# Etudes d'ingénierie et suivi des travaux de construction d'un immeuble R+1 extensible R+3 réalisé pour le compte de la LONAB à Kaya

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du

**MASTER D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT**

Option : génie civil (Bâtiment)

Rédigé et soutenu publiquement le

Par **TAMGUE YOUMSI Ulrich Arthur**

Travaux dirigés par

**Encadreur académique**

Dr. Adamah **MESSAN**

*Enseignant-chercheur au centre commune recherche Energie et habitat*

**Encadreur professionnel**

Mr. **BELEM** Abdoul Aziz

*Ingénieur de génie civil*

## Jury d'évaluation du stage

Président : Mr SANOUSSI

Membres et correcteurs : Mr Amadou SIMAL

Mr Célestin OVONO

Dr Adamah MESSAN

**Promotion 2017**

« Un problème sans solution est un problème mal posé »

Albert **EINSTEIN** (*1879-1955)*

## ***Dédicace***

A mes parents *Mr.* ***YOUMSSI*** et *Mme* ***KENGNE*** *Epse* ***YOUMSI*** *Gisèle*

*Si le fruit tombe près de l'arbre, c'est pour ne jamais oublier d'où il vient…*

***Proverbe Bamiléké***

## *Remerciements*

La rédaction de ce mémoire marque la fin de plusieurs années d'études durant lesquelles j'ai bénéficié de l'accompagnement et de l'appui de nombreuses personnes. Je profite de la vitrine qui m'est offerte pour leur adresser mes sincères remerciements en témoignage de ma reconnaissance. Il s'agit de :

- ✓ M. Le **Directeur Général**, de *l'Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE)*, pour m'avoir permis de faire mes études dans son institut.

- ✓ Au **corps enseignant et administratif de 2iE** pour leur disponibilité, l'encadrement et l'assistance dont j'ai pu bénéficier durant mon parcours.

- ✓ M. **Abdulaï MOHAMMED**, Directeur Général de *Faso Construction et Services (FCS)*, pour m'avoir offert d'effectuer mon stage de fin d'études dans son entreprise.

- ✓ M. **BELEM Abdoul Aziz**, mon maître de stage et l'ensemble du personnel de FCS pour l'accueil, l'encadrement et les conseils Auxquels j'ai eu droit au cours du stage, et son assistance lors de la rédaction du mémoire de fin d'études.

- ✓ Dr. **MESSAN ADAMAH**, mon encadreur académique pour l'accompagnement durant le stage et l'assistance dans la rédaction de ce document

- ✓ Mes parents **M. et Mme YOUMSSI** pour leur disponibilité à mon égard, leur accompagnement et leur soutien moral, qui auront sans doute garanti le succès de cette formation

- ✓ Mes proches, amis et connaissances pour m'avoir toujours encouragé et soutenu dans les moments difficiles

- ✓ Aux étudiants de 2iE en général et mes camarades de promotion en particulier pour les relations conviviales que nous avons su entretenir pendant les années de formations

- ✓ A toute les personnes qui n'ont pas été mentionnées, mais dont la participation proche ou éloignée aura concouru au succès de mes études.

## *Résumé*

Ce mémoire de fin d'études détaille quelques-unes des études d'ingénierie qui ont été effectuées pour mener à bien le projet de construction d'un immeuble R+1 extensible R+3 devant abriter les locaux de la direction régionale du centre nord de l'entreprise **LONAB** sis à Kaya au Burkina-Faso.

Au cours de cette étude, nous nous sommes intéressés dans un premier temps aux éléments les plus contraignants de l'étude de structure, au regard des contraintes architecturales liées au projet et autres exigences de la maîtrise d'ouvrage. Cette considération nous a mené à l'étude de la structure porteuse devant soutenir la dalle au-dessus du Hall d'accueil, constituées d'une poutre secondaire continue, reposant sur plusieurs poutres principales isostatiques. Cette même considération nous a ensuite mené à l'étude complète de la structure de coques minces constituant la cafétéria et dénommée « marmite » dans le cadre du projet. Nous avons ensuite évolué par l'étude des poteaux excentrés omniprésents dans le plan de coffrages de l'immeuble. Notre étude de la structure s'achèvera ensuite par l'étude d'un système de fondation : une semelle de fondation.

Le projet comportant un parc solaire installé au sommet du bâtiment, nous avons effectué l'étude d'un système photovoltaïque couplé au réseau public, dont le parc solaire est situé au sommet du bâtiment, afin de pouvoir utiliser tout son potentiel et d'en avoir le meilleur rendement énergétique et économique. Cette étude a été réalisée par assistance du logiciel PVSYST. Elle nous a conduit à la prescription pour cette installation de l'installation de 169 panneaux solaires (13x13) du fabricant PANASONIC, précisément le modèle VBHN230SE51, dont la puissance nominale est de 39 kWc, contrôlés par un onduleur du fabricant Kaco New Energy, modèle Powador 40.0 TL3 XL, dont la puissance nominale est 36 kWac, et le ratio de puissance 1,08.

Au delà de ces études techniques, nous avons tenu à valoriser ce stage par une utilisation des logiciels adaptés pour chaque étude. Cette approche nous a conduit à l'emploi des logiciels de la suite Autodesk (AutoCAD pour les plans de structure, ArchiCAD pour la modélisation et la production de l'imagerie 3D, Robot RSA & CBS pour les calculs de structure), Et du logiciel PVSYST pour le dimensionnement parc et le choix des équipements du photovoltaïque.

Le stage ayant débuté par une phase pratique avec la vocation d'apprentissage des techniques de réalisation des bâtiments et expérimentation de la conduite des travaux, nous y avons dédié un rapport que nous avons ajouté à notre étude technique.

**Mots clés**

1. Béton armé
2. Coques minces
3. Panneau photovoltaïque
4. Installation couplée au réseau
5. Suivi de chantier

## *Abstract*

This memory of end of study retails some of the engineering studies that have been done to carry through the project of construction of a R+1 building expandable R+3 having to shelter the regional direction offices of the north-center LONAB enterprises suited in Kaya in Burkina-Faso.

During this survey, we got interested firstly in the most coercive elements of the survey structure that is the look of the architectural constraints bound to the project and other requirements of the work mastery. This consideration led us to the survey of the structure bearer having to sustain the tile above the entry Hall, constituted necessarily of a secondary beam continues, based on several isostatic main beams. This same consideration led us then to the complete survey of the structure of thin cockles constituting the cafeteria and named "pot" in the setting of the project. We evolved then by the survey of the omnipresent eccentric posts in the plan of framings of the building. Our survey of the structure will end then by the survey of a foundation system: a sole of foundation.

The project including a solar park installed to the summit of the building, we did the survey of a photovoltaic system coupled to the public network, whose solar park is situated to the summit of the building, in order to be able to use all his/her/its potential and to have the best energizing and economic output of it. This survey has been achieved by aid of the software PVSYST. It drove us to the prescription for this station of the installation of 169 solar panels (13x13) of manufacturer PANASONIC, precisely the VBHN230SE51 model, whose nominal power is of 39 kWc, controlled by a Kaco New Energy ondulator Powador model 40.0 TL3 XLS, whose nominal power is 36 kWac, and the ratio of power 108.

Beyond these technical studies, we wanted to value this course by using the software adapted for each study. This approach has led to the use of Autodesk suite software (AutoCAD for structure plans, ArchiCAD for modeling and production of 3D imagery, RSA & CBS robot for structural calculations), and software PVSYST for the sizing of the park and the choice of photovoltaic equipment.

Since the internship started with a practical phase with the vocation of learning the techniques of realization of the buildings and experimentation of the conduct of the works, we dedicated a report that we added to our technical study.



**Key words**

1. Reinforced Concrete
2. Thin shells
3. Solar pannels
4. Installation connected to public network
5. Site supervision

## *Sommaire*

Partie I PRESENTATION GENERALE DU PROJET ..... 2
I. Présentation de la structure d'accueil ..... 2
II. Description du projet ..... 3
II-1. Contexte du projet ..... 3
II-2. Description de l'ouvrage ..... 3
II-3. Intervention de l'entreprise ..... 4
Partie II ETUDE STRUCTURALE DE L'OUVRAGE ..... 5
I. Hypothèses de calcul ..... 5
I-1. Règlements généraux de l'étude ..... 5
I-2. Description de la structure ..... 5
I-3. Caractéristiques des matériaux. ..... 5
I-3-1. Conditions du milieu et type de fissuration ..... 5
I-3-2. Le béton ..... 5
I-3-3. L'acier. ..... 6
I-3-4. Le Sol ..... 7
I-4. Dispositions constructives diverses ..... 8
I-4-1. Classe des granulats ..... 8
I-4-2. Enrobage minimal ..... 8
I-4-3. Enrobage correct ..... 8
I-4-4. Espacement des barres ..... 8
I-5. Dispositions nécessaires à la tenue au feu ..... 8
II. ETUDE DE DE LA STRUCTURE DE L'OUVRAGE. ..... 9
II-1. Descente de charges. ..... 9
II-1-1. Identification générale des charges appliquées au Bâtiment ..... 9
II-1-2. Paramétrage du logiciel Robot CBS ..... 11
II-2. Calcul des éléments de structure ..... 13
II-2-1. Calcul de la dalle pleine ..... 13
II-2-2. Calcul des planchers à corps creux ..... 15
II-2-3. Calcul d'une poutre continue de plancher ..... 17
II-2-4. Calcul des poutres isostatiques ..... 20
II-2-5. Calcul de la marmite de « la marmite » (cafétéria) ..... 22
II-2-6. Calcul des poteaux ..... 27
II-2-7. Calcul de la semelle de fondation ..... 30
Partie III ETUDE DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE ..... 31

I. Description du réseau photovoltaïque ....31
I-1. Le réseau isolé avec batterie ....31
I-2. Le réseau couplé au réseau public ....31
II. Conception du réseau photovoltaïque ....32
II-1. Le cahier des charges ....32
II-2. Les prescriptions techniques régissant la conception ....32
II-2-1. Orientation optimales des panneaux ....32
II-2-2. Inclinaison optimale des panneaux ....32
II-2-3. Effet de masque ....33
II-2-4. Application ....33
Partie IV PHASE PRATIQUE DU STAGE ....34
I. Au début du stage ....34
II. Intervenants du chantier et responsabilités ....34
III. Processus qualité et chantier de construction ....34
III-1. Qualité du béton ....35
III-2. Contrôle des constituants du béton ....35
III-3. Contrôle au poste de bétonnage ....35
IV. Description de quelques travaux suivis ....35
V. Valorisation de la phase pratique du stage ....36

## *Liste des figures*

**Figure 1**: Organigramme de la structure d'accueil....2
**Figure 2**:Terminologie et notation des dispositions constructives....8
**Figure 3**: Modèle de calcul de la dalle pleine en section courante....14
**Figure 4**: Coupe d'un plancher à corps creux....15
**Figure 5**: Indication de ferraillage des poutrelles....16
**Figure 6**: Structure porteuse de la cafétéria....23
**Figure 7**: Notation de calcul des calottes sphériques....24
**Figure 8**: Notation de calcul des voiles cylindriques....26
**Figure 9**: Notation des efforts de compression sur le poteau....28
**Figure 10**: Parc photovoltaïque isolé avec batterie....31
**Figure 11**: Parc photovoltaïque couplé au réseau....32

## *Liste des tableaux*

**Tableau 1**: Exigences relatives à la tenue au feu.....9
**Tableau 2**: Chargement appliqué au plancher haut du Rez de chaussée (PH-RDC) .....10
**Tableau 3**: Chargement appliqué au plancher haut de l'étage courant.....11
**Tableau 4**: Chargement appliqué à la toiture .....11
**Tableau 5**: Présentation du ratio volumique à appliquer dans CBS (cas des cloisons de distribution) .....12
**Tableau 6**: Détail des charges à spécifier dans Robot CBS .....13
**Tableau 7**: Tableau des armatures de la dalle pleine.....14
**Tableau 8**: Tableau de calcul des sollicitations des poutrelles.....16
**Tableau 9**: Présentation du ferraillage des poutrelles .....17
**Tableau 10**: Tableau récapitulatif du ferraillage de la poutre continue .....19
**Tableau 11**: Tableau récapitulatif des sections d'aciers de la marmite .....27
**Tableau 12**: Descente des charges particulière sur le poteau excentré .....28
**Tableau 13**: Tableau récapitulatif des sections d'acier du radier.....30

# *Introduction Générale*

Depuis quelques années l'Etat burkinabé a instauré une mobilité de la cérémonie de célébration de la fête nationale. Cette célébration est prévue le 11 Décembre 2016 à Kaya, capitale de la région du Centre Sud au Burkina-Faso. Diverses infrastructures sont prévues dans cette ville en préparation de cet évènement engendrant ainsi de nombreuses constructions, dont le centre régional de l'entreprise LONAB.

Nous avons réalisé notre stage de fin d'études au sein de l'entreprise *Faso Construction et Services*, qui a la charge de la réaliser ce projet. Devant les singularités de la conception de ce projet, nous nous sommes proposés d'explorer les apports de l'ingénieur dans la conception et la préparation du projet en cours de réalisation. La valorisation de ce stage nécessite une généralisation des difficultés rencontrées pour pouvoir adopter des solutions durables et continuellement exploitables. Le thème du stage a ainsi été formulé comme suit : « *Etudes d'ingénierie relatives à la réalisation du projet de construction d'un bâtiment : application au projet de réalisation d'un immeuble R+1 extensible R+3pour le compte de la LONAB à Kaya* ».

Il s'est agi pour nous au courant de cette étude de mener des travaux d'ingénieries pour résoudre les différentes contraintes inhérentes à ce projet de par sa conception architecturale et les autres exigences du maître d'ouvrage, avec l'appui logiciel. Cette étude précède le rapport de la phase pratique du stage, portant sur la réalisation des travaux.

Pour une meilleure organisation de notre étude, nous avons structuré ce rapport en quatre parties. La première partie présente le projet support de l'étude, la seconde présente les études de la structure du bâtiment, la troisième se focalise sur les études du système photovoltaïque, et la dernière détaille les activités de la phase pratique du stage.

# Partie I PRESENTATION GENERALE DU PROJET

## I. Présentation de la structure d'accueil

L'entreprise Faso Construction et Services (FCS) est située au secteur 15 de Ouagadougou, dans le quartier Ouaga 2000, non loin du boulevard circulaire de Ouaga 2000. Faso Construction et Services (FCS) est une entreprise individuelle exerçant dans le domaine de Bâtiments, des Travaux Publics, des travaux d'entretien routier et d'aménagement de piste. Elle a été créée en 1995 par Monsieur Abdulaï MOHAMMED qui en est le Directeur Général, avec son siège au Burkina Faso (Ouagadougou) et des succursales en Côte d'Ivoire, au Niger et en Guinée Biseau.

De nos jours les travaux sont plus concentrés en Côte d'Ivoire dont l'entreprise fait partir des leaders avec des marchés de 5 à 6 milliards. L'organigramme ci-dessous montre le mode d'organisation hiérarchique de FCS.

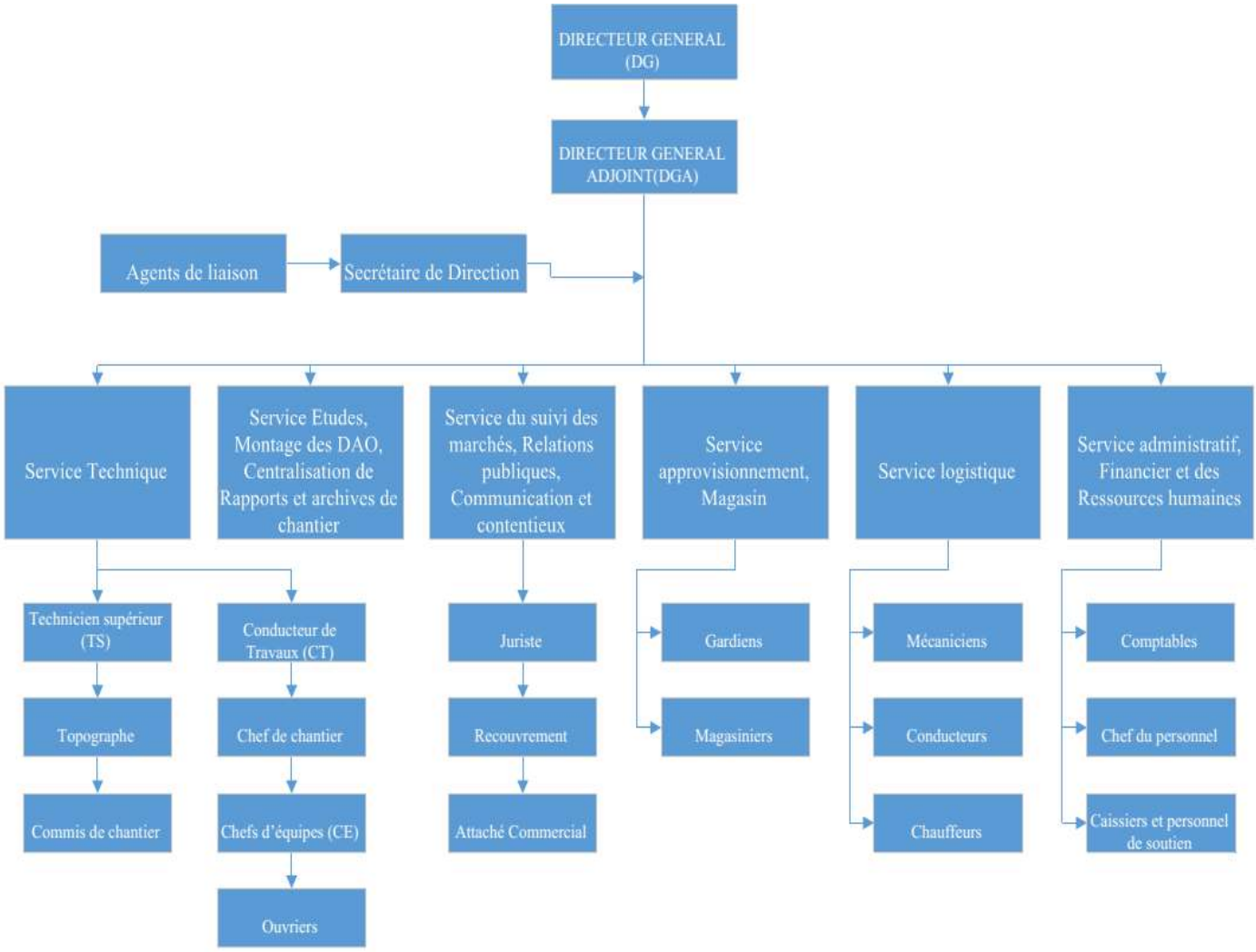



**Figure 1**: *Organigramme de la structure d'accueil*

# II. Description du projet

## II-1. Contexte du projet

Le 11 Décembre 2016, la célébration de la fête nationale au Burkina-Faso se tiendra à Kaya, chef-lieu de la province du Centre-Nord. A cette occasion, diverses infrastructures y sont érigées. La Loterie Nationale Burkinabé (LONAB) qui finance bon nombre de ces projets a en plus décidé de doter cette localité d'une direction régionale pour ses activités. Le bâtiment prévu à cet effet fera l'objet de notre étude.

## II-2. Description de l'ouvrage

Le bâtiment qui fera l'objet de notre étude est un bâtiment R+1, extensible R+3. Ceci suppose que l'étude sera menée sur un projet R+3, mais à la réalisation, on fera un R+1. L'ouvrage connaîtra par la suite une extension en R+3 avec répétition de la configuration du niveau R+1. Il est destiné à abriter les locaux de la direction régionale de la LONAB de la province du Centre Nord. C'est donc un bâtiment de bureaux. La distribution des pièces consiste entre autres :

- Le Rez-de-chaussée (RDC) d'une emprise de 700m² comprend :
  - ✓ Un hall d'accueil et renseignement
  - ✓ Un espace course en direct
  - ✓ Un bloc cafétéria comprenant
    - Une cuisine
    - Un WC
    - Un réfectoire
    - Une terrasse
  - ✓ Un local technique
  - ✓ Un bureau de caisse avec une salle coffre-fort
  - ✓ Un bureau de vérificateur
  - ✓ Une guérite
  - ✓ Une salle d'archives
  - ✓ Un magasin de stockage
  - ✓ Un débarras
  - ✓ Trois blocs de toilettes
  - ✓ Les circulations (couloirs, escaliers et cage d'ascenseur)
- L'étage courant d'une emprise de 400m² comprend :
  - ✓ Une salle de réunion
  - ✓ Un bloc informatique comprenant
    - Un local serveur
    - Un bureau pour l'informaticien
  - ✓ Un bloc Direction générale comprenant
    - Un secrétariat de direction
    - Un bureau pour le directeur
  - ✓ Un local technique
  - ✓ Un bureau pour le comptable
  - ✓ Un bureau pour le responsable des finances

- ✓ Un débarras
- ✓ Trois blocs de toilettes
- ✓ Les circulations (couloirs, escaliers et cage d'ascenseur)

Le bâtiment comporte par ailleurs un parc solaire pour la production de l'électricité. L'alimentation en électricité doit être assurée simultanément par ce par et le réseau d'alimentation urbain de la SONABEL. L'ensemble du circuit doit être secouru en cas de nécessité par un groupe électrogène.

L'approvisionnement en eau potable est effectué à partir d'un branchement au réseau de distribution urbain de l'ONEA.

### II-3. Intervention de l'entreprise

Dans le cadre de ce projet, l'entreprise Faso Construction et Services a la charge :

- ❋ D'effectuer les études nécessaires à la construction du bâtiment, notamment :
  - ✓ L'étude de la structure
  - ✓ La réalisation des plannings tenant compte de toutes les contraintes définies par le dossier d'appel d'offre du marché et considérant l'intervention des sous-traitants
- ❋ De réaliser les travaux de gros œuvre, notamment :
  - ✓ La structure porteuse du bâtiment, conformément aux plans validés par la maîtrise d'œuvre
  - ✓ La distribution des pièces, conformément aux plans d'architecture
  - ✓ La mise hors d'eau du bâtiment, consistant en l'édification d'une toiture au R+1 et la réalisation de l'étanchéité sur les terrasses du RDC.
- ❋ De réaliser les travaux de second œuvre, notamment :
  - ✓ Les enduits intérieurs et extérieurs
  - ✓ La peinture
  - ✓ Le carrelage
- ❋ De la coordination des intervenants de la Sous-traitance, notamment :
  - ✓ Dans le traitement anti-termites
  - ✓ Dans les travaux d'électricité
  - ✓ Dans les travaux de plomberie
  - ✓ Dans les travaux de réalisation des ouvrages annexes (Clôture, aménagement extérieur, etc…)
- ❋ Et enfin, d'assurer l'équipement du bâtiment (menuiserie métallique, bois et aluminium, appareillage électrique, sanitaire et climatique, etc.)

# Partie II ETUDE STRUCTURALE DE L'OUVRAGE

## I. Hypothèses de calcul

### I-1. Règlements généraux de l'étude

Sauf indications contraires, les normes utilisées dans notre étude sont :

- En béton armé : BAEL 91 modifié 99
- En construction métallique : CM 66 et NV 65

### I-2. Description de la structure

Le bâtiment auquel s'intéresse notre étude présente une structure essentiellement en béton armé. Le choix de ce matériau a été guidé par la disponibilité de ses constituants et leur proximité au site de construction, ainsi que par la maîtrise des différentes méthodes de mise en place de ce matériau par la main d'œuvre locale.

Toutefois la toiture est supportée par des pannes IPE (structure métallique).

Le parc solaire, disposé au-dessus de la toiture dispose de sa propre structure métallique.

### I-3. Caractéristiques des matériaux.

#### I-3-1. Conditions du milieu et type de fissuration

Le milieu considéré pour l'étude nous indique de considérer :

- ❋ Une fissuration très préjudiciable pour les ouvrages en contact avec les eaux de pluie (Eléments de structure des chéneaux)
- ❋ Une fissuration préjudiciable pour les ouvrages en fondation et les éléments de structure en rive,
- ❋ Une fissuration peu préjudiciable pour les autres éléments de structure.

#### I-3-2. Le béton

- ✓ La durée d'application des charges à t> 24h soit $\theta = 1.$
- ✓ Le coulage du béton se fait sans reprise de bétonnage : k=1
- ✓ Le coefficient de sécurité du béton est : $\gamma_b = 1,5.$

#### a. Prescriptions du marché

Conformément aux prescriptions des cahiers de charge :

- ✓ Le béton des éléments de la structure autres que le dallage sera dosé à 350 Kg/m$^3$
- ✓ Le béton des éléments de dallage sera dosé à 300 Kg/m$^3$
- ✓ Le béton de propreté sera dosé à 150 Kg/m$^3$
- ✓ Le béton cyclopéen est dosé à 200 Kg/m$^3$
- ✓ La résistance caractéristique du béton à 28 jours est : $f_{c28} = 20\ MPa$

#### b. Caractéristiques induites

##### i. Contrainte limité admissible :

❋ E.L.U :

$$f_{bu} = 0{,}85 \times \frac{fc28}{1{,}5}$$

$$f_{bu} = 11{,}33\ MPa$$

❋ E.L.S :

$$f_{bser} = 0.6 \times f_{c28}$$

$$f_{bser} = 12\ MPa$$

**ii.** Résistance caractéristique à la traction :

$$f_{t28} = 0{,}6 + 0{,}06\ f_{c28}$$

$$f_{t28} = 1{,}8\ MPa$$

iii. Déformation longitudinale du béton :

❋ Le module Déformation longitudinale Instantané :

$$E_{i28} = 11.000 \times \sqrt[3]{f_{c28}}$$

$$E_{i28} = 29.858{,}59\ MPa$$

❋ Et le module de Déformation différé :

$$E_{v28} = 3.700 \times \sqrt[3]{f_{c28}}$$

$$E_{i28} = 10.043{,}35\ Mpa$$

iv. Cisaillement :

La contrainte limite de cisaillement du béton est déterminée ainsi qu'il suit :

❋ En fissuration peu préjudiciable :

$$\tau_{lim} = \min\left(\frac{0{,}2 \times f_{C_{28}}}{\gamma_b}; 5\ MPa\right)$$

$$\tau_{lim} = 2{,}67\ MPa$$

❋ En fissuration préjudiciable :

$$\tau_{lim} = min\left(\frac{0{,}15 \times f_{C_{28}}}{\gamma_b}; 4\ MPa\right)$$

$$\tau_{lim} = 2\ MPa$$

### I-3-3. L'acier.

✓ Coefficient partiel de sécurité de l'acier $\gamma_s = 1{,}15$.

a. Prescriptions du marché

Conformément au cahier des charges, les aciers utilisés comme armatures du béton armé doivent être de nuance **FeE 400**, c'est-à-dire présenter une résistance caractéristique $f_e = 400\ MPa$.

Par ailleurs, leur module d'élasticité ou module de Young doit être $E_s = 2.10^5\ MPa$.

### b. Caractéristiques induites

#### i. La contrainte de calcul à l'ELU

$$\sigma_{st} = f_{su} = \frac{fe}{\gamma_s}$$

$$\sigma_{st} = \frac{400}{1{,}15}$$

$$\sigma_{st} = 347{,}83\ MPa$$

#### ii. La contrainte de calcul à l'ELS

$$\xi = \min\begin{cases} \frac{2f_e}{3} \\ \max\begin{cases} 0{,}5.f_e \\ 110\sqrt{\eta f_{t28}} \end{cases} \end{cases} \quad où$$

$$\eta = \begin{cases} 1{,}0\ pour\ les\ RL\ et\ TS\ tréfilés\ lisses \\ 1{,}3\ pour\ les\ fils\ HA\ de\ \emptyset < 6\ mm \\ 1{,}6\ pour\ les\ barres\ HA\ et\ fils\ HA\ de\ \emptyset \geq 6\ mm \end{cases}$$

$$\xi = \min\begin{cases} \frac{2 \times 400}{3} \\ \max\begin{cases} 0{,}5 \times 400 \\ 110\sqrt{1{,}6 \times 1{,}8} \end{cases} \end{cases}$$

$$\xi = \min\begin{cases} 266.67 \\ \max\begin{cases} 200 \\ 186{,}68 \end{cases} \end{cases}$$

$$\xi = 200\ MPa$$

❋ En fissuration préjudiciable

$$\sigma_{st} = \xi$$

$$\sigma_{st} = 200\ MPa$$

❋ En fissuration très préjudiciable

$$\sigma_{st} = 0{,}8.\xi$$

$$\sigma_{st} = 0{,}8 \times 200\ MPa$$

$$\sigma_{st} = 160\ MPa$$

## I-3-4. Le Sol

Les caractéristiques du sol de fondation considéré dans l'étude ont été prescrites par le Laboratoire National des Bâtiments et Travaux Publics (LNBTP) du Burkina-Faso. Le rapport de cette étude stipule entre autres que l'ancrage des semelles doit être à une profondeur minimale de **2.00 m**, et la contrainte du sol à une telle profondeur est **$\sigma_{sol}$ = 0,15 MPa.**

## I-4. Dispositions constructives diverses

**Figure 2**: *Terminologie et notation des dispositions constructives*

### I-4-1. Classe des granulats

Sable : 0/5

Gravier : 5/25

### I-4-2. Enrobage minimal

Il dépend des conditions d'exposition de l'ouvrage.

- ✓ Pour les ouvrages enterrés, exposés à des intempéries on prendra un minimum de 3 cm
- ✓ Pour les ouvrages à l'abri des intempéries (situés à l'intérieur) on prendra 1 cm

### I-4-3. Enrobage correct

$c > l_p$

### I-4-4. Espacement des barres

- ✓ Espacement vertical

$e_v = \max(l_p; D_{max})$

$e_v = \max(l_p; 2{,}5\ cm)$

- ✓ Espacement horizontal

$e_h = max(l_p; 1{,}5 \times D_{max})$

$e_h = max(l_p; 1{,}5 \times 2{,}5\ cm)$

$e_h = max(l_p; 3{,}75\ cm)$

*Où $C_g$ est le diamètre du plus gros granulat*

***N.B : l'enrobage des armatures retenu doit être la valeur maximale entre l'enrobage minimal et l'enrobage correct.***

## I-5. Dispositions nécessaires à la tenue au feu

Pour satisfaire aux exigences de la tenue au feu, les éléments de structure doivent satisfaire à certaines conditions reposant notamment sur leur pré dimensionnement et les dispositions constructives. Ces conditions sont disponibles dans le tableau suivant :

| Elément de structure | Paramètre de contrôle (cm) | Durée (h) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 3 | 4 |
| Poteaux | largeur minimale | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 45 |
| | enrobage minimal | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Voiles | épaisseur minimale | 10 | 12 | 14 | 16 | 20 | 24 |
| | enrobage minimal | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Poutres isostatiques | largeur minimale | 20 | 20 | 20 | 20 | 24 | 28 |
| | enrobage minimal | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 |
| Poutres continues | largeur minimale | 20 | 20 | 20 | 20 | 24 | 28 |
| | enrobage minimal | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 4,0 | 6,0 | 7,0 |
| Dalles isostatiques | épaisseur minimale | 7,5 | 10 | 11 | 13 | 15 | 17 |
| | enrobage minimal | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 3,5 | 4,5 | 5,5 |
| Dalles continues | épaisseur minimale | 7,5 | 10 | 11 | 13 | 15 | 17 |
| | enrobage minimal | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 3,5 | 4,5 |

**Tableau 1**: *Exigences relatives à la tenue au feu*

Le pré dimensionnement, et l'adoption des dispositions constructives diverses pour les éléments de structure de notre bâtiment se feront de façon à assurer une tenue au feu d'une heure.

## II. ETUDE DE DE LA STRUCTURE DE L'OUVRAGE.

La structure du bâtiment a été conçue de façon à respecter l'aspect du bâtiment, en conformité avec les plans architecturaux fournis par la maîtrise d'œuvre. L'idée directrice de la conception des plans de coffrage disponibles en annexe II étant de déterminer la position des poutres de façon à minimiser les retombées visibles des poutres, ou l'apparition des poteaux supplémentaires de forte section, il sera question de :

- Suivre au maximum le tracé des murs tels que présenté par les plans architecturaux
- Favoriser la superposition des planchers pour une continuité de la descente des charges
- Adopter comme largeur des poutres lors du dimensionnement la largeur des murs tant que cela ne nuit pas à la condition de tenue au feu.
- Créer, partout où cela est nécessaire, un réseau de poutres principales et secondaires pour pouvoir utiliser les poteaux existants comme supports des planchers ou pour réduire au maximum les charges sur les poteaux nouvellement créés.
- Enfin, respecter les positions des joints de dilatation prévus par la maîtrise d'œuvre.

### II-1. Descente de charges.

La descente de charge est une opération qui consiste à déterminer les actions qui agissent sur la structure, entraînant des sollicitations qui serviront alors au choix du programme de calcul adéquat pour la détermination des sections d'armatures nécessaires.

#### II-1-1. Identification générale des charges appliquées au Bâtiment

Le tableau suivant détaille les différentes charges à considérer lors de l'étude de la structure de l'ouvrage étudié :

| Niveau | Pièces | Désignation | Valeur (kN/m²) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Charges Permanentes | Charges d'exploitation |
| PH RDC | Bureaux | Carrelage grès cérame (9 mm + mortier de pose de 2cm) | 0,6 | 2,5 |
| | | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | |
| | | Dalle à hourdis (15+5) | 2,85 | |
| | | Faux plafond en staff | 0,09 | |
| | | Total | 4,14 | 2,5 |
| | Escaliers | Carrelage grès cérame (9 mm + mortier de pose de 2cm) | 0,6 | 2,5 |
| | | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | |
| | | Dalle à hourdis (15+5) | 2,85 | |
| | | Enduit sous dalle de 1,5 cm d'épaisseur | 0,3 | |
| | | Total | 4,35 | 2,5 |
| | Couloirs | Carrelage grès cérame (9 mm + mortier de pose de 2cm) | 0,6 | 2,5 |
| | | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | |
| | | Dalle à hourdis (15+5) | 2,85 | |
| | | Enduit sous dalle de 1,5 cm d'épaisseur | 0,3 | |
| | | Total | 4,35 | 2,5 |
| | Salle de fête | Carrelage grès cérame (9 mm + mortier de pose de 2cm) | 0,6 | 5 |
| | | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | |
| | | Dalle à hourdis (15+5) | 2,85 | |
| | | Etanchéité | 0,12 | |
| | | Enduit sous dalle de 1,5 cm d'épaisseur | 0,3 | |
| | | Total | 4,47 | 5 |
| | Cafétéria | Carrelage grès cérame (9 mm + mortier de pose de 2cm) | 0,6 | 1 |
| | | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | |
| | | Dalle à hourdis (15+5) | 2,85 | |
| | | Enduit sous dalle de 1,5 cm d'épaisseur | 0,3 | |
| | | Etanchéité | 0,12 | |
| | | Total | 3,47 | 1 |
| | Auvent | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | 1 |
| | | Dalle à hourdis (15+5) | 2.85 | |
| | | Enduit sous dalle de 1,5 cm d'épaisseur | 0,3 | |
| | | Etanchéité | 0,12 | |
| | | Total | 3,87 | 1 |
| | Coupole | Coupole en matériau aluminium 10/10e | 3 | 1 |
| | | Total | 3,42 | 1 |
| | Balcon | Carrelage grès cérame (9 mm + mortier de pose de 2cm) | 0,6 | 3 |
| | | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | |
| | | Dalle à hourdis (15+5) | 2,85 | |
| | | Etanchéité | 0,12 | |
| | | Faux plafond en staff | 0,09 | |
| | | Total | 4,26 | 3 |
| | Balcon décoratif | Carrelage grès cérame (9 mm + mortier de pose de 2cm) | 0,6 | 3 |
| | | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | |
| | | Dalle pleine en béton armé, épaisseur 12 cm | 3 | |
| | | Etanchéité | 0,12 | |
| | | Enduit sous dalle de 1,5 cm d'épaisseur | 0,3 | |
| | | Total | 4,62 | 3 |

**Tableau 2**: *Chargement appliqué au plancher haut du Rez de chaussée (PH-RDC)*

| Niveau | Pièces | Désignation | Valeur (kN/m²) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Charges Permanentes | Charges d'exploitation |
| PH R+1 & R+2 | Bureaux | Carrelage grès cérame (9 mm + mortier de pose de 2cm) | 0,6 | 2,5 |
| | | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | |
| | | Dalle à hourdis (15+5) | 2,85 | |
| | | Faux plafond en staff | 0,09 | |
| | | Total | 4,14 | 2,5 |
| | Escaliers | Carrelage grès cérame (9 mm + mortier de pose de 2cm) | 0,6 | 2,5 |
| | | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | |
| | | Dalle à hourdis (15+5) | 2,85 | |
| | | Enduit sous dalle de 1,5 cm d'épaisseur | 0,3 | |
| | | Total | 4,35 | 2,5 |
| | Couloirs | Carrelage grès cérame (9 mm + mortier de pose de 2cm) | 0,6 | 2,5 |
| | | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | |
| | | Dalle à hourdis (15+5) | 2,85 | |
| | | Enduit sous dalle de 1,5 cm d'épaisseur | 0,3 | |
| | | Total | 4,35 | 2,5 |
| | Balcons | Carrelage grès cérame (9 mm + mortier de pose de 2cm) | 0,6 | 3 |
| | | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | |
| | | Dalle à hourdis (15+5) | 2,85 | |
| | | Etanchéité | 0,12 | |
| | | Faux plafond en staff | 0,09 | |
| | | Total | 4,14 | 3 |
| | Balcons décoratifs | Carrelage grès cérame (9 mm + mortier de pose de 2cm) | 0,6 | 3 |
| | | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | |
| | | Dalle pleine en béton armé, épaisseur 12 cm | 3 | |
| | | Etanchéité | 0,12 | |
| | | Enduit sous dalle de 1,5 cm d'épaisseur | 0,3 | |
| | | Total | 4,5 | 3 |

**Tableau 3**: *Chargement appliqué au plancher haut de l'étage courant*

| Niveau | Pièces | Désignation | Valeur (kN/m²) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Charges Permanentes | Charges d'exploitation |
| Chainage supérieur | Toiture | Couverture en tôles BAC pré laquées 3,5/10 mm | 0,11 | 1 |
| | | Charpente métallique | 0,22 | |
| | | Plafonnage | 0,8 | |
| | | Total | 1,13 | 1 |
| | Parc solaire (éventuel) | Parc solaire | 2,22 | 0 |
| | | Total | 2,22 | 0 |
| | Terrasses non accessibles | Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 | 1 |
| | | Dalle pleine en BA, épaisseur 10 cm | 2,5 | |
| | | Enduit sous dalle de 1,5 cm d'épaisseur | 0,3 | |
| | | Etanchéité | 0,12 | |
| | | Total | 3,52 | 1 |

**Tableau 4**: *Chargement appliqué à la toiture*

### II-1-2. Paramétrage du logiciel Robot CBS

La descente des charges logicielle a été effectuée à l'aide du logiciel ROBOT CONCRETE BUILDING STRUCTURE 2014. Le logiciel nous aura surtout permis d'effectuer la descente des charges générale, identifiant les charges des semelles, en vue d'élaborer le plan de fondation.

