



ZiE
Fondation ZiE

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

**THEME : ELABORATION D'UN OUTIL DE CALCUL EN BETON ARME ET SON
APPLICATION A UN OUVRAGE.**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER2 EN GENIE CIVIL**



Présenté et soutenu publiquement le [Date] par :

ISMAIL HAMDAN Haroun

Dirigés par : **Mr. MAHAMAT HABIB** (INGENIEUR CIVIL/SNCC)
Et **Mr. THIAM Sina** (INFORMATICIEN ZiE)

Promotion [2010/2012]

« Le savoir se trouve en ville mais piégé par l'individualisme, l'ignorance est au village mais masquée par la solidarité»

Proverbe des arabes nomades tchadiens

REMERCIEMENTS/ DEDICACES

A un moment pareil de la vie, le sentiment envers ceux qui ont contribué de près ou de loin, directement ou indirectement ne passe jamais inaperçu et mérite d'être exprimé clairement.

Je dédie ce rapport à tous les membres de ma famille qui m'accompagnaient et me soutenaient sans réserve depuis mes premiers pas:

A mon cher père HAMDAN Haroun (paix à son âme) qui m'avait vu s'inscrire mais ne me voit plus finir. Je lui dirais, son esprit est à mes côtés.

A mes chères mères KOUBRA Ahamat et AGHE Youssouf, qui malgré la distance et les circonstances, n'ont jamais cessé de me prodiguer des conseils et m'intégrer dans leurs prières quotidiennes. Je leurs serais éternellement reconnaissant.

A ma femme, FATIMA Nazal, pour l'entente et la compréhension qui ont régné dans notre foyer durant toutes ces années d'études, passées ensemble en dehors de chez nous. Ta contribution pour ma réussite pèse lourd sur ma balance d'amour et de considération.

A mon fils aîné ABDASSALAM, né à Kamboinsin, au moment où je m'apprêtais à décrocher mon Bachelor, je lui dirai, ton arrivée dans ce monde m'a réconforté et m'a motivé à continuer le Master, je te promet une éducation conséquente et te suivrais dans toutes tes réussites.

A ma fille KOUBRA qui vient de naître, au moment où je m'apprête à soutenir, je lui souhaite la bienvenue dans ce monde. Je remercie du fond de mon cœur Mes frères ASSALEH Hamdan; AHAMAT Hamdan et HABIB Hamdan sans pour leur assistance morale et financière.

A mes Encadreurs, Mr THIAM Sina(Zie) et MAHAMAT Habib(SNCC), j'adresse mes satisfactions et remerciements quant au suivi et conseils à l'accomplissement de ce travail.

Au département de Génie civil, à la tête duquel est Monsieur ISMAELA Gueye, j'exprime mes gratitude pour avoir validé mon thème de stage. Vous m'avez offert l'occasion de me présenter sur le vaste terrain de recherche.

Aux professeurs du ZIE qui ont donné le meilleur d'eux-mêmes pour me former, il serait ingrat de vous ignorer. Vos polycopiés des cours constituent pour moi un trésor en Or, à conserver jalousement.

Enfin au seigneur de l'univers, Dieu le tout puissant, (sans distinction des religions), gloire et reconnaissance pour nous augmenter d'avantage les savoirs.

RESUME

Ce rapport de mémoire explique les procédures et les techniques utilisées pour la mise en place d'un programme sur Excel qui traite une bonne partie des questions de structure en béton armé. Grace aux fonctions et boîte d'outils du DEVELOPPEUR EXCEL, les règles et organigrammes du BAEL sont traduits en un outil de dimensionnement pour le compte de l'entreprise SNCC.

L'application de cet outil sur des ouvrages réels a visé : la structure BA d'un complexe scolaire et un mur de soutènement au bord du fleuve CHARI. Le calcul est fait avec deux outils différents.

Ainsi, les deux résultats parallèles furent confrontés les uns aux autres pour pouvoir dégager les erreurs qu'on commet par rapport à l'outil moderne (ROBOT ou ARCHE) en se fiant à notre programme établi.

Après analyse et interprétation des résultats, nous nous sommes rendu compte que les différents décalages remarqués sont majorateurs. Ce qui conduit à dire que l'outil sur dimensionne légèrement. Mais dans certaines parties, les résultats de deux outils se côtoient au zéro près.

Mots Clés :

1 - *Développeur Excel*

2 - *BAEL*

3 - *SNCC*

4 - *ROBOT*

5 - *CHARI*

ABSTRACT

This report explains the technics and ways used to create a programmed tool with advanced EXCEL. This tool groups calculation process to most of structures elements in reinforced concrete. By using high functions of Excel, most of French rules for reinforced concrete calculation (BAEL) have been presented in a same designing program. This work belongs to a Chadian contractor called SNCC.

We have used this one to design technically two projects: The first is a group of class room building and the second is a support wall in reinforced concrete at the border of CHARI River, in Ndjamen/Chad. So some results obtained with two modern tools (ARCHE and ROBOT) were compared with those given by ours to show the errors between the two ways. After analysis of results, we have remarked that the programmed tool presents a little high value than the modern tools. But for some of results, the values are look like the same.

Key words:

1 - *ADVANCED EXCEL*

2 - *REINFORCED CONCRETE RULES (BAEL)*

3 - *SNCC*

4 - *ROBOT*

5 - *CHARI*

LISTE DES ABREVIATIONS

2IE : Institut International d'ingénierie de l'eau et de l'environnement

SNCC : Société nationale de commerce et de construction

BAEL : Béton armé aux états limites

BA : Béton armé

NF06-001 : Norme française relative aux charges

MPa : Méga pascal

HA : Haute Adhérence (aciers)

ELS : Etat limite des services

ELU : Etat limite ultime

f_{c28} : Résistance caractéristique du béton à vingt huit jours

l_0 : hauteur libre d'un poteau

l_f : longueur de flambement

λ : Elancement mécanique

B : Section du béton

B_r = Section réduite du béton

A_{st} = Section d'acier théorique

A_t = section d'aciers transversaux

A_{smin} = Section minimale d'acier

A_{smax} : Section maximale d'acier

S_t : Espacement des cadres en dehors de la zone de recouvrement

C : Espacement des barres verticales

μ_u : Moment réduit ultime

μ_{ulim} : Moment limite ultime

Z_u : bras de levier à l'ELU

Z_l : bras de levier à l'ELS

S_{t0} : Le double de l'espacement du premier cadre

τ_{u0} : Contrainte tangentielle

τ_{ulim} : Contrainte tangentielle limite

Sommaire

Remerciements/ Dédicaces	iii
liste des abréviations	v
LISTE DES TABLEAUX	7
LISTE DES FIGURES	8
<i>I. introduction</i>	9
<i>II. Hypothèse et Objectifs</i>	10
<i>III. méthodes des calculs et procédure informatique</i>	13
IV. APPLICATIONS ET RESULTATS	28
<i>V. Discussion et Analyses des résultats</i>	34
<i>VI. conclusion</i>	38
<i>VII. Recommandations - Perspectives</i>	39
VIII. ANNEXE1 : DIMENSIONS DES SECTIONS DE BETON CONSIDEREES ...	41
IX. ANNEXE2 : RESULTAT GLOBAL DES CHARGES EN TETE DES POTEAUX DONNES PAR LE PROGRAMME	41
X. ANNEXE 3 : capture d'image d'une feuille de calcul(poteau : P1-fond.)	43
XI. ANNEXE 4 : CAPTURE D'IMAGE D'UN CROQUIS D'EXECUTION (poteau : P1-fond.)	43
XII. ANNEXE5 : capture d'image d'une feuille des sollicitations	44
XIII. ANNEXE 6 : capture d'image d'une feuille de calcul D'une poutre	44
XIV. ANNEXE3 : RESULTATS DES CHARGES APPLIQUEES EN TETE DES POTEAUX DONNES PAR ROBOT DDC	45
XV. ANNEXE4 : PHOTO AERIENNE DU FLEUVE CHARI	47
XVI. ANNEXE5 : RESULTAT DU FERRAILLAGE DU TALON ET DU PATIN	47
XVII. ANNEXE5 : PLAN DE FERRAILLAGE DU MUR DE SOUTÈNEMENT	49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau1: épaisseurs des dalles considérées

Tableau2: charges d'exploitations considérées

Tableau3: charges permanentes considérées

Tableau4: poids de maçonnerie considérés

Tableau5: dimensions des sections de béton considérées

Tableau6: exemple de résultat d'une descente des charges

Tableau7: résultat des efforts normaux

Tableau8: résultat des sections d'aciers tendus pour les poteaux de fondation

Tableau9: résultat des dimensions des semelles

Tableau10: coordonnées des points prélevés sur l'emprise de l'ouvrage

Tableau11: résultat des sections d'aciers tendus du mur calculé de deux façons

Tableau12: erreurs exprimées en pourcent pour les décalages entre les dimensions des semelles

Tableau13: erreurs exprimées en pourcentage pour les décalages entre les dimensions des semelles

Tableau14: décalage entre les valeurs des sections d'aciers calculées différemment pour le mur

LISTE DES FIGURES

Figure1: Transformation des charges trapézoïdales et triangulaires en charges linéaires maximales :

Figure2: Coefficients forfaitaires pour les moments sur appuis

Figure3: Diagramme de moment et effort tranchant selon la méthode forfaitaire

Figure4: schéma statique d'une poutre selon la méthode de Caquot

Figure5: procédure du programme pour un calcul de descente des charges

Figure6: géométrie d'un mur de soutènement

Figure7: contrainte s'exerçant sur la semelle d'un mur de soutènement

Figure8: diagramme des contraintes sur le voile d'un mur de soutènement

Figure9: charges linéaires sur le talon non complètement comprimé d'un mur de soutènement

Figure10: charges linéaires sur le talon complètement comprimé d'un mur de soutènement

Figure11: plan de coffrage du complexe scolaire

Figure12: photos aériennes de la partie sévèrement érodée du fleuve Chari tirées de Google earth

Figure13: Profil en travers de la partie érodée

Figure12: Courbe de décalage entre les deux charges permanentes

Figure13: Courbe de décalage entre les deux charges d'exploitation

Figure 14: Courbe de décalage entre les deux efforts normaux

Figure15: décalage entre les deux sections d'aciers

Figure16: décalage entre les deux sections d'aciers

I. INTRODUCTION

A. Contexte

Le thème soumis à notre étude porte sur l'élaboration d'un outil de calcul en béton armé et son application à des ouvrages.

A l'heure où le monde de l'ingénierie se rapproche de plus en plus et s'accroche aux divers outils de l'informatique, l'ingénieur civil devrait, de son côté savoir tirer profit de cette manne. Sachant que les innombrables formules de dimensionnement nécessitent une automatisation adaptée à son exigence qui peut être spécifique, il pourrait maîtriser pour de bon les erreurs de calcul liées à ses tâches quotidiennes.

Le thème s'inscrit donc dans le cadre d'une consultation demandée par la société nationale de commerce et de construction (SNCC). La direction technique souhaiterait regrouper autour d'un programme unique, les tâches quotidiennes auxquelles sont soumis les conducteurs des travaux à savoir les détails d'exécution au niveau de ferrailages ; et aussi clarifier les plans béton armé aux destinataires qui sont les ouvriers qualifiés, pour la plupart, sans formation professionnelle.

B. Problématique

Des travaux similaires ont été déjà réalisés à 2^{ie}, surtout dans le domaine de l'eau en utilisant les fonctions avancées de MS Excel. Je fais allusion aux outils mis sur pied par Mr ANGELBERT (Professeur à 2^{IE}), Bertrand Côté (ingénieur, Université de Sherbrooke) traitant tous des questions en dimensionnement hydraulique. Mais pour ce qui est du Béton armé, à part les petites automatisations faites par les étudiants, par élément d'ossature, le seul programme de BA utilisé par les étudiants à 2^{ie}, durant les projets, est celui de Mr CHENAL Jean-Marc datant de 03/03/2003. Il est bien clair que son programme aborde une bonne partie des éléments de structure mais n'intègre pas un modèle de descente des charges et les calculs des sollicitations qui sont, selon moi, d'une importance capitale. Aussi les croquis ne sont pas suffisants pour faciliter la démarche d'utilisation à l'exploitant.

Le besoin au sein de la SNCC est donc né du fait que la société soumissionne souvent pour des marchés dits « clé en main » où la plupart de la conception et détails d'exécution lui incombent. De même, la direction technique manque d'ingénieurs qui maîtrisent à fond les logiciels de calcul tels que ROBOT et ARCHE ou du moins hésitent à appliquer les résultats des calculs sans contrôle parallèle, craignant un mauvais paramétrage. A cela s'ajoute le coût de la licence. Une forte raison qui motive la société à exprimer ce besoin, c'est aussi le fait

que plus de 80% de ses marchés sont des bâtiments scolaires, des bureaux administratifs et des centres de santé qui dépassent rarement les deux niveaux. Aussi les ouvriers/ferrailleurs ne sont pas très qualifiés pour interpréter les plans générés par robot parce qu'ils n'ont pas suivi une formation professionnelle dans le domaine. Ils ont appris le métier sur le chantier. Ceci amène à recruter des techniciens qui devront être en permanence avec les ouvriers sur le site. Le cout engendré sera énorme. Ce qui n'est pas sans incidence financière.

II. HYPOTHESE ET OBJECTIFS

A. Hypothèse

1. Hypothèses sur la descente des charges

Le programme prend en charge tous les bâtiments à niveau inférieur ou égal à cinq étages (R+5) dont la structure est en béton armé. Plus spécifiquement, des bâtiments dont les pièces présentent des formes rectangulaires ou de surface géométriquement calculable. De même, les épaisseurs des dalles, les charges d'exploitation et les poids spécifiques des matériaux couramment rencontrés sont stockés dans une feuille créée pour les données. Ils sont liés à des menus de choix. Ainsi, après consultation des archives de dimensionnement de l'entreprise et considérant la norme NF06-001, il se trouve que les données et les charges des matériaux considérés par la SNCC tournent autour des valeurs dont les listes suivent:

1. Hypothèse à propos de calcul des efforts normaux sur Poteaux en compression centrés

Epaisseurs des dalles considérées

Tableau1 : épaisseurs des dalles considérées

EPAISSEURS DES DALLES PLEINES EN cm			
10	12	15	16
18	20	25	30
EPAISSEURS DES DALLES CREUSES EN cm			
12+4	16+4	20+4	25+5

Charges d'exploitations considérées

Tableau2 : charges d'exploitations considérées

CHARGES D'EXPLOITATION EN KN/m ²				
1	1.5	2	2.5	3.0
3.5	4	4.5	5	5.5
6				

Charges permanentes

Tableau3 : charges permanentes considérées

POIDS SPECIFIQUES DES MATERIAUX	
BETON ARME	25KN/m ³
CHAPE EN MORTIER DE CIMENT	1KN/m ²
DALLE FLOTTANTE EN CIMENT	1.1KN/m ²
CARRELAGE EN GRES CERAMIQUE DE 9mm	0.6KN/m ²
GRES CERAMIQUE/PIERRE DURE DE 15mm	1KN/m ²

2. Hypothèse à propos des sollicitations sur poutres continues

Les valeurs choisies des tableaux ci-dessus restent aussi valables pour la descente des charges sur les poutres continues. Tout de même pour le mur, les valeurs des charges des différents moules des briques utilisés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau4 : poids de maçonnerie considérés

POIDS DE MACONNERIE EN KN/m ²	
briques cuites de 22	3.24
parpaing de 15	6
parpaing de 20	21
briques pleines	14

Les formes des surfaces d'influence considères transmises aux poutres continues sont :

- Des panneaux trapézoïdaux transmis de deux cotés
- Des panneaux trapézoïdaux transmis d'un seul coté
- Des panneaux triangulaires transmis de deux cotés
- Des panneaux triangulaires transmis d'un seul coté

2. Hypothèse sur le Calcul des sections théoriques d'aciers

Il existe des hypothèses générales telles que les dimensions des sections (rectangulaire ou circulaire) du béton, les résistances caractéristiques du béton à 28jours couramment rencontrés, et les nuances de l'acier. Ces valeurs sont transformés en zone liste pour éviter la saisie manuelle. Il y a aussi des hypothèses spécifiques pour certains éléments de structure.

