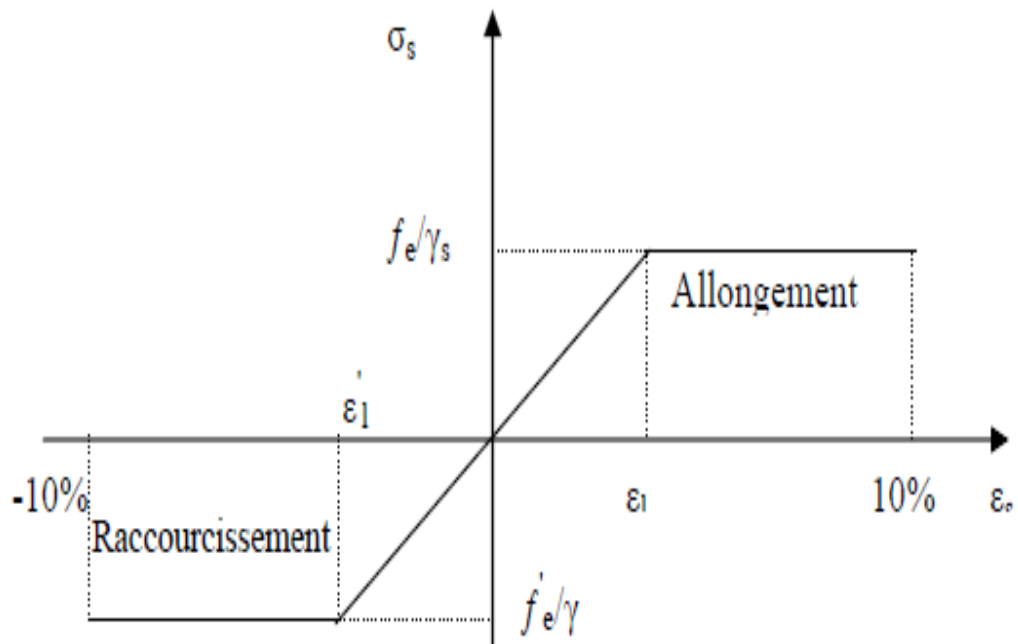


Figure 1.2 : Diagramme simplifié des contraintes en fonctions des déformations des aciers passifs.

➤ Aciers actifs

Les armatures actives que nous utiliserons dans la conception de notre ouvrage, sont des torons super type **FREYSSINET** constitués de sept fils enroulés en hélice sur un fil central qui ont la fiche technique suivante :

Tableau 1-1 : fiche technique d'un toron super 7T15s

La section d'acier totale	Ap	1050,00	mm²
La contrainte de rupture garantie	fprg	1860,00	Mpa
La limite conventionnelle d'élasticité	fpeg	1660,00	Mpa
Le diamètre des gaines	Øg	66,00	mm
Les coefficients de frottement courbe	f	0,18	rad-1
Les coefficients de frottement droit	φ	0,00	m-1
Le recul d'ancrage	g	2,00	mm
La relaxation à 1000 heures	ρ 1 0 0 0	2,50	%
coefficient	μ0	0,43	
coefficient du retrait final	ε	0,00	
Module d'élasticité	Ep	190000,00	Mpa
précontrainte initiale	σ0	1488,00	Mpa

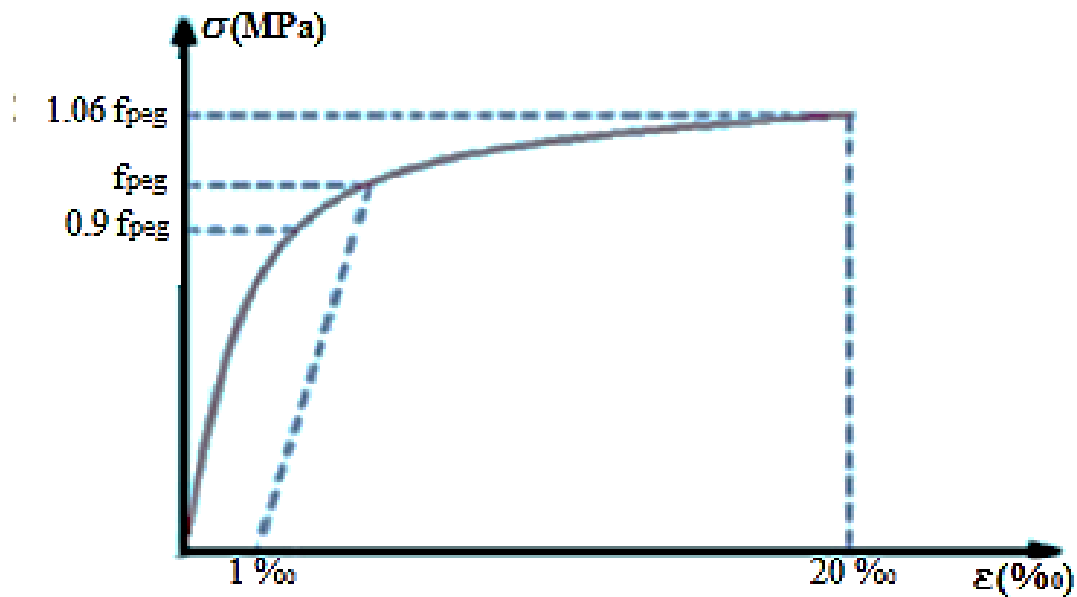


Figure 1.3 : Diagramme des contraintes en fonctions des déformations des aciers actifs.

Après avoir définis les matériaux qu'on va utiliser pour la construction de notre ouvrage, nous allons à présent définir une anomalie qui est la corrosion.

3.3. Qu'est-ce que la corrosion ?

La corrosion désigne l'altération d'un matériau par réaction électrochimique avec un oxydant.

3.4. Processus de corrosion dans le béton

Bien que le béton offre aux armatures une protection à la fois physique et chimique par le biais de l'enrobage qui varie entre 3 et 7 cm selon l'agressivité du milieu et le PH du béton au droit des armatures qui est de 13 (milieu basique), cependant, cette protection n'est pas éternelle car des agents agressifs tels que l'hydroxyde de carbone (CO_2) et les ions de chlorures vont essayer de pénétrer dans le béton (phase d'initiation ou d'incubation). Après, au bout de quelques années, ils arrivent à s'offrir un chemin jusqu'aux armatures (fin de l'incubation et début de la propagation) et une réaction électrochimique aura lieu, qui engendrera la dépassement des aciers (rompre le film protecteur appelé aussi la rouille créée par la réaction entre le ciment et l'eau de gâchage), une fois que la protection est rompue, le processus d'oxydation (corrosion) commence.

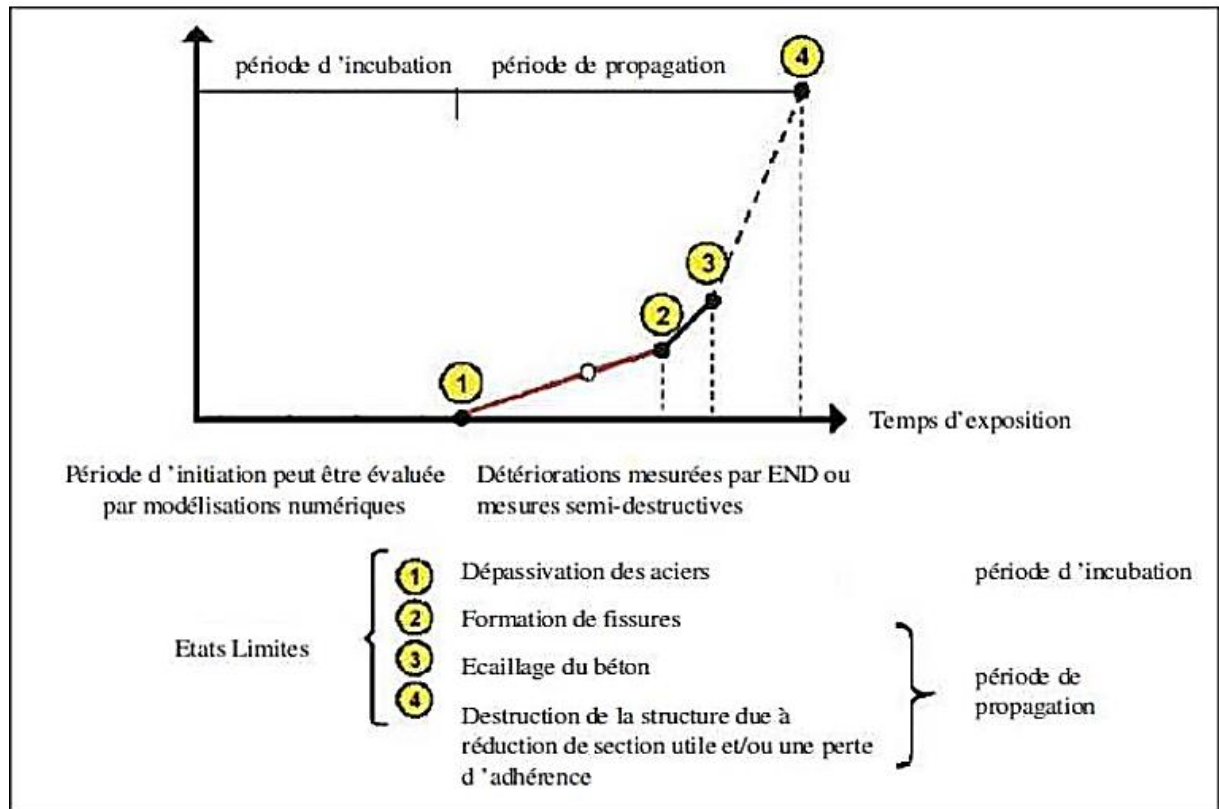


Figure 1.4 : diagramme des deux phases de corrosion en fonction du temps

3.5. Les types de corrosion

1.1.3. Corrosion uniforme (carbonatation)

Lors de la conception du béton, on introduit une quantité d'eau pour l'hydratation de son ciment qui est toujours supérieure à la quantité nécessaire pour des raisons de maniabilité. De ce fait, le ciment hydraté est toujours un milieu poreux dont les pores sont d'abord remplis d'eau qui va s'évaporer dans le temps, ces derniers se remplissent partiellement d'air. Le CO_2 présent dans l'air des pores se dissout dans la couche protectrice des armatures, ainsi une nouvelle solution bien plus acide ($\text{pH} < 9$) qu'initialement ($\text{pH} = 13$) se crée dans le voisinage des armatures. Lorsque la zone de carbonatation atteint les armatures, le processus de corrosion commence en produisant plus de matériaux initialement présents ce qui explique l'éclatement du béton autour des armatures corrodées.

Processus de carbonatation

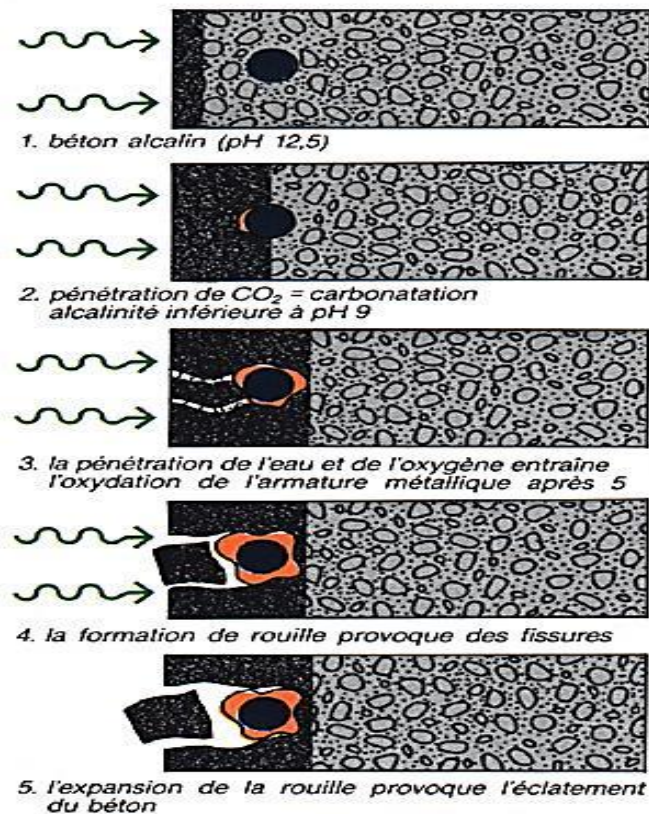


Figure 1.5 : processus de corrosion uniforme



Figure 1.6 : barre corrodée par carbonatation

1.1.4. Corrosion par piqûres (ions de chlorures)

La corrosion de type pitting, est une corrosion localisée qui se manifeste sous forme d'un ou plusieurs petits trous dans l'acier. Etant la forme la plus dangereuse de corrosion, l'origine de ce type de corrosion se trouve d'une part dans le manque d'oxygène sur une partie très réduite (anode) ; pendant que le reste de la surface bénéficie d'un excès d'oxygène (cathode). Ainsi la corrosion s'initie sur une partie très localisée du métal et tend à se propager en

profondeur de celui-ci créant une diffusion d'ions contrairement à la corrosion uniforme qui est une corrosion qui se propage en surface. . La corrosion par piqûres peut être initiée par de nombreux facteurs, comme l'air marin ou le brouillard salin provenant de la mer, pluie peut être porteuse de ces ions essentiellement à proximité des zones industrielles et les sels de déverglaçage (pour les ponts).

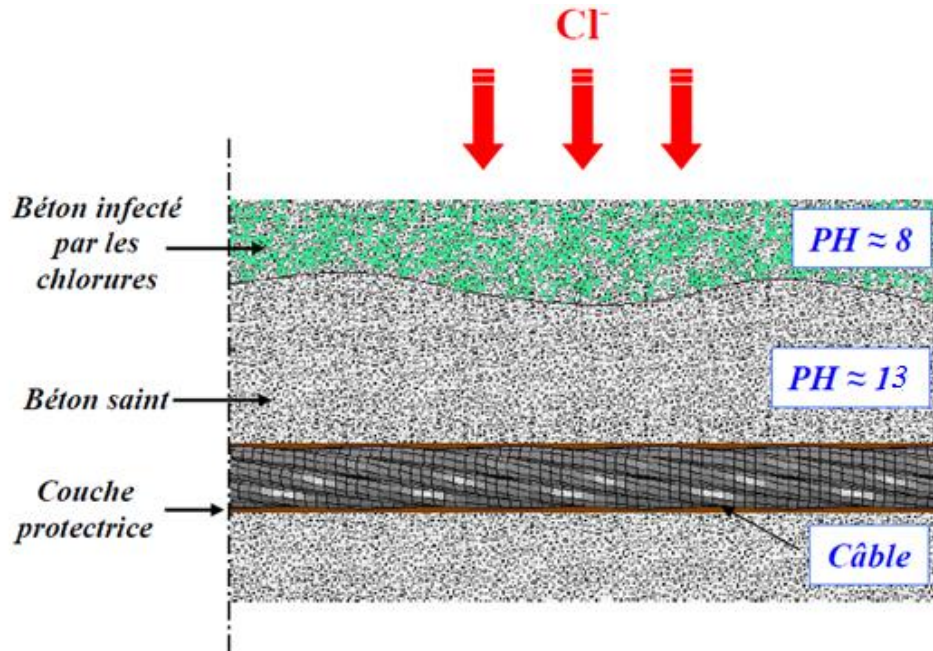


Figure 1.7 : processus de corrosion par piqure

3.6. Model de corrosion

1.1.5. Model de corrosion pour le béton armé

Corrosion uniforme

Model d'Alonso et all. (1988)

Ce modèle est basé sur l'analyse statistique de la résistivité et des résultats accélérés de la carbonatation induite.

L'expression mathématique a été adoptée comme modèle de prédiction, avec la résistivité du béton comme principal paramètre d'entrée

$$i_{\text{corr}} = \frac{K_{\text{corr}}}{\rho_{\text{ef}}} \quad (1.1)$$

Où :

k_{corr} est une constante avec une valeur de $3 \times 10^4 [\mu\text{A}/\text{cm}^2]$;

ρ_{ef} est la résistivité du béton à son degré réel de saturation.

Modèle de Duracrete (1998)

Qui est une amélioration du modèle développé par Alonso et al. Le **modèle de Duracrete** introduit d'autres facteurs de corrélation comme des coefficients ou des facteurs de correction tel qu'indiqué dans l'équation :

$$i_{\text{corr}} = \frac{k_{\text{corr}}}{\rho(t)} F_{\text{Cl}} F_{\text{Galv}} F_{\text{Oxide}} F_{\text{Oxy}} \quad (1.2)$$

Où

k_{corr} est un paramètre de régression constant (10^4) ;

F_{Cl} , F_{Galv} , F_{Oxide} et F_{Oxy} sont des facteurs qui tiennent compte de l'influence de la teneur en chlorure, des effets galvaniques, de la formation continue et du vieillissement des oxydes et de la disponibilité de l'oxygène sur i_{corr} ;

$\rho(t)$ est la résistivité du béton (Ω) à l'instant t .

Modèle de Scott (2004)

Le modèle de **Scott** a été développé en utilisant les résultats expérimentaux d'un ensemble de poutres fissurées (120 mm 120 mm 375 mm) avec des fissures de 0,2 et 0,7 mm et largeurs d'enrobage de 20 et 40 mm, un rapport w / b 0,58 et une variété de types de liants:

$$i_{\text{corr}} = \left(1.43 \frac{C_c}{f} + 0.02\right) e^{[(40-x/20)1.2(C_c/f)^3]} \quad (1.3)$$

Où :

C_c : la valeur de l'indice de conductivité du chlorure pour 90 jours (mS / cm) ;

x : l'enrobage du béton (mm) ;

f : facteur de correction de laitier qui se calcul comme suit :

$$f = 10^{(0.5 - S) - 0.5 + S} \quad (1.4)$$

Où

S : la concentration de laitier exprimée en décimal, par exemple 0,25 pour 25%.

Corrosion par piqure

Modèle d'Yalcyn et Ergun (1996)

Ce modèle a été développé en étudiant l'influence des ions chlorures et acétates sur i_{Corr}

$$i_{\text{corr}} = i_0 e^{-Ct} \quad (1.5)$$

Où

i_{corr} : est la vitesse de corrosion au temps t ;

i_0 : est la vitesse de corrosion initiale ;

C : est une constante de corrosion qui dépend du degré de saturation des pores du béton, du pH, de la perméabilité et de l'épaisseur du revêtement; **Yalcyn** et **Ergun** ont proposé une valeur de C (évaluée à partir des courbes i_{corr} en fonction du temps) à $1,1 \cdot 10^{-3}$ par jour pour les différents échantillons de béton qu'ils ont considérés. Le modèle présenté dans l'équation (1.5) suppose que les conditions concrètes et environnementales restent constantes et que le future i_{corr} ne dépend que du temps.

Modèle de Liu and Weyers (1998)

Liu et **Weyers** ont développé un modèle empirique basé sur des analyses statistiques, des résultats expérimentaux obtenus à partir d'un programme de tests de corrosion accélérés durant 5 ans sur 44 dalles de ponts non fissurées. **Liu** et **Weyers** ont découvert que la dynamique de l'acier dans le béton en service est fonction de la teneur en chlorure, de la température, de la résistivité du béton et du temps de corrosion actif. Le résultat des analyses statistiques sont montrés dans l'équation :

$$i_{\text{corr}} = 102.47 + 10.09 \ln(1.69Cl) - 39\,038.96(T^{-1}) - 0.0015R_c + 290.91t^{-0.215} \quad (1.6)$$

Où :

i_{corr} : la vitesse de corrosion 3LP [$\mu\text{A} / \text{cm}^2$] ;

Cl : la teneur totale en chlorure au niveau de l'acier [kg / m^3] ;

T : la température à la surface d'acier [K] ;

R_c : la résistivité du béton de couverture [V] ;

t : le temps de corrosion [années].

1.1.6. Model de corrosion pour le béton précontraint :

Modèle de Darmawan et Stewart (DJEDDI Lamine 2013)

Afin d'obtenir des données expérimentales durant la corrosion par piqûres des câbles de précontraintes, **Darmawan** et **Stewart** ont réalisé le montage illustré dans la Figure 1.8 ; quatre poutres en béton enrobant 36 câbles de précontrainte ont été mises en contact avec une solution contaminée par les ions de chlorures.

Un courant électrique de densité $150\text{--}420 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ a été imposé aux câbles pour accélérer le processus de corrosion. La mesure des profondeurs des piqûres s'est effectuée à l'aide d'un micromètre très précis.

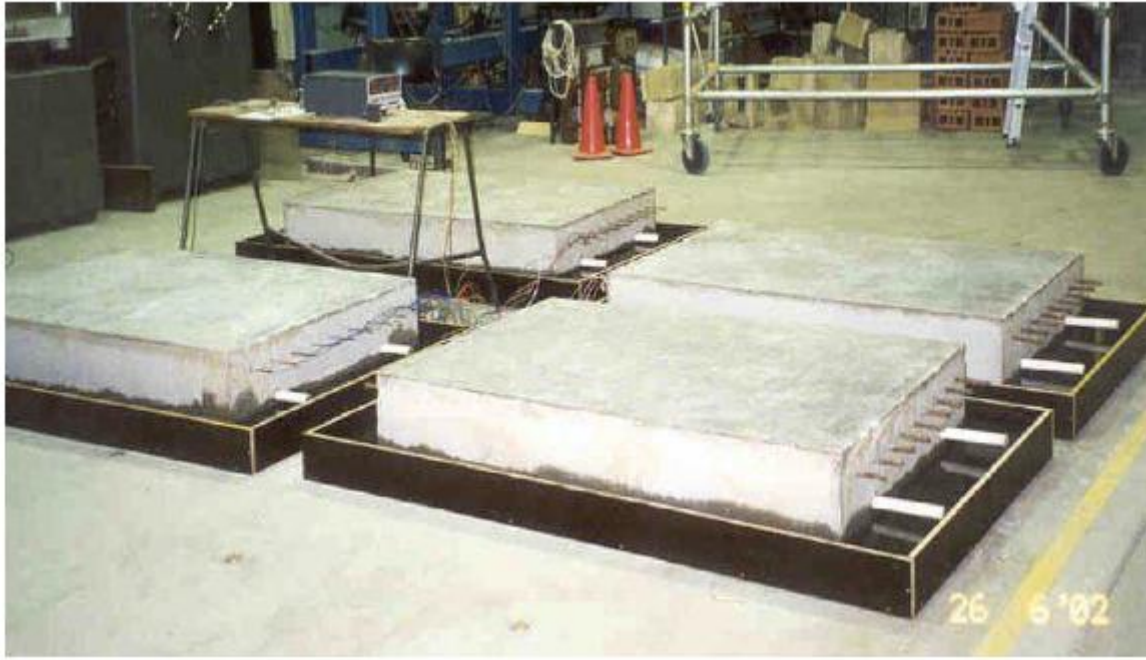


Figure 1.8 : Montage de l'essai de Darmawan et Stewart.

Il s'est avéré que la loi de **Gumbel** est la meilleure loi permettant la représentation de la distribution de la profondeur maximale des piqûres.

La distribution de la piqûre maximale a (mm) à tout moment T (an) avec un taux de corrosion i_{corr} ($\mu A/cm^2$) au début de la propagation de la corrosion et L (mm) longueur du câble est :

$$f_a(T, i_{corr}, L) = \frac{\alpha}{\lambda^{0.54}} e^{-\alpha(\frac{a}{\lambda^{0.54}})^{\mu}} e^{-e^{-\alpha(\frac{a}{\lambda^{0.54}})^{\mu}}} \quad \text{pour } T > T_i \quad (1.7)$$

Avec :

$$\lambda = \frac{[D_0^2 - (D_0 - 0,0232 \cdot i_{corr}(1) \{1 + \frac{k}{\theta+1} [(T - T_i)^{\theta+1} - 1]\})^2]}{[D_0^2 - (D_0 - 0,0232 \cdot i_{corr}(1) \{1 + \frac{k}{\theta+1} [T_0^{\theta+1} - 1]\})^2]} \quad (1.8)$$

$$T_0 = \exp \left[\frac{1}{\theta+1} \ln \left(\frac{(\theta+1)(i_{corr-exp} T_0 - exp) + (k - \theta - 1)(i_{corr}(1))}{k \cdot i_{corr}(1)} \right) \right] \quad (1.9)$$

$$\mu = \mu_{0-exp} + \frac{1}{\alpha_{0-exp}} \ln \left(\frac{L}{L_{0-exp}} \right) \quad \text{avec } \alpha = \alpha_{0-exp} \quad (1.10)$$

$$i_{corr}(T - T_i) = i_{corr}(1) \times k(T - T_i)^{\theta} \quad \text{Pour } T - T_i \geq 1 \text{ an} \quad (1.11)$$

Avec :

T_i : est le temps d'initiation de la corrosion ;

$\mu_{0\text{-exp}}$ et $\alpha_{0\text{-exp}}$ sont les paramètres de la distribution de **Gumbel**.

Modèle de Fumin Li et Al

Pour l'étude de la corrosion (diminution de la section du câble) dans les différentes régions d'implantations, nous nous proposons un modèle qui mesure le taux de perte de poids d'un câble de précontrainte (relation 1.13) développer à partir de la loi de **FARADAY** (relation 1.12)

$$\Delta m = \frac{M \cdot I \cdot t}{F \cdot z} \quad (1.12)$$

Avec :

Δm : perte de poids pour instant donné [g] ;
 M : masse moléculaire du matériau [g/mol] ;
 I : intensité de courant traversant la substance [C/s=A] ;
 t : temps [s] ;
 z : nombre d'électrons cédés ou gagnés ;
 F : constante de **FARADAY** prise égale à 96485 [C/mol].

$$\eta_c = \frac{M \cdot i \cdot S \cdot t_c / (|z| \cdot F)}{L \cdot \rho_l} \quad (1.13)$$

Où :

η_c : est le taux de perte de poids 28 jours ;
 i : est la densité de corrosion [A/m²] ;
 S : est la section latérale du câble [m²] ;
 t_c : est le temps de corrosion [s] ;
 M : masse molaire de l'acier [g/mol] ;
 z : nombre d'électrons cédés ou gagnés ;
 F : constante de **FARADAY** prise égale à 96 485 [C/mol] ;
 L : la longueur du câble [m] ;
 ρ_l : est la densité linéaire du câble [g/m].

3.7. Conclusion

Notre choix s'est portée sur le modèle **Fumin Li et Al** pour l'évaluation de la diminution de section d'un câble, car ses paramètres sont précis, ne nécessite pas de prises de mesures en laboratoire, et son utilisation reste simple, contrairement au modèle de **Darmawan et Stewart**, qui est un modèle complexe et qui se réalise en laboratoire.

CHAPITRE 2 : CALCUL DETERMINISTE DE LA PAROI D'UN RESERVOIR

2.1. Introduction

Dans ce chapitre nous calculerons, avec le logiciel **Excel**, toutes les sollicitations qui agissent sur la paroi d'un réservoir en béton armé posé au sol, en se référant aux lois de l'hydrostatique pour le calcul statiques et la méthode **WESTERGAARD** pour le calcul dynamique afin de déterminer les sections de ferrailage nécessaires à la paroi. Les résultats obtenus, détermineront le nombre de bandes nécessitant l'emploi de la précontrainte.

2.2. Calcul de la paroi sous chargement statique

2.2.1. Calcul des pressions

Le calcul des pressions hydrostatiques appliquées sur une bande de 1m de la paroi est donné par la formule (2.1).

$$P_i = w . Z_i \quad (2.1)$$

P_i : pression à la $i^{\text{ème}}$ bande [kg/m²] ;

w : masse volumique de l'eau [kg/m³] ;

Z_i : profondeur de la bande i par rapport au TP [m] ;

TP : trop plein.

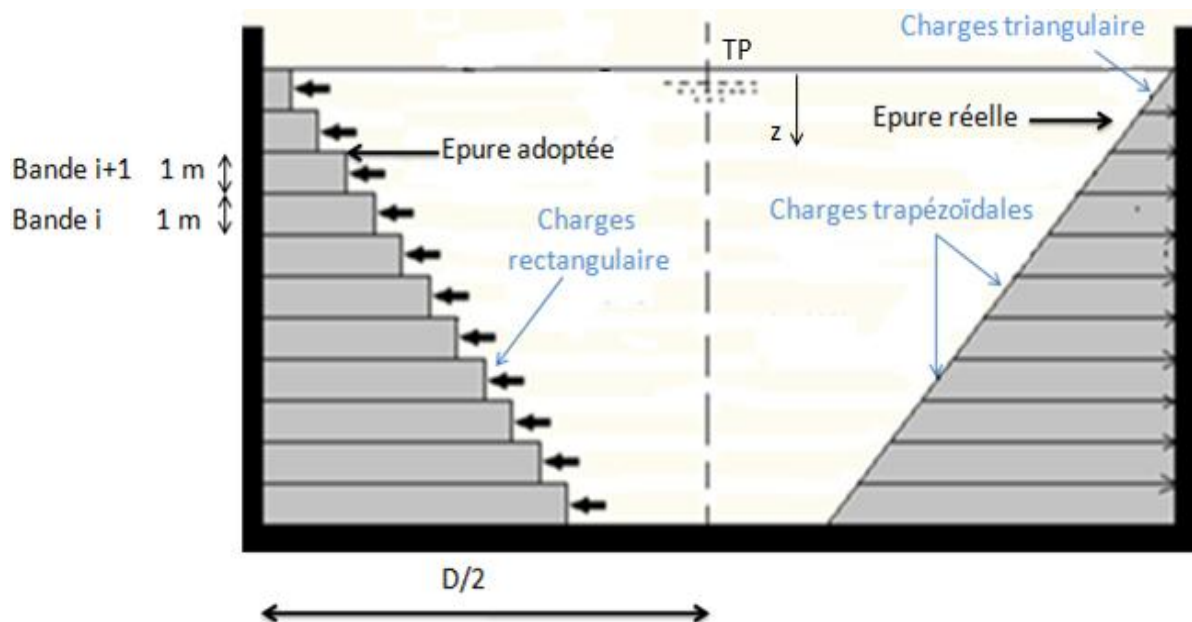


Figure 2.1 : pressions hydrostatique agissant sur la paroi du réservoir

2.2.2. Calcul des efforts de traction

Sous l'effet des pressions hydrostatiques, des efforts de traction se développent au niveau de la paroi qui se calcule comme suit :

A l'état limite ultime (ELU)

$$T_{iu} = 1,5 \cdot P_i \cdot D/2 \quad (2.2)$$

T_{iu} : effort de traction ultime [kg/m] ;

D : diamètre intérieur du réservoir [m].

A l'état limite de service (ELS)

$$T_{is} = P_i \cdot D/2 \quad (2.3)$$

T_{is} : effort de traction de service [kg/m] ;

D : diamètre intérieur du réservoir [m].

2.3. Calcul de la paroi sous chargement dynamique

2.3.1. Calcul des pressions

Les pressions hydrodynamiques sont des poussées dans un mouvement de houle appliquées par l'eau sur la paroi lors d'un séisme, ces pressions dépendent essentiellement de la hauteur de l'eau dans l'ouvrage et de l'accélération du sol au moment de séismes, on peut les déterminer par plusieurs méthodes (**JACOBSON, HUNT ET PRIESTLEY, HOUSNEUR,...**), mais dans notre cas nous utiliserons la méthode **WESTERGAARD**, cette formulation est utilisée sa simplicité. Il est à noter qu'elle a été conceptualisée en tenant compte des hypothèses suivantes :

- Fluide incompressible ;
- Parement vertical ;
- Structure rigide.

Cette pression est donnée par la relation (2.4).

$$P'_i = 0,875 \cdot \alpha \cdot w \cdot \sqrt{(H \cdot y_i)} \quad (2.4)$$

Avec :

$$\alpha = a/g \quad (2.5)$$

Où :

P'_i : pression hydrodynamique [kg/m²] ;

w : poids volumique de l'eau [kg/m³] ;

a : accélération du sol [m/s²] ;

g : accélération de la pesanteur $[m/s^2]$;

H : hauteur d'eau hydrodynamique $[m]$;

y_i : cote dynamique par rapport au trop plein $[m]$.

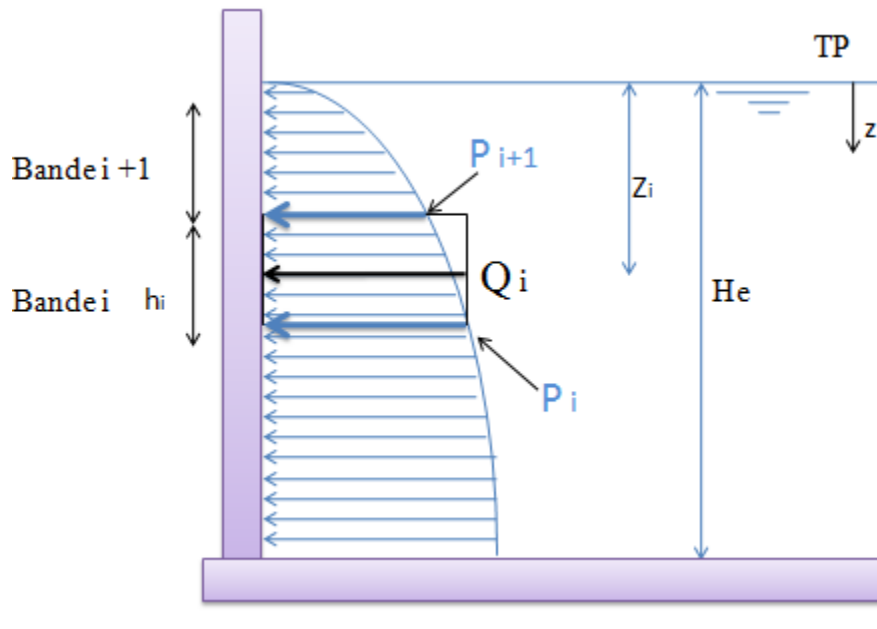


Figure 2.2 : pressions hydrodynamique agissant sur la paroi du réservoir

2.3.2. Calcul des efforts de tractions

L'effort de traction due à la pression hydrodynamique est donné par la relation (2.6).

$$T'_i = P'_i \cdot D/2 \quad (2.6)$$

Cet effort de traction T'_i est uniquement dû à la force accidentelle due au séisme.

2.4. Combinaisons de charges

Dans le but de déterminer l'effort de traction subit par chaque bande de la paroi, il faut prendre en compte toutes les actions qui puissent s'exercer sur cette dernière, à savoir :

- Charges permanentes ;
- Surcharges d'exploitations ;
- Surcharges climatiques ;
- Charges accidentelles.

Le **fascicule 74** propose six combinaisons de charges à considérer.

À l'état limite ultime (ELU) nous avons quatre combinaisons de charges qui

sont :

$$\bullet \quad C1=1.35G+1.5 (Q+\Psi T) +W \text{ (et/ou } S_n) \quad (2.7)$$

$$\bullet \quad C2=1.35G+1.5W+1.3 (Q+\Psi T) \quad (2.8)$$

$$\bullet \quad C3=G+1.5W+1.3\Psi T \quad (2.9)$$

$$\bullet \quad C4=G+Q+Fa+0.6T \quad (2.10)$$

À l'état limite de service (ELS) nous avons deux combinaisons de charges qui sont :

$$\bullet \quad C5=G+Q+T \quad (2.11)$$

$$\bullet \quad C6=G+W \text{ (et/ou } S_n) +Q+0.6T \quad (2.12)$$

Avec :

G : charges permanentes ;

Q : surcharges d'exploitation ;

W : action du vent ;

S_n : action de la neige ;

T : action de la température ;

F_a : action accidentelle (séisme) ;

Ψ : coefficient réducteur de la température.

2.5. Calcul de la section d'armatures

Après avoir calculé les efforts de tractions agissant sur la paroi, nous allons à présent calculer le ferrailage nécessaire pour contrer ces efforts selon le **BAEL 91 révisé 99**

Section de ferrailage à l'état limite ultime

$$A_u \geq T_u / \left(\frac{f_e}{\gamma_s} \right) \quad (2.13)$$

Avec :

A_u : section d'armature ultime [cm²] ;

T_u : effort de traction ultime [kg] ;

f_e : limite d'élasticité des aciers [N/mm²] ;

γ_s : coefficient de sécurité des aciers qui prend les deux valeurs suivantes :

γ_s=1 situation durable

γ_s=1.15 situation accidentelle

Section de ferrailage à l'état limite de service

$$A_s = T_s / \sigma_{st} \quad (2.14)$$

Avec :

A_s : section d'armature de service [cm²]

T_s : effort de traction de service [kg]

σ_{st} : Contrainte limite des aciers qui se calcul comme suit :

Dans le cas des réservoirs, la fissuration est considérée comme très préjudiciable, donc :

$$\sigma_{st} = 0,8 \cdot \min \left[\left(\frac{2f_e}{3} , \max(0,5f_e; 110\sqrt{n \cdot f_{tj}}) \right) \right] \quad (2.15)$$

Avec :

n : coefficient qui prend les valeurs suivantes :

$n = 1$ treillis soudés et ronds lisses.

$n = 1,6$ aciers à haute adhérence

f_{tj} : résistance du béton à la traction qui se calcul comme suit :

$$f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{cj} \quad (2.16)$$

Section de ferrailage minimale (condition de non fragilité)

$$A_{\min} = \frac{B \cdot f_{tj}}{f_e} \quad (2.17)$$

Où :

B : section du béton [cm²];

f_{tj} : résistance du béton a la traction [MPa];

f_e : limite élastique de l'acier [MPa] .