Pour les besoins de paramétrage du logiciel lors de la modélisation, Nous distinguerons les charges dans les groupes suivants :

- Les charges des matériaux constituants les éléments
- Les charges permanentes sur les dalle
- Les charges d'exploitation sur les dalles

### a. Les charges des matériaux

Il s'agit ici d'indiquer les valeurs des poids propres des matériaux qui vont être renseignées dans le logiciel.

- Eléments de structure en Béton Armé

Les éléments de structure en béton armé ont été modélisés avec le matériau Béton Armé, disponible par défaut dans la bibliothèque des matériaux de ROBOT CBS. Ce sont :

- ✓ Les dalles pleines
- ✓ Les poutres et longrines (isostatiques et continues)
- ✓ Les poteaux
- ✓ Les voiles
- ✓ Les semelles

- Eléments de structures à texture creuse

Il s'agit ici des murs en agglos creux et des dalles à poutrelles et hourdies.

- ✓ Dalles à poutrelles

Les dalles à poutrelles ont été modélisées avec le matériau DAP 16+5, disponible par défaut dans la bibliothèque des matériaux de ROBOT CBS. Ce matériau présente des similitudes avec le matériau constitutif des dalles à poutrelles de notre bâtiment, dont les hourdies ont une hauteur de 16, la dalle de compression ayant 4 cm d'épaisseur (soit 16+4 ou DAP 16+4, en correspondance avec la nomenclature de ce type de matériau par le logiciel)

- ✓ Murs en agglos creux

Pour la modélisation des maçonneries en agglos creux, nous avons modélisé les murs à leur emplacement, ceci après avoir modifié dans la bibliothèque des matériaux de Robot CBS le poids propre du matériau « agglos creux » pour lui donner la valeur 10,17 kN/m$^3$. Cette charge a été déterminée en fonction de la composition du mur ainsi qu'il suit :

| Libellé | Poids Propre (kN/m3) | Ratio volumique | Poids Pondéré (kN/m3) |
|---|---|---|---|
| Maçonnerie d'agglos creux | 9 | 0,87 | 7,83 |
| Enduit sur deux faces d'épaisseur 1,5 cm | 18 | 0,13 | 2,34 |
| Totaux | | | 10,17 |

**Tableau 5**: *Présentation du ratio volumique à appliquer dans CBS (cas des cloisons de distribution)*

***N.B : Le ratio volumique est le rapport du volume du matériau considéré par le volume total du matériau composé***

### b. Autres charges propres

On s'intéresse dans cette partie au poids propre des éléments qui s'appuient sur les dalles mais qui ne sont pas modélisés dans ROBOT CBS. Ces charges, disponibles dans le tableau général, des charges ont été modélisées à leur emplacement.

| Charges Permanentes | |
|---|---|
| **Désignation** | **Valeur** (kN/m²) |
| Carrelage grès Cérame (9 mm + mortier de pose de 2cm) | 0,6 |
| Béton de gravillon maigre pour forme de pente (3 cm) | 0,6 |
| Faux plafond en staff | 0,09 |
| Enduit sous dalle de 1,5 cm d'épaisseur | 0,3 |
| Etanchéité | 0,12 |
| Couverture en tôles BAC pré laquées 3,5/10 mm | 0,11 |
| Charpente métallique | 0,22 |
| Plafonnage | 0,8 |
| Parc solaire y compris structure métallique support | 2 |

**Tableau 6**: *Détail des charges à spécifier dans Robot CBS*

### c. Charges d'exploitation

Les charges d'exploitation sont identiques à celles du tableau général des charges et sont modélisées à leur emplacement.

## II-2. Calcul des éléments de structure

### II-2-1. Calcul de la dalle pleine

La dalle qui nous intéresse est située au niveau de la toiture. Elle sert de collecteur des eaux de pluie. C'est donc une toiture terrasse non accessible.

Les panneaux de dalle considérés portent chacun dans un sens. Celui de leur petite portée. Suivant ce sens-là, ils n'ont pour appui qu'une seule poutre. Dimensionner ces dalles reviendra alors à dimensionner une poutre console de 1,50 de portée.

Les sections d'armatures dans le sens de la grande portée seront prises égales au quart de la section suivant la petite portée.

#### a. Dimensions de la section

La section de calcul est rectangulaire, de base $b = 1\ m$ et de hauteur $h = 0{,}1\ m$

#### b. Chargement de la dalle

La dalle est autoportante, c'est-à-dire qu'elle supporte sa masse. En plus la structure de la dalle est constituée d'une forme de pente en béton de gravillons et d'une couche d'étanchéité dont les charges sont réparties sur toute la dalle. Cette charge répartie a été identifiée dans le tableau de descente de charge :

$g = 3{,}4\ \text{kN/ml}$

$q = 1\ \text{kN/ml}$

$Q = 6{,}09\ \text{kN/ml}$

En outre, la dalle supporte un acrotère. Cet acrotère est situé au bout de la dalle (à 1,45 m de l'appui). Il est constitué de briques pleines de 10 cm d'épaisseur enduites au mortier de ciment. Cette charge est identifiée par :

$p = 2{,}7\ kN/ml.$

$P = 3{,}645\ kN/ml.$

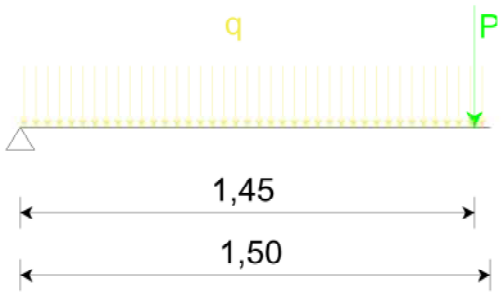



**Figure 3**: *Modèle de calcul de la dalle pleine en section courante*

### c. Moment de calcul

Le moment de calcul se calcule d'après l'expression :

$$M = P.l' + \frac{q.l^2}{2}$$

### d. Justification des armatures de flexion

La dalle étant exposée aux intempéries et aux actions agressives du milieu, la fissuration est considérée très préjudiciable. Le calcul des sections d'armatures se fera alors à L'ELS, suivant le programme de calcul de la flexion simple.

### e. Résultats

Les calculs des sections d'acier développés en annexe II- ont conduits aux résultats suivants :

| | Suivant lx | | | Suivant ly | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Disposition | Section (cm²) | esp (cm) | Disposition | esp (cm) |
| Nappe inférieure | 5 HA 10 | 3,93 | 0,17 | HA 8 | 20 |
| Nappe inférieure | 5 HA 10 | 3,93 | 0,17 | HA 8 | 20 |

**Tableau 7**: *Tableau des armatures de la dalle pleine*

### II-2-2. Calcul des planchers à corps creux

Les planchers à corps creux ou dalles à poutrelles sont constitués de blocs de maçonnerie alvéolés appelés *hourdis* ou *entrevous* reposants sur des *poutrelles* ou *nervures* et surmontés d'un coulis de béton relativement mince (4 à 6 cm), appelé *dalle de compression*. Ces planchers sont très souvent utilisés dans les bâtiments en raison de leur coût de réalisation faible par rapport à celui des dalles pleines (économie en béton et en coffrage), de leur amélioration de l'isolation thermique et phonique.

Les nervures étant les principaux éléments porteurs de ce plancher, le calcul consistera donc à leur dimensionnement. Elles reprennent les charges et les transmettent aux poutres qui supportent le plancher. De par la configuration mécanique, une nervure est une poutre sur deux appuis (isostatique).

#### a. Pré dimensionnement

Les dimensions de coffrage de la dalle à poutrelle sont généralement indiquées dans les documents contractuels du marché. Toutefois, ces dimensions doivent être confirmées par le dimensionnement de la poutrelle.

#### b. Dimensionnement

L'élément porteur dans un plancher à corps creux est la poutrelle. Dimensionner un plancher à corps creux consiste alors au dimensionnement de la poutrelle qui le constitue. De par leur disposition dans la constitution du plancher, la poutrelle est assimilable à une poutre en T dont les caractéristiques sont décrites par illustration dans la figure ci-dessous :

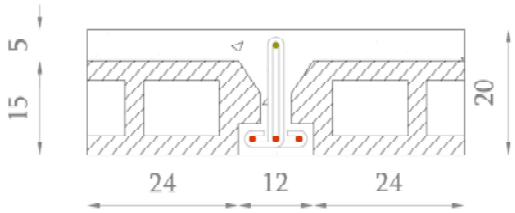



**Figure 4**: *Coupe d'un plancher à corps creux*

Dimensionner un plancher à corps creux consiste alors à déterminer les armatures de la poutre en T.

##### i. Chargement de la poutrelle

La charge permanente à considérer pour le dimensionnement de la poutrelle n'est autre que le poids des éléments qu'elle supporte, c'est-à-dire l'entrevous, la dalle de compression, la poutrelle elle-même (comme les poutres, elles sont auto porteuses), ainsi que la masse des revêtements et différents parements de la dalle. Autrement dit, comme la charge d'exploitation, la charge permanente à considérer pour nos poutrelles n'est autre que la charge permanente évaluée lors de la descente des charges pour la dalle où la poutre est localisée.

##### ii. Sollicitations de calcul

La poutrelle repose sur deux appuis. Elle est donc une poutre isostatique. Ainsi, on peut déterminer les sollicitations de calcul à partir des expressions suivantes :

- Moment de flexion

$$M = \frac{P.l^2}{8}$$

- Effort tranchant

$$T = \frac{P.l}{2}$$

### iii. Synthèse et résultats

Le tableau suivant répertorie, pour chaque catégorie de poutrelles disponibles dans le plan de coffrage, le chargement considéré et les sollicitations pour le calcul :

| Poutrelle | | | N1 | N2 | N3 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Chargement** | | | | | |
| Chargement (kN/ml) | Permanent | g | 4,02 | 4,35 | 4,47 |
| | Exploitation | q | 1,00 | 2,50 | 5,00 |
| Largeur d'emprise (m) | | | 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| Chargement total (kN/ml) | Permanent | G | 2,41 | 2,61 | 2,68 |
| | Exploitation | Q | 0,60 | 1,50 | 3,00 |
| Densité de charge (kN/ml) | $P_u$ | 1,35*G+1,5*Q | 4,16 | 5,77 | 8,12 |
| | $P_{ser}$ | G+Q | 3,01 | 4,11 | 5,68 |
| **Sollicitations de calcul** | | | | | |
| Portée | | l | 2,33 | 3,17 | 3,93 |
| Moment de flexion (kN.m) | Ultime | $M_u$ | 2,82 | 7,25 | 15,68 |
| | Service | $M_{ser}$ | 2,04 | 5,16 | 10,97 |
| Effort tranchant (kN) | | T | 4,84 | 9,15 | 15,96 |

**Tableau 8**: *Tableau de calcul des sollicitations des poutrelles*

D'après le programme de calcul des poutres en T développé en annexe II pour le calcul des poutrelles, les résultats suivants ont été adoptés :

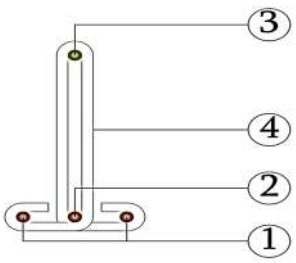



**Figure 5**: *Indication de ferraillage des poutrelles*

| Type de nervure | Acier | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| N1 | 2HA8 | 1HA8 | 1HA8 | HA8 |
| N2 | 2HA10 | 1HA8 | 1HA10 | HA8 |
| N3 | 2HA10 | 1HA12 | 1HA10 | HA8 |

**Tableau 9**: *Présentation du ferraillage des poutrelles*

### II-2-3. Calcul d'une poutre continue de plancher

Une poutre continue est une poutre reposant sur trois ou plusieurs appuis. On rencontre souvent cette configuration dans les bâtiments en raisons des avantages qu'elles apportent sur le plan mécanique et économique. En effet, cette configuration suppose que les charges qui s'appliquent sur une travée de la poutre sont supportées par les travées adjacentes, ce qui contribue à réduire les sollicitations en travée (avantage mécanique) ainsi que l'équarrissage de la poutre (avantage économique).

Dans cette partie, nous nous intéresserons à la détermination des sollicitations pour le dimensionnement de la poutre considérée dans un premier temps par une méthode analytique (manuelle) et ensuite par assistance logicielle (ROBOT RSA).

#### Approche 1: Méthode analytique

Plusieurs méthodes s'offrent à nous pour la résolution du système hyperstatique que constitue une poutre continue. De façon générale, on dispose du ***théorème des trois moments***, applicable à tout type de matériaux, qui présente l'inconvénient de donner des moments forts en appui et faibles en travée. Ceci est dû au fait que les considérations mécaniques de la Résistance des matériaux considèrent l'influence d'une charge à toutes les travées de la poutre, pourtant le béton armé limite cette influence aux travées adjacentes à celle où s'applique la charge. C'est ainsi qu'on s'en remet souvent avec le béton armé à d'autres méthodes plus adaptées que sont :

- ✓ La ***méthode forfaitaire*** pour les éléments de plancher supportant des charges modérées
- ✓ La ***méthode de Caquot*** pour les planchers supportant des charges d'exploitation élevées
- ✓ La ***méthode de Caquot minorée*** pour les éléments de plancher supportant des charges modérées, quand les conditions d'application de la méthode forfaitaire ne sont pas vérifiées. Ce sont :
  - La construction fait partie des constructions courantes (BAEL B.2.1)
  - Même moment d'inertie pour toutes les travées
  - Fissuration considérée non préjudiciable
  - Rapport de longueur des travées successives compris entre 0,8 et 1,25

La méthode que nous étudierons par la suite est la méthode de Caquot dans la suite, car elle constitue une méthode de calcul générale.

#### a. Pré dimensionnement

Les poutres continues doivent respecter les conditions suivantes :

- ❋ Hauteur de la poutre

$\frac{L}{20} \leq h \leq \frac{L}{16}$

On adoptera une hauteur de 35 cm

- Base de la poutre

$0{,}3d \leq b0 \leq 0{,}4d$ avec $d = 0{,}9\,h$

En tout état de cause, on fixera la valeur de $b_0$ à 20 cm comme indiqué ci-dessus.

### b. Méthode de calcul des planchers à charge d'exploitation élevée dite Méthode de Caquot.

#### i. Principe de la méthode

La méthode consiste à déterminer les moments en appuis, puis les moments en travée. On peut alors obtenir l'épure (expression analytique) de moment fléchissant. De cette épure (expression) on pourra déduire l'épure de l'effort tranchant, ainsi que les réactions aux appuis, et ainsi effectuer le dimensionnement.

#### ii. Chargement et cas de charge

Le chargement des travées de la poutre varie suivant les cas de charges.

En effet dans le déroulement du calcul, toutes les travées ne sont pas chargées simultanément. On distingue deux configurations de chargement :

- ✓ La travée est chargée :

$\boldsymbol{P_u = 1{,}35\,g + 1{,}5\,q}$ à l'ELU et $\boldsymbol{P_{ser} = g + q}$ à l'ELS

- ✓ La travée est déchargée :

$\boldsymbol{P_u = 1{,}35\,g}$ à l'ELU et $\boldsymbol{P_u = g}$ à l'ELS

#### iii. Moments sur appuis

Le moment sur l'appui $i$ est donné par l'expression :

$$M_i = \frac{P_g . l'_g + P_d . l'_d}{8{,}5\left(l'_g + l'_d\right)}$$

$$l' = \begin{cases} \boldsymbol{l}\ \textit{en travée de rive} \\ \boldsymbol{0{,}8\,l}\ \textit{en travée intermédiaire} \end{cases}$$

Où

$P_g$ est la densité de charge répartie uniforme sur la travée à gauche de l'appui

$P_d$ est la densité de charge répartie uniforme sur la travée à droite de l'appui

$l_g$ est la portée de la travée à gauche de l'appui

$l_d$ est la portée de la travée à gauche de l'appui

#### iv. Moments en travée

L'expression de l'évolution du moment dans la travée est :

$$M_{t(x)} = M_{0t(x)} - M_g\left(1 - \frac{x}{l}\right) + M_d\frac{x}{l}$$

$$x_{M_{tmax}} = \frac{l}{2} - \frac{M_g - M_d}{P.l}$$

Où

$M_g$ est le moment sur appuis gauche

$M_d$ est le moment sur appuis droit

### v. Effort tranchant

L'expression de l'effort tranchant se déduit de celle du moment fléchissant :

$$V_g = V_{0g} - \frac{M_d - M_g}{l_g}$$

$$V_d = V_{0d} - \frac{M_d - M_g}{l_g}$$

### vi. Résultats

Le calcul de la poutre continue détaillé en annexe II a conduit au ferraillage disponibles dans le tableau suivant :

| | | | appui 1 | travée 1 | appui 2 | travée 2 | appui 3 | travée 3 | appui 4 | travée 4 | appui 5 | travée 5 | appui 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Armatures supérieures | Théorique (cm²) | | 0,00 | 0,00 | 2,56 | 0,00 | 4,49 | 0,00 | 6,20 | 0,00 | 5,78 | 0,00 | 0,00 |
| | Choisie | Lit 1 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 |
| | | Lit 2 | - | - | - | - | 3 HA 10 | - | 3 HA 12 | - | 3 HA 12 | - | - |
| | Réelle (cm²) | | 3,39 | 3,39 | 3,39 | 3,39 | 5,75 | 3,39 | 6,79 | 3,39 | 6,79 | 3,39 | 3,39 |
| Armatures inférieures | Théorique (cm²) | | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,72 | 0,00 | 5,30 | 0,00 | 5,61 | 0,00 | 3,27 | 0,00 |
| | Choisie | Lit 2 | - | - | - | - | - | 3 HA 10 | - | 3 HA 10 | - | - | - |
| | | Lit 1 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 | 3 HA 12 |
| | Réelle (cm²) | | 3,39 | 3,39 | 3,39 | 3,39 | 3,39 | 5,75 | 3,39 | 5,75 | 3,39 | 3,39 | 3,39 |

**Tableau 10**: *Tableau récapitulatif du ferraillage de la poutre continue*

### Approche 2: Dimensionnement par assistance du logiciel Robot RSA

Faisant suite à l'exportation, par calcul réel des éléments en béton armé, de Robot CBS vers Robot RSA, le calcul assisté par ordinateur de la poutre continue doit suivre les étapes suivantes, illustrées en annexe II :

- ✓ Géométrie du poteau

La géométrie de la poutre a été définie depuis le logiciel Robot CBS

- ✓ Paramètres de l'étage

La géométrie de la poutre a été définie depuis le logiciel Robot CBS

- ✓ Réglage des options de calcul
  - Options de calcul générales
  - Options de calcul relatives au béton
  - Options de calcul relatives aux armatures longitudinales

- Options de calcul relatives aux armatures transversales

✓ Réglage des Dispositions de ferraillage
- Disposition de ferraillage générales
- Disposition de ferraillage des lits supérieurs
- Disposition de ferraillage des lits inférieurs
- Disposition de ferraillage des cadres

✓ Définition des charges

Les charges sont disponibles par défaut, suivant les résultats de calcul exportés par Robot CBS. Il n'est pas nécessaire de les modifier.

✓ Calcul de la poutre

Au calcul de la poutre, il faut prêter une attention particulière aux avertissements du logiciel.

✓ Résultats

Si le calcul ne présente pas d'avertissements critiques (généralement rédigés en rouge), on peut commencer l'appréciation des résultats, qui dans le cas des poutres se résume à l'observation du ferraillage, l'obtention d'une note de calcul et les dessins détaillés de ferraillage.

Une note de calcul et les plans détaillés de ferraillage pour cette poutre sont disponibles en annexe II.

### II-2-4. Calcul des poutres isostatiques

Une poutre est dite isostatique quand elle repose sur deux appuis. En raison des fortes dimensions obtenues lors de son pré dimensionnement (par comparaison à celle des poutres continues) cette configuration est peu prisée par les ingénieurs lors de l'élaboration des plans de coffrages. Toutefois, on peut être contraint dans un souci de simplification de la structure avoir recours à cette configuration (suppression d'un soulèvement par exemple).

Dans cette partie, nous nous intéresserons à la détermination des sollicitations pour le dimensionnement de la poutre considérée dans un premier temps par une méthode analytique (manuelle) et ensuite par assistance logicielle (ROBOT RSA).

#### Approche 1: Méthode analytique

#### a. Pré dimensionnement

Les poutres sur deux appuis doivent respecter les conditions suivantes :

❋ Hauteur de la poutre

$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10}$

❋ Base de la poutre

$0{,}3d \leq b0 \leq 0{,}4d$ avec $d = 0{,}9\,h$

En tout état de cause, on fixera la valeur de $b_0$ à 20 cm suivant les contraintes architecturales décrites ci-dessus.

#### b. Chargement

La poutre supporte son poids propre (elle est auto porteuse) mais aussi la charge ponctuelle d'appui de la poutre continue étudiée ci-dessus.

### i. Le poids propre de la poutre

$g = 0{,}12\ kN/ml$

A l'ELU

$G_u = 1{,}35.g$

$G_u = 1{,}35 \times 0{,}12$

$G_u = 0{,}162\ \ kN/ml$

A l'ELS

$G_u = \ g$

$G_{ser} = 0{,}12\ kN/ml$

### ii. La charge d'appui de la poutre continue

$p_{ser} = 131{,}55\ kN$

$p_u = 183{,}41\ kN$

### iii. Expression des sollicitations

- Moment de flexion

Pour $x\epsilon\left[0;\frac{l}{2}\right]$

$$M(x) = \frac{G.x(l-x)}{2} + \frac{p.x}{2}$$

Pour $x\epsilon\left[\frac{l}{2};l\right]$

$$M(x) = \frac{G.x(l-x)}{2} + \frac{p(l-x)}{2}$$

- Effort tranchant

Pour $x\epsilon\left[0;\frac{l}{2}\right]$

$$T(x) = -G.x + \frac{G.l+p}{2}$$

Pour $x\epsilon\left[\frac{l}{2};l\right]$

$$T(x) = -G.x + \frac{G.l-p}{2}$$

### iv. Sollicitations maximales

- Moment de flexion

$$M_{max} = \frac{G.l^2}{8} + \frac{p.l}{4}$$

- Effort tranchant

$$T_{max} = \frac{G.l + p}{2}$$

$$T_{min} = -\frac{G.l + p}{2}$$

c. Sections d'armatures longitudinales nécessaires en travée et sur appuis

La détermination des armatures en travée et en appuis de la poutre étudiée se fait à partir des différents moments déterminés comme indiqué ci-dessus, suivant le programme de calcul en flexion simple.

d. Sollicitations tangentielles

Les sollicitations tangentielles au sein de la poutre sont induites par l'effort tranchant. IL nous revient alors d'effectuer la justification de la poutre vis-à-vis de ces sollicitations.

e. Sections d'armatures transversales nécessaires en travée et sur appuis

La détermination des sections d'armatures transversales se fait suivant le programme de justification des sections vis-à-vis des sollicitations tangentielles, développé en Annexe II

f. Synthèse et résultats

| | | | appui 1 | travée 1 | appui 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| Armatures supérieures | Théorique (cm²) | | 0,00 | 7,73 | 0,00 |
| | Choisie | Lit 1 | 3 HA 14 | 3 HA 14 | 3 HA 14 |
| | | Lit 2 | - | 2 HA 14 | - |
| | | Lit 3 | - | 1 HA 14 | - |
| | Réelle (cm²) | | 2,36 | 2,36 | 3,14 |
| Armatures inférieures | Théorique (cm²) | | 0,00 | 15,84 | 0,00 |
| | Choisie | Lit 3 | - | 2 HA 16 | - |
| | | Lit 2 | - | 3 HA 16 | - |
| | | Lit 1 | 3 HA 16 | 3 HA 16 | 3 HA 16 |
| | Réelle (cm²) | | 2,36 | 2,36 | 2,36 |

➢ Répartition des cadres

HA 8, suivant la répartition :

$1 \times 17{,}5 - 3 \times 35 - 4 \times 40$

Approche 2: Dimensionnement par assistance du logiciel Robot RSA

Faisant suite à l'exportation, par calcul réel des éléments en béton armé, de Robot CBS vers Robot RSA, le calcul assisté par ordinateur de la poutre isostatique suit les mêmes étapes que celui de la poutre continue précédemment étudiée. La note de calcul et le plan de ferraillage qui en découlent sont disponibles en annexe II.

II-2-5. Calcul de la marmite de « la marmite » (cafétéria)

La sphère compte parmi les formes à axe de révolution verticale. Les parois tronc-sphériques étant des formes résultant d'une troncature de sphère, elles constituent elles aussi des formes à axes de révolution vertical. On peut donc appliquer la méthodologie développée ci-dessus pour la détermination des contraintes dans une paroi tronc-sphérique. Nous nous proposons alors de déterminer ci-dessous les expressions de ces contraintes.

Nous distinguerons deux cas de figure, suivant la position relative du plan de coupe et du plan de l'équateur de la sphère tronquée :

- ✓ La troncature est effectuée au-dessous du plan de l'équateur ; on considèrera la paroi tronc-sphérique « inférieure »
- ✓ La troncature est effectuée au-dessus du plan de l'équateur ; on considèrera la paroi tronc-sphérique « supérieure »

Si la troncature est effectuée de part et d'autres du plan de l'équateur, la paroi pourra être décomposée en deux parois, l'une inférieure et l'autre supérieure, limitées par le plan de l'équateur.

L'étude de la « marmite » passe par l'analyse et le dimensionnement des éléments constitutifs de sa structure porteuse. Cette dernière se compose de :

- ✓ Une première paroi tronc-sphérique, dont la troncature est effectuée en dessous de l'équateur de la sphère
- ✓ La ceinture située à la base de la paroi décrite précédemment
- ✓ Une deuxième paroi tronc-sphérique, dont la troncature est effectuée de part et d'autre de l'équateur de la sphère (on considèrera deux parois délimitées par l'équateur de la sphère
- ✓ La ceinture inférieure située à la base de la deuxième paroi
- ✓ Le voile de sous bassement
- ✓ La semelle filante sous le voile

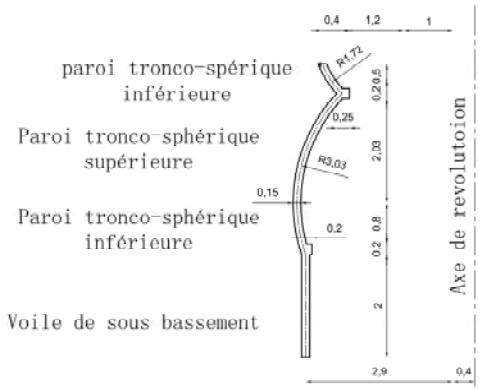



*Figure 6: Structure porteuse de la cafétéria*

Dans le souci de mener à bien notre étude, nous étudierons successivement ces éléments.

a. Parois tronco-sphériques

i. Détermination des contraintes

La paroi tronco-sphérique supérieure est une calotte sphérique. Elle subit les contraintes provenant de la charge en tête, qui représente le poids de tous les éléments au-dessus de la coque, et les contraintes provenant de son poids propre. Nous déterminerons les contraintes suivant les parallèles et suivant les méridiens par pas de 10° de l'angle d'ouverture au centre.

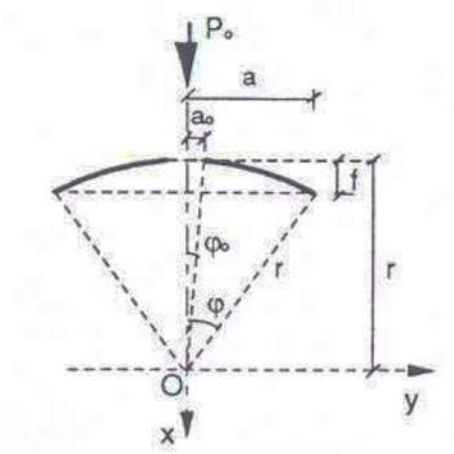



**Figure 7**: *Notation de calcul des calottes sphériques*

- Contrainte de la charge en tête :

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{2\pi . r . e . sin^2\varphi_0}$$

  - ✓ Suivant le parallèle :

$$\sigma_1 = \sigma_0 . \frac{sin^2\varphi_0}{sin^2\varphi}$$

  - ✓ Suivant le méridien :

$$\sigma_{\theta_1} = -\sigma$$

- Contrainte du poids propre :
  - ✓ Suivant le parallèle :

$$\sigma_2 = \frac{g . r}{e} . \frac{cos\varphi_0 - cos\varphi}{sin^2\varphi}$$

  - ✓ Suivant le méridien :

$$\sigma_{\theta_2} = \frac{g . r . cos\varphi}{e} - \sigma$$

- Contrainte totale :
  - ✓ Suivant le parallèle :

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$$

  - ✓ Suivant le méridien :

$$\sigma_\theta = \sigma_{\theta_1} + \sigma_{\theta_2}$$

### ii. Vérification des contraintes

Une vérification préalable doit être menée sur les contraintes maximales obtenues, en compression et en traction.

En effet ces contraintes ne doivent pas excéder les contraintes maximales du béton. Si ce cas de figure est observé, on peut augmenter l'épaisseur de la coupole. Ce cas de figure est très rare et

très peu envisageable, puisqu'en général, les contraintes sont très faibles dans ce type de structure. C'est pourquoi elles sont ferraillées avec le ferraillage minimal qui combat les effets du retrait et des efforts dissymétriques.

#### iii. Section d'armatures tendues

Lorsqu'elles sont nécessaires, la section d'armatures tendues nécessaires se détermine par la formule :

$$A_{st} = b.e.\frac{\sigma}{\sigma_{st}}$$

#### iv. Ferraillage minimal

$$A_{min} = b.e.\frac{0{,}2}{100}$$

### b. Ceintures

#### i. Force de ceinture

La force de ceinture dû à la charge P s'exprime d'après la formule

$$P = 2\pi.r.e.\sigma.\cos\alpha_1$$

$$\cos\alpha_1 = sin\varphi$$

*$\varphi$ étant l'angle d'ouverture de la coupole au dessus de la ceinture*

#### ii. Force de traction

La force de traction T développée le long de la ceinture supérieure s'exprime d'après la formule :

$$T = \frac{P}{2\pi}(\tan\alpha_2 - \tan\alpha_1)$$

***P** est la force de ceinture due à la charge.*

***α** est l'angle dela tangente à la sphère au niveau de la ceinture*

Pour une coque sphérique, $tan\alpha = cot\varphi$, et on a alors :

$$T = \frac{P}{2\pi}(\cot\varphi_2 - \cot\varphi_1)$$

*$\varphi_1$ et $\varphi_2$ étant les angles d'ouverture respectifs des coupoles au dessous et au dessus de la ceinture*

#### iii. Justification des sections d'armatures

La ceinture est calculée et ferraillée Suivant le programme de calcul de la traction simple.

#### iv. Ferraillage minimal

$$A_{min} = b.e.\frac{0{,}2}{100}$$

### c. Voile de sous bassement

#### i. Détermination des contraintes

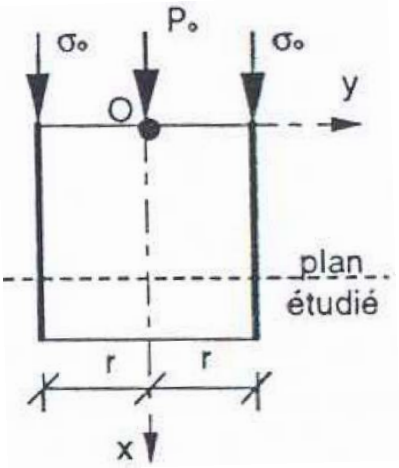



**Figure 8**: *Notation de calcul des voiles cylindriques*

- Contrainte de la charge en tête :

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{2\pi . r . e.}$$

  - ✓ Suivant le parallèle : $\sigma_1 = \sigma_0$
  - ✓ Suivant le méridien : $\sigma_{\theta_1} = 0$

- Contrainte du poids propre :
  - ✓ Suivant le parallèle : $\sigma_2 = \frac{g.x}{e}$
  - ✓ Suivant le méridien : $\sigma_{\theta_2} = 0$

- Contrainte totale :
  - ✓ Suivant le parallèle : $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$
  - ✓ Suivant le méridien : $\sigma_\theta = 0$

#### ii. Vérification des contraintes

Une vérification préalable doit être menée sur les contraintes maximales obtenues, en compression et en traction.

En effet ces contraintes ne doivent pas excéder les contraintes maximales du béton. Si ce cas de figure est observé, on peut augmenter l'épaisseur de la coupole. Ce cas de figure est très rare et très peu envisageable, puisqu'en général, les contraintes sont très faibles dans ce type de structure. C'est pourquoi elles sont ferraillées avec le ferraillage minimal qui combat les effets du retrait et des efforts dissymétriques.

#### iii. Sections d'armatures

Lorsqu'elles sont nécessaires, la section d'armatures tendues nécessaires se détermine par la formule :

$$A_{st} = b.e.\frac{\sigma}{\sigma_{st}}$$

#### iv. Ferraillage minimal

$$A_{min} = b.e.\frac{0{,}2}{100}$$

### d. Résultats de calcul et ferraillage de la « marmite »

Suite aux calculs portants sur la marmite de la cafétéria nous avons pu dresser le tableau suivant, récapitulant les sections d'armature adoptées :

| | Tableau récapitulatif des sections | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Méridien | | | Parallèle | | |
| | Disposition | espacement | | Disposition | espacement | |
| | | valeur | unité | | Valeur | unité |
| Comble | 4 HA 10 | 20 | cm | 4 HA 10 | 20 | Cm |
| Ceintures | 4 HA 10 | 20 | cm | 4 HA 10 | 20 | Cm |
| Coque du comble | 4 HA 10 | 20 | cm | 4 HA 10 | 20 | Cm |
| Coque courante | 4 HA 10 | 20 | cm | 5 HA 10 | 16,67 | Cm |
| Voile de sous bassement | 4 HA 10 | 20 | cm | 4 HA 10 | 20 | Cm |

**Tableau 11**: *Tableau récapitulatif des sections d'aciers de la marmite*

## II-2-6. Calcul des poteaux

Nous proposons dans cette partie un dimensionnement assisté par ordinateur du poteau P2 (I ;14), disposé au croisement des files I et 14. Ce poteau n'est certes pas le plus chargé de la structure, mais nous lui accordons une attention particulière du fait de son fort excentrement et de son élancement.

### a. Géométrie du poteau

La géométrie de ce poteau a été indiquée par la maîtrise d'œuvre, sur les plans d'architecture. Le poteau y a une section de 20x40 cm. Il nous reviendra de déterminer par les calculs adéquats si la section est suffisante, ou le cas échéant proposer une section adaptée pour équilibrer les charges à cet endroit de la structure.

De façon indicative pour tous les poteaux, une approche de pré dimensionnement consiste à déterminer une section minimale de béton à partir de la relation suivante : $S \geq \frac{N_u}{14}$

### b. Noyau central

Le noyau central est une zone géographique de la section. Les charges qui s'appliquent à la section et dont le point d'application est contenu dans le noyau central sont considérées comme étant centrées lors du dimensionnement.

❋ Pour une section rectangulaire de largeur b et de hauteur h, le noyau central est un rectangle concentrique de largeur $b_0 = \frac{b}{3}$ et de hauteur$h_0 = \frac{h}{3}$

### c. Chargement

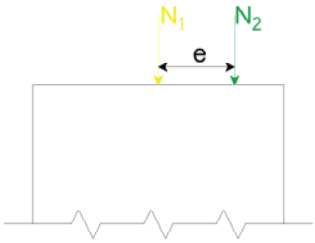



**Figure 9**: *Notation des efforts de compression sur le poteau*

#### Approche 1: Méthode analytique

Le poteau étudié nécessite une décomposition des efforts normaux. A ce titre, nous avons établi une descente des charges particulière pour cet élément (les charges étant données en kN/m²) :

| | | Excentrée | | centrée | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | permanente | exploitation | permanente | exploitation |
| R+3 | poutre | 9,64 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | PH | 31,53 | 19,04 | 66,13 | 92,18 |
| | cloison BA | 0,00 | 0,00 | 7,90 | 0,00 |
| | Auvent | 0,00 | 0,00 | 238,16 | 17,75 |
| | Total | 41,17 | 19,04 | 74,03 | 92,18 |
| | Total cumulé | 41,17 | 19,04 | 74,03 | 92,18 |
| R+2 | poutre | 9,64 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | PH | 31,53 | 19,04 | 66,13 | 92,18 |
| | Cloison | 31,37 | 0,00 | 10,28 | 0,00 |
| | Poteau sup | 0,00 | 0,00 | 12,00 | 0,00 |
| | Total | 72,54 | 19,04 | 88,41 | 92,18 |
| | Total cumulé | 113,71 | 38,08 | 162,44 | 184,36 |
| R+1 | poutre | 9,64 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | PH | 31,53 | 19,04 | 66,13 | 92,18 |
| | Cloison | 31,37 | 0,00 | 10,28 | 0,00 |
| | Poteau sup | 0,00 | 0,00 | 12,00 | 0,00 |
| | Total | 72,54 | 19,04 | 88,41 | 92,18 |
| | Total cumulé | 186,25 | 57,12 | 250,85 | 276,54 |
| RDC | Auvent | 23,36 | 5,81 | 0,00 | 0,00 |
| | poutre | 9,64 | 0,00 | 3,00 | 0,00 |
| | chainage | 10,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | PH | 31,53 | 19,04 | 66,13 | 92,18 |
| | Cloison | 31,37 | 0,00 | 10,28 | 0,00 |
| | Auvent sup | 0,00 | 0,00 | 103,37 | 3,62 |
| | Poteau sup | 0,00 | 0,00 | 12,00 | 0,00 |
| | Total | 105,92 | 24,85 | 194,78 | 95,80 |
| | Total cumulé | 292,17 | 81,97 | 445,63 | 372,34 |

**Tableau 12**: *Descente des charges particulière sur le poteau excentré*

❋ Moment créé en tête du poteau dans le plan de flexion

✓ A l'ELS

$$M_{Gser} = N_{G2}.e$$

$M_{Qser} = N_{Q2}.e$

✓ A l'ELU

$M_{Gu} = 1{,}35.N_{G2}.e$

$M_{Qu} = 1{,}5.N_{Q2}.e$

Cette descente des charges ainsi effectuée nous permet d'avoir toutes les charges centrées appliquées sur le poteau, mais elle ne nous donne pas d'information sur tous les moments appliqués en tête de ce dernier. En effet, Pour obtenir les moments dans les deux directions du poteau, il est nécessaire de faire une étude détaillée de toutes les poutres repossant sur le poteau. Devant le caractère volumineux de cette étude et dans l'intérêt de notre étude, nous nous intéresserons uniquement à la seconde approche de dimensionnement pour la justification des armatures du poteau.