3. Dimensions possibles des sections du béton (annexe1)

4. Hypothèse sur les caractéristiques des matériaux et d'autres considérations

- Les valeurs des résistances caractéristiques du béton à 28 jours f_{c28} sont fixés à : **15MPa ;18MPa ;20MPa ;22MPa ;25MPa ;27MPa ;30MPa ;35MPa ;40MPa ;45MPa ;50MPa ;55MPa et 60MPa**
- Les diamètres disponibles au niveau du choix des aciers sont : **HA6 ; HA8 ; HA10 ; HA14 ; HA20 et HA25.**
- Les nuances d'acier prises en charge sont : **fe400 et fe500**
- Les poteaux sont en compression centrée
- Les poutres sont en flexion simple sans aciers comprimés (en cas des besoins d'aciers comprimés, le programme renvoie l'alerte « section de béton insuffisante ! »)
- Les semelles de fondation sont les semelles isolées et les semelles filantes
- Les dalles sont continues et portant dans les quatre sens (au cas où elles portent dans un sens unique, elles seront traitées comme les poutres continues)

5. Hypothèse de calcul pour le mur de soutènement

Les hypothèses citées ci-dessus seront aussi considérées pour le mur

- Mur rectangulaire
- Sol amont à couche unique et de surface horizontale
- Sollicitations calculées à l'ELS

B. Objectifs

a. Objectif global

Automatiser les calculs et une partie des détails d'exécution d'éléments de structure en béton armé, ordinairement rencontrés sur le chantier de bâtiment.

b. Objectifs spécifiques

L'élaboration d'un programme Excel avec une interface présentant trois grandes parties :

Descente des charges et calcul des sollicitations conduisant à des programmes traitant :

- le calcul des efforts normaux sur les poteaux,
- les sollicitations (Moments fléchissant et effort tranchant) au niveau des poutres continues à deux et trois travées.

Calcul des sections d'aciers aux niveaux des éléments de structure conduisant à des programmes traitant :

- le dimensionnement d'un poteau sollicité en compression centrée avec détails d'exécution
- le dimensionnement d'une poutre continue avec détails d'exécution
- le dimensionnement d'une semelle isolée avec les détails d'exécution
- le dimensionnement d'une dalle pleine avec les détails d'exécution

Vérification et dimensionnement d'un mur de soutènement avec les détails d'exécution et cubature.

- Vérification de la stabilité
- Ferrailage du voile
- Ferrailage du talon
- Ferrailage du patin

III. METHODES DES CALCULS ET PROCEDURE INFORMATIQUE

A. METHODES DE CALCULS

a. calcul des efforts normaux sur les poteaux

Les calculs se font du niveau supérieur au niveau inférieur en cumulant les charges et surcharges verticalement. Ici l'exemple suivant présente la méthode de calcul adoptée :

1. Charges permanentes

Poids propre terrasse/dalle = surface d'influence x épaisseurs dalle x 25KN/m³

Etanchéité sur terrasse = surface d'influence x poids surfacique étanchéité

Enduit sur dalle = surface d'influence x poids surfacique enduit

Enduit plâtre sous dalle = surface d'influence x poids surfacique enduit plâtre

Retombée de la poutre = longueur développée de la poutre x sections de la retombée x 25KN/m³

Poteau en étage courant = hauteur sous poutre x sections du poteau x 25KN/m³

2. Charges d'exploitation

Sur terrasse ou dalle d'étage courant = surface d'influence x charge d'exploitation sélectionnée

Tableau 6 : exemple de résultat d'une descente des charges

	CHARGES PERMANENTES : G(KN)	CHARGES D'EXPLOITATIONS: Q(KN)	NU	Nser
	Poids propre terrasse	Sur terrasse :		
	Etanchéité sur terrasse			
Nième	Enduit plâtre sous terrasse			
	Retombée de la poutre			
	Poteau en étage courant			
	Total G :	Total Q :		
	Venant de l'étage précédent	Venant de l'étage précédent:		
	Poids propre dalle	Sur dalle d'étage courant :		
N-i	Enduit sur dalle			
	Enduit sous dalle			
	Retombée de la poutre			

Poteau en étage courant

Total G :

Total Q:

b. Calculs des sollicitations

1. Transformation des charges trapézoïdales et triangulaires en charges linéaires maximales :

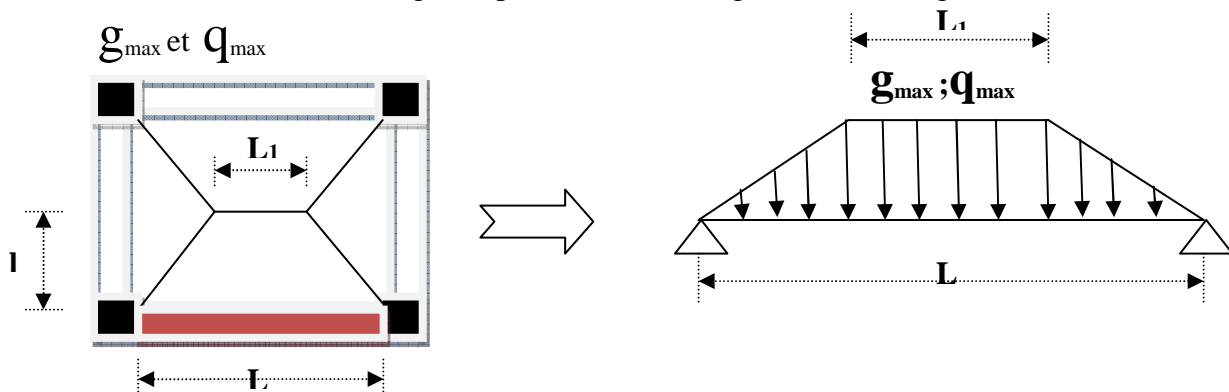


Figure1 : Transformation des charges trapézoïdales et triangulaires en charges linéaires maximales :

$$G = (L + L_1) \times l \times \text{épaisseurs de la dalle} \times 25 \text{KN/m}^3 / 2 \quad \text{Ou} \quad G = g_{\max} \times (L + L_1) / 2$$

$$Q = (L + L_1) \times l \times \text{Charge d'exploitation} / 2 \quad \text{Ou} \quad Q = Q_{\max} \times (L + L_1) / 2$$

Il vient donc : $g = g_{\max} = l \times \text{épaisseur de la dalle} \times 25$ et $Q = Q_{\max} = l \times \text{charge d'exploitation}$ pour les charges trapézoïdales. De la même démarche nous déduisons le cas des charges triangulaires: $g = g_{\max} = l \times \text{épaisseur de la dalle} \times 25$ et $Q = Q_{\max} = l \times \text{charge d'exploitation}$

2. Calcul des moments et efforts tranchants en travées et appuis des poutres continues

Le calcul des moments se traite automatiquement selon deux méthodes dont le choix s'effectue en cochant une des deux cases : méthode forfaitaire et méthode de Caquot.

Trois cas seront traités : poutre à une, deux et trois travées.

→ Méthode forfaitaire

Cette méthode est destinée aux planchers à charge d'exploitation modérée

- Coefficients forfaitaires pour les moments sur appuis

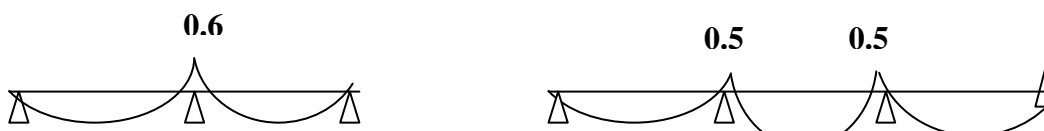


Figure2 : Coefficients forfaitaires pour les moments sur appuis

- Les moments en travée sont donnés par les conditions suivantes :

$$M_t \geq \text{Max} \left\{ 1.05M_0 ; (1+0.3\alpha)M_0 \right\} - \frac{M_w + M_e}{2}$$

$$M_t \geq \frac{1+0.3\alpha}{2} M_0 \text{ dans une travée intermédiaire}$$

$$M_t \geq \frac{1.2+0.3\alpha}{2} M_0 \text{ dans une travée de rive}$$

M_w et M_e sont les valeurs absolues des moments sur appuis de gauche(w) et de droite(e) ,

$$M_0 = \frac{pl^2}{8} \text{ est le moment isostatique d'une travée isostatique}$$

$$\alpha = \frac{QB}{G+QB}$$

▪ Effort tranchant

$$V_w = -2 \frac{M_w + M_t}{a} \text{ et } V_e = 2 \frac{M_w + M_t}{b}$$

Avec :

$$a = L \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{M_e + M_t}{M_w + M_t}}} \text{ et } b = a = L \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{M_w + M_t}{M_e + M_t}}}$$

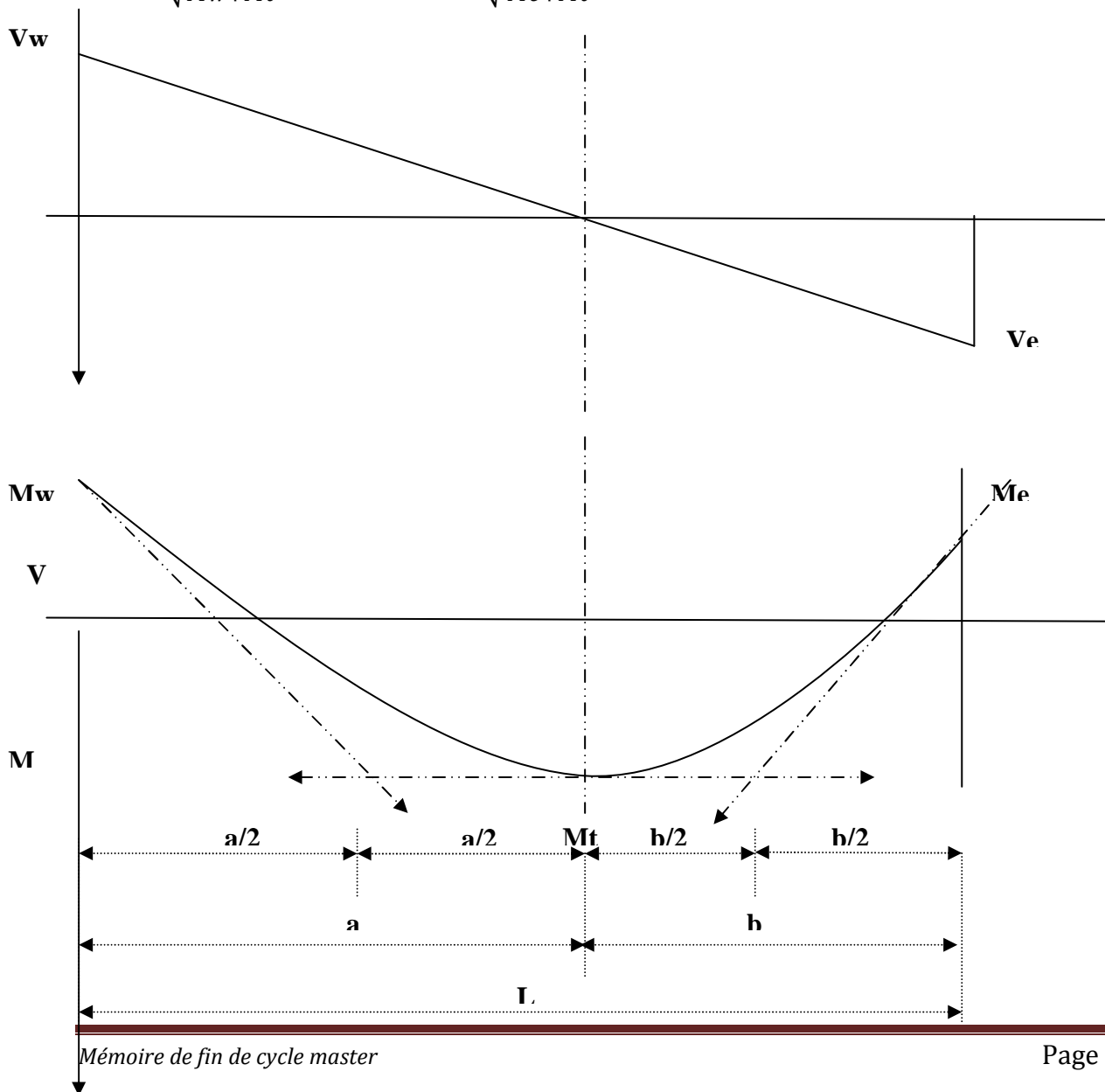


Figure3 : Diagramme de moment et effort tranchant selon la méthode forfaitaire

→ **Méthode de Caquot**

Cette méthode convient aux planchers à charge d'exploitation relativement élevée. Elle est en général destinée aux ouvrages spéciaux. Les moments en appuis sont majorés et dépassent, en valeurs absolues les moments en travées ce qui est le contraire dans le cas de la méthode forfaitaire.