Section de ferrailage adoptée

$$A_a = \max(A_u; A_s; A_{\min}) \quad (2.18)$$

2.5. Étude de cas

2.5.1. Présentation de l'ouvrage

Notre ouvrage est un réservoir circulaire en béton armé posé au sol de capacité théorique de 5000m^3 dont les éléments coupole, ceinture supérieur, diamètre intérieur (exiger $d_{\text{int}}=24\text{m}$), gousset et radier sont déjà pré dimensionnés.

Nous considérons que l'ouvrage est implanté sur un site meuble, classé en zone **IIa** dite de moyenne sismicité et il est définis comme étant de groupe d'usage **1B** dit ouvrage de grande importance.

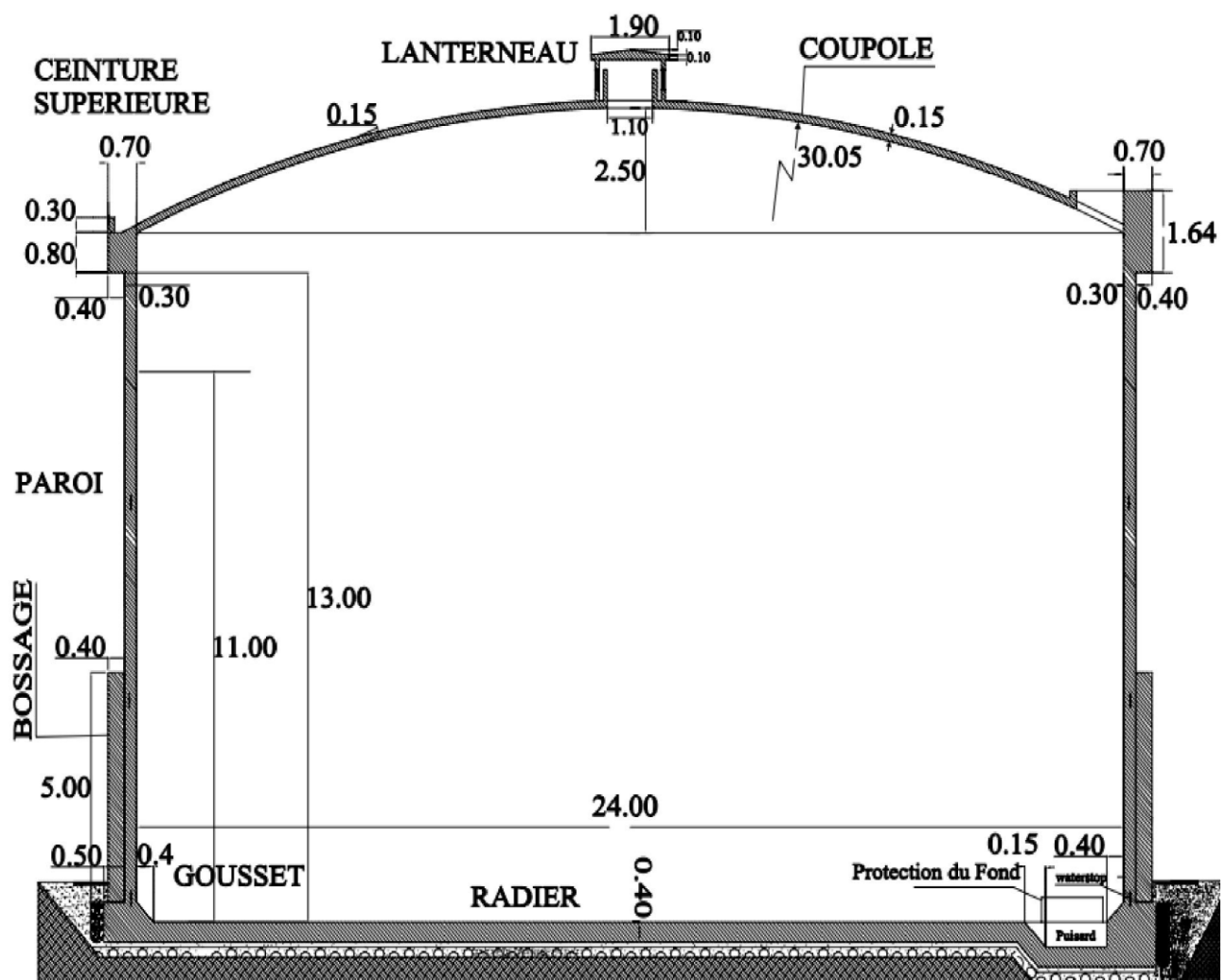


Figure 2.3 : dimensions des éléments du réservoir

2.5.2. Méthode de travail

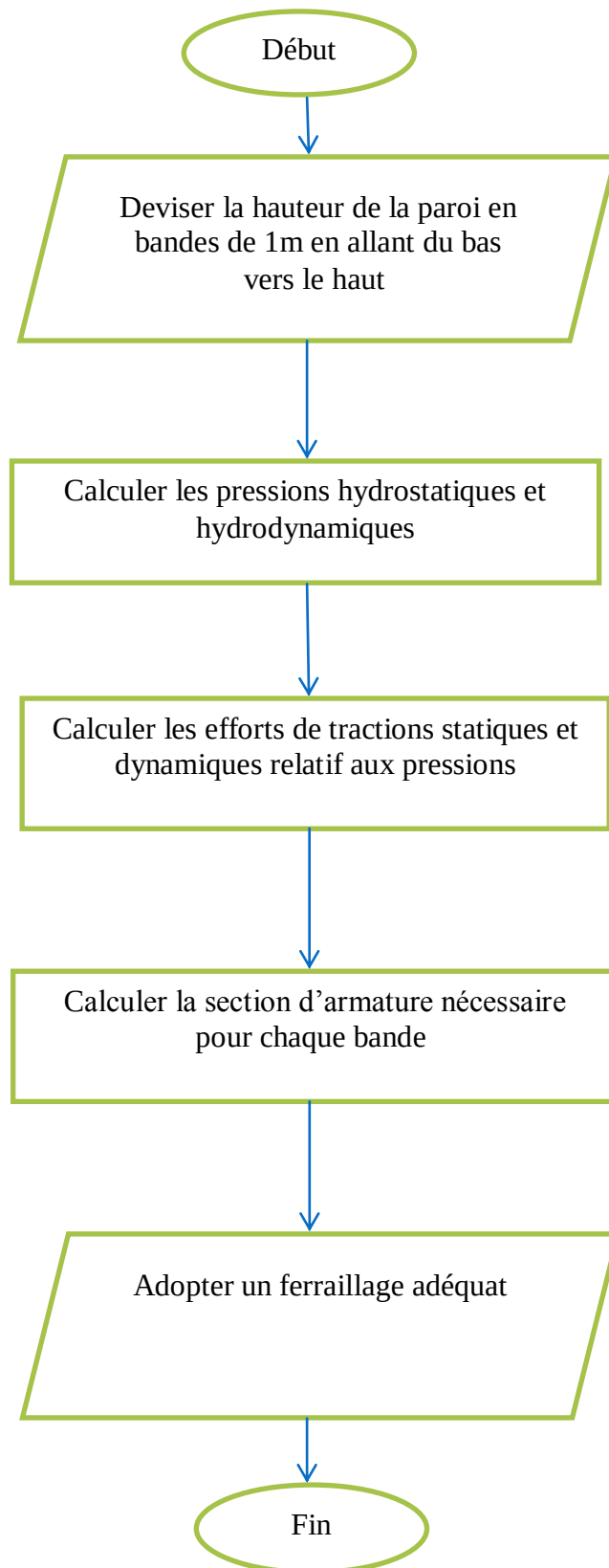


Figure 2.3 : diagramme de la méthode de travail

Les résultats obtenus à l'aide du logiciel **Excel** sont résumés dans le tableau (2.1).

Tableau 2-1 récapitulatif des résultats obtenus

N° de la bande	Pression statique P_i [kg/m ²]	pression dyn $P_{i,1}$ [kg/m ²]	T_i (statique) [kg]	T_i (dyn) [kg]	ELU			ELS		ELU			ELS		CNF [cm ²]	ferrailage adopté [cm ²]	section réel [cm ²]	
					T_i [kg] Comb1	T_i [kg] Comb2	T_i [kg] Comb4	T_i [kg] Comb5	T_i [kg] Comb6	A_{u1} [cm ²]	A_{u2} [cm ²]	A_{u4} [cm ²]	A_{s5} [cm ²]	A_{s6} [cm ²]				
1	11000	2406,25	126000	28875,00	189000	163800	154875	126000	126000	54,34	47,09	38,72	78,11	78,11	15,75	78,11	112,59	14T 32
2	10000	2294,27	114000	27531,23	171000	148200	141531,23	114000	114000	49,16	42,61	35,38	70,67	70,67	15,75	70,67	112,59	14T 32
3	9000	2176,54	102000	26118,42	153000	132600	128118,42	102000	102000	43,99	38,12	32,03	63,23	63,23	15,75	63,23	68,72	14T 25
4	8000	2052,06	90000	24624,68	135000	117000	114624,68	90000	90000	38,81	33,64	28,66	55,79	55,79	15,75	55,79	68,72	14T 25
5	7000	1919,52	78000	23034,28	117000	101400	101034,28	78000,	78000	33,64	29,15	25,26	48,36	48,36	15,75	48,36	68,72	14T 25
6	6000	1777,13	66000	21325,60	99000	85800	87325,60	66000	66000	28,46	24,67	21,83	40,92	40,92	15,75	40,92	43,98	14T 20
7	5000	1622,29	54000	19467,52	81000	70200	73467,52	54000	54000	23,29	20,18	18,37	33,48	33,48	15,75	33,48	43,98	14T 20
8	4000	1451,02	42000	17412,28	63000	54600	59412,28	42000	42000	18,11	15,70	14,85	26,04	26,04	15,75	26,04	28,15	14T 16
9	3000	1256,62	30000	15079,48	45000	39000	45079,48	30000	30000	12,94	11,21	11,27	18,60	18,60	15,75	18,60	21,55	14T 14
10	2000	1026,03	18000	12312,34	27000	23400	30312,34	18000	18000	7,76	6,73	7,58	11,16	11,16	15,75	15,75	21,55	14T 14
11	1000	725,51	6000	8706,14	9000	7800	14706,14	6000	6000	2,59	2,24	3,68	3,72	3,72	15,75	15,75	21,55	14T 14

Interprétation des ferraillages

Les cinq bandes du fond ont des sections d'armature importantes (encombrement d'armatures et risque de ségrégation du béton).

Les six bandes supérieures peuvent être réalisées en béton armé.

Qu'es ce qu'on peut faire pour régler le problème d'encombrement des armatures ?

Notre objectif est de trouver une solution, tout en éliminant les efforts de tractions, de façon à ce qu'on n'augmente pas la section du béton (augmenter l'épaisseur de la paroi). Pour cela nous allons utiliser de la précontrainte.

2.6.Étude de la précontrainte

La précontrainte consiste à produire dans un matériau, avant sa mise en service, une contrainte de compression qui opposera les contraintes de traction produites par les charges extérieures et pour cela, nous avons deux procédés de précontrainte :

La précontrainte par **pré-tension** qui suppose la mise en tension des armatures de précontrainte avant le coulage du béton. Cette technique est utilisée généralement dans les usines pour produire des pièces préfabriquées (Vu la forme circulaire de l'ouvrage, il est impossible d'utiliser cette technique)

La précontrainte par **post-tension** que nous allons utiliser, suppose le coulage du béton avant la mise en tension des armatures de précontrainte.

2.6.1. Les classes de précontrainte

C'est des classes de vérification et non pas des classes de qualité. Le **BPEL 91-99** regroupe selon l'importance des ouvrages trois classes de précontrainte :

➤ **Classe I :**

En situation d'exploitation, aucune traction n'est admise sur l'ensemble de la section.

➤ **Classe II :**

Dans cette classe, on admet des contraintes de traction dans béton sans fissurations.

➤ **Classe III :**

En classe III, on calcule les contraintes sur la section fissurée, mais il faut que la section d'enrobage demeure entièrement comprimée (on admet des fissurations uniquement hors section d'enrobage).

Pour répondre aux exigences du **Fascicule 74**, les vérifications se feront en **classe II**.

2.6.2. Dimensionnement de la précontrainte

Tracé des câbles

Le câble doit être excentré long de la paroi. Selon le **fascicule 74**, dans le cas des réservoirs circulaires avec précontrainte interne, l'axe théorique des câbles horizontaux se trouve en général dans le tiers extérieur de la paroi. En cas d'impossibilité du fait des impératifs de l'enrobage, une certaine tolérance est admise, à condition que la gaine du câble reste en totalité dans la moitié extérieure de la paroi.

Calcul de l'effort de précontrainte

Pour la détermination de l'effort de précontrainte nécessaire pour chaque bande du réservoir, tout en vérifiant les conditions aux limites, nous allons résoudre les deux inéquations suivantes :

$$\sigma_{bc} \geq P/B - \sigma_t \geq f_{tj} \quad (\text{en charge})$$

$$\sigma_{bc} \geq P/B \geq f_{tj} \quad (\text{à vide})$$

D'où

$$(\sigma_{bc} + \sigma_t)B \geq P \geq (f_{tj} + \sigma_t)B \quad (\text{en charge})$$

$$\sigma_{bc} \cdot B \geq P \geq f_{tj} \cdot B \quad (\text{à vide})$$

Pour des raisons de sécurité, il est recommandé de calculer la valeur de l'effort de la précontrainte comme suit :

$$P = \frac{(f_{tj} + \sigma_t) \cdot B + \sigma_{bc} \cdot B}{2} \quad (2.19)$$

Où :

σ_{bc} : contrainte de compression admissible [MPa] ;

σ_t : contrainte de traction exercée sur chaque bande [MPa] ;

f_{tj} : résistance du béton à la traction [MPa] ;

P : effort de la précontrainte initial pour une bande de 1m [N] ;

B : section du béton [m²].

Calcul du nombre de câbles

Le nombre de câbles est donné par la relation suivante :

$$n = \sigma_{pt} / \sigma_{p0} \quad (2.20)$$

Tell que :

$$\sigma_{pt} = P / A_p \quad (2.21)$$

$$\sigma_{p0} = \min(0.8f_{prg}, 0.9f_{psg}) \quad (2.22)$$

D'où :

$$n = \frac{P}{(A_p \cdot \sigma_{p0})} \quad (2.23)$$

Où :

n : nombre de câbles dans une bande de 1m ;

A_p : section d'un câble [mm²] ;

σ_{pt} : précontrainte totale [MPa] ;

σ_{p0} : précontrainte à l'origine d'un câble [MPa].

Après avoir calculé le nombre entiers de câbles, on calcule la valeur finale de la précontrainte comme suit :

$$\sigma_{pf} = \sigma_{p0} \cdot n \quad (2.24)$$

$$P_f = \sigma_{pf} \cdot A_p \quad (2.25)$$

σ_{pf} : précontrainte totale finale [MPa] ;

σ_{p0} : précontrainte à l'origine appliquée sur un câble [MPa] ;

n : nombre de câbles sur une bande de 1m ;

P_f : effort total final de la précontrainte [N] ;

A_p : section du câble [mm²].

Chaque bande de la paroi est soumise aux efforts de traction qui varient en fonction de la profondeur, et chaque effort de traction nécessite un effort de précontrainte pour le reprendre, le tableau 2-2 obtenu par **Excel**, nous donne l'effort de précontrainte dans chaque bande et le nombre du câbles correspondant.

Tableau 2-2 récapitulatif des résultats de la précontrainte

N° de la bande	précontrainte [MN]	nombre de cables	nombre réel de cables	effort total final de précontrainte [kg]
1	3,52	2,25	3	468720
2	3,45	2,21	3	468720
3	3,39	2,17	3	468720
4	3,32	2,12	3	468720
5	3,25	2,08	3	468720
6	3,18	2,04	3	468720
7	3,11	1,99	3	468720
8	3,04	1,95	3	468720
9	2,97	1,90	3	468720
10	2,90	1,85	3	468720
11	2,82	1,80	3	468720

2.6.3. Les pertes de précontraintes

Dans le but de connaître l'évolution des pertes de tensions le long du câble qui ne devons pas dépasser les 33% de la précontrainte à l'origine (σ_{p0}). Le câble est subdivisé en sections identifiées en angle de déviation (α) et une abscisse (x).

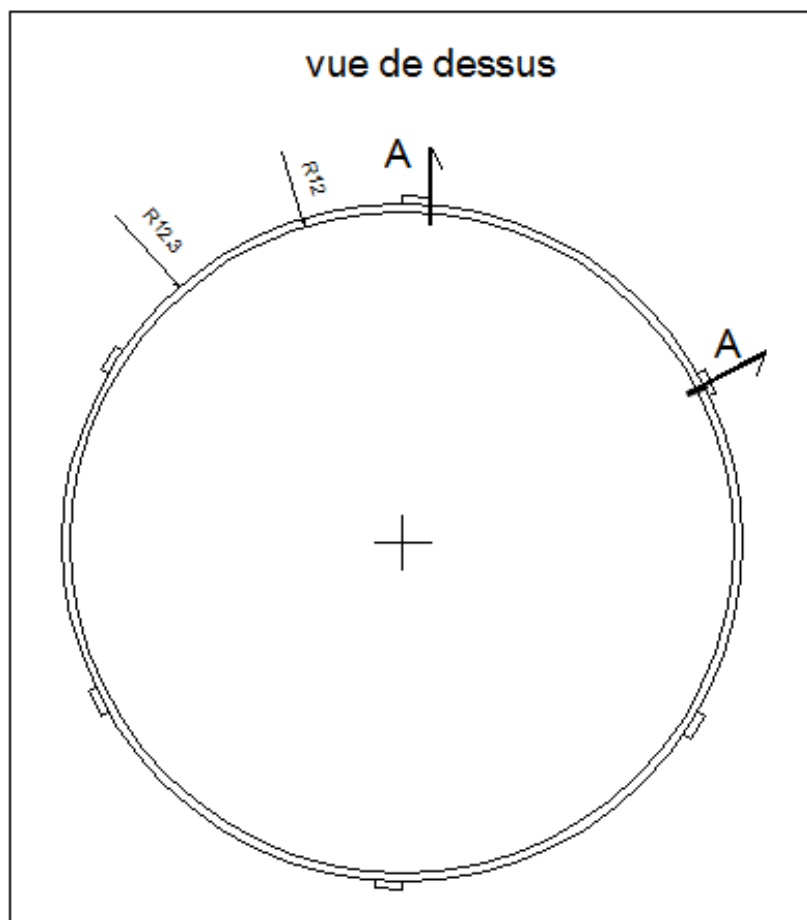


Figure 2.4 : vue de dessus d'une coupe transversale de la paroi.

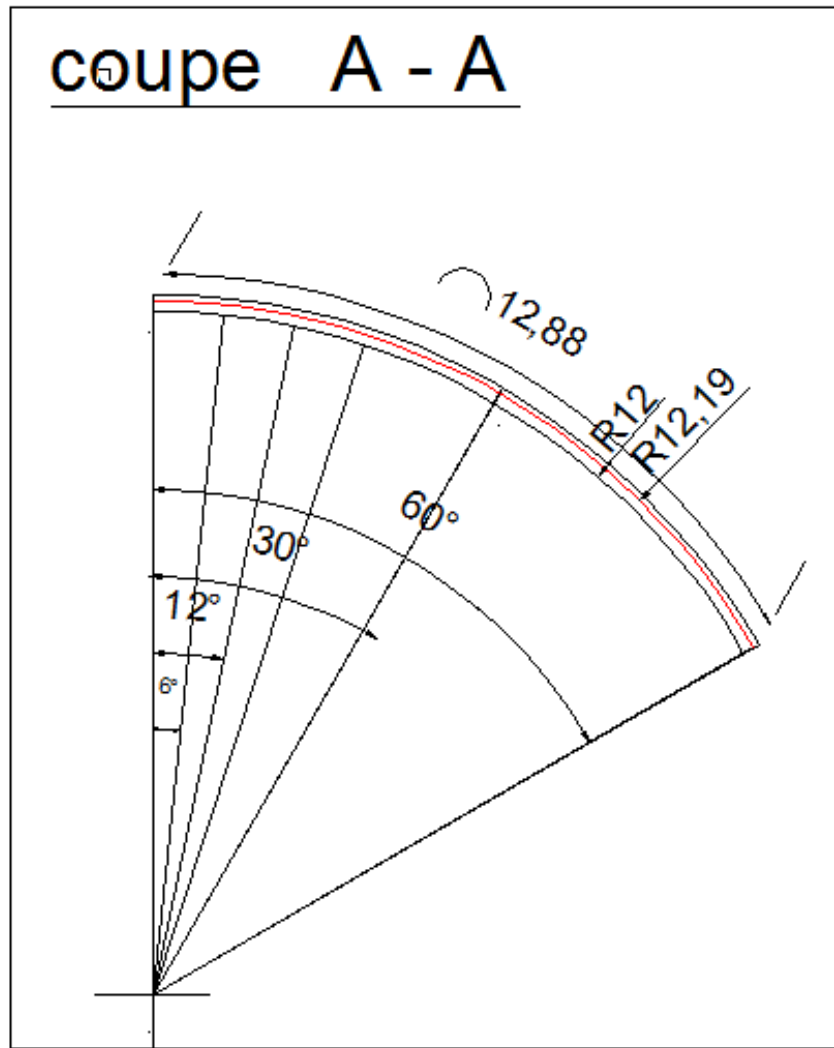


Figure 2.5 : détails de la coupe A-A

Après avoir calculé les pertes de précontraintes avec un réservoir qui possède quatre bossages, nous avons trouvé que les pertes dépassées les 33% de la précontrainte à l'origine. Donc pour minimiser les pertes nous nous proposons un réservoir avec six bossages.

Les pertes instantanées

Ce sont des pertes qui se produisent lors de la mise en tension des câbles, elles sont dues essentiellement au frottement du câble sur sa gaine, au recule d'ancrage et à la non simultanée de mise en tension des câbles.

$$\Delta\sigma_{inst}(x) = \Delta\sigma_{fr}(x) + \Delta\sigma_{r.an}(x) + \Delta\sigma_{n.s}(x) \quad (2.26)$$

Où :

$\Delta\sigma_{inst}(x)$: la somme des pertes instantanées au point x [MPa] ;

$\Delta\sigma_{fr}(x)$: la perte de tension par frottement au point x [MPa] ;

$\Delta\sigma_{r.an}(x)$: la perte de tension par recul d'ancrage au point x [MPa] ;

$\Delta\sigma_{n.s}(x)$: la perte de tension par non simultanée de mise en tension au point x [MPa] ;

- **Pertes par frottement**

La perte par frottement, que tous les câbles vont subir de la même manière, apparaît lors de la mise en tension des câbles, il y aura un contact avec la gaine qui engendre un frottement. Ainsi, sa tension diminue progressivement de l'extérieur (ses deux extrémités) vers l'intérieur. La tension en un point « x » après pertes est définie par :

$$\sigma_{pi}(x) = \sigma_{p0} e^{-(f\alpha + \varphi x)} \quad (2.27)$$

Avec :

$\sigma_{pi}(x)$: précontrainte du câble i après perte par frottement [MPa] ;

σ_{p0} : précontrainte initiale [MPa] ;

α : déviation angulaire totale sur la distance x [rad] ;

f : coefficient de frottement en courbe [rad⁻¹] ;

φ : coefficient de frottement droit [m⁻¹] ;

x : abscisse de la section considérée [m].

Après avoir fait le calcul pour notre ouvrage, nous avons obtenu les résultats du tableau 2-3

Tableau 2-3 : tensions après perte par frottement

section	angle [rad]	abscisse [m]	contrainte après perte par frottement [MPa]	pertes de tension [MPa]
i	α	x	$\sigma_{pi}(x)$	$\Delta\sigma_{pi}(x)$
1	0,00	0,00	1488,00	0,00
2	0,10	1,26	1456,55	31,45
3	0,21	2,51	1425,76	62,24
4	0,31	3,77	1395,63	92,37
5	0,42	5,03	1366,13	121,87
6	0,52	6,28	1337,25	150,75
7	0,42	5,03	1366,13	121,87
8	0,31	3,77	1395,63	92,37
9	0,21	2,51	1425,76	62,24
10	0,10	1,26	1456,55	31,45
11	0,00	0,00	1488,00	0,00

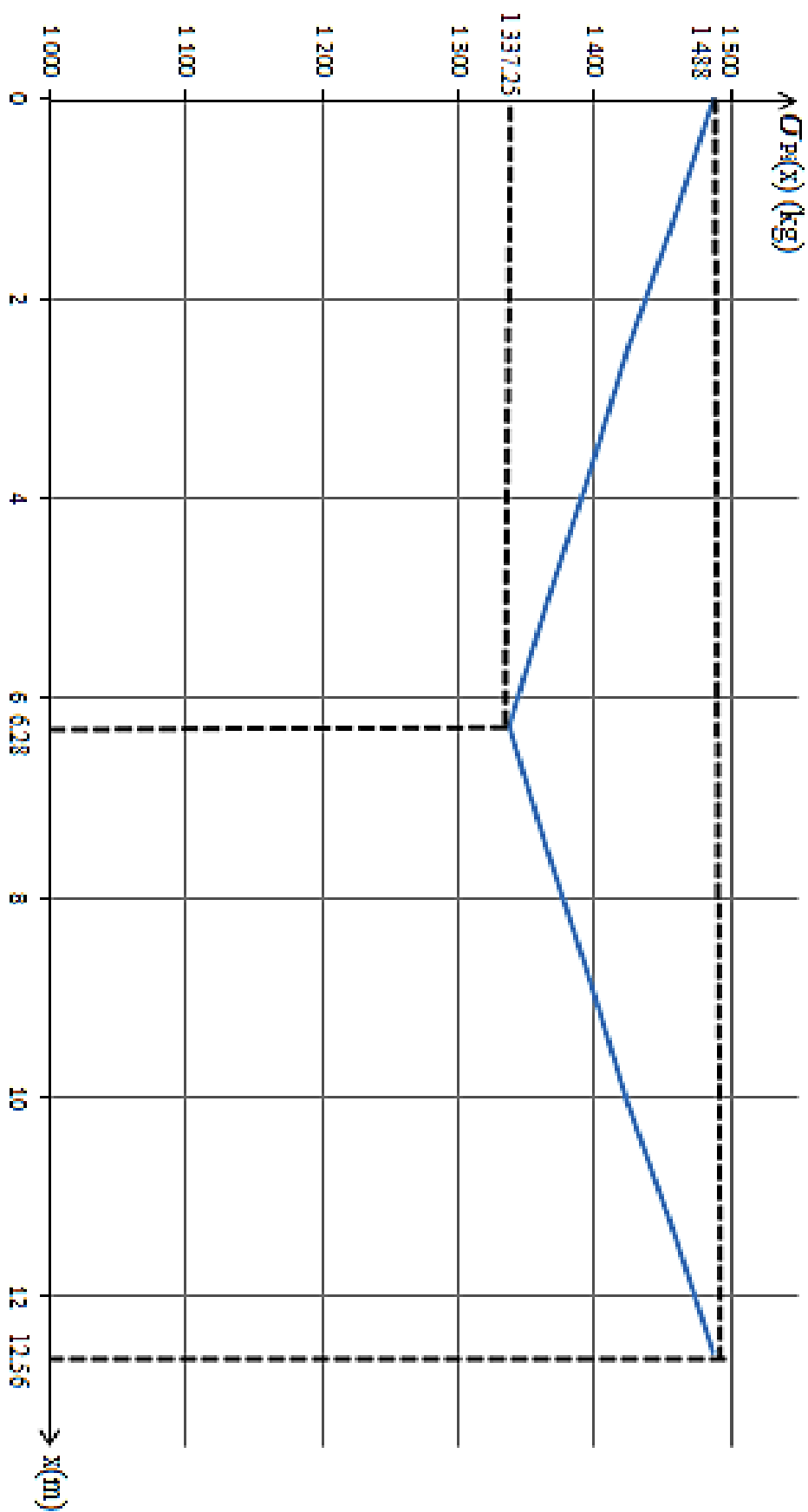


Figure 2.6 : diagramme des contraintes après perte par frottement

- *Pertes par recul d'ancrage (hammoum 1998)*

La perte par recul d'ancrage, que tous les câbles subissent de la même manière, apparaît lorsque les vérins relâchent le câble, qui a tendance à se rétrécir à cause de sa nature élastique et la déformation du mécanisme d'ancrage. Cette perte n'apparaît que sur une distance « **d** » qu'on appelle longueur d'influence.

Comment calculer **d** ?

Soit C le point où l'influence du recul d'ancrage s'arrêtera. Les diagrammes des contraintes dans le câble, en fonction des abscisses curvilignes, avant et après rentrée d'ancrage sont symétriques par rapport à l'horizontale passant par C, figure (2.4).

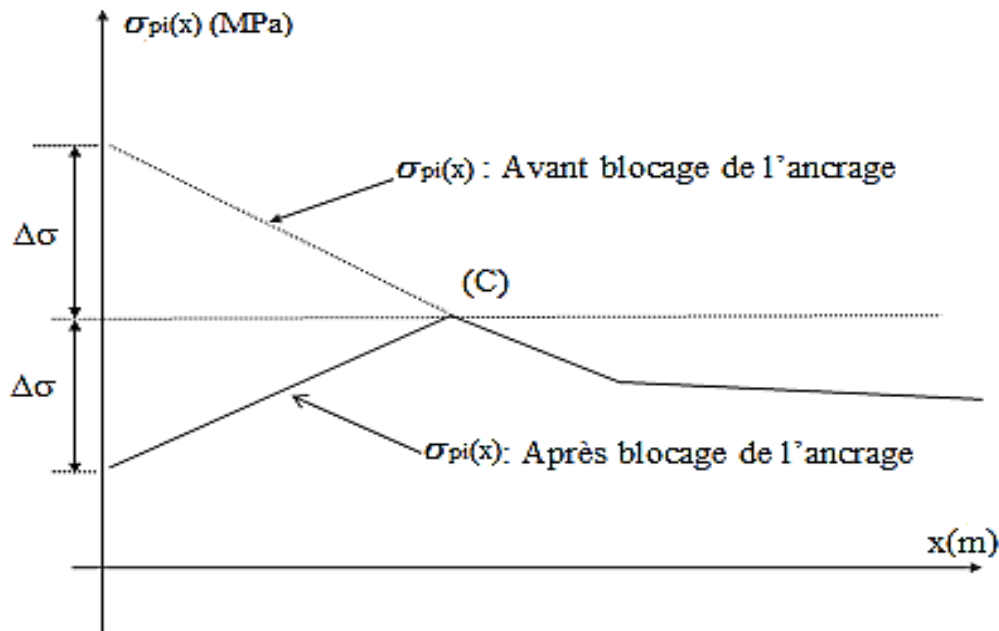


Figure 2.7 : tension dans un câble avant et après recul d'ancrage

Le traitement du diagramme des tensions dans le câble après le recul de l'ancrage est le suivant :

Étant donné que le diagramme des contraintes avant recul d'ancrage est défini par les points

$B_0(O, \sigma_0)$, $B_1(x_1, \sigma_1)$, $B_2(x_2, \sigma_2)$,, $B_n(x_n, \sigma_n)$, on calcule la quantité $(g.E_p)$ et on la compare successivement aux aires A_1 , A_2 ,, A_n . On s'arrête au premier point B_i pour lequel :

$$A_i > g . E_p \quad (2.28)$$

Où

g : est le recul d'organes d'encrages garantis par le fournisseur ;

E_p : le module d'élasticité du câble.

L'aire A_i est déterminée par la relation de récurrence suivante :

$$A_i = A_{i-1} + (x_i - x_{i-1}) (\sigma_{i-1} - \sigma) + 2 \cdot (\sigma_{i-1} - \sigma) \cdot d_{i-1} \quad (2.29)$$

$$A_0 = 0, i = 1, n$$

$$d_i = \sum_{j=1}^i d(B_{j-1}, B_j)$$

Le point $C(x_C, \sigma_C)$ est sur le segment (B_{i-1}, B_i) .

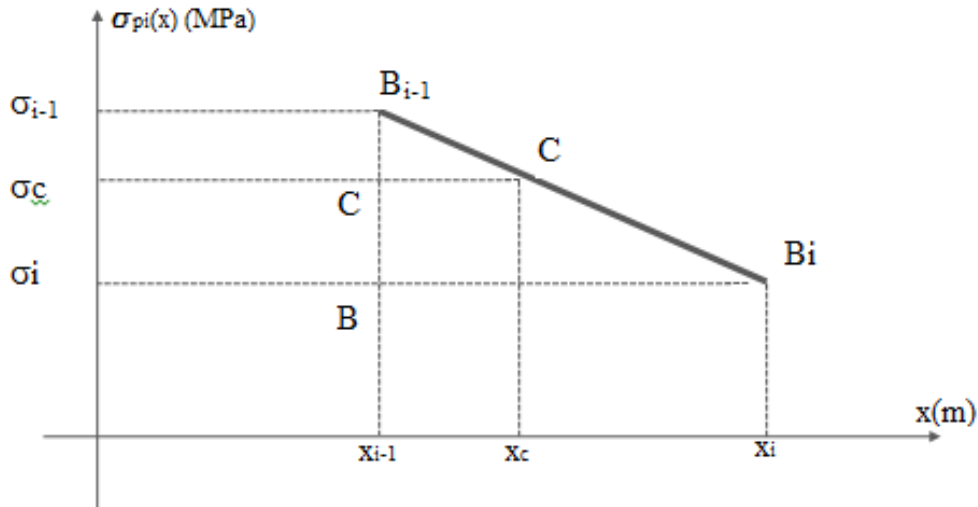


Figure 2.8 : position du point C dans le diagramme des tensions dans le câble

La quantité $(g \cdot E_p)$ est telle que :

$$g \cdot E_p = A_{i-1} + (2d_{i-1} + x) \cdot (\sigma_{i-1} - \sigma_C) \quad (2.30)$$

Avec :

$$x = x_C - x_{i-1}$$

Considérons le segment B_{i-1}, B_i

Les triangles $B_{i-1}CC'$ et $B_{i-1}B_iB'_i$ sont semblables, alors :

$$\sigma_{i-1} - \sigma_C = \frac{\sigma_{i-1} - \sigma_i}{x_i - x_{i-1}} \cdot x \quad (2.31)$$

En substituant l'équation (2.31) dans l'équation (2.30) on arrive à une équation du second degré en x :

$$g \cdot E_P = A_{i-1} + (2d_{i-1} + x) \cdot \frac{\sigma_{i-1} - \sigma_i}{x_i - x_{i-1}} \cdot x$$

$$x^2 + 2d_{i-1} \cdot x - \frac{(gE_P - A_{i-1}) \cdot (x_i - x_{i-1})}{(\sigma_{i-1} - \sigma_i)} = 0 \quad (2.30)$$

L'équation (2.30) admet deux racines. La solution du problème est telle que :

$$x = -d_{i-1} + \left(d_{i-1}^2 + \frac{(gE_P - A_{i-1}) \cdot (x_i - x_{i-1})}{(\sigma_{i-1} - \sigma_i)} \right)^{1/2} \quad (2.31)$$

Si l'on atteint l'ancrage passif sans satisfaire la condition (2.26), on translate vers le bas le dernier diagramme obtenu de façon à satisfaire cette condition.