### Approche 2: Dimensionnement par assistance du logiciel Robot RSA

Faisant suite à l'exportation, par calcul réel des éléments en béton armé, de Robot CBS vers Robot RSA, le calcul assisté par ordinateur du poteau suit les étapes ci-après :

✓ Géométrie du poteau

Les paramètres de la section sont chargés avec la structure depuis le logiciel Robot CBS lors de l'exportation par calcul réel des élément BA.

✓ Paramètres de l'étage

Les paramètres de l'étage sont ceux définis lors du paramétrage du logiciel Robot CBS.

✓ Options de calcul
✓ Disposition du ferraillage
✓ Modèle de flambement

RSA propose par défaut des coefficients prédéfinis suivant la configuration des nœuds, mais il est aussi possible d'introduire manuellement la valeur du coefficient $k$. Il est recommandé de laisser la valeur de ce coefficient pour le poteau étudié au logiciel, qui la définit en fonction de la position du poteau étudié dans la modélisation sur Robot CBS.

✓ Définition des charges

Les charges sur le poteau ont été chargées avec la structure depuis le logiciel Robot CBS.

✓ Calcul du poteau

Au calcul du poteau, il faut prêter une attention particulière aux avertissements du logiciel.

On remarque ainsi que le poteau étudié n'a pas la capacité portante requise et que le pourcentage maximal d'armature est excédé. Il faut donc augmenter la section du poteau, et effectuer un calcul itératif à l'aide du logiciel, jusqu'à l'élimination des avertissements. A travers ces calculs, nous avons déterminé que la section envisageable du poteau est 40x70 cm

La note de calcul constituant l'annexe II-8 a été produite à cet effet.

### II-2-7. Calcul de la semelle de fondation

La semelle est l'ouvrage de la fondation qui assure le transfert des charges et surcharges du bâtiment au sol support de la construction. Suivant la qualité de ce sol, elle peut avoir des dimensions plus ou moins importantes, ceci entrainant parfois des chevauchements entre les semelles voisines. Il est donc courant de faire après la détermination des sections des semelles d'avoir à effectuer des choix portant sur le système de fondation retenu. On pourra ainsi, en cas de chevauchement, adopter une fondation par radier général si la surface cumulée des semelles de fondation excède la moitié de l'emprise du bâtiment, ou sinon opter pour des radiers partiels et/ou des semelles continues sous poteaux (avec poutres de libage). C'est d'ailleurs cette dernière configuration qui aura été retenue dans le cas de notre bâtiment.

Notre étude portera plus précisément sur la semelle S1, qui est en fait un radier partiel.

#### a. Géométrie de la semelle

$$\sigma_{sol} \leq \frac{\sum P_{ser}}{S} \Rightarrow S \leq \frac{\sum P_{ser}}{\sigma_{sol}}$$

#### b. Détermination des armatures

Le radier est calculé comme une dalle renversée, c'est-à-dire que le chargement vient du sol (contrainte du sol) et les poteaux sont des appuis.

Après détermination des différents débords, on identifie les sections critiques du radier dans les sens longitudinaux et transversaux. Soit alors à dimensionner quatre sections :

$$M_1 = \frac{q.{l_1}^2}{2}$$

$$M_2 = \frac{q.{l_2}^2}{2}$$

$$M_{max} = \frac{q.l^2}{8} + \frac{M_1 - M_2}{2}$$

Il s'en suivra la détermination des moments maximaux en appui et en travée. Les armatures nécessaires seront au final déterminées pour les moments maximaux en travée (nappe supérieure) et pour les moments maximaux en appuis (nappe inférieure). Ces travaux ont été effectués en annexe II-10, et les résultats suivants ont été obtenus.

| Sens | Nappe supérieure | | Nappe inférieure | |
|---|---|---|---|---|
| | section | esp (cm) | section | espacement |
| Transversal | 6 HA 12 | 14,28 | 8 HA 12 | 11,10 |
| longitudinal | 12 HA 14 | 7,70 | 10 HA 20 | 9 |

**Tableau 13**: *Tableau récapitulatif des sections d'acier du radier*

# Partie III ETUDE DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

Une production locale d'énergie est envisageable et rentable au Burkina-Faso. Parce que sur toute l'année l'intensité d'irradiation est constante et élevée, la clarté de l'atmosphère est assurée, la température ambiante est élevée, et la vitesse du vent est bonne, une installation photovoltaïque offrirait un bon rendement des panneaux solaires.

La présence du parc photovoltaïque au sommet du bâtiment impacte non seulement sur la structure du bâtiment à travers le chargement spécifique au sommet du bâtiment, mais aussi sur l'étude électrique puisqu'elle impose une étude approfondie de l'installation afin de maximiser la rentabilité de l'installation pour le maitre d'ouvrage.

## I. Description du réseau photovoltaïque

Deux principaux choix s'offre au concepteur pour le type de réseau :

- ✓ Un réseau isolé avec batterie
- ✓ Un réseau couplé au réseau d'alimentation publique

### I-1. Le réseau isolé avec batterie

Le réseau isolé avec batterie comporte en plus du parc photovoltaïque, des batteries, des régulateurs de tension et éventuellement des onduleurs. Les batteries servent au stockage de l'énergie produite par les panneaux. Elles injectent cette énergie dans le réseau lorsque la production du parc solaire est faible ou nulle. Ce réseau présente quelques inconvénients majeurs, notamment les risques de faible tension dans le réseau.

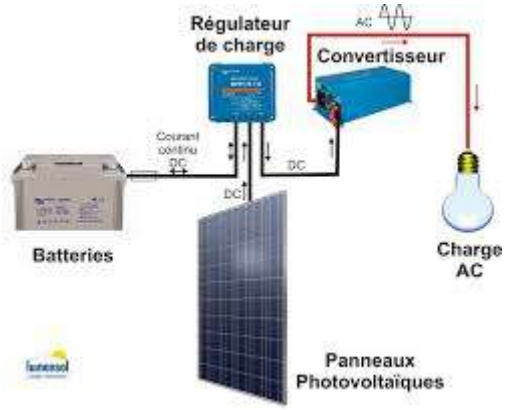



**Figure 10**: *Parc photovoltaïque isolé avec batterie*

### I-2. Le réseau couplé au réseau public

Dans ce type de réseaux, l'installation est alimentée simultanément par les énergies provenant du parc solaire et du réseau public. Lorsque la consommation de l'installation excède la production du parc solaire, le surplus d'énergie nécessaire est fourni par le réseau public. Dans le cas contraire, l'excédent produit est transmis au réseau public. Les quantités d'énergie qui transitent à l'entrée ou la sortie du réseau public sont évaluées par comptage. Ce type de réseau présente l'avantage d'être moins encombrant (il nécessite juste un onduleur et un appareil de comptage en plus du parc solaire), moins contraignant (on peut se contenter de l'énergie dont on peut disposer pour la surface disponible), et d'assurer la continuité de l'alimentation en électricité à tous les postes de

l'installation, tout en réduisant les coûts de l'électricité pour le maitre d'ouvrage (par la revente à la compagnie de distribution de l'excédent d'énergie, ou la diminution de la consommation issue du réseau public le cas échéant).

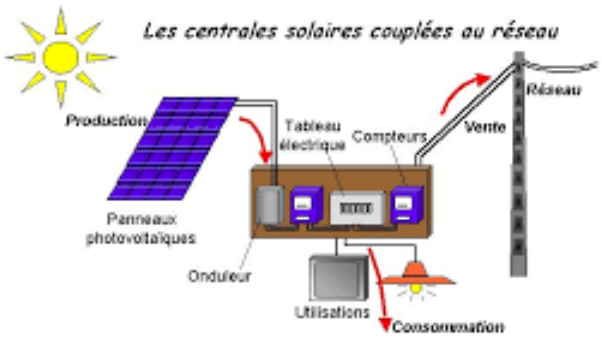



**Figure 11**: *Parc photovoltaïque couplé au réseau*

Considérant les nombreux avantages que nous venons d'énumérer, nous avons adopté un réseau photovoltaïque couplé au réseau.

## II. Conception du réseau photovoltaïque

### II-1. Le cahier des charges

L'installation photovoltaïque peut être soumise aux prescriptions contractuelles, données par le cahier des charges. Il peut s'agir d'une puissance à produire imposée ou d'une portion minimale du circuit alimentée imposée. Il est alors question de déterminer en fonction des produits disponibles sur le marché si la surface disponible prévue pour le parc photovoltaïque peut permettre d'atteindre la puissance désirée.

### II-2. Les prescriptions techniques régissant la conception

Toute technologie a ses règles de conception. Ainsi les installations photovoltaïques connaissent quelques prescriptions pour assurer une production maximale et un rendement optimal pour les panneaux solaires. Elles portent nécessairement sur l'orientation et l'inclinaison des panneaux.

#### II-2-1. Orientation optimales des panneaux

Il faut vérifier l'orientation et l'inclinaison de la toiture du bâtiment, sachant que l'orientation optimale est plein Sud. A défaut d'une orientation plein sud, le rendement des panneaux doit être pondéré d'un coefficient (inférieur à un) en fonction des positions (hauteur et azimut) du soleil dans la région

#### II-2-2. Inclinaison optimale des panneaux

L'inclinaison optimale est liée à la latitude du site de l'implantation. Celle-ci se détermine par la formule : *(Prendre le multiple de 5 le plus proche)*

$i = Lat + 1{,}5°$

*Lat étant la latitude du site d'implantation*

En fonction des produits photovoltaïques, les fabricants préconisent une pente minimale afin d'éviter la stagnation d'eau ou des particules de poussière. En général cette considération définit le choix de 1,5° dans la formule précédente. On pourra utiliser une autre valeur si elle est indiquée.

### II-2-3. Effet de masque

On doit éviter autant que possible les masques solaires pour l'installation. Ces masques peuvent être des arbres, des autres bâtiments. Il faut mettre le mieux possible l'aire des panneaux photovoltaïques hors de la zone d'ombre d'arbres ou de bâtiments éventuels.

### II-2-4. Application

La conception du système assisté par le logiciel PVSYST du réseau couplé pour notre bâtiment a conduit aux résultats suivants :

#### a. Panneau photovoltaïque

- ✓ Fabricant : Panasonic
- ✓ Modèle : VBHN230SE51
- ✓ Nombre : 169
- ✓ Puissance nominale : 39 kWc

#### b. Onduleur

- ✓ Fabricant : KACO new energy
- ✓ Modèle : Powador 40.0 TL3 XL
- ✓ Nombre : 1
- ✓ Puissance nominale : 36 kWac
- ✓ Ratio puissance : 1,08

# Partie IV PHASE PRATIQUE DU STAGE

## I. Au début du stage

Le stage de suivi de chantier a commencé le 11 juillet 2016. Le chantier était déjà entamé, puisqu'un nombre important de semelles avaient été réalisées. Ainsi j'ai pu expérimenter la réalisation des travaux de tout le gros œuvre.

L'entreprise s'occupe de l'organisation matérielle et collective du chantier. Elle a soumis à la maitrise d'œuvre pour approbation le plan d'installation de chantier indiquant :

- Le tracé de la clôture
- L'emplacement des aires d'accès
- L'emplacement des bureaux de chantier
- L'emplacement des moyens de levage et des machines diverses
- L'emplacement des aires de stockage : aucun stockage n'étant effectué dans l'emprise construite.
- Les schémas de branchement d'eau et d'électricité
- Les zones de mise en dépôt provisoires des terres excavées (à conserver pour remblai sous couche de sable).

L'entreprise s'est également chargée de faire les avances pour les frais à rapporter au compte prorata. Ce compte règle l'ensemble des dépenses communes aux entreprises intervenant sur le chantier, notamment pour l'hygiène et la sécurité. Il est alimenté par les entreprises généralement au prorata du temps passé par chacune d'elles sur le chantier.

## II. Intervenants du chantier et responsabilités

Le maître d'ouvrage, l'entreprise *LONAB* assure le suivi et contrôle des travaux, à travers le maître d'ouvrage délégué *Faso Kanu,* mandaté par eux sur ce marché.

Le maître d'œuvre *ATEC* dirige les travaux et contrôle la conformité de l'ouvrage avec les plans du projet. Il supervise les demandes d'acompte des entreprises et gère la situation financière. Il assiste le maitre d'ouvrage lors des réceptions partielles des travaux. Sa mission prendra fin après la garantie de parachèvement des travaux (1 ans après la livraison).

L'entreprise Faso Construction et Services a la charge de l'organisation du chantier et du Choix des méthodes d'exécution. L'entreprise réalise son propre planning d'exécution (dessin des plans d'installation du chantier, commandes des matériaux). Elle fait le bilan global à la fin du chantier ainsi que la comparaison à la réalité (cela lui permettant aussi de mettre à jour sa bibliothèque de prix).

## III. Processus qualité et chantier de construction

La qualité d'un produit se définit comme son aptitude à satisfaire les besoins de l'utilisateur. Dans le cadre des travaux de construction l'utilisateur est représenté par la maîtrise d'ouvrage. L'entreprise est tenue d'assurer la qualité du produit qu'elle réalise au profit du maître d'ouvrage, le bâtiment. La maîtrise d'œuvre s'en assure d'ailleurs au moyens de divers contrôles continus et des contrôles périodiques. La réussite de l'entreprise aux différentes épreuves de contrôle est d'abord de son propre intérêt (bonne image, bénéfique pour la poursuite des futurs marchés) mais aussi d'un intérêt commun (avancement conforme des travaux, satisfaction du client). Pour y parvenir, l'entreprise doit mettre en place une approche qualité pour la réalisation des travaux.

### III-1. Qualité du béton

Elle est très importante sur le chantier et résulte d'un contrôle de qualité des différents constituants à savoir le sable, le gravier et le ciment. Ces derniers doivent avoir les qualités suffisantes pour assurer la conformité du béton à la construction, mais aussi aux hypothèses adoptées pour le calcul de la structure et l'élaboration des plans de ferraillage.

### III-2. Contrôle des constituants du béton

On s'attardera en général ici sur la vérification de la classe des granulats utilisés. La propreté des agrégats doit aussi être de mise. Toutefois il est aussi important de vérifier la nature des graviers (granite ou quartz) ainsi que la conformité du diamètre du plus gros granulat aux prescriptions des notes de calcul.

### III-3. Contrôle au poste de bétonnage

Le contrôle au poste de bétonnage consiste en la vérification des proportions mises en œuvre lors du malaxage, et de la pureté du mélange (absence de corps étrangers).

## IV. Description de quelques travaux suivis

### IV-1. L'implantation

Elle consiste au repérage des éléments à réaliser sur le terrain. Elle se fait par la matérialisation des axes disponibles sur les plans de structure à l'aide de ficelles et du plomb d'axe. Ces axes sont dans un premier temps marquées sur la chaise d'implantation par un géomètre assermenté, et ce sont ces marques qui serviront de repère pour l'implantation des différents éléments de construction.

### IV-2. Semelles de fondation

- Implantation

L'implantation des semelles de fondation est réalisée in situ par les techniciens de chantier en quatre phases :

- ✓ Traçage de la fouille (délimitation de l'emprise de la semelle au sol)
- ✓ Implantation des armatures de l'amorce du poteau (repérage des axes du poteau sur le béton de propreté)
- ✓ Tracé de la base du poteau (effectué sur la semelle coulée)
- ✓ Contrôle de position de l'amorce

- Contrôle de la fouille

Les dimensions de la fouille sont vérifiées, notamment le fond de fouille qui doit être grossièrement nivelé et atteindre la côte minimale indiquée. Les dimensions du trou doivent excéder les dimensions de coffrage de la semelle.

- Coulage du béton de propreté
- Pose des armatures
- Coulage de la semelle

### IV-3. Longrines en béton armé ou cyclopéen

- Implantation

- ✓ Traçage de la fouille (tracé de la fouille en rigole)

❋ Contrôle de la fouille

Les dimensions de la fouille sont vérifiées, notamment le fond de fouille qui doit être grossièrement nivelé et atteindre la côte minimale indiquée. Les dimensions du trou doivent excéder les dimensions de coffrage de la longrine.

❋ Coulage du béton de propreté
❋ Pose des armatures
❋ Coulage de la longrine

### IV-4. Poteaux en élévation

❋ Implantation de la base du poteau
❋ Coulage de la base du poteau
❋ Pose des armatures
❋ Coffrage du poteau

La stabilité du coffre doit être vérifiée à travers la conformité de la disposition et la solidité des étais.

❋ Coulage du poteau

### IV-5. Poutres et dalle

❋ Implantation
❋ L'implantation des poutres consiste en la matérialisation sur le poteau du niveau du fond de coffrage. Cette marque doit servir de repère à l'équipe de coffrage. Elle se fait suivant les étapes ci-après :

- ✓ La matérialisation d'un niveau de base commun à tous les poteaux (dans ce cas-ci, un mètre à partir de la base)
- ✓ L'inscription sur le poteau, et sur la face concernée de la cote relative du fond de coffrage
- ✓ L'indication de l'excentrement des bords de la poutre par rapport à ceux du poteau, si besoin

❋ Coffrage

Le coffrage des poutres et des dalles est simultané pour éviter les reprises de bétonnage dans la retombée des poutres. Il s'en suit la mise en place des nervures et hourdis de la dalle. Un contrôle minutieux doit être réalisé sur l'étayage, notamment la vérification du nombre, de la solidité et de la conformité du calage des étais.

❋ Pose des armatures

La pose des armatures des poutres est suivie d'un contrôle minutieux pour chaque poutre de la conformité des tissages réalisés sur le chantier avec le contenu du cahier de ferraillage.

## V. Valorisation de la phase pratique du stage

Ce stage a été particulièrement important pour mieux comprendre l'interaction entre les différents corps de métier et l'importance d'une cohésion et d'une organisation générale pendant la durée du chantier. Il semble y avoir une difficulté quotidienne pour les différents corps de métier à se mettre d'accord, d'avancer dans les temps pour ne pas ralentir les autres. Tout cela demande une organisation complexe car il faut sans arrêt relancer les entreprises, d'où la mise en place d'une OPC.

Se déplacer in situ sur un chantier permet de mieux comprendre les cours de construction que nous avons suivi à l'école. La théorie devient plus concrète et, au-delà de la compréhension des différents systèmes utilisés, on saisit surtout les problèmes liés à la mise en œuvre de ces derniers. On se rend bien compte que les plans d'exécution et les études réalisées au préalable ne sont pas des éléments des éléments qui permettent de tout anticiper et que beaucoup de choses se précisent au fur et à mesure que le chantier avance.

Ce stage nous aura aussi permis de me familiariser avec le vocabulaire de la construction, En effet, même si nous en avons étudié certains, un chantier reste un univers d'apprentissage continu, et celui-ci n'aura pas constitué d'exception à la règle.

D'autres part, ce stage nous aura permis de me familiariser beaucoup plus avec les documents administratifs et législatifs. Rapidement, j'ai pu utiliser les connaissances théoriques pour comprendre les situation administratives et légales qui se sont présentées en terme de problème de chantier. Il en est ressorti l'intérêt d'être confronté à des documents qu'on étudie pas ou très peu en cours ; c'est une insertion dans la vie professionnelle, complémentaire à la formation théorique.

## *Conclusion*

Nous voici rendus à la fin de notre étude méthodique des contraintes de conception du bâtiment devant abriter les locaux direction régionale de la LONAB sis à Kaya. A l'abord de cette étude, nous avions remarqué quelques contraintes architecturales dont l'influence sur les études d'ingénierie étaient notoire, notamment les présence d'un parc solaire au sommet du bâtiment, la présence au rez-de-chaussée de halls à grandes dimensions nécessitants l'emploi de système spéciaux de structure, la présence d'une structure faite de coques minces à axe de révolution vertical, ainsi que des mauvaises caractéristiques du sol avec influence directe sur le plan de fondation. Au cours de l'étude, nous avons pu confirmer le caractère contraignant de ces configurations au sens de la conception structurale d'un ouvrage, mais ça aura aussi été l'occasion pour nous d'expérimenter la recherche et la réflexion poussée au service de la résolution des problèmes d'ingénierie.

## ***Bibliographies***

COBB, F. (2014). *Structural Engineer's Pocket Book.* Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Gagliardini, O. (2004/05). *Cours de Béton Armé IUP GCI3 option OS.* Document non édité.

MESSAN, A. (2013). *Cours de béton armé 1.* Document non édité.

MESSAN, A. (2013). *Cours de béton armé 2.* Document non édité.

MESSAN, A. (2013). *Cours de béton armé 3.* Document non édité.

THONIER, H. (1986). *Le projet de béton armé.* Anales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics.

THONIER, H. (1998). *Conception Et Calcul Des Structures De Bâtiment, Tome 5.* Paris: Presse de l'Ecole nationale des ponts et chaussée.

THONIER, H. (1998). *Conception Et Calcul Des Structures De Bâtiment, Tome 6.* Paris: Presse de l'Ecole nationale des ponts et chaussées.

YEZOUMA, C. (2013). *cours de thermique du bâtiment.* Document non édité.

# Annexes

## *Table des annexes*

Annexe I. Plans et coupes architecturales

Annexe I-1. Plan de distribution du Rez-de-chaussée

Annexe I-2. Plan de distribution de l'étage courant (R+1 à R+3)

Annexe I-3. Plan de Toiture et Plan de disposition du parc solaire

Annexe I-4. Façade principale

Annexe I-5. Façade arrière

Annexe I-6. Façade gauche

Annexe I-7. Façade droite

Annexe I-8. Coupe longitudinale

Annexe I-9. Coupe transversale

Annexe I-10. Coupe sur le marmite

Annexe II. Etude de la structure

Annexe II-0. Plan de Fondations

Annexe II-1. Plan de coffrage PH-RDC

Annexe II-2. Plan de coffrage PH-R+1 et PH-R+2

Annexe II-3. Plan de coffrage PH-R+3 et support de toiture

Annexe II-4. Note de calcul de la dalle pleine

Annexe II-5. Note de calcul des poutrelles (Dalle creuse)

Annexe II-6. Note de calcul de la poutre continue de plancher

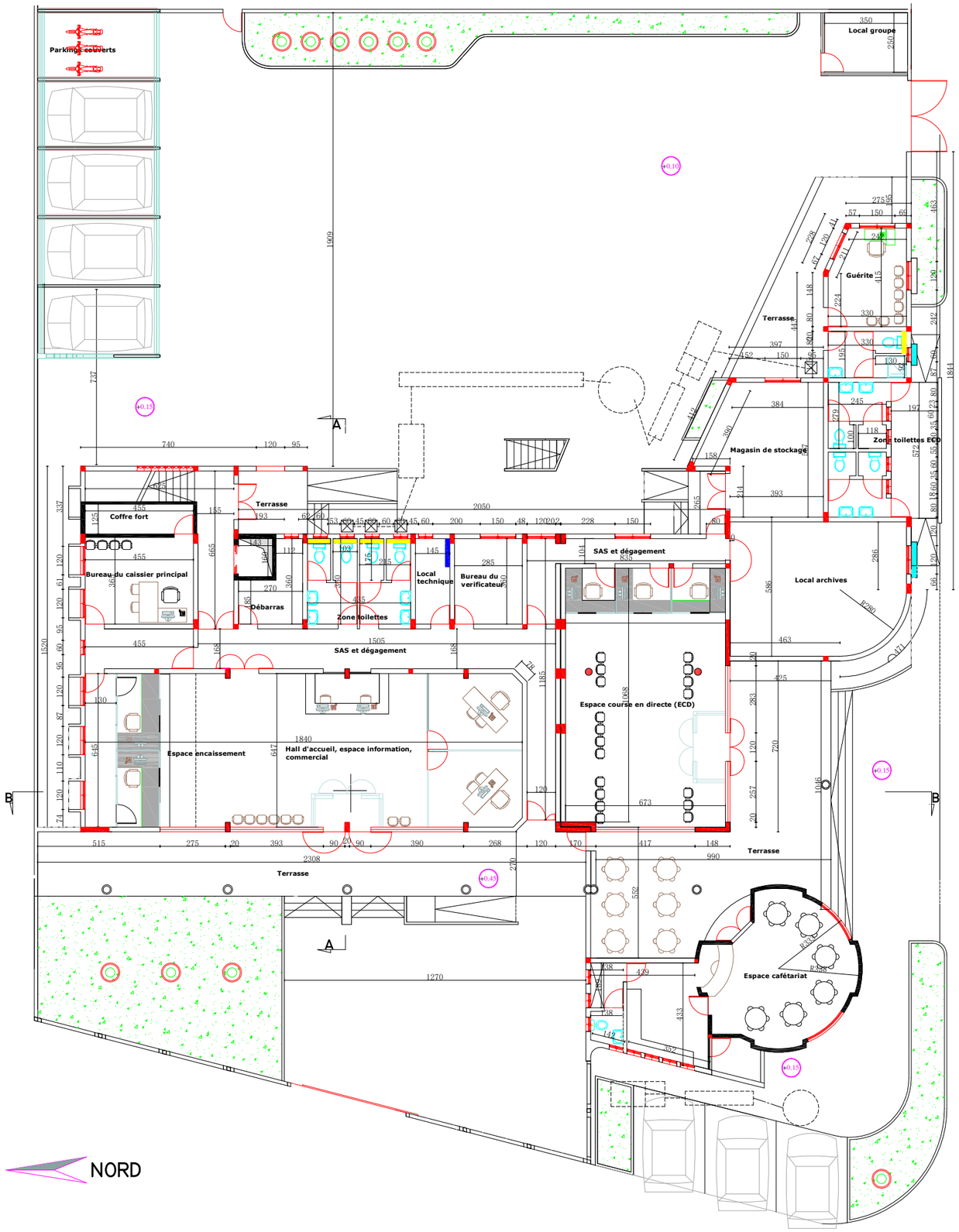
Annexe II-7. Note de calcul de la poutre isostatique de plancher

Annexe II-8. Calcul des éléments de la marmite

Annexe II-9. Note de calcul des poteaux

Annexe III. Calcul du réseau photovoltaïque

# Annexe I
## Plans et coupes architecturales




# BURKINA FASO

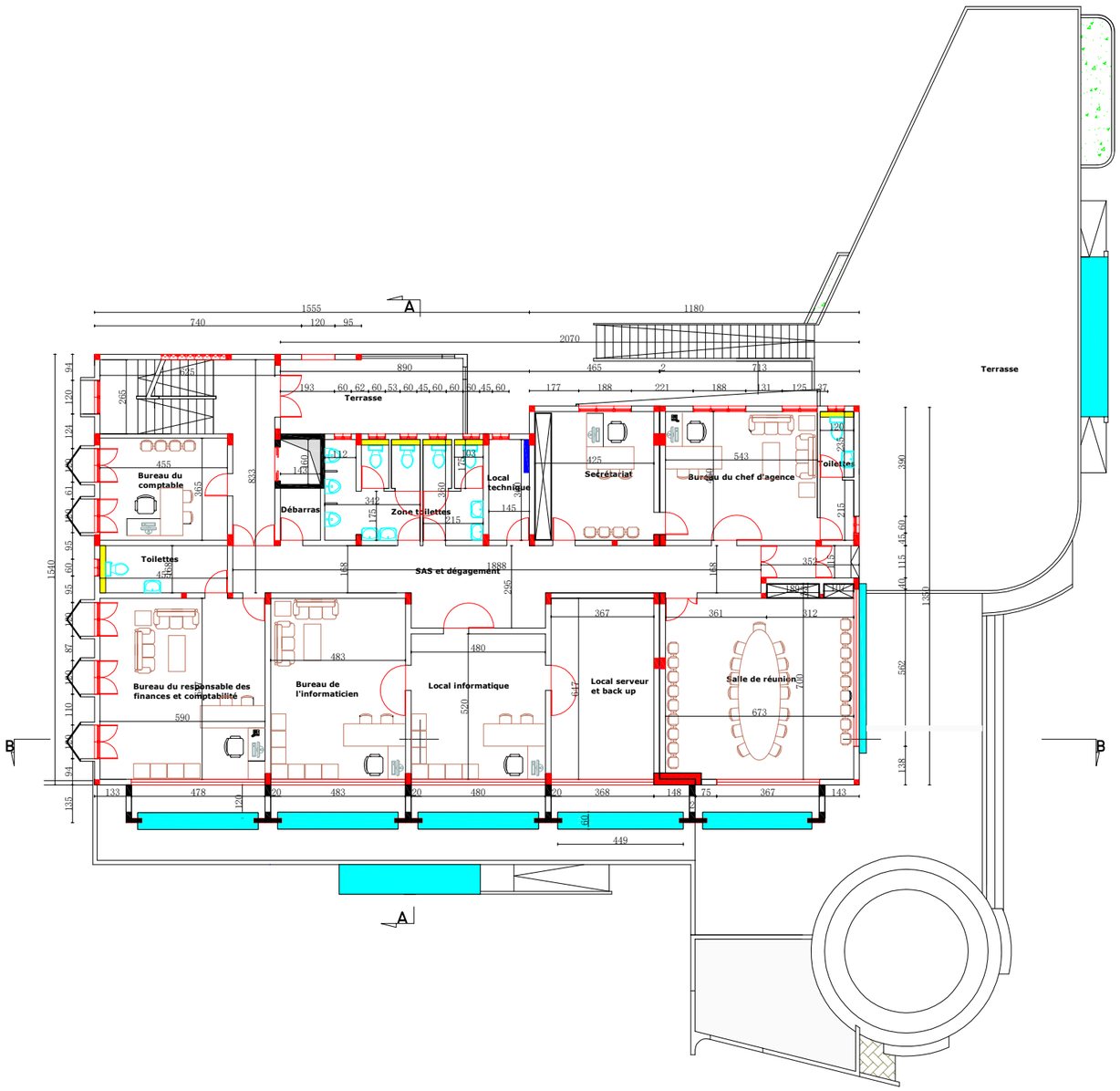
Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3 et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

| | |
|---|---|
| AFFAIRE N°:03/POUT | MAITRE D'OUVRAGE<br>LONAB |
| PLANCHE N° | MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE<br>FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL<br>01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01<br>Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91<br>E.mail: faso.kanu@fasonet.bf |
| PHASE:<br>EXECUTION | MAITRE D'OEUVRE<br>ATEC<br>01 BP 3211 Ouaga 01<br>Tel: 50 37 00 15<br>BURKINA FASO<br>MISSION DE CONTROLE |
| ECHELLE:<br>1/200 | ENTREPRISE<br>FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )<br>Tel: (00226) 25 37 62 66<br>E.mail: fcs@fasonet.bf |

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

## PLAN DE DISTRIBUTION NIVEAU RDC




# BURKINA FASO

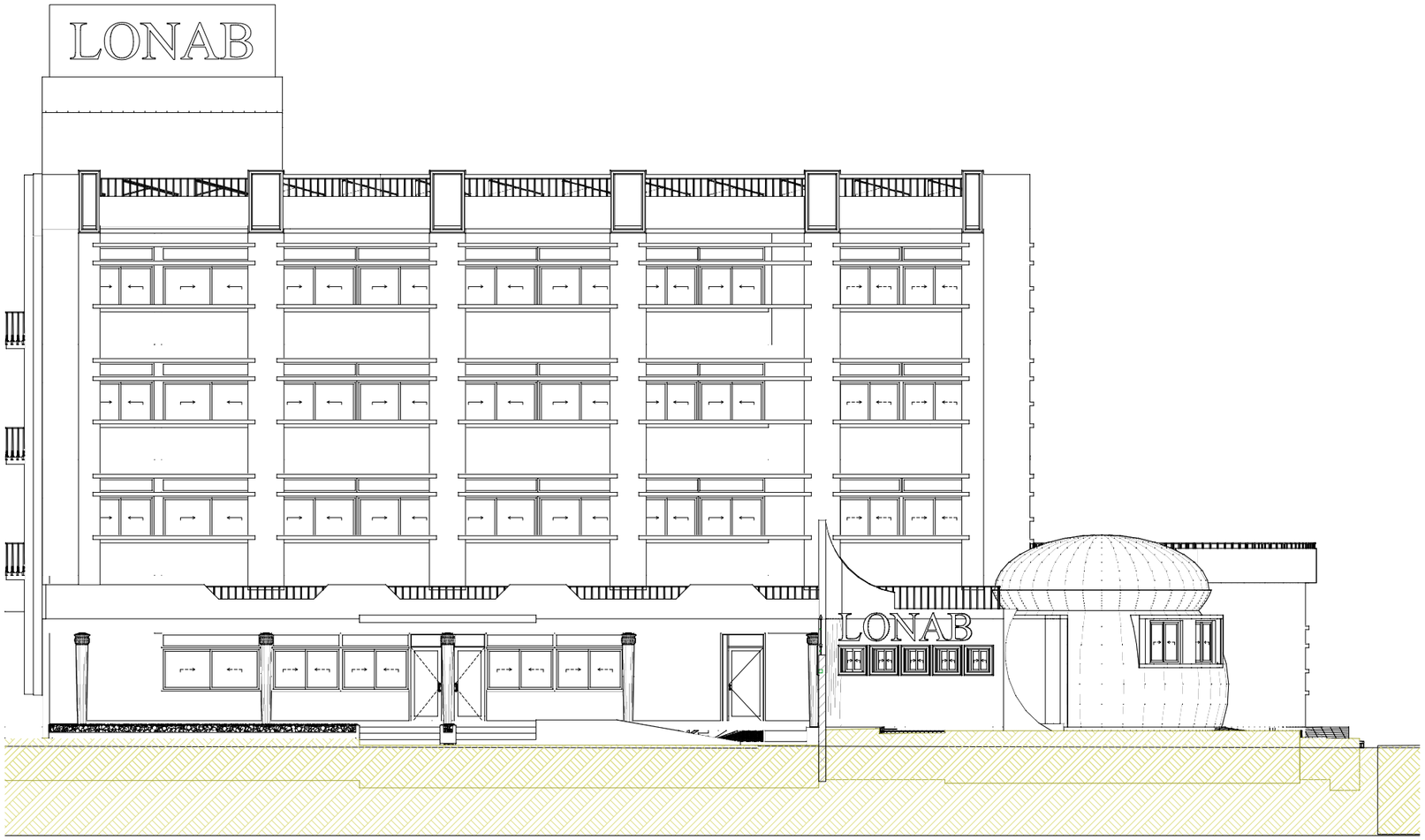
Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3 et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

| | |
|---|---|
| AFFAIRE N°:03/POUT | MAITRE D'OUVRAGE<br>LONAB |
| PLANCHE N° | MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE<br>FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL<br>01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01<br>Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91<br>E.mail: faso.kanu@fasonet.bf |
| PHASE:<br>EXECUTION | MAITRE D'OEUVRE<br>ATEC<br>01 BP 3211 Ouaga 01<br>Tel: 50 37 00 15<br>BURKINA FASO<br>MISSION DE CONTROLE |
| ECHELLE:<br>1/200 | ENTREPRISE<br>FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )<br>Tel: (00226) 25 37 62 66<br>E.mail: fcs@fasonet.bf |

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

## PLAN DE DISTRIBUTION NIVEAU R+1, R+2 & R+3




# BURKINA FASO

Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3
et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

AFFAIRE N°:03/POUT

MAITRE D'OUVRAGE
LONAB

PLANCHE N°

MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE
FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL
01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01
Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91
E.mail: faso.kanu@fasonet.bf