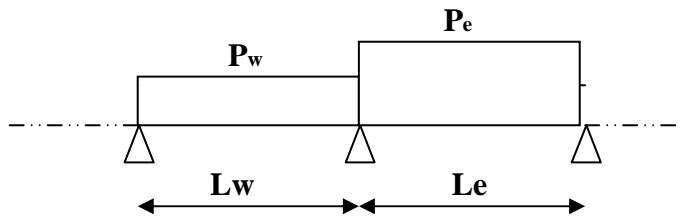


Figure4: schéma statique d'une poutre selon la méthode de caquot

$$\text{Moment sur appuis : } \mathbf{M_a} = \frac{P_w l_w^3 + P_e l_e^3}{8.5(l_w + l_e)}$$

$$\text{Moment en travée : } \mathbf{M_t} = \mathbf{M_w} - \mathbf{V_w} x_0 - \frac{q x_0^2}{2}$$

x_0 est l'abscisse (à partir de l'appui de gauche), où le moment est maximal : $x_0 = - \frac{V_w}{q}$

$$\text{Efforts tranchants : } \mathbf{V_w} = \frac{M_w - M_e}{l} - \frac{qL}{2}$$

$$\mathbf{V_e} = \mathbf{V_w} + qL$$

Procédure du programme traitant la descente des charges :

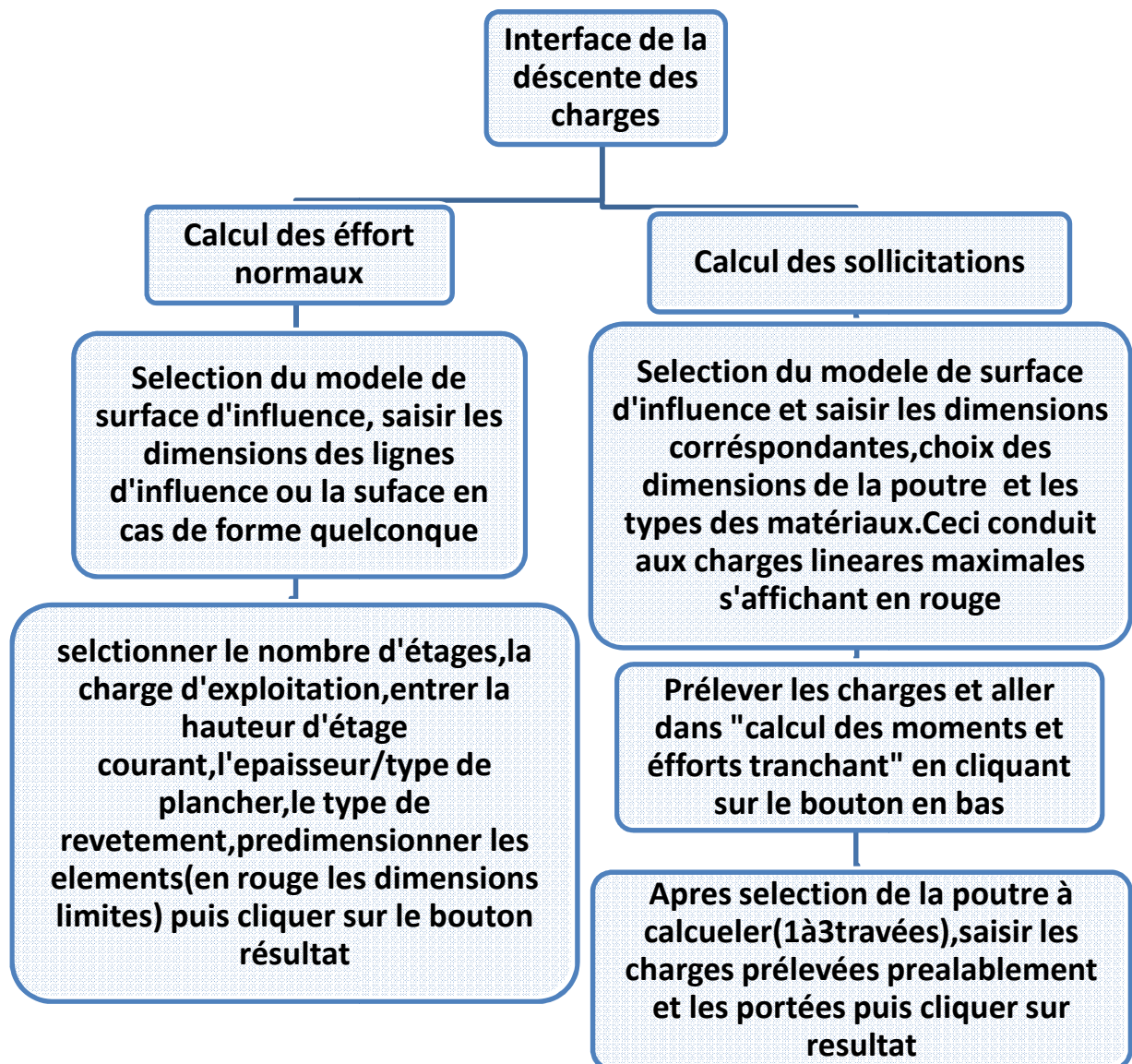


Figure5: procédure du programme pour un calcul de descente des charges

c. Méthode de calcul des sections d'aciers au niveau des éléments de structure

Nous nous sommes basées sur les canevas des calculs le plus rationnels, surtout les méthodes rationnelles utilisant des équations programmables. En se basant sur le BAEL91 modifié 99.

1. dimensionnement d'un poteau sollicité en compression centrée

DONNEES :

- Saisir l_0, l
- Choix de des dimensions : a, b ou D
- Choix de f_{c28} et f_e
- Saisir l'enrobage
- Choix de type d'application de la charge
- Saisir l'effort normal

RESULTATS :

Longueur de flambement : $l_f = 0.7l_0$

Elancement : $\lambda = \frac{l_f \sqrt{12}}{a}$ pour une section rectangulaire $\lambda = \frac{4l_f}{D}$ pour une section circulaire

Paramètre : $\alpha = \frac{0.85}{1 + 0.2 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2}$ si $\lambda \leq 50$ et $\alpha = 0.6 \left(\frac{50}{\lambda}\right)^2$ si $50 < \lambda \leq 70$

Section théorique d'aciers : $A_{st} = \frac{\gamma_s}{f_e} \left(\frac{Nu}{\alpha} - \frac{Brf_{c28}}{0.9\gamma_b} \right)$

$B_r = (a - 0.02) \times (b - 0.02)$

Diamètre des cadres : $A_t = \frac{\phi}{3}$

CONTROLE ET DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Section minimale d'aciers : $A_{smin} = \min \{4\text{cm}^2/\text{m de parement} ; 0.2\%B\}$

Section maximale d'aciers : $A_{smax} = 5\%B$

Avec B la section du béton

Espacement des cadres hors zone de recouvrement: $S_t = \min \{15\phi ; 40\text{cm} ; a+10\}$

Espacement des cadres en zone de recouvrement: Disposer d'au moins trois cadres

Espacement des barres : $C \leq \min(a + 10; 40\text{cm})$

DONNEES :

- Choisir le type de fissuration
- Saisir la portée L_{i-1} (celle qui précède la portée à dimensionner)
- Saisir la portée L_i (la portée à dimensionner)
- Choix des dimensions : b et h
- Choix de f_{c28} et f_e
- Saisir l'enrobage
- Saisir le moment maximal en travée (en cas de ferrailage en travée) ou le moment maximal en appui (en cas de ferrailage en appui)
- Saisir l'effort tranchant maximal (uniquement en cas de ferrailage en travée)

RESULTATS : si ELU

- Moment réduit : $\mu_u = \frac{Mu}{bd^2 f_{bu}}$
- avec $d \approx 0.9d$
- Moment réduit critique $\mu_{ulim} = 0.391$ pour $f_e 400$

0.371 pour $f_e 500$

- Paramètre $\alpha = 1.25 (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u})$
- Bras de levier $Z_u = d (1 - 0.4\alpha)$
- Section théorique d'aciers : $A_{st} = \frac{Mu}{Z \sigma_{st}}$
- Diamètre des cadres : $At = \frac{\phi}{3}$

RESULTATS : si ELS

- Paramètre $\alpha_1 = \frac{15\sigma_{bc}}{15\sigma_{bc} + \sigma_{st}}$
- Contrainte du béton $\sigma_{bc} = 0.6f_{bc}$
- Moment critique :
$$M_{rb} = \frac{1}{2}bd^2\alpha_1 \left(1 - \frac{\alpha_1}{3}\right)\sigma_{bc}$$
- Bras de levier : $Z_1 = d \left(1 - \frac{\alpha_1}{3}\right)$
- Section d'aciers tendus : $A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_1 \sigma_{st}}$

CONTROLE ET DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

- μ_u doit rester inférieur à μ_{ulim} sinon le programme affiche « Redimensionner la section » car les aciers comprimés sont complètement évités.
- Section minimale d'aciers : $A_{smin} = bd \frac{0.23ftj}{f_e}$
- Espacement des cadres : premier cadre situé à $\frac{St_0}{2}$ avec $St_0 \leq \frac{0.9Atfe/\gamma_s}{b_0(\tau_{u0} - 0.3ftj)}$

Doit rester inférieur à ou égale à min (0.9d ; 40cm)
- Contrainte tangentielle : $\tau_{u0} = \frac{Vu_0}{b_0d}$ doit rester inférieur ou égale à $\tau_{ulim} = \min(0.13f_{c28} ; 5MPa)$ en fissuration peu préjudiciable, sinon $\tau_{ulim} = \min(0.1f_{c28} ; 5MPa)$

Les autres espacements obéissent à la règle de Caquot

3. Dimensionnement d'une semelle isolée

DONNEES :

- sélection du type de semelles (isolée ou filante)
- Saisir les dimensions (axb) du poteau reposant sur la semelle
- Saisir les contraintes limites admissibles à l'ELU et à l'ELS
- Saisir les efforts normaux à l'ELU et à l'ELS
- sélection de type de répartition des contraintes (diagramme rectangulaire ou bi-triangulaire)
- sélection de fc28
- Sélection de la nuance f_e

RESULTATS : si semelle isolée

- Répartition rectangulaire des contraintes

$$\text{Dimensions : } A \geq \sqrt{\frac{a P}{b \sigma}} \text{ et } B \geq \sqrt{\frac{b P}{a \sigma}}$$

$$e \geq \text{Max}\{15\text{cm}; (6\phi + 6\text{cm}) \text{ ou } ((12\phi + 6\text{cm}))\}$$

$$6\phi + 6\text{cm} \text{ (si barres sans crochets)}$$

$$12\phi + 6\text{cm} \text{ (si barres avec crochets)}$$

$$\text{Hauteur utile : } \frac{B-b}{4} \leq (da \text{ et } db) \leq A - a$$

$$h = d + \frac{\phi}{2} + \text{enrobage (pris égal à 3cm)}$$

$$\text{Sections d'aciers : } A_a = \frac{Pu(A-a)}{8d\sigma} \text{ et } A_b = \frac{Pu(B-b)}{8d\sigma}$$

- Répartition bi-triangulaire des contraintes

$$\text{Dimensions : } A \geq \sqrt{\frac{3 a P}{2 b \sigma}} \text{ et } B \geq \sqrt{\frac{3 b P}{2 a \sigma}}$$

Sections d'aciers

$$A_{a\text{-rep}} = \frac{9 B}{8 A} A a$$

$$A_{b\text{-rep}} = \text{Max}\left(1; \frac{9 A}{8 B}\right) A b$$

$$\text{NB: } \frac{P}{\sigma} = \text{max} \left(\frac{P_{ser}}{\sigma_{ser}} ; \frac{P_u}{\sigma_u} \right)$$

RESULTATS : si semelle filante

- Répartition rectangulaire des contraintes

$$\text{Dimensions : } B \geq \text{max} \left(\frac{P_{ser}}{\sigma_{ser}} ; \frac{P_u}{\sigma_u} \right)$$

$$e \geq \text{Max}\{15\text{cm}; (6\phi + 6\text{cm}) \text{ ou } ((12\phi + 6\text{cm}))\}$$

$$\text{Hauteur utile : } d \geq \frac{B-b}{4}$$

$$h = d + \frac{\phi}{2} + \text{enrobage (pris égal à 3cm)}$$

$$\text{Sections d'aciers : } A_s = \frac{Pu(B-b)}{8d\sigma}$$

- Répartition bi-triangulaire des contraintes

$$\text{Dimensions : } B \geq \text{max} \left(\frac{2P_{ser}}{\sigma_{ser}} ; \frac{2P_u}{\sigma_u} \right)$$

$$\text{Sections d'aciers : } A_s = \frac{4}{3} \left(\frac{Pu(B-b)}{8d\sigma} \right)$$

4. Méthode de dimensionnement d'une dalle pleine

DONNEES :

- Cocher le type de panneau (continu ou d'angle)
- Saisir les dimensions des portées : L_x et L_y .
- sélection de f_{c28}
- Sélection de la nuance des aciers f_e
- sélection du coefficient α
- sélection de la charge d'exploitation q
- Sélection du type de fissuration
- Saisir l'épaisseur de la dalle (avec possibilité de diminution ou augmentation automatique)

RESULTATS :

- Paramètres μ_x et μ_y à l'ELU et à l'ELS (s'affichent en fonction du coefficient α sélectionné)
- Les moments en travées $M_{tx}=0.75M_{Ox}$ (en dalle continue) ou $M_{tx}=0.85M_{Ox}$ (en dalle d'angle) et $M_{ty}=0.75M_{Oy}$ (en dalle continue) ou $M_{ty}=0.85M_{Oy}$ (en dalle d'angle) à l'ELU et à l'ELS
- Les sections d'aciers qui doivent reprendre ces moments s'affichent au dessous de chaque moment à l'ELU et à l'ELS

- Les moments en appuis $M_{ax}l=M_{ay}l=0.5M_{Ox}$ à l'ELU et à l'ELS
- Les sections d'aciers qui doivent reprendre ces moments s'affichent au dessous de chaque moment à l'ELU et à l'ELS

- Les moments en angle $M_{cx}=0.3M_{Ox}$ et $M_{cy}=0.3M_{Oy}$ à l'ELU et à l'ELS (au cas où on coche « panneau d'angle »).

- Les sections d'aciers qui doivent reprendre ces moments s'affichent au dessous de chaque moment à l'ELU et à l'ELS

d. Méthode de Vérification et dimensionnement d'un mur de soutènement

1. Données et résultats de la stabilité

DONNEES :

Géométrie : Saisie des dimensions figurant sur le croquis suivant :

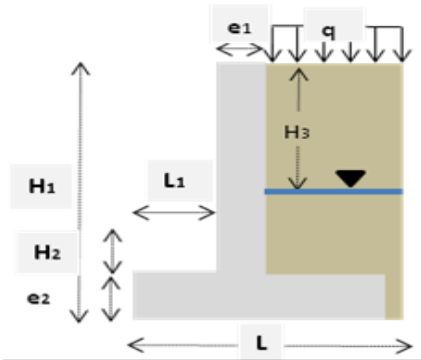


Figure6: géométrie d'un mur de soutènement

Pré dimensionnement : les dimensions limites s'affichent automatiquement à droite du croquis à l'aide

des inégalités: $e_1 = \text{Max}(15\text{cm}; \frac{H_1}{24})$; $e_2 = \frac{H_1}{24}$; $\frac{H_1}{8} \leq L_1 \leq \frac{H_1}{5}$

Caractéristiques du sol : Saisie des informations suivantes :

- Poids volumique : γ
- Angle de frottement : φ
- Hauteur
- Le coefficient de frottement amont et aval se calculent automatiquement : $K_a = \tan^2(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2})$ et $K_s = \tan^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2})$

RESULTATS :

Inventaire des charges appliquées:

- 1-Poids propre voile (vertical) : $P_1 = 25e_1(H_1 - e_2)$
- 2-Poids propre semelle (vertical) : $P_2 = 25Le_2$
- 3-Poids propre terre amont : $P_3 = \gamma_{soil}(H_1 - e_2)$
- 4-Poids propre terre aval : $P_4 = \gamma_{soil}(H_2L_2)$
- 5-Charge d'exploitation transmise verticalement : $P_5 = Q_v = (L - L_1 - e_1)q$
- 6- Charge d'exploitation transmise horizontalement : $P_6 = Q_h = \sigma_h h/2$
- 7-Poussée des terres P_t (horizontale) : $P_7 = K_a \gamma H^2/2$

$$M/G = \sum_{i=1}^7 M_i$$

$$M/G = M_0 + R_V \frac{b}{2}$$

$$R_H = \sum_{i=6}^7 P_i$$

$$R_V = \sum_{i=1}^5 P_i$$

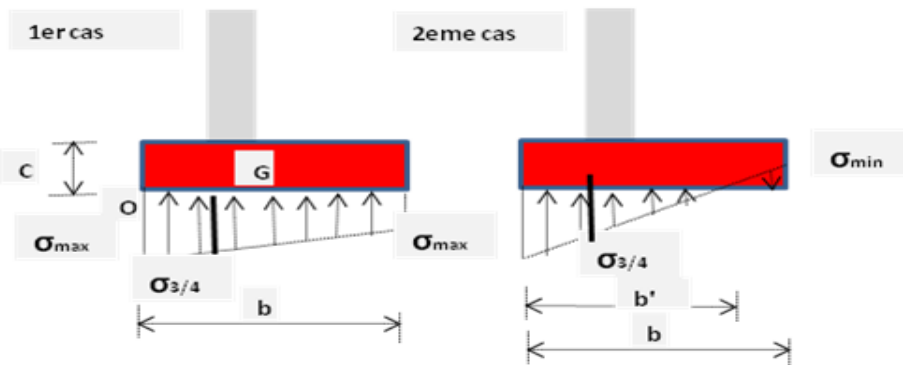
Poinçonnement (ELS):