Dans notre cas $x = 3.94$ m et les contraintes après recul d'ancrage sont présentées dans le tableau 2-5

Tableau 2.5 tensions dans le câble après perte par frottement et recul d'ancrage

section	angle [rad]	abscisse [m]	contrainte après perte par frottement [MPa]	pertes de tension [MPa]	tension après recul d'ancrage [MPa]
i	α	x	$\sigma_{pi}(x)$	$\Delta\sigma_{pi}(x)$	$\sigma_{pi}(x)$
1,00	0,00	0,00	1488,00	0,00	1296,77
2,00	0,10	1,26	1456,55	31,45	1328,22
3,00	0,21	2,51	1425,76	62,24	1359,01
4,00	0,31	3,77	1395,63	92,37	1389,14
5,00	0,33	3,94	1392,39	95,61	1392,39
6,00	0,42	5,03	1366,13	121,87	1366,13
7,00	0,52	6,28	1337,25	150,75	1337,25
8,00	0,42	5,03	1366,13	121,87	1366,13
9,00	0,33	3,94	1392,39	95,61	1392,39
10,00	0,31	3,77	1395,63	92,37	1389,14
11,00	0,21	2,51	1425,76	62,24	1359,01
12,00	0,10	1,26	1456,55	31,45	1328,22
13,00	0,00	0,00	1488,00	0,00	1296,77

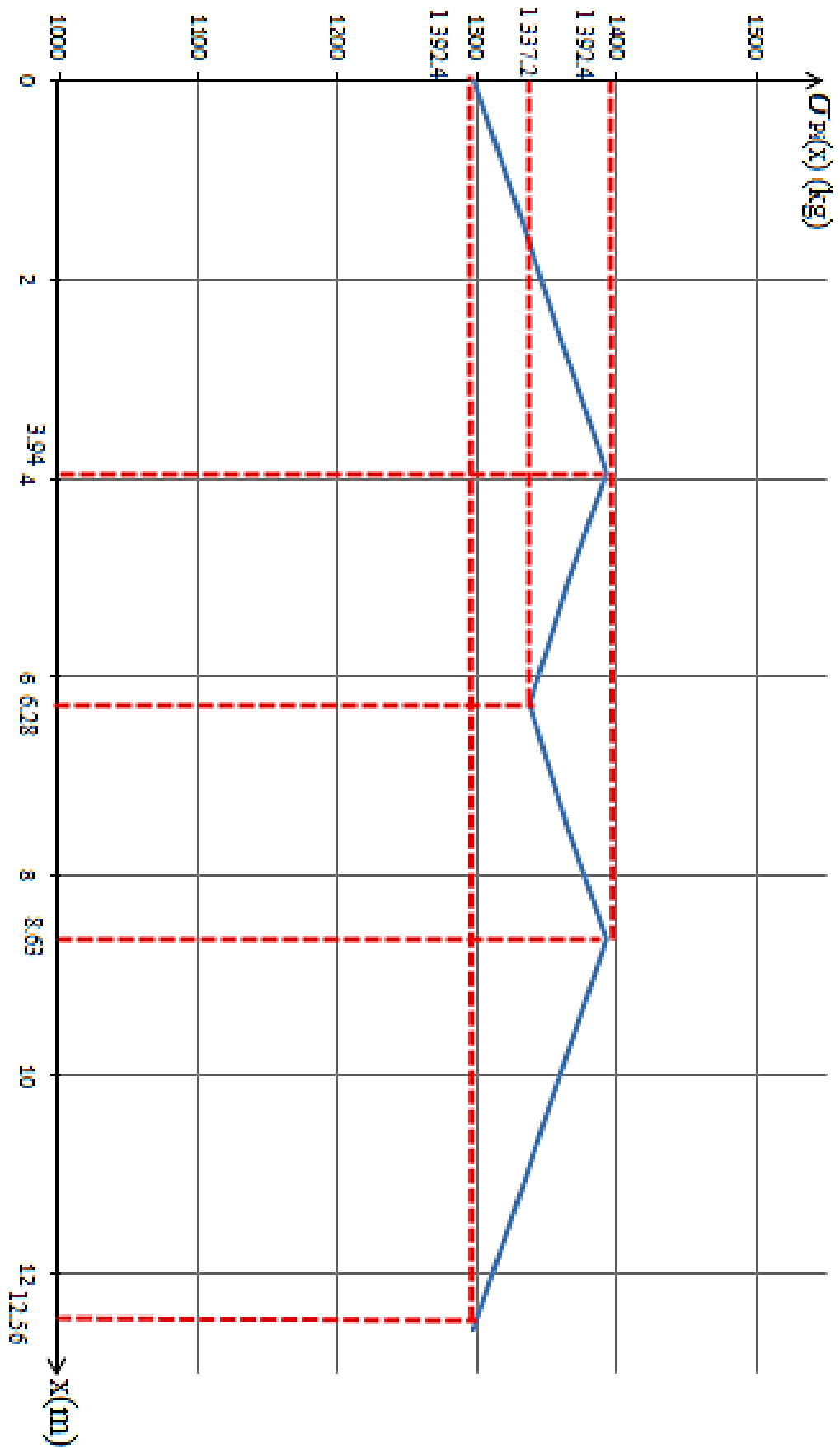


Figure 2.9 : diagramme des tensions dans le câble après perte par frottement et recul d'ancrage.

- **Pertes par non simultanée de mise en tension**

La mise en tension des câbles ne peut s'effectuer que câble par câble, la mise en tension du deuxième câble va entraîner un raccourcissement de l'élément et du premier câble, de même, chaque mise en tension d'un câble va entraîner une perte de tension des éléments préalablement tirés, et pour avoir le minimum de pertes dans les bandes les plus sollicitées, nous allons faire le tirage des câbles de haut en bas.

La perte moyenne que subit chaque câble est donnée par :

$$\Delta\sigma_{pi}(x) = \frac{n-1}{2n} \cdot \frac{E_p}{E_{bij}} \cdot \sigma_{bc}(x) \quad (2.32)$$

Avec :

n : le nombre de câble ;

$\sigma_{bc}(x)$: contrainte moyenne de compression du béton due à l'ensemble des câbles traversant la section d'abscisse « x » ;

E_{bij} : module de d'élasticité du béton.

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux pour chaque bande, câble et section en annexe 1, Un extrait de ces résultats est présenté dans le tableau 2-4 pour le câble le plus sollicité de la bande la plus sollicitée.

Tableau 2-4 : tensions dans le câble le plus sollicité après les trois pertes

N° du câble	α	x	contrainte [MPa]	effort normal [kg]	moment [kg.m]	contrainte du béton moyenne [MPa]	perte moyenne [MPa]	tension après perte par non simultanée [MPa]
1,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	9,01	0,00	1296,77
	0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	9,23	0,00	1328,22
	0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	9,44	0,00	1359,01
	0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	9,65	0,00	1389,14
	0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	9,68	0,00	1392,39
	0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	9,49	0,00	1366,13
	0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	9,29	0,00	1337,25

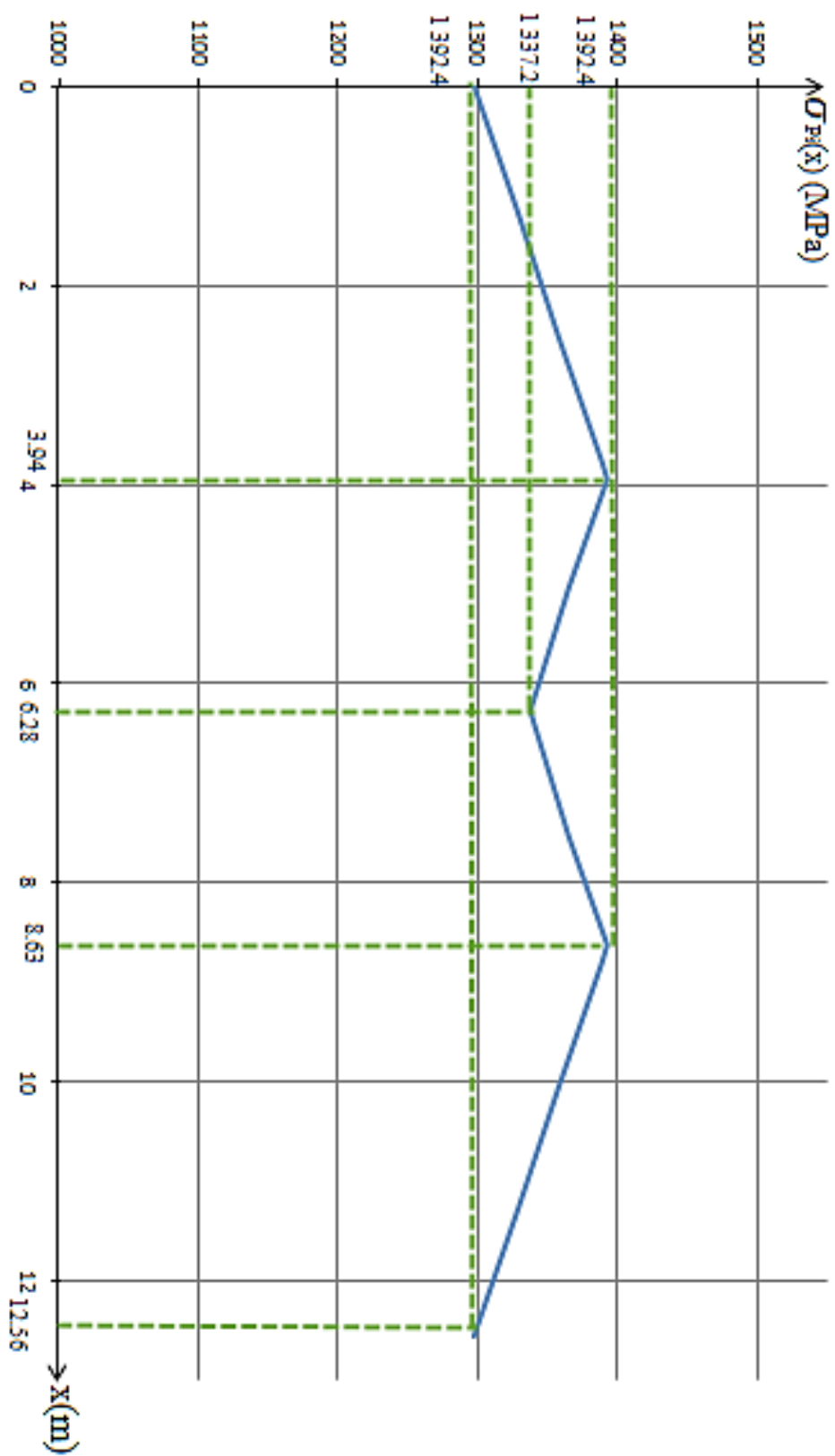


Figure 2.10 : diagramme des tensions dans le câble le plus sollicité après les trois pertes instantanées

Les pertes différées

Ce sont des pertes qui apparaissent dans le temps, elles sont dues essentiellement au retrait et au fluage du béton et à la relaxation des aciers.

- **Perte due au retrait du béton**

Le retrait du béton est une contraction dimensionnelle du béton due à des phénomènes chimiques et physiques, il se produit dès la mise en œuvre du béton, pendant sa prise et son durcissement et se développe au fil du temps.

Ce phénomène indépendant de tout chargement extérieur, cause une légère détente des armatures de précontrainte (tous les câbles subissent la même perte), qui engendre une perte de tension constante le long du câble et elle se calcule comme suit :

$$\Delta\sigma_r = E_p \cdot \varepsilon_r \cdot [1 - r(t)] \quad (2.33)$$

Avec :

$r(t)$: évolution du retrait dans le temps donnée par la relation (2.34)

$$r(t) = \frac{t}{t + 9 r_m} \quad (2.34)$$

r_m : étant le rayon moyen de la section considérée calculé comme suit :

$$r_m = \frac{\text{section}}{\text{périmètre}} \quad (2.35)$$

ε_r : retrait final du béton. Pour l'Algérie, on le prend : $\varepsilon_r = 3,5 \cdot 10^{-4}$

Les résultats pour notre ouvrage sont montrés dans le tableau 2.6

Tableau 2.6 estimation de la perte par retrait du béton

retrait final	ε	0,0004	
Module d'élasticité	E_p	190000,00	Mpa
section du beton	b	30,00	cm
	h	1100,00	cm
rayon moyen	r_m	14,60	cm
temps	t	28,00	jours
retrait à l'instant t	$r(t)$	0,18	
pertes par retrait	$\Delta\sigma_{pi}(x)$	54,82	MPa

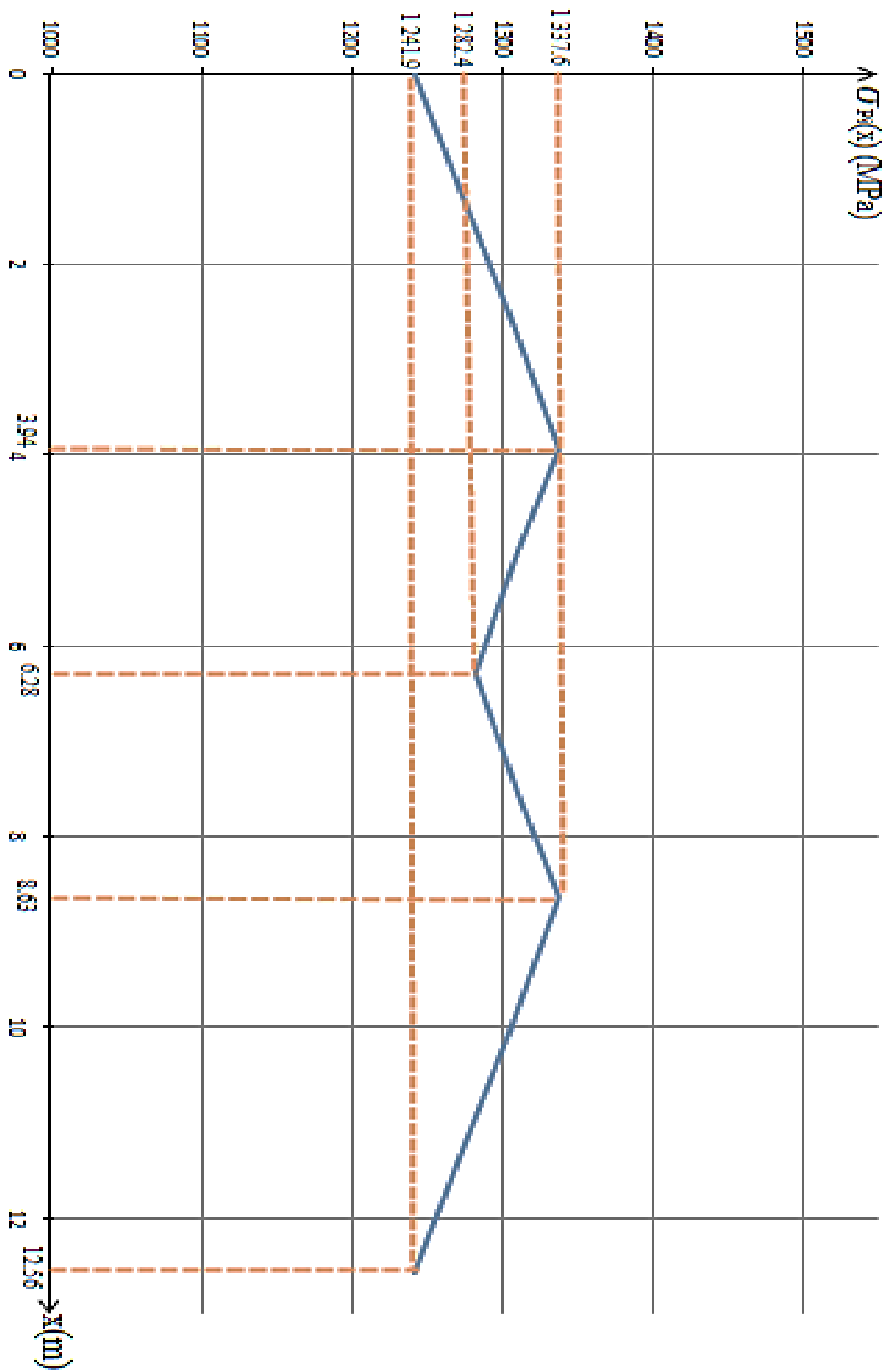


Figure 2.11 diagramme des tensions dans le câble le plus sollicité après les quatre pertes

- **Perte due au fluage du béton**

Le fluage du béton est une déformation supplémentaire à la déformation élastique. Il est provoqué par l'application d'un chargement. Ce phénomène cause une déformation dans la section du béton homogénéisée, donc une perte de tension.

La perte de tension due au fluage donnée par la formule suivante :

$$\Delta\sigma_f(x) = 2 \cdot \sigma_b(x) \frac{E_p}{E_b} \quad (2.36)$$

Avec :

E_p : Module d'élasticité du câble [MPa] ;

E_b : Module d'élasticité du béton [MPa] ;

$\sigma_b(x)$: désigne la contrainte moyenne du béton qui se calcule comme suit :

$$\sigma_b = \frac{P}{B} \pm \frac{M \cdot v}{I} \quad (2.37)$$

P : effort de précontrainte après toutes les pertes précédentes [N] ;

B : section du béton [m²] ;

M : moment dû à l'excentricité du câble [N.m] ;

v : distance de la fibre la plus éloignée [m] ;

I : moment d'inertie [m⁴].

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux pour chaque bande, câble et section en annexe 2, Un extrait de ces résultats est présenté dans le tableau 2-5 pour le câble le plus sollicité de la bande la plus sollicitée.

Tableau 2-5 : tensions dans le câble le plus sollicité après les cinq pertes

N° du câble	A	x	tension après perte par non simultanée [MPa]	effort normal [kg]	Moment fléchissant [kg.m]	contrainte du béton [MPa]	perte [MPa]	tension après perte par fluage [MPa]
1,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	0,09	0,97	1240,98
	0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	0,09	1,00	1272,40
	0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	0,10	1,02	1303,17
	0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	0,10	1,04	1333,28
	0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	0,10	1,04	1336,52
	0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	0,10	1,03	1310,28
	0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	0,10	1,00	1281,43

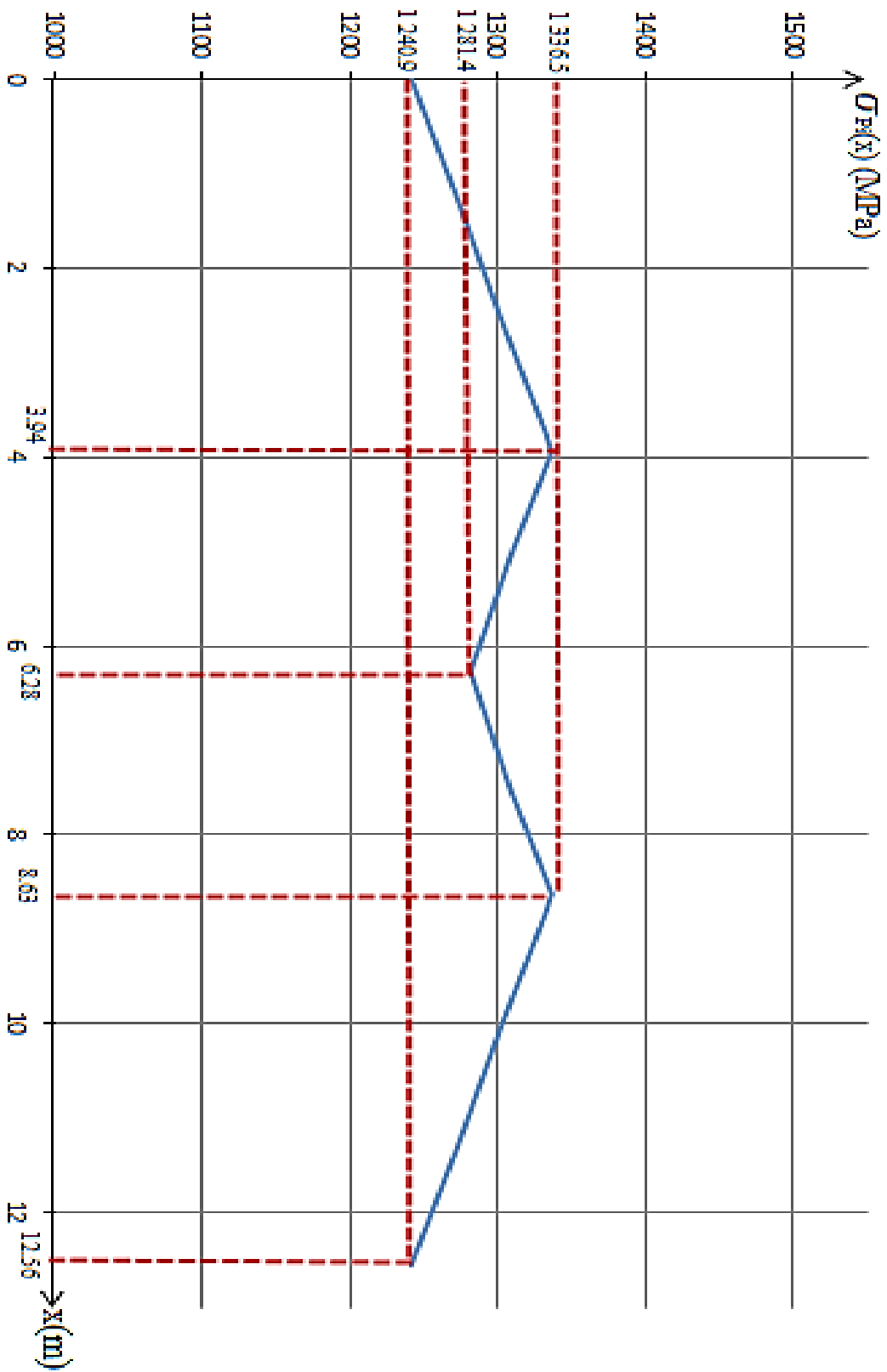


Figure 2.12 : diagramme des tensions dans le câble le plus sollicité après les cinq pertes

- **Pertes dues à la relaxation des câbles**

La relaxation de l'acier est un relâchement de tension à longueur constante, ce phénomène dépend de deux paramètres qui sont :

La composition chimique de l'acier ;

La tension à laquelle l'acier est soumis.

La perte par relaxation est donnée par la formule qui suit :

$$\Delta\sigma_p(x) = \frac{6}{100} \times \rho_{1000} \times \left(\frac{\sigma_{pi}(x)}{f_{prg}} - \mu_0 \right) \times \sigma_{pi}(x) \quad (2.38)$$

Avec :

μ_0 : coefficient dépendant de la nature du câble ;

ρ_{1000} : est la valeur caractéristique de la relaxation à 1000 heures ;

$\sigma_{pi}(x)$: tension du câble en un point donné [MPa] ;

f_{prg} : contrainte de rupture garantie [MPa].

- **Les pertes différées totales**

C'est la perte totale engendrée par les trois pertes précédentes et elle se calcule comme suit :

$$\Delta\sigma_{dif}(x) = \Delta\sigma_r + \Delta\sigma_{fl}(x) + \frac{5}{6}\Delta\sigma_p(x) \quad (2.39)$$

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux pour chaque bande, câble et section en annexe 3, Un extrait de ces résultats est présenté dans le tableau 2-6 pour le câble le plus sollicité de la bande la plus sollicitée.

Tableau 2-6

N° du câble	α	x	tension après perte par fluage [MPa]	perte [MPa]	tension après toutes pertes [MPa]
1,00	0,00	0,00	1240,98	44,15	1204,18
	0,10	1,26	1272,40	48,50	1231,99
	0,21	2,51	1303,17	52,90	1259,08
	0,31	3,77	1333,28	57,36	1285,48
	0,33	3,94	1336,52	57,85	1288,31
	0,42	5,03	1310,28	53,94	1265,33
	0,52	6,28	1281,43	49,77	1239,95

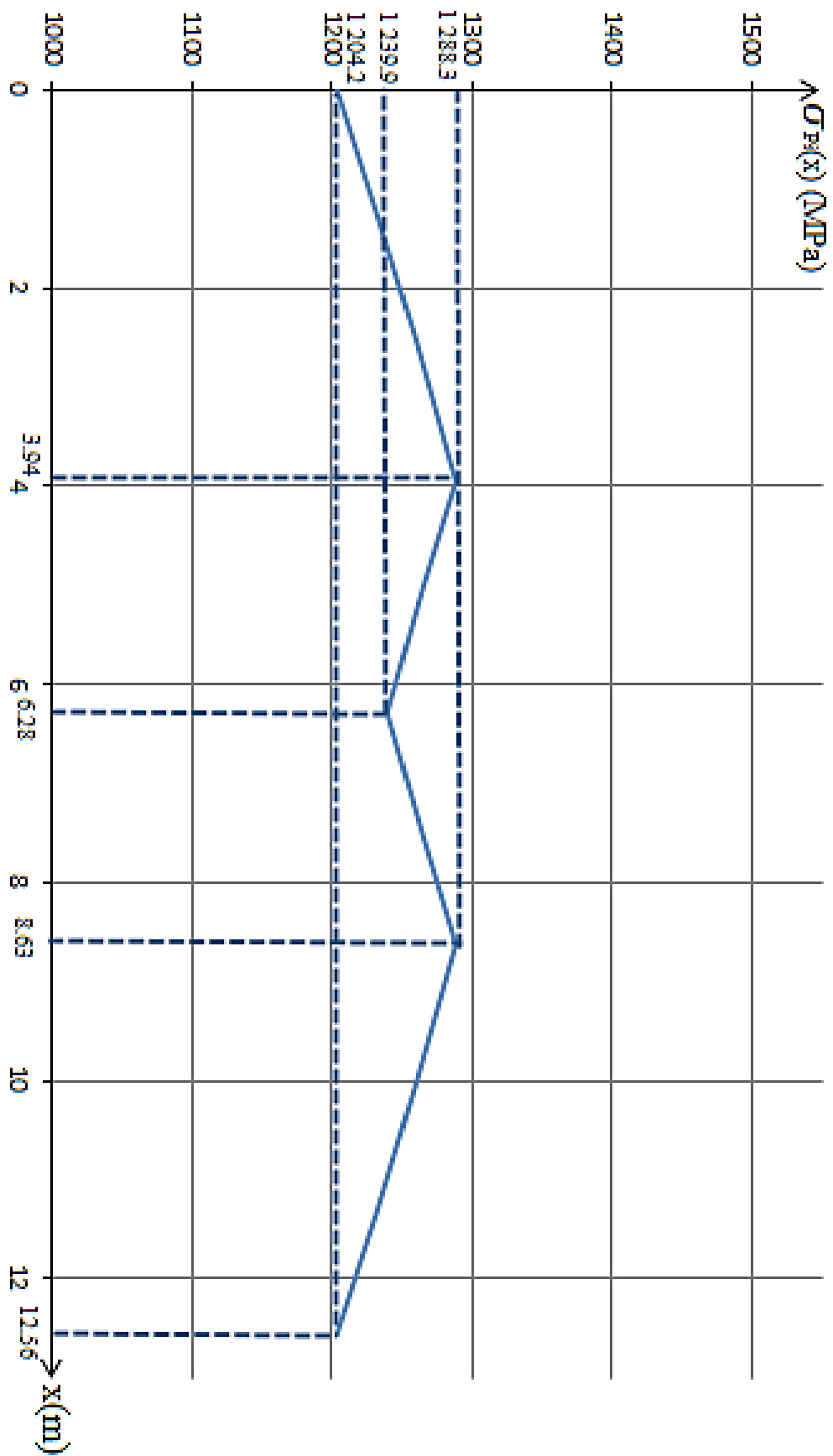


Figure 2.13 : diagramme des tensions du câble le plus sollicité après toutes pertes

2.6.4. Vérification des efforts

Avant d'entamer les vérifications des contraintes, nous allons transformer toutes les contraintes en efforts :

$$\sigma_{pi}(x) = \frac{P_i(x)}{A}$$

D'où :

$$P_i(x) = \sigma_{pi}(x).A \quad (2.40)$$

Les résultats sont montrés sous forme d'un tableau en annexe 4.

Les vérifications des efforts, présentés sous forme d'un tableau en annexe 5, seront faites selon les exigences du **fascicule 74**. Pour une classe d'étanchéité B (Ouvrages dont l'étanchéité est assurée par la structure complétée par un revêtement d'imperméabilisation).

Nous allons faire les vérifications dans trois endroits en particulier qui sont :

- Au droit du câble ;
- La fibre la plus éloignée vers l'intérieur ;
- La fibre la plus éloignée vers l'extérieur.

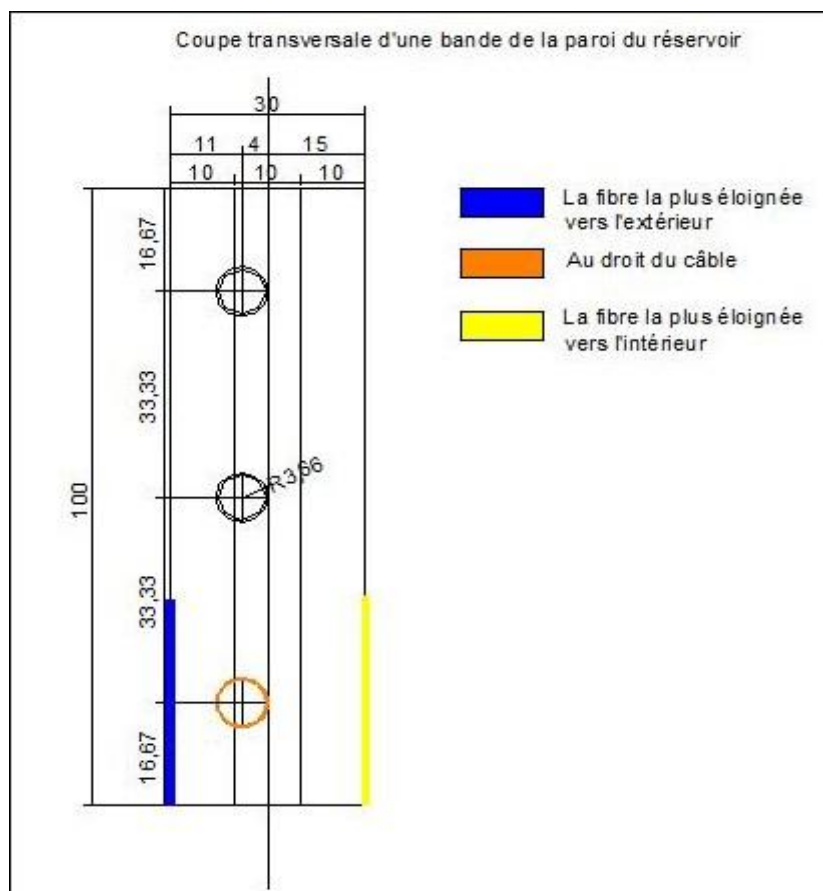


Figure 2.14 : coupe transversale dans la paroi au niveau d'une bande

Pour les diagrammes qu'on va réaliser, on utilisera le code suivant :

Vert : pour la limite de compression ;

Rouge : pour la limite de traction ;

Et les couleurs montrées dans la figure 2.12 pour l'évolution de contraintes pour chaque endroit.

Sous l'effet des combinaisons rares (combinaisons 4 et 5)

La limite de compression est fixée à $0.6f_{c28}$.

La limite de traction est fixée à f_{t28} dans la section d'enrobage.

La limite de traction est fixée à $1,10 \Theta f_{t28}$ hors section d'enrobage.

Avec :

$\Theta = 1$ dans le cas de la traction simple ;

$\Theta = 1 + 2e_o/3h_o$ dans le cas de la flexion plane composée, la force de traction extérieure ayant une excentricité e_o inférieure à l'épaisseur h_o de la paroi ;

$\Theta = 5/3$ dans les autres cas.

Pour notre ouvrage $\Theta = 5/3$.

Les résultats du câble le plus sollicité de la bande la plus sollicitée dans le tableau 2-6, où :

0 : désigne que les conditions aux limites sont vérifiées ;

1 : désigne que les conditions aux limites ne sont pas vérifiées.

Tableau 2-7 :

N° du câble	α	x	comb 4 [MPa]			comb 5 [MPa]			Vérifications comb 4 [MPa]			comb 5 [MPa]		
			effort au droit du câble [kg]	Effort agissant sur la fibre int [kg]	Effort agissant sur la fibre ext [kg]	effort au droit du câble [kg]	Effort agissant sur la fibre int [kg]	effort agissant sur la fibre ext [kg]	effort au droit du câble	Effort agissant sur la fibre int	effort agissant sur la fibre ext	effort au droit du câble	Effort agissant sur la fibre int	effort agissant sur la fibre ext
1	0,00	0,00	75413,20	4959,91	145839,65	75413,20	4959,91	145839,65	0	0	0	0	0	0
	0,10	1,26	78918,29	6361,79	151447,15	78918,29	6361,79	151447,15	0	0	0	0	0	0
	0,21	2,51	82333,08	7727,55	156910,19	82333,08	7727,55	156910,19	0	0	0	0	0	0
	0,31	3,77	85660,16	9058,23	162232,92	85660,16	9058,23	162232,92	0	0	0	0	0	0
	0,33	3,94	86017,26	9201,05	162804,21	86017,26	9201,05	162804,21	0	0	0	0	0	0
	0,42	5,03	83120,82	8042,61	158170,43	83120,82	8042,61	158170,43	0	0	0	0	0	0
	0,52	6,28	79921,96	6763,21	153052,84	79921,96	6763,21	153052,84	0	0	0	0	0	0

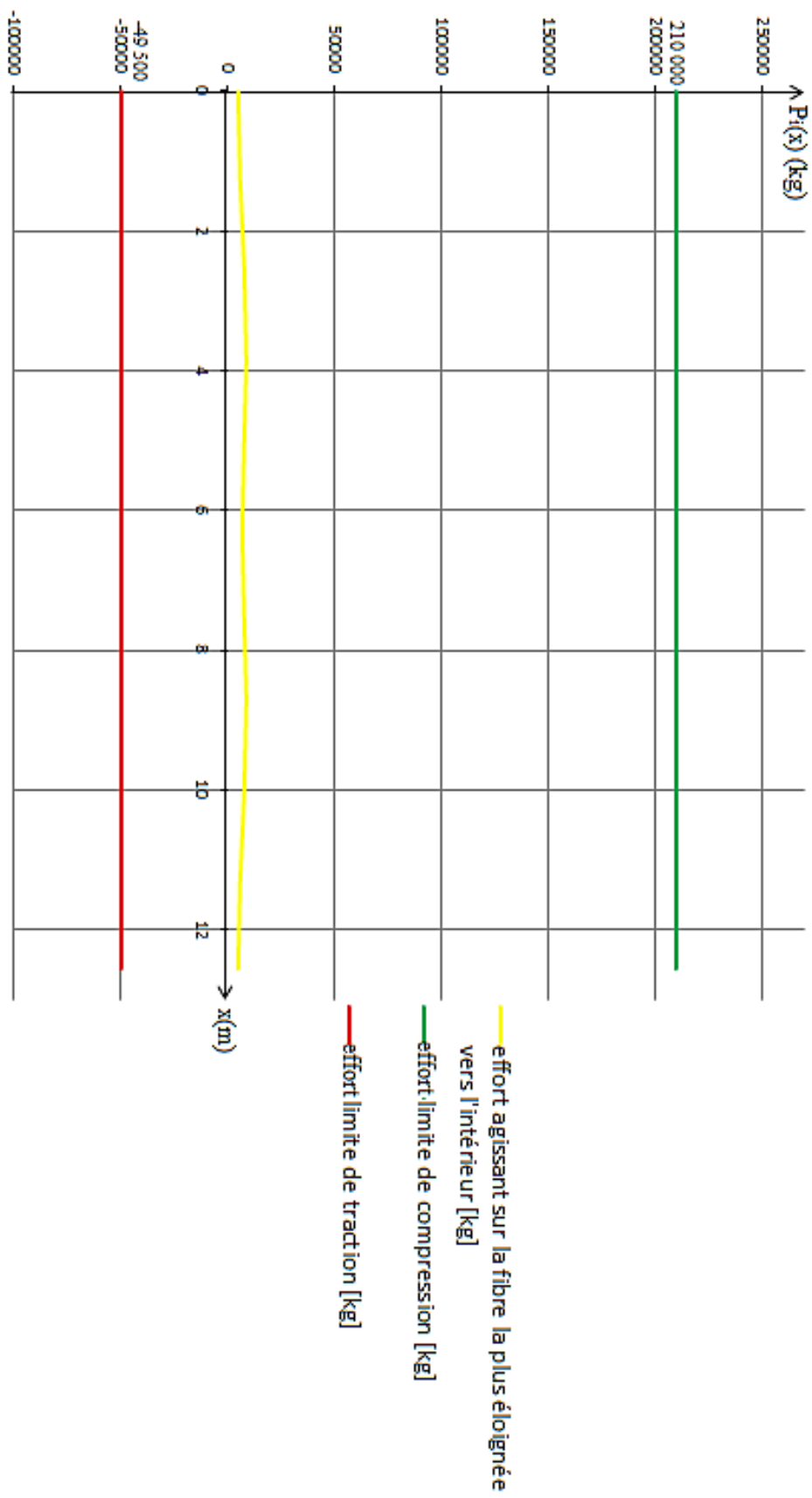


Figure 2.15 : fuseau d'efforts sous l'effet des combinaisons rares le long du câble dans la fibre la plus éloignée vers l'intérieur

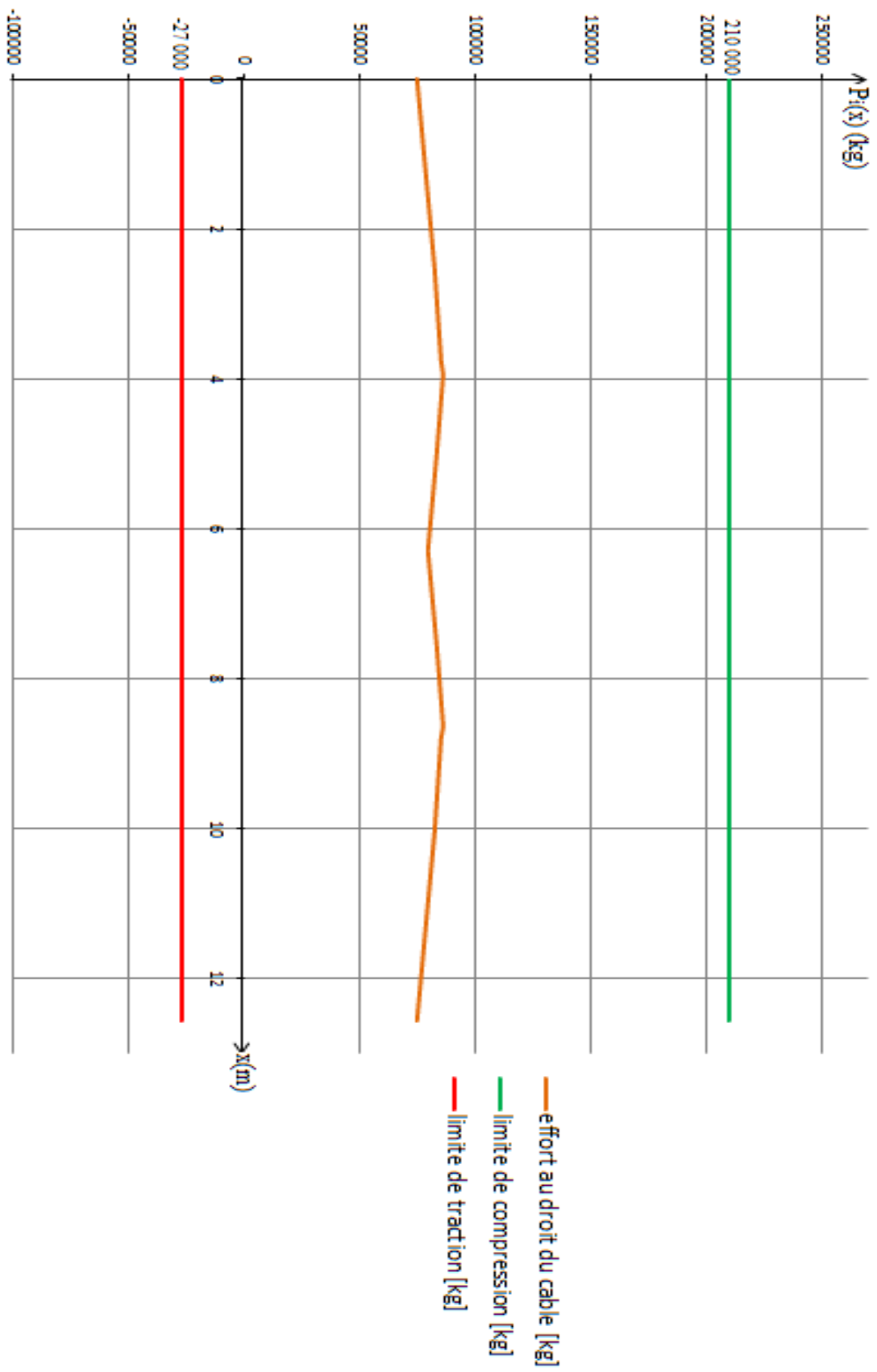


Figure 2.16 : fuseau d'efforts sous l'effet des combinaisons rares aux voisinages du câble