PHASE:
EXECUTION

MAITRE D'OEUVRE
ATEC
01 BP 3211 Ouaga 01
Tel: 50 37 00 15
BURKINA FASO

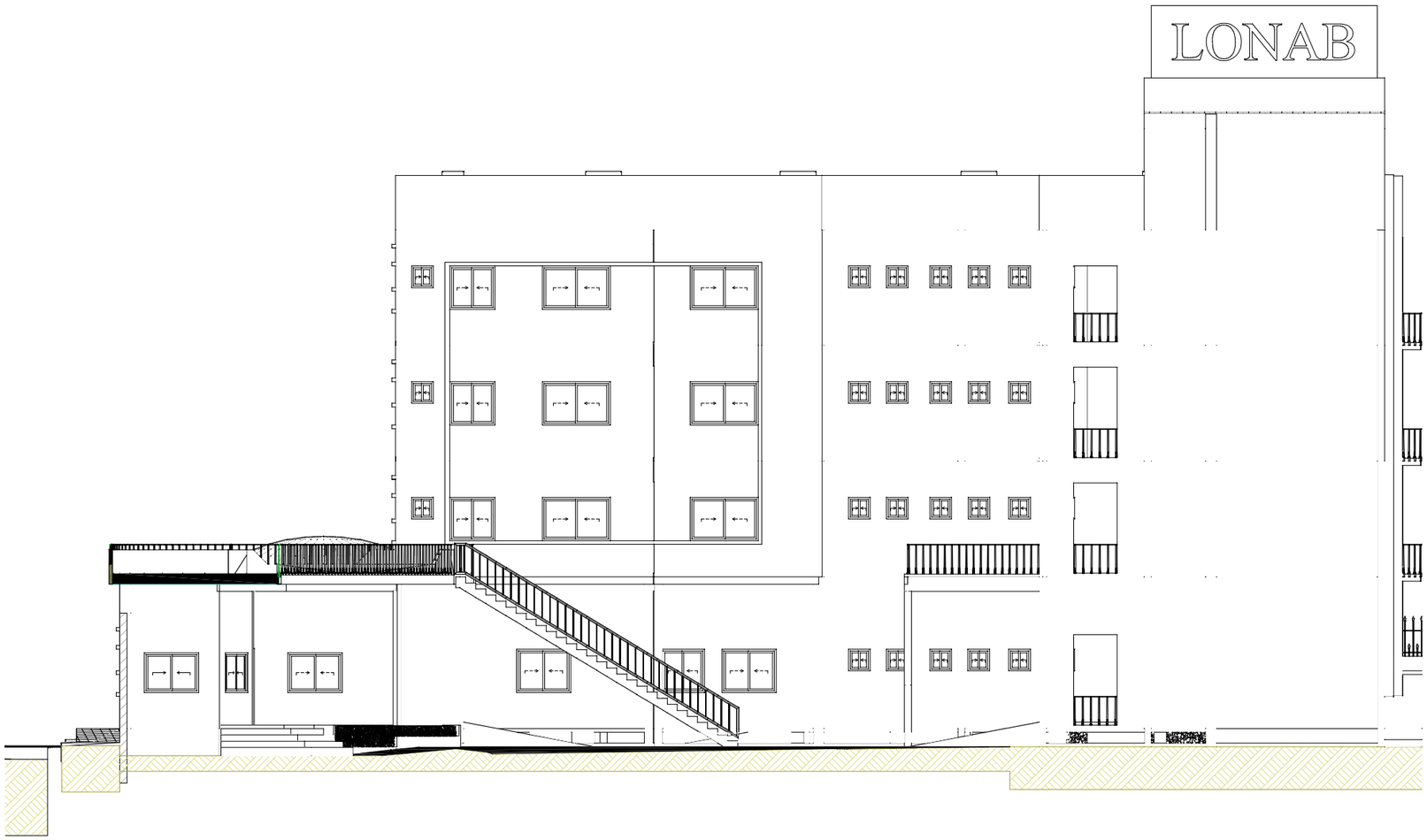
MISSION DE CONTROLE

ECHELLE:
1/100

ENTREPRISE
FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )
Tel: (00226) 25 37 62 66
E.mail: fcs@fasonet.bf

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

## FACADE PRINCIPALE




# BURKINA FASO

Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3
et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

AFFAIRE N°:03/POUT

MAITRE D'OUVRAGE
LONAB

PLANCHE N°

MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE
FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL
01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01
Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91
E.mail: faso.kanu@fasonet.bf

PHASE:
EXECUTION

MAITRE D'OEUVRE
ATEC
01 BP 3211 Ouaga 01
Tel: 50 37 00 15
BURKINA FASO

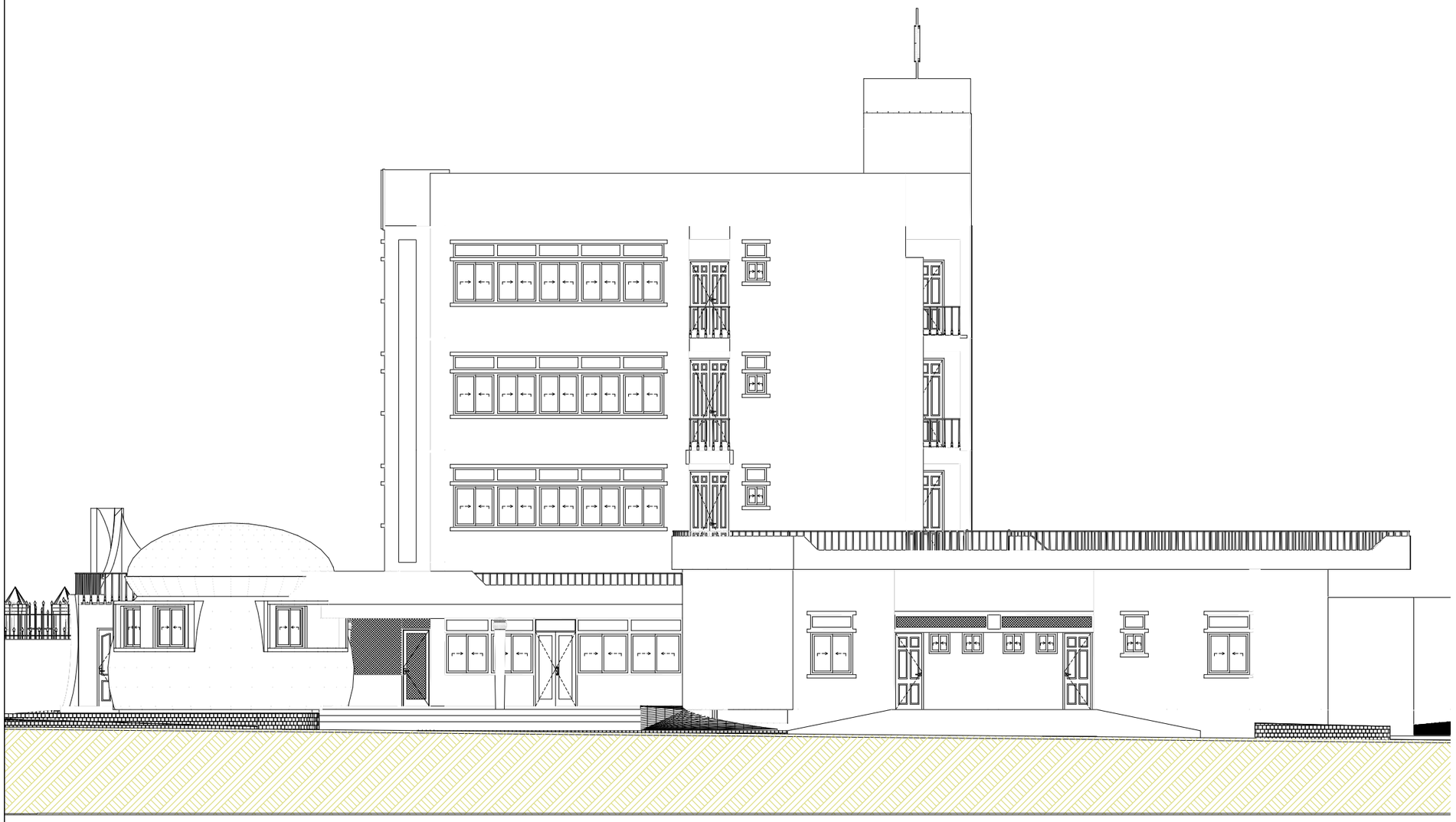
MISSION DE CONTROLE

ECHELLE:
1/100

ENTREPRISE
FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )
Tel: (00226) 25 37 62 66
E.mail: fcs@fasonet.bf

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

# FACADE ARRIERE



# BURKINA FASO

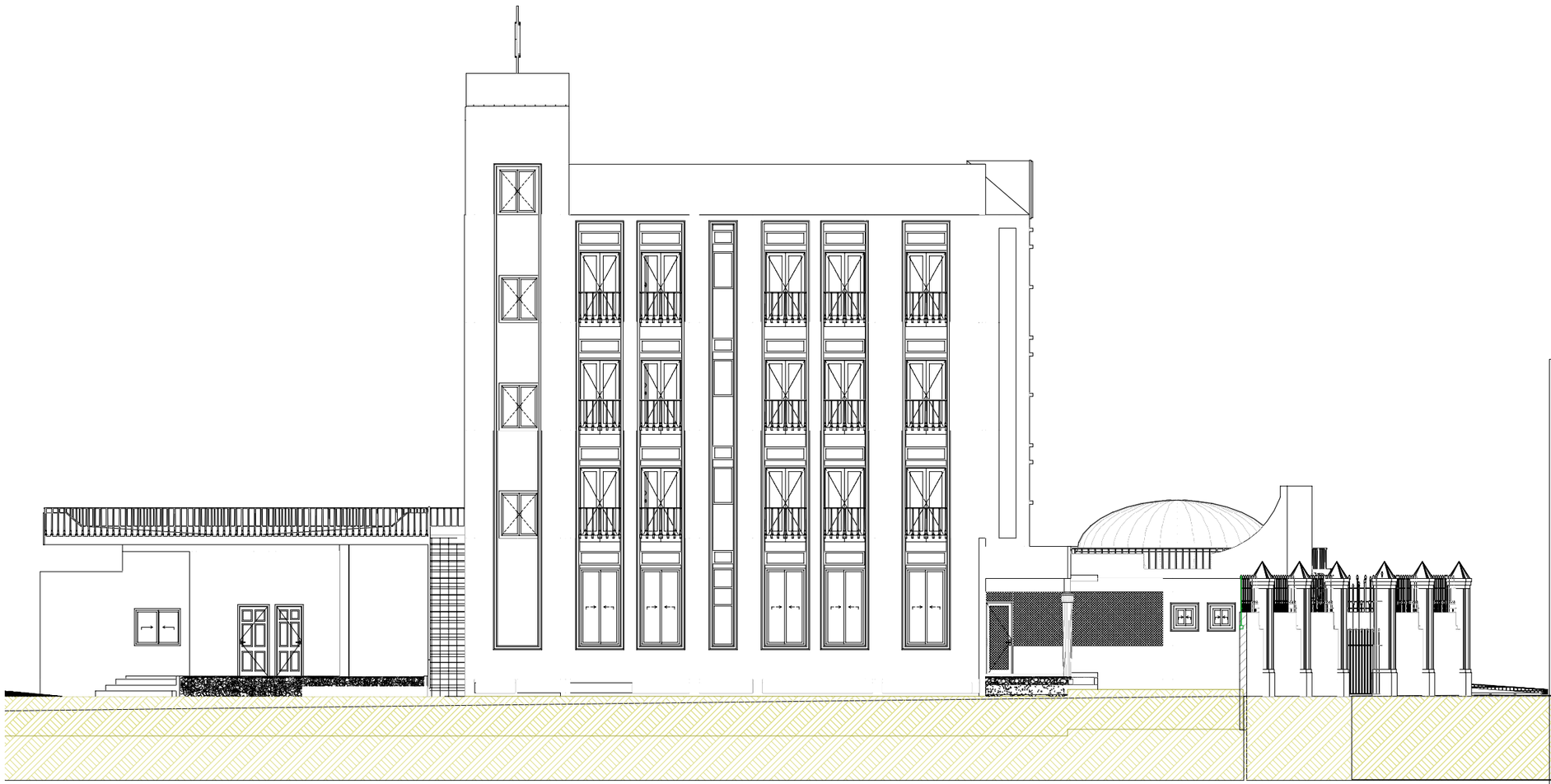
Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3
et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

| | |
|---|---|
| AFFAIRE N°:03/POUT | MAITRE D'OUVRAGE<br>LONAB |
| PLANCHE N° | MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE<br>FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL<br>01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01<br>Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91<br>E.mail: faso.kanu@fasonet.bf |
| PHASE:<br>EXECUTION | MAITRE D'OEUVRE<br>ATEC<br>01 BP 3211 Ouaga 01<br>Tel: 50 37 00 15<br>BURKINA FASO<br>MISSION DE CONTROLE |
| ECHELLE:<br>1/100 | ENTREPRISE<br>FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )<br>Tel: (00226) 25 37 62 66<br>E.mail: fcs@fasonet.bf |

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

# FACADE GAUCHE



# BURKINA FASO

Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3
et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

AFFAIRE N°:03/POUT

MAITRE D'OUVRAGE
**LONAB**

PLANCHE N°

MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE
**FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL**
01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01
Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91
E.mail: faso.kanu@fasonet.bf

PHASE: EXECUTION

MAITRE D'OEUVRE
**ATEC**
01 BP 3211 Ouaga 01
Tel: 50 37 00 15
BURKINA FASO

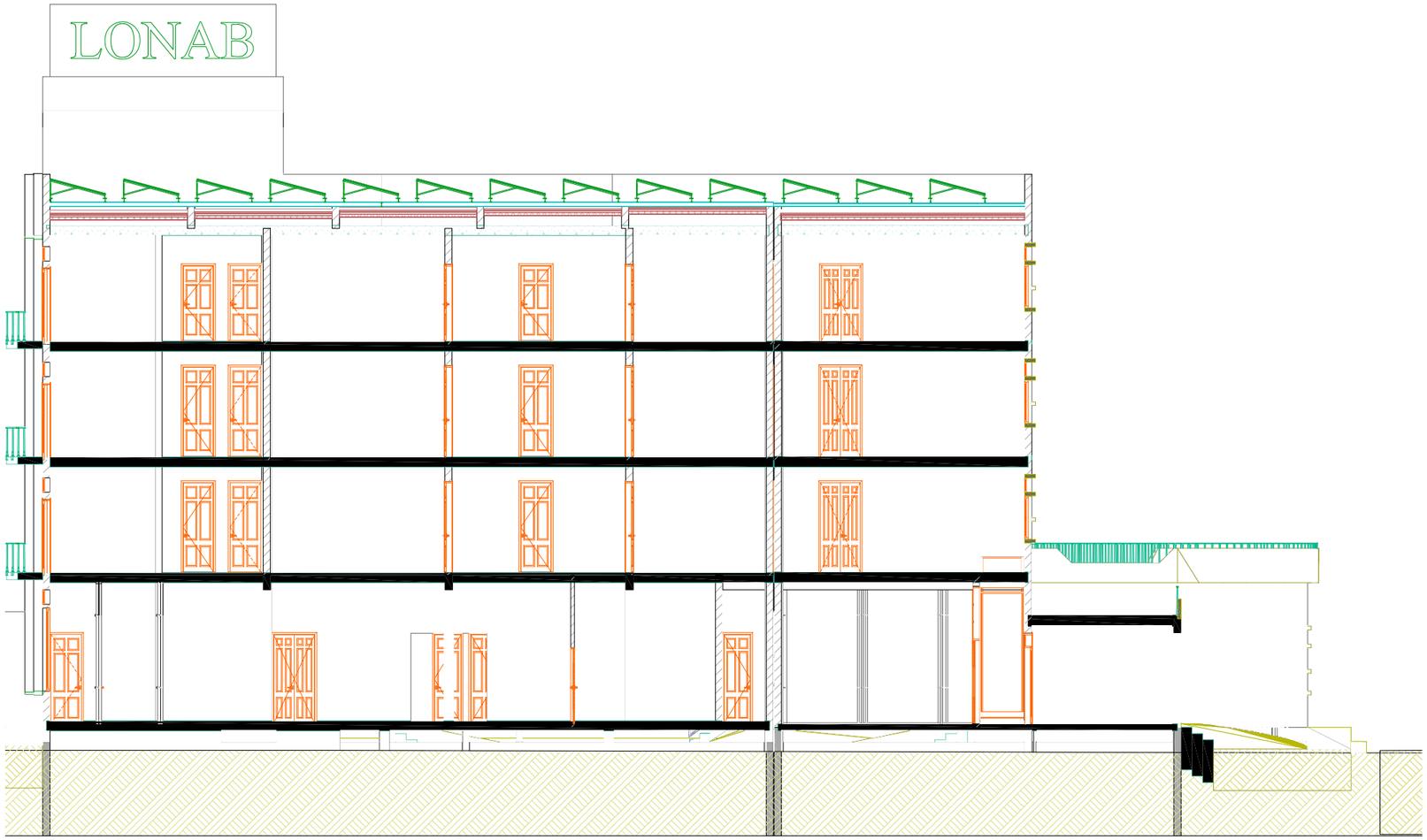
MISSION DE CONTROLE

ECHELLE: 1/100

ENTREPRISE
**FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )**
Tel: (00226) 25 37 62 66
E.mail: fcs@fasonet.bf

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

# FACADE DROITE




# BURKINA FASO

Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3
et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

AFFAIRE N°:03/POUT

MAITRE D'OUVRAGE
**LONAB**

PLANCHE N°

MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE
**FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL**
01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01
Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91
E.mail: faso.kanu@fasonet.bf

PHASE:
EXECUTION

MAITRE D'OEUVRE
**ATEC**
01 BP 3211 Ouaga 01
Tel: 50 37 00 15
BURKINA FASO

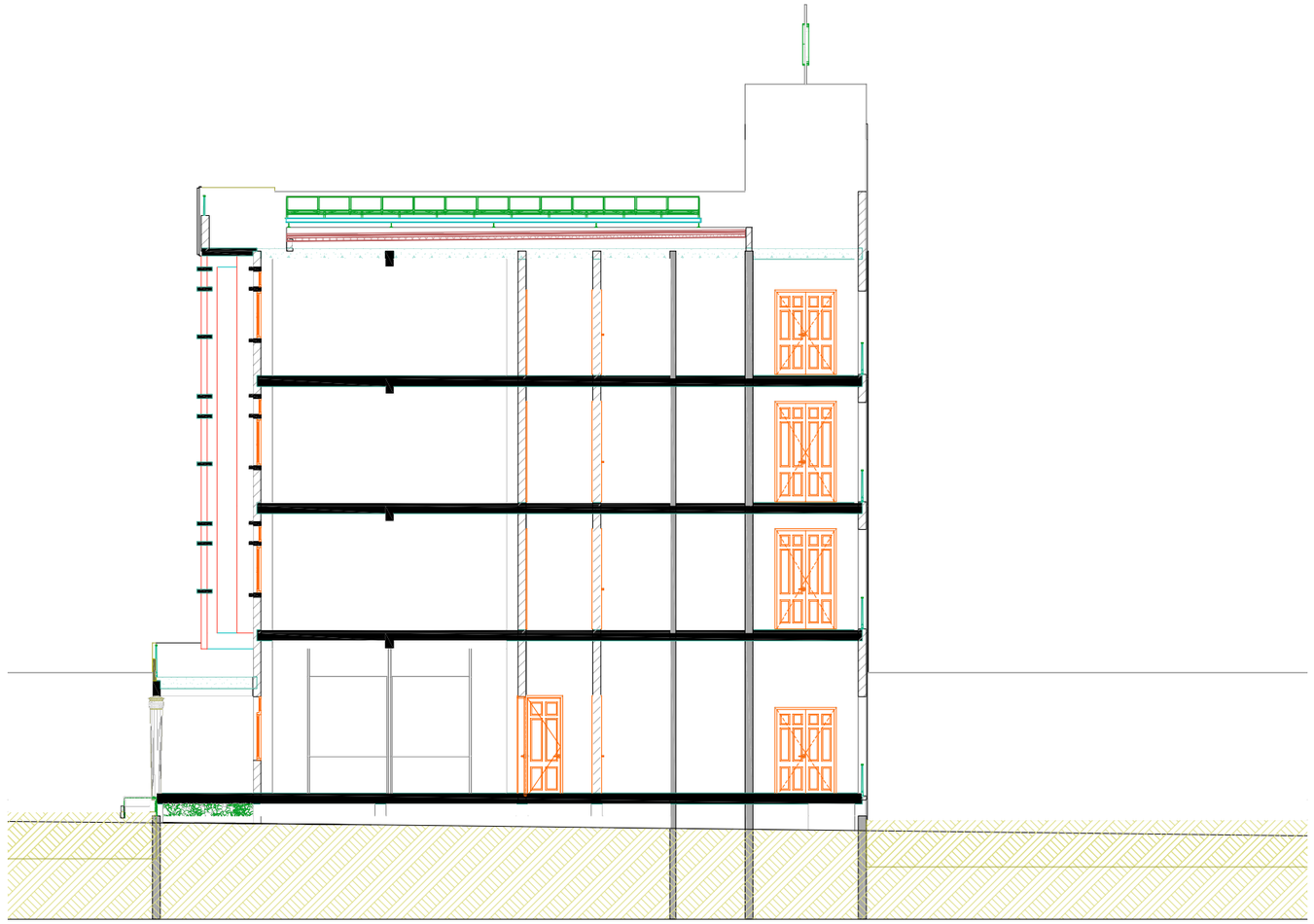
MISSION DE CONTROLE

ECHELLE:
1/100

ENTREPRISE
**FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )**
Tel: (00226) 25 37 62 66
E.mail: fcs@fasonet.bf

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

# COUPE LONGITUDINALE



# BURKINA FASO

Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3
et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

AFFAIRE N°:03/POUT

MAITRE D'OUVRAGE

LONAB

PLANCHE N°

MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE

FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL
01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01
Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91
E.mail: faso.kanu@fasonet.bf

PHASE:

EXECUTION

MAITRE D'OEUVRE

ATEC
01 BP 3211 Ouaga 01
Tel: 50 37 00 15
BURKINA FASO

MISSION DE CONTROLE

ECHELLE:

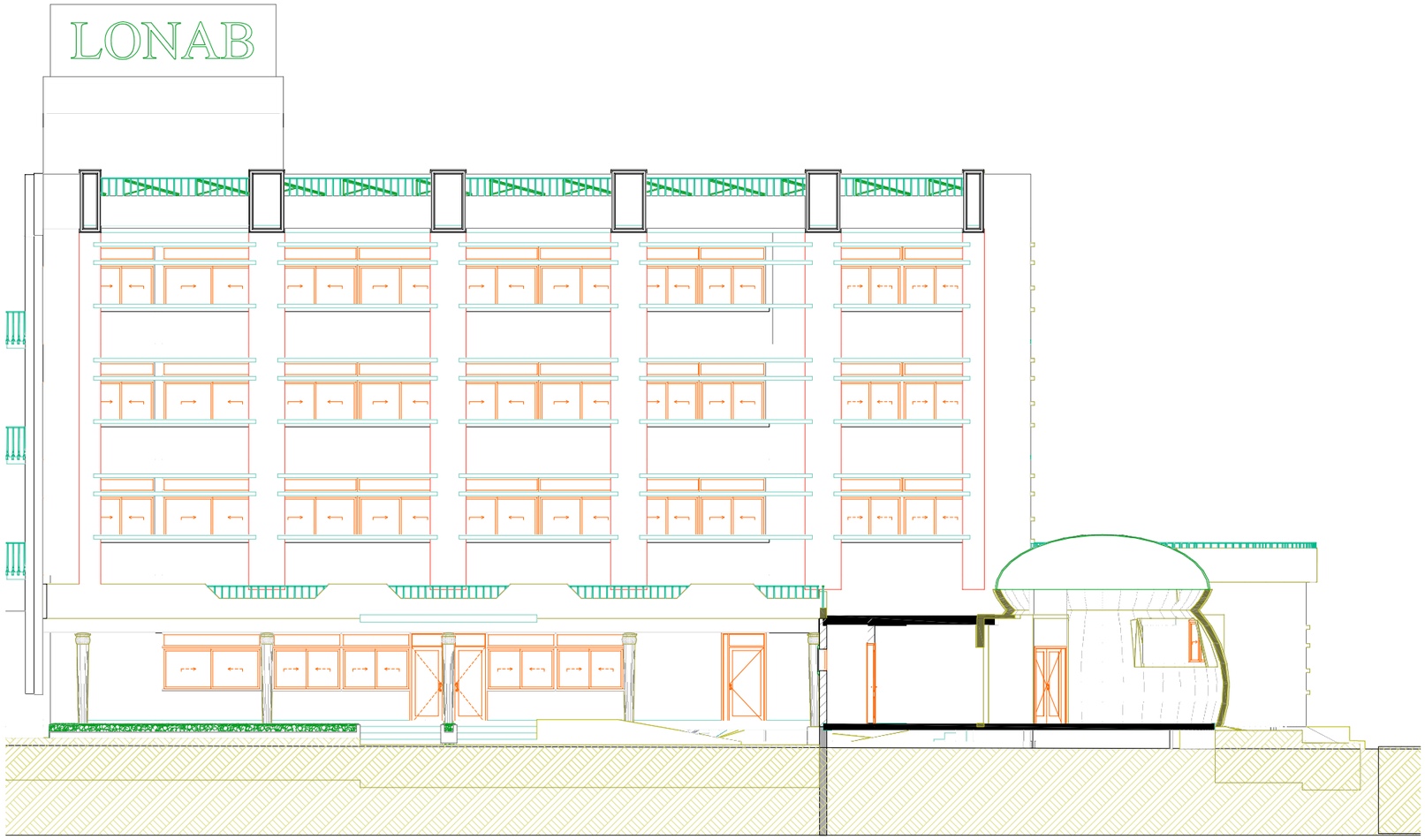
1/100

ENTREPRISE

FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )
Tel: (00226) 25 37 62 66
E.mail: fcs@fasonet.bf

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

# COUPE TRANSVERSALE




# BURKINA FASO

Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3
et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

AFFAIRE N°:03/POUT

PLANCHE N°

MAITRE D'OUVRAGE
**LONAB**

MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE
**FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL**
01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01
Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91
E.mail: faso.kanu@fasonet.bf

PHASE:
EXECUTION

MAITRE D'OEUVRE
**ATEC**
01 BP 3211 Ouaga 01
Tel: 50 37 00 15
BURKINA FASO

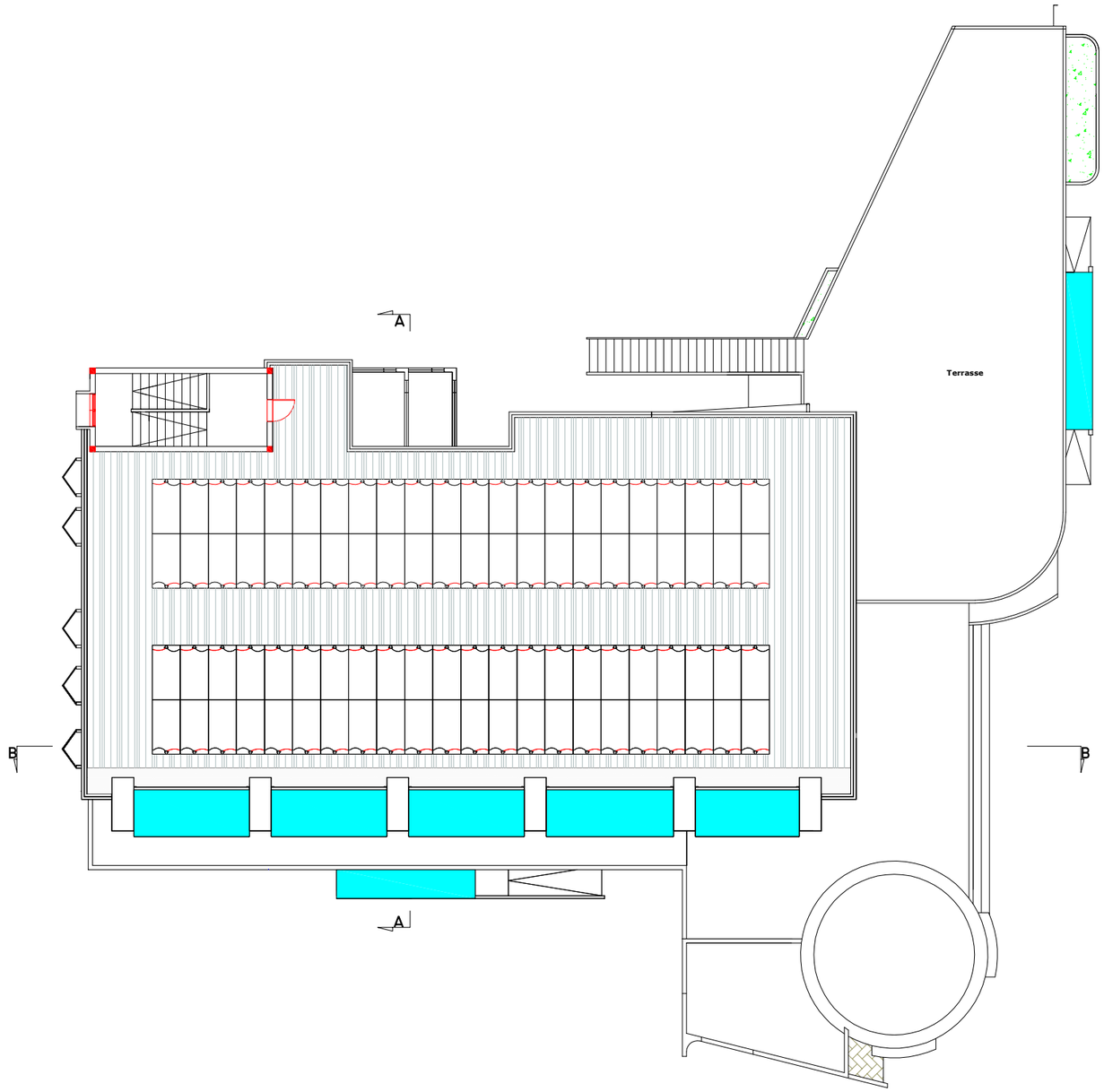
MISSION DE CONTROLE

ECHELLE:
1/100

ENTREPRISE
**FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )**
Tel: (00226) 25 37 62 66
E.mail: fcs@fasonet.bf

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

# COUPE SUR LA MARMITE




NORD

# BURKINA FASO

Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3
et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

AFFAIRE N°:03/POUT

MAITRE D'OUVRAGE
LONAB

PLANCHE N°

MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE
FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL
01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01
Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91
E.mail: faso.kanu@fasonet.bf

PHASE:
EXECUTION

MAITRE D'OEUVRE
ATEC
01 BP 3211 Ouaga 01
Tel: 50 37 00 15
BURKINA FASO

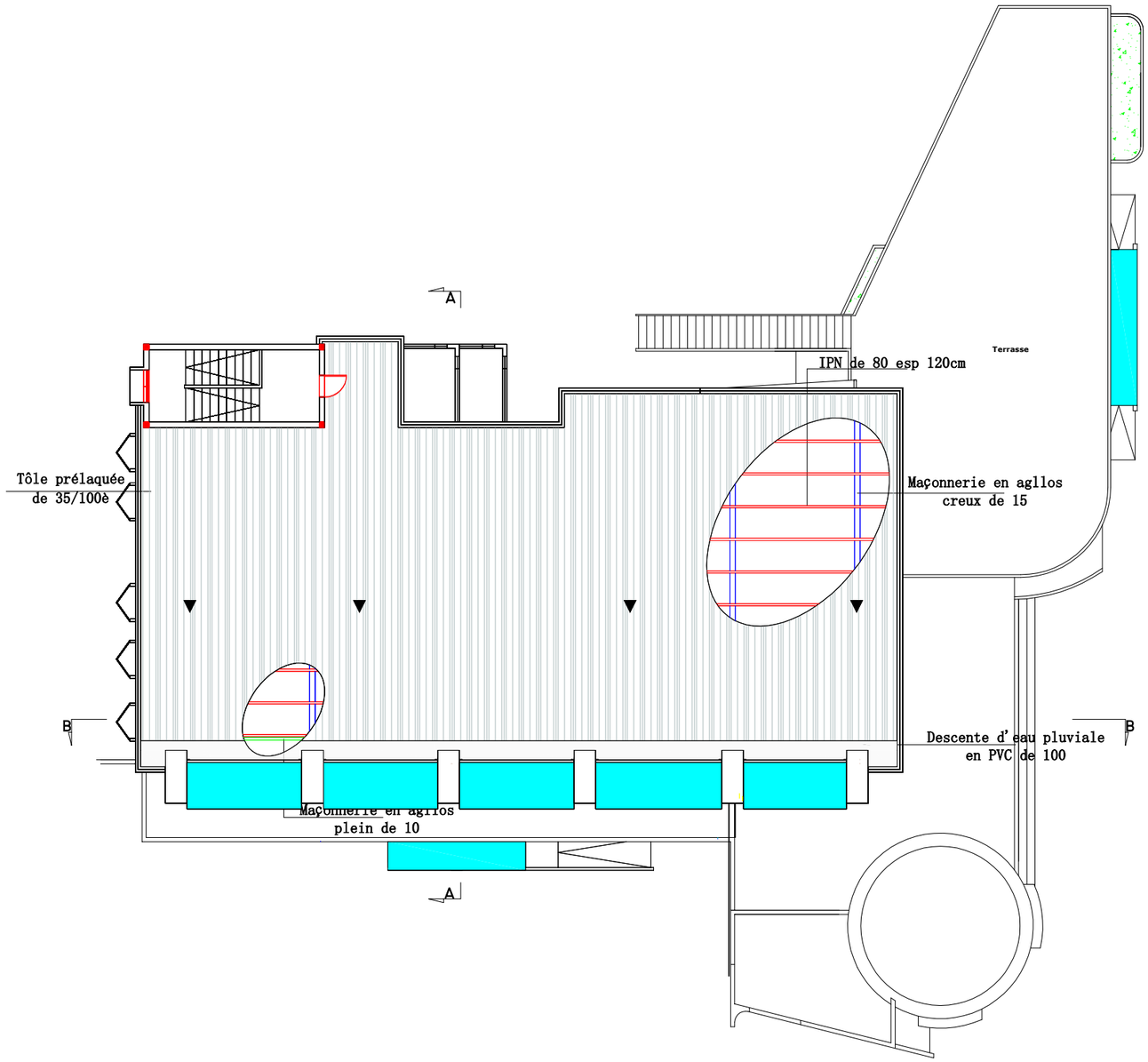
MISSION DE CONTROLE

ECHELLE:
1/200

ENTREPRISE
FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )
Tel: (00226) 25 37 62 66
E.mail: fcs@fasonet.bf

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

## PLAN DE TOITURE BIS (PARC SOLAIRE)




NORD

# BURKINA FASO

Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3
et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

AFFAIRE N°:03/POUT

MAITRE D'OUVRAGE
LONAB

PLANCHE N°

MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE
FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL
01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01
Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91
E.mail: faso.kanu@fasonet.bf

PHASE:
EXECUTION

MAITRE D'OEUVRE
ATEC
01 BP 3211 Ouaga 01
Tel: 50 37 00 15
BURKINA FASO

MISSION DE CONTROLE

ECHELLE:
1/200

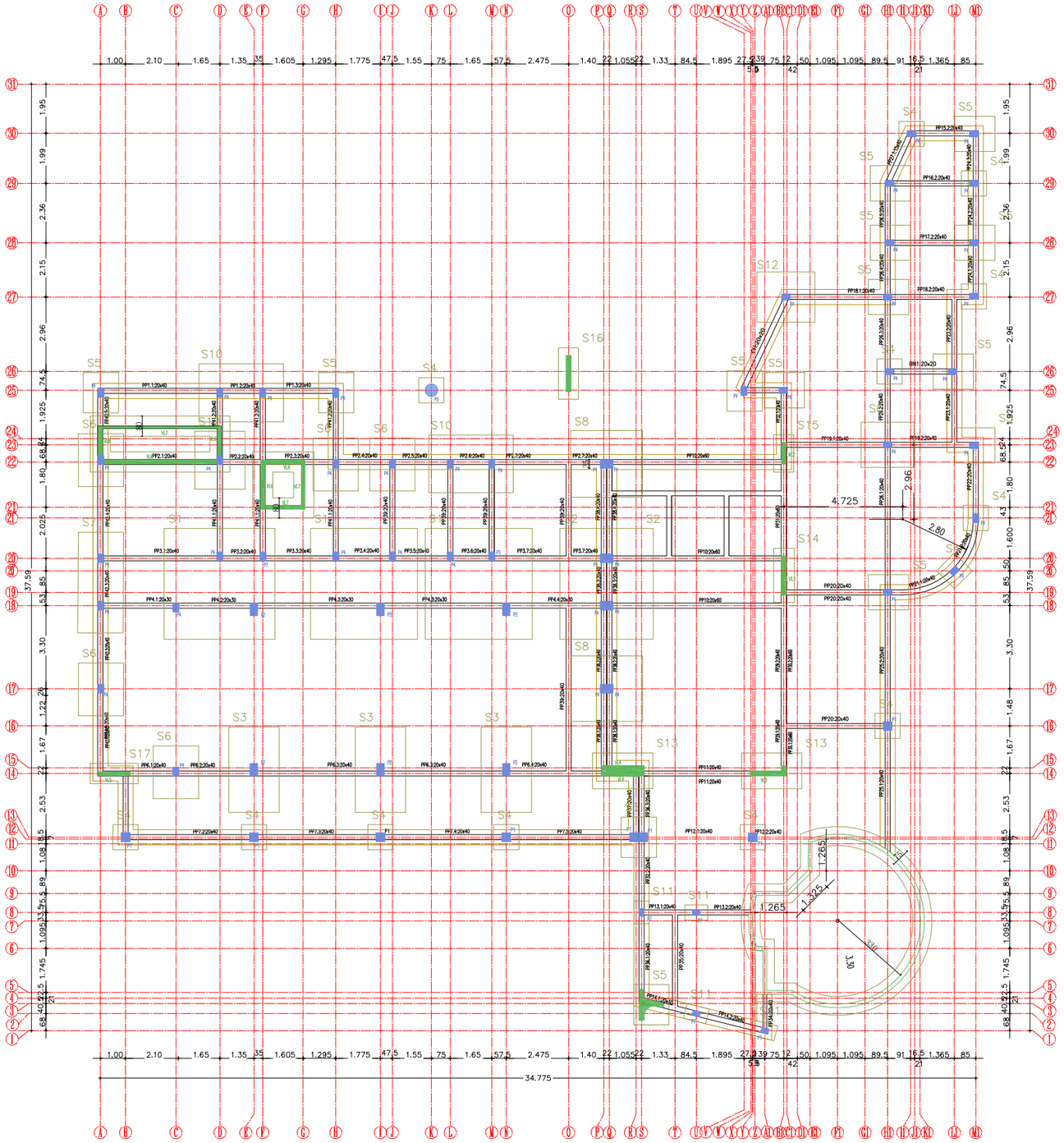
ENTREPRISE
FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )
Tel: (00226) 25 37 62 66
E.mail: fcs@fasonet.bf