Figure 7: contrainte s'exerçant sur la semelle d'un mur de soutènement

Excentricité : $e/G = M/G/R_v$

1^{er} cas : lorsque e/G est dans le tiers central, la semelle est totalement comprimée.

$$\sigma_{max} = \frac{R_v}{S} \left(1 + \frac{6|e|}{b}\right); \sigma_{min} = \frac{R_v}{S} \left(1 - \frac{6|e|}{b}\right); \sigma_{3/4} = \frac{3\sigma_{max} + \sigma_{min}}{4}; S = b \times 1m$$

$$2^{\text{ème}} \text{ cas: } b' = \frac{b|\sigma_{max}|}{|\sigma_{max}| + |\sigma_{min}|}; \sigma_{3/4} = \frac{3}{4}\sigma_{max}$$

Condition de poinçonnement : $\sigma_{3/4} \leq q_c$

Avec $q_c(\text{ELS}) = \frac{q}{3}$ et $q_c(\text{ELU}) = \frac{q}{2}$

Condition de glissement (ELS):

$$R_h \leq R_h = \frac{cb' + R_v \tan \varphi}{\gamma b}$$

R_h : compression horizontale des actions

C : cohésion du sol de fondation

b' : largeur de sol comprimé sous semelle

φ : Angle de frottement interne du sol sous la semelle

R_v : composante verticale des actions de calcul

γb : Coefficient de sécurité vis à vis du glissement (=1.5)

Condition de renversement (ELU):

$$\frac{\text{Moment stabilisant}(M_s)}{\text{Moment renversant}(M_r)} \geq 1.5$$

$$M_s = 1.35(|M_2| + |M_3| + |M_4|) + 1.5(|M_5|)$$

$$M_r = 1.35|M_6| + 1.5|M_7|$$

Nb: la numérotation est conforme à celle de l'inventaire des forces ci-dessus

2. Sollicitations
3. Tableau13 : formulaire de calcul de sollicitations

Sollicitations:

Voile :

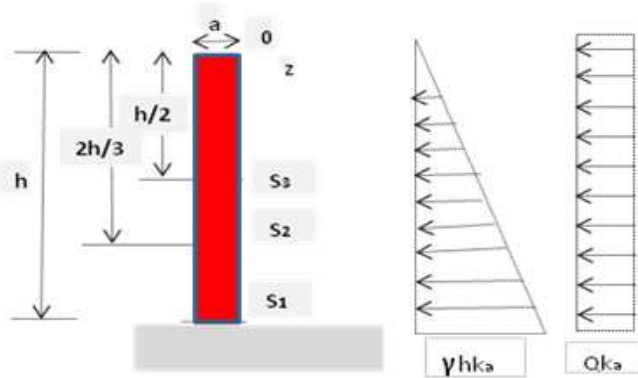


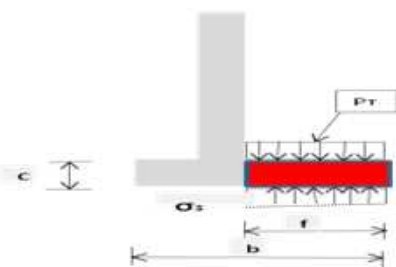
Figure8 : diagramme des contraintes sur le voile d'un mur de soutènement

$$M(z) = -\gamma K_a \frac{z^3}{6} - Q K_a \frac{z^2}{2}$$

$$V(z) = -\gamma K_a \frac{z^2}{2} + Q K_a z$$

$$N(z) = -25az$$

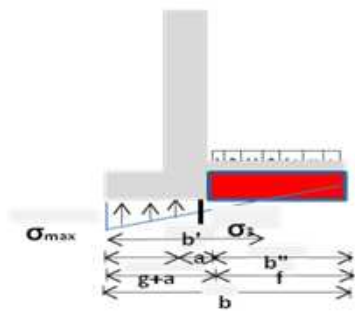
Talon complètement comprimé : $\sigma_3 = \frac{\sigma_{max} f + \sigma_{min}(b-f)}{b}$



$$M/o = -P_r K_s \frac{f^2}{2} - \sigma_{min} \frac{f^2}{2} + (\sigma_3 - \sigma_{min}) \frac{f^2}{6}$$

Figure9 : charges linéaires sur le talon non complètement comprimé d'un mur de soutènement

Talon non complètement comprimé : $\sigma_3 = \frac{\sigma_{max}}{b'} (b' - g)$



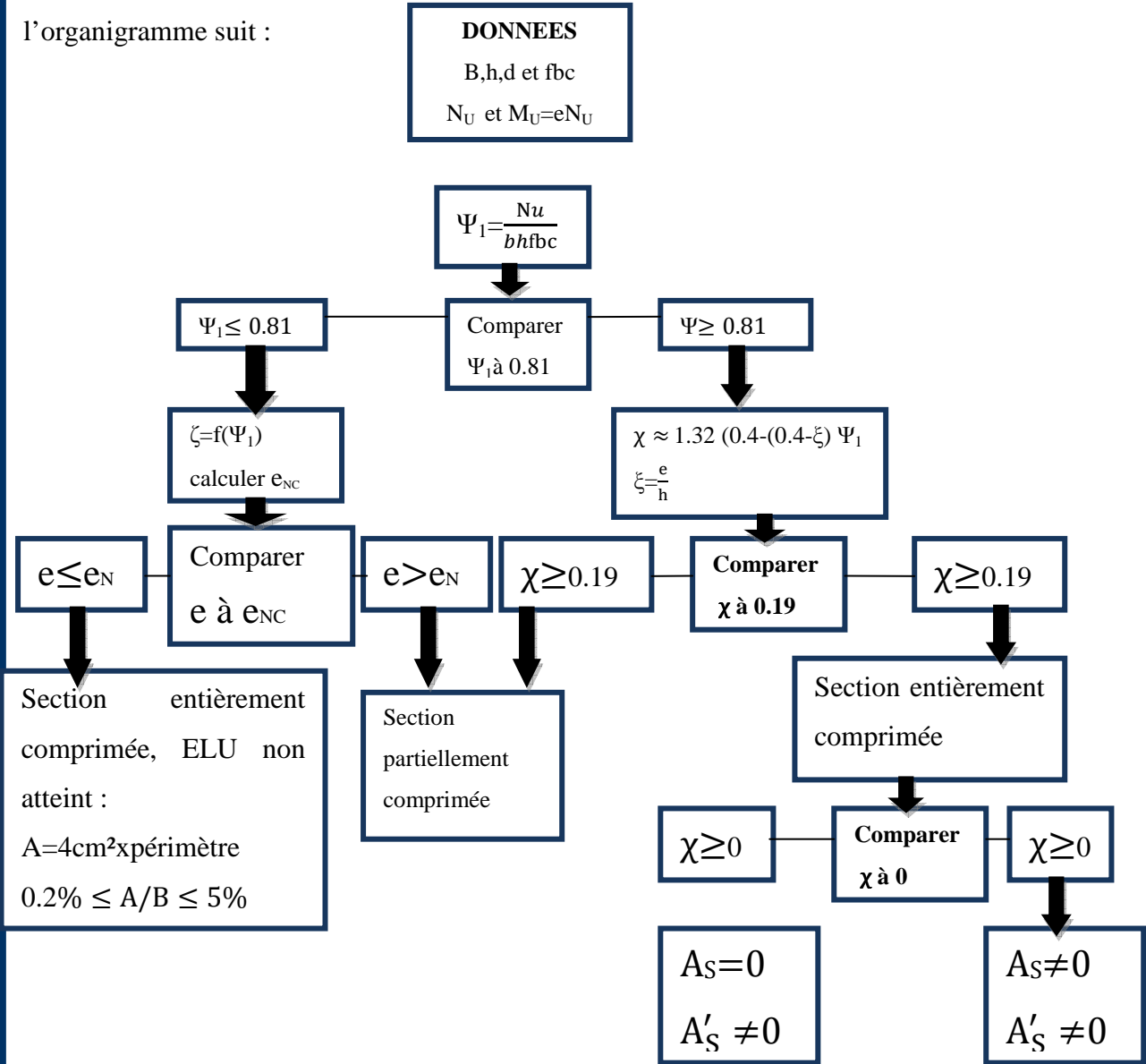
$$M/o = -P_r \frac{g^2}{2} - \sigma_{min} \frac{g^2}{2} + (\sigma_3 - \sigma_{min}) \frac{g^2}{6}$$

Figure10 : charges linéaires sur le talon complètement comprimé d'un mur de soutènement

4. Calcul des sections d'acier:

Voile :

En considérant une section (bxh) au niveau S₁, S₂ et S₃ telque : (b=e₁ et h=1m), nous ferons un dimensionnement en flexion simple si h>4e, si h<4e, on procédera en flexion composée. Et l'effort normal est toujours positif, il s'agira toujours d'une flexion avec compression dont l'organigramme suit :

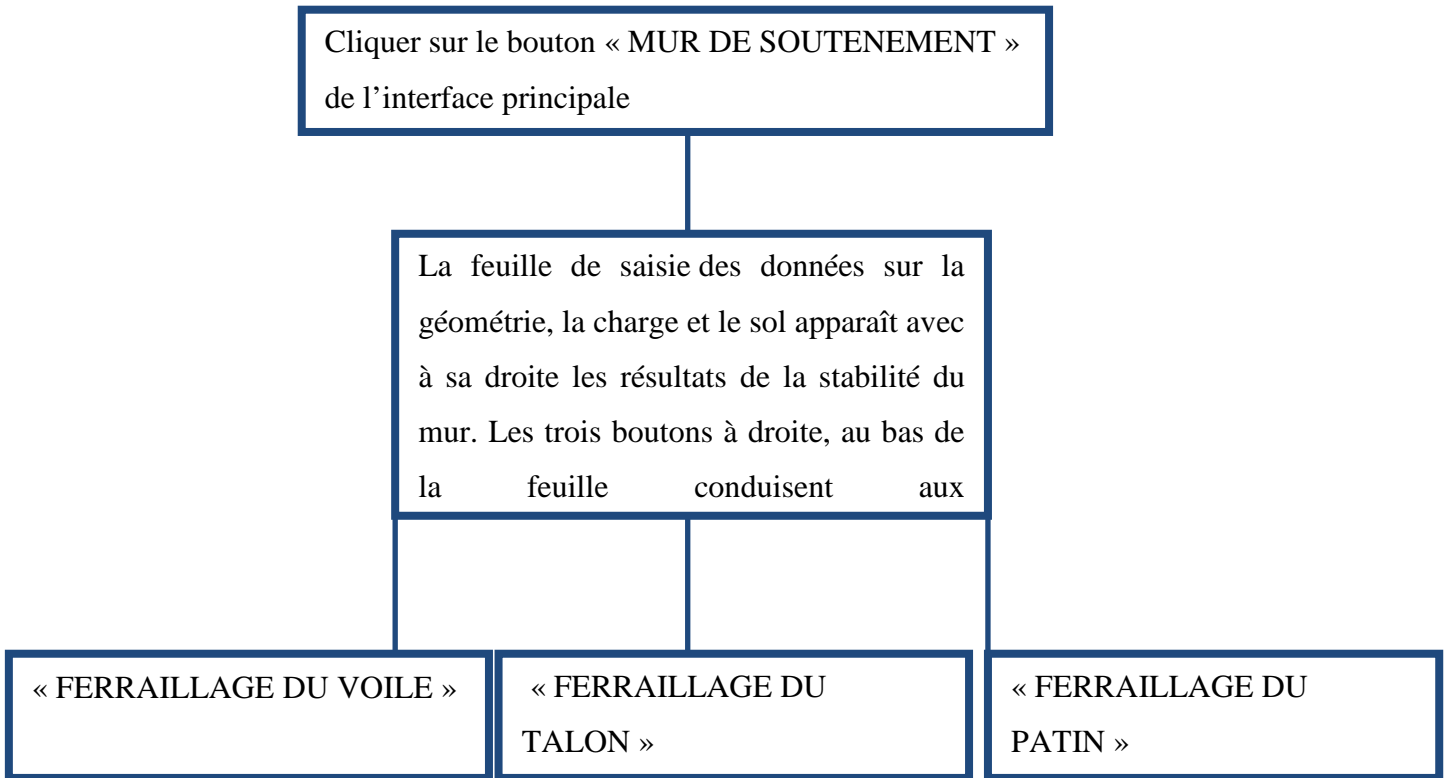


$$\text{Si } \Psi_1 \leq \frac{2}{3} : \xi = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\Psi_1}}{4(3 + \sqrt{9 - 12\Psi_1})}$$

$$\text{Si } \Psi_1 \geq \frac{2}{3} : \xi = \frac{(3\Psi_1 - 1)(1 - \Psi_1)}{4\Psi_1}$$

Pour le talon et le patin, on dimensionne en flexion simple, en considérant une section de cxh

Finalement les feuilles des calculs d'un mur de soutènement s'organisent de la manière suivante :



C. METHODOLOGIE INFORMATIQUE

a. Aspect général

Microsoft EXCEL a été choisi pour supporter le programme à cause de sa simplicité par rapport à l'utilisation. Il est à souligner que beaucoup des composantes de ce logiciel, très utiles dans l'ingénierie, échappent aux utilisateurs.

Ainsi, nous nous sommes appesantis sur des commandes liées à des formules et/ou des données et aussi des formules dont l'application est conditionnée à travers des fonctions simples. Les outils le plus déterminant ayant servi à l'élaboration de l'outil sont donc :

b. Contrôle de formulaire du menu « DEVELOPPEUR »

- Les boutons liés à des macros commandes pour le mouvement d'une feuille de calcul à une autre
- Les cases d'option rattachées à des références cachées et commandant l'application conditionnelle des formules selon le cas coché.

- Les cases à cocher rattachées à des références lointaines et commandant l'application conditionnelle des formules selon le cas sélectionné mais ne conviennent que quand il y a deux choix possibles (par exemple : le choix de calcul à ELU ou ELS).
- la zone de liste déroulante qui est liée à une base des données copiée sur une autre feuille, combinée à la fonction « INDEX », permet d'afficher la valeur ou la chaîne de caractère sélectionnée et la mettre à disposition pour le calcul.

c. Fonctions simples d'EXCEL

- La fonction « SI » est une fonction Excel permettant d'affecter à une cellule une valeur conditionnelle. La syntaxe est la suivante : **SI (Valeur_logique ; Valeur_si_Vrai ; Valeur_si_Faux)** mais l'avantage en est qu'on peut l'utiliser avec plusieurs conditions : **SI(Valeur_logique;Valeur_si_Vrai;SI(Valeur_logique ;Valeur_si_Vrai ;SI(Valeur_logique ;Valeur_si_Vrai etc...**

Il s'agit ni plus ni moins que du fameux Si...Alors...Sinon de la programmation classique. La valeur logique est soit une valeur booléenne (issue par exemple d'une cellule), soit, plus couramment, le résultat d'un test de comparaison. Les fonctions « ET », « OU » étaient aussi d'une grande utilité pour réunir plusieurs critères en même temps.