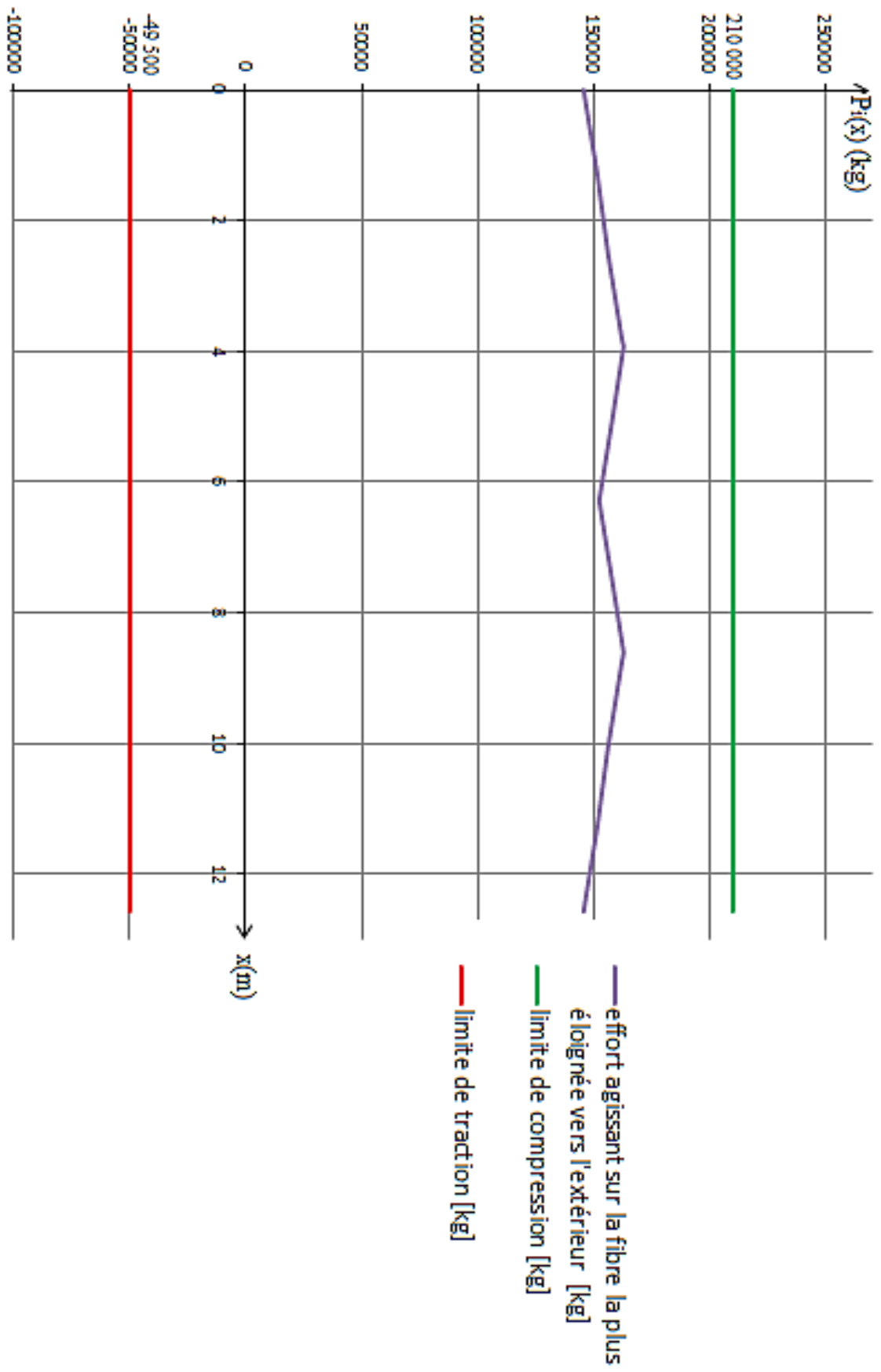


Figure 2.17 : fuseau d'efforts sous l'effet des combinaisons rares le long du câble dans la fibre la plus éloignée vers l'extérieur

Sous l'effet de la combinaison fréquente (combinaison 6)

La limite de compression est fixée à $0.6f_{c28}$

La limite de traction est fixée à 0 dans la section d'enrobage

La limite de traction est fixée à f_{t28} hors section d'enrobage

Les résultats du câble le plus sollicité de la bande la plus sollicitée dans le tableau 2-7, où :

0 : désigne que les conditions aux limites sont vérifiées ;

1 : désigne que les conditions aux limites ne sont pas vérifiées.

N° du câble	α	x	comb 6 [MPa]			Vérifications		
			effort au droit du câble [kg]	Effort agissant sur la fibre int [kg]	Effort agissant sur la fibre ext [kg]	effort au droit du	Effort agissant sur la fibre intérieur	Effort agissant sur la fibre extérieur
1	0,00	0,00	75378,17	-18529,13	169237,79	0	0	0
	0,10	1,26	78882,69	-17828,37	175544,65	0	0	0
	0,21	2,51	82296,94	-17145,66	181689,04	0	0	0
	0,31	3,77	85623,49	-16480,49	187675,62	0	0	0
	0,33	3,94	85980,53	-16409,09	188318,17	0	0	0
	0,42	5,03	83084,55	-16988,17	183106,46	0	0	0
	0,52	6,28	79886,20	-17627,71	177350,60	0	0	0

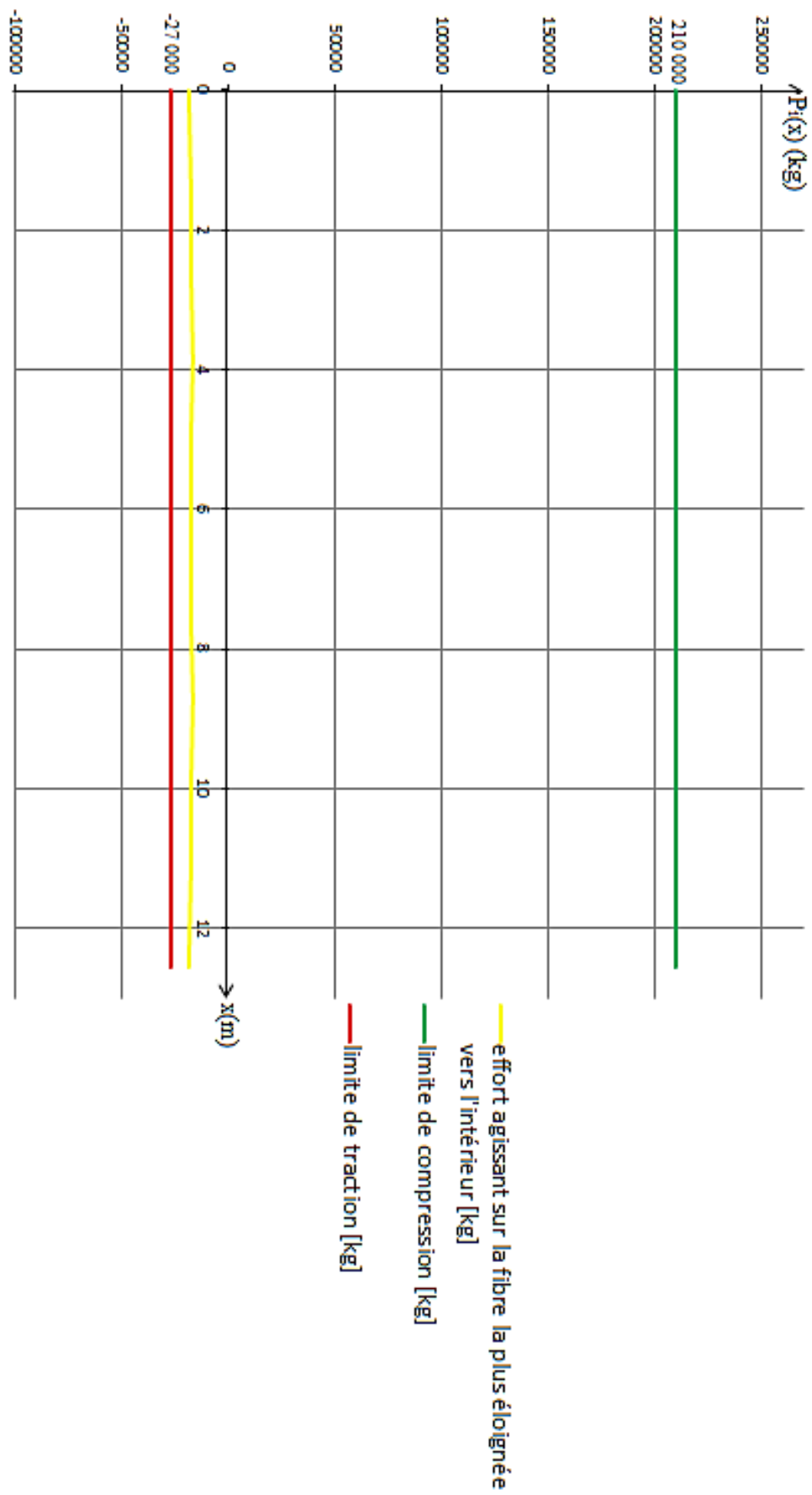


Figure 2.18 : fuseau d'efforts sous l'effet de la combinaison fréquente le long du câble dans la fibre la plus éloignée vers l'intérieur

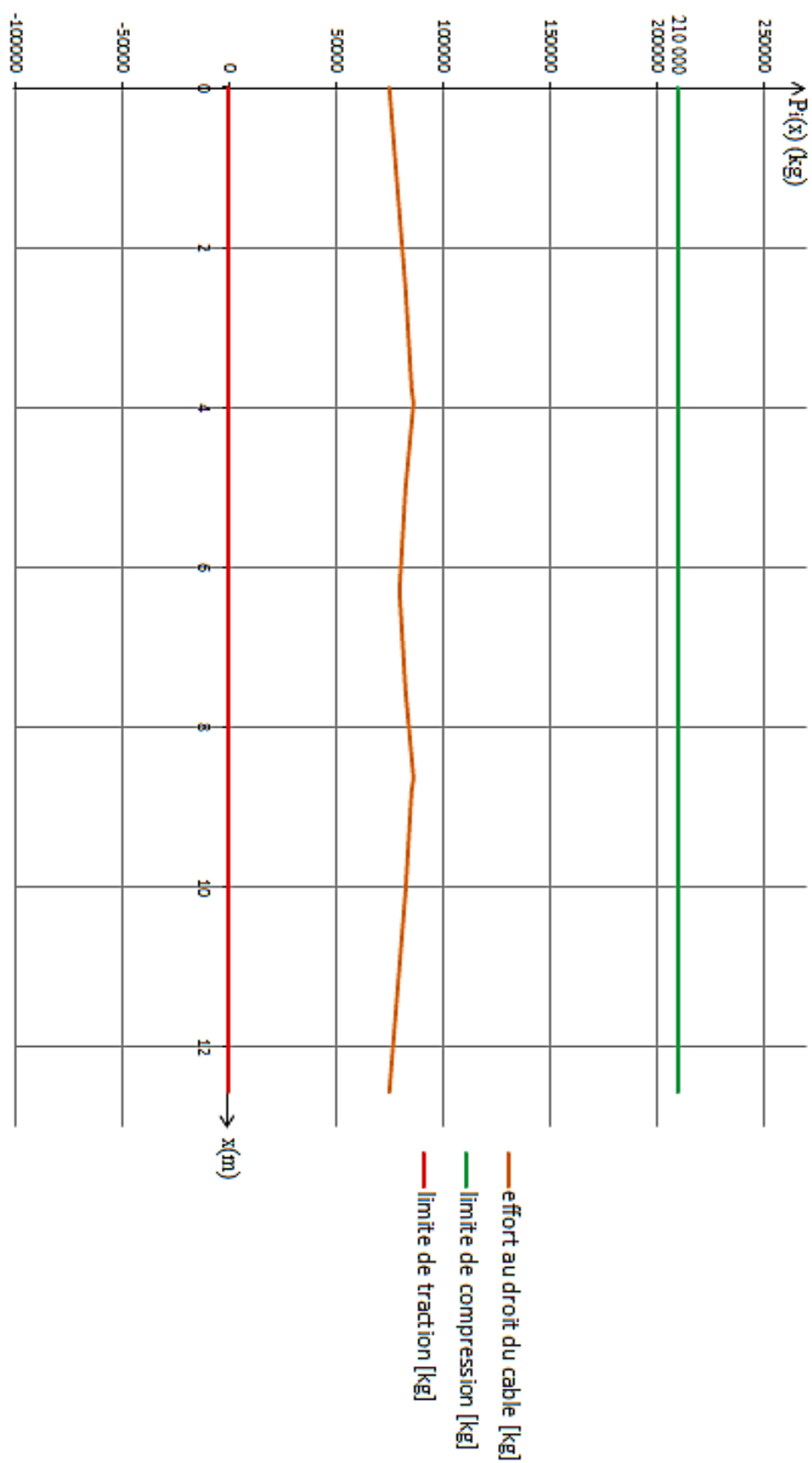


Figure 2.19 : fuseau de contraintes au droit du câble

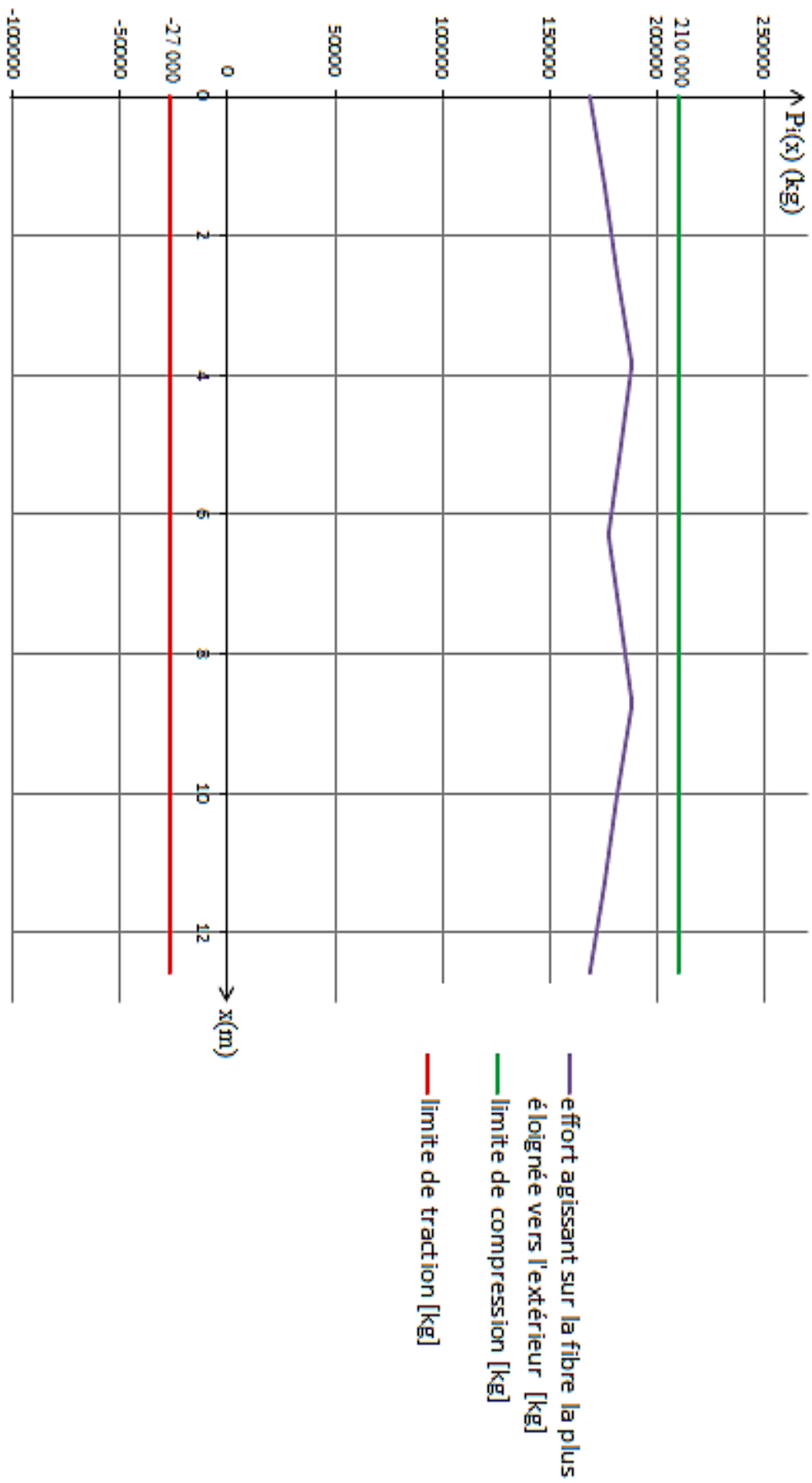


Figure 2.20 : fuseau d'efforts sous l'effet de la combinaison fréquente le long du câble dans la fibre la plus éloignée vers l'extérieur

Sous l'effet de la combinaison quasi-permanente (combinaisons7)

La limite de compression est fixée à $0.6f_{c28}$

Les résultats du câble le plus sollicité de la bande la plus sollicitée dans le tableau 2-7, où :

0 : désigne que les conditions aux limites sont vérifiées ;

1 : désigne que les conditions aux limites ne sont pas vérifiées.

N° du câble	α	x	comb 7 [MPa]			vérification de la comb 7		
			effort au droit du câble [kg]	effort agissant sur la fibre intérieur [kg]	effort agissant sur la fibre extérieur [kg]	effort au droit du câble	effort agissant sur la fibre intérieur	effort agissant sur la fibre extérieur
1	0,00	0,00	117413,20	46959,91	187839,65	0	0	0
	0,10	1,26	120918,29	48361,79	193447,15	0	0	0
	0,21	2,51	124333,08	49727,55	198910,19	0	0	0
	0,31	3,77	127660,16	51058,23	204232,92	0	0	0
	0,33	3,94	128017,26	51201,05	204804,21	0	0	0
	0,42	5,03	125120,82	50042,61	200170,43	0	0	0
	0,52	6,28	121921,96	48763,21	195052,84	0	0	0

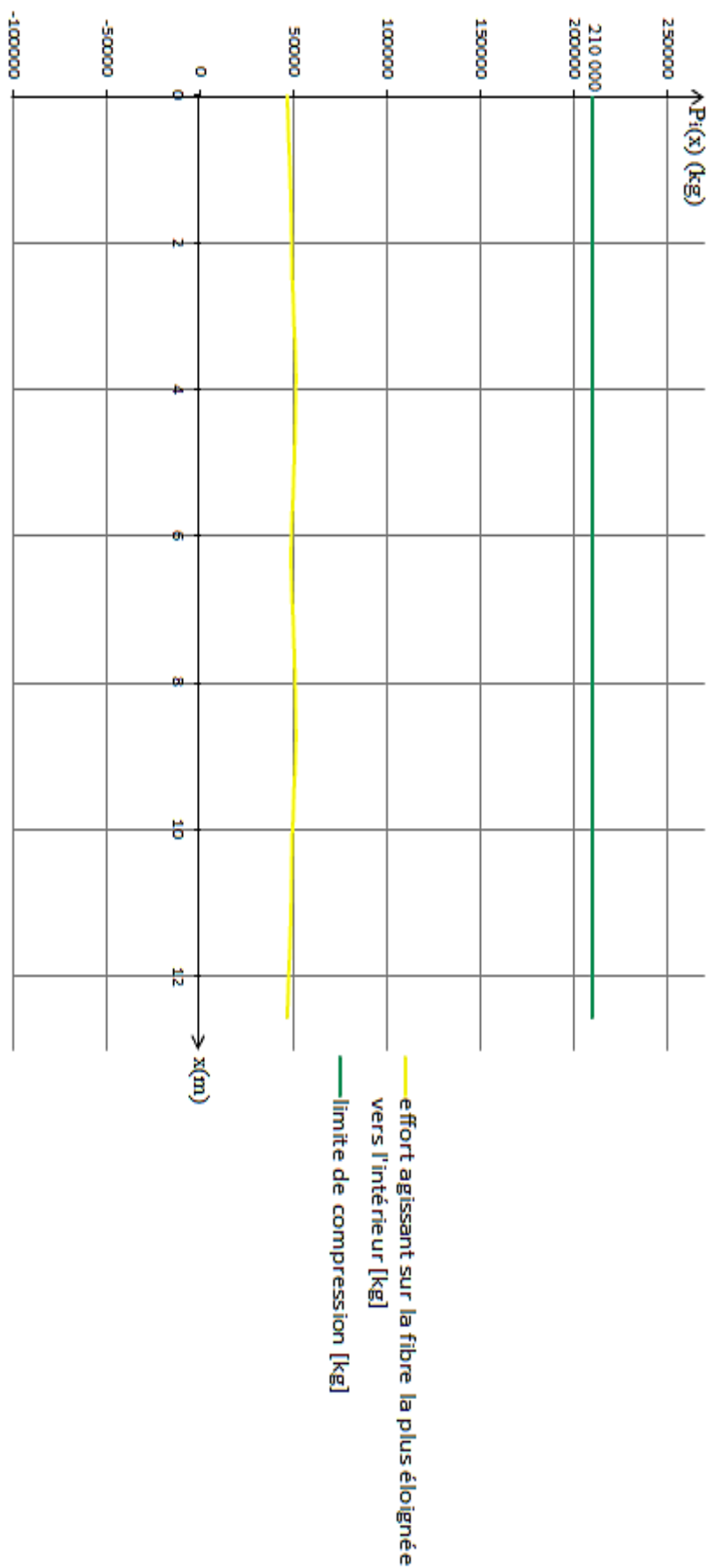


Figure 2.21 : fuseau d'efforts sous l'effet de la combinaison quasi-permanente le long du câble dans la fibre la plus éloignée vers l'intérieur

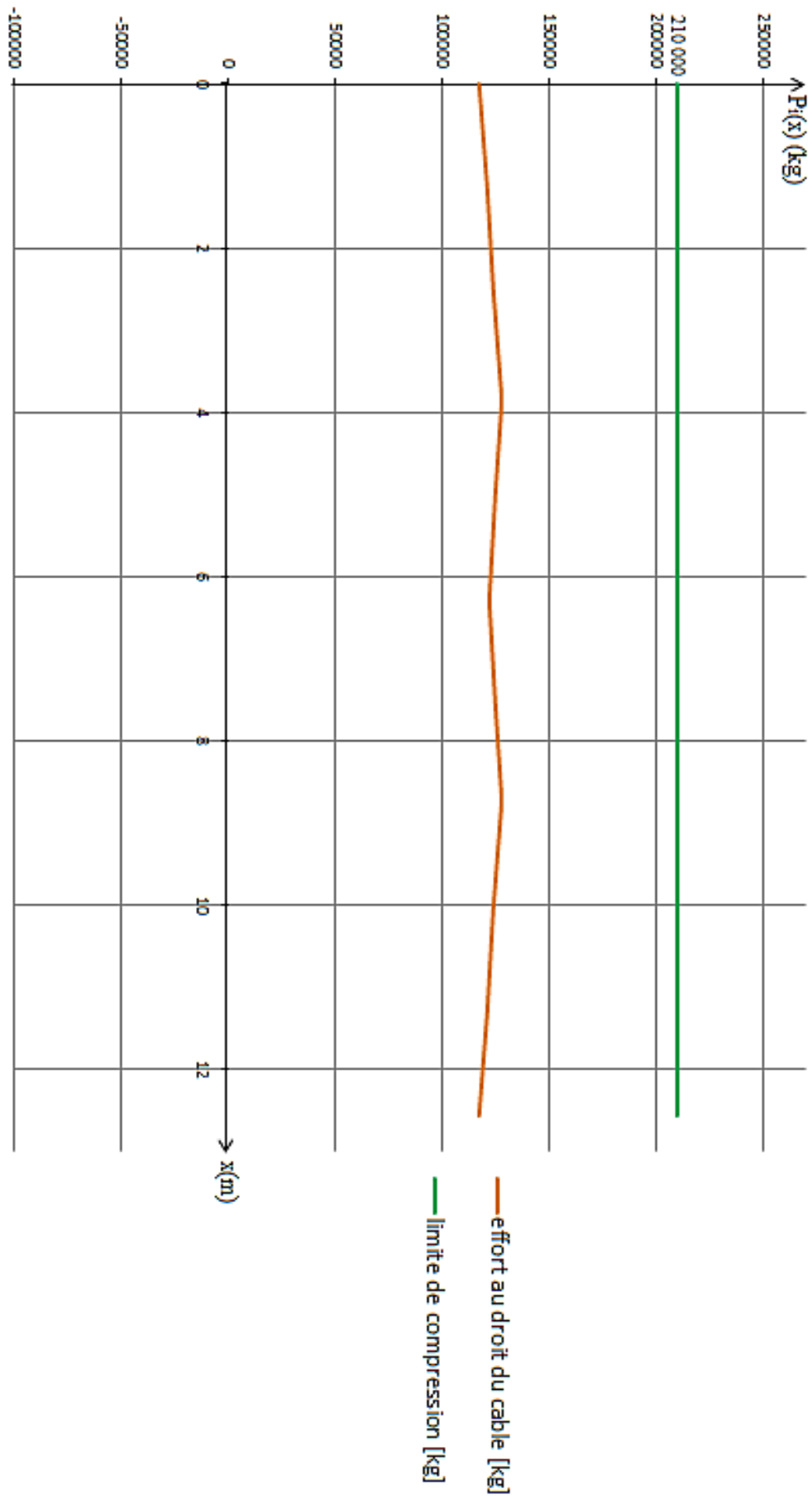


Figure 2.22 : fuseau d'efforts sous l'effet de la combinaison quasi-permanente au droit du câble

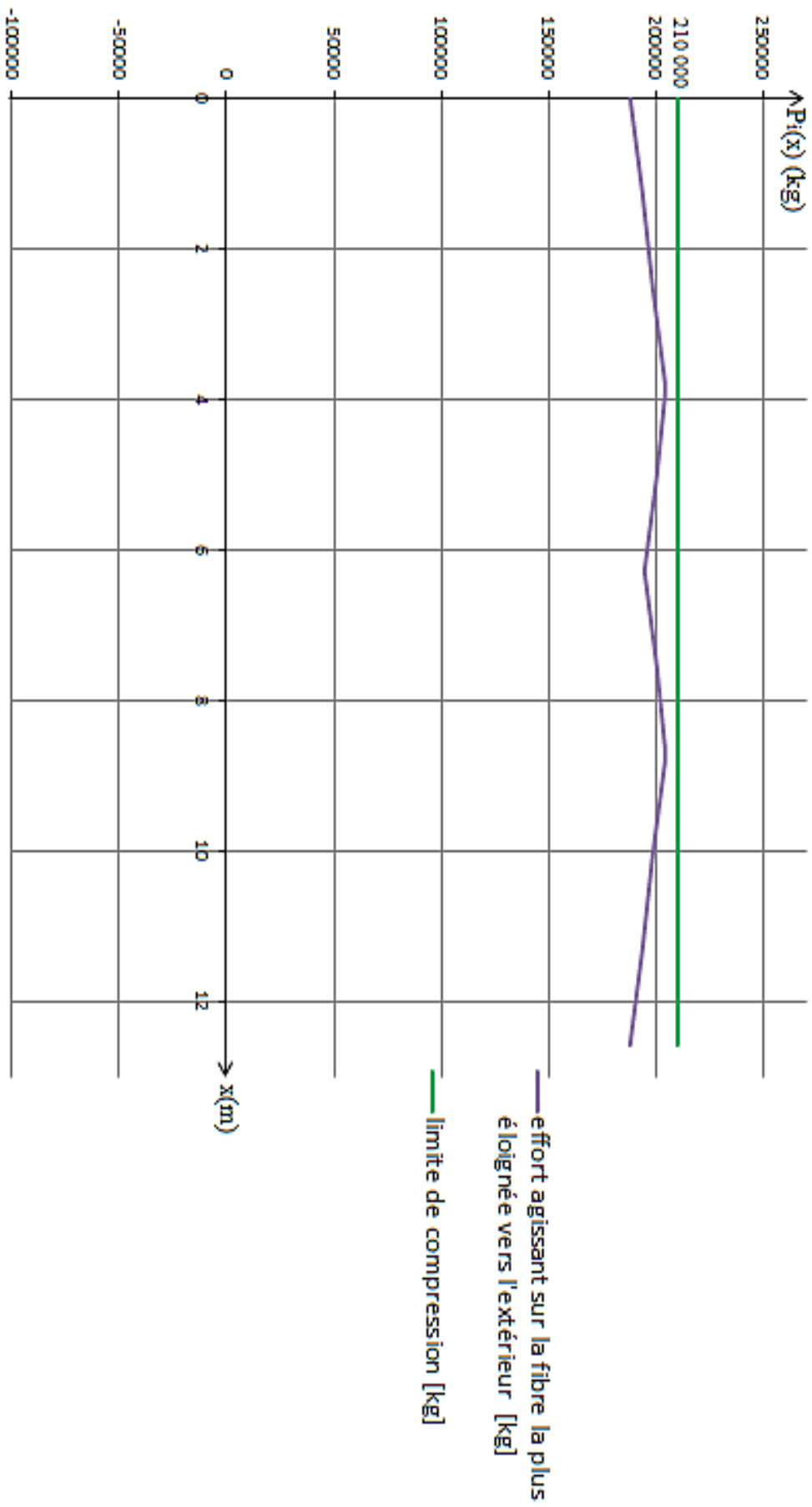


Figure 2.23 : fusceau d'efforts sous l'effet de la combinaison quasi-permanente le long du câble dans la fibre la plus éloignée vers l'extérieur

Les efforts développés sous les différentes combinaisons (rares, fréquente et quasi permanente), aux différents endroits de la paroi (section d'enrobage, hors section d'enrobage), sont vérifiés aux états limites.

2.7. Etude de la corrosion

Pour l'étude de la corrosion (diminution de la section du câble) dans les différentes régions d'implantations (classées selon leurs degrés d'agressivité), nous nous proposons le **modèle de Fumin Li et Al** qui nous permettra de connaître l'âge de notre ouvrage.

$$\eta_c = \frac{M.i.S.t_c/(|z|.F)}{L.\rho_l} \quad (2.41)$$

Où :

η_c : est le taux de perte de poids 28 jours ;

i : est la densité de corrosion [A/m²] ;

S : est la section latérale du câble [m²] ;

t_c : est le temps de corrosion [s] ;

M : masse molaire de l'acier [g/mol] ;

z : nombre d'électrons cédés ou gagnés ;

F : constante de **FARADAY** prise égale à 96 485 [C/mol] ;

L : la longueur du câble [m] ;

ρ_l : est la densité linéaire du câble [g/m].

Tableau 2-8 : vitesse de corrosion pour les différentes régions (M. Otieno et Al)

zones	i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	observation
très loin de la mer	<0.1	corrosion passive
loin de la mer	0.1–0.5	corrosion faible
proche de la mer	0.5–1.0	corrosion modérée
aux abords de la mer	>1.0	corrosion élevée

Une fois que nous avons calculé le taux de perte de poids pour chaque zone du tableau 2-8, nous allons à présent déduire la perte de section d'un câble en fonction du temps.

Nous avons :

$$P_0 = \rho_v \cdot v \quad (2.42)$$

Où :

P_0 : est le poids initial du câble pour 1 mètre linéaire [kg] ;

ρ_v : est la densité volumique du câble [kg/m³] ;

v : volume du câble calculé comme suit :

$$v = S \cdot l \quad (2.43)$$

Avec :

S : section du câble [m²] ;

l : longueur du câble que nous avons pris égal à 1m [m].

Après 28 jours nous aurons :

$$P(28) = P_0 - \eta_c \cdot P_0 = P_0(1 - \eta_c)$$

Après 56 jours :

$$P(56) = P(28) - P(28) \cdot \eta_c = P(28)(1 - \eta_c) = P_0(1 - \eta_c)(1 - \eta_c) = P_0(1 - \eta_c)^2$$

Après n jours :

$$P(n) = P_0(1 - \eta_c)^{\frac{n}{28}} \quad (2.44)$$

On a aussi :

Le poids d'un mètre linéaire d'un câble à un instant quelconque égal :

$$P(n) = \rho_v \cdot S(n) \quad (2.45)$$

Donc

$$S(n) = \frac{P(n)}{\rho_v} \quad (2.46)$$

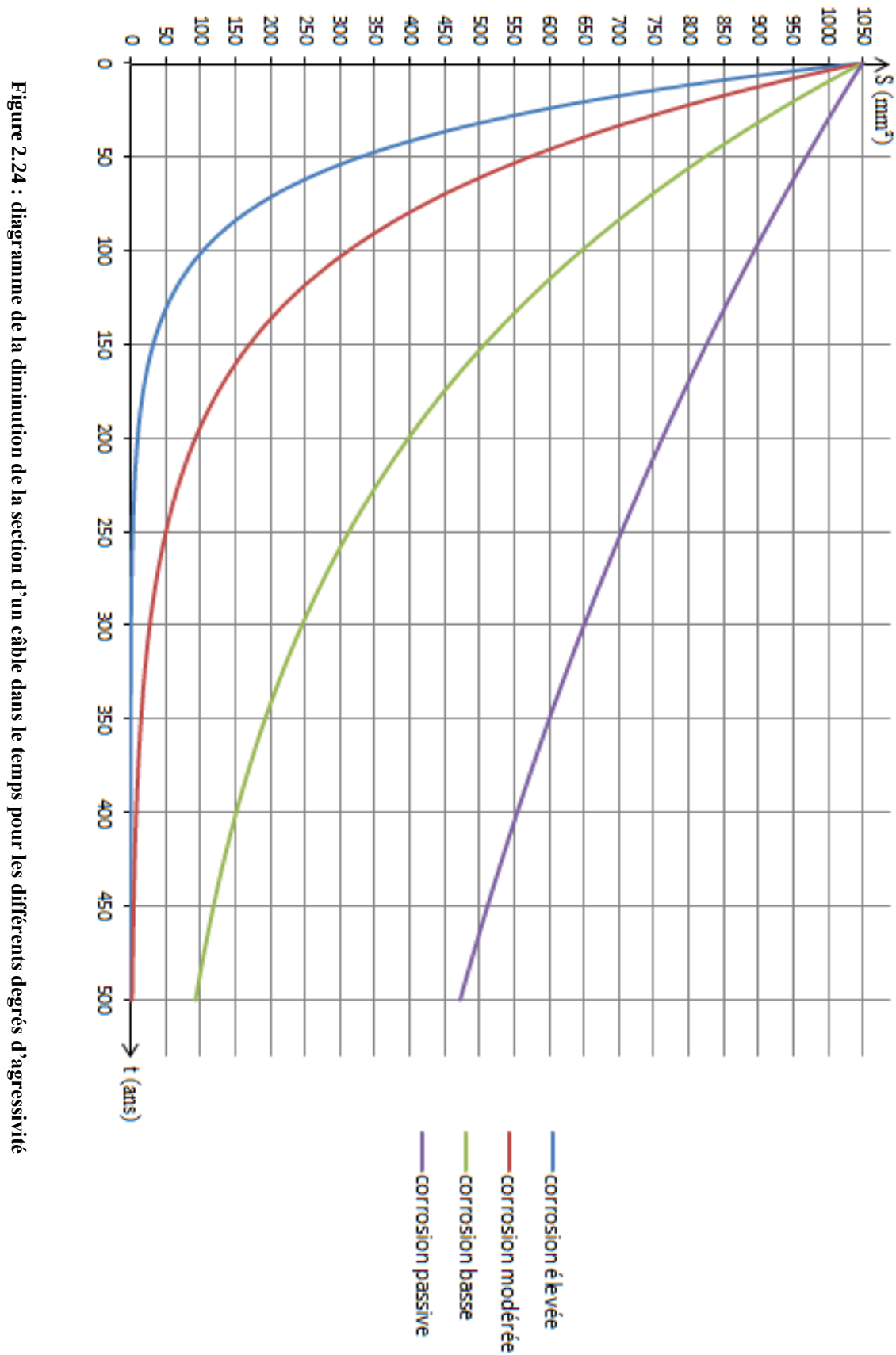
Où :

$P(n)$: poids d'un mètre linéaire d'un câble à un instant n donné [kg/ml] ;

ρ_v : est la densité volumique du câble [kg/m³] ;

$S(n)$: section du câble à l'instant n [m²].

Les résultats obtenus sont montrés sous forme de tableaux dans l'annexe 6 et les figures (2.22) et (2.23).