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

# PLAN DE TOITURE

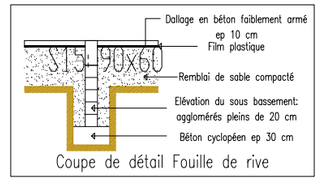
# Annexe II

## Etude de la structure

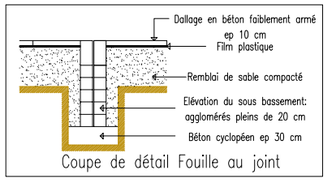



## LEGENDE:

| POTEAUX Dimensions en cm | | POTEAUX Dimensions en cm |
|---|---|---|
| S1: 440x425 | S10: 335x230 | P1: 35x35 |
| S2: 440x370 | S11: 90x60 | P2: 30x50 |
| S3: 340x200 | S12: 230x200 | P3: 25x35 |
| S4: 100x100 | S13: 240x140 | P4: 25x30 |
| S5: 160x140 | S14: 215x80 | P5: d=45 |
| S6: 210x180 | S15: 150x80 | |
| S7: 400x180 | S16: 200x80 | |
| S8: 285x265 | S17: 190x80 | |



Coupe de détail Fouille de rive



Coupe de détail Fouille au joint

# BURKINA FASO

Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3 et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

AFFAIRE N°:03/POUT

MAITRE D'OUVRAGE

**LONAB**

PLANCHE N°

MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE

**FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL**
01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01
Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91
E.mail: faso.kanu@fasonet.bf

PHASE: EXECUTION

MAITRE D'OEUVRE

**ATEC**
01 BP 3211 Ouaga 01
Tel: 50 37 00 15
BURKINA FASO

MISSION DE CONTROLE

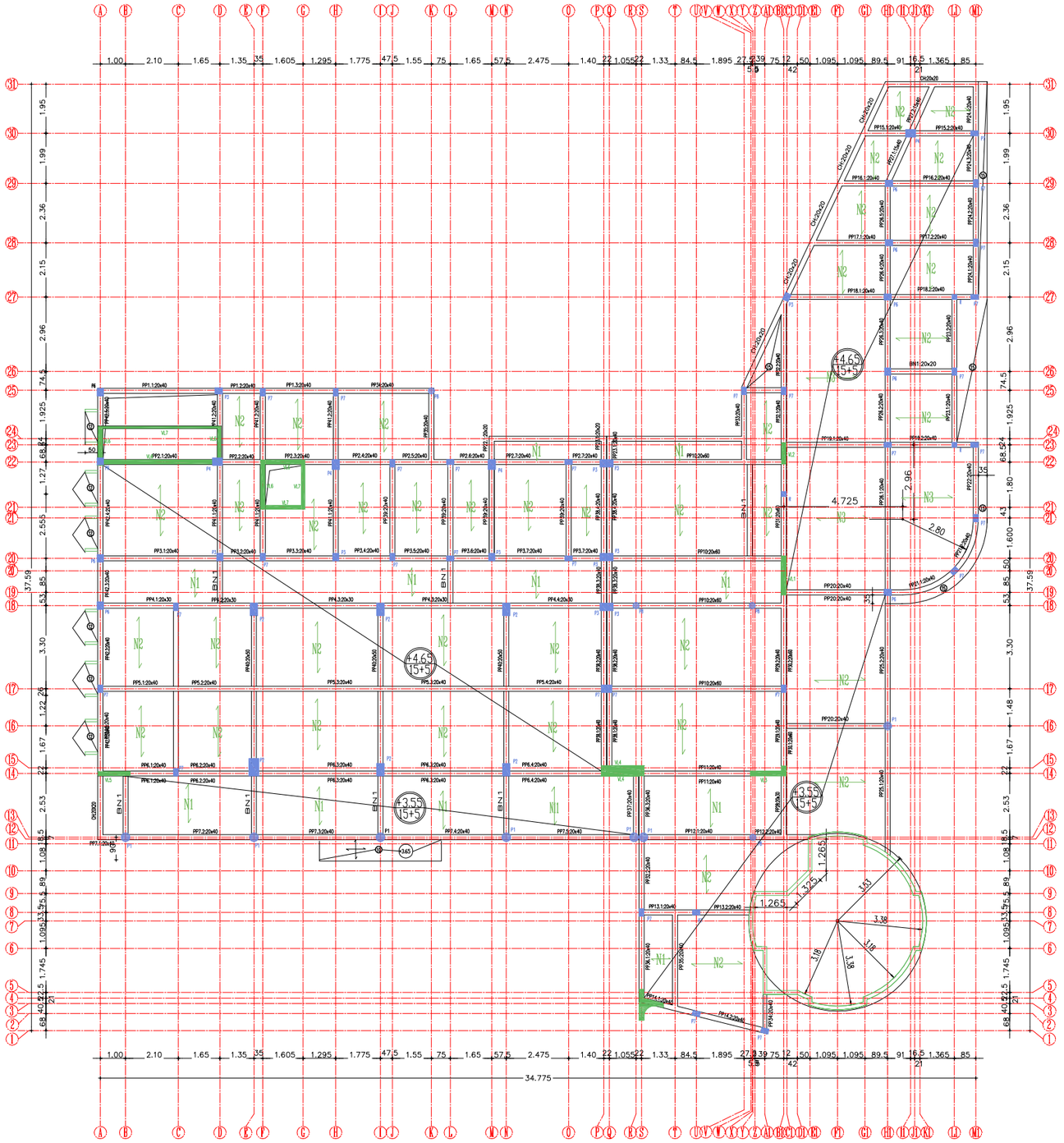
ECHELLE: 1/200

ENTREPRISE

**FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )**
Tel: (00226) 25 37 62 66
E.mail: fcs@fasonet.bf

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

# PLAN DE FONDATIONS

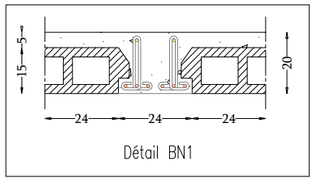



## LEGENDE:

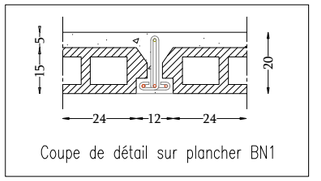
POTEAUX

Dimensions en cm

P1: D=35
P2: 30x50
P3: 25x30
P4: 30x40
P6: 20x30
P7: 20x30
P8: D=20
R: 20x20




Détail BN1




Coupe de détail sur plancher BN1

# BURKINA FASO

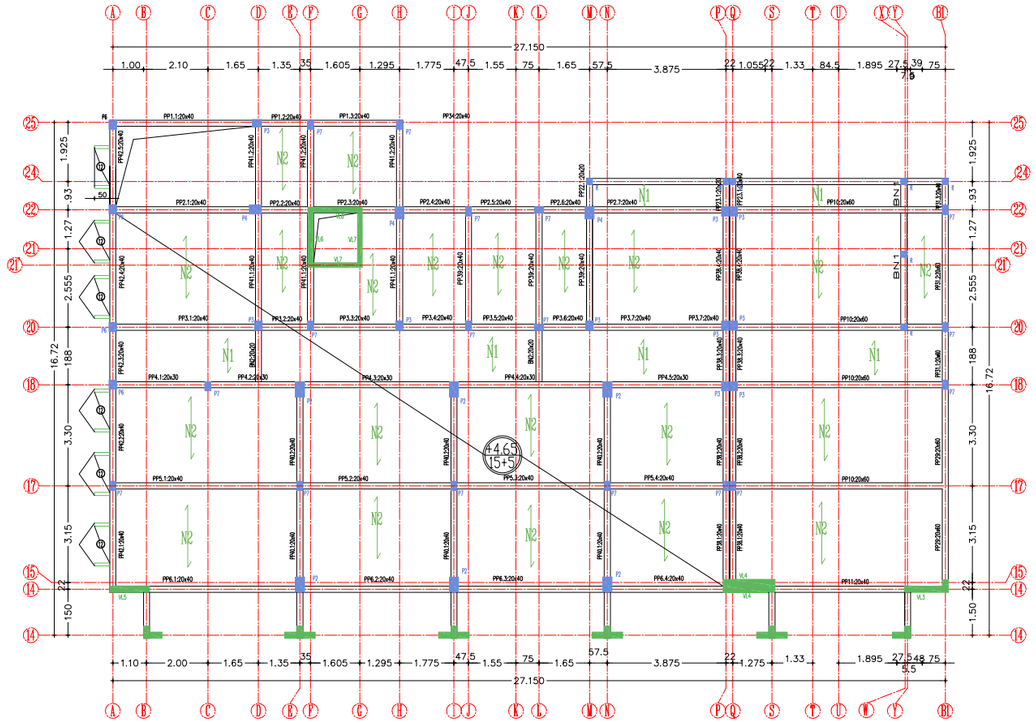
Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3 et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

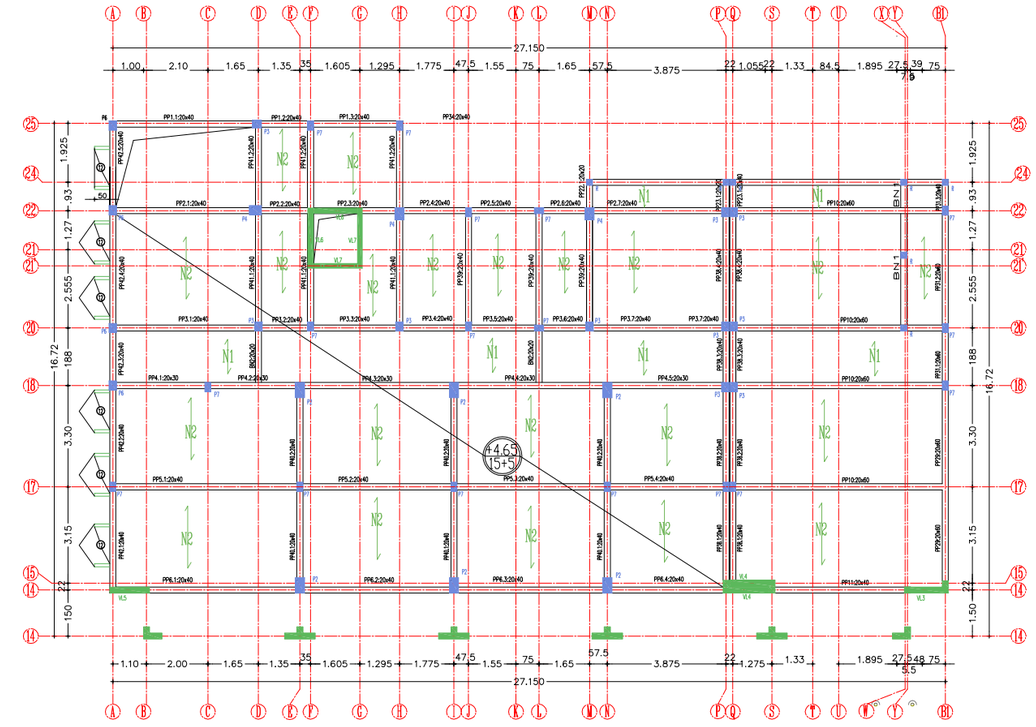
| | |
|---|---|
| AFFAIRE N°:03/POUT | MAITRE D'OUVRAGE<br>LONAB |
| PLANCHE N° | MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE<br>FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL<br>01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01<br>Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91<br>E.mail: faso.kanu@fasonet.bf |
| PHASE:<br>EXECUTION | MAITRE D'OEUVRE<br>ATEC<br>01 BP 3211 Ouaga 01<br>Tel: 50 37 00 15<br>BURKINA FASO<br>MISSION DE CONTROLE |
| ECHELLE:<br>1/200 | ENTREPRISE<br>FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )<br>Tel: (00226) 25 37 62 66<br>E.mail: fcs@fasonet.bf |

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

## PLAN DE COFFRAGE PLANCHER HAUT RDC




PLAN DE COFFRAGE PLANCHER HAUT R+1



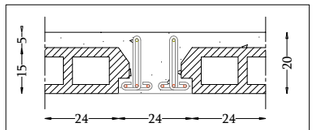

PLAN DE COFFRAGE PLANCHER HAUT R+2

## LEGENDE:

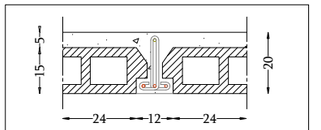
POTEAUX

Dimensions en cm

P1: D=35
P2: 30x50
P3: 25x30
P4: 30x40
P6: 20x30
P7: 20x30
P8: D=20
R: 20x20




Détail BN1




Coupe de détail sur plancher BN1

# BURKINA FASO

Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3 et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

AFFAIRE N°:03/POUT

MAITRE D'OUVRAGE
**LONAB**

PLANCHE N°

MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE
**FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL**
01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01
Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91
E.mail: faso.kanu@fasonet.bf

PHASE: EXECUTION

MAITRE D'OEUVRE
**ATEC**
01 BP 3211 Ouaga 01
Tel: 50 37 00 15
BURKINA FASO

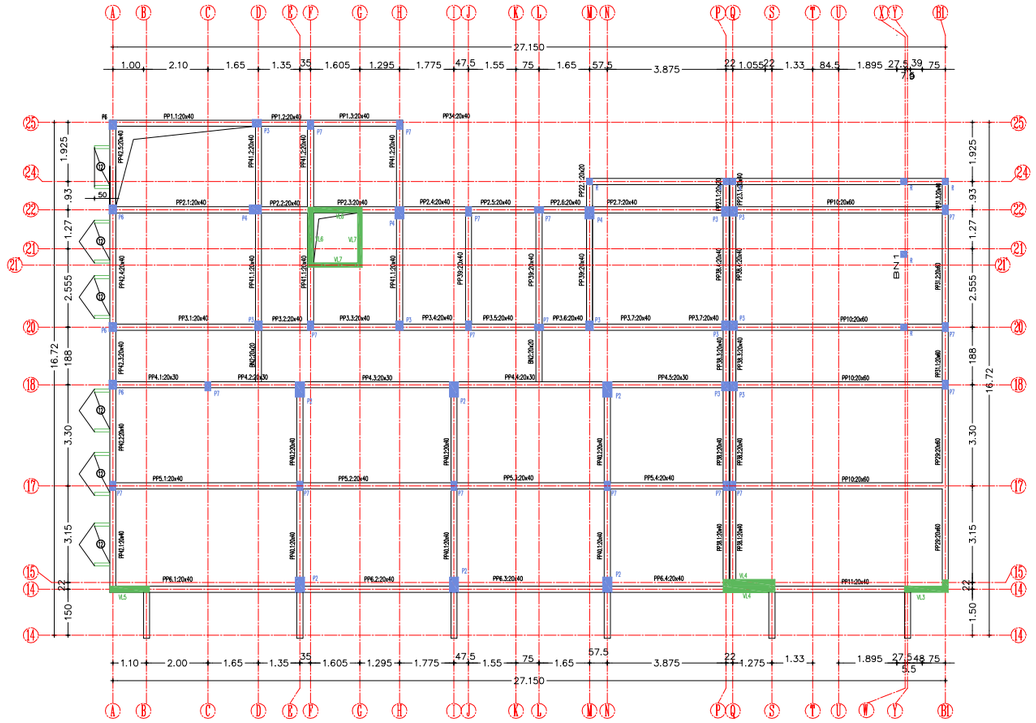
MISSION DE CONTROLE

ECHELLE: 1/200

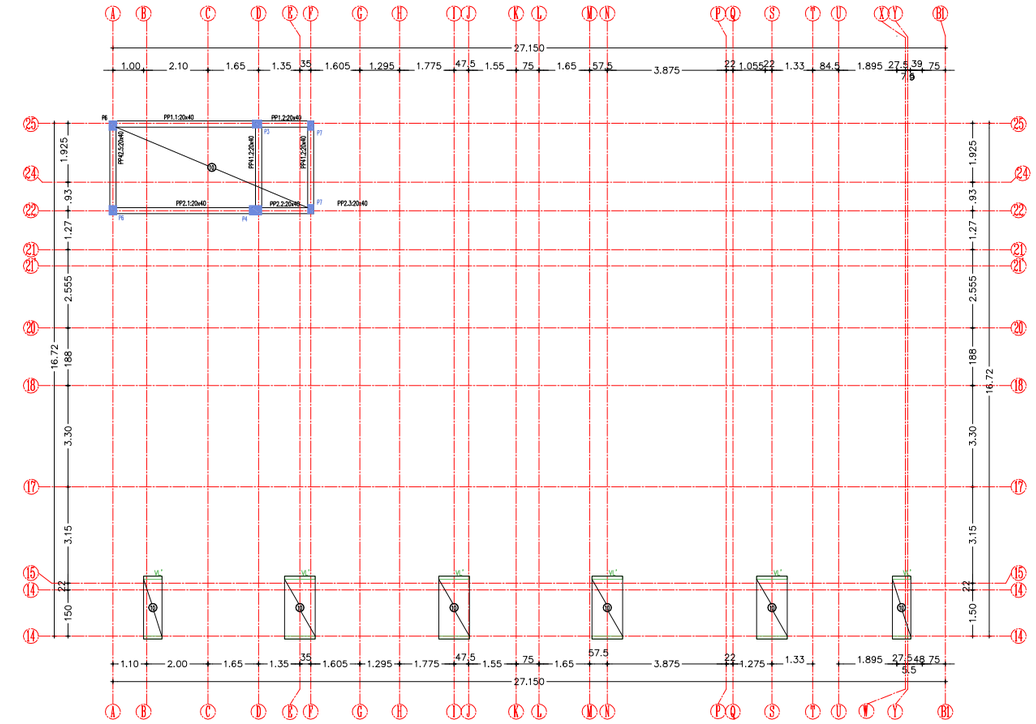
ENTREPRISE
**FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )**
Tel: (00226) 25 37 62 66
E.mail: fcs@fasonet.bf

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

PLAN DE COFFRAGE PLANCHER HAUT R+1 & R+2




PLAN DE COFFRAGE PLANCHER HAUT R+3




PLAN DE COFFRAGE TOIT

## LEGENDE:

POTEAUX

Dimensions en cm

P1: D=35

P2: 30x50

~~P3: 25x30~~

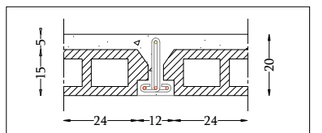
P4: 30x40

P6: 20x30

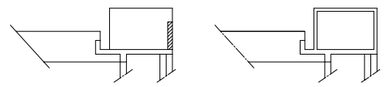
P7: 20x30

P8: D=20

R: 20x20




Coupe de détail sur plancher BN1



# BURKINA FASO

Projet de construction d'un immeuble tertiaire R+1 extensible en R+3 et d'un logement à KAYA au profit de la LONAB

## BATIMENT R+1 EXTENSIBLE EN R+3

AFFAIRE N°:03/POUT

MAITRE D'OUVRAGE

LONAB

PLANCHE N°

MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE

FASO KANU DEVELOPPEMENT SARL
01 BP: 5351 OUAGADOUGOU 01
Tel: (00226) 25 37 44 90 / 91
E.mail: faso.kanu@fasonet.bf

PHASE: EXECUTION

MAITRE D'OEUVRE

ATEC
01 BP 3211 Ouaga 01
Tel: 50 37 00 15
BURKINA FASO

MISSION DE CONTROLE

ECHELLE: 1/200

ENTREPRISE

FASO CONSTRUCTION ET SERVICES ( F.C.S )
Tel: (00226) 25 37 62 66
E.mail: fcs@fasonet.bf

| DATE | INDICE | DATE | MODIFICATIONS |
|---|---|---|---|
| | A | 06/2017 | Version finale du mémoire de fin d'études |
| VISA | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |

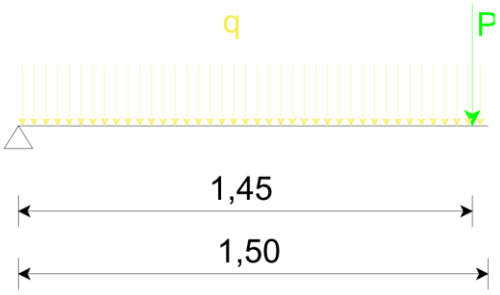
PLAN DE COFFRAGE PLANCHER HAUT R+3 & TOIT

## Annexe II-4. Note de calcul de la dalle pleine

Données :

$b = 1\ m$

$h = 0{,}15\ m$




### ➢ Chargement

$g = 3{,}4\ \text{kN/ml}$

$q = 1\ \text{kN/ml}$

$p = 2{,}7\ kN/ml.$

#### ✓ A l'ELU

$Q_u = 6{,}09\ \text{kN/ml}$

$P_u = 3{,}645\ kN/ml.$

#### ✓ A l'ELS

$Q_{ser} = 4{,}4\ \text{kN/ml}$

$P_{ser} = 2{,}7\ kN/ml.$

### ➢ Détermination des Moments

#### ✓ A l'ELU

$$M_u = P_u.l' + \frac{q_u.l^2}{2}$$

$$M_u = 3{,}645 \times 1{,}45 + \frac{6{,}09 \times 1{,}5^2}{2}$$

$$M_u = 12{,}1365 kN/ml.$$

#### ✓ A l'ELS

$$M_{ser} = P_{ser}.l' + \frac{q_{ser}.l^2}{2}$$

$$M_{ser} = 2{,}7 \times 1{,}45 + \frac{4{,}4 \times 1{,}5^2}{2}$$

$$M_{ser} = 8{,}865\ kN/ml.$$

➢ Justification des Moments : section d'armatures longitudinale

La fissuration est considérée très préjudiciable. La détermination des armatures longitudinales se fera à l'Etat Limite de Service (ELS)

✓ Paramètre de déformation

$$\alpha_{ser} = \frac{n.\sigma_{bser}}{n.\sigma_{bser} + \sigma_{st}}$$

$n = 15$

$\sigma_{bser} = 12\ MPa$

$\sigma_{st} = 160\ MPa$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 12}{15 \times 12 + 160}$$

$\alpha_{ser} = 0{,}529$

✓ Position de la fibre neutre

$y_{ser} = \alpha_{ser}.d$

$d = 0{,}9 \times h = 0{,}135\ m$

$y_{ser} = 0{,}529 \times 0{,}135$

$y_{ser} = 0{,}071$

✓ Bras de levier

$$z_{ser} = \left(d - \frac{y_{ser}}{3}\right)$$

$$z_{ser} = \left(0{,}135 - \frac{0{,}071}{3}\right)$$

$z_{ser} = 0{,}159\ m$

✓ Moment résistant du béton

$$M_{rserb} = \frac{1}{2}.b.y_{ser}.\alpha_{ser}.z_{ser}$$

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} \times 1 \times 0{,}071 \times 0{,}529 \times 0{,}159$$

$M_{rserb} = 2{,}99\ kN.m$

$M_{rserb} > M_{ser} \Rightarrow armatures\ comprimées\ nécessaires$

✓ Section d'armatures tendues

$$A_{st} = \frac{1}{\sigma_{st}}.\left(\frac{M_{rserb}}{z_{ser}} + \frac{M_{ser} - M_{rserb}}{d - d'}\right)$$

$$A_{st} = \frac{1}{180}.\left(\frac{2,99}{0,159} + \frac{8,865 - 2,99}{0,12}\right) \times 10$$

$$A_{st} = 3,71\ cm^2$$

✓ Section d'armatures comprimées de répartition

$$A'_{st} = \frac{A_{st}}{4}$$

$$A'_{st} = \frac{3,71}{4}$$

$$A'_{st} = 1,236\ cm^2$$

✓ Section d'armatures comprimées

$$A_{sc} = \frac{M_{ser} - M_{rserb}}{(d - d').\sigma_{sc}}$$

$$\sigma_{sc} = n.\sigma_{bc}.\frac{\alpha_{ser}.d - d'}{\alpha_{ser}.d}$$

$$\sigma_{sc} = 15 \times 12 \times \frac{0,529 \times 0,135 - 0,015}{0,529 \times 0,135}$$

$$\sigma_{sc} = 142,193\ MPa$$

$$A_{sc} = \frac{8,865 - 2,99}{0,12 \times 142,193} \times 10$$

$$A_{sc} = 3,44\ cm^2$$

✓ Section d'armatures comprimées de répartition

$$A'_{sc} = \frac{A_{sc}}{4}$$

$$A'_{sc} = \frac{3,44}{4}$$

$$A'_{sc} = 0,86\ cm^2$$

✓ Sections d'armatures retenues

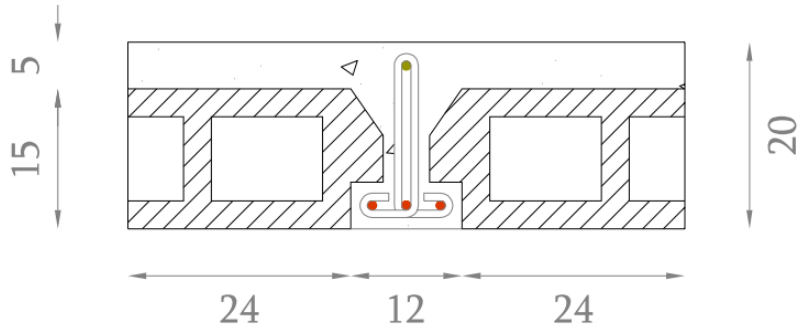
| | Suivant lx | | | Suivant ly | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Disposition | Section (cm²) | esp (cm) | Disposition | esp (cm) |
| Nappe inférieure | 5 HA 10 | 3,93 | 0,17 | HA 8 | 20 |
| Nappe inférieure | 5 HA 10 | 3,93 | 0,17 | HA 8 | 20 |

## Annexe II-5. Note de calcul des poutrelles (Dalle creuse)

Données :

$G = 4{,}47 kN/m^2$ *et* $Q = 5\ kN/m^2$

Portée : $l = 3{,}93\ m$




- Justification des Moments : section d'armatures longitudinale

  - ✓ Chargement uniforme

$P_u = 1{,}35 \times 0{,}6 \times 4{,}47 + 1{,}5 \times 0{,}6 \times 5$

$P_u = 8{,}12\ kN/ml$

$P_{ser} = 0{,}6 \times 4{,}47 + 0{,}6 \times 5$

$P_{ser} = 5{,}68\ kN/ml$

  - ✓ Moment maximal en travée

$$M_U = \frac{P_u \times l^2}{8}$$

$$M_U = \frac{8{,}12 \times 3{,}93^{\,2}}{8}.10^{-3}$$

$M_U = 0{,}0157\ MN.m$

$$M_{ser} = \frac{P_{ser} \times l^2}{8}$$

$$M_{ser} = \frac{5{,}68 \times 3{,}93^{\,2}}{8}.10^{-3}$$

$M_{ser} = 0{,}011\ MN.m$

  - ✓ Moment équilibré par la table

$$M_{tu} = b \times h_0 \times f_{bu}\left(d - \frac{h_o}{2}\right)$$

$$M_{tu} = 0{,}60 \times 0{,}20 \times 11{,}33\left(0{,}175 - \frac{0{,}2}{2}\right)$$

$M_{tu} = 0{,}102\ MN.m$

$M_{tu} > M_u$ ; On en déduit que la poutrelle étudiée peut être calculée comme une poutre rectangulaire de base $b = 60\ cm$ et de hauteur $h = 20\ cm$

  - ✓ Moment ultime réduit

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}0157}{0{,}6 \times 0{,}175^2 \times 11{,}33}$$

$\mu_u = 0{,}075$

$\mu_u < \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ A$

✓ Pente de la droite de pivot

$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$

$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}075})$

$\alpha_u = 0{,}098$

✓ Calcul du bras de levier

$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$

$z_u = 0{,}175 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}098)$

$z_u = 0{,}168\ m$

✓ Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}0157.10^4}{0{,}168 \times 347{,}83}$$

$A_{st} = 2{,}68\ cm^2$

✓ Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times 0{,}6 \times 0{,}175 \times \frac{1{,}8}{400}$$

$A_{stmin} = 1{,}09\ cm^2$

✓ Section d'armatures longitudinales retenue

*On prendra 2HA10 et 1HA12, soit* $A_{st} = 2{,}70\ cm^2$

➢ Justification aux sollicitations tangentielles : armatures transversales

✓ Contrainte tangentielle limite

$\tau_{ulim} = 2{,}67\ MPa$

✓ Contrainte effective

$$V_u = \frac{P_u.l}{2}$$

$$V_u = \frac{8{,}12 \times 3{,}93}{2}.10^{-3}$$

$V_u = 0{,}016\ kN$

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0.d}$$

$$\tau_u = \frac{0{,}016}{0{,}12 \times 0{,}175}$$

$\tau_u = 0{,}762\ MPa$

✓ Evaluation de la nécessité des armatures transversales

$$\tau_{umin} = \frac{0{,}07\ f_{c28}}{\gamma_b}$$

$$\tau_{umin} = \frac{0{,}07\ \times 20}{1{,}5}$$

$$\tau_{umin} = 0{,}93\ MPa$$

✓ Observations et Conclusion

$\tau_u < \tau_{umin}$

Il n'y a pas nécessité d'armatures transversales pour la poutrelle étudiée. Toutefois nous disposerons des armatures de montage dont le rôle sera nécessairement de tenir de maintenir les armatures principales.

✓ Espacement des cadres

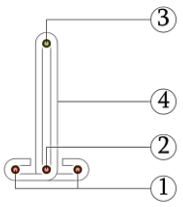
$S_{t0} \leq \min(0{,}9\ d\ ;\ 40\ cm) \Rightarrow\ S_{t0} \leq 15{,}75\ cm$

On adoptera $S_{t0} = 15\ cm$

➢ Nota

L'annexe détaille le calcul d'une poutrelle de type N1. Suivant la configuration du panneau étudié, l'étude a définie trois types de poutrelles N1, N2, N3, N4 et N5 dont les positions sont indiquées sur le plan de coffrage. Les études de ces poutrelles ont permis d'adopter les ferraillages suivants :

| Type de nervure | Acier | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| N1 | 2HA8 | 1HA8 | 1HA8 | HA8 |
| N2 | 2HA10 | 1HA8 | 1HA10 | HA8 |
| N3 | 2HA10 | 1HA12 | 1HA10 | HA8 |



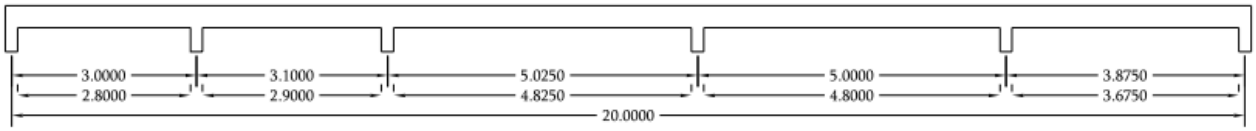
# Annexe II-6. Calcul de la poutre continue

## ➢ Hypothèses

La poutre n'étant pas une poutre de rive, elle est protégée des intempéries et de diverses actions agressives du milieu extérieur. La fissuration est donc considérée peu préjudiciable. La justification des armatures se fera donc à l'ELU, sans nécessité de vérification des sections obtenues à l'ELS.

## ➢ Tableau de données

| | | | |
|---|---|---|---|
| Section de la poutre | b | 0,20 | m |
| | h | 0,40 | m |
| poids volumique | | 25 | kN//m$^3$ |
| Poids propre | | 1,75 | kN/ml |
| Densité | g | 3,98 | kN/ml |
| | q | 2,50 | kN/ml |
| Largeur d'emprise | | 3,23 | m |
| G | | 19,34 | kN/ml |
| Q | | 8,08 | kN/ml |




## ➢ Tableaux de calcul de la méthode de Caquot appliquée à la poutre

### ✓ A l'ELU

| | | appui 1 | travée 1 | appui 2 | | travée 2 | appui 3 | | travée 3 | appui 4 | | travée 4 | appui 5 | | travée 5 | appui 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portée L | | | 2,80 | | | 2,90 | | | 4,83 | | | 4,80 | | | 3,68 | |
| portée fictive L' | | | 2,80 | | | 2,32 | | | 3,86 | | | 3,84 | | | 3,68 | |
| L'$^3$ | | | 21,95 | | | 12,49 | | | 57,51 | | | 56,62 | | | 49,63 | |
| 8,5.($L_g'^3$+$L_d'^3$) | | | | 43,52 | | | 52,53 | | | 65,45 | | | 63,88 | | | |
| Cas 1 | Pu | | 12,13<br>26,10<br>38,23 | | | 12,13<br>26,10<br>38,23 | | | 12,13<br>26,10<br>38,23 | | | 12,13<br>26,10<br>38,23 | | | 12,13<br>26,10<br>38,23 | |
| | Mappui | 0,00 | | 30,25 | | | 50,94 | | | 66,67 | | | 63,59 | | | 0,00 |
| | Mo | | 37,47 | | | 40,19 | | | 111,25 | | | 110,10 | | | 64,54 | |
| | Mmax | | 22,34 | | | -0,41 | | | 52,45 | | | 44,97 | | | 32,74 | |
| | Vo | 53,52 | | -53,52 | 55,43 | | -55,43 | 92,23 | | -92,23 | 91,75 | | -91,75 | 70,25 | | -70,25 |
| | Vmax | 64,33 | | -42,72 | 73,00 | | -37,87 | 106,05 | | -78,41 | 105,00 | | -78,50 | 52,94 | | -87,55 |
| Cas 2 | Pu | | 26,10<br>26,10 | | | 12,13<br>26,10<br>38,23 | | | 26,10<br>26,10 | | | 12,13<br>26,10<br>38,23 | | | 26,10<br>26,10 | |
| | Mappui | 0,00 | | 24,14 | | | 37,67 | | | 56,01 | | | 54,17 | | | 0,00 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mo | | 25,58 | | 40,19 | | 75,96 | | 110,10 | | 44,07 | | |
| | Mmax | | 13,51 | | 9,29 | | 29,12 | | 55,01 | | 16,98 | | |
| Cas 3 | Pu | | 12,13<br>26,10 | | 26,10 | | 12,13<br>26,10 | | 26,10 | | 12,13<br>26,10 | | |
| | | | 38,23 | | 26,10 | | 38,23 | | 26,10 | | 38,23 | | |
| | Mappui | 0,00 | | 26,77 | | 48,06 | | 56,18 | | 52,84 | | 0,00 | |
| | Mo | | 37,47 | | 27,44 | | 111,25 | | 75,18 | | 64,54 | | |
| | Mmax | | 24,08 | | -9,98 | | 59,13 | | 20,67 | | 38,12 | | |

✓ A l'ELS

| | | appui 1 | travée 1 | appui 2 | travée 2 | appui 3 | travée 3 | appui 4 | travée 4 | appui 5 | travée 5 | appui 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portée L | | | 2,80 | | 2,90 | | 4,83 | | 4,80 | | 3,68 | |
| portée fictive L' | | | 2,80 | | 2,32 | | 3,86 | | 3,84 | | 3,68 | |
| $L'^3$ | | | 21,95 | | 12,49 | | 57,51 | | 56,62 | | 49,63 | |
| $8,5.(L_g'^3+L_d'^3)$ | | | | 43,52 | | 52,53 | | 65,45 | | 63,88 | | |
| Cas 1 | Pu | | 8,08<br>19,34<br>27,42 | | 8,08<br>19,34<br>27,42 | | 8,08<br>19,34<br>27,42 | | 8,08<br>19,34<br>27,42 | | 8,08<br>19,34<br>27,42 | |
| | Mappui | 0,00 | | 21,70 | | 36,54 | | 47,82 | | 45,61 | | 0,00 |
| | Mo | | 26,87 | | 28,83 | | 79,79 | | 78,97 | | 46,29 | |
| | Mmax | | 16,02 | | -0,29 | | 37,62 | | 32,26 | | 23,48 | |
| | Vo | 38,39 | | -38,39 / 39,76 | | -39,76 / 66,15 | | -66,15 / 65,81 | | -65,81 / 50,38 | | -50,38 |
| | Vmax | 46,14 | | -30,64 / 52,36 | | -27,16 / 76,06 | | -56,24 / 75,31 | | -56,31 / 37,97 | | -62,80 |
| Cas 2 | Pu | | 19,34<br>19,34 | | 8,08<br>19,34<br>27,42 | | 19,34<br>19,34 | | 8,08<br>19,34<br>27,42 | | 19,34<br>19,34 | |
| | Mappui | 0,00 | | 17,62 | | 27,69 | | 40,71 | | 39,33 | | 0,00 |
| | Mo | | 18,95 | | 28,83 | | 56,27 | | 78,97 | | 32,64 | |
| | Mmax | | 10,14 | | 6,17 | | 22,07 | | 38,95 | | 12,98 | |
| Cas 3 | Pu | | 8,08<br>19,34<br>27,42 | | 19,34<br>19,34 | | 8,08<br>19,34<br>27,42 | | 19,34<br>19,34 | | 8,08<br>19,34<br>27,42 | |
| | Mappui | 0,00 | | 19,38 | | 34,62 | | 40,82 | | 38,45 | | 0,00 |
| | Mo | | 26,87 | | 20,33 | | 79,79 | | 55,69 | | 46,29 | |
| | Mmax | | 17,18 | | -6,67 | | 42,07 | | 16,05 | | 27,07 | |

➢ Tableaux récapitulatif des résultats du calcul des sollicitations

✓ A l'ELU

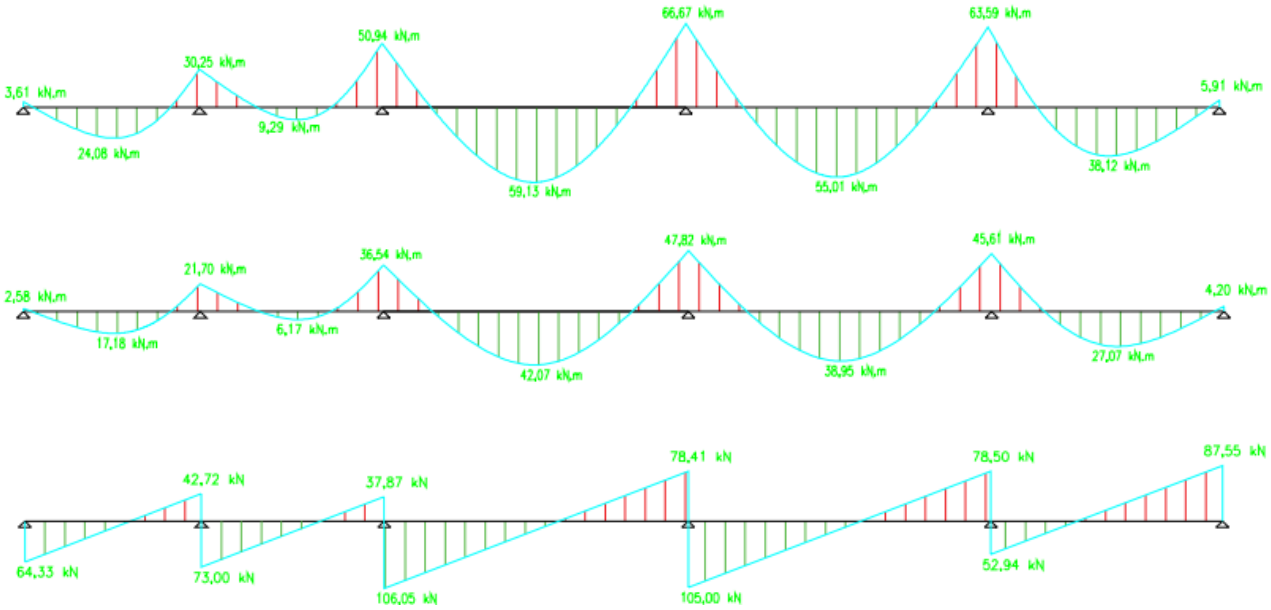
| | | appui 1 | travée 1 | appui 2 | travée 2 | appui 3 | travée 3 | appui 4 | travée 4 | appui 5 | travée 5 | appui 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Valeurs enveloppes | M | 3,61 | 24,08 | 30,25 | 9,29 | 50,94 | 59,13 | 66,67 | 55,01 | 63,59 | 38,12 | 5,91 |
| | V | 64,33 | | -42,72 / 73,00 | | -37,87 / 106,05 | | -78,41 / 105,00 | | -78,50 / 52,94 | | -87,55 |
| | R | 64,33 | | 115,72 | | 143,91 | | 183,41 | | 131,45 | | 87,55 |

✓ A l'ELS

| | | appui 1 | travée 1 | appui 2 | travée 2 | appui 3 | travée 3 | appui 4 | travée 4 | appui 5 | travée 5 | appui 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M | 2,58 | 17,18 | 21,70 | 6,17 | 36,54 | 42,07 | 47,82 | 38,95 | 45,61 | 27,07 | 4,20 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Valeurs enveloppes | V | 46,14 | | - 30,64 | 52,36 | | - 27,16 | 76,06 | | - 56,24 | 75,31 | | - 56,31 | 37,97 | | -62,80 | | | |
| | R | 46,14 | | 83,00 | | | 103,22 | | | 131,55 | | | 94,28 | | | 62,80 | | | |

➢ Epures du moment et de l'effort tranchant




➢ Détermination des sections d'armatures Longitudinales

La poutre n'étant pas située en rive du bâtiment, la fissuration est considérée peu préjudiciable. Le calcul des armatures se fera donc à l'ELU et La vérification des sections à l'ELS n'est pas nécessaire.