Toutes ces fonctions ont été la clé pour la prise en charge de tous les cas à observer dans un organigramme de calcul.

- La fonction « INDEX » avait permis d'accéder aux bases des données stockées dans une autre page. Une fois une valeur ou une chaîne de caractère sélectionnée au niveau de la zone de liste déroulant, la fonction permet d'afficher les champs correspondant à ce dernier.

L'exemple palpable est celui du tableau des valeurs des coefficients μ_x et μ_y (pour le calcul des dalles) stockées en base des données et triées en fonction du rapport l_x/l_y transformé en zone de liste déroulant.

- Les autres fonctions ordinairement rencontrées tels « MIN », « MAX » et bien d'autres sont aussi sollicitées quand les formules font intervenir une minoration ou une majoration.

d. La mise en condition des cellules

La validation qui est une option permettant de contrôler la valeur d'une cellule en la limitant à un type de valeur (Numérique par exemple) ou dans une liste de valeurs a été utile pour créer directement des zones listes de choix de plusieurs valeurs numériques. Allusion faite au choix semi automatique de barres d'aciers au niveau de calcul des sections d'aciers.

e. Le formatage des cellules

Le formatage d'une cellule permet de fixer un attribut à une cellule. Ceci nous a facilité l'insertion des unités qui s'affichent à côté d'une valeur saisie par l'opérateur. Cet affichage ne gêne pas la prise en compte de la cellule dans une formule, l'opération reconnaît seulement la valeur numérique tout en ignorant la chaîne des caractères qui l'accompagne.

f. Une macro-commande

Une macro est, dans son expression la plus Simple, l'enregistrement (donc la mémorisation) d'une suite de manipulations réalisées sous Excel. Ces manipulations sont en fait stockées sous forme de sous programmes VBA sur lesquels on peut ensuite intervenir. Par extension,

une macro peut être intégralement écrite sous VBA et ensuite être utilisée sous Excel. Ces boîtes de commandes permettent de rendre conviviales les feuilles de calcul Excel, de façon simple.

-----0-----

IV. APPLICATIONS ET RESULTATS

Une application a été réalisée sur des ouvrages réels en phase de conception. Nous nous sommes limités aux types d'éléments pris en charge par notre programme de calcul. L'exercice a été réalisé dans un but de confronter les différents résultats à ceux donnés par d'autres outils de dimensionnement.

En ce qui concerne les éléments de structure ciblés dans le bâtiment, pour l'application, nous avons décidé d'effectuer les simulations sur un type d'éléments par groupe ; que ça soit en descente des charges ou en calcul des sections d'acier.

Les deux ouvrages qui attirèrent notre attention pour l'application du programme sont :

- Un complexe des salles des classes avec Administration, regroupés dans un bâtiment R+3.
- Un mur de soutènement au voisinage des berges du fleuve **Chari**.

A. Complexe scolaire

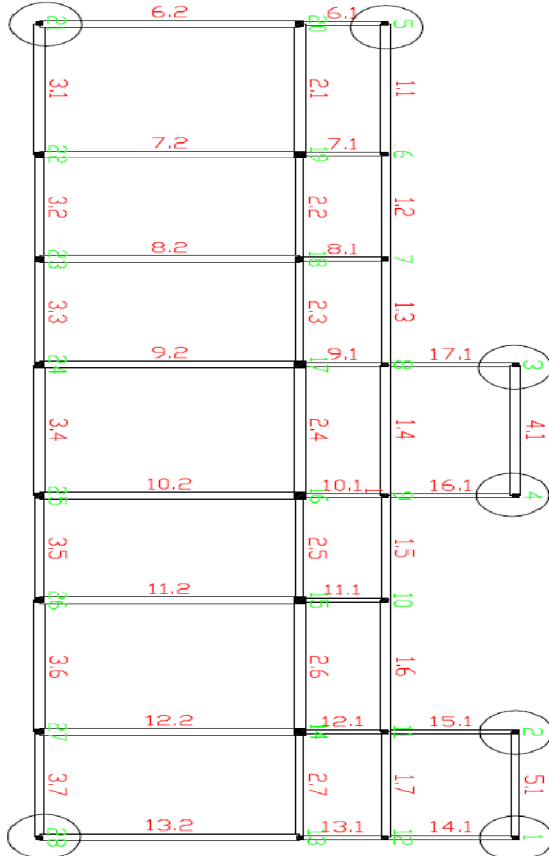


Figure11 : plan de coffrage du complexe scolaire

A partir du plan de coffrage ci-dessus, nous avons mené l'étude des efforts engendrés (efforts normaux) par les charges permanentes et les charges d'exploitation et aussi les sections d'acier nécessaires pour la reprise de ces charges.

Les poteaux ciblés par notre test sont les poteaux de type1, numérotés : 1, 2, 3, 4, 5, 21 et 28. De même, les résultats des semelles sous ces poteaux (notées respectivement SP1, SP2, SP3, SP4, SP5, SP21 et SP21) ont été étudiées.

L'outil de comparaison retenu pour la partie DESCENTE DES CHARGES est le logiciel ROBOT DDC. Ce choix est motivé par le fait que ce logiciel est conçu spécialement pour l'étude d'une structure en béton armé. L'outil de comparaison pour les sections d'aciers est La composante BAEL du logiciel ARCHE.

L'hypothèse porte sur une charge d'exploitation de 2.5KN/m² et considérant le plan de coffrage ci-dessus, les résultats des calculs des deux outils se présentent comme suit :

a. Effort normaux

Tableau7: résultat des efforts normaux

NIVEAU	3ème						
DECALAGES	P1	P2	P3	P4	P5	P21	P28
CHARGES PERMENENTES:ΔG	2.891	2.111	-0.18	-0.13	5.328	1.346	4.283
CHARGES D'EXPLOITATION:ΔQ	0.35	-0.1	-0.035	-0.005	3.8	2.49	2.81
NIVEAU	2ème						
DECALAGES	P1	P2	P3	P4	P5	P21	P28
CHARGES PERMENENTES:ΔG	4.13	2.56	-2.01	-1.92	8.99	1.04	6.9
CHARGES D'EXPLOITATION:ΔQ	0.709	-0.208	-0.068	-0.015	7.608	4.984	5.619
NIVEAU	1er						
DECALAGES	P1	P2	P3	P4	P5	P21	P28
CHARGES PERMENENTES:ΔG	5.37	3.02	-3.84	-3.7	12.66	0.73	9.53
CHARGES D'EXPLOITATION:ΔQ	1.074	-0.313	-9.477	-9.397	11.411	7.476	8.429
NIVEAU	Rdc						
DECALAGES	P1	P2	P3	P4	P5	P21	P28
CHARGES PERMENENTES:ΔG	6.61	3.47	-5.67	-5.49	16.33	1.76	12.72
CHARGES D'EXPLOITATION:ΔQ	1.42	-0.42	-9.51	-9.4	15.22	9.97	11.24
NIVEAU	Fondation						
DECALAGES	P1	P2	P3	P4	P5	P21	P28
CHARGES PERMENENTES:ΔG	7.85	3.93	-7.5	-7.27	20	0.67	15.34
CHARGES D'EXPLOITATION:ΔQ	1.774	-0.521	-9.545	-9.412	19.019	12.46	14.048

b. Sections d'aciers correspondant (poteaux de fondation)

Tableau8 : résultat des sections d'aciers tendus pour les poteaux de fondation

POTEAU TYPE1					
	OUTIL	ARCHE	OUTIL		
Num	Nu	As (cm ²)	As (cm ²)	ΔAs	$\Delta As\%$
		fondation			
P1	185.3235	0.1	0.16	0.06	6.0
P2	185.3235	0.1	0.16	0.06	6.0
P3	212.175	1	1.23	0.23	2.30
P4	212.175	1	1.23	0.23	2.30
P5	142.0365	2.4	2.4	0	0
P21	420.1965	9.3	9.5	0.2	2.00
P28	344.05875	6.4	6.48	0.08	1.00
				Moyenne	2.8

c. Dimensions des semelles

Tableau9 : résultat des dimensions des semelles

SEMELLE TYPE1									
	ROBOT			OUTIL			DECALAGES		
NUM	A	B	h	A	B	h	ΔA	ΔB	Δh
SP1	1.2	0.8	0.3	1.2	1.2	0.29	0	0.4	-0.01
SP2	1.2	0.9	0.3	1.2	1.2	0.29	0	0.3	-0.01
SP3	1.3	1.1	0.3	1.3	1.3	0.32	0	0.2	0.02
SP4	1.3	1.1	0.3	1.3	1.3	0.32	0	0.2	0.02
SP5	1.2	1	0.3	1	1	0.26	-0.2	0	-0.04
SP21	1.5	1.7	0.4	1.8	1.8	0.45	0.3	0.1	0.05
SP28	1.4	1.5	0.35	1.6	1.6	0.4	0.2	0.1	0.05

B. MUR DE SOUTÈNEMENT

a. Contexte et problématique

Le projet de construction d'un mur de soutènement s'inscrit dans le cadre de la lutte contre l'érosion des berges du fleuve CHARI au quartier farcha de N'djamena. Le lit majeur s'élargit et gagne les infrastructures à côté. Non loin d'une voirie urbaine qui relie ce quartier au centre-ville, l'érosion est galopante par endroit et risque d'attaquer la route.

Et c'est dans cette optique que deux variantes d'ouvrage sont en cours de proposition par un bureau d'étude de la place dont un mur poids en gabions enrochés et ce mur de soutènement qui fut l'objet de notre étude comparative.

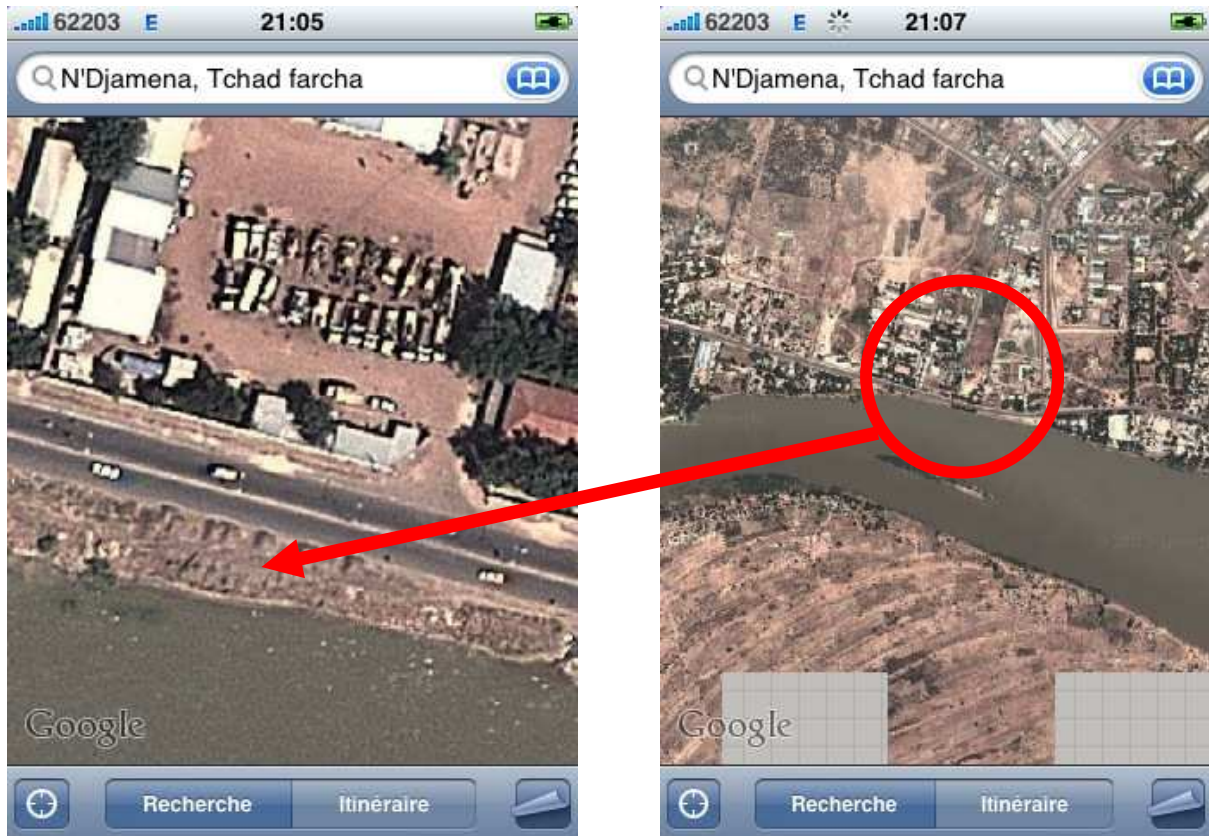


figure 12 : photos aériennes de la partie sévèrement érodée du fleuve Chari tirées de Google earth

b. Hypothèse

- Mur à géométrie rectangulaire
- Sol amont en couche unique, gravier sableux de caractéristiques suivant :

$$\gamma = 21 \text{KN/m}^3$$

$$\text{Angle: } \Phi = 42^\circ$$

- Contrainte admissible du sol: 200KPa (donnée du laboratoire des Travaux publics à N'djamena)
- Béton de résistance caractéristique à 28jours : $f_{c28} = 45 \text{MPa}$
- Charge d'exploitation : 15KN/ml (Estimation faite sur les trafics réguliers sur cette route)

c. Estimation de la hauteur totale (H_1)

Afin de pouvoir dégager un profil en travers type, nous avons pu prélever les coordonnées de quelques points dans la partie de la bande la plus large. Nous nous sommes intéressés particulièrement aux cotes qui nous ont permis de caler la cote du béton de propriété. Et de là l'estimation de la hauteur totale H_1 du mur a été arrêtée. Le tableau ci-dessous nous montre que la cote minimale est de 293m et la cote maximale est de 295m.

Tableau10 : Coordonnées des points prélevées sur la largeur de l’emprise de l’ouvrage.