Ensuite, pour déterminer l'âge de notre ouvrage, on a développé une relation entre l'effort limite de rupture $P_l(t)$ et la section résiduelle pour chaque année $S(t)$, qui est :

$$f_{prg} = \frac{P_l}{S} \quad (2.47)$$

Cependant, la section du câble diminue dans le temps, donc la contrainte limite de rupture diminue proportionnellement à cette dernière, ce qui fait que la relation 2.47 devient :

$$f_{prg}(t) = \frac{P_l(t)}{S(t)}$$

D'où :

$$P_l(t) = f_{prg}(t) \cdot S(t) \quad (2.48)$$

Avec :

f_{prg} : contrainte limite de rupture d'un câble garantie par le fournisseur [MPa] ;

$P_l(t)$: effort limite de rupture d'un câble dans le temps [N] ;

$S(t)$: section résiduelle d'un câble dans le temps [mm²].

Ensuite, pour connaître l'âge de notre ouvrage, selon le degré d'agressivité du milieu, on a fait varier le temps de $t = 0$ jusqu'à $t = 500$ ans, pour calculer l'effort limite de rupture et on le compare à chaque fois, à l'aide d'un test sur **Excel**, à un effort nécessaire pour causer la rupture d'un câble.

Le test est le suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } P_l(t) > F_u \Rightarrow \text{ sécurité} \\ \text{Si } P_l(t) \leq F_u \Rightarrow \text{ rupture} \end{array} \right.$$

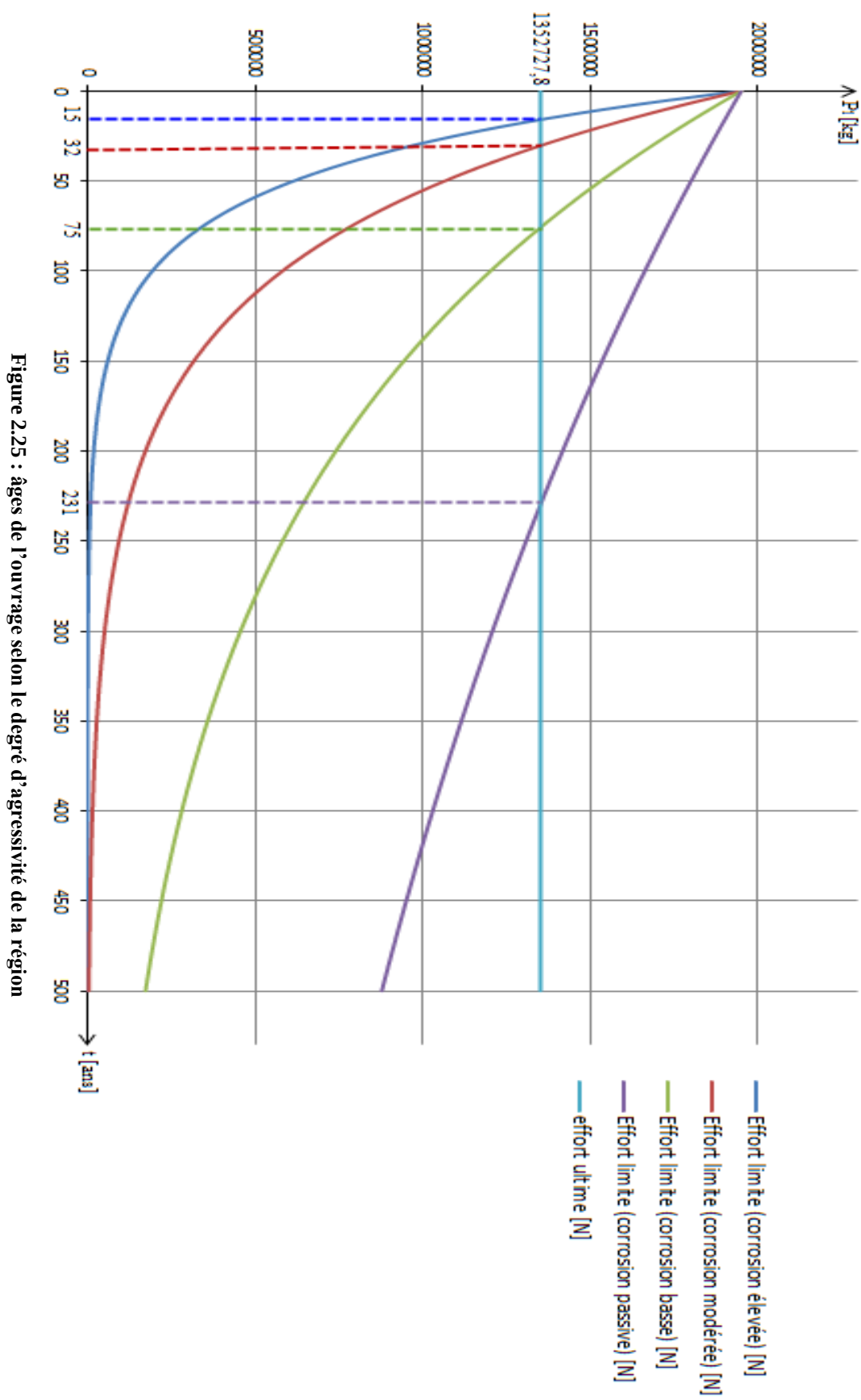
Avec

$P_l(t)$: effort limite de rupture d'un câble à un instant donné t [N] ;

F_u : effort nécessaire pour causer la rupture d'un câble, obtenu comme suit :

$$F_u = \max(\text{tensions dans les câbles après toutes les pertes}) \quad (2.49)$$

Après avoir varié le temps de $t = 0$ jusqu'à $t = 500$ ans, on a obtenu des résultats montrés sous forme de tableaux dans l'annexe 6 et la figure 2.22.



Interprétation des résultats

Dans la phase de propagation, la section d'armatures diminue dans le temps avec un rythme différent d'une région à une autre ; le câble atteint la corrosion totale à la 250^{ème} année dans la zone la plus agressive et plus l'agressivité du milieu diminue, l'armature met plus de temps pour atteindre la corrosion totale comme on le remarque dans la figure 2.22.

En superposant la variation de l'effort limite spécifique des différents degrés d'agressivités, avec l'effort ultime, nous constatons, que le réservoir atteint un seuil critique au bout de :

- 17 ans pour la zone la plus agressive (corrosion élevée) ;
- 32 ans pour la zone moyennement agressive (corrosion modérée) ;
- 80 ans pour la zone à faible agressivité (corrosion faible) ;
- 242 ans pour la zone à agressivité négligeable (corrosion passive).

2.8.Conclusion

L'étude structurel du réservoir qui impose un diamètre de 24 m, ainsi que l'étude hydrodynamique et hydrostatique, démontre que la réalisation de notre ouvrage est impossible avec du Béton Armé.

Le Béton Précontraint offre de grands avantages pour la réalisation de structures importantes. L'étude de précontrainte effectuée sur le réservoir de notre étude est vérifiée aux états limites du **Fascicule 74**.

Selon le degré d'agressivité du site d'implantation de l'ouvrage, le processus de corrosion évolue différemment ; plus on s'éloigne des sources d'agressivités, la corrosion des armatures diminue.

CHAPITRE 3 : CALCUL FIABILISTE DE LA PAROI DU RESERVOIR

3.1.INTRODUCTION

Après avoir effectué un calcul déterministe du réservoir, nous proposons dans ce troisième chapitre une analyse fiabiliste de la structure pour évaluer la probabilité de défaillance dans le temps, tenant compte de la variabilité de la résistance à la compression du béton et de l'excentricité du câble. La méthode utilisée est celle de Monte Carlo classique. Notons que différentes zones d'implantations seront considérés.

3.2.Critère de défaillance et fonction d'état limite

La durabilité des réservoirs peut être affectée par la corrosion des armatures de précontraintes. Les câbles ont un effort limite F_{lim} (résistance limite) qui diminue à chaque fois que le câble se corrode. La ruine de l'ouvrage est liée directement au dépassement de l'état limite dicté par l'effort ultime F_{ultime} . Ceci nous amène à définir la fonction d'état limite G suivante :

$$G = F_{ultime} - F_{lim} \quad (3.1)$$

3.3.Identification des variables

Tableau 3-1 : exemple de variables déterministes et aléatoires.

variable	unité	observation
diametre interne du reservoir	m	déterministe
epaisseur de la paroi	m	déterministe
coef d'acceleration de zone	m/s ²	aléatoire
période fendamental	s	aléatoire
exentrécité du cable	m	aléatoire
résistance a la compression du béton	Mpa	aléatoire

Pour notre étude fiabiliste, les variables aléatoires considérées sont l'excentricité du câble (e_0) et résistance à la compression du béton (f_{c28}). Ces variables aléatoires interviennent dans les équations de détermination des efforts finaux appliqués sur la paroi.

En plus de ces variables aléatoires, nous allons prendre en considération les zones d'implantations selon leurs degrés d'agressivités.

3.4.Génération des variables aléatoires

Il a été démontré que, la résistance à la compression du béton (f_{c28}) peut être générer avec la loi normale (Haddad et Sellam 2017). Les paramètres caractérisant la loi normale sont :

μ : désigne la moyenne statistique de l'échantillon généré prise égale à 35 MPa ;

σ : désigne l'écart type de l'échantillon donné ;

C_v : coefficient de variation pris égale à 0.12 dans notre cas.

Cependant, l'excentricité du câble (e_0) n'a jamais fait le sujet d'une étude probabiliste, et pour notre cas, nous allons la générer avec une loi de distribution normale avec les paramètres suivants :

μ : désigne la moyenne statistique de l'échantillon généré prise égale à 4 cm

C_v : coefficient de variation pris égale à 0.25 dans notre cas.

On tient à préciser que les coefficients de variations des deux variables aléatoires sont choisis par tâtonnements.

À l'aide d'un programme Excel© les étapes de générations de variables sont les suivantes :

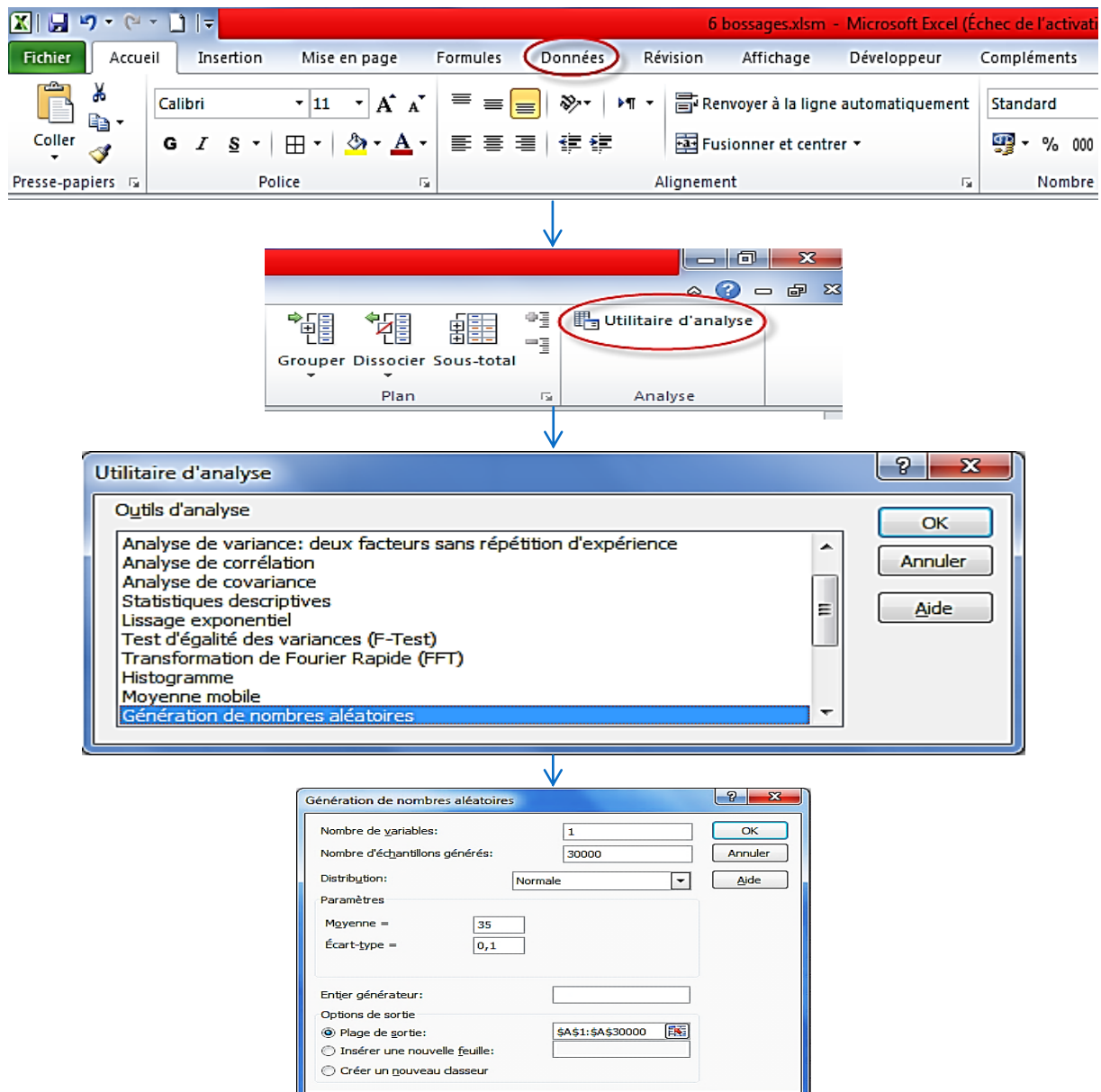


Figure 3.1 organigramme de génération des variables aléatoires

Les résultats obtenus sont montrés sous forme d'un tableau dans l'annexe 7.

3.5. Evaluation de la probabilité de défaillance

Le calcul de la probabilité de défaillance P_f (probability of failure) est mené avec la méthode de **Monte Carlo** classique, pour la simplicité et la précision de ses résultats. Le principe de cette méthode repose sur la génération d'un grand nombre de tirages aléatoires autour des paramètres f_{c28} et e_0 . Le logiciel Excel est utilisé pour la génération de ces tirages (N_b) qui sont limités à 32 767. Ainsi, un indicateur de ruine I_d est utilisé pour définir l'état de défaillance du système pour la fonction d'état limite G donnée tel que :

$$I_d = 1 \quad \text{si } G \leq 0$$

$$I_d = 0 \quad \text{si } G > 0$$

La probabilité de défaillance P_f est donnée, pour chaque année, par la relation suivante (Akli et Rihane, 2017).

$$P_f = \Sigma I_d / N_b \quad (3.2)$$

La valeur de la probabilité de défaillance doit être comprise dans l'intervalle admissible, qui dépend du secteur industriel. Ces valeurs sont présentées dans le tableau 3-2 .

Tableau 3-2 probabilité de défaillance selon le secteur industriel

Secteur industriel	P_f
Structure marines	10^{-2} - 10^{-4}
Génie civil	10^{-3}-10^{-8}
Aérospatial	10^{-4} - 10^{-10}
Composant nucléaires	10^{-6} - 10^{-12}

A l'aide d'un langage de programmation **Visual Basic**, une macro est effectuée sur le logiciel **Excel** pour calculer la probabilité de défaillance à chaque instant t (de $t = 0$ jusqu'à $t = 250$ ans). Le programme est montré sur la figure 3.2.


```

Sub Macro1()
'
' Macro1 Macro
'
' Touche de raccourci du clavier: Ctrl+r

Application.Goto Reference:="Macro1"
c = Sheets("corrosion").Cells(62, "b")
b = Sheets("fiabilite").Cells(1, "b")
For j = 65 To c + 64
Sheets("inventaire").Cells(2, "c") = Sheets("corrosion").Cells(j, "e")
For i = 4 To b + 3
Sheets("pertes instantanées").Cells(60, "c") = Sheets("fiabilite").Cells(i, "b")
Sheets("pertes instantanées").Cells(9, "d") = Sheets("fiabilite").Cells(i, "a")
Sheets("fiabilite").Cells(i, "c") = Sheets("verification").Cells(4, "aa")
Next i
Sheets("corrosion").Cells(j, "f") = Sheets("fiabilite").Cells(1, "e")
Next j

End Sub

```

Figure 3.2 : algorithme utilisé pour le calcul de la probabilité de défaillance en fonction du temps

L'organigramme suivant montre les étapes de calcul de la probabilité de défaillance par la simulation de **Monté Carlo** (Rihane et Akli, 2017) :

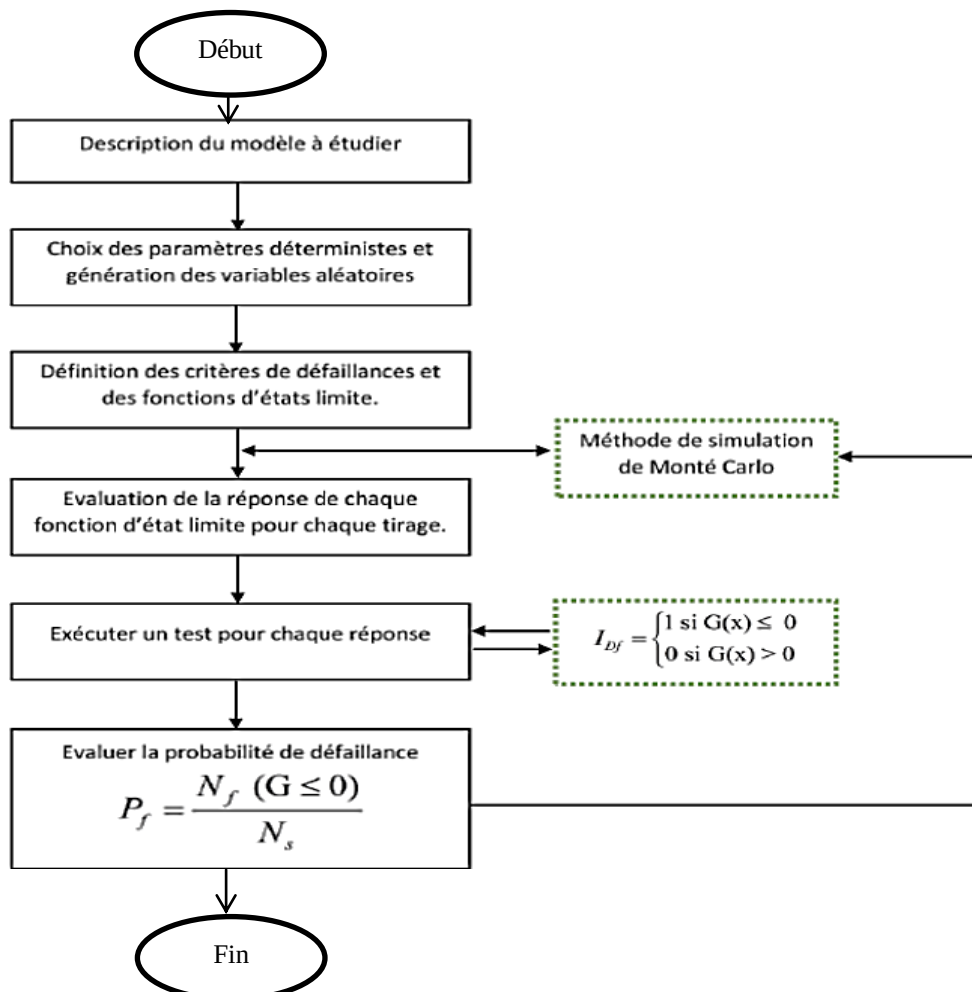
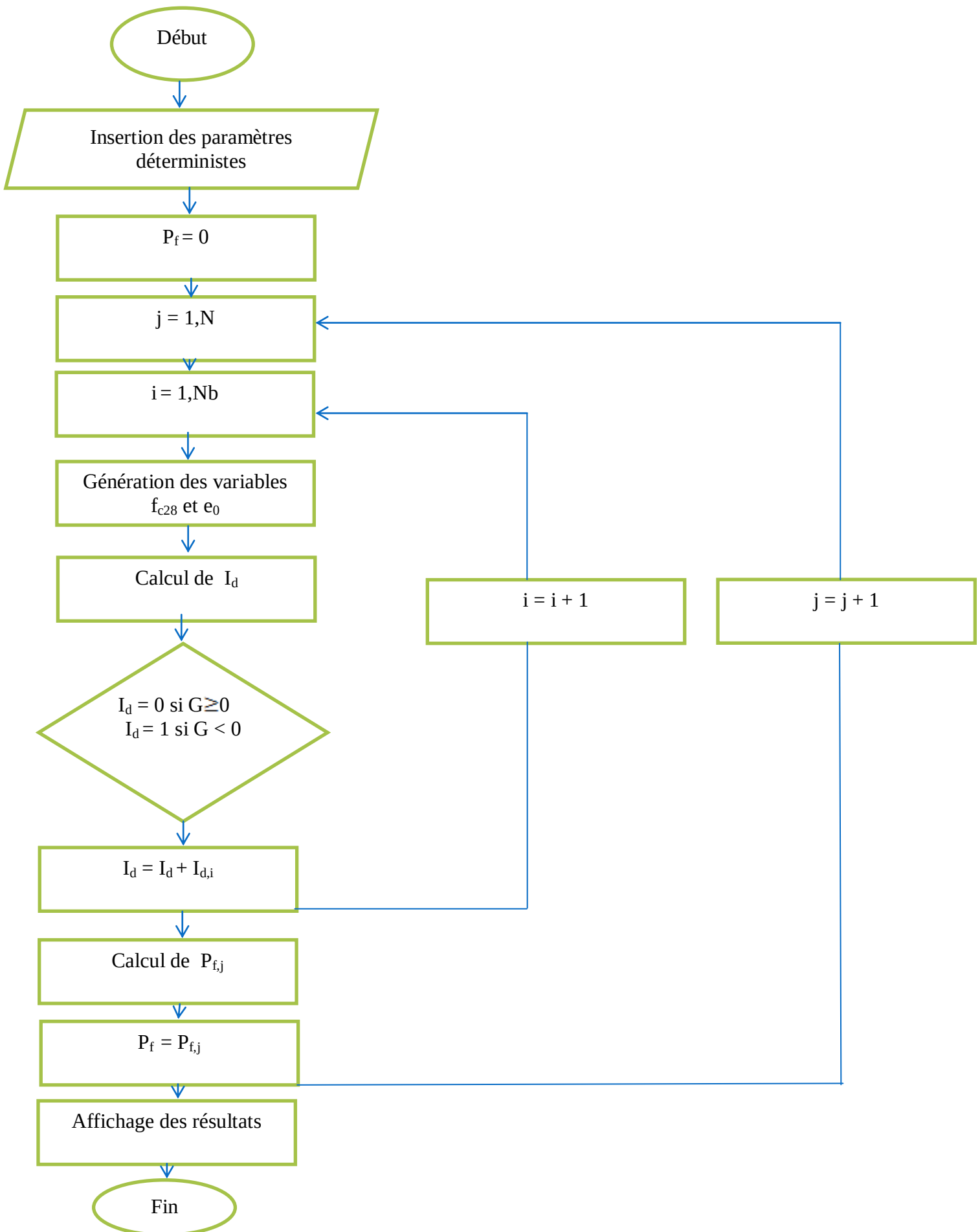
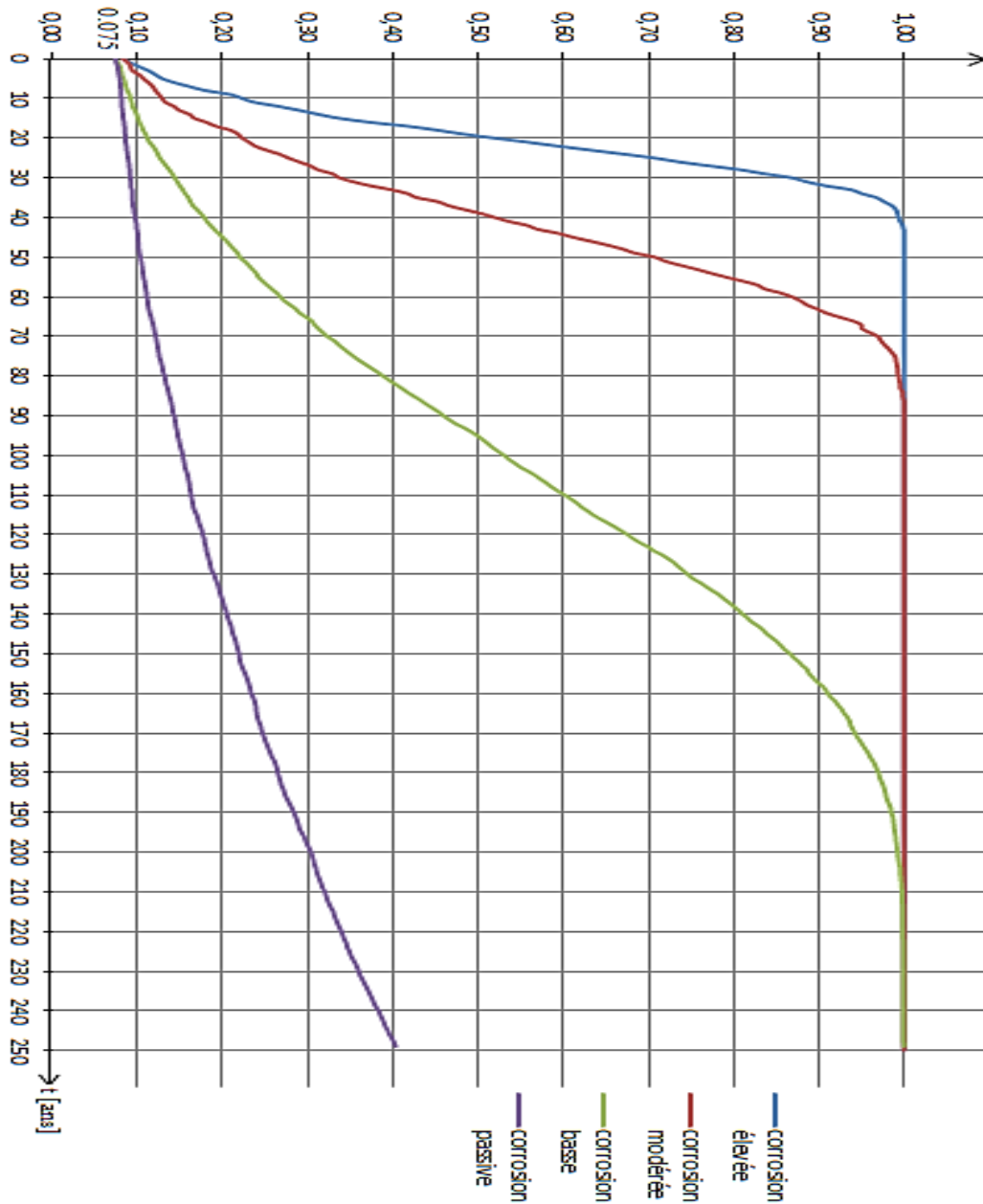


Figure 3.3 Organigramme de calcul de la probabilité de défaillance en utilisant la méthode des simulations de Monte Carlo.



La probabilité de défaillance est calculée, sous la combinaison 6 (fréquente), pour le câble le plus sollicité de la bande du fond de la paroi, en fonction du temps, pour chaque milieu d'agressivité considéré.

Les résultats obtenus sont montrés sous forme de tableaux dans l'annexe 8, et le diagramme suivant :



Interprétation des résultats

Nous constatons que :

Les graphiques de la probabilité de défaillance, des différents degrés d'agressivités, commence tous avec une probabilité de défaillance $P_f = 0.075$ qui est supérieur à la contrainte admissible des ouvrages génie civil $P_f = 0.001$. Cela est dû au fait de ne pas avoir pris en considération le temps d'initiation, de la corrosion, dans les calculs de la probabilité de défaillance.

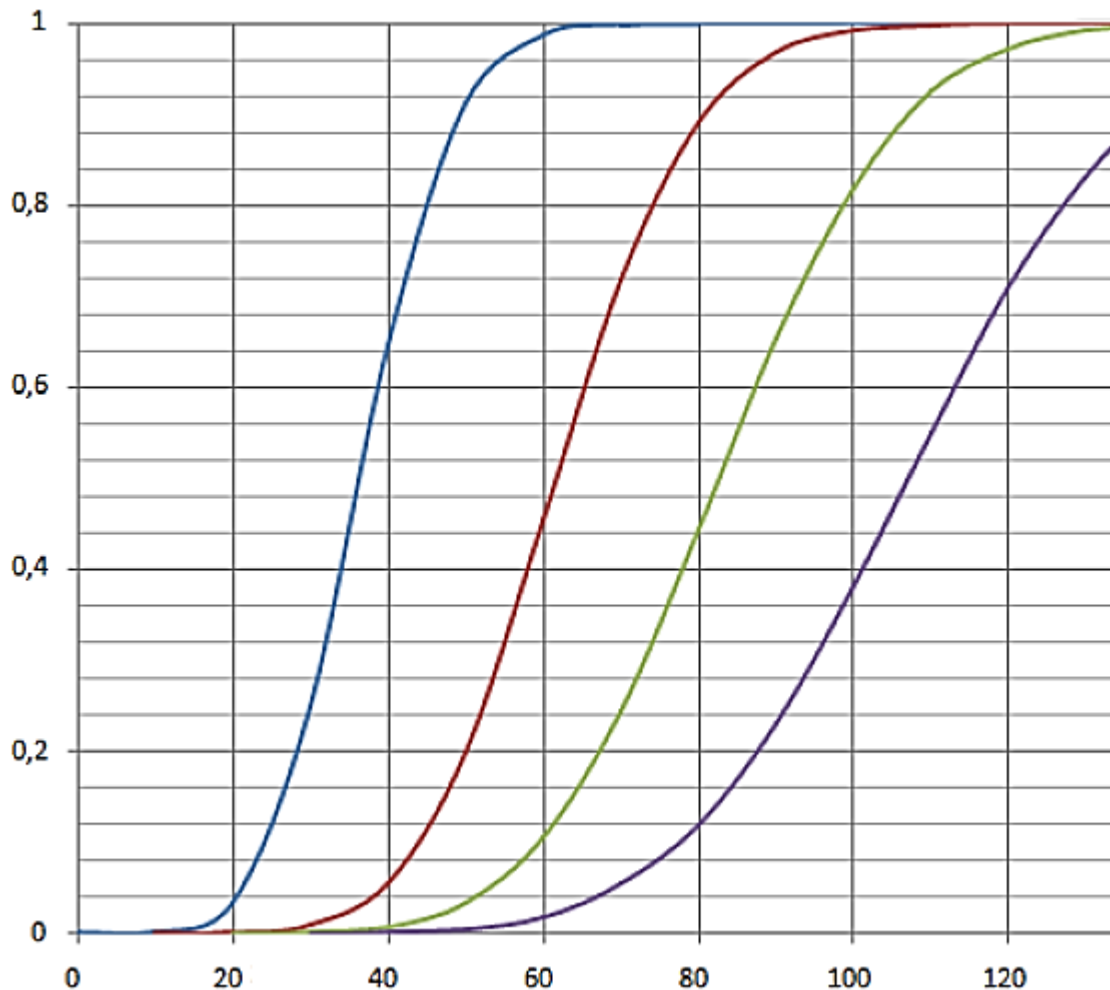


Figure 3.5 : diagramme de la probabilité de défaillance en fonction du temps, en prenant considération le temps d'initiation à la corrosion

Dans la phase de propagation (car on n'a pas pris en considération le temps d'initiation), La probabilité de défaillance évolue dans le temps avec un rythme différent d'une région à une autre comme on le remarque dans la figure 3.4; le réservoir atteint la ruine totale à la :

- 43^{ème} année dans la zone la plus agressive (corrosion élevée) ;
- 81^{ème} année dans la zone moyennement agressive (corrosion modérée) ;
- 204^{ème} année dans la zone à faible agressivité (corrosion faible).

Pour la zone à corrosion négligeable, on remarque que la ruine n'est pas encore atteinte au bout 250 ans.

3.6. Comparaison des résultats du calcul déterministe et fiabiliste

La comparaison des résultats ne peut pas se faire, car si on se fonde sur les résultats de la fiabilité le réservoir est défaillant à la mise en service de l'ouvrage.

Mais, nous avons eu l'idée de faire la comparaison présentée en tableau 3-3.

Tableau 3-3

degré de corrosion	ruine de l'ouvrage (calcul déterministe) [ans]	ruine de l'ouvrage $P_f=1$ [ans]
corrosion passive	242,00	plus de 250
corrosion faible	75,00	204,00
corrosion modérée	31,00	81,00
corrosion élevée	17,00	43,00

3.7. Conclusion

L'étude fiabiliste de notre ouvrage (f_{c28} et e_0 comme paramètres incertains), nous a permis de connaître la probabilité de défaillance (critère de ruine) pour les différents degrés des zones d'implantations ; elle permet aussi d'émettre un constat sur les zones d'implantations les plus avantageuses, qui se trouvent être :

Zone à corrosion négligeable ;

Zone à faible corrosion.

Conclusion générale

Pour l'étude d'une paroi d'un réservoir en béton précontraint posé au sol, deux méthodes ont été utilisées dans le cadre de ce projet de fin d'étude, une méthode déterministe et une méthode fiabiliste.

La méthode déterministe, a permis de :

Calculer les différentes sollicitations agissant sur la paroi ;

Choisir les armatures nécessaires, aciers passifs (barres à haute adhérence) ou actifs (câbles de précontraintes) pour éliminer les efforts de traction ;

Voir l'évolution de la section d'un câble dans le temps sous l'effet de la corrosion, nous avons considérés l'effet de l'agressivité des différentes zone d'implantations ;

Connaitre l'âge de notre ouvrage dans les différentes zones d'implantations.

La méthode fiabiliste nous a montré que :

Ce type de structure ne convient pas à la zone à forte corrosion.