✓ En travée 1

❋ Données

$b = 0{,}2\ m$

$h = 0{,}4\ m$

$d = 0{,}9 \times 0{,}4 = 0{,}36\ m$

$\sigma_{bc} = f_{bu} = 11{,}33\ MPa$

$\sigma_{su} = 347{,}83\ MPa$

$M_u = 0{,}024\ MN.m$

$M_u = 0{,}017\ MN.m$

❋ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}024}{0{,}2 \times 0{,}36^2 \times 11{,}33}$$

$$\mu_u = 0{,}082$$

$$\mu_u < \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ A$$

❋ Pente de la droite de pivot

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$$

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}082})$$

$$\alpha_u = 0{,}107$$

❋ Calcul du bras de levier

$$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$$

$$z_u = 0{,}36 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}107)$$

$$z_u = 0{,}345\ m$$

❋ Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}024.10^4}{0{,}345 \times 347{,}83}$$

$$A_{st} = 2{,}00\ cm^2$$

❋ Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times 0{,}2 \times 0{,}315 \times \frac{1{,}8}{400}$$

$$A_{stmin} = 0{,}65\ cm^2$$

✓ A l'appui 2

❋ Données

$b = 0{,}2\ m$

$h = 0{,}40\ m$

$d = 0{,}9 \times 0.40 = 0{,}36\ m$

$\sigma_{bc} = f_{bu} = 11{,}33\ MPa$

$\sigma_{su} = 347{,}83\ MPa$

$M_u = 0{,}0302\ MN.m$

$M_{ser} = 0{,}0217\ MN.m$

❋ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}0303}{0{,}2 \times 0{,}36^2 \times 11{,}33}$$

$$\mu_u = 0{,}103$$

$\mu_u < \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ A$

❋ Pente de la droite de pivot

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$$

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}103})$$

$$\alpha_u = 0{,}136$$

❋ Calcul du bras de levier

$$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$$

$$z_u = 0{,}36 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}136)$$

$$z_u = 0{,}34\ m$$

❋ Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}0303.10^4}{0{,}34 \times 347{,}83}$$

$$A_{st} = 2{,}56\ cm^2$$

❋ Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times 0{,}2 \times 0{,}315 \times \frac{1{,}8}{400}$$

$$A_{stmin} = 0{,}65\ cm^2$$

✓ En travée 2

❋ Données

$b = 0{,}2\ m$

$h = 0{,}40\ m$

$d = 0{,}9 \times 0.40 = 0{,}36\ m$

$\sigma_{bc} = f_{bu} = 11{,}33\ MPa$

$\sigma_{su} = 347{,}83\ MPa$

$M_u = 0{,}009\ MN.m$

$M_{ser} = 0{,}006\ MN.m$

❋ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}009}{0{,}2 \times 0{,}36^2 \times 11{,}33}$$

$$\mu_u = 0{,}02$$

$\mu_u < \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ A$

❋ Pente de la droite de pivot

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$$

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}02})$$

$$\alpha_u = 0{,}025$$

❋ Calcul du bras de levier

$$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$$

$$z_u = 0{,}36 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}025)$$

$$z_u = 0{,}356\ m$$

❋ Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}009.10^4}{0{,}356 \times 347{,}83}$$

$$A_{st} = 0{,}72\ cm^2$$

❋ Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times 0{,}2 \times 0{,}315 \times \frac{1{,}8}{400}$$

$$A_{stmin} = 0{,}65\ cm^2$$

✓ A l'appui 3

❋ Données

$$b = 0{,}2\ m$$

$$h = 0{,}40\ m$$

$$d = 0{,}9 \times 0.40 = 0{,}36\ m$$

$$\sigma_{bc} = f_{bu} = 11{,}33\ MPa$$

$$\sigma_{su} = 347{,}83\ MPa$$

$$M_u = 0{,}051\ MN.m$$

$$M_{ser} = 0{,}037\ MN.m$$

❋ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}051}{0{,}2 \times 0{,}36^2 \times 11{,}33}$$

$$\mu_u = 0{,}173$$

$$\mu_u < \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ A$$

❋ Pente de la droite de pivot

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$$

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}173})$$

$$\alpha_u = 0{,}239$$

❋ Calcul du bras de levier

$$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$$

$$z_u = 0{,}36 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}239)$$

$$z_u = 0{,}326\ m$$

❋ Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}051.10^4}{0{,}326 \times 347{,}83}$$

$$A_{st} = 4{,}49\ cm^2$$

❋ Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times 0{,}2 \times 0{,}315 \times \frac{1{,}8}{400}$$

$$A_{stmin} = 0{,}65\ cm^2$$

✓ En travée 3

❋ Données

$$b = 0{,}2\ m$$

$$h = 0{,}40\ m$$

$$d = 0{,}9 \times 0.40 = 0{,}36\ m$$

$$\sigma_{bc} = f_{bu} = 11{,}33\ MPa$$

$$\sigma_{su} = 347{,}83\ MPa$$

$$M_u = 0{,}059\ MN.m$$

$$M_{ser} = 0{,}042\ MN.m$$

❋ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}059}{0{,}2 \times 0{,}36^2 \times 11{,}33}$$

$$\mu_u = 0{,}201$$

$$\mu_u > \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ B$$

❋ Evaluation de la nécessité d'armatures comprimées

$$\mu_l = \frac{\left(\frac{f_{c28}}{\theta}\right)}{150 - 75.\theta.\gamma + 1{,}75\ (2{,}5 - \theta.\gamma)\left(\frac{f_{c28}}{\theta}\right)}$$

$$\gamma = \frac{M_u}{M_{ser}} = \frac{0{,}059}{0{,}042} = 1{,}40$$

$$\mu_l = \frac{\left(\frac{20}{1}\right)}{150 - 75 \times 1 \times 1{,}40 + 1{,}75\ (2{,}5 - 1 \times 1{,}40)\left(\frac{20}{1}\right)}$$

$$\mu_l = 0{,}240$$

$$\mu_u < \mu_l \Rightarrow Pas\ d'armatures\ comprimées$$

❋ Pente de la droite de pivot

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$$

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}201})$$

$$\alpha_u = 0{,}283$$

❋ Calcul du bras de levier

$$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$$

$$z_u = 0{,}36 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}283)$$

$$z_u = 0{,}32\ m$$

❋ Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}059.10^4}{0{,}32 \times 347{,}83}$$

$$A_{st} = 5{,}30\ cm^2$$

❋ Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times 0{,}2 \times 0{,}315 \times \frac{1{,}8}{400}$$

$$A_{stmin} = 0{,}65\ cm^2$$

✓ A l'appui 4

❋ Données

$$b = 0{,}2\ m$$

$$h = 0{,}40\ m$$

$$d = 0{,}9 \times 0.40 = 0{,}36\ m$$

$$\sigma_{bc} = f_{bu} = 11{,}33\ MPa$$

$$\sigma_{su} = 347{,}83\ MPa$$

$$M_u = 0{,}0668\ MN.m$$

$$M_u = 0{,}0478\ MN.m$$

❋ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}0668}{0{,}2 \times 0{,}36^2 \times 11{,}33}$$

$$\mu_u = 0{,}227$$

$$\mu_u > \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ B$$

❋ Evaluation de la nécessité d'armatures comprimées

$$\mu_l = \frac{\left(\frac{f_{c28}}{\theta}\right)}{150 - 75.\theta.\gamma + 1{,}75\ (2{,}5 - \theta.\gamma)\left(\frac{f_{c28}}{\theta}\right)}$$

$$\gamma = \frac{M_u}{M_{ser}} = \frac{0{,}0668}{0{,}0478} = 1{,}40$$

$$\mu_l = \frac{\left(\frac{20}{1}\right)}{150 - 75 \times 1 \times 1{,}40 + 1{,}75\ (2{,}5 - 1 \times 1{,}40)\left(\frac{20}{1}\right)}$$

$$\mu_l = 0{,}227$$

$$\mu_u < \mu_l \Rightarrow Pas\ d'armatures\ comprimées$$

❋ Pente de la droite de pivot

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$$

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}227})$$

$\alpha_u = 0{,}326$

❋ Calcul du bras de levier

$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$

$z_u = 0{,}36 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}326)$

$z_u = 0{,}31\ m$

❋ Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}0668.10^4}{0{,}31 \times 347{,}83}$$

$A_{st} = 6{,}20\ cm^2$

❋ Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times 0{,}2 \times 0{,}315 \times \frac{1{,}8}{400}$$

$A_{stmin} = 0{,}65\ cm^2$

✓ En travée 4

❋ Données

$b = 0{,}2\ m$

$h = 0{,}40\ m$

$d = 0{,}9 \times 0{,}40 = 0{,}36\ m$

$\sigma_{bc} = f_{bu} = 11{,}33\ MPa$

$\sigma_{su} = 347{,}83\ MPa$

$M_u = 0{,}055\ MN.m$

$M_u = 0{,}039\ MN.m$

❋ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}055}{0{,}2 \times 0{,}36^2 \times 11{,}33}$$

$\mu_u = 0{,}187$

$\mu_u < \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ A$

❋ Pente de la droite de pivot

$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$

$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}187})$

$\alpha_u = 0{,}261$

❋ Calcul du bras de levier

$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$

$z_u = 0{,}315 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}261)$

$z_u = 0{,}282\ m$

❋ Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}055.10^4}{0{,}282 \times 347{,}83}$$

$A_{st} = 5{,}61\ cm^2$

❋ Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times 0{,}2 \times 0{,}315 \times \frac{1{,}8}{400}$$

$A_{stmin} = 0{,}65\ cm^2$

✓ A l'appui 4

❋ Données

$b = 0{,}2\ m$

$h = 0{,}40\ m$

$d = 0{,}9 \times 0.40 = 0{,}36\ m$

$\sigma_{bc} = f_{bu} = 11{,}33\ MPa$

$\sigma_{su} = 347{,}83\ MPa$

$M_u = 0{,}0636\ MN.m$

$M_u = 0{,}0456\ MN.m$

❋ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}0636}{0{,}2 \times 0{,}36^2 \times 11{,}33}$$

$$\mu_u = 0{,}217$$

$$\mu_u > \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ B$$

❋ Evaluation de la nécessité d'armatures comprimées

$$\mu_l = \frac{\left(\frac{f_{c28}}{\theta}\right)}{150 - 75.\theta.\gamma + 1{,}75\,(2{,}5 - \theta.\gamma)\left(\frac{f_{c28}}{\theta}\right)}$$

$$\gamma = \frac{M_u}{M_{ser}} = \frac{0{,}0636}{0{,}0456} = 1{,}39$$

$$\mu_l = \frac{\left(\frac{20}{1}\right)}{150 - 75 \times 1 \times 1{,}39 + 1{,}75\,(2{,}5 - 1 \times 1{,}39)\left(\frac{20}{1}\right)}$$

$$\mu_l = 0{,}236$$

$$\mu_u < \mu_l \Rightarrow Pas\ d'armatures\ comprimées$$

❋ Pente de la droite de pivot

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$$

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}215})$$

$$\alpha_u = 0{,}306$$

❋ Calcul du bras de levier

$$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$$

$$z_u = 0{,}36 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}326)$$

$$z_u = 0{,}316\ m$$

❋ Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}0636.10^4}{0{,}316 \times 347{,}83}$$

$$A_{st} = 5{,}78\ cm^2$$

❋ Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times 0{,}2 \times 0{,}315 \times \frac{1{,}8}{400}$$

$$A_{stmin} = 0{,}65\ cm^2$$

✓ En travée 5

❋ Données

$$b = 0{,}2\ m$$

$$h = 0{,}35\ m$$

$$d = 0{,}9 \times 0.35 = 0{,}315\ m$$

$$\sigma_{bc} = f_{bu} = 11{,}33\ MPa$$

$$\sigma_{su} = 347{,}83\ MPa$$

$$M_u = 0{,}0381\ MN.m$$

$$M_{ser} = 0{,}0271\ MN.m$$

❋ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}0381}{0{,}2 \times 0{,}36^2 \times 11{,}33}$$

$$\mu_u = 0{,}130$$

$$\mu_u < \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ A$$

❋ Pente de la droite de pivot

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$$

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}130})$$

$$\alpha_u = 0{,}175$$

❋ Calcul du bras de levier

$$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$$

$$z_u = 0{,}36 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}175)$$

$$z_u = 0{,}335\ m$$

❋ Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}0381.10^4}{0{,}335 \times 347{,}83}$$

$$A_{st} = 3{,}27\ cm^2$$

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times 0{,}2 \times 0{,}315 \times \frac{1{,}8}{400}$$

$$A_{stmin} = 0{,}65\ cm^2$$

- Condition de non fragilité

- Tableau de synthèse des sections d'armatures tendues

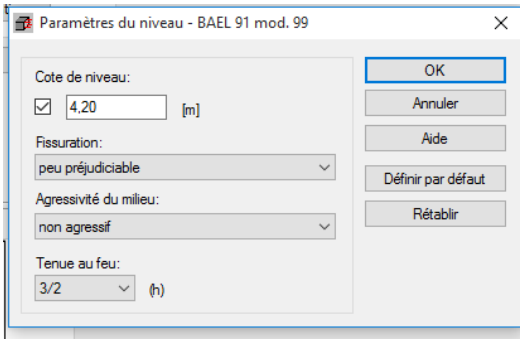
| | | | appui 1 | travée 1 | appui 2 | travée 2 | appui 3 | travée 3 | appui 4 | travée 4 | appui 5 | travée 5 | appui 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Armatures supérieures | Théorique | | 0,00 | 0,00 | 2,56 | 0,00 | 4,49 | 0,00 | 6,20 | 0,00 | 5,78 | 0,00 | 0,00 |
| | Choisie | Lit 1 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 |
| | | Lit 2 | - | - | 1 HA 10 | - | 3 HA 10 | - | 3 HA 10 | - | 3 HA 10 | - | - |
| | | Lit 3 | - | - | - | - | - | - | 3 HA 8 | - | 3 HA 8 | - | - |
| | Réelle | | 2,36 | 2,36 | 3,14 | 2,36 | 4,71 | 2,36 | 6,22 | 2,36 | 6,28 | 2,36 | 2,36 |
| Armatures inférieures | Théorique | | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,72 | 0,00 | 5,30 | 0,00 | 5,61 | 0,00 | 3,27 | 0,00 |
| | Choisie | Lit 3 | - | - | - | - | - | 2 HA 8 | - | 2 HA 8 | - | - | - |
| | | Lit 2 | - | - | - | - | - | 3 HA 10 | - | 3 HA 10 | - | 2 HA 8 | - |
| | | Lit 1 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 | 3 HA 10 |
| | Réelle | | 2,36 | 2,36 | 2,36 | 2,36 | 2,36 | 5,72 | 2,36 | 5,72 | 2,36 | 3,37 | 2,36 |

- Calcul dans le logiciel Robot RSA

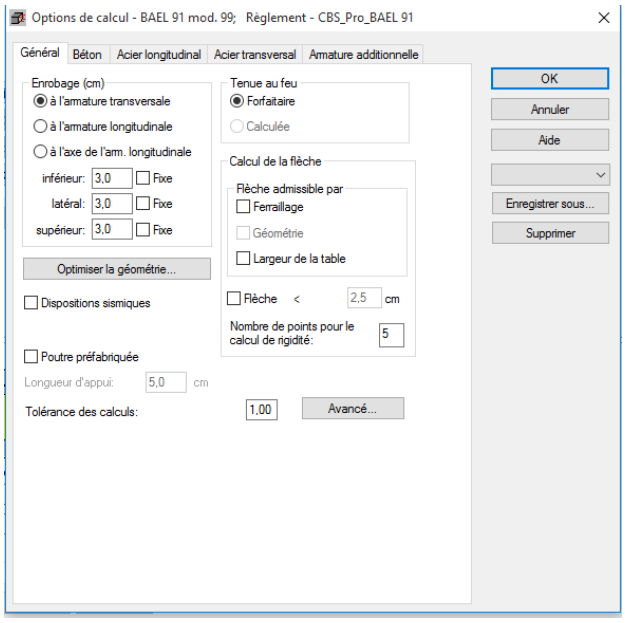
- Géométrie du poteau

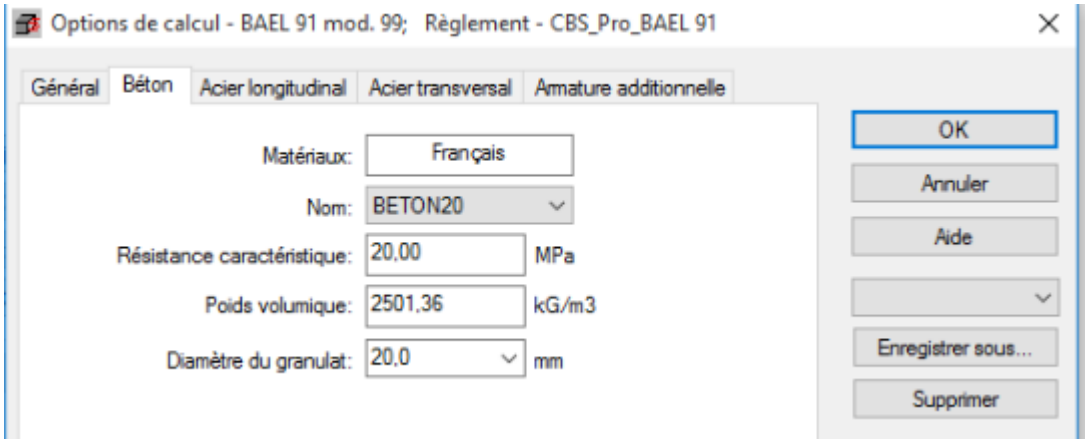
La géométrie de la poutre a été définie depuis le logiciel Robot CBS

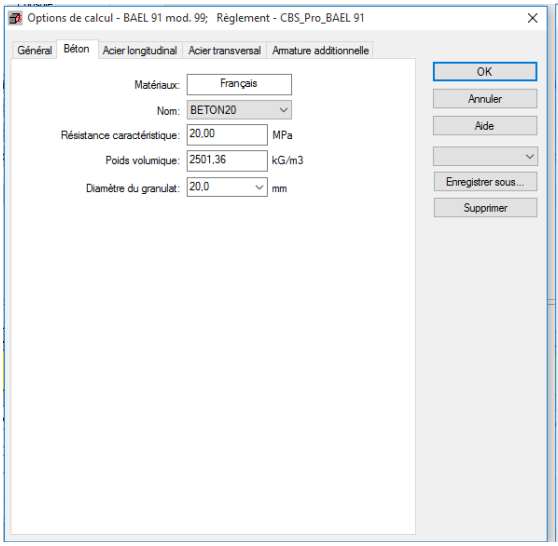
- Paramètres de l'étage

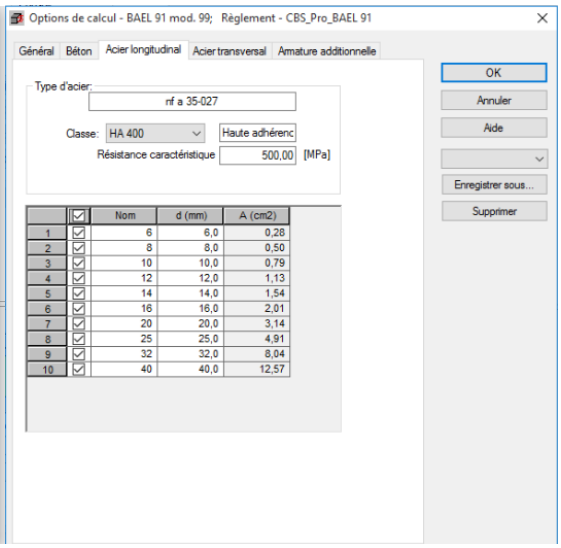



- Options de calcul

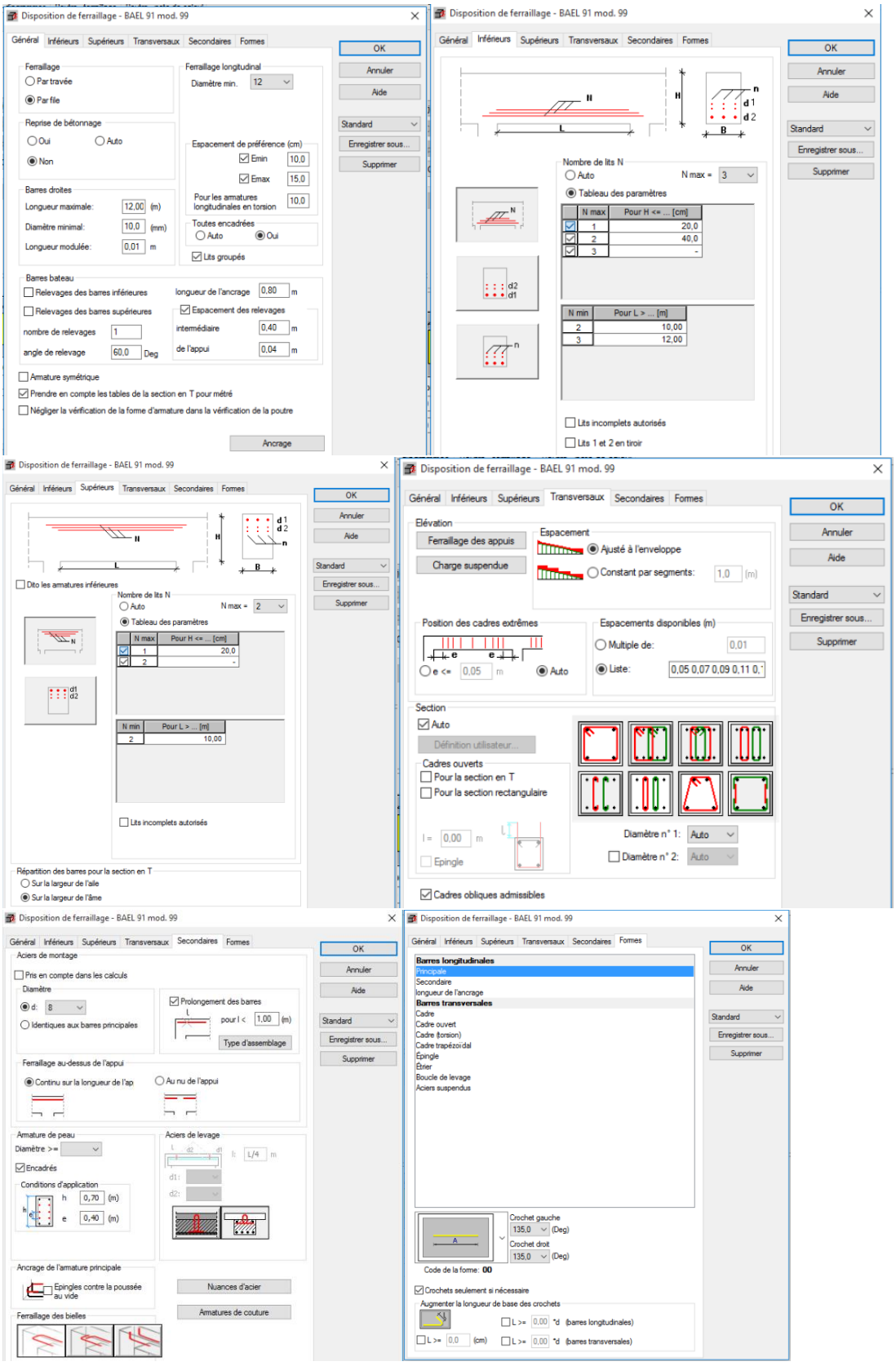

Options de calcul - BAEL 91 mod. 99; Règlement - CBS_Pro_BAEL 91
Général
Béton
Acier longitudinal
Acier transversal
Armature additionnelle
Enrobage (cm)
à l'armature transversale
à l'armature longitudinale
à l'axe de l'arm. longitudinale
inférieur: 3,0 Fixe
latéral: 3,0 Fixe
supérieur: 3,0 Fixe
Optimiser la géométrie...
Dispositions sismiques
Poutre préfabriquée
Longueur d'appui: 5,0 cm
Tolérance des calculs: 1,00
Avancé...
Tenue au feu
Forfaitaire
Calculée
Calcul de la flèche
Flèche admissible par
Ferraillage
Géométrie
Largeur de la table
Flèche < 2,5 cm
Nombre de points pour le calcul de rigidité: 5
OK
Annuler
Aide
Enregistrer sous...
Supprimer


Options de calcul - BAEL 91 mod. 99; Règlement - CBS_Pro_BAEL 91
Général
Béton
Acier longitudinal
Acier transversal
Armature additionnelle
Matériaux: Français
Nom: BETON20
Résistance caractéristique: 20,00 MPa
Poids volumique: 2501,36 kG/m3
Diamètre du granulat: 20,0 mm
OK
Annuler
Aide
Enregistrer sous...
Supprimer


Options de calcul - BAEL 91 mod. 99; Règlement - CBS_Pro_BAEL 91
Général
Béton
Acier longitudinal
Acier transversal
Armature additionnelle
Matériaux: Français
Nom: BETON20
Résistance caractéristique: 20,00 MPa
Poids volumique: 2501,36 kG/m3
Diamètre du granulat: 20,0 mm
OK
Annuler
Aide
Enregistrer sous...
Supprimer


Options de calcul - BAEL 91 mod. 99; Règlement - CBS_Pro_BAEL 91
Général
Béton
Acier longitudinal
Acier transversal
Armature additionnelle
Type d'acier: rnf a 35-027
Classe: HA 400 Haute adhérenc
Résistance caractéristique 500,00 [MPa]
Nom d (mm) A (cm2)
1 6 6,0 0,28
2 8 8,0 0,50
3 10 10,0 0,79
4 12 12,0 1,13
5 14 14,0 1,54
6 16 16,0 2,01
7 20 20,0 3,14
8 25 25,0 4,91
9 32 32,0 8,04
10 40 40,0 12,57
OK
Annuler
Aide
Enregistrer sous...
Supprimer

## ❋ Disposition du ferraillage

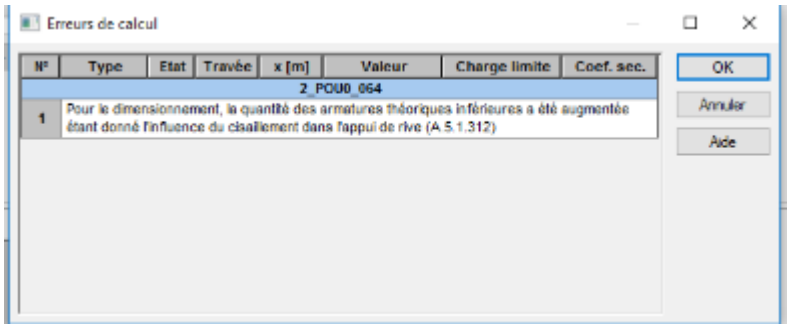



## ❋ Définition des charges

Les charges sont disponibles par défaut, suivant les résultats de calcul exportés par Robot CBS. Il n'est pas nécessaire de les modifier.

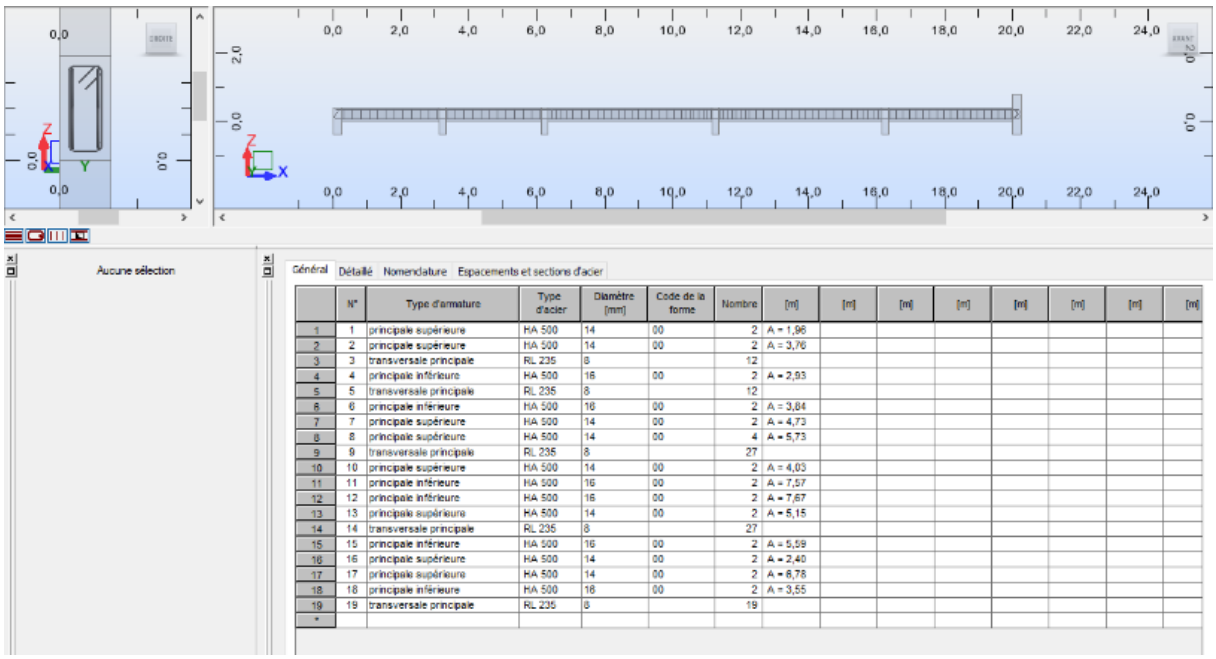
### ❋ Calcul de la poutre

Au calcul de la poutre, il faut prêter une attention particulière aux avertissements du logiciel.




### ❋ Résultats

Si le calcul ne présente pas d'avertissements critiques (généralement rédigés en rouge), on peut commencer l'appréciation des résultats, qui dans le cas des poutres se résume à l'observation du ferraillage, l'obtention d'une note de calcul et les dessins détaillés de ferraillage.