POINTS	LONGITUDES	LATITUDES	COTES
P1	12° 7'23.97"N	15° 0'31.11"E	295
P2	12° 7'23.80"N	15° 0'31.01"E	295
P3	12° 7'23.62"N	15° 0'31.00"E	294
P4	12° 7'23.55"N	15° 0'30.93"E	294
P5	12° 7'23.44"N	15° 0'30.86"E	293

En considérant une profondeur d’ancrage de **4m**; la hauteur s’exprime par : 9

$$H_1 = (295 - 293) + 4 = 6\text{m}$$

Profil en travers type :

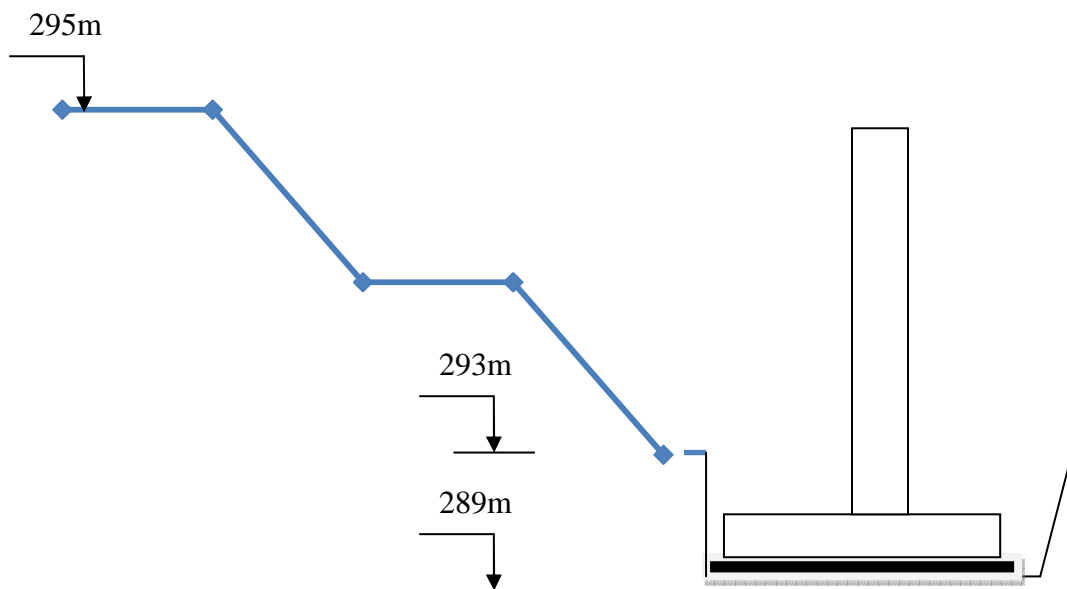


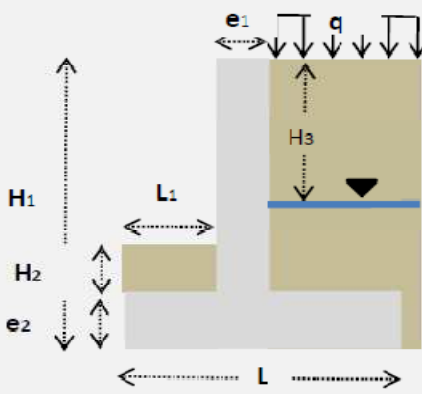
Figure13 : profil en travers de la partie érodée supportant l’ouvrage

d. Récapitulatif des résultats du dimensionnement (pages proposées par le programme)

En se basant sur les données ci-dessus, tous les calculs et vérifications ont été effectués. A savoir :

- **La vérification de la stabilité**
 - *Contrôle de la portance*
 - *Contrôle du glissement*
 - *Contrôle du renversement*
- **Le ferrailage du voile à trois niveaux**
- **Le ferrailage du talon**
- **Le ferrailage du patin**

1. Vérification de la stabilité

GEOMETRIE				PREDIMENSIONNEMENT	
	e1	=50cm	15.0cm <= e1 <=50cm		
	e2	=40cm	e2 >=25cm		
	L	2.70m	1.20m <= L <=2.70m		
	L1	1.00m	0.75m <= L1 <=1.20m		
	H1	6.00m	SURCHARGE ET CONTRAINTE		
	H2	0.00m	SURCHARGE:q		15.00KN/m
H3	0.00m	CONTRAITE ADMISSIBLE:qu		200.0KPa	
CARACTERISTIQUES DES SOLS					
ORDRE	POIDS VOLUMIQUES	ANGLE:•°	HAUTEURS	COEFFICIENTS:K	
AMONT					
1ère COUCHE	21KN/m3	42°	7.00m	0.20	
AVAL					
COUCHE AVAL	0KN/m3	0°	0.00m	1.00	

RESULTATS	
RESULTANTE DES CHARGES VERTICALES:Rv	291.4KN
RESULTANTE DES CHARGES HORIZONTALES:RH	92.7KN
PORTANCE	107.9KPa
MOMENT STABILISANT:Ms	532.2KN.m
MOMENT RENVERSANT:MR	203.2KN.m
VERIFICATION DE LA STABILITE	
CONTRÔLE DE LA PORTANCE DU SOL:	OK
CONTRÔLE DU GLISSEMENT:	OK
CONTRÔLE DU BASCULEMENT:	OK
CALCUL BETON ARME	

2. Calcul béton armé

Pour le ferrailage du voile, patin et talon voir annexe, nous avons effectué les calculs par un autre logiciel à savoir ARCHE mur de soutènement. Les résultats obtenus différemment sont rapportés fidèlement dans le tableau suivant.

Tableau11 : résultats des sections d'aciers tendus du mur calculées de deux façons

Patin :		Talon :		Voile:		
	Ast (cm ²)		Ast (cm ²)	Z (m)	Ast(ARCHE) (cm ²)	Ast (cm ²)
	3,03		6	2,80	7,13	6.83
ARCHE	5,62	ARCHE	5,62	3,64	7,13	6.83
				5,60	8,82	10.49

0

V. DISCUSSION ET ANALYSES DES RESULTATS

A. POTEAUX

Pour l'analyse des données, notre attention est portée sur les valeurs des décalages entre les résultats donnés par les deux outils. Des graphiques dressés pour nous permettre d'afficher à quel degré d'erreur notre outil se situe par rapports aux outils modernes tels qu'Arche et Robot.

a) Courbe de décalage entre les deux efforts engendrés par les charges permanentes : ΔG

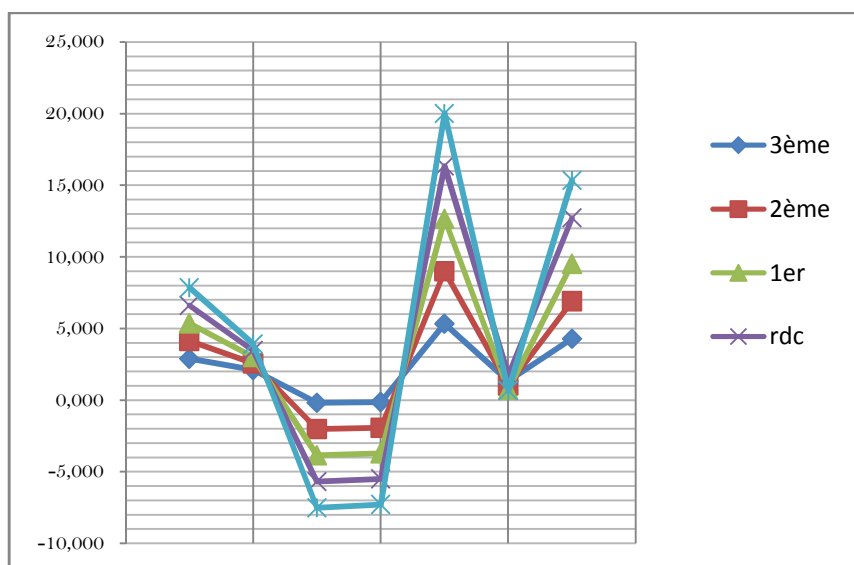
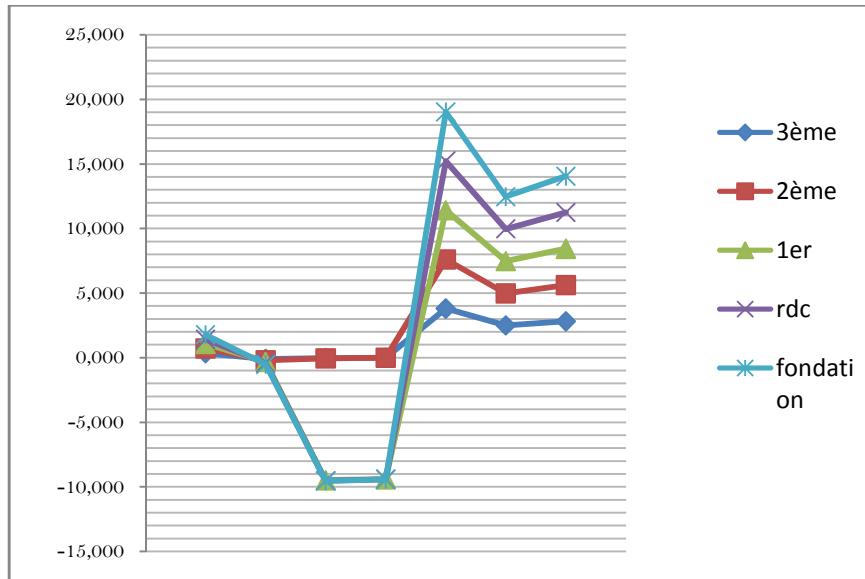


Figure12: Courbe de décalage entre les deux charges permanentes

Les courbes des décalages entre les efforts engendrés par les charges permanentes pour tous les niveaux, apparaissent serrées les unes contre les autres. Le plus grand décalage se remarque au niveau du 3^{ème} étage (graphique1). Par contre leur parallélisme n'est pas absolu. Cette différence s'explique par le fait que ROBOT ne prend pas en compte le poids propre du poteau, pour preuve les notes des calculs ROBOT ont en tête la mention « effort appliqués en tête des poteaux ».

b) Courbe de décalage entre les deux efforts engendrés par les charges d'exploitation : ΔQ



Graphique13 : Courbe de décalage entre les deux charges d'exploitation

Les courbes des décalages entre les efforts engendrés par les charges d'exploitation pour tous les niveaux, apparaissent moins serrées les unes contre les autres que précédemment. Celles du Rdc et Fondation sont presque confondues. Ce que nous interprétons comme rapprochement entre les deux outils de calcul. Par contre du 1^{er} au 3^{ème} niveau, le rapprochement entre les courbes est remarquable mais le décalage est plus important que précédemment. Le plus grand décalage se remarque au niveau du 3^{ème} étage (graphique2).

c) Courbe de décalage entre les deux efforts normaux à l'ELU : ΔN_u (avec $N_u=1.35G+1.5Q$)

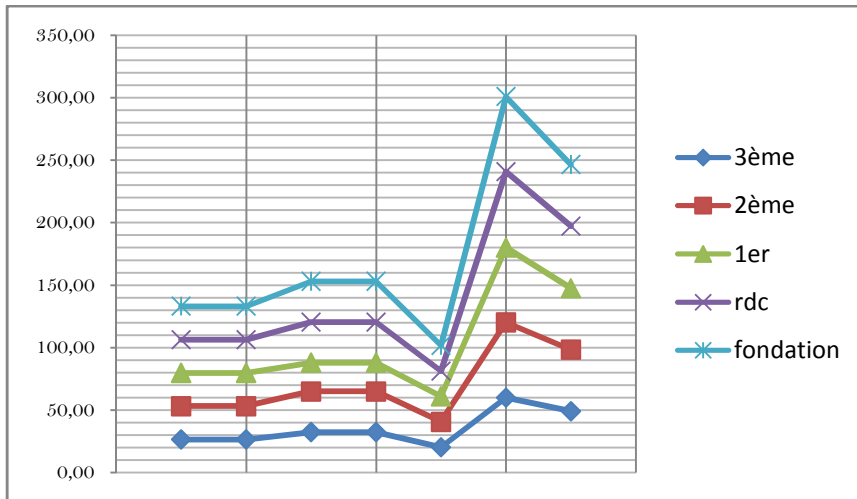


Figure 14 : Courbe de décalage entre les deux efforts normaux

Les combinaisons à l'ELU présente deux grandes tendances. Les courbes de décalage entre tous les poteaux se comportent de la même façon en termes d'erreurs engendrées. Le parallélisme est absolu.

Enfin, les pourcentages moyens d'erreurs commis pour chaque niveau par rapport à Robot se résumant dans le tableau suivant :

Tableau12 : pourcentages d'erreurs par rapport à ROBOT

Num	3ème	2ème	1er	rdc	fondation
P1	17.8%	12.4%	10%	9%	9%
P2	12%	7%	6%	5%	4%
P3	1%	4%	5%	6%	6%
P4	1%	4%	5%	6%	6%
P5	61%	47%	43%	41%	40%
P21	3%	1%	1%	1%	0%
P28	14%	11%	10%	10%	10%
moyenne	15.7%	12.4%	11.4%	11.1%	10.8%

d) Courbe de décalage entre les deux sections d'aciers comprimés : ΔA_s

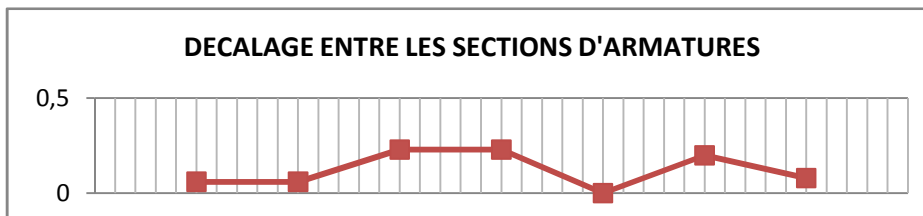


Figure15: courbes de décalage entre les deux sections d'aciers

Le décalage est trop petit pour les calculs d'aciers en moyenne (2.8%) par au logiciel ARCHE. Cette différence se réduit presque à 0% au niveau des sections réelles après choix

des barres. Ceci crédibilise beaucoup plus notre outil pour le calcul des sections d'acier.

B. SEMELLES

En ce qui concerne la géométrie des semelles(AxBxh), nous avons ressortis les pourcentages d'erreurs commises par rapport au logiciel ROBOT.

Tableau13 : erreurs exprimés en pourcent pour les décalages entre les dimensions des semelles

ERREUR PAR RAPPORT A ROBOT			
NUM	% ΔA	% ΔB	% Δh
SP1	0%	6%	3%
SP2	0%	7%	3%
SP3	0%	18%	6%
SP4	0%	18%	6%
SP5	17%	25%	11%
SP21	20%	33%	13%
SP28	14%	0%	15%

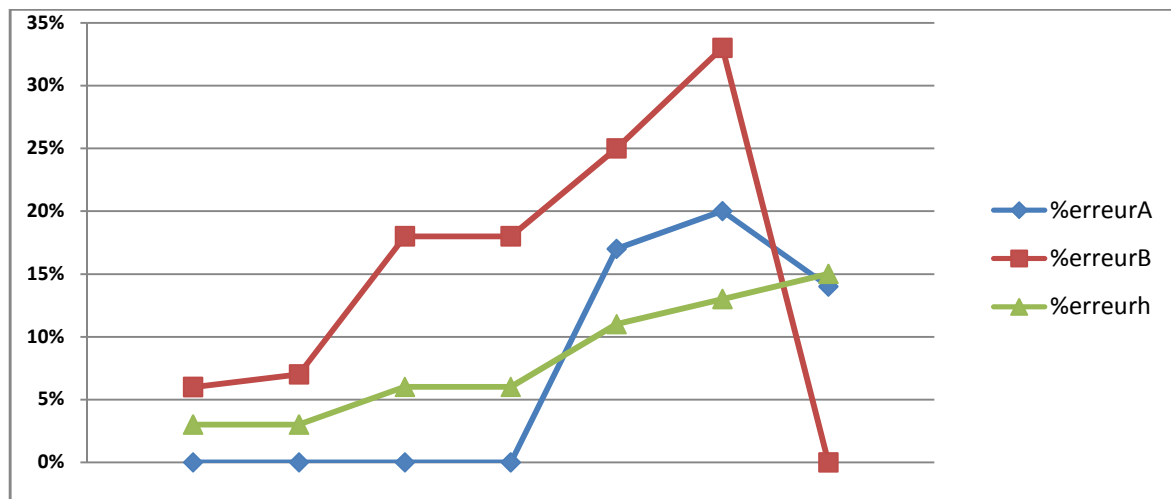


Figure16: décalage entre les trois dimensions de la semelle

L'erreur la plus remarquable est au niveau de calcul de la dimension B (35% de surestimation).