LES ANNEXES

bande	N° du câble	a	x	Contrainte [MPa]	effort normal [kg]	moment [kg.m]	contrainte du béton moyenne [MPa]	perte moyenne [MPa]	tension après perte par non simultanée [MPa]
1,00	1,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	9,01	0,00	1296,77
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	9,23	0,00	1328,22
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	9,44	0,00	1359,01
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	9,65	0,00	1389,14
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	9,68	0,00	1392,39
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	9,49	0,00	1366,13
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	9,29	0,00	1337,25
	2,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	8,51	21,22	1275,55
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	8,72	21,74	1306,48
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	8,92	22,24	1336,77
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	9,12	22,73	1366,41
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	9,14	22,79	1369,60
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	8,97	22,36	1343,77
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	8,78	21,88	1315,37
	3,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	8,01	19,97	1255,57
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	8,20	20,46	1286,03
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	8,39	20,93	1315,83
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	8,58	21,40	1345,01
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	8,60	21,45	1348,15
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	8,44	21,04	1322,73
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	8,26	20,60	1294,77
2,00	4,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	7,51	18,73	1236,85
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	7,69	19,18	1266,85
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	7,87	19,62	1296,21
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	8,04	20,06	1324,95
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	8,06	20,11	1328,05

		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	7,91	19,73	1303,00
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	7,74	19,31	1275,46
	5,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	7,01	17,48	1219,37
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	7,18	17,90	1248,95
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	7,35	18,32	1277,89
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	7,51	18,72	1306,23
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	7,53	18,77	1309,28
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	7,38	18,41	1284,59
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	7,23	18,02	1257,44
		0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	6,51	16,23	1224,37
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	6,67	16,62	1254,06
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	6,82	17,01	1283,13
	6,00	0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	6,97	17,38	1311,58
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	6,99	17,43	1314,64
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	6,86	17,10	1289,85
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	6,71	16,74	1262,59
	3,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	6,01	14,98	1208,14
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	6,15	15,34	1237,44
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	6,30	15,70	1266,12
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	6,44	16,05	1294,20
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	6,45	16,08	1297,22
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	6,33	15,78	1272,76
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	6,20	15,45	1245,85
		0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	5,51	13,73	1193,16
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	5,64	14,06	1222,10
	8,00	0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	5,77	14,39	1250,42
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	5,90	14,71	1278,15
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	5,91	14,74	1281,13

		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	5,80	14,47	1256,97
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	5,68	14,16	1230,41
	9,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	5,01	12,48	1179,43
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	5,13	12,79	1208,03
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	5,25	13,08	1236,03
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	5,36	13,37	1263,44
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	5,38	13,40	1266,39
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	5,27	13,15	1242,51
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	5,16	12,87	1216,25
		0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	4,51	11,24	1166,94
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	4,61	11,51	1195,24
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	4,72	11,77	1222,95
4,00	10,00	0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	4,83	12,04	1250,07
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	4,84	12,06	1252,98
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	4,75	11,84	1229,36
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	4,65	11,59	1203,37
	11,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	4,01	9,99	1155,71
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	4,10	10,23	1183,74
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	4,20	10,47	1211,17
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	4,29	10,70	1238,03
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	4,30	10,72	1240,92
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	4,22	10,52	1217,52
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	4,13	10,30	1191,79
	12,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	3,50	8,74	1145,72
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	3,59	8,95	1173,51
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	3,67	9,16	1200,71
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	3,75	9,36	1227,33
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	3,76	9,38	1230,20

		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	3,69	9,21	1207,00
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	3,61	9,01	1181,49
5,00	13,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	3,00	7,49	1136,98
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	3,08	7,67	1164,56
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	3,15	7,85	1191,55
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	3,22	8,02	1217,97
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	3,23	8,04	1220,81
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	3,16	7,89	1197,79
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	3,10	7,72	1172,48
		0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	2,50	6,24	1129,49
	14,00	0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	2,56	6,39	1156,89
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	2,62	6,54	1183,70
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	2,68	6,69	1209,95
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	2,69	6,70	1212,77
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	2,64	6,58	1189,90
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	2,58	6,44	1164,75
		0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	2,00	4,99	1123,25
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	2,05	5,11	1150,49
	15,00	0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	2,10	5,23	1177,16
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	2,15	5,35	1203,26
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	2,15	5,36	1206,07
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	2,11	5,26	1183,33
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	2,07	5,15	1158,32
		0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	1,50	3,75	1118,26
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	1,54	3,84	1145,38
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	1,57	3,92	1171,93
6,00	16,00	0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	1,61	4,01	1197,91
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	1,61	4,02	1200,71

		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	1,58	3,95	1178,07
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	1,55	3,86	1153,17
	17,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	1,00	2,50	1114,51
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	1,03	2,56	1141,54
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	1,05	2,62	1168,00
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	1,07	2,67	1193,90
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	1,08	2,68	1196,69
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	1,05	2,63	1174,12
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	1,03	2,57	1149,31
		0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	0,50	1,25	1112,01
	18,00	0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	0,51	1,28	1138,98
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	0,52	1,31	1165,38
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	0,54	1,34	1191,23
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	0,54	1,34	1194,01
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	0,53	1,32	1171,49
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	0,52	1,29	1146,73

bande	N° du câble	α	x	tension après perte par non simultanéité [MPa]	effort normal [kg]	moment [kg.m]	contrainte du béton [MPa]	perte [MPa]	tension après perte par fluage [MPa]
1,00	1,00	0,00	0,00	1296,77	136160,89	5446,44	0,09	0,97	1240,98
		0,10	1,26	1328,22	139463,22	5578,53	0,09	1,00	1272,40
		0,21	2,51	1359,01	142695,75	5707,83	0,10	1,02	1303,17
		0,31	3,77	1389,14	145859,96	5834,40	0,10	1,04	1333,28
		0,33	3,94	1392,39	146200,44	5848,02	0,10	1,04	1336,52
		0,42	5,03	1366,13	143443,61	5737,74	0,10	1,03	1310,28
		0,52	6,28	1337,25	140411,74	5616,47	0,10	1,00	1281,43
	2,00	0,00	0,00	1275,55	133932,58	5357,30	0,09	0,96	1219,77
		0,10	1,26	1306,48	137180,87	5487,23	0,09	0,98	1250,68
		0,21	2,51	1336,77	140360,50	5614,42	0,09	1,00	1280,94
		0,31	3,77	1366,41	143472,92	5738,92	0,10	1,03	1310,56
		0,33	3,94	1369,60	143807,84	5752,31	0,10	1,03	1313,75
		0,42	5,03	1343,77	141096,12	5643,84	0,10	1,01	1287,94
		0,52	6,28	1315,37	138113,87	5524,55	0,09	0,99	1259,56
	3,00	0,00	0,00	1255,57	131835,35	5273,41	0,09	0,94	1199,81
		0,10	1,26	1286,03	135032,78	5401,31	0,09	0,97	1230,24
		0,21	2,51	1315,83	138162,62	5526,50	0,09	0,99	1260,03
		0,31	3,77	1345,01	141226,30	5649,05	0,10	1,01	1289,18
		0,33	3,94	1348,15	141555,97	5662,24	0,10	1,01	1292,32
		0,42	5,03	1322,73	138886,72	5555,47	0,09	0,99	1266,92
		0,52	6,28	1294,77	135951,17	5438,05	0,09	0,97	1238,98
2,00	4,00	0,00	0,00	1236,85	129869,20	5194,77	0,09	0,93	1181,10
		0,10	1,26	1266,85	133018,94	5320,76	0,09	0,95	1211,08
		0,21	2,51	1296,21	136102,10	5444,08	0,09	0,97	1240,42
		0,31	3,77	1324,95	139120,10	5564,80	0,09	0,99	1269,14

		0,33	3,94	1328,05	139444,85	5577,79	0,09	1,00	1272,23
		0,42	5,03	1303,00	136815,40	5472,62	0,09	0,98	1247,21
		0,52	6,28	1275,46	133923,64	5356,95	0,09	0,96	1219,69
	5,00	0,00	0,00	1219,37	128034,13	5121,37	0,09	0,92	1163,64
		0,10	1,26	1248,95	131139,36	5245,57	0,09	0,94	1193,19
		0,21	2,51	1277,89	134178,95	5367,16	0,09	0,96	1222,12
		0,31	3,77	1306,23	137154,30	5486,17	0,09	0,98	1250,43
		0,33	3,94	1309,28	137474,47	5498,98	0,09	0,98	1253,48
		0,42	5,03	1284,59	134882,17	5395,29	0,09	0,96	1228,81
		0,52	6,28	1257,44	132031,27	5281,25	0,09	0,94	1201,68
		0,00	0,00	1224,37	128558,43	5142,34	0,09	0,92	1168,63
	6,00	0,10	1,26	1254,06	131676,38	5267,06	0,09	0,94	1198,30
		0,21	2,51	1283,13	134728,42	5389,14	0,09	0,96	1227,35
		0,31	3,77	1311,58	137715,96	5508,64	0,09	0,98	1255,78
		0,33	3,94	1314,64	138037,44	5521,50	0,09	0,99	1258,84
		0,42	5,03	1289,85	135434,53	5417,38	0,09	0,97	1234,06
		0,52	6,28	1262,59	132571,95	5302,88	0,09	0,95	1206,82
		0,00	0,00	1208,14	126854,44	5074,18	0,09	0,91	1152,41
3,00	7,00	0,10	1,26	1237,44	129931,05	5197,24	0,09	0,93	1181,69
		0,21	2,51	1266,12	132942,64	5317,71	0,09	0,95	1210,35
		0,31	3,77	1294,20	135890,58	5435,62	0,09	0,97	1238,40
		0,33	3,94	1297,22	136207,80	5448,31	0,09	0,97	1241,42
		0,42	5,03	1272,76	133639,39	5345,58	0,09	0,96	1216,98
		0,52	6,28	1245,85	130814,75	5232,59	0,09	0,93	1190,10
		0,00	0,00	1193,16	125281,51	5011,26	0,08	0,90	1137,44
	8,00	0,10	1,26	1222,10	128319,98	5132,80	0,09	0,92	1166,36
		0,21	2,51	1250,42	131294,23	5251,77	0,09	0,94	1194,66

		0,31	3,77	1278,15	134205,62	5368,22	0,09	0,96	1222,37
		0,33	3,94	1281,13	134518,90	5380,76	0,09	0,96	1225,35
		0,42	5,03	1256,97	131982,34	5279,29	0,09	0,94	1201,21
		0,52	6,28	1230,41	129192,72	5167,71	0,09	0,92	1174,66
	9,00	0,00	0,00	1179,43	123839,67	4953,59	0,08	0,89	1123,72
		0,10	1,26	1208,03	126843,17	5073,73	0,09	0,91	1152,30
		0,21	2,51	1236,03	129783,19	5191,33	0,09	0,93	1180,28
		0,31	3,77	1263,44	132661,07	5306,44	0,09	0,95	1207,67
		0,33	3,94	1266,39	132970,74	5318,83	0,09	0,95	1210,62
		0,42	5,03	1242,51	130463,37	5218,53	0,09	0,93	1186,76
		0,52	6,28	1216,25	127705,86	5108,23	0,09	0,91	1160,51
4,00	10,00	0,00	0,00	1166,94	122528,90	4901,16	0,08	0,88	1111,25
		0,10	1,26	1195,24	125500,61	5020,02	0,08	0,90	1139,53
		0,21	2,51	1222,95	128409,51	5136,38	0,09	0,92	1167,21
		0,31	3,77	1250,07	131256,93	5250,28	0,09	0,94	1194,31
		0,33	3,94	1252,98	131563,33	5262,53	0,09	0,94	1197,22
		0,42	5,03	1229,36	129082,50	5163,30	0,09	0,92	1173,61
		0,52	6,28	1203,37	126354,17	5054,17	0,09	0,90	1147,65
	11,00	0,00	0,00	1155,71	121349,21	4853,97	0,08	0,87	1100,02
		0,10	1,26	1183,74	124292,31	4971,69	0,08	0,89	1128,03
		0,21	2,51	1211,17	127173,20	5086,93	0,09	0,91	1155,44
		0,31	3,77	1238,03	129993,20	5199,73	0,09	0,93	1182,28
		0,33	3,94	1240,92	130296,65	5211,87	0,09	0,93	1185,17
		0,42	5,03	1217,52	127839,71	5113,59	0,09	0,91	1161,79
		0,52	6,28	1191,79	125137,65	5005,51	0,08	0,89	1136,07
	12,00	0,00	0,00	1145,72	120300,59	4812,02	0,08	0,86	1090,04
		0,10	1,26	1173,51	123218,26	4928,73	0,08	0,88	1117,81

		0,21	2,51	1200,71	126074,26	5042,97	0,09	0,90	1144,99
		0,31	3,77	1227,33	128869,89	5154,80	0,09	0,92	1171,59
		0,33	3,94	1230,20	129170,72	5166,83	0,09	0,92	1174,45
		0,42	5,03	1207,00	126735,01	5069,40	0,09	0,91	1151,27
		0,52	6,28	1181,49	124056,30	4962,25	0,08	0,89	1125,78
5,00	13,00	0,00	0,00	1136,98	119383,06	4775,32	0,08	0,85	1081,31
		0,10	1,26	1164,56	122278,47	4891,14	0,08	0,87	1108,86
		0,21	2,51	1191,55	125112,69	5004,51	0,08	0,89	1135,84
		0,31	3,77	1217,97	127887,00	5115,48	0,09	0,91	1162,24
		0,33	3,94	1220,81	128185,53	5127,42	0,09	0,92	1165,08
		0,42	5,03	1197,79	125768,39	5030,74	0,09	0,90	1142,08
		0,52	6,28	1172,48	123110,12	4924,40	0,08	0,88	1116,78
	14,00	0,00	0,00	1129,49	118596,60	4743,86	0,08	0,85	1073,82
		0,10	1,26	1156,89	121472,94	4858,92	0,08	0,87	1101,20
		0,21	2,51	1183,70	124288,48	4971,54	0,08	0,89	1127,99
		0,31	3,77	1209,95	127044,52	5081,78	0,09	0,91	1154,22
		0,33	3,94	1212,77	127341,08	5093,64	0,09	0,91	1157,04
		0,42	5,03	1189,90	124939,87	4997,59	0,08	0,89	1134,19
		0,52	6,28	1164,75	122299,11	4891,96	0,08	0,87	1109,06
	15,00	0,00	0,00	1123,25	117941,21	4717,65	0,08	0,84	1067,59
		0,10	1,26	1150,49	120801,66	4832,07	0,08	0,86	1094,81
		0,21	2,51	1177,16	123601,64	4944,07	0,08	0,88	1121,46
		0,31	3,77	1203,26	126342,45	5053,70	0,09	0,90	1147,54
		0,33	3,94	1206,07	126637,38	5065,50	0,09	0,91	1150,35
		0,42	5,03	1183,33	124249,43	4969,98	0,08	0,89	1127,62
		0,52	6,28	1158,32	121623,26	4864,93	0,08	0,87	1102,63

6,00	16,00	0,00	0,00	1118,26	117416,91	4696,68	0,08	0,84	1062,60
		0,10	1,26	1145,38	120264,63	4810,59	0,08	0,86	1089,70
		0,21	2,51	1171,93	123052,17	4922,09	0,08	0,88	1116,23
		0,31	3,77	1197,91	125780,79	5031,23	0,09	0,90	1142,19
		0,33	3,94	1200,71	126074,41	5042,98	0,09	0,90	1144,99
		0,42	5,03	1178,07	123697,08	4947,88	0,08	0,88	1122,36
		0,52	6,28	1153,17	121082,59	4843,30	0,08	0,87	1097,48
	17,00	0,00	0,00	1114,51	117023,67	4680,95	0,08	0,84	1058,85
		0,10	1,26	1141,54	119861,87	4794,47	0,08	0,86	1085,87
		0,21	2,51	1168,00	122640,07	4905,60	0,08	0,88	1112,30
		0,31	3,77	1193,90	125359,55	5014,38	0,08	0,90	1138,18
		0,33	3,94	1196,69	125652,19	5026,09	0,09	0,90	1140,97
		0,42	5,03	1174,12	123282,82	4931,31	0,08	0,88	1118,42
		0,52	6,28	1149,31	120677,08	4827,08	0,08	0,86	1093,62
	18,00	0,00	0,00	1112,01	116761,52	4670,46	0,08	0,83	1056,36
		0,10	1,26	1138,98	119593,35	4783,73	0,08	0,85	1083,31
		0,21	2,51	1165,38	122365,33	4894,61	0,08	0,87	1109,69
		0,31	3,77	1191,23	125078,72	5003,15	0,08	0,89	1135,51
		0,33	3,94	1194,01	125370,70	5014,83	0,08	0,90	1138,29
		0,42	5,03	1171,49	123006,64	4920,27	0,08	0,88	1115,79
		0,52	6,28	1146,73	120406,74	4816,27	0,08	0,86	1091,05

bande	N° du cable	α	x	tension après perte par fluage [MPa]	perte [MPa]	tension après toutes pertes [MPa]	Pourcentage de pertes par rapport à la tension initiale
1,00	1,00	0,00	0,00	1240,98	44,15	1204,18	0,19
		0,10	1,26	1272,40	48,50	1231,99	0,17
		0,21	2,51	1303,17	52,90	1259,08	0,15
		0,31	3,77	1333,28	57,36	1285,48	0,14
		0,33	3,94	1336,52	57,85	1288,31	0,13
		0,42	5,03	1310,28	53,94	1265,33	0,15
		0,52	6,28	1281,43	49,77	1239,95	0,17
	2,00	0,00	0,00	1219,77	41,31	1185,34	0,20
		0,10	1,26	1250,68	45,48	1212,79	0,18
		0,21	2,51	1280,94	49,70	1239,52	0,17
		0,31	3,77	1310,56	53,98	1265,58	0,15
		0,33	3,94	1313,75	54,45	1268,37	0,15
		0,42	5,03	1287,94	50,70	1245,69	0,16
		0,52	6,28	1259,56	46,70	1220,65	0,18
	3,00	0,00	0,00	1199,81	38,70	1167,56	0,22
		0,10	1,26	1230,24	42,71	1194,65	0,20
		0,21	2,51	1260,03	46,77	1221,06	0,18
		0,31	3,77	1289,18	50,88	1246,78	0,16
		0,33	3,94	1292,32	51,33	1249,55	0,16
		0,42	5,03	1266,92	47,73	1227,15	0,18
		0,52	6,28	1238,98	43,88	1202,41	0,19
2,00	4,00	0,00	0,00	1181,10	36,32	1150,84	0,23
		0,10	1,26	1211,08	40,17	1177,60	0,21
		0,21	2,51	1240,42	44,08	1203,69	0,19
		0,31	3,77	1269,14	48,04	1229,11	0,17
		0,33	3,94	1272,23	48,47	1231,84	0,17

3,00		0,42	5,03	1247,21	45,00	1209,71	0,19
		0,52	6,28	1219,69	41,30	1185,27	0,20
	5,00	0,00	0,00	1163,64	34,14	1135,19	0,24
		0,10	1,26	1193,19	37,85	1161,64	0,22
		0,21	2,51	1222,12	41,62	1187,43	0,20
		0,31	3,77	1250,43	45,44	1212,56	0,19
		0,33	3,94	1253,48	45,86	1215,26	0,18
		0,42	5,03	1228,81	42,51	1193,38	0,20
		0,52	6,28	1201,68	38,95	1169,22	0,21
		0,00	0,00	1168,63	34,76	1139,66	0,23
	6,00	0,10	1,26	1198,30	38,51	1166,21	0,22
		0,21	2,51	1227,35	42,32	1192,08	0,20
		0,31	3,77	1255,78	46,18	1217,29	0,18
		0,33	3,94	1258,84	46,60	1220,00	0,18
		0,42	5,03	1234,06	43,22	1198,05	0,19
		0,52	6,28	1206,82	39,61	1173,81	0,21
		0,00	0,00	1152,41	32,77	1125,10	0,24
3,00	7,00	0,10	1,26	1181,69	36,39	1151,36	0,23
		0,21	2,51	1210,35	40,07	1176,96	0,21
		0,31	3,77	1238,40	43,80	1201,90	0,19
		0,33	3,94	1241,42	44,21	1204,58	0,19
		0,42	5,03	1216,98	40,94	1182,86	0,21
		0,52	6,28	1190,10	37,46	1158,88	0,22
		0,00	0,00	1137,44	30,97	1111,63	0,25
	8,00	0,10	1,26	1166,36	34,48	1137,63	0,24
		0,21	2,51	1194,66	38,04	1162,96	0,22
		0,31	3,77	1222,37	41,66	1187,66	0,20
		0,33	3,94	1225,35	42,05	1190,31	0,20

		0,42	5,03	1201,21	38,89	1168,81	0,21
		0,52	6,28	1174,66	35,51	1145,07	0,23
	9,00	0,00	0,00	1123,72	29,35	1099,26	0,26
		0,10	1,26	1152,30	32,76	1125,01	0,24
		0,21	2,51	1180,28	36,22	1150,10	0,23
		0,31	3,77	1207,67	39,72	1174,57	0,21
		0,33	3,94	1210,62	40,11	1177,19	0,21
		0,42	5,03	1186,76	37,03	1155,89	0,22
		0,52	6,28	1160,51	33,76	1132,38	0,24
4,00	10,00	0,00	0,00	1111,25	27,91	1087,99	0,27
		0,10	1,26	1139,53	31,22	1113,51	0,25
		0,21	2,51	1167,21	34,58	1138,39	0,23
		0,31	3,77	1194,31	38,00	1162,64	0,22
		0,33	3,94	1197,22	38,37	1165,25	0,22
		0,42	5,03	1173,61	35,38	1144,13	0,23
		0,52	6,28	1147,65	32,19	1120,82	0,25
	11,00	0,00	0,00	1100,02	26,63	1077,83	0,28
		0,10	1,26	1128,03	29,86	1103,15	0,26
		0,21	2,51	1155,44	33,14	1127,83	0,24
		0,31	3,77	1182,28	36,47	1151,89	0,23
		0,33	3,94	1185,17	36,83	1154,48	0,22
		0,42	5,03	1161,79	33,92	1133,52	0,24
		0,52	6,28	1136,07	30,81	1110,40	0,25
	12,00	0,00	0,00	1090,04	25,51	1068,78	0,28
		0,10	1,26	1117,81	28,67	1093,92	0,26
		0,21	2,51	1144,99	31,87	1118,42	0,25
		0,31	3,77	1171,59	35,13	1142,32	0,23

		0,33	3,94	1174,45	35,49	1144,88	0,23
		0,42	5,03	1151,27	32,63	1124,08	0,24
		0,52	6,28	1125,78	29,60	1101,12	0,26
5,00	13,00	0,00	0,00	1081,31	24,55	1060,85	0,29
		0,10	1,26	1108,86	27,64	1085,83	0,27
		0,21	2,51	1135,84	30,78	1110,18	0,25
		0,31	3,77	1162,24	33,97	1133,93	0,24
		0,33	3,94	1165,08	34,32	1136,48	0,24
		0,42	5,03	1142,08	31,52	1115,81	0,25
		0,52	6,28	1116,78	28,55	1092,99	0,27
		0,00	0,00	1073,82	23,73	1054,05	0,29
	14,00	0,10	1,26	1101,20	26,77	1078,89	0,27
		0,21	2,51	1127,99	29,85	1103,11	0,26
		0,31	3,77	1154,22	32,99	1126,73	0,24
		0,33	3,94	1157,04	33,33	1129,26	0,24
		0,42	5,03	1134,19	30,59	1108,70	0,25
		0,52	6,28	1109,06	27,66	1086,01	0,27
		0,00	0,00	1067,59	23,06	1048,37	0,30
	15,00	0,10	1,26	1094,81	26,05	1073,10	0,28
		0,21	2,51	1121,46	29,09	1097,21	0,26
		0,31	3,77	1147,54	32,18	1120,72	0,25
		0,33	3,94	1150,35	32,52	1123,25	0,25
		0,42	5,03	1127,62	29,81	1102,78	0,26
		0,52	6,28	1102,63	26,93	1080,19	0,27
		0,00	0,00	1062,60	22,52	1043,83	0,30
6,00	16,00	0,10	1,26	1089,70	25,48	1068,47	0,28
		0,21	2,51	1116,23	28,48	1092,49	0,27

		0,31	3,77	1142,19	31,54	1115,91	0,25
		0,33	3,94	1144,99	31,87	1118,43	0,25
		0,42	5,03	1122,36	29,20	1098,03	0,26
		0,52	6,28	1097,48	26,35	1075,53	0,28
	17,00	0,00	0,00	1058,85	22,12	1040,42	0,30
		0,10	1,26	1085,87	25,05	1064,99	0,28
		0,21	2,51	1112,30	28,03	1088,94	0,27
		0,31	3,77	1138,18	31,06	1112,30	0,25
		0,33	3,94	1140,97	31,39	1114,81	0,25
		0,42	5,03	1118,42	28,74	1094,47	0,26
		0,52	6,28	1093,62	25,91	1072,03	0,28
	18,00	0,00	0,00	1056,36	21,86	1038,15	0,30
		0,10	1,26	1083,31	24,77	1062,67	0,29
		0,21	2,51	1109,69	27,73	1086,58	0,27
		0,31	3,77	1135,51	30,74	1109,89	0,25
		0,33	3,94	1138,29	31,07	1112,40	0,25
		0,42	5,03	1115,79	28,43	1092,10	0,27
		0,52	6,28	1091,05	25,63	1069,69	0,28

bande	N° du câble	α	x	tension après toutes pertes [MPa]	Valeurs caractéristiques de la précontrainte		effort au droit du câble [kg]	Effort agissant sur la fibre int [kg]	Effort agissant sur la fibre ext [kg]	Ti (statique) [kg]	comb 4 [MPa]			comb 7 [MPa]		
					P1 [MPa]	P2 [MPa]					effort au droit du câble [kg]	Effort agissant sur la fibre int [kg]	Effort agissant sur la fibre ext [kg]	effort au droit du câble [kg]	Effort agissant sur la fibre int [kg]	Effort agissant sur la fibre ext [kg]
1,00	1,00	0,00	0,00	1204,18	1290,71	1117,66	117378,17	23470,87	211237,79	42000,00	75378,17	-18529,13	169237,79	117378,17	23470,87	211237,79
		0,10	1,26	1231,99	1312,95	1151,03	120882,69	24171,63	217544,65		78882,69	-17828,37	175544,65	120882,69	24171,63	217544,65
		0,21	2,51	1259,08	1334,63	1183,54	124296,94	24854,34	223689,04		82296,94	-17145,66	181689,04	124296,94	24854,34	223689,04
		0,31	3,77	1285,48	1355,74	1215,21	127623,49	25519,51	229675,62		85623,49	-16480,49	187675,62	127623,49	25519,51	229675,62
		0,33	3,94	1288,31	1358,01	1218,61	127980,53	25590,91	230318,17		85980,53	-16409,09	188318,17	127980,53	25590,91	230318,17
		0,42	5,03	1265,33	1339,63	1191,04	125084,55	25011,83	225106,46		83084,55	-16988,17	183106,46	125084,55	25011,83	225106,46
		0,52	6,28	1239,95	1319,32	1160,59	121886,20	24372,29	219350,60		79886,20	-17627,71	177350,60	121886,20	24372,29	219350,60
	2,00	0,00	0,00	1185,34	1275,64	1095,05	115003,98	22996,12	206965,12	42000,00	73003,98	-19003,88	164965,12	115003,98	22996,12	206965,12
		0,10	1,26	1212,79	1297,59	1127,98	118462,39	23687,67	213188,99		76462,39	-18312,33	171188,99	118462,39	23687,67	213188,99
		0,21	2,51	1239,52	1318,98	1160,07	121832,02	24361,45	219253,09		79832,02	-17638,55	177253,09	121832,02	24361,45	219253,09
		0,31	3,77	1265,58	1339,82	1191,33	125115,41	25018,00	225161,99		83115,41	-16982,00	183161,99	125115,41	25018,00	225161,99
		0,33	3,94	1268,37	1342,06	1194,69	125467,84	25088,47	225796,23		83467,84	-16911,53	183796,23	125467,84	25088,47	225796,23
		0,42	5,03	1245,69	1323,91	1167,47	122609,39	24516,90	220652,07		80609,39	-17483,10	178652,07	122609,39	24516,90	220652,07
		0,52	6,28	1220,65	1303,88	1137,41	119452,75	23885,70	214971,28		77452,75	-18114,30	172971,28	119452,75	23885,70	214971,28
	3,00	0,00	0,00	1167,56	1261,41	1073,71	112762,49	22547,92	202931,25	42000,00	70762,49	-19452,08	160931,25	112762,49	22547,92	202931,25
		0,10	1,26	1194,65	1283,08	1106,22	116177,16	23230,71	209076,40		74177,16	-18769,29	167076,40	116177,16	23230,71	209076,40
		0,21	2,51	1221,06	1304,20	1137,91	119504,46	23896,04	215064,33		77504,46	-18103,96	173064,33	119504,46	23896,04	215064,33
		0,31	3,77	1246,78	1324,79	1168,78	122746,88	24544,39	220899,49		80746,88	-17455,61	178899,49	122746,88	24544,39	220899,49
		0,33	3,94	1249,55	1327,00	1172,09	123094,92	24613,98	221525,85		81094,92	-17386,02	179525,85	123094,92	24613,98	221525,85
		0,42	5,03	1227,15	1309,08	1145,22	120272,10	24049,53	216445,80		78272,10	-17950,47	174445,80	120272,10	24049,53	216445,80
		0,52	6,28	1202,41	1289,29	1115,54	117155,05	23426,25	210836,25		75155,05	-18573,75	168836,25	117155,05	23426,25	210836,25

2,00	4,00	0,00	0,00	1150,84	1248,03	1053,64	110654,97	22126,50	199138,48	38000,00	72654,97	-15873,50	161138,48	110654,97	22126,50	199138,48
		0,10	1,26	1177,60	1269,44	1085,76	114028,32	22801,03	205209,28		76028,32	-15198,97	167209,28	114028,32	22801,03	205209,28
		0,21	2,51	1203,69	1290,31	1117,06	117315,63	23458,36	211125,25		79315,63	-14541,64	173125,25	117315,63	23458,36	211125,25
		0,31	3,77	1229,11	1310,65	1147,57	120519,34	24098,97	216890,75		82519,34	-13901,03	178890,75	120519,34	24098,97	216890,75
		0,33	3,94	1231,84	1312,83	1150,84	120863,25	24167,74	217509,66		82863,25	-13832,26	179509,66	120863,25	24167,74	217509,66
		0,42	5,03	1209,71	1295,12	1124,29	118074,09	23610,02	212490,19		80074,09	-14389,98	174490,19	118074,09	23610,02	212490,19
		0,52	6,28	1185,27	1275,58	1094,96	114994,43	22994,21	206947,93		76994,43	-15005,79	168947,93	114994,43	22994,21	206947,93
	5,00	0,00	0,00	1135,19	1235,51	1034,86	108682,59	21732,10	195588,93	38000,00	70682,59	-16267,90	157588,93	108682,59	21732,10	195588,93
		0,10	1,26	1161,64	1256,68	1066,61	112017,13	22398,87	201589,87		74017,13	-15601,13	163589,87	112017,13	22398,87	201589,87
		0,21	2,51	1187,43	1277,30	1097,56	115266,86	23048,69	207438,20		77266,86	-14951,31	169438,20	115266,86	23048,69	207438,20
		0,31	3,77	1212,56	1297,41	1127,72	118434,17	23682,02	213138,21		80434,17	-14317,98	175138,21	118434,17	23682,02	213138,21
		0,33	3,94	1215,26	1299,57	1130,95	118774,19	23750,01	213750,11		80774,19	-14249,99	175750,11	118774,19	23750,01	213750,11
		0,42	5,03	1193,38	1282,06	1104,70	116016,67	23198,62	208787,59		78016,67	-14801,38	170787,59	116016,67	23198,62	208787,59
		0,52	6,28	1169,22	1262,74	1075,71	112972,17	22589,84	203308,60		74972,17	-15410,16	165308,60	112972,17	22589,84	203308,60
	6,00	0,00	0,00	1139,66	1239,09	1040,23	109246,65	21844,89	196604,03	38000,00	71246,65	-16155,11	158604,03	109246,65	21844,89	196604,03
		0,10	1,26	1166,21	1260,33	1072,09	112592,31	22513,89	202624,98		74592,31	-15486,11	164624,98	112592,31	22513,89	202624,98
		0,21	2,51	1192,08	1281,02	1103,14	115852,80	23165,85	208492,68		77852,80	-14834,15	170492,68	115852,80	23165,85	208492,68
		0,31	3,77	1217,29	1301,20	1133,39	119030,54	23801,27	214211,45		81030,54	-14198,73	176211,45	119030,54	23801,27	214211,45
		0,33	3,94	1220,00	1303,36	1136,64	119371,67	23869,48	214825,36		81371,67	-14130,52	176825,36	119371,67	23869,48	214825,36
		0,42	5,03	1198,05	1285,80	1110,30	116605,09	23316,28	209846,53		78605,09	-14683,72	171846,53	116605,09	23316,28	209846,53
		0,52	6,28	1173,81	1266,41	1081,21	113550,52	22705,49	204349,42		75550,52	-15294,51	166349,42	113550,52	22705,49	204349,42
3,00	7,00	0,00	0,00	1125,10	1227,44	1022,76	107411,91	21478,02	193302,16	34000,00	73411,91	-12521,98	159302,16	107411,91	21478,02	193302,16
		0,10	1,26	1151,36	1248,45	1054,27	110721,36	22139,77	199257,96		76721,36	-11860,23	165257,96	110721,36	22139,77	199257,96
		0,21	2,51	1176,96	1268,92	1084,99	113946,79	22784,73	205062,56		79946,79	-11215,27	171062,56	113946,79	22784,73	205062,56
		0,31	3,77	1201,90	1288,88	1114,92	117090,57	23413,36	210720,22		83090,57	-10586,64	176720,22	117090,57	23413,36	210720,22
		0,33	3,94	1204,58	1291,02	1118,14	117428,07	23480,84	211327,59		83428,07	-10519,16	177327,59	117428,07	23480,84	211327,59
		0,42	5,03	1182,86	1273,65	1092,07	114691,02	22933,55	206401,91		80691,02	-11066,45	172401,91	114691,02	22933,55	206401,91
		0,52	6,28	1158,88	1254,47	1063,30	111669,24	22329,31	200963,81		77669,24	-11670,69	166963,81	111669,24	22329,31	200963,81

4,00	8,00	0,00	0,00	1111,63	1216,67	1006,60	105714,34	21138,57	190247,16	34000,00	71714,34	-12861,43	156247,16	105714,34	21138,57	190247,16
		0,10	1,26	1137,63	1237,46	1037,79	108990,18	21793,61	196142,47		74990,18	-12206,39	162142,47	108990,18	21793,61	196142,47
		0,21	2,51	1162,96	1257,73	1068,19	112183,05	22432,05	201888,48		78183,05	-11567,95	167888,48	112183,05	22432,05	201888,48
		0,31	3,77	1187,66	1277,48	1097,83	115295,30	23054,38	207489,39		81295,30	-10945,62	173489,39	115295,30	23054,38	207489,39
		0,33	3,94	1190,31	1279,61	1101,01	115629,42	23121,19	208090,68		81629,42	-10878,81	174090,68	115629,42	23121,19	208090,68
		0,42	5,03	1168,81	1262,41	1075,21	112919,80	22579,37	203214,36		78919,80	-11420,63	169214,36	112919,80	22579,37	203214,36
		0,52	6,28	1145,07	1243,42	1046,73	109928,47	21981,23	197831,06		75928,47	-12018,77	163831,06	109928,47	21981,23	197831,06
	9,00	0,00	0,00	1099,26	1206,77	991,75	104154,91	20826,75	187440,75	34000,00	70154,91	-13173,25	153440,75	104154,91	20826,75	187440,75
		0,10	1,26	1125,01	1227,36	1022,65	107399,76	21475,59	193280,31		73399,76	-12524,41	159280,31	107399,76	21475,59	193280,31
		0,21	2,51	1150,10	1247,44	1052,76	110562,63	22108,03	198972,31		76562,63	-11891,97	164972,31	110562,63	22108,03	198972,31
		0,31	3,77	1174,57	1267,01	1082,12	113645,81	22724,54	204520,90		79645,81	-11275,46	170520,90	113645,81	22724,54	204520,90
		0,33	3,94	1177,19	1269,12	1085,27	113976,82	22790,73	205116,60		79976,82	-11209,27	171116,60	113976,82	22790,73	205116,60
		0,42	5,03	1155,89	1252,08	1059,71	111292,48	22253,98	200285,78		77292,48	-11746,02	166285,78	111292,48	22253,98	200285,78
		0,52	6,28	1132,38	1233,26	1031,50	108329,22	21661,44	194952,99		74329,22	-12338,56	160952,99	108329,22	21661,44	194952,99
4,00	10,00	0,00	0,00	1087,99	1197,75	978,22	102734,47	20542,72	184884,48	30000,00	72734,47	-9457,28	154884,48	102734,47	20542,72	184884,48
		0,10	1,26	1113,51	1218,17	1008,85	105951,03	21185,90	190673,12		75951,03	-8814,10	160673,12	105951,03	21185,90	190673,12
		0,21	2,51	1138,39	1238,07	1038,71	109086,48	21812,86	196315,78		79086,48	-8187,14	166315,78	109086,48	21812,86	196315,78
		0,31	3,77	1162,64	1257,47	1067,81	112143,09	22424,06	201816,56		82143,09	-7575,94	171816,56	112143,09	22424,06	201816,56
		0,33	3,94	1165,25	1259,56	1070,94	112471,26	22489,68	202407,14		82471,26	-7510,32	172407,14	112471,26	22489,68	202407,14
		0,42	5,03	1144,13	1242,66	1045,60	109810,03	21957,55	197617,91		79810,03	-8042,45	167617,91	109810,03	21957,55	197617,91
		0,52	6,28	1120,82	1224,02	1017,63	106872,42	21370,14	192331,27		76872,42	-8629,86	162331,27	106872,42	21370,14	192331,27
	11,00	0,00	0,00	1077,83	1189,62	966,03	101453,83	20286,64	182579,79	30000,00	71453,83	-9713,36	152579,79	101453,83	20286,64	182579,79
		0,10	1,26	1103,15	1209,88	996,41	104644,81	20924,71	188322,39		74644,81	-9075,29	158322,39	104644,81	20924,71	188322,39
		0,21	2,51	1127,83	1229,62	1026,03	107755,47	21546,72	193920,45		77755,47	-8453,28	163920,45	107755,47	21546,72	193920,45
		0,31	3,77	1151,89	1248,87	1054,91	110788,06	22153,11	199378,00		80788,06	-7846,89	169378,00	110788,06	22153,11	199378,00
		0,33	3,94	1154,48	1250,94	1058,01	111113,66	22218,22	199963,96		81113,66	-7781,78	169963,96	111113,66	22218,22	199963,96
		0,42	5,03	1133,52	1234,18	1032,87	108473,32	21690,26	195212,32		78473,32	-8309,74	165212,32	108473,32	21690,26	195212,32
		0,52	6,28	1110,40	1215,68	1005,12	105558,89	21107,49	189967,41		75558,89	-8892,51	159967,41	105558,89	21107,49	189967,41