### ❋ Note de calcul

## 1 Niveau:

- Nom : RDC
- Cote de niveau : 4,20 (m)
- Tenue au feu : 3/2 h
- Fissuration : peu préjudiciable
- Milieu : non agressif

## 2 Poutre: 2_POU0_064 Nombre: 1

## 2.1 Caractéristiques des matériaux:

- Béton : fc28 = 20,00 (MPa) Densité = 2501,36 (kG/m3)
- Aciers longitudinaux : type HA 500 fe = 500,00 (MPa)
- Armature transversale : type RL 235 fe = 235,00 (MPa)

## 2.2 Géométrie:

2.2.1

| Désignation | Position | APG (m) | L (m) | APD (m) |
|---|---|---|---|---|
| **P1** | **Travée** | **0,25** | **2,87** | **0,20** |

Section de 0,00 à 2,87 (m)
20,0 x 40,0 (cm)
Pas de plancher gauche
Pas de plancher droit
20,0 x 40,0, Excentrement (+ haut, - bas): 0,0 x +0,0 (cm)
Pas de plancher gauche
Pas de plancher droit

2.2.2

| Désignation | Position | APG (m) | L (m) | APD (m) |
|---|---|---|---|---|
| **P2** | **Travée** | **0,20** | **2,80** | **0,20** |

Section de 0,00 à 2,80 (m)
20,0 x 40,0 (cm)
Pas de plancher gauche
Pas de plancher droit
20,0 x 40,0, Excentrement (+ haut, - bas): 0,0 x +0,0 (cm)
Pas de plancher gauche
Pas de plancher droit

2.2.3

| Désignation | Position | APG (m) | L (m) | APD (m) |
|---|---|---|---|---|
| **P3** | **Travée** | **0,20** | **4,83** | **0,20** |

Section de 0,00 à 4,83 (m)
20,0 x 40,0 (cm)
Pas de plancher gauche
Pas de plancher droit
20,0 x 40,0, Excentrement (+ haut, - bas): 0,0 x +0,0 (cm)
Pas de plancher gauche
Pas de plancher droit

2.2.4

| Désignation | Position | APG (m) | L (m) | APD (m) |
|---|---|---|---|---|
| **P4** | **Travée** | **0,20** | **4,80** | **0,20** |

Section de 0,00 à 4,80 (m)
20,0 x 40,0 (cm)
Pas de plancher gauche
Pas de plancher droit
20,0 x 40,0, Excentrement (+ haut, - bas): 0,0 x +0,0 (cm)
Pas de plancher gauche
Pas de plancher droit

2.2.5

| Désignation | Position | APG (m) | L (m) | APD (m) |
|---|---|---|---|---|

**P5 Travée 0,20 3,65 0,25**

Section de 0,00 à 3,65 (m)
20,0 x 40,0 (cm)
Pas de plancher gauche
Pas de plancher droit
20,0 x 40,0, Excentrement (+ haut, - bas): 0,0 x +0,0 (cm)
Pas de plancher gauche
Pas de plancher droit

## 2.3 Hypothèses de calcul:

- Règlement de la combinaison : CBS_Pro_BAEL 91
- Calculs suivant : BAEL 91 mod. 99
- Dispositions sismiques : non
- Poutres préfabriquées : non
- Enrobage : Aciers inférieurs c = 3,3 (cm)
  : latéral c1 = 3,3 (cm)
  : supérieur c2 = 3,3 (cm)
- Tenue au feu : forfaitaire
- Coefficient de redistribution des moments sur appui : 0,80
- Ancrage du ferraillage inférieur:
  - appuis de rive (gauche) : Auto
  - appuis de rive (droite) : Auto
  - appuis intermédiaires (gauche) : Auto
- appuis intermédiaires (droite) : Auto

## 2.4 Chargements:

### 2.4.1 Répartis:

| Type | Nature | Pos. | Désignation | $\gamma_f$ | $X_0$ (m) | $P_{z0}$ (kN/m) | $X_1$ (m) | $P_{z1}$ (kN/m) | $X_2$ (m) | $P_{z2}$ (kN/m) | $X_3$ (m) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| poids propre | permanente | (poids propre) | - | 1-5 | | 1,35 | - | - | - | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 1 | | 1,35 | 0,00 | 13,84 | 0,31 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 1 | | 1,35 | 0,31 | 13,84 | 0,62 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 1 | | 1,35 | 0,62 | 13,84 | 0,93 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 1 | | 1,35 | 0,93 | 13,84 | 1,24 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 1 | | 1,35 | 1,24 | 13,84 | 1,55 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 1 | | 1,35 | 1,55 | 13,84 | 1,86 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 1 | | 1,35 | 1,86 | 13,84 | 2,17 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 1 | | 1,35 | 2,17 | 13,84 | 2,48 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 1 | | 1,35 | 2,48 | 13,84 | 2,79 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 1 | | 1,35 | 2,79 | 13,84 | 2,87 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 2 | | 1,35 | 0,00 | 13,84 | 0,30 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 2 | | 1,35 | 0,30 | 13,84 | 0,60 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 2 | | 1,35 | 0,60 | 13,84 | 0,90 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 2 | | 1,35 | 0,90 | 13,84 | 1,20 | - | - | - |
| répartie | permanente | (avant cloisons) | en haut | 2 | | 1,35 | 1,20 | 13,84 | 1,50 | - | - | - |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 2 | 1,35 | 1,50 | 13,84 | 1,80 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 2 | 1,35 | 1,80 | 13,84 | 2,10 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 2 | 1,35 | 2,10 | 13,84 | 2,40 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 2 | 1,35 | 2,40 | 13,84 | 2,70 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 2 | 1,35 | 2,70 | 13,84 | 2,80 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 3 | 1,35 | 0,00 | 13,84 | 0,50 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 3 | 1,35 | 0,50 | 13,84 | 1,01 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 3 | 1,35 | 1,01 | 13,84 | 1,51 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 3 | 1,35 | 1,51 | 13,84 | 2,01 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 3 | 1,35 | 2,01 | 13,84 | 2,51 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 3 | 1,35 | 2,51 | 13,84 | 3,02 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 3 | 1,35 | 3,02 | 13,84 | 3,52 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 3 | 1,35 | 3,52 | 13,84 | 4,02 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 3 | 1,35 | 4,02 | 13,84 | 4,52 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 3 | 1,35 | 4,52 | 13,84 | 4,83 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 4 | 1,35 | 0,00 | 13,84 | 0,50 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 4 | 1,35 | 0,50 | 13,84 | 1,00 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 4 | 1,35 | 1,00 | 13,84 | 1,50 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 4 | 1,35 | 1,50 | 13,84 | 2,00 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 4 | 1,35 | 2,00 | 13,84 | 2,50 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 4 | 1,35 | 2,50 | 13,84 | 3,00 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 4 | 1,35 | 3,00 | 13,84 | 3,50 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 4 | 1,35 | 3,50 | 13,84 | 4,00 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 4 | 1,35 | 4,00 | 13,84 | 4,50 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 4 | 1,35 | 4,50 | 13,84 | 4,80 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 5 | 1,35 | 0,00 | 13,84 | 0,27 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 5 | 1,35 | 0,27 | 13,84 | 0,54 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 5 | 1,35 | 0,54 | 13,84 | 0,80 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 5 | 1,35 | 0,80 | 13,84 | 1,07 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 5 | 1,35 | 1,07 | 13,84 | 1,34 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 5 | 1,35 | 1,34 | 13,84 | 1,61 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 5 | 1,35 | 1,61 | 13,84 | 1,87 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 5 | 1,35 | 1,87 | 13,84 | 2,14 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 5 | 1,35 | 2,14 | 13,84 | 2,41 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 5 | 1,35 | 2,41 | 13,84 | 2,68 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 5 | 1,35 | 2,68 | 13,84 | 2,80 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons)en haut 5 | 1,35 | 2,80 | 13,84 | 2,92 | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| répartie | permanente(avant cloisons) | en haut | 5 | | 1,35 | 2,92 | 13,84 | 3,04 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons) | en haut | 5 | | 1,35 | 3,04 | 13,84 | 3,16 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons) | en haut | 5 | | 1,35 | 3,16 | 13,84 | 3,28 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons) | en haut | 5 | | 1,35 | 3,28 | 13,84 | 3,40 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons) | en haut | 5 | | 1,35 | 3,40 | 13,84 | 3,52 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons) | en haut | 5 | | 1,35 | 3,52 | 13,84 | 3,64 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons) | en haut | 5 | | 1,35 | 3,64 | 13,84 | 3,65 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons) | en haut | 5 | | 1,35 | 3,76 | 13,84 | 3,65 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons) | en haut | 1 | | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons) | en haut | 2 | | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons) | en haut | 3 | | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons) | en haut | 4 | | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | - | - |
| répartie | permanente(avant cloisons) | en haut | 5 | | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 1 | 1,35 | 0,00 | 4,30 | 0,31 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 1 | 1,35 | 0,31 | 4,30 | 0,62 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 1 | 1,35 | 0,62 | 4,30 | 0,93 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 1 | 1,35 | 0,93 | 4,30 | 1,24 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 1 | 1,35 | 1,24 | 4,30 | 1,55 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 1 | 1,35 | 1,55 | 4,30 | 1,86 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 1 | 1,35 | 1,86 | 4,30 | 2,17 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 1 | 1,35 | 2,17 | 4,30 | 2,48 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 1 | 1,35 | 2,48 | 4,30 | 2,79 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 1 | 1,35 | 2,79 | 4,30 | 2,87 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 2 | 1,35 | 0,00 | 4,30 | 0,30 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 2 | 1,35 | 0,30 | 4,30 | 0,60 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 2 | 1,35 | 0,60 | 4,30 | 0,90 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 2 | 1,35 | 0,90 | 4,30 | 1,20 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 2 | 1,35 | 1,20 | 4,30 | 1,50 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 2 | 1,35 | 1,50 | 4,30 | 1,80 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 2 | 1,35 | 1,80 | 4,30 | 2,10 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 2 | 1,35 | 2,10 | 4,30 | 2,40 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 2 | 1,35 | 2,40 | 4,30 | 2,70 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 2 | 1,35 | 2,70 | 4,30 | 2,80 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 3 | 1,35 | 0,00 | 4,30 | 0,50 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 3 | 1,35 | 0,50 | 4,30 | 1,01 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 3 | 1,35 | 1,01 | 4,30 | 1,51 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 3 | 1,35 | 1,51 | 4,30 | 2,01 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 3 | 1,35 | 2,01 | 4,30 | 2,51 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 3 | 1,35 | 2,51 | 4,30 | 3,02 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 3 | 1,35 | 3,02 | 4,30 | 3,52 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 3 | 1,35 | 3,52 | 4,30 | 4,02 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 3 | 1,35 | 4,02 | 4,30 | 4,52 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 3 | 1,35 | 4,52 | 4,30 | 4,83 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 4 | 1,35 | 0,00 | 4,30 | 0,50 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 4 | 1,35 | 0,50 | 4,30 | 1,00 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 4 | 1,35 | 1,00 | 4,30 | 1,50 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 4 | 1,35 | 1,50 | 4,30 | 2,00 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 4 | 1,35 | 2,00 | 4,30 | 2,50 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 4 | 1,35 | 2,50 | 4,30 | 3,00 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 4 | 1,35 | 3,00 | 4,30 | 3,50 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 4 | 1,35 | 3,50 | 4,30 | 4,00 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 4 | 1,35 | 4,00 | 4,30 | 4,50 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 4 | 1,35 | 4,50 | 4,30 | 4,80 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 0,00 | 4,30 | 0,27 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 0,27 | 4,30 | 0,54 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 0,54 | 4,30 | 0,80 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 0,80 | 4,30 | 1,07 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 1,07 | 4,30 | 1,34 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 1,34 | 4,30 | 1,61 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 1,61 | 4,30 | 1,87 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 1,87 | 4,30 | 2,14 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 2,14 | 4,30 | 2,41 | - | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 2,41 | 4,30 | 2,68 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 2,68 | 4,30 | 2,80 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 2,80 | 4,30 | 2,92 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 2,92 | 4,30 | 3,04 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 3,04 | 4,30 | 3,16 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 3,16 | 4,30 | 3,28 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 3,28 | 4,30 | 3,40 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 3,40 | 4,30 | 3,52 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 3,52 | 4,30 | 3,64 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 3,64 | 4,30 | 3,65 | - | - | - | - |
| répartie | permanente | en haut | 5 | 1,35 | 3,76 | 4,30 | 3,65 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 1 | 1,50 | 0,00 | 8,34 | 0,31 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 1 | 1,50 | 0,31 | 8,34 | 0,62 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 1 | 1,50 | 0,62 | 8,34 | 0,93 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 1 | 1,50 | 0,93 | 8,34 | 1,24 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 1 | 1,50 | 1,24 | 8,34 | 1,55 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 1 | 1,50 | 1,55 | 8,34 | 1,86 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 1 | 1,50 | 1,86 | 8,34 | 2,17 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 1 | 1,50 | 2,17 | 8,34 | 2,48 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 1 | 1,50 | 2,48 | 8,34 | 2,79 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 1 | 1,50 | 2,79 | 8,34 | 2,87 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 2 | 1,50 | 0,00 | 8,34 | 0,30 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 2 | 1,50 | 0,30 | 8,34 | 0,60 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 2 | 1,50 | 0,60 | 8,34 | 0,90 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 2 | 1,50 | 0,90 | 8,34 | 1,20 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 2 | 1,50 | 1,20 | 8,34 | 1,50 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 2 | 1,50 | 1,50 | 8,34 | 1,80 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 2 | 1,50 | 1,80 | 8,34 | 2,10 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 2 | 1,50 | 2,10 | 8,34 | 2,40 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 2 | 1,50 | 2,40 | 8,34 | 2,70 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 2 | 1,50 | 2,70 | 8,34 | 2,80 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 3 | 1,50 | 0,00 | 8,34 | 0,50 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 3 | 1,50 | 0,50 | 8,34 | 1,01 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 3 | 1,50 | 1,01 | 8,34 | 1,51 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 3 | 1,50 | 1,51 | 8,34 | 2,01 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 3 | 1,50 | 2,01 | 8,34 | 2,51 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 3 | 1,50 | 2,51 | 8,34 | 3,02 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 3 | 1,50 | 3,02 | 8,34 | 3,52 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 3 | 1,50 | 3,52 | 8,34 | 4,02 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 3 | 1,50 | 4,02 | 8,34 | 4,52 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 3 | 1,50 | 4,52 | 8,34 | 4,83 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 4 | 1,50 | 0,00 | 8,34 | 0,50 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 4 | 1,50 | 0,50 | 8,34 | 1,00 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 4 | 1,50 | 1,00 | 8,34 | 1,50 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 4 | 1,50 | 1,50 | 8,34 | 2,00 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 4 | 1,50 | 2,00 | 8,34 | 2,50 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 4 | 1,50 | 2,50 | 8,34 | 3,00 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 4 | 1,50 | 3,00 | 8,34 | 3,50 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 4 | 1,50 | 3,50 | 8,34 | 4,00 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 4 | 1,50 | 4,00 | 8,34 | 4,50 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 4 | 1,50 | 4,50 | 8,34 | 4,80 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 0,00 | 8,34 | 0,27 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 0,27 | 8,34 | 0,54 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 0,54 | 8,34 | 0,80 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 0,80 | 8,34 | 1,07 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 1,07 | 8,34 | 1,34 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 1,34 | 8,34 | 1,61 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 1,61 | 8,34 | 1,87 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 1,87 | 8,34 | 2,14 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 2,14 | 8,34 | 2,41 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 2,41 | 8,34 | 2,68 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 2,68 | 8,34 | 2,80 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 2,80 | 8,34 | 2,92 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 2,92 | 8,34 | 3,04 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 3,04 | 8,34 | 3,16 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 3,16 | 8,34 | 3,28 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 3,28 | 8,34 | 3,40 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 3,40 | 8,34 | 3,52 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 3,52 | 8,34 | 3,64 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 3,64 | 8,34 | 3,65 | - | - | - | - |
| répartie | d'exploitation | en haut | 5 | 1,50 | 3,76 | 8,34 | 3,65 | - | - | - | - |

## 2.5 Résultats théoriques:

**Pour le dimensionnement, la quantité des armatures théoriques inférieures a été augmentée étant donné l'influence du cisaillement dans l'appui de rive (A.5.1.312)**

### 2.5.1 Réactions

**Appui POT0_05**

| Cas | Fx (kN) | Fz (kN) | Mx (kN*m) | My (kN*m) |
|---|---|---|---|---|
| G1 | - | 2,37 | - | -0,00 |
| VOILE1 | - | 16,71 | - | 0,00 |
| VOILE2 | - | 0,00 | - | 0,00 |
| G2 | - | 5,19 | - | 0,00 |
| Q1 | - | 10,39 | - | 0,00 |
| Q2 | - | -1,18 | - | 0,00 |
| Q3 | - | 1,10 | - | 0,00 |
| Q4 | - | -0,28 | - | 0,00 |
| Q5 | - | 0,03 | - | 0,00 |
| Pondération max: | - | 50,04 | - | -0,00 |
| Pondération min: | - | 22,08 | - | -0,00 |

**Appui POU0_050**

| Cas | Fx (kN) | Fz (kN) | Mx (kN*m) | My (kN*m) |
|---|---|---|---|---|
| G1 | - | 5,51 | - | 0,00 |
| VOILE1 | - | 38,83 | - | -0,00 |
| VOILE2 | - | 0,00 | - | 0,00 |
| G2 | - | 12,07 | - | 0,00 |
| Q1 | - | 15,55 | - | 0,00 |
| Q2 | - | 13,13 | - | -0,00 |
| Q3 | - | -6,83 | - | -0,00 |
| Q4 | - | 1,72 | - | -0,00 |
| Q5 | - | -0,18 | - | -0,00 |
| Pondération max: | - | 121,75 | - | 0,00 |
| Pondération min: | - | 45,89 | - | -0,00 |

**Appui POU0_052**

| Cas | Fx (kN) | Fz (kN) | Mx (kN*m) | My (kN*m) |
|---|---|---|---|---|
| G1 | - | 7,69 | - | 0,00 |
| VOILE1 | - | 54,21 | - | -0,00 |
| VOILE2 | - | 0,00 | - | 0,00 |
| G2 | - | 16,85 | - | -0,00 |
| Q1 | - | -2,21 | - | -0,00 |
| Q2 | - | 12,08 | - | 0,00 |
| Q3 | - | 26,50 | - | 0,00 |
| Q4 | - | -4,13 | - | 0,00 |
| Q5 | - | 0,42 | - | 0,00 |
| Pondération max: | - | 164,81 | - | -0,00 |
| Pondération min: | - | 69,24 | - | -0,00 |

**Appui POU0_053**

| Cas | Fx (kN) | Fz (kN) | Mx (kN*m) | My (kN*m) |
|---|---|---|---|---|
| G1 | - | 10,00 | - | -0,00 |
| VOILE1 | - | 70,55 | - | -0,00 |
| VOILE2 | - | 0,00 | - | 0,00 |
| G2 | - | 21,93 | - | -0,00 |
| Q1 | - | 0,31 | - | 0,00 |
| Q2 | - | -0,88 | - | 0,00 |
| Q3 | - | 22,13 | - | -0,00 |
| Q4 | - | 22,19 | - | 0,00 |
| Q5 | - | -1,25 | - | 0,00 |
| Pondération max: | - | 205,29 | - | 0,00 |
| Pondération min: | - | 99,28 | - | -0,00 |

**Appui POU0_054**

| Cas | Fx (kN) | Fz (kN) | Mx (kN*m) | My (kN*m) |
|---|---|---|---|---|
| G1 | - | 8,40 | - | 0,00 |
| VOILE1 | - | 59,22 | - | 0,00 |
| VOILE2 | - | 0,00 | - | 0,00 |
| G2 | - | 18,41 | - | 0,00 |

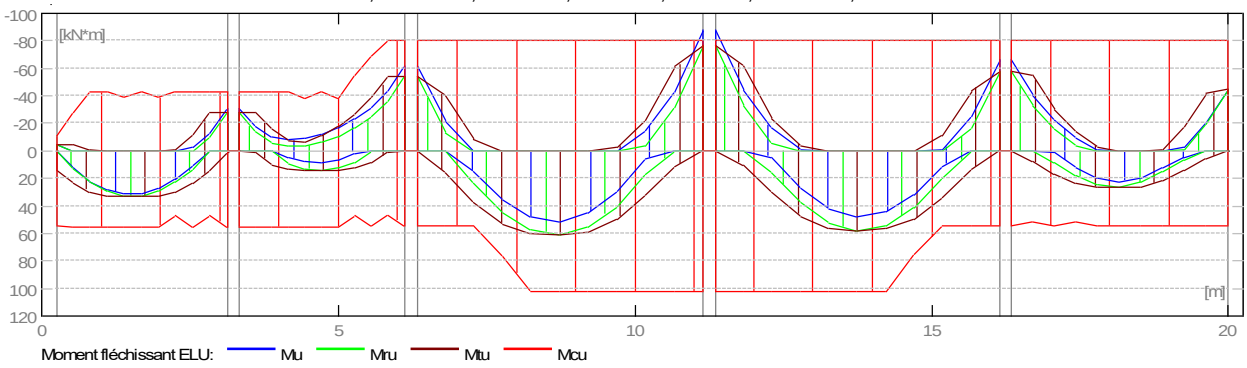
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Q1 | - | -0,10 | - | 0,00 |
| Q2 | - | 0,29 | - | -0,00 |
| Q3 | - | -3,94 | - | 0,00 |
| Q4 | - | 25,53 | - | 0,00 |
| Q5 | - | 13,90 | - | 0,00 |
| Pondération max: | - | 175,71 | - | 0,00 |
| Pondération min: | - | 79,97 | - | 0,00 |

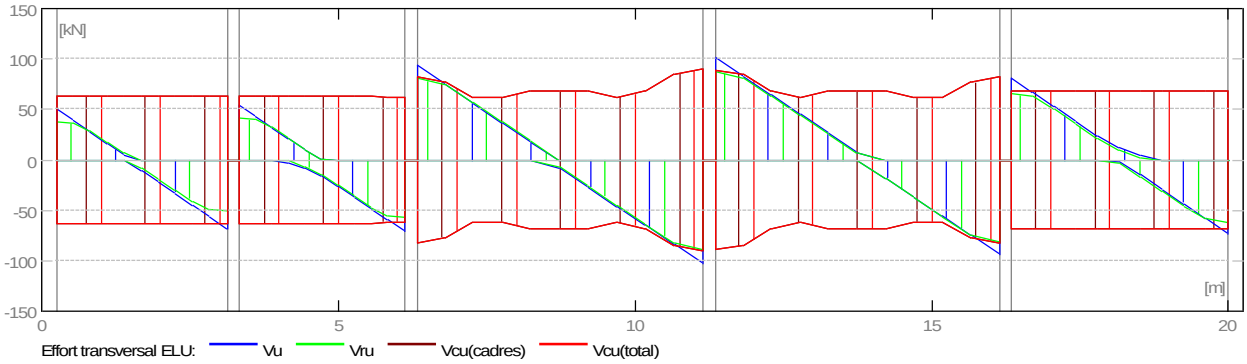
**Appui POT0_52**

| Cas | Fx (kN) | Fz (kN) | Mx (kN*m) | My (kN*m) |
|---|---|---|---|---|
| G1 | - | 3,23 | - | 1,75 |
| VOILE1 | - | 22,76 | - | 12,32 |
| VOILE2 | - | 0,00 | - | 0,00 |
| G2 | - | 7,07 | - | 3,83 |
| Q1 | - | 0,03 | - | 0,04 |
| Q2 | - | -0,09 | - | -0,11 |
| Q3 | - | 1,27 | - | 1,55 |
| Q4 | - | -5,01 | - | -6,09 |
| Q5 | - | 17,51 | - | 12,04 |
| Pondération max: | - | 72,84 | - | 44,61 |
| Pondération min: | - | 25,41 | - | 8,59 |

### 2.5.2 Sollicitations ELU

| Désignation | Mtmax. (kN*m) | Mtmin. (kN*m) | Mg (kN*m) | Md (kN*m) | Vg (kN) | Vd (kN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 32,77 | -1,14 | 14,22 | -27,55 | 50,04 | -67,83 |
| P2 | 14,18 | -26,85 | -27,55 | -54,03 | 53,92 | -71,02 |
| P3 | 60,86 | -2,49 | -54,03 | -76,43 | 93,79 | -103,35 |
| P4 | 57,84 | -3,47 | -76,43 | -57,80 | 101,94 | -94,23 |
| P5 | 26,51 | -14,33 | -57,80 | -44,61 | 81,48 | -72,84 |

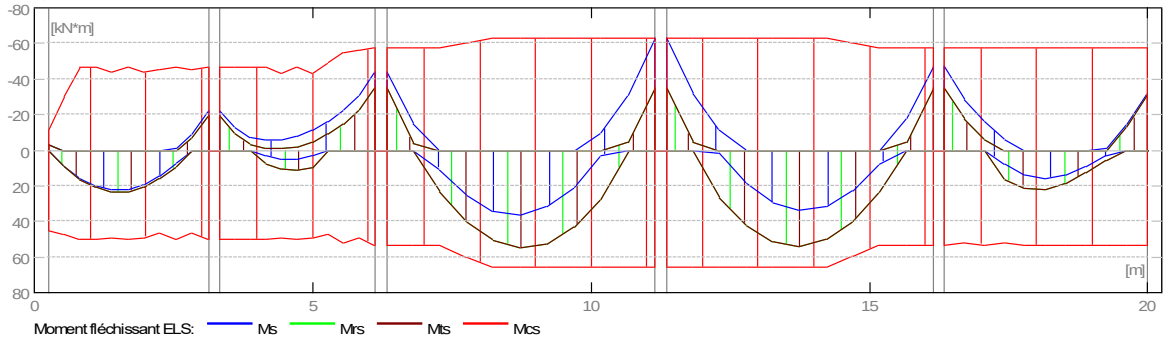


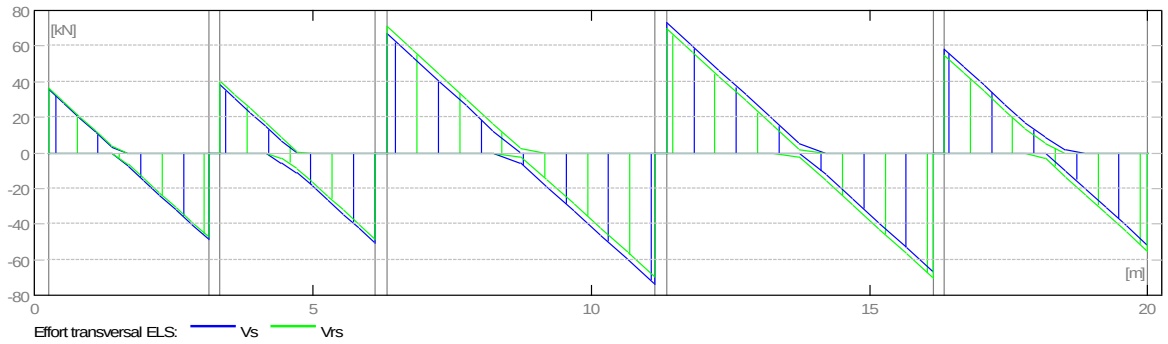



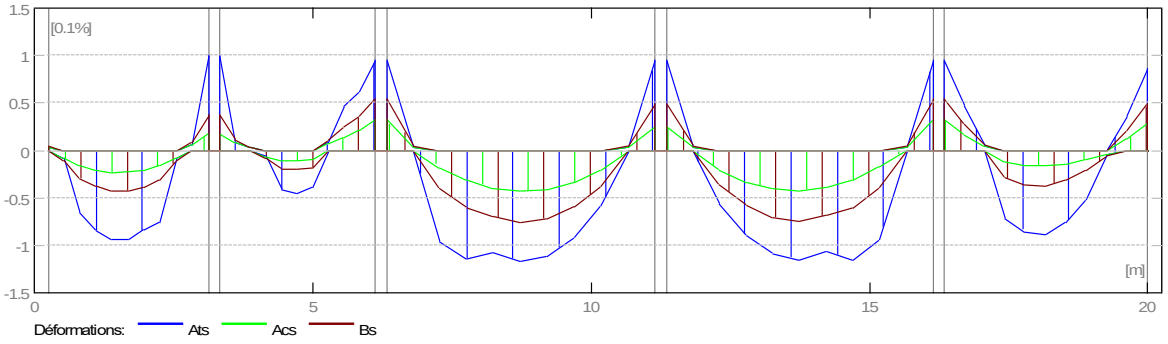

### 2.5.3 Sollicitations ELS

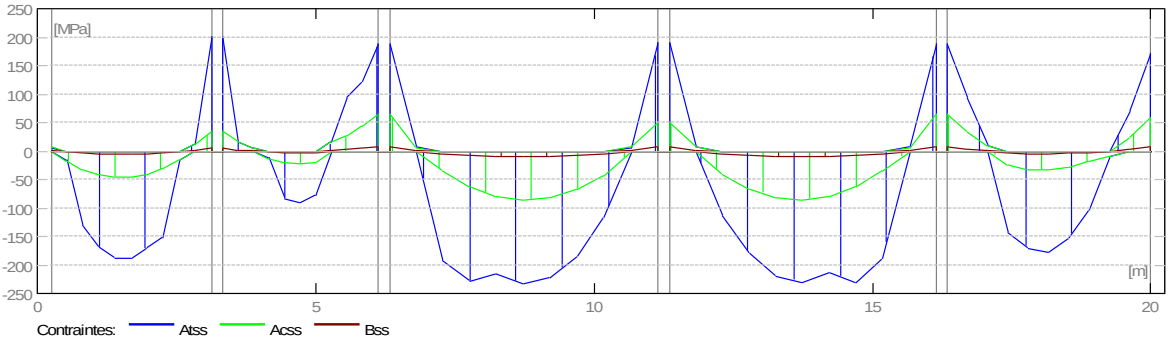
| Désignation | Mtmax. (kN*m) | Mtmin. (kN*m) | Mg (kN*m) | Md (kN*m) | Vg (kN) | Vd (kN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 23,42 | 0,00 | -3,35 | -19,43 | 35,79 | -48,57 |
| P2 | 11,23 | -8,99 | -19,43 | -34,87 | 38,23 | -50,69 |
| P3 | 55,03 | 0,00 | -34,87 | -34,87 | 67,06 | -74,07 |
| P4 | 54,22 | 0,00 | -34,87 | -34,87 | 73,04 | -67,39 |

P5 21,96 0,00 -34,87 -31,53 58,35 -51,87



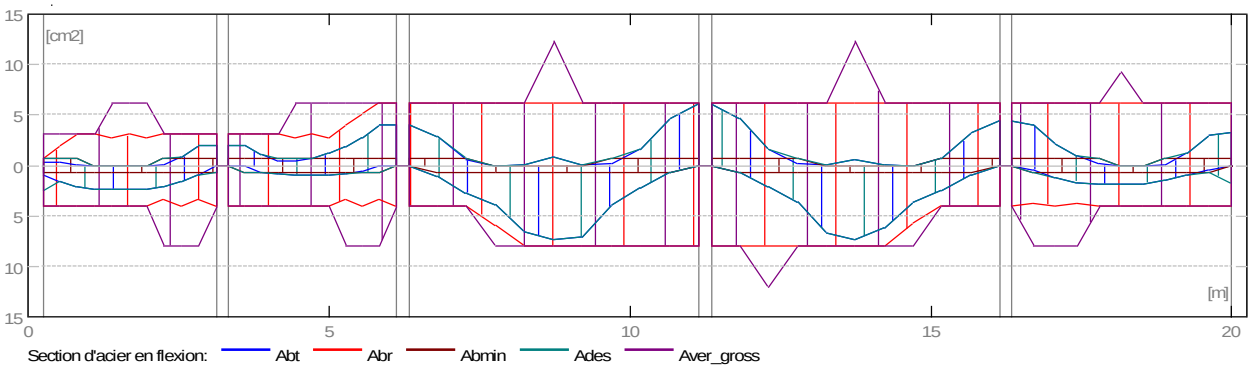



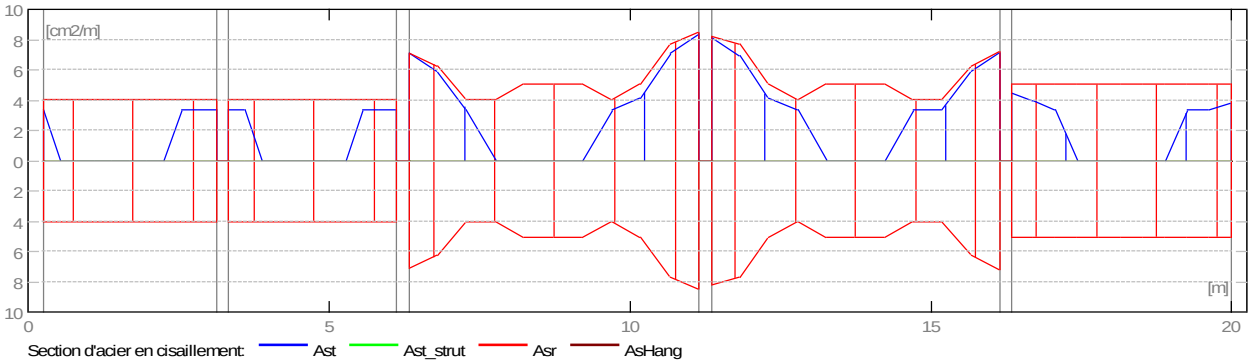




### 2.5.4 Sections Théoriques d'Acier

| Désignation | Travée (cm2) | | Appui gauche (cm2) | | Appui droit (cm2) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | inf. | sup. | inf. | sup. | inf. | sup. |
| P1 | 2,32 | 0,00 | 0,96 | 0,31 | 0,10 | 1,93 |
| P2 | 0,95 | 0,00 | 0,00 | 1,93 | 0,00 | 4,03 |
| P3 | 7,40 | 0,87 | 0,00 | 4,03 | 0,00 | 6,09 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P4 | 7,28 | 0,63 | 0,00 | 6,09 | 0,00 | 4,36 |
| P5 | 1,85 | 0,00 | 0,00 | 4,36 | 0,00 | 3,25 |

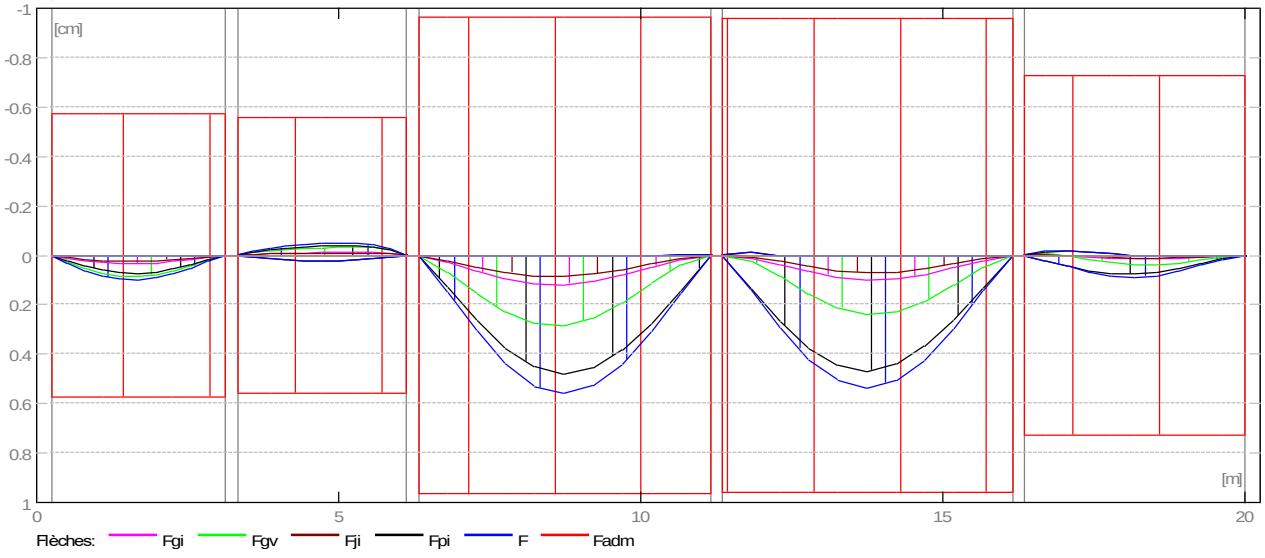



### 2.5.6 Flèches

Fgi - flèche due aux charges permanentes totales
Fgv - flèche de longue durée due aux charges permanentes
Fji - flèche due aux charges permanentes à la pose des cloisons
Fpi - flèche due aux charges permanentes et d'exploitation
ΔFt - part de la flèche totale comparable à la flèche admissible
Fadm - flèche admissible

| Travée | Fgi (cm) | Fgv (cm) | Fji (cm) | Fpi (cm) | ΔFt (cm) | Fadm (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,6 |
| P2 | -0,0 | -0,0 | -0,0 | -0,0 | -0,1 | -0,6 |
| P3 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,5 | 0,6 | 1,0 |
| P4 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,5 | 0,5 | 1,0 |
| P5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,7 |



### 2.5.7 Contrainte dans la bielle comprimée

Valeur admissible: 10,67 (MPa)

| | | a/add (m) | σbc A (MPa) | Atheor (cm2) | Ar (cm2) |
|---|---|---|---|---|---|
| Travée P1 | Appui gauche<br>Vu = 50,04(kN)<br>Bielle inférieure | 0,20 | 2,54 | 2,45 | 4,02 |
| Travée P1 | Appui droit<br>Vu = 67,83(kN)<br>Bielle inférieure | 0,16 | 4,24 | 0,00 | 4,02 |
| Travée P2 | Appui gauche<br>Vu = 53,92(kN)<br>Bielle inférieure | 0,16 | 3,37 | 0,00 | 4,02 |
| Travée P2 | Appui droit<br>Vu = 71,02(kN)<br>Bielle inférieure | 0,16 | 4,44 | 0,00 | 4,02 |
| Travée P3 | Appui gauche<br>Vu = 93,79(kN)<br>Bielle inférieure | 0,16 | 5,86 | 0,00 | 4,02 |
| Travée P3 | Appui droit<br>Vu = 103,35(kN)<br>Bielle inférieure | 0,16 | 6,46 | 0,00 | 8,04 |
| Travée P4 | Appui gauche<br>Vu = 101,94(kN)<br>Bielle inférieure | 0,16 | 6,37 | 0,00 | 8,04 |
| Travée P4 | Appui droit<br>Vu = 94,23(kN)<br>Bielle inférieure | 0,16 | 5,89 | 0,00 | 4,02 |
| Travée P5 | Appui gauche<br>Vu = 81,48(kN)<br>Bielle inférieure | 0,16 | 5,09 | 0,00 | 4,02 |
| Travée P5 | Appui droit<br>Vu = 72,84(kN)<br>Bielle inférieure | 0,20 | 3,70 | 0,00 | 4,02 |

.