C/ Mur de soutènement

La confrontation entre les sections d'aciers montre un léger décalage entre la valeur, de l'ordre de 1 cm²(en valeur absolue) pour les trois sections du voile. La même chose se remarque au niveau du talon par contre un grand décalage représentant un pourcentage d'erreur de 46%, ce qui n'est pas du tout négligeable.

Tableau14 : décalage entre les sections d'aciers calculées différemment

VOILE	PATIN	TALON
ΔA	ΔA	ΔA
(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)
S3:-0.3	2.59	0.38
S2:-0.3		
S1:1.67		

Ici il est clair qu'au niveau des sections S₃ et S₂ du rideau les décalages sont négative, ce qui signifie que le logiciel ARCHE sur dimensionne par contre pour la section S₁(la plus sollicité du voile),le talon et le patin, c'est le programme EXCEL qui majore.

Conclusion partielle :

Suite à cette analyse critique de la composante traitant la descente des charges et le calcul des sections d'aciers, nous nous sommes rendu compte que les erreurs commises par cet outil par rapport aux logiciels (ARCHE et ROBOT), sont des légères surestimations qui ne compromettent pas son utilisation dans la conception des ouvrages pour lesquels il est destiné.

-----0-----

VI. CONCLUSION

Du jour au lendemain, il n'est pas facile de prétendre regrouper tous les formulaires de dimensionnement en un programme unique, facilement utilisable. Aussi, la contrainte temps n'a pas permis d'élargir les dimensions d'un tel outil pour pouvoir traiter le maximum des questions de dimensionnement. Ça sera, d'ailleurs, l'objet des perspectives d'avenir que nous allons présenter à la fin de ce rapport. De même les conditions de travail pendant le stage n'ont pas aidé à produire un travail efficient. Certes l'entreprise d'accueil a fourni le minimum d'aide tel que le moyen de déplacement, l'accès aux données disponibles etc...Mais dès qu'il s'agit d'une opération onéreuse telles que les Essai du laboratoire, ou le levé topographique, les responsables sont réticents.

Ainsi donc même si l'entreprise était globalement satisfaite du résultat, il est évident que des insuffisances sont à signaler au niveau du degré d'efficacité de notre travail. Au niveau de la descente des charges sur les poutres par exemple, la façon dont le logiciel estime la charge maximale reçue par la poutre n'a rien à avoir avec la méthode BAEL qui consiste à tracer les premières bissectrices alors que le logiciel décompose le plancher en éléments finis.

A l'issu de ces travaux des recherches aboutissant à la mise en place d'un outil de calcul des éléments de structure en béton armé, il ressort clairement que les hypothèses fixées au préalable se confirment grâce aux comparaisons faites avec les autres outils utilisés ordinairement. En fait les discussions et commentaires autour des valeurs données parallèlement convergent vers un avis unique : En utilisant l'outil, l'on ne commet pas une erreur trop remarquable.

VII. RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES

Quelle que soit la grandeur du travail effectué, il faut toujours penser à améliorer progressivement ce qui a été déjà commencé. Si les recherches sous autres horizons aboutissent à une réussite, c'est tout simplement parce qu'il y a une continuité sur ce qui a été commencé. Et c'est le défi à relever pour nous les Africains. En guise de recommandation, nous suggérons donc:

- La présentation du produit aux étudiants pour une utilisation critique durant les travaux dirigés, projets sectoriels et projets de fin d'études.
- La poursuite du thème en intégrant d'autres composantes de dimensionnement
- L'analyse critique par les enseignants et spécialistes du génie civil pour une bonne amélioration dans l'avenir
- La présentation du produit aux entreprises et bureaux d'études locales toujours dans un but d'Essai et appréciation.

Nous avons aussi des ambitions à faire évoluer l'outil et le rendre opérationnelle comme les milliers des programmes en ligne. Ce qui nous conduit à envisager les améliorations suivantes en perspectives d'avenir :

- Reprendre le même travail d'Excel mas cette fois ci en un langage de programmation moderne telle que le VISUAL BASIC ou le langage C car avec le premier fichier, il est impossible d'avoir un fichier protégé avec une licence
- Intégrer une composante de construction métallique en stockant la base de données sur les caractéristiques géométriques et statiques des profilés.
- Intégrer une composante de calcul de réservoirs en béton armé
- Intégrer une composante qui traite le calcul des contraintes et les fondations profondes en géotechnique
- Et enfin Intégrer une composante qui traite les dalots.

Nous disons que rien n'est impossible à celui qui croit mais pour atteindre ces objectifs, il est impératif de garder le lien avec l'enseignement pour vivre les théories au quotidien.

VIII. BIBLIOGRAPHIE :

Béton armé (BAEL91 modifié 99 et DTU associés) de **Jean-Pierre Mouglin ; Edition EYROLLE ;**

Etude des structures en béton (BAEL révisé 99) de **Jean-Marie Husson ; Educalivre**
Précis de calcul de Génie civil ;

Précis de calcul Béton Armé de **H. RENAUD et J. LAMIRAULT**

Dessin de bâtiment de **C.BLANCHET et J. BLOUIN ; CASTEILLA et Educalivre ;**

Cour de Géotechnique 2 de **Mr ISMAILA GUEYE (Professeur 2IE)**

Cour de béton armé2 de **Mr Samy Lebel**

Cour de béton armé de Mr **Michael FORAY (Professeur à l'ENTP/TCHAD entre 2000-2002)**

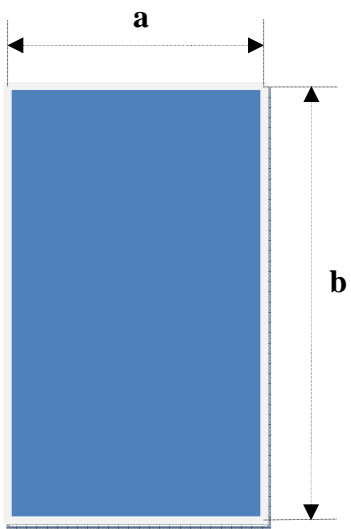
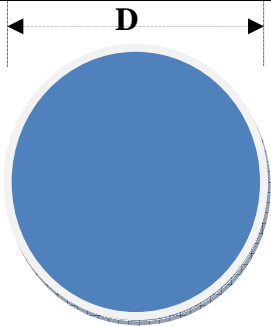
EXCEL FOR SCIENTISTS AND ENGINEERS de **E. Joseph BillO**

*Cours d'informatique EXCEL de François-Noël CRÈS (POLYTECH' Montpellier –
Département Sciences et Technologies de l'Eau)*

ANNEXES

IX. ANNEXE1 : DIMENSIONS DES SECTIONS DE BETON CONSIDEREES

a(cm)	b(cm)	Diamètres (cm)	
	5	5	5
	10	10	10
	15	15	15
	20	20	20
	25	25	25
	30	30	30
	35	35	35
	40	40	40
	45	45	45
	50	50	50
	55	55	55
	60	60	60
	65	65	65
	70	70	70
	75	75	75
	80	80	80
	85	85	85
	90	90	90
	95	95	95
	100	100	100
	105	105	105
	110	110	110
	115	115	115
	120	120	120



Nb : pour les poutres h remplace b et représente la grande dimension et b remplace a, la petite dimension

X. ANNEXE2 : RESULTAT GLOBAL DES CHARGES EN TETE DES POTEAUX DONNES PAR LE PROGRAMME

POTEAU TYPE1						
Num	ROBOT		Programme		ΔG	ΔQ
	G	Q	G	Q		
3ème						
P1	16.23	7.15	19.12	7.50	2.891	0.350
P2	17.01	7.6	19.12	7.50	2.111	-0.100
P3	23.28	9.41	23.10	9.38	-0.180	-0.035
P4	23.23	9.38	23.10	9.38	-0.130	-0.005
P5	8.77	2.45	14.10	6.25	5.328	3.800
P21	39.96	16.26	41.31	18.75	1.346	2.490
P28	29.91	12.19	34.1925	15	4.283	2.810
2ème						
P1	34.11	14.291	38.24	15	4.13	0.709
P2	35.679	15.208	38.24	15	2.56	-0.208
P3	48.209	18.818	46.20	18.75	-2.01	-0.068
P4	48.117	18.765	46.20	18.75	-1.92	-0.015
P5	19.202	4.892	28.20	12.5	8.99	7.508
P21	81.575	32.516	82.61	37.5	1.04	4.984
P28	61.48	24.381	68.385	30	6.90	5.519
1er						
P1	51.993	21.426	57.36	22.5	5.37	1.074
P2	54.346	22.813	57.36	22.5	3.02	-0.313
P3	73.141	28.227	69.30	18.75	-3.84	-9.477
P4	73.003	28.147	69.30	18.75	-3.70	-9.397
P5	29.63	7.339	42.29	18.75	12.66	11.411
P21	123.19	48.774	123.92	56.25	0.73	7.476
P28	93.048	36.571	102.5775	45.000	9.53	8.429
rdc						
P1	69.876	28.581	76.49	30.00	6.61	1.42
P2	73.013	30.417	76.49	30.00	3.47	-0.42
P3	98.072	37.636	92.40	28.13	-5.67	-9.51
P4	97.888	37.529	92.40	28.13	-5.49	-9.40
P5	40.058	9.785	56.39	25.00	16.33	15.22
P21	164.032	65.032	165.79	75.00	1.76	9.97
P28	124.616	48.761	137.3325	60.00	12.72	11.24
fondation						
P1	87.758	35.726	95.01	37.5	7.85	1.774
P2	91.68	38.021	95.61	37.5	3.93	-0.521
P3	123.004	47.045	115.50	37.5	-7.50	-9.545
P4	122.774	46.912	115.50	37.5	-7.27	-9.412
P5	50.487	12.231	70.49	31.25	20.00	19.019
P21	206.42	81.29	207.09	93.75	0.67	12.46
P28	156.183	60.952	171.525	75	15.34	14.048

XI. ANNEXE 3 : CAPTURE D'IMAGE D'UNE FEUILLE DE CALCUL (POTEAU : P1-FOND.)

zIE Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering
Sami Hammad (Elevé Supérieur civil)
samihammadhammad@yahoofr

POTEAU N°: P1-FONDATION

DONNEES

SECTION RECT. SECTION CIRC.

a: 15, b: 15, D: 30

f_{t28} : 25, f_c : 500

ENROBAGE: 1.00cm

TYPE D'APPLICATION DES CHARGES: Aucune information

EFFORT NORMAL ULTIME(N_u): 0.185MN

RESULTATS

LONGUEUR DE FLAMBEMENT: l_f 2.21m

ELANCEMENT: λ 50.92

PARAMETRE: μ 0.578

SECTION THEORIQUE D'ACIERS COMPRISES 0.16cm²

SECTION D'ACIERS MINIMALE 2.40cm²

SECTION D'ACIERS MAXIMALE 11.25cm²

CONTRÔLE DE LA SECTION THEORIQUE: **PRENDRE Asmin!**

CHOIX DES ACIERS/ SECTION REELLE: 8 HA14, 0 HA0 → 12.31cm²

ACIERS TRANSVERSEAUX: HA6

XII. ANNEXE 4 : CAPTURE D'IMAGE D'UN CROQUIS D'EXECUTION (POTEAU : P1-FOND.)

zIE Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering
Sami Hammad (Elevé Supérieur civil)
samihammadhammad@yahoofr

NOM DU PROJET:

1: 8 HA14+, 0 HA0

2: HA6

St=21cm, St=18cm

RECAPITULATIF	
HA6	20m
HA14	205m
HA0	0m
Volume du béton(m ³)	0.07

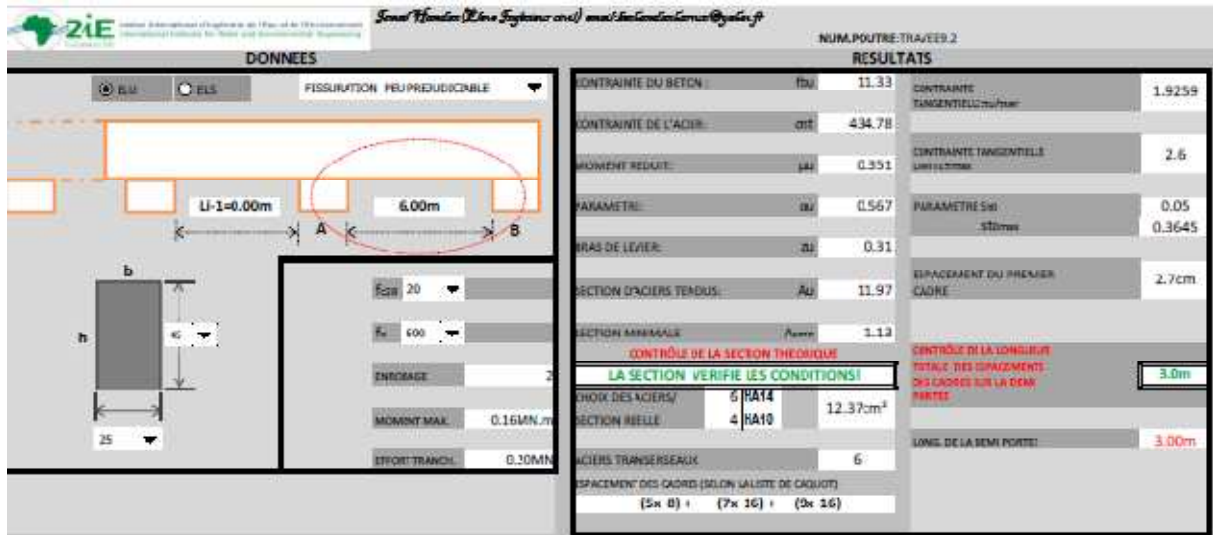
Croquis	Nombre	POTEAU N°:	
		L développée	Ltotal(m)
	15	66cm	10
	31	32cm	9.92
HA14	8	2562cm	204.96
HA0	0	0cm	0

XIII. ANNEXE 5 : CAPTURE D'IMAGE D'UNE FEUILLE DES SOLLICITATIONS

POUTRE CONTINUE N°:9.2-9.1-17.1



XIV. ANNEXE 6 : CAPTURE D'IMAGE D'UNE FEUILLE DE CALCUL D'UNE POUTRE



XV. ANNEXE3 : RESULTATS DES CHARGES APPLIQUEES EN TETE DES POTEAUX DONNES PAR ROBOT DDC

:

Poteaux

b - côté de la section du poteau

h - côté de la section du poteau

H - hauteur du poteau

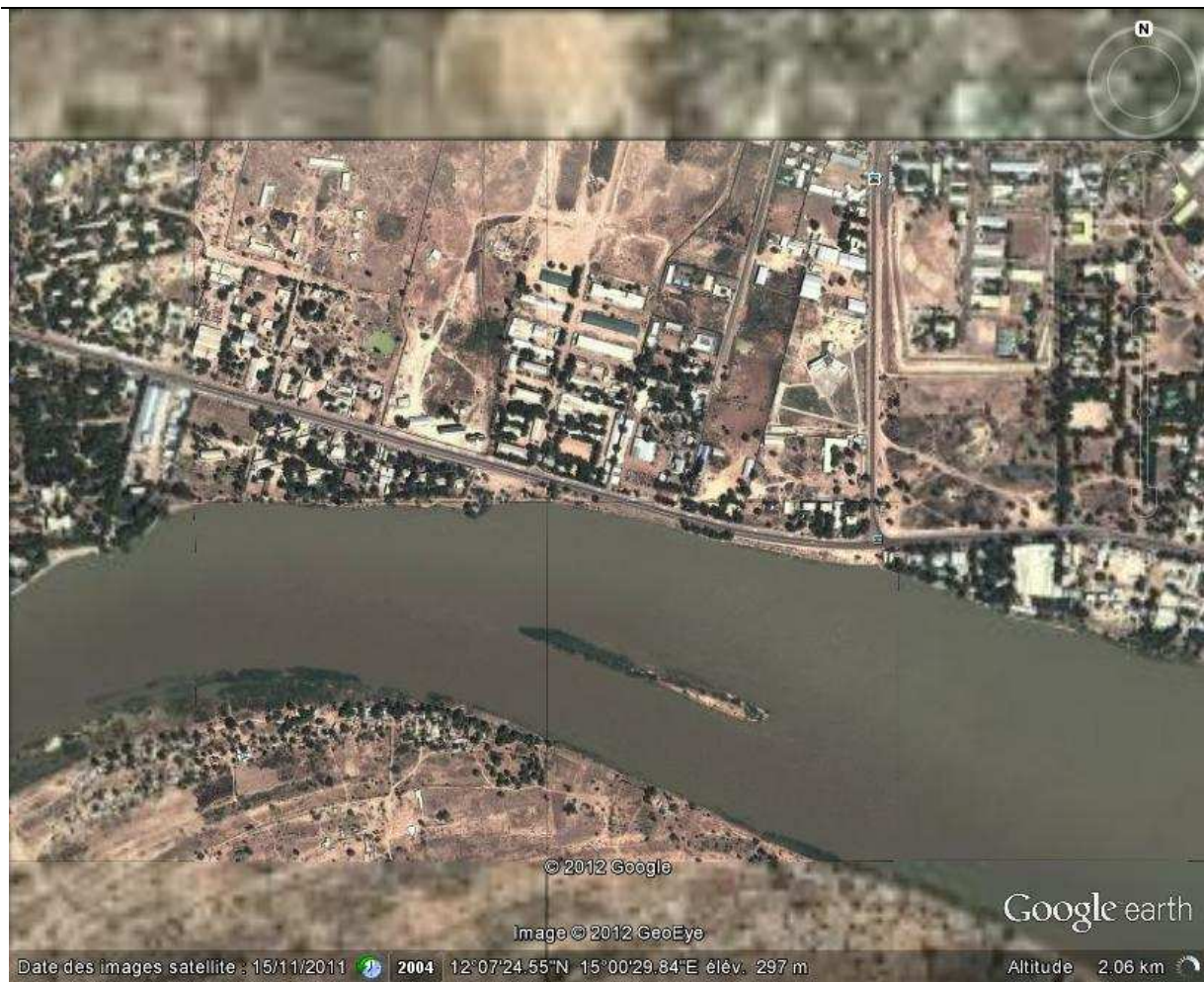
PH,kN - force verticale

Les charges sont appliquées au niveau supérieur du poteau

N	Type	Permanent	Exploitation
Fondation Poteau P1 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P1	PH	87.758	35.726
Etage N1 Poteau P2 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P2	PH	91.68	38.021
Etage N1 Poteau P3 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P3	PH	123.004	47.045
Etage N1 Poteau P4 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P4	PH	122.774	46.912
Etage N1 Poteau P5 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P5	PH	50.487	12.231
Etage N1 Poteau P6 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P6	PH	121.769	38.02
Etage N1 Poteau P7 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P7	PH	49.658	13.939
Etage N1 Poteau P8 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P8	PH	195.294	82.078
Etage N1 Poteau P9 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P9	PH	189.478	81.552

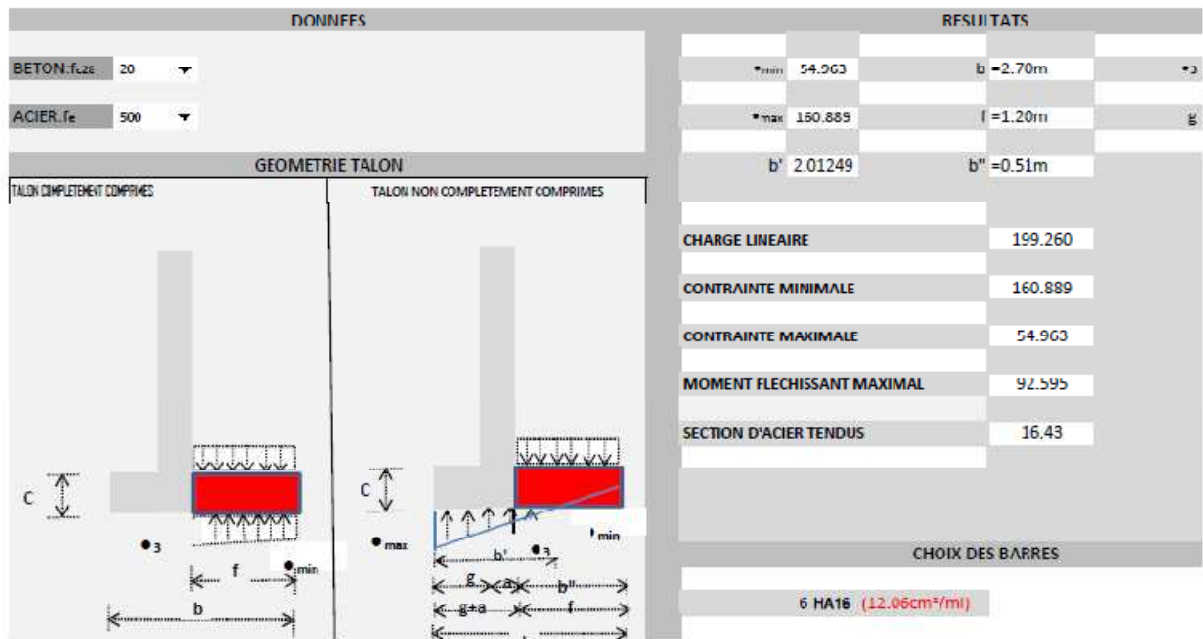
Etage N1 Poteau P10 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P10	PH	77.285	16.562
Etage N1 Poteau P11 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P11	PH	200.008	83.245
Etage N1 Poteau P12 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P12	PH	89.864	43.417
Etage N1 Poteau P13 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P13	PH	242.212	101.286
Etage N1 Poteau P14 b=0.25m, h=0.25m, H=3m			
P14	PH	569.107	277.84
Etage N1 Poteau P15 b=0.25m, h=0.25m, H=3m			
P15	PH	528.623	257.283
Etage N1 Poteau P16 b=0.25m, h=0.25m, H=3m			
P16	PH	534.425	260.675
Etage N1 Poteau P17 b=0.25m, h=0.25m, H=3m			
P17	PH	551.297	268.174
Etage N1 Poteau P18 b=0.2m, h=0.2m, H=3m			
P18	PH	448.49	221.312
Etage N1 Poteau P19 b=0.25m, h=0.25m, H=3m			
P19	PH	571.939	278.172
Etage N1 Poteau P20 b=0.2m, h=0.2m, H=3m			
P20	PH	312.343	133.983
Etage N1 Poteau P21 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P21	PH	206.42	81.29
Etage N1 Poteau P22 b=0.2m, h=0.2m, H=3m			
P22	PH	382.183	172.872
Etage N1 Poteau P23 b=0.2m, h=0.2m, H=3m			
P23	PH	282.34	131.851
Etage N1 Poteau P24 b=0.2m, h=0.2m, H=3m			
P24	PH	365.363	165.009
Etage N1 Poteau P25 b=0.2m, h=0.2m, H=3m			
P25	PH	350.944	159.077
Etage N1 Poteau P26 b=0.2m, h=0.2m, H=3m			
P26	PH	347.298	157.281
Etage N1 Poteau P27 b=0.2m, h=0.2m, H=3m			
P27	PH	378.464	171.694
Etage N1 Poteau P28 b=0.15m, h=0.15m, H=3m			
P28	PH	156.183	60.952

XVI. ANNEXE4 : PHOTO AERIENNE DU FLEUVE CHARI

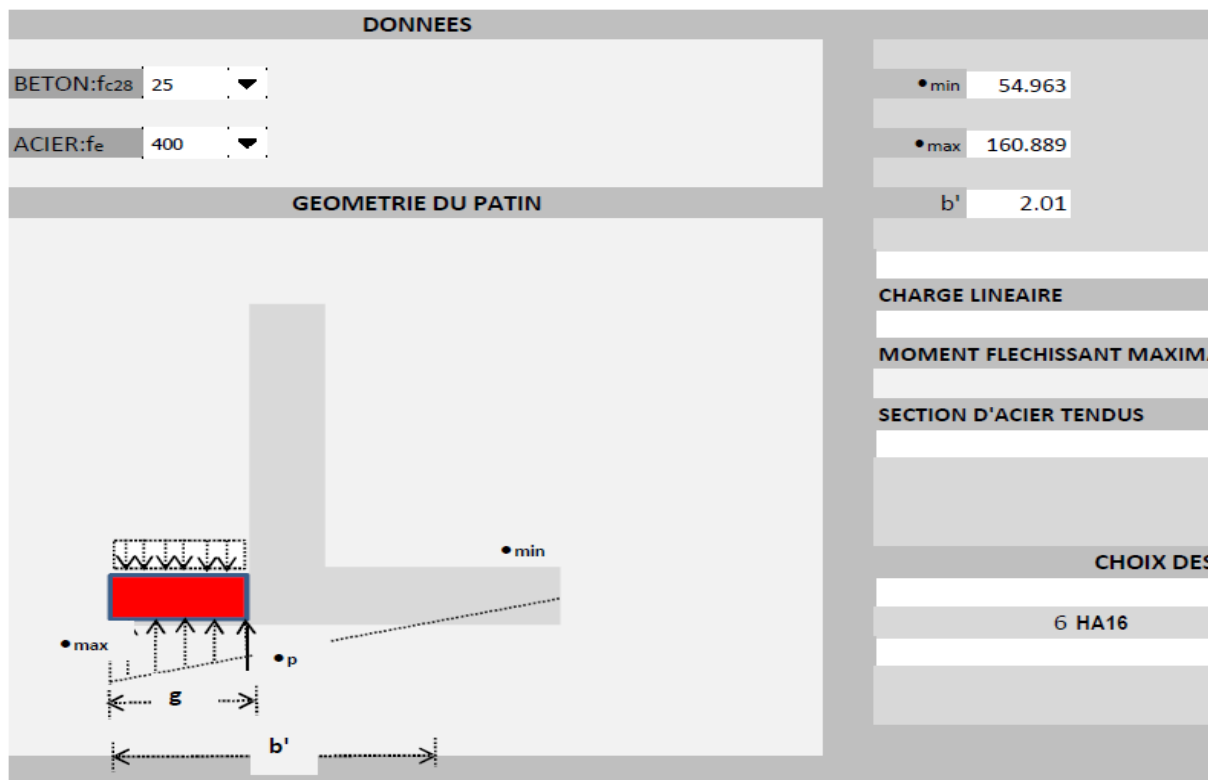


XVII. ANNEXE5 : RESULTAT DU FERRAILLAGE DU TALON ET DU PATIN

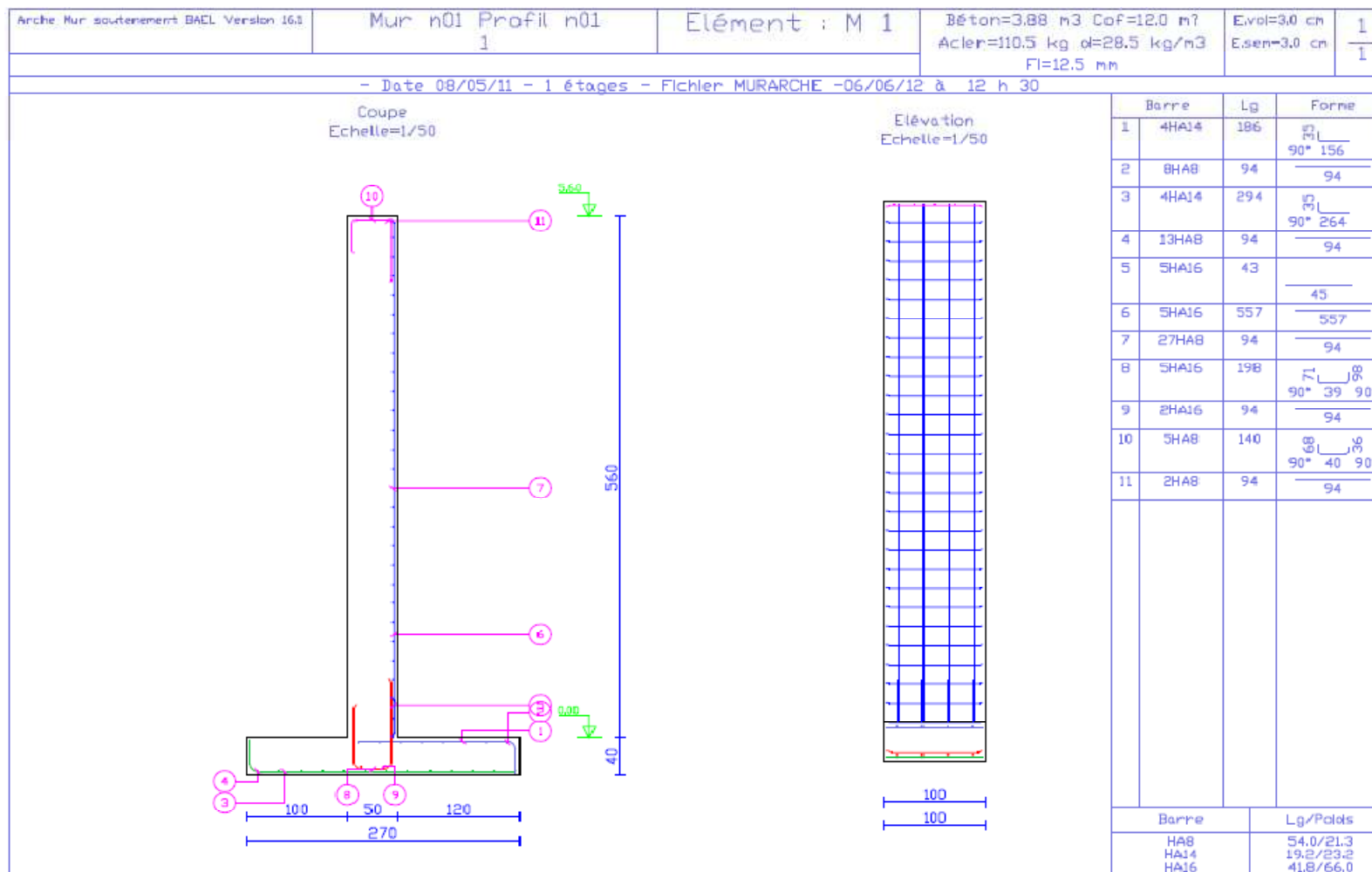
Talon



Patin



XVIII. ANNEXE5 : PLAN DE FERRAILLAGE DU MUR DE SOUTÈNEMENT



FIN