	12,00	0,00	0,00	1068,78	1182,38	955,17	100313,68	20058,66	180527,95	30000,00	70313,68	-9941,34	150527,95	100313,68	20058,66	180527,95
		0,10	1,26	1093,92	1202,49	985,34	103481,84	20692,16	186229,47		73481,84	-9307,84	156229,47	103481,84	20692,16	186229,47
		0,21	2,51	1118,42	1222,10	1014,75	106570,39	21309,75	191787,73		76570,39	-8690,25	161787,73	106570,39	21309,75	191787,73
		0,31	3,77	1142,32	1241,21	1043,42	109581,53	21911,85	197206,69		79581,53	-8088,15	167206,69	109581,53	21911,85	197206,69
		0,33	3,94	1144,88	1243,27	1046,50	109904,84	21976,50	197788,52		79904,84	-8023,50	167788,52	109904,84	21976,50	197788,52
		0,42	5,03	1124,08	1226,62	1021,54	107283,15	21452,27	193070,44		77283,15	-8547,73	163070,44	107283,15	21452,27	193070,44
		0,52	6,28	1101,12	1208,26	993,98	104389,41	20873,64	187862,77		74389,41	-9126,36	157862,77	104389,41	20873,64	187862,77
5,00	13,00	0,00	0,00	1060,85	1176,04	945,66	99314,67	19858,90	178730,09	26000,00	73314,67	-6141,10	152730,09	99314,67	19858,90	178730,09
		0,10	1,26	1085,83	1196,03	975,64	102462,79	20488,40	184395,56		76462,79	-5511,60	158395,56	102462,79	20488,40	184395,56
		0,21	2,51	1110,18	1215,51	1004,86	105531,91	21102,10	189918,86		79531,91	-4897,90	163918,86	105531,91	21102,10	189918,86
		0,31	3,77	1133,93	1234,50	1033,35	108524,23	21700,44	195303,94		82524,23	-4299,56	169303,94	108524,23	21700,44	195303,94
		0,33	3,94	1136,48	1236,54	1036,41	108845,52	21764,68	195882,14		82845,52	-4235,32	169882,14	108845,52	21764,68	195882,14
		0,42	5,03	1115,81	1220,00	1011,61	106240,21	21243,73	191193,53		80240,21	-4756,27	165193,53	106240,21	21243,73	191193,53
		0,52	6,28	1092,99	1201,75	984,23	103364,65	20668,73	186018,57		77364,65	-5331,27	160018,57	103364,65	20668,73	186018,57
	14,00	0,00	0,00	1054,05	1170,60	937,50	98457,35	19687,47	177187,23	26000,00	72457,35	-6312,53	151187,23	98457,35	19687,47	177187,23
		0,10	1,26	1078,89	1190,47	967,31	101588,24	20313,52	182821,69		75588,24	-5686,48	156821,69	101588,24	20313,52	182821,69
		0,21	2,51	1103,11	1209,85	996,38	104640,67	20923,88	188314,94		78640,67	-5076,12	162314,94	104640,67	20923,88	188314,94
		0,31	3,77	1126,73	1228,74	1024,71	107616,80	21518,99	193670,88		81616,80	-4481,01	167670,88	107616,80	21518,99	193670,88
		0,33	3,94	1129,26	1230,77	1027,76	107936,35	21582,89	194245,97		81936,35	-4417,11	168245,97	107936,35	21582,89	194245,97
		0,42	5,03	1108,70	1214,32	1003,08	105345,12	21064,74	189582,70		79345,12	-4935,26	163582,70	105345,12	21064,74	189582,70
		0,52	6,28	1086,01	1196,17	975,85	102485,18	20492,87	184435,85		76485,18	-5507,13	158435,85	102485,18	20492,87	184435,85
	15,00	0,00	0,00	1048,37	1166,06	930,69	97742,19	19544,47	175900,20	26000,00	71742,19	-6455,53	149900,20	97742,19	19544,47	175900,20
		0,10	1,26	1073,10	1185,84	960,36	100858,69	20167,64	181508,76		74858,69	-5832,36	155508,76	100858,69	20167,64	181508,76
		0,21	2,51	1097,21	1205,13	989,30	103897,16	20775,21	186976,91		77897,16	-5224,79	160976,91	103897,16	20775,21	186976,91
		0,31	3,77	1120,72	1223,94	1017,51	106859,77	21367,61	192308,51		80859,77	-4632,39	166308,51	106859,77	21367,61	192308,51
		0,33	3,94	1123,25	1225,96	1020,53	107177,87	21431,22	192880,99		81177,87	-4568,78	166880,99	107177,87	21431,22	192880,99
		0,42	5,03	1102,78	1209,58	995,97	104598,41	20915,43	188238,90		78598,41	-5084,57	162238,90	104598,41	20915,43	188238,90
		0,52	6,28	1080,19	1191,51	968,87	101751,52	20346,17	183115,53		75751,52	-5653,83	157115,53	101751,52	20346,17	183115,53

6,00	16,00	0,00	0,00	1043,83	1162,42	925,24	97169,59	19429,97	174869,72	22000,00	75169,59	-2570,03	152869,72	97169,59	19429,97	174869,72
		0,10	1,26	1068,47	1182,13	954,80	100274,55	20050,84	180457,53		78274,55	-1949,16	158457,53	100274,55	20050,84	180457,53
		0,21	2,51	1092,49	1201,35	983,63	103301,84	20656,17	185905,54		81301,84	-1343,83	163905,54	103301,84	20656,17	185905,54
		0,31	3,77	1115,91	1220,09	1011,73	106253,60	21246,40	191217,63		84253,60	-753,60	169217,63	106253,60	21246,40	191217,63
		0,33	3,94	1118,43	1222,10	1014,75	106570,55	21309,78	191788,02		84570,55	-690,22	169788,02	106570,55	21309,78	191788,02
		0,42	5,03	1098,03	1205,79	990,28	104000,52	20795,88	187162,90		82000,52	-1204,12	165162,90	104000,52	20795,88	187162,90
		0,52	6,28	1075,53	1187,78	963,27	101164,09	20228,71	182058,37		79164,09	-1771,29	160058,37	101164,09	20228,71	182058,37
	17,00	0,00	0,00	1040,42	1159,70	921,14	96739,86	19344,04	174096,37	22000,00	74739,86	-2655,96	152096,37	96739,86	19344,04	174096,37
		0,10	1,26	1064,99	1179,35	950,63	99836,16	19963,18	179668,58		77836,16	-2036,82	157668,58	99836,16	19963,18	179668,58
		0,21	2,51	1088,94	1198,52	979,37	102855,04	20566,83	185101,47		80855,04	-1433,17	163101,47	102855,04	20566,83	185101,47
		0,31	3,77	1112,30	1217,20	1007,40	105798,66	21155,43	190398,90		83798,66	-844,57	168398,90	105798,66	21155,43	190398,90
		0,33	3,94	1114,81	1219,21	1010,41	106114,73	21218,64	190967,72		84114,73	-781,36	168967,72	106114,73	21218,64	190967,72
		0,42	5,03	1094,47	1202,94	986,01	103551,79	20706,15	186355,36		81551,79	-1293,85	164355,36	103551,79	20706,15	186355,36
		0,52	6,28	1072,03	1184,98	959,07	100723,22	20140,55	181264,97		78723,22	-1859,45	159264,97	100723,22	20140,55	181264,97
	18,00	0,00	0,00	1038,15	1157,88	918,42	96453,24	19286,73	173580,56	22000,00	74453,24	-2713,27	151580,56	96453,24	19286,73	173580,56
		0,10	1,26	1062,67	1177,50	947,84	99543,76	19904,71	179142,36		77543,76	-2095,29	157142,36	99543,76	19904,71	179142,36
		0,21	2,51	1086,58	1196,62	976,54	102557,04	20507,24	184565,16		80557,04	-1492,76	162565,16	102557,04	20507,24	184565,16
		0,31	3,77	1109,89	1215,27	1004,51	105495,21	21094,76	189852,80		83495,21	-905,24	167852,80	105495,21	21094,76	189852,80
		0,33	3,94	1112,40	1217,28	1007,52	105810,70	21157,84	190420,57		83810,70	-842,16	168420,57	105810,70	21157,84	190420,57
		0,42	5,03	1092,10	1201,04	983,16	103252,49	20646,30	185816,73		81252,49	-1353,70	163816,73	103252,49	20646,30	185816,73
		0,52	6,28	1069,69	1183,12	956,27	100429,17	20081,75	180735,78		78429,17	-1918,25	158735,78	100429,17	20081,75	180735,78

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Récapitulatif des résultats de corrosion pour $i_{\text{corr}} = 0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

Instant t [année]	instant t [jours]	n	poids a l'instant t [kg/ml]	Section résiduelle du câble [mm ²]	Effort limite (corrosion passive) [N]	test
0,00	0,00	0,00	8,20	1050,00	1953000,00	sécurité
1,00	365,00	13,04	8,19	1048,33	1949887,63	sécurité
2,00	730,00	26,07	8,17	1046,66	1946780,21	sécurité
3,00	1095,00	39,11	8,16	1044,99	1943677,75	sécurité
4,00	1460,00	52,14	8,15	1043,32	1940580,24	sécurité
5,00	1825,00	65,18	8,14	1041,66	1937487,65	sécurité
6,00	2190,00	78,21	8,12	1040,00	1934400,00	sécurité
7,00	2555,00	91,25	8,11	1038,34	1931317,27	sécurité
8,00	2920,00	104,29	8,10	1036,69	1928239,45	sécurité
9,00	3285,00	117,32	8,08	1035,04	1925166,54	sécurité
10,00	3650,00	130,36	8,07	1033,39	1922098,52	sécurité
11,00	4015,00	143,39	8,06	1031,74	1919035,39	sécurité
12,00	4380,00	156,43	8,05	1030,10	1915977,15	sécurité
13,00	4745,00	169,46	8,03	1028,45	1912923,78	sécurité
14,00	5110,00	182,50	8,02	1026,81	1909875,27	sécurité
15,00	5475,00	195,54	8,01	1025,18	1906831,62	sécurité
16,00	5840,00	208,57	7,99	1023,54	1903792,82	sécurité
17,00	6205,00	221,61	7,98	1021,91	1900758,87	sécurité
18,00	6570,00	234,64	7,97	1020,28	1897729,75	sécurité
19,00	6935,00	247,68	7,96	1018,66	1894705,46	sécurité
20,00	7300,00	260,71	7,94	1017,04	1891685,98	sécurité
21,00	7665,00	273,75	7,93	1015,41	1888671,32	sécurité
22,00	8030,00	286,79	7,92	1013,80	1885661,47	sécurité
23,00	8395,00	299,82	7,91	1012,18	1882656,41	sécurité
24,00	8760,00	312,86	7,89	1010,57	1879656,14	sécurité
25,00	9125,00	325,89	7,88	1008,96	1876660,65	sécurité
26,00	9490,00	338,93	7,87	1007,35	1873669,93	sécurité
27,00	9855,00	351,96	7,85	1005,74	1870683,98	sécurité
28,00	10220,00	365,00	7,84	1004,14	1867702,79	sécurité
29,00	10585,00	378,04	7,83	1002,54	1864726,35	sécurité
30,00	10950,00	391,07	7,82	1000,94	1861754,65	sécurité
31,00	11315,00	404,11	7,80	999,35	1858787,69	sécurité
32,00	11680,00	417,14	7,79	997,76	1855825,46	sécurité
33,00	12045,00	430,18	7,78	996,17	1852867,94	sécurité
34,00	12410,00	443,21	7,77	994,58	1849915,15	sécurité
35,00	12775,00	456,25	7,76	992,99	1846967,05	sécurité
36,00	13140,00	469,29	7,74	991,41	1844023,66	sécurité
37,00	13505,00	482,32	7,73	989,83	1841084,95	sécurité
38,00	13870,00	495,36	7,72	988,25	1838150,93	sécurité
39,00	14235,00	508,39	7,71	986,68	1835221,59	sécurité

40,00	14600,00	521,43	7,69	985,11	1832296,91	sécurité
41,00	14965,00	534,46	7,68	983,54	1829376,89	sécurité
42,00	15330,00	547,50	7,67	981,97	1826461,53	sécurité
43,00	15695,00	560,54	7,66	980,40	1823550,81	sécurité
44,00	16060,00	573,57	7,64	978,84	1820644,73	sécurité
45,00	16425,00	586,61	7,63	977,28	1817743,29	sécurité
46,00	16790,00	599,64	7,62	975,72	1814846,46	sécurité
47,00	17155,00	612,68	7,61	974,17	1811954,26	sécurité
48,00	17520,00	625,71	7,60	972,62	1809066,66	sécurité
49,00	17885,00	638,75	7,58	971,07	1806183,66	sécurité
50,00	18250,00	651,79	7,57	969,52	1803305,26	sécurité
51,00	18615,00	664,82	7,56	967,97	1800431,45	sécurité
52,00	18980,00	677,86	7,55	966,43	1797562,21	sécurité
53,00	19345,00	690,89	7,54	964,89	1794697,55	sécurité
54,00	19710,00	703,93	7,52	963,35	1791837,46	sécurité
55,00	20075,00	716,96	7,51	961,82	1788981,92	sécurité
56,00	20440,00	730,00	7,50	960,29	1786130,93	sécurité
57,00	20805,00	743,04	7,49	958,76	1783284,48	sécurité
58,00	21170,00	756,07	7,48	957,23	1780442,58	sécurité
59,00	21535,00	769,11	7,46	955,70	1777605,20	sécurité
60,00	21900,00	782,14	7,45	954,18	1774772,34	sécurité
61,00	22265,00	795,18	7,44	952,66	1771944,00	sécurité
62,00	22630,00	808,21	7,43	951,14	1769120,16	sécurité
63,00	22995,00	821,25	7,42	949,62	1766300,83	sécurité
64,00	23360,00	834,29	7,40	948,11	1763485,98	sécurité
65,00	23725,00	847,32	7,39	946,60	1760675,63	sécurité
66,00	24090,00	860,36	7,38	945,09	1757869,75	sécurité
67,00	24455,00	873,39	7,37	943,59	1755068,34	sécurité
68,00	24820,00	886,43	7,36	942,08	1752271,40	sécurité
69,00	25185,00	899,46	7,35	940,58	1749478,92	sécurité
70,00	25550,00	912,50	7,33	939,08	1746690,88	sécurité
71,00	25915,00	925,54	7,32	937,58	1743907,29	sécurité
72,00	26280,00	938,57	7,31	936,09	1741128,13	sécurité
73,00	26645,00	951,61	7,30	934,60	1738353,41	sécurité
74,00	27010,00	964,64	7,29	933,11	1735583,10	sécurité
75,00	27375,00	977,68	7,28	931,62	1732817,21	sécurité
76,00	27740,00	990,71	7,26	930,14	1730055,73	sécurité
77,00	28105,00	1003,75	7,25	928,66	1727298,65	sécurité
78,00	28470,00	1016,79	7,24	927,18	1724545,96	sécurité
79,00	28835,00	1029,82	7,23	925,70	1721797,66	sécurité
80,00	29200,00	1042,86	7,22	924,22	1719053,74	sécurité
81,00	29565,00	1055,89	7,21	922,75	1716314,19	sécurité
82,00	29930,00	1068,93	7,20	921,28	1713579,01	sécurité
83,00	30295,00	1081,96	7,18	919,81	1710848,19	sécurité
84,00	30660,00	1095,00	7,17	918,35	1708121,72	sécurité

85,00	31025,00	1108,04	7,16	916,88	1705399,59	sécurité
86,00	31390,00	1121,07	7,15	915,42	1702681,80	sécurité
87,00	31755,00	1134,11	7,14	913,96	1699968,35	sécurité
88,00	32120,00	1147,14	7,13	912,50	1697259,21	sécurité
89,00	32485,00	1160,18	7,12	911,05	1694554,40	sécurité
90,00	32850,00	1173,21	7,10	909,60	1691853,90	sécurité
91,00	33215,00	1186,25	7,09	908,15	1689157,69	sécurité
92,00	33580,00	1199,29	7,08	906,70	1686465,79	sécurité
93,00	33945,00	1212,32	7,07	905,26	1683778,18	sécurité
94,00	34310,00	1225,36	7,06	903,81	1681094,84	sécurité
95,00	34675,00	1238,39	7,05	902,37	1678415,79	sécurité
96,00	35040,00	1251,43	7,04	900,94	1675741,00	sécurité
97,00	35405,00	1264,46	7,03	899,50	1673070,48	sécurité
98,00	35770,00	1277,50	7,01	898,07	1670404,21	sécurité
99,00	36135,00	1290,54	7,00	896,64	1667742,19	sécurité
100,00	36500,00	1303,57	6,99	895,21	1665084,42	sécurité
101,00	36865,00	1316,61	6,98	893,78	1662430,88	sécurité
102,00	37230,00	1329,64	6,97	892,36	1659781,57	sécurité
103,00	37595,00	1342,68	6,96	890,93	1657136,48	sécurité
104,00	37960,00	1355,71	6,95	889,51	1654495,60	sécurité
105,00	38325,00	1368,75	6,94	888,10	1651858,94	sécurité
106,00	38690,00	1381,79	6,92	886,68	1649226,47	sécurité
107,00	39055,00	1394,82	6,91	885,27	1646598,21	sécurité
108,00	39420,00	1407,86	6,90	883,86	1643974,13	sécurité
109,00	39785,00	1420,89	6,89	882,45	1641354,23	sécurité
110,00	40150,00	1433,93	6,88	881,04	1638738,50	sécurité
111,00	40515,00	1446,96	6,87	879,64	1636126,95	sécurité
112,00	40880,00	1460,00	6,86	878,24	1633519,56	sécurité
113,00	41245,00	1473,04	6,85	876,84	1630916,32	sécurité
114,00	41610,00	1486,07	6,84	875,44	1628317,23	sécurité
115,00	41975,00	1499,11	6,83	874,04	1625722,28	sécurité
116,00	42340,00	1512,14	6,82	872,65	1623131,47	sécurité
117,00	42705,00	1525,18	6,80	871,26	1620544,79	sécurité
118,00	43070,00	1538,21	6,79	869,87	1617962,23	sécurité
119,00	43435,00	1551,25	6,78	868,49	1615383,79	sécurité
120,00	43800,00	1564,29	6,77	867,10	1612809,45	sécurité
121,00	44165,00	1577,32	6,76	865,72	1610239,22	sécurité
122,00	44530,00	1590,36	6,75	864,34	1607673,08	sécurité
123,00	44895,00	1603,39	6,74	862,96	1605111,03	sécurité
124,00	45260,00	1616,43	6,73	861,59	1602553,07	sécurité
125,00	45625,00	1629,46	6,72	860,21	1599999,18	sécurité
126,00	45990,00	1642,50	6,71	858,84	1597449,36	sécurité
127,00	46355,00	1655,54	6,70	857,48	1594903,61	sécurité
128,00	46720,00	1668,57	6,69	856,11	1592361,91	sécurité
129,00	47085,00	1681,61	6,68	854,74	1589824,26	sécurité

130,00	47450,00	1694,64	6,66	853,38	1587290,66	sécurité
131,00	47815,00	1707,68	6,65	852,02	1584761,10	sécurité
132,00	48180,00	1720,71	6,64	850,66	1582235,56	sécurité
133,00	48545,00	1733,75	6,63	849,31	1579714,05	sécurité
134,00	48910,00	1746,79	6,62	847,96	1577196,56	sécurité
135,00	49275,00	1759,82	6,61	846,60	1574683,08	sécurité
136,00	49640,00	1772,86	6,60	845,25	1572173,61	sécurité
137,00	50005,00	1785,89	6,59	843,91	1569668,13	sécurité
138,00	50370,00	1798,93	6,58	842,56	1567166,65	sécurité
139,00	50735,00	1811,96	6,57	841,22	1564669,16	sécurité
140,00	51100,00	1825,00	6,56	839,88	1562175,64	sécurité
141,00	51465,00	1838,04	6,55	838,54	1559686,10	sécurité
142,00	51830,00	1851,07	6,54	837,20	1557200,53	sécurité
143,00	52195,00	1864,11	6,53	835,87	1554718,92	sécurité
144,00	52560,00	1877,14	6,52	834,54	1552241,26	sécurité
145,00	52925,00	1890,18	6,51	833,21	1549767,55	sécurité
146,00	53290,00	1903,21	6,50	831,88	1547297,78	sécurité
147,00	53655,00	1916,25	6,49	830,55	1544831,95	sécurité
148,00	54020,00	1929,29	6,48	829,23	1542370,05	sécurité
149,00	54385,00	1942,32	6,47	827,91	1539912,07	sécurité
150,00	54750,00	1955,36	6,46	826,59	1537458,01	sécurité
151,00	55115,00	1968,39	6,45	825,27	1535007,86	sécurité
152,00	55480,00	1981,43	6,44	823,96	1532561,62	sécurité
153,00	55845,00	1994,46	6,42	822,64	1530119,27	sécurité
154,00	56210,00	2007,50	6,41	821,33	1527680,81	sécurité
155,00	56575,00	2020,54	6,40	820,02	1525246,24	sécurité
156,00	56940,00	2033,57	6,39	818,72	1522815,56	sécurité
157,00	57305,00	2046,61	6,38	817,41	1520388,74	sécurité
158,00	57670,00	2059,64	6,37	816,11	1517965,79	sécurité
159,00	58035,00	2072,68	6,36	814,81	1515546,71	sécurité
160,00	58400,00	2085,71	6,35	813,51	1513131,47	sécurité
161,00	58765,00	2098,75	6,34	812,22	1510720,09	sécurité
162,00	59130,00	2111,79	6,33	810,92	1508312,55	sécurité
163,00	59495,00	2124,82	6,32	809,63	1505908,85	sécurité
164,00	59860,00	2137,86	6,31	808,34	1503508,98	sécurité
165,00	60225,00	2150,89	6,30	807,05	1501112,93	sécurité
166,00	60590,00	2163,93	6,29	805,76	1498720,70	sécurité
167,00	60955,00	2176,96	6,28	804,48	1496332,28	sécurité
168,00	61320,00	2190,00	6,27	803,20	1493947,67	sécurité
169,00	61685,00	2203,04	6,26	801,92	1491566,86	sécurité
170,00	62050,00	2216,07	6,25	800,64	1489189,85	sécurité
171,00	62415,00	2229,11	6,24	799,36	1486816,62	sécurité
172,00	62780,00	2242,14	6,23	798,09	1484447,17	sécurité
173,00	63145,00	2255,18	6,22	796,82	1482081,50	sécurité
174,00	63510,00	2268,21	6,21	795,55	1479719,60	sécurité

175,00	63875,00	2281,25	6,20	794,28	1477361,47	sécurité
176,00	64240,00	2294,29	6,19	793,01	1475007,09	sécurité
177,00	64605,00	2307,32	6,18	791,75	1472656,46	sécurité
178,00	64970,00	2320,36	6,17	790,49	1470309,58	sécurité
179,00	65335,00	2333,39	6,16	789,23	1467966,44	sécurité
180,00	65700,00	2346,43	6,15	787,97	1465627,04	sécurité
181,00	66065,00	2359,46	6,14	786,72	1463291,36	sécurité
182,00	66430,00	2372,50	6,13	785,46	1460959,40	sécurité
183,00	66795,00	2385,54	6,12	784,21	1458631,16	sécurité
184,00	67160,00	2398,57	6,11	782,96	1456306,64	sécurité
185,00	67525,00	2411,61	6,11	781,71	1453985,81	sécurité
186,00	67890,00	2424,64	6,10	780,47	1451668,69	sécurité
187,00	68255,00	2437,68	6,09	779,22	1449355,25	sécurité
188,00	68620,00	2450,71	6,08	777,98	1447045,51	sécurité
189,00	68985,00	2463,75	6,07	776,74	1444739,44	sécurité
190,00	69350,00	2476,79	6,06	775,50	1442437,05	sécurité
191,00	69715,00	2489,82	6,05	774,27	1440138,33	sécurité
192,00	70080,00	2502,86	6,04	773,03	1437843,27	sécurité
193,00	70445,00	2515,89	6,03	771,80	1435551,87	sécurité
194,00	70810,00	2528,93	6,02	770,57	1433264,12	sécurité
195,00	71175,00	2541,96	6,01	769,34	1430980,02	sécurité
196,00	71540,00	2555,00	6,00	768,12	1428699,56	sécurité
197,00	71905,00	2568,04	5,99	766,89	1426422,73	sécurité
198,00	72270,00	2581,07	5,98	765,67	1424149,53	sécurité
199,00	72635,00	2594,11	5,97	764,45	1421879,95	sécurité
200,00	73000,00	2607,14	5,96	763,23	1419613,99	sécurité
201,00	73365,00	2620,18	5,95	762,02	1417351,64	sécurité
202,00	73730,00	2633,21	5,94	760,80	1415092,90	sécurité
203,00	74095,00	2646,25	5,93	759,59	1412837,75	sécurité
204,00	74460,00	2659,29	5,92	758,38	1410586,20	sécurité
205,00	74825,00	2672,32	5,91	757,17	1408338,24	sécurité
206,00	75190,00	2685,36	5,90	755,96	1406093,86	sécurité
207,00	75555,00	2698,39	5,89	754,76	1403853,06	sécurité
208,00	75920,00	2711,43	5,89	753,56	1401615,82	sécurité
209,00	76285,00	2724,46	5,88	752,36	1399382,16	sécurité
210,00	76650,00	2737,50	5,87	751,16	1397152,05	sécurité
211,00	77015,00	2750,54	5,86	749,96	1394925,50	sécurité
212,00	77380,00	2763,57	5,85	748,76	1392702,49	sécurité
213,00	77745,00	2776,61	5,84	747,57	1390483,03	sécurité
214,00	78110,00	2789,64	5,83	746,38	1388267,10	sécurité
215,00	78475,00	2802,68	5,82	745,19	1386054,71	sécurité
216,00	78840,00	2815,71	5,81	744,00	1383845,84	sécurité
217,00	79205,00	2828,75	5,80	742,82	1381640,49	sécurité
218,00	79570,00	2841,79	5,79	741,63	1379438,66	sécurité
219,00	79935,00	2854,82	5,78	740,45	1377240,33	sécurité

220,00	80300,00	2867,86	5,77	739,27	1375045,51	sécurité
221,00	80665,00	2880,89	5,76	738,09	1372854,19	sécurité
222,00	81030,00	2893,93	5,76	736,92	1370666,36	sécurité
223,00	81395,00	2906,96	5,75	735,74	1368482,01	sécurité
224,00	81760,00	2920,00	5,74	734,57	1366301,15	sécurité
225,00	82125,00	2933,04	5,73	733,40	1364123,76	sécurité
226,00	82490,00	2946,07	5,72	732,23	1361949,84	sécurité
227,00	82855,00	2959,11	5,71	731,06	1359779,39	sécurité
228,00	83220,00	2972,14	5,70	729,90	1357612,39	sécurité
229,00	83585,00	2985,18	5,69	728,74	1355448,85	sécurité
230,00	83950,00	2998,21	5,68	727,57	1353288,76	sécurité
231,00	84315,00	3011,25	5,67	726,42	1351132,11	rupture
232,00	84680,00	3024,29	5,66	725,26	1348978,89	rupture
233,00	85045,00	3037,32	5,66	724,10	1346829,11	rupture
234,00	85410,00	3050,36	5,65	722,95	1344682,75	rupture
235,00	85775,00	3063,39	5,64	721,80	1342539,82	rupture
236,00	86140,00	3076,43	5,63	720,65	1340400,30	rupture
237,00	86505,00	3089,46	5,62	719,50	1338264,19	rupture
238,00	86870,00	3102,50	5,61	718,35	1336131,48	rupture
239,00	87235,00	3115,54	5,60	717,21	1334002,17	rupture
240,00	87600,00	3128,57	5,59	716,06	1331876,25	rupture

Récapitulatif des résultats de corrosion pour $i_{\text{corr}} = 0.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

Instant t [année]	instant t [jours]	n	poids a l'instant t [kg/ml]	Section câble [mm ²]	Effort limite (corrosion basse) [N]	test
0,00	0,00	0,00	8,20	1050,00	1953000,00	sécurité
1,00	365,00	13,04	8,16	1044,94	1943582,65	sécurité
2,00	730,00	26,07	8,12	1039,90	1934210,71	sécurité
3,00	1095,00	39,11	8,08	1034,88	1924883,96	sécurité
4,00	1460,00	52,14	8,04	1029,89	1915602,18	sécurité
5,00	1825,00	65,18	8,00	1024,93	1906365,16	sécurité
6,00	2190,00	78,21	7,97	1019,99	1897172,68	sécurité
7,00	2555,00	91,25	7,93	1015,07	1888024,53	sécurité
8,00	2920,00	104,29	7,89	1010,17	1878920,49	sécurité
9,00	3285,00	117,32	7,85	1005,30	1869860,35	sécurité
10,00	3650,00	130,36	7,81	1000,45	1860843,90	sécurité
11,00	4015,00	143,39	7,78	995,63	1851870,92	sécurité
12,00	4380,00	156,43	7,74	990,83	1842941,22	sécurité
13,00	4745,00	169,46	7,70	986,05	1834054,57	sécurité
14,00	5110,00	182,50	7,66	981,30	1825210,77	sécurité
15,00	5475,00	195,54	7,63	976,56	1816409,62	sécurité
16,00	5840,00	208,57	7,59	971,86	1807650,90	sécurité
17,00	6205,00	221,61	7,55	967,17	1798934,43	sécurité
18,00	6570,00	234,64	7,52	962,51	1790259,98	sécurité

19,00	6935,00	247,68	7,48	957,86	1781627,36	sécurité
20,00	7300,00	260,71	7,44	953,25	1773036,36	sécurité
21,00	7665,00	273,75	7,41	948,65	1764486,79	sécurité
22,00	8030,00	286,79	7,37	944,07	1755978,45	sécurité
23,00	8395,00	299,82	7,34	939,52	1747511,14	sécurité
24,00	8760,00	312,86	7,30	934,99	1739084,65	sécurité
25,00	9125,00	325,89	7,27	930,48	1730698,80	sécurité
26,00	9490,00	338,93	7,23	926,00	1722353,38	sécurité
27,00	9855,00	351,96	7,20	921,53	1714048,21	sécurité
28,00	10220,00	365,00	7,16	917,09	1705783,08	sécurité
29,00	10585,00	378,04	7,13	912,67	1697557,81	sécurité
30,00	10950,00	391,07	7,09	908,26	1689372,20	sécurité
31,00	11315,00	404,11	7,06	903,88	1681226,06	sécurité
32,00	11680,00	417,14	7,03	899,53	1673119,20	sécurité
33,00	12045,00	430,18	6,99	895,19	1665051,43	sécurité
34,00	12410,00	443,21	6,96	890,87	1657022,56	sécurité
35,00	12775,00	456,25	6,92	886,58	1649032,41	sécurité
36,00	13140,00	469,29	6,89	882,30	1641080,79	sécurité
37,00	13505,00	482,32	6,86	878,05	1633167,51	sécurité
38,00	13870,00	495,36	6,82	873,81	1625292,39	sécurité
39,00	14235,00	508,39	6,79	869,60	1617455,24	sécurité
40,00	14600,00	521,43	6,76	865,41	1609655,89	sécurité
41,00	14965,00	534,46	6,73	861,23	1601894,14	sécurité
42,00	15330,00	547,50	6,69	857,08	1594169,82	sécurité
43,00	15695,00	560,54	6,66	852,95	1586482,74	sécurité
44,00	16060,00	573,57	6,63	848,83	1578832,73	sécurité
45,00	16425,00	586,61	6,60	844,74	1571219,61	sécurité
46,00	16790,00	599,64	6,57	840,67	1563643,20	sécurité
47,00	17155,00	612,68	6,53	836,61	1556103,33	sécurité
48,00	17520,00	625,71	6,50	832,58	1548599,81	sécurité
49,00	17885,00	638,75	6,47	828,57	1541132,47	sécurité
50,00	18250,00	651,79	6,44	824,57	1533701,14	sécurité
51,00	18615,00	664,82	6,41	820,59	1526305,65	sécurité
52,00	18980,00	677,86	6,38	816,64	1518945,81	sécurité
53,00	19345,00	690,89	6,35	812,70	1511621,47	sécurité
54,00	19710,00	703,93	6,32	808,78	1504332,44	sécurité
55,00	20075,00	716,96	6,29	804,88	1497078,56	sécurité
56,00	20440,00	730,00	6,26	801,00	1489859,66	sécurité
57,00	20805,00	743,04	6,23	797,14	1482675,57	sécurité
58,00	21170,00	756,07	6,20	793,29	1475526,12	sécurité
59,00	21535,00	769,11	6,17	789,47	1468411,14	sécurité
60,00	21900,00	782,14	6,14	785,66	1461330,47	sécurité
61,00	22265,00	795,18	6,11	781,87	1454283,95	sécurité
62,00	22630,00	808,21	6,08	778,10	1447271,40	sécurité

63,00	22995,00	821,25	6,05	774,35	1440292,67	sécurité
64,00	23360,00	834,29	6,02	770,62	1433347,59	sécurité
65,00	23725,00	847,32	5,99	766,90	1426436,00	sécurité
66,00	24090,00	860,36	5,96	763,20	1419557,74	sécurité
67,00	24455,00	873,39	5,93	759,52	1412712,64	sécurité
68,00	24820,00	886,43	5,90	755,86	1405900,55	sécurité
69,00	25185,00	899,46	5,87	752,22	1399121,31	sécurité
70,00	25550,00	912,50	5,85	748,59	1392374,76	sécurité
71,00	25915,00	925,54	5,82	744,98	1385660,74	sécurité
72,00	26280,00	938,57	5,79	741,39	1378979,09	sécurité
73,00	26645,00	951,61	5,76	737,81	1372329,66	sécurité
74,00	27010,00	964,64	5,73	734,25	1365712,30	sécurité
75,00	27375,00	977,68	5,71	730,71	1359126,85	sécurité
76,00	27740,00	990,71	5,68	727,19	1352573,15	rupture
77,00	28105,00	1003,75	5,65	723,68	1346051,05	rupture
78,00	28470,00	1016,79	5,62	720,19	1339560,40	rupture
79,00	28835,00	1029,82	5,60	716,72	1333101,05	rupture
80,00	29200,00	1042,86	5,57	713,26	1326672,85	rupture

Récapitulatif des résultats de corrosion pour $i_{\text{corr}} = 0.75 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

Instant t [année]	instant t [jours]	n	poids a l'instant t [kg/ml]	Section câble [mm²]	Effort limite (corrosion modérée) [N]	test
0,00	0,00	0,00	8,20	1050,00	1953000,00	sécurité
1,00	365,00	13,04	8,10	1037,38	1929535,21	sécurité
2,00	730,00	26,07	8,00	1024,92	1906352,34	sécurité
3,00	1095,00	39,11	7,91	1012,61	1883448,01	sécurité
4,00	1460,00	52,14	7,81	1000,44	1860818,87	sécurité
5,00	1825,00	65,18	7,72	988,42	1838461,62	sécurité
6,00	2190,00	78,21	7,63	976,54	1816372,97	sécurité
7,00	2555,00	91,25	7,54	964,81	1794549,72	sécurité
8,00	2920,00	104,29	7,44	953,22	1772988,67	sécurité
9,00	3285,00	117,32	7,36	941,77	1751686,67	sécurité
10,00	3650,00	130,36	7,27	930,45	1730640,61	sécurité
11,00	4015,00	143,39	7,18	919,27	1709847,41	sécurité
12,00	4380,00	156,43	7,09	908,23	1689304,04	sécurité
13,00	4745,00	169,46	7,01	897,32	1669007,48	sécurité
14,00	5110,00	182,50	6,92	886,53	1648954,79	sécurité
15,00	5475,00	195,54	6,84	875,88	1629143,03	sécurité
16,00	5840,00	208,57	6,76	865,36	1609569,29	sécurité
17,00	6205,00	221,61	6,68	854,96	1590230,74	sécurité
18,00	6570,00	234,64	6,60	844,69	1571124,52	sécurité
19,00	6935,00	247,68	6,52	834,54	1552247,87	sécurité
20,00	7300,00	260,71	6,44	824,52	1533598,01	sécurité

21,00	7665,00	273,75	6,36	814,61	1515172,23	sécurité
22,00	8030,00	286,79	6,29	804,82	1496967,83	sécurité
23,00	8395,00	299,82	6,21	795,15	1478982,15	sécurité
24,00	8760,00	312,86	6,14	785,60	1461212,56	sécurité
25,00	9125,00	325,89	6,06	776,16	1443656,47	sécurité
26,00	9490,00	338,93	5,99	766,83	1426311,31	sécurité
27,00	9855,00	351,96	5,92	757,62	1409174,55	sécurité
28,00	10220,00	365,00	5,85	748,52	1392243,68	sécurité
29,00	10585,00	378,04	5,78	739,52	1375516,23	sécurité
30,00	10950,00	391,07	5,71	730,64	1358989,76	sécurité
31,00	11315,00	404,11	5,64	721,86	1342661,85	rupture
32,00	11680,00	417,14	5,57	713,19	1326530,11	rupture
33,00	12045,00	430,18	5,50	704,62	1310592,20	rupture
34,00	12410,00	443,21	5,44	696,15	1294845,77	rupture
35,00	12775,00	456,25	5,37	687,79	1279288,53	rupture

Récapitulatif des résultats de corrosion pour $i_{\text{corr}} = 1.43 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

Instant t [année]	instant t [jours]	n	poids a l'instant t [kg/ml]	Section câble [mm ²]	Effort limite (corrosion élevée) [N]	test
0,00	0,00	0,00	8,20	1050,00	1953000,00	sécurité
1,00	365,00	13,04	8,01	1026,05	1908454,94	sécurité
2,00	730,00	26,07	7,83	1002,65	1864925,88	sécurité
3,00	1095,00	39,11	7,65	979,78	1822389,66	sécurité
4,00	1460,00	52,14	7,48	957,43	1780823,63	sécurité
5,00	1825,00	65,18	7,31	935,59	1740205,65	sécurité
6,00	2190,00	78,21	7,14	914,25	1700514,12	sécurité
7,00	2555,00	91,25	6,98	893,40	1661727,89	sécurité
8,00	2920,00	104,29	6,82	873,02	1623826,31	sécurité
9,00	3285,00	117,32	6,66	853,11	1586789,22	sécurité
10,00	3650,00	130,36	6,51	833,65	1550596,89	sécurité
11,00	4015,00	143,39	6,36	814,64	1515230,05	sécurité
12,00	4380,00	156,43	6,22	796,06	1480669,87	sécurité
13,00	4745,00	169,46	6,08	777,90	1446897,97	sécurité
14,00	5110,00	182,50	5,94	760,16	1413896,35	sécurité
15,00	5475,00	195,54	5,80	742,82	1381647,45	sécurité
16,00	5840,00	208,57	5,67	725,88	1350134,10	rupture
17,00	6205,00	221,61	5,54	709,32	1319339,52	rupture
18,00	6570,00	234,64	5,41	693,14	1289247,32	rupture
19,00	6935,00	247,68	5,29	677,33	1259841,49	rupture
20,00	7300,00	260,71	5,17	661,89	1231106,35	rupture

N _b	f _{c28}	e _o
1	34,83	4,04
2	35,22	3,65
3	34,97	3,73
4	34,92	4,27
5	35,01	3,77
6	35,13	4,24
7	34,97	3,90
8	34,94	4,40
9	35,05	4,02
10	34,68	4,10
11	34,72	3,65
12	35,09	4,07
13	35,13	3,98
14	35,01	3,92
15	35,14	3,76
16	34,79	3,53
17	35,12	4,43
18	34,98	3,82
19	35,02	3,51
20	34,98	4,37
21	35,09	3,99
22	35,09	3,75
23	34,91	3,72
24	35,00	4,11
25	35,00	3,54
26	35,04	4,06
27	35,14	4,02
28	34,98	3,95
29	34,95	4,03
30	34,90	4,09
31	34,93	4,10
32	34,92	3,91
33	35,07	4,16
34	35,11	3,88
35	35,06	3,97
36	35,34	4,28
37	35,08	3,78
38	35,06	4,20
39	34,91	3,71
40	34,98	4,42
41	34,82	4,10
42	35,05	3,78
43	34,89	4,00

Récapitulatif des résultats de probabilité de défaillance pour $i_{\text{corr}} = 0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

Instant t [année]	instant t [jours]	n	poids a l'instant t [kg/ml]	Section câble [mm ²]	Pf
0,00	0,00	0,00	8,20	1050,00	0,075
1,00	365,00	13,04	8,19	1048,33	0,076
2,00	730,00	26,07	8,17	1046,66	0,078
3,00	1095,00	39,11	8,16	1044,99	0,078
4,00	1460,00	52,14	8,15	1043,32	0,079
5,00	1825,00	65,18	8,14	1041,66	0,080
6,00	2190,00	78,21	8,12	1040,00	0,081
7,00	2555,00	91,25	8,11	1038,34	0,081
8,00	2920,00	104,29	8,10	1036,69	0,082
9,00	3285,00	117,32	8,08	1035,04	0,082
10,00	3650,00	130,36	8,07	1033,39	0,082
11,00	4015,00	143,39	8,06	1031,74	0,082
12,00	4380,00	156,43	8,05	1030,10	0,083
13,00	4745,00	169,46	8,03	1028,45	0,083
14,00	5110,00	182,50	8,02	1026,81	0,084
15,00	5475,00	195,54	8,01	1025,18	0,084
16,00	5840,00	208,57	7,99	1023,54	0,085
17,00	6205,00	221,61	7,98	1021,91	0,086
18,00	6570,00	234,64	7,97	1020,28	0,086
19,00	6935,00	247,68	7,96	1018,66	0,086
20,00	7300,00	260,71	7,94	1017,04	0,087
21,00	7665,00	273,75	7,93	1015,41	0,087
22,00	8030,00	286,79	7,92	1013,80	0,088
23,00	8395,00	299,82	7,91	1012,18	0,088
24,00	8760,00	312,86	7,89	1010,57	0,089
25,00	9125,00	325,89	7,88	1008,96	0,090
26,00	9490,00	338,93	7,87	1007,35	0,091
27,00	9855,00	351,96	7,85	1005,74	0,091
28,00	10220,00	365,00	7,84	1004,14	0,092
29,00	10585,00	378,04	7,83	1002,54	0,092
30,00	10950,00	391,07	7,82	1000,94	0,093
31,00	11315,00	404,11	7,80	999,35	0,093
32,00	11680,00	417,14	7,79	997,76	0,093
33,00	12045,00	430,18	7,78	996,17	0,094
34,00	12410,00	443,21	7,77	994,58	0,095
35,00	12775,00	456,25	7,76	992,99	0,095
36,00	13140,00	469,29	7,74	991,41	0,095
37,00	13505,00	482,32	7,73	989,83	0,096
38,00	13870,00	495,36	7,72	988,25	0,097
39,00	14235,00	508,39	7,71	986,68	0,097
40,00	14600,00	521,43	7,69	985,11	0,098
41,00	14965,00	534,46	7,68	983,54	0,099

42,00	15330,00	547,50	7,67	981,97	0,100
43,00	15695,00	560,54	7,66	980,40	0,100
44,00	16060,00	573,57	7,64	978,84	0,101
45,00	16425,00	586,61	7,63	977,28	0,102
46,00	16790,00	599,64	7,62	975,72	0,102
47,00	17155,00	612,68	7,61	974,17	0,102
48,00	17520,00	625,71	7,60	972,62	0,103
49,00	17885,00	638,75	7,58	971,07	0,103
50,00	18250,00	651,79	7,57	969,52	0,105
51,00	18615,00	664,82	7,56	967,97	0,105
52,00	18980,00	677,86	7,55	966,43	0,106
53,00	19345,00	690,89	7,54	964,89	0,107
54,00	19710,00	703,93	7,52	963,35	0,107
55,00	20075,00	716,96	7,51	961,82	0,108
56,00	20440,00	730,00	7,50	960,29	0,109
57,00	20805,00	743,04	7,49	958,76	0,110
58,00	21170,00	756,07	7,48	957,23	0,111
59,00	21535,00	769,11	7,46	955,70	0,112
60,00	21900,00	782,14	7,45	954,18	0,112
61,00	22265,00	795,18	7,44	952,66	0,113
62,00	22630,00	808,21	7,43	951,14	0,113
63,00	22995,00	821,25	7,42	949,62	0,114
64,00	23360,00	834,29	7,40	948,11	0,115
65,00	23725,00	847,32	7,39	946,60	0,117
66,00	24090,00	860,36	7,38	945,09	0,118
67,00	24455,00	873,39	7,37	943,59	0,119
68,00	24820,00	886,43	7,36	942,08	0,120
69,00	25185,00	899,46	7,35	940,58	0,121
70,00	25550,00	912,50	7,33	939,08	0,123
71,00	25915,00	925,54	7,32	937,58	0,123
72,00	26280,00	938,57	7,31	936,09	0,124
73,00	26645,00	951,61	7,30	934,60	0,125
74,00	27010,00	964,64	7,29	933,11	0,126
75,00	27375,00	977,68	7,28	931,62	0,126
76,00	27740,00	990,71	7,26	930,14	0,128
77,00	28105,00	1003,75	7,25	928,66	0,129
78,00	28470,00	1016,79	7,24	927,18	0,130
79,00	28835,00	1029,82	7,23	925,70	0,131
80,00	29200,00	1042,86	7,22	924,22	0,133
81,00	29565,00	1055,89	7,21	922,75	0,134
82,00	29930,00	1068,93	7,20	921,28	0,135
83,00	30295,00	1081,96	7,18	919,81	0,136
84,00	30660,00	1095,00	7,17	918,35	0,137
85,00	31025,00	1108,04	7,16	916,88	0,138
86,00	31390,00	1121,07	7,15	915,42	0,140

87,00	31755,00	1134,11	7,14	913,96	0,141
88,00	32120,00	1147,14	7,13	912,50	0,142
89,00	32485,00	1160,18	7,12	911,05	0,142
90,00	32850,00	1173,21	7,10	909,60	0,144
91,00	33215,00	1186,25	7,09	908,15	0,145
92,00	33580,00	1199,29	7,08	906,70	0,146
93,00	33945,00	1212,32	7,07	905,26	0,147
94,00	34310,00	1225,36	7,06	903,81	0,148
95,00	34675,00	1238,39	7,05	902,37	0,148
96,00	35040,00	1251,43	7,04	900,94	0,150
97,00	35405,00	1264,46	7,03	899,50	0,151
98,00	35770,00	1277,50	7,01	898,07	0,152
99,00	36135,00	1290,54	7,00	896,64	0,153
100,00	36500,00	1303,57	6,99	895,21	0,15
101,00	36865,00	1316,61	6,98	893,78	0,16
102,00	37230,00	1329,64	6,97	892,36	0,16
103,00	37595,00	1342,68	6,96	890,93	0,16
104,00	37960,00	1355,71	6,95	889,51	0,16
105,00	38325,00	1368,75	6,94	888,10	0,16
106,00	38690,00	1381,79	6,92	886,68	0,16
107,00	39055,00	1394,82	6,91	885,27	0,16
108,00	39420,00	1407,86	6,90	883,86	0,16
109,00	39785,00	1420,89	6,89	882,45	0,16
110,00	40150,00	1433,93	6,88	881,04	0,16
111,00	40515,00	1446,96	6,87	879,64	0,16
112,00	40880,00	1460,00	6,86	878,24	0,17
113,00	41245,00	1473,04	6,85	876,84	0,17
114,00	41610,00	1486,07	6,84	875,44	0,17
115,00	41975,00	1499,11	6,83	874,04	0,17
116,00	42340,00	1512,14	6,82	872,65	0,17
117,00	42705,00	1525,18	6,80	871,26	0,17
118,00	43070,00	1538,21	6,79	869,87	0,18
119,00	43435,00	1551,25	6,78	868,49	0,18
120,00	43800,00	1564,29	6,77	867,10	0,18
121,00	44165,00	1577,32	6,76	865,72	0,18
122,00	44530,00	1590,36	6,75	864,34	0,18
123,00	44895,00	1603,39	6,74	862,96	0,18
124,00	45260,00	1616,43	6,73	861,59	0,18
125,00	45625,00	1629,46	6,72	860,21	0,18
126,00	45990,00	1642,50	6,71	858,84	0,18
127,00	46355,00	1655,54	6,70	857,48	0,19
128,00	46720,00	1668,57	6,69	856,11	0,19
129,00	47085,00	1681,61	6,68	854,74	0,19
130,00	47450,00	1694,64	6,66	853,38	0,19
131,00	47815,00	1707,68	6,65	852,02	0,19

132,00	48180,00	1720,71	6,64	850,66	0,19
133,00	48545,00	1733,75	6,63	849,31	0,20
134,00	48910,00	1746,79	6,62	847,96	0,20
135,00	49275,00	1759,82	6,61	846,60	0,20
136,00	49640,00	1772,86	6,60	845,25	0,20
137,00	50005,00	1785,89	6,59	843,91	0,20
138,00	50370,00	1798,93	6,58	842,56	0,20
139,00	50735,00	1811,96	6,57	841,22	0,20
140,00	51100,00	1825,00	6,56	839,88	0,21
141,00	51465,00	1838,04	6,55	838,54	0,21
142,00	51830,00	1851,07	6,54	837,20	0,21
143,00	52195,00	1864,11	6,53	835,87	0,21
144,00	52560,00	1877,14	6,52	834,54	0,21
145,00	52925,00	1890,18	6,51	833,21	0,21
146,00	53290,00	1903,21	6,50	831,88	0,22
147,00	53655,00	1916,25	6,49	830,55	0,22
148,00	54020,00	1929,29	6,48	829,23	0,22
149,00	54385,00	1942,32	6,47	827,91	0,22
150,00	54750,00	1955,36	6,46	826,59	0,22
151,00	55115,00	1968,39	6,45	825,27	0,22
152,00	55480,00	1981,43	6,44	823,96	0,22
153,00	55845,00	1994,46	6,42	822,64	0,22
154,00	56210,00	2007,50	6,41	821,33	0,23
155,00	56575,00	2020,54	6,40	820,02	0,23
156,00	56940,00	2033,57	6,39	818,72	0,23
157,00	57305,00	2046,61	6,38	817,41	0,23
158,00	57670,00	2059,64	6,37	816,11	0,23
159,00	58035,00	2072,68	6,36	814,81	0,23
160,00	58400,00	2085,71	6,35	813,51	0,23
161,00	58765,00	2098,75	6,34	812,22	0,24
162,00	59130,00	2111,79	6,33	810,92	0,24
163,00	59495,00	2124,82	6,32	809,63	0,24
164,00	59860,00	2137,86	6,31	808,34	0,24
165,00	60225,00	2150,89	6,30	807,05	0,24
166,00	60590,00	2163,93	6,29	805,76	0,24
167,00	60955,00	2176,96	6,28	804,48	0,24
168,00	61320,00	2190,00	6,27	803,20	0,25
169,00	61685,00	2203,04	6,26	801,92	0,25
170,00	62050,00	2216,07	6,25	800,64	0,25
171,00	62415,00	2229,11	6,24	799,36	0,25
172,00	62780,00	2242,14	6,23	798,09	0,25
173,00	63145,00	2255,18	6,22	796,82	0,25
174,00	63510,00	2268,21	6,21	795,55	0,26
175,00	63875,00	2281,25	6,20	794,28	0,26
176,00	64240,00	2294,29	6,19	793,01	0,26

177,00	64605,00	2307,32	6,18	791,75	0,26
178,00	64970,00	2320,36	6,17	790,49	0,26
179,00	65335,00	2333,39	6,16	789,23	0,26
180,00	65700,00	2346,43	6,15	787,97	0,27
181,00	66065,00	2359,46	6,14	786,72	0,27
182,00	66430,00	2372,50	6,13	785,46	0,27
183,00	66795,00	2385,54	6,12	784,21	0,27
184,00	67160,00	2398,57	6,11	782,96	0,27
185,00	67525,00	2411,61	6,11	781,71	0,27
186,00	67890,00	2424,64	6,10	780,47	0,28
187,00	68255,00	2437,68	6,09	779,22	0,28
188,00	68620,00	2450,71	6,08	777,98	0,28
189,00	68985,00	2463,75	6,07	776,74	0,28
190,00	69350,00	2476,79	6,06	775,50	0,28
191,00	69715,00	2489,82	6,05	774,27	0,29
192,00	70080,00	2502,86	6,04	773,03	0,29
193,00	70445,00	2515,89	6,03	771,80	0,29
194,00	70810,00	2528,93	6,02	770,57	0,29
195,00	71175,00	2541,96	6,01	769,34	0,29
196,00	71540,00	2555,00	6,00	768,12	0,30
197,00	71905,00	2568,04	5,99	766,89	0,30
198,00	72270,00	2581,07	5,98	765,67	0,30
199,00	72635,00	2594,11	5,97	764,45	0,30
200,00	73000,00	2607,14	5,96	763,23	0,30
201,00	73365,00	2620,18	5,95	762,02	0,31
202,00	73730,00	2633,21	5,94	760,80	0,31
203,00	74095,00	2646,25	5,93	759,59	0,31
204,00	74460,00	2659,29	5,92	758,38	0,31
205,00	74825,00	2672,32	5,91	757,17	0,31
206,00	75190,00	2685,36	5,90	755,96	0,31
207,00	75555,00	2698,39	5,89	754,76	0,31
208,00	75920,00	2711,43	5,89	753,56	0,32
209,00	76285,00	2724,46	5,88	752,36	0,32
210,00	76650,00	2737,50	5,87	751,16	0,32
211,00	77015,00	2750,54	5,86	749,96	0,32
212,00	77380,00	2763,57	5,85	748,76	0,32
213,00	77745,00	2776,61	5,84	747,57	0,33
214,00	78110,00	2789,64	5,83	746,38	0,33
215,00	78475,00	2802,68	5,82	745,19	0,33
216,00	78840,00	2815,71	5,81	744,00	0,33
217,00	79205,00	2828,75	5,80	742,82	0,33
218,00	79570,00	2841,79	5,79	741,63	0,34
219,00	79935,00	2854,82	5,78	740,45	0,34
220,00	80300,00	2867,86	5,77	739,27	0,34
221,00	80665,00	2880,89	5,76	738,09	0,34

222,00	81030,00	2893,93	5,76	736,92	0,34
223,00	81395,00	2906,96	5,75	735,74	0,35
224,00	81760,00	2920,00	5,74	734,57	0,35
225,00	82125,00	2933,04	5,73	733,40	0,35
226,00	82490,00	2946,07	5,72	732,23	0,35
227,00	82855,00	2959,11	5,71	731,06	0,35
228,00	83220,00	2972,14	5,70	729,90	0,36
229,00	83585,00	2985,18	5,69	728,74	0,36
230,00	83950,00	2998,21	5,68	727,57	0,36
231,00	84315,00	3011,25	5,67	726,42	0,36
232,00	84680,00	3024,29	5,66	725,26	0,36
233,00	85045,00	3037,32	5,66	724,10	0,37
234,00	85410,00	3050,36	5,65	722,95	0,37
235,00	85775,00	3063,39	5,64	721,80	0,37
236,00	86140,00	3076,43	5,63	720,65	0,37
237,00	86505,00	3089,46	5,62	719,50	0,38
238,00	86870,00	3102,50	5,61	718,35	0,38
239,00	87235,00	3115,54	5,60	717,21	0,38
240,00	87600,00	3128,57	5,59	716,06	0,38
241,00	87965,00	3141,61	5,58	714,92	0,39
242,00	88330,00	3154,64	5,57	713,78	0,39
243,00	88695,00	3167,68	5,57	712,64	0,39
244,00	89060,00	3180,71	5,56	711,51	0,39
245,00	89425,00	3193,75	5,55	710,37	0,40
246,00	89790,00	3206,79	5,54	709,24	0,40
247,00	90155,00	3219,82	5,53	708,11	0,40
248,00	90520,00	3232,86	5,52	706,98	0,40
249,00	90885,00	3245,89	5,51	705,86	0,40

Récapitulatif des résultats de probabilité de défaillance pour $i_{\text{corr}} = 0.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

Instant t [année]	instant t [jours]	n	poids a l'instant t [kg/ml]	Section câble [mm²]	Pf
0,00	0,00	0,00	8,20	1050,00	0,075
1,00	365,00	13,04	8,16	1044,94	0,078
2,00	730,00	26,07	8,12	1039,90	0,081
3,00	1095,00	39,11	8,08	1034,88	0,082
4,00	1460,00	52,14	8,04	1029,89	0,083
5,00	1825,00	65,18	8,00	1024,93	0,085
6,00	2190,00	78,21	7,97	1019,99	0,086
7,00	2555,00	91,25	7,93	1015,07	0,087
8,00	2920,00	104,29	7,89	1010,17	0,089
9,00	3285,00	117,32	7,85	1005,30	0,092
10,00	3650,00	130,36	7,81	1000,45	0,093
11,00	4015,00	143,39	7,78	995,63	0,094
12,00	4380,00	156,43	7,74	990,83	0,095

13,00	4745,00	169,46	7,70	986,05	0,098
14,00	5110,00	182,50	7,66	981,30	0,100
15,00	5475,00	195,54	7,63	976,56	0,102
16,00	5840,00	208,57	7,59	971,86	0,103
17,00	6205,00	221,61	7,55	967,17	0,106
18,00	6570,00	234,64	7,52	962,51	0,108
19,00	6935,00	247,68	7,48	957,86	0,111
20,00	7300,00	260,71	7,44	953,25	0,113
21,00	7665,00	273,75	7,41	948,65	0,115
22,00	8030,00	286,79	7,37	944,07	0,119
23,00	8395,00	299,82	7,34	939,52	0,122
24,00	8760,00	312,86	7,30	934,99	0,125
25,00	9125,00	325,89	7,27	930,48	0,127
26,00	9490,00	338,93	7,23	926,00	0,131
27,00	9855,00	351,96	7,20	921,53	0,135
28,00	10220,00	365,00	7,16	917,09	0,138
29,00	10585,00	378,04	7,13	912,67	0,142
30,00	10950,00	391,07	7,09	908,26	0,145
31,00	11315,00	404,11	7,06	903,88	0,148
32,00	11680,00	417,14	7,03	899,53	0,151
33,00	12045,00	430,18	6,99	895,19	0,154
34,00	12410,00	443,21	6,96	890,87	0,157
35,00	12775,00	456,25	6,92	886,58	0,161
36,00	13140,00	469,29	6,89	882,30	0,163
37,00	13505,00	482,32	6,86	878,05	0,166
38,00	13870,00	495,36	6,82	873,81	0,171
39,00	14235,00	508,39	6,79	869,60	0,175
40,00	14600,00	521,43	6,76	865,41	0,180
41,00	14965,00	534,46	6,73	861,23	0,182
42,00	15330,00	547,50	6,69	857,08	0,187
43,00	15695,00	560,54	6,66	852,95	0,191
44,00	16060,00	573,57	6,63	848,83	0,196
45,00	16425,00	586,61	6,60	844,74	0,201
46,00	16790,00	599,64	6,57	840,67	0,206
47,00	17155,00	612,68	6,53	836,61	0,210
48,00	17520,00	625,71	6,50	832,58	0,214
49,00	17885,00	638,75	6,47	828,57	0,219
50,00	18250,00	651,79	6,44	824,57	0,221
51,00	18615,00	664,82	6,41	820,59	0,227
52,00	18980,00	677,86	6,38	816,64	0,231
53,00	19345,00	690,89	6,35	812,70	0,236
54,00	19710,00	703,93	6,32	808,78	0,240
55,00	20075,00	716,96	6,29	804,88	0,243
56,00	20440,00	730,00	6,26	801,00	0,247
57,00	20805,00	743,04	6,23	797,14	0,253

58,00	21170,00	756,07	6,20	793,29	0,258
59,00	21535,00	769,11	6,17	789,47	0,264
60,00	21900,00	782,14	6,14	785,66	0,268
61,00	22265,00	795,18	6,11	781,87	0,273
62,00	22630,00	808,21	6,08	778,10	0,280
63,00	22995,00	821,25	6,05	774,35	0,286
64,00	23360,00	834,29	6,02	770,62	0,291
65,00	23725,00	847,32	5,99	766,90	0,298
66,00	24090,00	860,36	5,96	763,20	0,305
67,00	24455,00	873,39	5,93	759,52	0,308
68,00	24820,00	886,43	5,90	755,86	0,313
69,00	25185,00	899,46	5,87	752,22	0,318
70,00	25550,00	912,50	5,85	748,59	0,324
71,00	25915,00	925,54	5,82	744,98	0,332
72,00	26280,00	938,57	5,79	741,39	0,337
73,00	26645,00	951,61	5,76	737,81	0,342
74,00	27010,00	964,64	5,73	734,25	0,348
75,00	27375,00	977,68	5,71	730,71	0,355
76,00	27740,00	990,71	5,68	727,19	0,361
77,00	28105,00	1003,75	5,65	723,68	0,368
78,00	28470,00	1016,79	5,62	720,19	0,375
79,00	28835,00	1029,82	5,60	716,72	0,383
80,00	29200,00	1042,86	5,57	713,26	0,389
81,00	29565,00	1055,89	5,54	709,83	0,396
82,00	29930,00	1068,93	5,52	706,40	0,403
83,00	30295,00	1081,96	5,49	703,00	0,411
84,00	30660,00	1095,00	5,46	699,61	0,417
85,00	31025,00	1108,04	5,44	696,23	0,425
86,00	31390,00	1121,07	5,41	692,88	0,433
87,00	31755,00	1134,11	5,39	689,53	0,439
88,00	32120,00	1147,14	5,36	686,21	0,447
89,00	32485,00	1160,18	5,33	682,90	0,454
90,00	32850,00	1173,21	5,31	679,61	0,460
91,00	33215,00	1186,25	5,28	676,33	0,467
92,00	33580,00	1199,29	5,26	673,07	0,474
93,00	33945,00	1212,32	5,23	669,82	0,484
94,00	34310,00	1225,36	5,21	666,59	0,492
95,00	34675,00	1238,39	5,18	663,38	0,500
96,00	35040,00	1251,43	5,16	660,18	0,506
97,00	35405,00	1264,46	5,13	657,00	0,512
98,00	35770,00	1277,50	5,11	653,83	0,518
99,00	36135,00	1290,54	5,08	650,68	0,524
100,00	36500,00	1303,57	5,06	647,54	0,53
101,00	36865,00	1316,61	5,03	644,42	0,54
102,00	37230,00	1329,64	5,01	641,31	0,54

103,00	37595,00	1342,68	4,98	638,22	0,55
104,00	37960,00	1355,71	4,96	635,14	0,56
105,00	38325,00	1368,75	4,94	632,08	0,57
106,00	38690,00	1381,79	4,91	629,03	0,57
107,00	39055,00	1394,82	4,89	626,00	0,58
108,00	39420,00	1407,86	4,87	622,98	0,59
109,00	39785,00	1420,89	4,84	619,97	0,59
110,00	40150,00	1433,93	4,82	616,98	0,60
111,00	40515,00	1446,96	4,80	614,01	0,61
112,00	40880,00	1460,00	4,77	611,05	0,62
113,00	41245,00	1473,04	4,75	608,10	0,62
114,00	41610,00	1486,07	4,73	605,17	0,63
115,00	41975,00	1499,11	4,70	602,25	0,64
116,00	42340,00	1512,14	4,68	599,35	0,64
117,00	42705,00	1525,18	4,66	596,46	0,65
118,00	43070,00	1538,21	4,64	593,58	0,66
119,00	43435,00	1551,25	4,61	590,72	0,67
120,00	43800,00	1564,29	4,59	587,87	0,68
121,00	44165,00	1577,32	4,57	585,04	0,68
122,00	44530,00	1590,36	4,55	582,21	0,69
123,00	44895,00	1603,39	4,53	579,41	0,70
124,00	45260,00	1616,43	4,50	576,61	0,71
125,00	45625,00	1629,46	4,48	573,83	0,72
126,00	45990,00	1642,50	4,46	571,07	0,72
127,00	46355,00	1655,54	4,44	568,31	0,73
128,00	46720,00	1668,57	4,42	565,57	0,74
129,00	47085,00	1681,61	4,40	562,84	0,74
130,00	47450,00	1694,64	4,37	560,13	0,75
131,00	47815,00	1707,68	4,35	557,43	0,75
132,00	48180,00	1720,71	4,33	554,74	0,76
133,00	48545,00	1733,75	4,31	552,07	0,77
134,00	48910,00	1746,79	4,29	549,40	0,78
135,00	49275,00	1759,82	4,27	546,76	0,78
136,00	49640,00	1772,86	4,25	544,12	0,79
137,00	50005,00	1785,89	4,23	541,50	0,79
138,00	50370,00	1798,93	4,21	538,88	0,80
139,00	50735,00	1811,96	4,19	536,29	0,81
140,00	51100,00	1825,00	4,17	533,70	0,81
141,00	51465,00	1838,04	4,15	531,13	0,82
142,00	51830,00	1851,07	4,13	528,57	0,82
143,00	52195,00	1864,11	4,11	526,02	0,83
144,00	52560,00	1877,14	4,09	523,48	0,84
145,00	52925,00	1890,18	4,07	520,96	0,84
146,00	53290,00	1903,21	4,05	518,44	0,85
147,00	53655,00	1916,25	4,03	515,94	0,85

148,00	54020,00	1929,29	4,01	513,46	0,86
149,00	54385,00	1942,32	3,99	510,98	0,86
150,00	54750,00	1955,36	3,97	508,52	0,87
151,00	55115,00	1968,39	3,95	506,06	0,87
152,00	55480,00	1981,43	3,93	503,62	0,88
153,00	55845,00	1994,46	3,91	501,20	0,88
154,00	56210,00	2007,50	3,90	498,78	0,89
155,00	56575,00	2020,54	3,88	496,37	0,89
156,00	56940,00	2033,57	3,86	493,98	0,89
157,00	57305,00	2046,61	3,84	491,60	0,90
158,00	57670,00	2059,64	3,82	489,23	0,90
159,00	58035,00	2072,68	3,80	486,87	0,91
160,00	58400,00	2085,71	3,78	484,52	0,91
161,00	58765,00	2098,75	3,77	482,18	0,91
162,00	59130,00	2111,79	3,75	479,86	0,92
163,00	59495,00	2124,82	3,73	477,55	0,92
164,00	59860,00	2137,86	3,71	475,24	0,93
165,00	60225,00	2150,89	3,69	472,95	0,93
166,00	60590,00	2163,93	3,68	470,67	0,93
167,00	60955,00	2176,96	3,66	468,40	0,94
168,00	61320,00	2190,00	3,64	466,14	0,94
169,00	61685,00	2203,04	3,62	463,89	0,94
170,00	62050,00	2216,07	3,61	461,66	0,94
171,00	62415,00	2229,11	3,59	459,43	0,95
172,00	62780,00	2242,14	3,57	457,22	0,95
173,00	63145,00	2255,18	3,55	455,01	0,95
174,00	63510,00	2268,21	3,54	452,82	0,96
175,00	63875,00	2281,25	3,52	450,63	0,96
176,00	64240,00	2294,29	3,50	448,46	0,96
177,00	64605,00	2307,32	3,49	446,30	0,96
178,00	64970,00	2320,36	3,47	444,15	0,97
179,00	65335,00	2333,39	3,45	442,00	0,97
180,00	65700,00	2346,43	3,44	439,87	0,97
181,00	66065,00	2359,46	3,42	437,75	0,97
182,00	66430,00	2372,50	3,40	435,64	0,97
183,00	66795,00	2385,54	3,39	433,54	0,98
184,00	67160,00	2398,57	3,37	431,45	0,98
185,00	67525,00	2411,61	3,35	429,37	0,98
186,00	67890,00	2424,64	3,34	427,30	0,98
187,00	68255,00	2437,68	3,32	425,24	0,98
188,00	68620,00	2450,71	3,31	423,19	0,98
189,00	68985,00	2463,75	3,29	421,15	0,99
190,00	69350,00	2476,79	3,27	419,12	0,99
191,00	69715,00	2489,82	3,26	417,10	0,99
192,00	70080,00	2502,86	3,24	415,09	0,99

193,00	70445,00	2515,89	3,23	413,08	0,99
--------	----------	---------	------	--------	------

Récapitulatif des résultats de probabilité de défaillance pour $i_{\text{corr}} = 0.75 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

Instant t [année]	instant t [jours]	n	poids a l'instant t [kg/ml]	Section câble [mm ²]	Pf
0,00	0,00	0,00	8,20	1050,00	0,08
1,00	365,00	13,04	8,10	1037,38	0,09
2,00	730,00	26,07	8,00	1024,92	0,09
3,00	1095,00	39,11	7,91	1012,61	0,10
4,00	1460,00	52,14	7,81	1000,44	0,10
5,00	1825,00	65,18	7,72	988,42	0,11
6,00	2190,00	78,21	7,63	976,54	0,11
7,00	2555,00	91,25	7,54	964,81	0,12
8,00	2920,00	104,29	7,44	953,22	0,12
9,00	3285,00	117,32	7,36	941,77	0,13
10,00	3650,00	130,36	7,27	930,45	0,13
11,00	4015,00	143,39	7,18	919,27	0,13
12,00	4380,00	156,43	7,09	908,23	0,14
13,00	4745,00	169,46	7,01	897,32	0,15
14,00	5110,00	182,50	6,92	886,53	0,16
15,00	5475,00	195,54	6,84	875,88	0,17
16,00	5840,00	208,57	6,76	865,36	0,18
17,00	6205,00	221,61	6,68	854,96	0,19
18,00	6570,00	234,64	6,60	844,69	0,21
19,00	6935,00	247,68	6,52	834,54	0,22
20,00	7300,00	260,71	6,44	824,52	0,22
21,00	7665,00	273,75	6,36	814,61	0,23
22,00	8030,00	286,79	6,29	804,82	0,24
23,00	8395,00	299,82	6,21	795,15	0,25
24,00	8760,00	312,86	6,14	785,60	0,27
25,00	9125,00	325,89	6,06	776,16	0,28
26,00	9490,00	338,93	5,99	766,83	0,29
27,00	9855,00	351,96	5,92	757,62	0,30
28,00	10220,00	365,00	5,85	748,52	0,31
29,00	10585,00	378,04	5,78	739,52	0,33
30,00	10950,00	391,07	5,71	730,64	0,34
31,00	11315,00	404,11	5,64	721,86	0,35
32,00	11680,00	417,14	5,57	713,19	0,37
33,00	12045,00	430,18	5,50	704,62	0,40
34,00	12410,00	443,21	5,44	696,15	0,42
35,00	12775,00	456,25	5,37	687,79	0,43
36,00	13140,00	469,29	5,31	679,53	0,45
37,00	13505,00	482,32	5,24	671,36	0,47
38,00	13870,00	495,36	5,18	663,30	0,48
39,00	14235,00	508,39	5,12	655,33	0,50

40,00	14600,00	521,43	5,06	647,45	0,52
41,00	14965,00	534,46	5,00	639,67	0,54
42,00	15330,00	547,50	4,94	631,99	0,56
43,00	15695,00	560,54	4,88	624,39	0,57
44,00	16060,00	573,57	4,82	616,89	0,60
45,00	16425,00	586,61	4,76	609,48	0,61
46,00	16790,00	599,64	4,70	602,16	0,63
47,00	17155,00	612,68	4,65	594,92	0,65
48,00	17520,00	625,71	4,59	587,78	0,67
49,00	17885,00	638,75	4,54	580,71	0,69
50,00	18250,00	651,79	4,48	573,74	0,71
51,00	18615,00	664,82	4,43	566,84	0,72
52,00	18980,00	677,86	4,37	560,03	0,74
53,00	19345,00	690,89	4,32	553,30	0,76
54,00	19710,00	703,93	4,27	546,66	0,77
55,00	20075,00	716,96	4,22	540,09	0,79
56,00	20440,00	730,00	4,17	533,60	0,81
57,00	20805,00	743,04	4,12	527,19	0,83
58,00	21170,00	756,07	4,07	520,85	0,84
59,00	21535,00	769,11	4,02	514,60	0,86
60,00	21900,00	782,14	3,97	508,41	0,87
61,00	22265,00	795,18	3,92	502,31	0,88
62,00	22630,00	808,21	3,88	496,27	0,89
63,00	22995,00	821,25	3,83	490,31	0,90
64,00	23360,00	834,29	3,78	484,42	0,91
65,00	23725,00	847,32	3,74	478,60	0,92
66,00	24090,00	860,36	3,69	472,85	0,94
67,00	24455,00	873,39	3,65	467,17	0,95
68,00	24820,00	886,43	3,60	461,55	0,95
69,00	25185,00	899,46	3,56	456,01	0,96
70,00	25550,00	912,50	3,52	450,53	0,97
71,00	25915,00	925,54	3,48	445,12	0,97
72,00	26280,00	938,57	3,43	439,77	0,98
73,00	26645,00	951,61	3,39	434,48	0,98
74,00	27010,00	964,64	3,35	429,26	0,99
75,00	27375,00	977,68	3,31	424,11	0,99
76,00	27740,00	990,71	3,27	419,01	0,99
77,00	28105,00	1003,75	3,23	413,98	0,99
78,00	28470,00	1016,79	3,19	409,00	0,99
79,00	28835,00	1029,82	3,16	404,09	0,99
80,00	29200,00	1042,86	3,12	399,23	0,99
81,00	29565,00	1055,89	3,08	394,44	1,00

Récapitulatif des résultats de probabilité de défaillance pour $i_{\text{corr}} = 1.43 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

t (ans)	instant t [jours]	n	poids a l'instant t [kg/ml]	Section câble [mm ²]	Pf
0,00	0,00	0,00	8,20	1050,00	0,084
1,00	365,00	13,04	8,01	1026,05	0,093
2,00	730,00	26,07	7,83	1002,65	0,103
3,00	1095,00	39,11	7,65	979,78	0,114
4,00	1460,00	52,14	7,48	957,43	0,122
5,00	1825,00	65,18	7,31	935,59	0,130
6,00	2190,00	78,21	7,14	914,25	0,144
7,00	2555,00	91,25	6,98	893,40	0,162
8,00	2920,00	104,29	6,82	873,02	0,181
9,00	3285,00	117,32	6,66	853,11	0,210
10,00	3650,00	130,36	6,51	833,65	0,224
11,00	4015,00	143,39	6,36	814,64	0,239
12,00	4380,00	156,43	6,22	796,06	0,267
13,00	4745,00	169,46	6,08	777,90	0,291
14,00	5110,00	182,50	5,94	760,16	0,313
15,00	5475,00	195,54	5,80	742,82	0,338
16,00	5840,00	208,57	5,67	725,88	0,374
17,00	6205,00	221,61	5,54	709,32	0,418
18,00	6570,00	234,64	5,41	693,14	0,453
19,00	6935,00	247,68	5,29	677,33	0,484
20,00	7300,00	260,71	5,17	661,89	0,520
21,00	7665,00	273,75	5,05	646,79	0,558
22,00	8030,00	286,79	4,94	632,04	0,594
23,00	8395,00	299,82	4,82	617,62	0,632
24,00	8760,00	312,86	4,71	603,53	0,670
25,00	9125,00	325,89	4,61	589,77	0,707
26,00	9490,00	338,93	4,50	576,32	0,737
27,00	9855,00	351,96	4,40	563,17	0,772
28,00	10220,00	365,00	4,30	550,33	0,809
29,00	10585,00	378,04	4,20	537,77	0,837
30,00	10950,00	391,07	4,10	525,51	0,869
31,00	11315,00	404,11	4,01	513,52	0,886
32,00	11680,00	417,14	3,92	501,81	0,908
33,00	12045,00	430,18	3,83	490,36	0,938
34,00	12410,00	443,21	3,74	479,18	0,951
35,00	12775,00	456,25	3,66	468,25	0,968
36,00	13140,00	469,29	3,57	457,57	0,977
37,00	13505,00	482,32	3,49	447,13	0,986
38,00	13870,00	495,36	3,41	436,93	0,991
39,00	14235,00	508,39	3,33	426,97	0,993
40,00	14600,00	521,43	3,26	417,23	0,994
41,00	14965,00	534,46	3,18	407,71	0,996

Akli et Rihane, « analyse fiabiliste du comportement non linéaire d'un réservoir surélevé sur pilotis », 2017.

Cours de béton précontraint, Mr kachi

Cours d'ouvrages hydrauliques, Mr HAMMOUM.

Cours d'hydraulique.

Cours d'analyse.

DJEDDI Lamine, « Contribution à l'étude mécano-fiabiliste des câbles de précontrainte des ouvrages d'art, application au contrôle par émission acoustique », 2013.

HAMMOUM Hocine, thèse magister, 1998.

M. Otieno et Al, «Prediction of corrosion rate in reinforced concrete structures – a critical review and preliminary results», 2012.

MILOUDI Nassima*, BOUZELHA Karima*, HAMMOUM Hocine*, AOUES Younes ** & AMIRI Ouali, «ANALYSE DETERMINISTE D'UN RESERVOIR SURELEVE EN BETON TENANT COMPTE DE LA CORROSION », 2018.

Seguel et Keddou, « Calcul d'un réservoir circulaire en béton précontraint posé au sol de capacité de 5000 m³ », 2015.