## 2.6 Résultats théoriques - détaillés:

### 2.6.1 P1 : Travée de 0,25 à 3,12 (m)

| | ELU | | ELS | | ELU - comb. acc. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abscisse (m) | M max. (kN*m) | M min. (kN*m) | M max. (kN*m) | M min. (kN*m) | M max. (kN*m) | M min. (kN*m) | A chapeau (cm2) | A travée (cm2) | A compr. (cm2) |
| 0,25 | 14,22 | -4,70 | 0,00 | -3,35 | 0,00 | 0,00 | 0,31 | 0,96 | 0,00 |
| 0,54 | 23,68 | -4,70 | 9,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,31 | 1,64 | 0,00 |
| 0,82 | 29,86 | -0,53 | 16,41 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 2,10 | 0,00 |
| 1,11 | 32,77 | -0,00 | 21,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,32 | 0,00 |
| 1,40 | 32,77 | -0,00 | 23,42 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,32 | 0,00 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,69 | 32,77 | -0,00 | 23,39 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,32 | 0,00 |
| 1,97 | 32,77 | -0,00 | 21,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,32 | 0,00 |
| 2,26 | 29,86 | -1,14 | 16,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 2,10 | 0,00 |
| 2,55 | 23,68 | -12,03 | 9,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,81 | 1,64 | 0,00 |
| 2,84 | 14,22 | -27,55 | 0,00 | -6,91 | 0,00 | 0,00 | 1,93 | 0,97 | 0,00 |
| 3,12 | 1,48 | -27,55 | 0,00 | -19,43 | 0,00 | 0,00 | 1,93 | 0,10 | 0,00 |

| | ELU | | ELS | | ELU - comb. acc. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Abscisse | V max. | V red. | V max. | V red. | V max. | V red. |
| (m) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) |
| 0,25 | 50,04 | 37,75 | 35,79 | 36,72 | 0,00 | 0,00 |
| 0,54 | 38,64 | 36,39 | 27,61 | 28,54 | 0,00 | 0,00 |
| 0,82 | 27,25 | 28,45 | 19,43 | 20,36 | 0,00 | 0,00 |
| 1,11 | 15,85 | 17,43 | 11,26 | 12,18 | 0,00 | 0,00 |
| 1,40 | 4,45 | 6,39 | 3,08 | 4,01 | 0,00 | 0,00 |
| 1,69 | -10,83 | -8,30 | -7,69 | -6,76 | 0,00 | 0,00 |
| 1,97 | -22,23 | -19,34 | -15,86 | -14,94 | 0,00 | 0,00 |
| 2,26 | -33,63 | -30,38 | -24,04 | -23,11 | 0,00 | 0,00 |
| 2,55 | -45,03 | -41,40 | -32,22 | -31,29 | 0,00 | 0,00 |
| 2,84 | -56,43 | -49,34 | -40,39 | -39,47 | 0,00 | 0,00 |
| 3,12 | -67,83 | -50,70 | -48,57 | -47,64 | 0,00 | 0,00 |

### 2.6.2 P2 : Travée de 3,32 à 6,12 (m)

| | ELU | | ELS | | ELU - comb. acc. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abscisse | M max. | M min. | M max. | M min. | M max. | M min. | A chapeau | A travée | A compr. |
| (m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (cm2) | (cm2) | (cm2) |
| 3,32 | 0,00 | -27,55 | 0,00 | -19,43 | 0,00 | 0,00 | 1,93 | 0,00 | 0,00 |
| 3,60 | 1,40 | -27,55 | 0,00 | -9,21 | 0,00 | 0,00 | 1,93 | 0,09 | 0,00 |
| 3,88 | 10,27 | -15,60 | 0,00 | -3,25 | 0,00 | 0,00 | 1,04 | 0,68 | 0,00 |
| 4,16 | 13,39 | -6,94 | 7,49 | -1,25 | 0,00 | 0,00 | 0,46 | 0,89 | 0,00 |
| 4,44 | 14,18 | -6,58 | 10,48 | -0,82 | 0,00 | 0,00 | 0,43 | 0,95 | 0,00 |
| 4,72 | 14,18 | -11,18 | 11,23 | -1,97 | 0,00 | 0,00 | 0,74 | 0,94 | 0,00 |
| 5,00 | 14,18 | -17,91 | 9,75 | -4,69 | 0,00 | 0,00 | 1,21 | 0,95 | 0,00 |
| 5,28 | 12,78 | -26,85 | 0,00 | -8,99 | 0,00 | 0,00 | 1,87 | 0,87 | 0,00 |
| 5,56 | 8,95 | -38,99 | 0,00 | -14,87 | 0,00 | 0,00 | 2,81 | 0,60 | 0,00 |
| 5,84 | 1,19 | -54,03 | 0,00 | -22,69 | 0,00 | 0,00 | 4,03 | 0,08 | 0,00 |
| 6,12 | 0,00 | -54,03 | 0,00 | -34,87 | 0,00 | 0,00 | 4,03 | 0,00 | 0,00 |

| | ELU | | ELS | | ELU - comb. acc. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Abscisse | V max. | V red. | V max. | V red. | V max. | V red. |
| (m) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) |
| 3,32 | 53,92 | 41,34 | 38,23 | 40,50 | 0,00 | 0,00 |
| 3,60 | 42,82 | 40,08 | 30,27 | 32,54 | 0,00 | 0,00 |
| 3,88 | 31,72 | 32,30 | 22,31 | 24,57 | 0,00 | 0,00 |
| 4,16 | 20,62 | 21,26 | 14,34 | 16,61 | 0,00 | 0,00 |
| 4,44 | 9,52 | 10,15 | 6,38 | 8,64 | 0,00 | 0,00 |
| 4,72 | -15,93 | -14,39 | -11,15 | -8,88 | 0,00 | 0,00 |
| 5,00 | -26,61 | -25,11 | -18,83 | -16,57 | 0,00 | 0,00 |
| 5,28 | -37,71 | -36,21 | -26,80 | -24,53 | 0,00 | 0,00 |
| 5,56 | -48,81 | -47,25 | -34,76 | -32,49 | 0,00 | 0,00 |
| 5,84 | -59,92 | -55,03 | -42,72 | -40,46 | 0,00 | 0,00 |
| 6,12 | -71,02 | -56,29 | -50,69 | -48,42 | 0,00 | 0,00 |

### 2.6.3 P3 : Travée de 6,32 à 11,15 (m)

| | ELU | | ELS | | ELU - comb. acc. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abscisse | M max. | M min. | M max. | M min. | M max. | M min. | A chapeau | A travée | A compr. |
| (m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (cm2) | (cm2) | (cm2) |
| 6,32 | 0,00 | -54,03 | 0,00 | -34,87 | 0,00 | 0,00 | 4,03 | 0,00 | 0,00 |
| 6,81 | 15,81 | -40,20 | 0,00 | -3,91 | 0,00 | 0,00 | 2,90 | 1,08 | 0,00 |
| 7,29 | 37,68 | -8,60 | 23,77 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,58 | 2,70 | 0,00 |
| 7,77 | 53,12 | -0,00 | 40,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,95 | 0,00 |
| 8,25 | 59,69 | -0,00 | 51,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 6,52 | 0,02 |
| 8,74 | 60,86 | -0,00 | 55,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,87 | 7,40 | 0,87 |
| 9,22 | 58,91 | -0,00 | 52,44 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 7,04 | 0,10 |
| 9,70 | 50,03 | -2,49 | 43,23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,17 | 3,89 | 0,00 |
| 10,18 | 32,29 | -22,22 | 27,46 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,54 | 2,29 | 0,00 |
| 10,67 | 11,24 | -61,33 | 0,00 | -4,37 | 0,00 | 0,00 | 4,60 | 0,75 | 0,00 |
| 11,15 | 0,00 | -76,43 | 0,00 | -34,87 | 0,00 | 0,00 | 6,09 | 0,00 | 0,00 |

| | ELU | | ELS | | ELU - comb. acc. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Abscisse | V max. | V red. | V max. | V red. | V max. | V red. |

| (m) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6,32 | 93,79 | 81,32 | 67,06 | 71,04 | 0,00 | 0,00 |
| 6,81 | 74,66 | 74,95 | 53,34 | 57,32 | 0,00 | 0,00 |
| 7,29 | 55,53 | 56,27 | 39,61 | 43,60 | 0,00 | 0,00 |
| 7,77 | 36,40 | 37,14 | 25,89 | 29,87 | 0,00 | 0,00 |
| 8,25 | 17,27 | 18,01 | 12,17 | 16,15 | 0,00 | 0,00 |
| 8,74 | -8,68 | -7,60 | -6,11 | 2,43 | 0,00 | 0,00 |
| 9,22 | -26,83 | -25,78 | -19,18 | -15,19 | 0,00 | 0,00 |
| 9,70 | -45,96 | -44,91 | -32,90 | -28,92 | 0,00 | 0,00 |
| 10,18 | -65,09 | -64,04 | -46,62 | -42,64 | 0,00 | 0,00 |
| 10,67 | -84,22 | -82,72 | -60,35 | -56,36 | 0,00 | 0,00 |
| 11,15 | -103,35 | -89,09 | -74,07 | -70,09 | 0,00 | 0,00 |

### 2.6.4 P4 : Travée de 11,35 à 16,15 (m)

| | ELU | | ELS | | ELU - comb. acc. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abscisse | M max. | M min. | M max. | M min. | M max. | M min. | A chapeau | A travée | A compr. |
| (m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (cm2) | (cm2) | (cm2) |
| 11,35 | 0,00 | -76,43 | 0,00 | -34,87 | 0,00 | 0,00 | 6,09 | 0,00 | 0,00 |
| 11,83 | 10,50 | -61,75 | 0,00 | -4,68 | 0,00 | 0,00 | 4,65 | 0,70 | 0,00 |
| 12,31 | 30,54 | -23,33 | 26,89 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,62 | 2,15 | 0,00 |
| 12,79 | 47,62 | -3,47 | 42,51 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 3,68 | 0,00 |
| 13,27 | 56,04 | -0,00 | 51,64 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 6,71 | 0,09 |
| 13,75 | 57,84 | -0,00 | 54,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,63 | 7,28 | 0,63 |
| 14,23 | 56,59 | -0,00 | 50,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 6,21 | 0,02 |
| 14,71 | 49,79 | -0,00 | 39,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,67 | 0,00 |
| 15,19 | 34,15 | -11,20 | 23,21 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,76 | 2,43 | 0,00 |
| 15,67 | 13,37 | -44,13 | 0,00 | -4,22 | 0,00 | 0,00 | 3,20 | 0,91 | 0,00 |
| 16,15 | 0,00 | -57,80 | 0,00 | -34,87 | 0,00 | 0,00 | 4,36 | 0,00 | 0,00 |

| | ELU | | ELS | | ELU - comb. acc. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Abscisse | V max. | V red. | V max. | V red. | V max. | V red. |
| (m) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) |
| 11,35 | 101,94 | 87,90 | 73,04 | 69,74 | 0,00 | 0,00 |
| 11,83 | 82,90 | 81,61 | 59,38 | 56,08 | 0,00 | 0,00 |
| 12,31 | 63,87 | 63,05 | 45,73 | 42,43 | 0,00 | 0,00 |
| 12,79 | 44,84 | 44,02 | 32,08 | 28,78 | 0,00 | 0,00 |
| 13,27 | 25,81 | 24,99 | 18,43 | 15,13 | 0,00 | 0,00 |
| 13,75 | 7,54 | 6,70 | 5,28 | -2,43 | 0,00 | 0,00 |
| 14,23 | -18,11 | -18,68 | -12,78 | -16,08 | 0,00 | 0,00 |
| 14,71 | -37,14 | -37,71 | -26,43 | -29,74 | 0,00 | 0,00 |
| 15,19 | -56,17 | -56,74 | -40,09 | -43,39 | 0,00 | 0,00 |
| 15,67 | -75,20 | -75,30 | -53,74 | -57,04 | 0,00 | 0,00 |
| 16,15 | -94,23 | -81,59 | -67,39 | -70,69 | 0,00 | 0,00 |

### 2.6.5 P5 : Travée de 16,35 à 20,00 (m)

| | ELU | | ELS | | ELU - comb. acc. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abscisse | M max. | M min. | M max. | M min. | M max. | M min. | A chapeau | A travée | A compr. |
| (m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (kN*m) | (cm2) | (cm2) | (cm2) |
| 16,35 | 0,00 | -57,80 | 0,00 | -34,87 | 0,00 | 0,00 | 4,36 | 0,00 | 0,00 |
| 16,71 | 7,26 | -54,65 | 0,00 | -17,19 | 0,00 | 0,00 | 4,06 | 0,48 | 0,00 |
| 17,08 | 16,79 | -30,24 | 0,00 | -5,86 | 0,00 | 0,00 | 2,13 | 1,15 | 0,00 |
| 17,44 | 24,04 | -14,33 | 16,83 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,97 | 1,67 | 0,00 |
| 17,81 | 26,31 | -2,99 | 21,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 1,84 | 0,00 |
| 18,17 | 26,51 | -0,00 | 21,96 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,85 | 0,00 |
| 18,54 | 26,06 | -0,00 | 18,84 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,82 | 0,00 |
| 18,90 | 21,89 | -0,54 | 12,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 1,51 | 0,00 |
| 19,27 | 14,03 | -17,45 | 5,83 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,18 | 0,94 | 0,00 |
| 19,63 | 5,78 | -41,55 | 0,00 | -13,25 | 0,00 | 0,00 | 3,00 | 0,39 | 0,00 |
| 20,00 | 0,00 | -44,61 | 0,00 | -31,53 | 0,00 | 0,00 | 3,25 | 0,00 | 0,00 |

| | ELU | | ELS | | ELU - comb. acc. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Abscisse | V max. | V red. | V max. | V red. | V max. | V red. |
| (m) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) |
| 16,35 | 81,48 | 65,89 | 58,35 | 54,96 | 0,00 | 0,00 |
| 16,71 | 67,01 | 62,81 | 47,97 | 44,58 | 0,00 | 0,00 |
| 17,08 | 52,53 | 50,16 | 37,59 | 34,20 | 0,00 | 0,00 |
| 17,44 | 38,06 | 35,69 | 27,21 | 23,81 | 0,00 | 0,00 |
| 17,81 | 23,59 | 21,22 | 16,82 | 13,43 | 0,00 | 0,00 |
| 18,17 | 12,56 | 10,00 | 8,73 | 5,34 | 0,00 | 0,00 |
| 18,54 | -14,96 | -17,02 | -10,34 | -13,74 | 0,00 | 0,00 |
| 18,90 | -29,43 | -31,49 | -20,72 | -24,12 | 0,00 | 0,00 |
| 19,27 | -43,90 | -45,96 | -31,11 | -34,50 | 0,00 | 0,00 |
| 19,63 | -58,37 | -58,61 | -41,49 | -44,88 | 0,00 | 0,00 |

20,00 -72,84 -61,69 -51,87 -55,26 0,00 0,00

## 2.7 Ferraillage:

### 2.7.1 P1 : Travée de 0,25 à 3,12 (m)

**Ferraillage longitudinal:**

- Aciers inférieurs

2 HA 500 16 l = 3,19 de 0,03 à 2,96

- Chapeaux

2 HA 500 14 l = 1,96 de 0,09 à 2,05
2 HA 500 14 l = 3,76 de 1,33 à 5,09

**Armature transversale:**

12 RL 235 8 l = 1,09
e = 1*0,06 + 11*0,25 (m)

### 2.7.2 P2 : Travée de 3,32 à 6,12 (m)

**Ferraillage longitudinal:**

- Aciers inférieurs

2 HA 500 16 l = 3,84 de 2,14 à 5,98

**Armature transversale:**

12 RL 235 8 l = 1,09
e = 1*0,03 + 11*0,25 (m)

### 2.7.3 P3 : Travée de 6,32 à 11,15 (m)

**Ferraillage longitudinal:**

- Aciers inférieurs

2 HA 500 16 l = 7,57 de 5,15 à 12,72
2 HA 500 16 l = 7,67 de 7,39 à 15,06

- Chapeaux

2 HA 500 14 l = 4,73 de 4,36 à 9,10
4 HA 500 14 l = 5,73 de 8,38 à 14,11
2 HA 500 14 l = 4,03 de 5,06 à 9,10

**Armature transversale:**

27 RL 235 8 l = 1,09
e = 1*0,11 + 1*0,13 + 3*0,16 + 3*0,25 + 9*0,20 + 1*0,25 + 2*0,20 + 5*0,13 + 2*0,11 (m)

### 2.7.4 P4 : Travée de 11,35 à 16,15 (m)

**Ferraillage longitudinal:**

- Aciers inférieurs

2 HA 500 16 l = 5,59 de 11,90 à 17,49

- Chapeaux

2 HA 500 14 l = 5,15 de 13,39 à 18,54

**Armature transversale:**

27 RL 235 8 l = 1,09
e = 1*0,05 + 2*0,11 + 5*0,13 + 2*0,20 + 1*0,25 + 8*0,20 + 3*0,25 + 4*0,16 + 1*0,13 (m)

### 2.7.5 P5 : Travée de 16,35 à 20,00 (m)

**Ferraillage longitudinal:**

- Aciers inférieurs

2 HA 500 16 l = 3,81 de 16,67 à 20,22

- Chapeaux

2 HA 500 14 l = 2,65 de 17,81 à 20,22
2 HA 500 14 l = 7,02 de 13,39 à 20,17

**Armature transversale:**

19 RL 235 8 l = 1,09
e = 1*0,03 + 18*0,20 (m)

# 3 Quantitatif:

- Volume de Béton = 1,62 (m3)
- Surface de Coffrage = 20,15 (m2)

- Acier HA 500

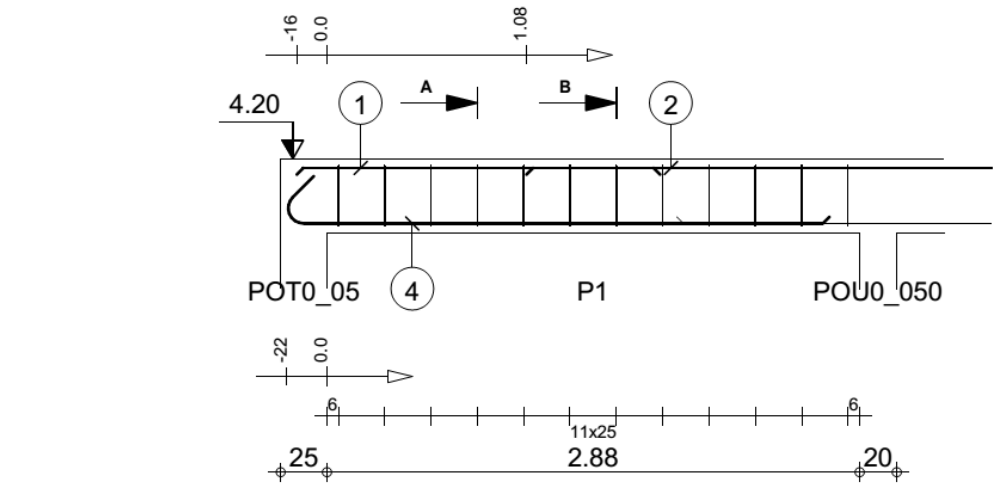
- Poids total = 198,57 (kG)
- Densité = 122,57 (kG/m3)
- Diamètre moyen = 14,9 (mm)
- Liste par diamètres:

| Diamètre | Longueur (m) | Poids (kG) |
|---|---|---|
| 14 | 81,52 | 98,55 |
| 16 | 63,35 | 100,02 |

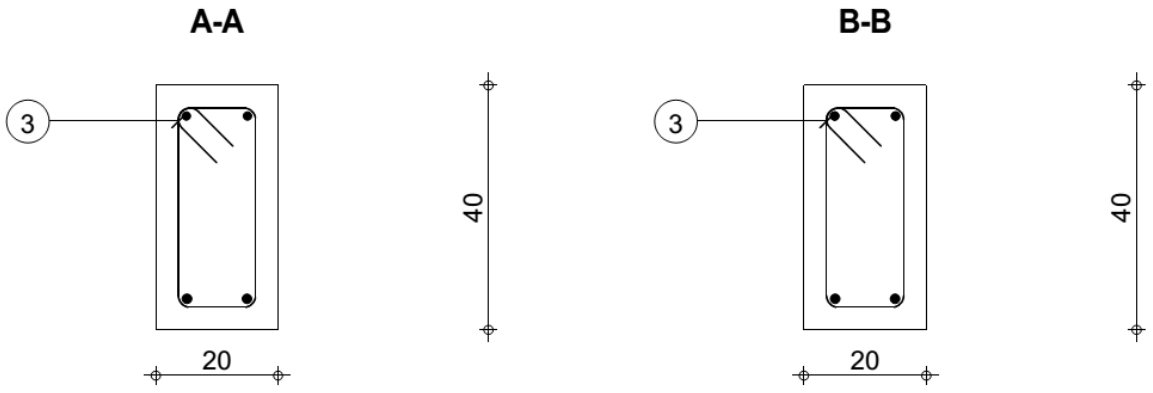
- Acier RL 235
  - Poids total = 41,77 (kG)
  - Densité = 25,79 (kG/m3)
  - Diamètre moyen = 8,0 (mm)
  - Liste par diamètres:

| Diamètre | Longueur (m) | Poids (kG) |
|---|---|---|
| 8 | 105,83 | 41,77 |

❄ Plans de ferraillage:

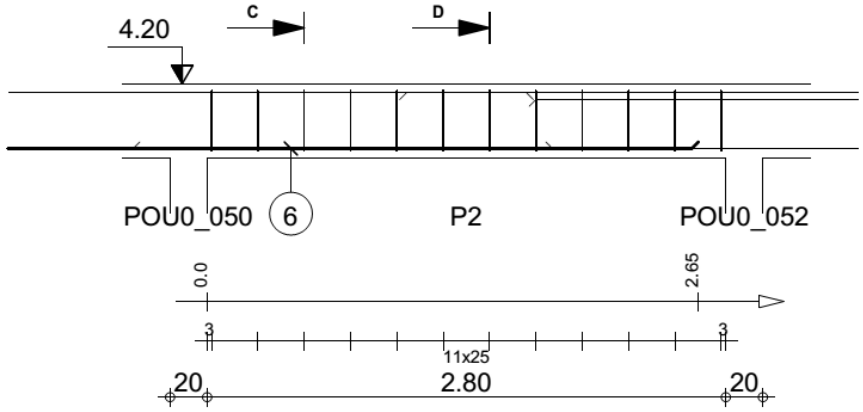


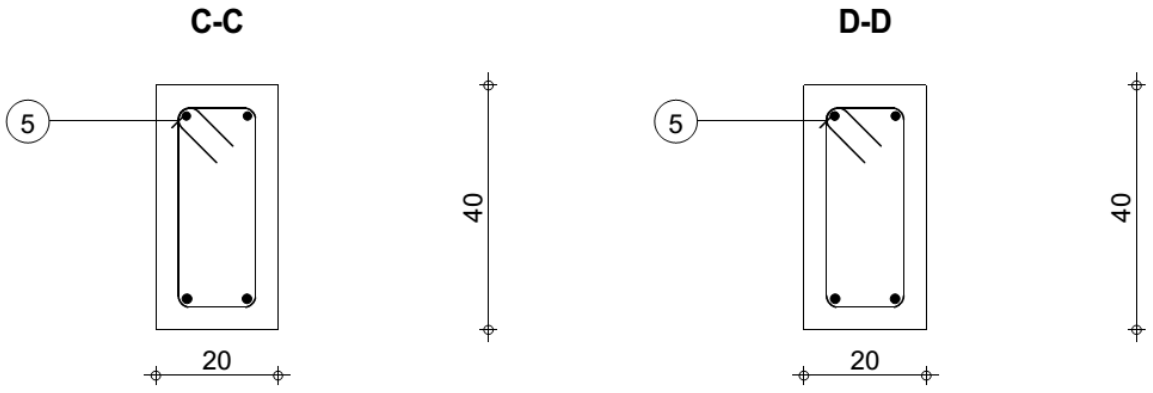

| Pos. | Armature | | Code | Forme |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2HA 14 | l=1.96 | 00 | 1.96 |
| 2 | 2HA 14 | l=3.76 | 00 | 3.76 |
| 3 | 12RL 8 | l=1.09 | | 13 23 10 |
| 4 | 2HA 16 | l=3.19 | 00 | 2.93 |



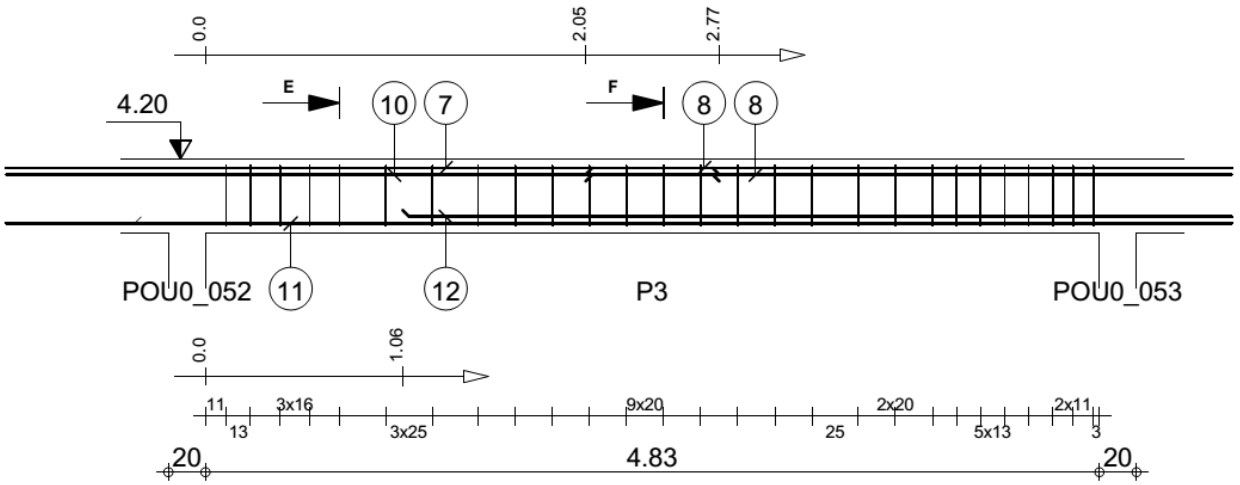

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tél. | Fax | | Acier HA 500 = 23.9 kg |
| Tenue au feu 3/2h | Fissuration peu préjudiciable | Reprise de bétonnage : Non | Béton : BETON20 = 0.258 m3 | Acier RL 235 = 5.17 kg |
| RDC Structure | 2_POU0_064 : P1 Section 20x40 | Nombre 1 | Surface du coffrage = 3.23 m2 | Enrobage inférieur 3.3 cm Enrobage supérieur 3.3 cm Enrobage latéral 3.3 cm |
| | | | Densité = 112.8 kg/ m3 Diamètre moyen = 11.9mm | Echelle pour la vue 1/33 Echelle pour la section 1/10 |

| Pos. | Armature | | Code | Forme |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 12RL 8 | l=1.09 | | 13 / 23 / 10 |
| 6 | 2HA 16 | l=3.84 | 00 | 3.84 |



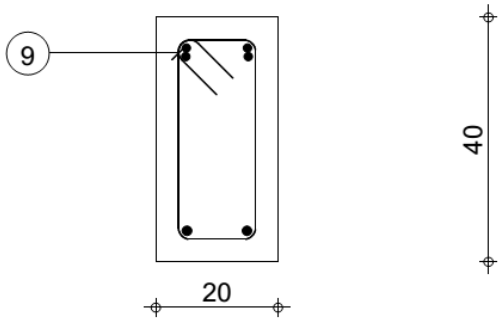




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tél. | Fax | | Acier HA 500 = 12.1 kg<br>Acier RL 235 = 5.17 kg |
| Tenue au feu 3/2h | Fissuration peu préjudiciable | Reprise de bétonnage : Non | Béton : BETON20 = 0.24 m3 | |
| RDC<br>Structure | 2_POU0_064 : P2<br>Section 20x40 | Nombre 1 | Surface du coffrage = 2.96 m2<br>Densité = 72.08 kg/ m3<br>Diamètre moyen = 11mm | Enrobage inférieur 3.3 cm Enrobage supérieur 3.3 cm<br>Enrobage latéral 3.3 cm<br>Echelle pour la vue 1/33<br>Echelle pour la section 1/10 |

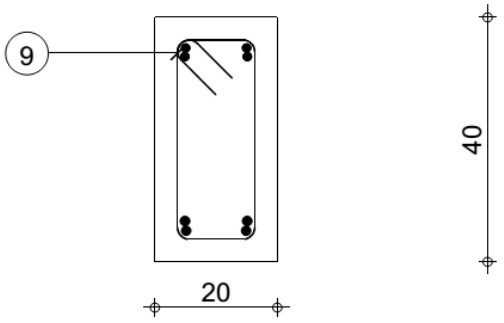



| Pos. | Armature | | Code | Forme |
|---|---|---|---|---|
| 7 | 2HA 14 | l=4.73 | 00 | 4.73 |
| 8 | 4HA 14 | l=5.73 | 00 | 5.73 |
| 9 | 27RL 8 | l=1.09 | | 13 23 10 |
| 10 | 2HA 14 | l=4.03 | 00 | 4.03 |
| 11 | 2HA 16 | l=7.57 | 00 | 7.57 |
| 12 | 2HA 16 | l=7.67 | 00 | 7.67 |

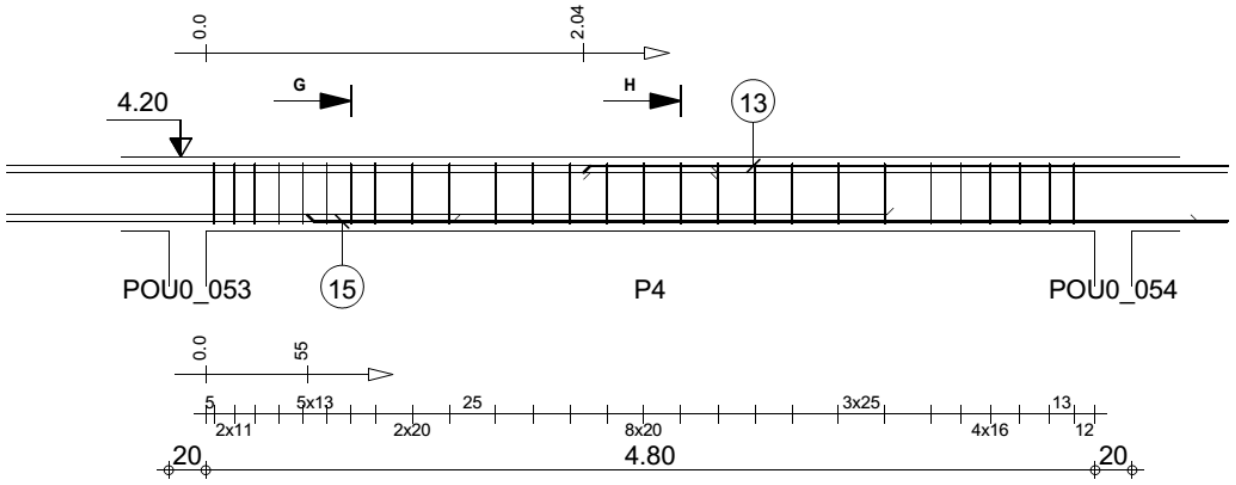
**E-E**




**F-F**

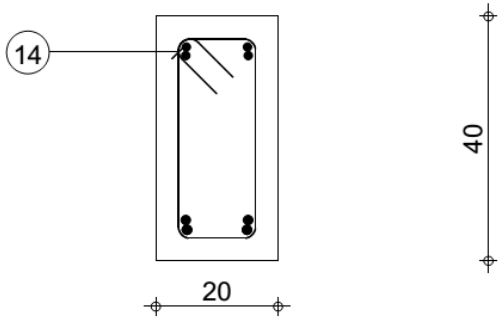



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tél. | Fax | | Acier HA 500 = 97 kg |
| Tenue au feu 3/2h | Fissuration peu préjudiciable | Reprise de bétonnage : Non | Béton : BETON20 = 0.402 m3 | Acier RL 235 = 11.6 kg |
| RDC Structure | 2_POU0_064 : P3 Section 20x40 | Nombre 1 | Surface du coffrage = 4.99 m2 | Enrobage inférieur 3.3 cm Enrobage supérieur 3.3 cm Enrobage latéral 3.3 cm |
| | | | Densité = 271.1 kg/ m3 Diamètre moyen = 12.8mm | Echelle pour la vue 1/33 Echelle pour la section 1/10 |

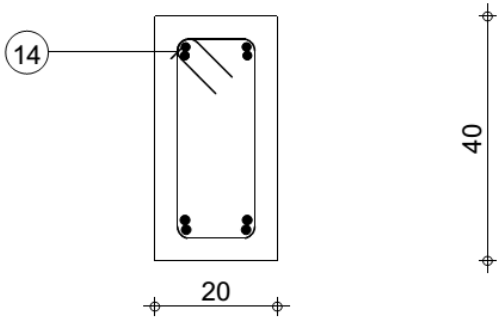



| Pos. | Armature | | Code | Forme |
|---|---|---|---|---|
| 13 | 2HA 14 | l=5.15 | 00 | 5.15 |
| 14 | 27RL 8 | l=1.09 | | 13 / 23 / 10 |
| 15 | 2HA 16 | l=5.59 | 00 | 5.59 |

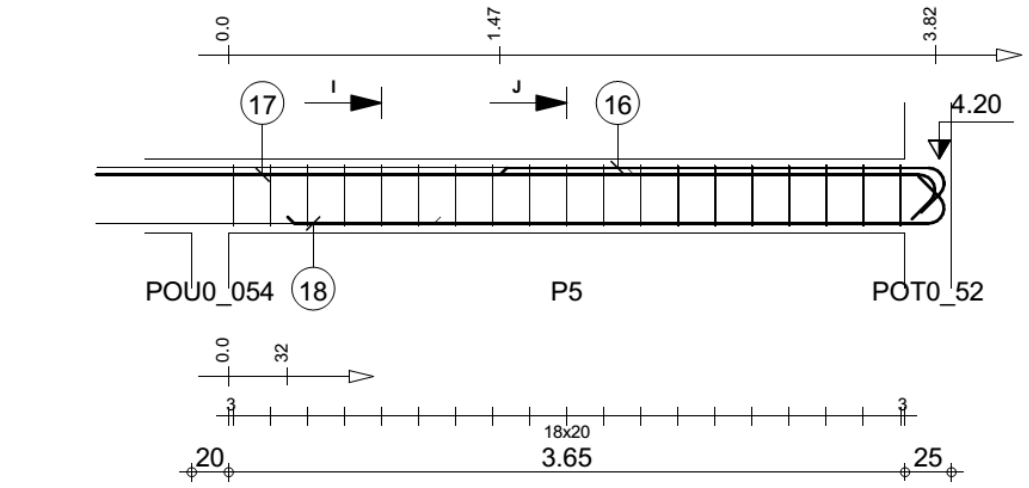
**G-G**




**H-H**

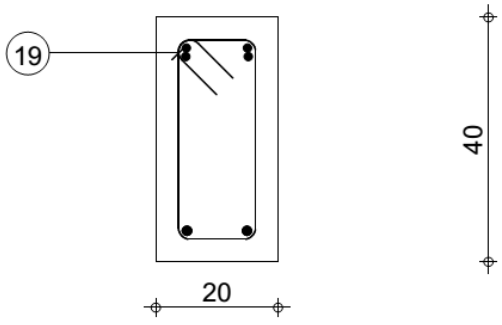



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tél. | Fax | | Acier HA 500 = 30.1 kg |
| Tenue au feu 3/2h | Fissuration peu préjudiciable | Reprise de bétonnage : Non | Béton : BETON20 = 0.4 m3 | Acier RL 235 = 11.6 kg |
| **RDC** | **2_POU0_064 : P4** Nombre 1 | | Surface du coffrage = 4.96 m2 | Enrobage inférieur 3.3 cm Enrobage supérieur 3.3 cm Enrobage latéral 3.3 cm |
| **Structure** | **Section 20x40** | | Densité = 104.3 kg/ m3 Diamètre moyen = 11mm | Echelle pour la vue 1/33 Echelle pour la section 1/10 |

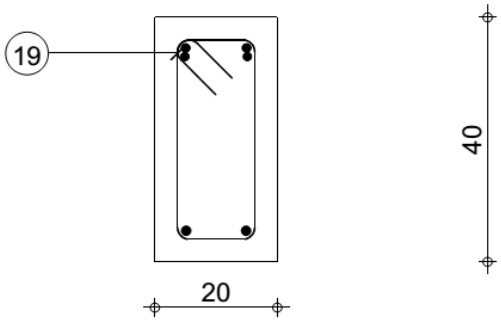



| Pos. | Armature | | Code | Forme |
|---|---|---|---|---|
| 16 | 2HA 14 | l=2.65 | 00 | 2.40 |
| 17 | 2HA 14 | l=7.02 | 00 | 6.78 |
| 18 | 2HA 16 | l=3.81 | 00 | 3.55 |
| 19 | 19RL 8 | l=1.09 | | 13 / 23 / 10 |

**I-I**




**J-J**




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tél. | Fax | | Acier HA 500 = 35.4 kg |
| Tenue au feu 3/2h | Fissuration peu préjudiciable | Reprise de bétonnage : Non | Béton : BETON20 = 0.32 m3 | Acier RL 235 = 8.18 kg |
| RDC Structure | 2_POU0_064 : P5 Section 20x40 | Nombre 1 | Surface du coffrage = 4.01 m2 | Enrobage inférieur 3.3 cm Enrobage supérieur 3.3 cm Enrobage latéral 3.3 cm |
| | | | Densité = 136.3 kg/ m3 Diamètre moyen = 11.7mm | Echelle pour la vue 1/33 Echelle pour la section 1/10 |

# Annexe II-7. Calcul de la poutre isostatique

## ➢ Hypothèses de calcul

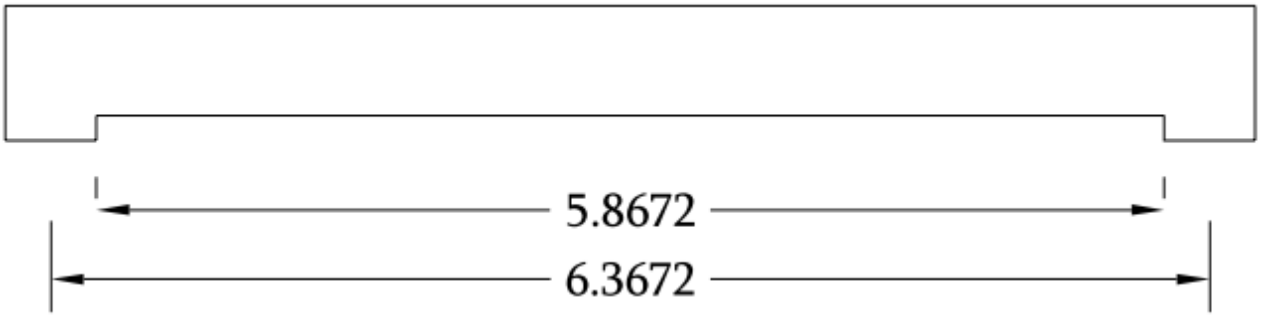
La fissuration est considérée peu préjudiciable, puisque la poutre étudiée est située à l'intérieur du bâtiment et protégée ainsi des intempéries. On déterminera les armatures à l'Etat limite ultime. La vérification des sections à l'état limite de service n'est pas nécessaire.

## ➢ Détermination des sections d'armatures

### ✓ Géométrie de la poutre :

$\boldsymbol{b = 20\ cm}$
$\boldsymbol{h = 60\ cm}$

### ✓ Actions à considérer :

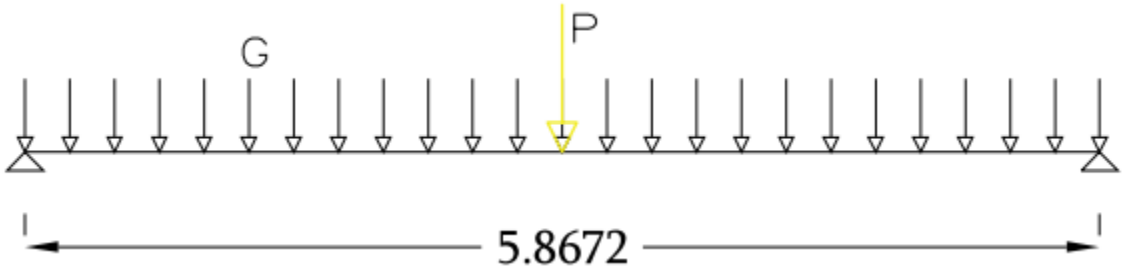



#### ❋ Le poids propre de la poutre

$g = 0{,}12\ kN/ml$
A l'ELU
$G_u = 1{,}35.g$
$G_u = 1{,}35 \times 0{,}12$
$G_u = 0{,}162\ \ kN/ml$
A l'ELS
$G_{ser} = \ g$
$G_{ser} = 0{,}12\ kN/ml$

#### ❋ La charge d'appui de la poutre continue

$p_{ser} = 131{,}55\ kN$
$p_u = 183{,}41\ kN$




### ✓ Expression des sollicitations

#### ❋ Moment de flexion

Pour $x\epsilon\left[0;\frac{l}{2}\right]$

$$M(x)=\frac{G.x(l-x)}{2}+\frac{p.x}{2}$$

Pour $x\epsilon\left[\frac{l}{2};l\right]$

$$M(x)=\frac{G.x(l-x)}{2}+\frac{p(l-x)}{2}$$

- Effort tranchant

Pour $x\epsilon\left[0;\frac{l}{2}\right]$

$$T(x)=-G.x+\frac{G.l+p}{2}$$

Pour $x\epsilon\left[\frac{l}{2};l\right]$

$$T(x)=-G.x+\frac{G.l-p}{2}$$

- ✓ Sollicitations maximales
- Moment de flexion

$$M_{max}=\frac{G.l^2}{8}+\frac{p.l}{4}$$

$$M_u = \frac{0{,}162 \times 5{,}87^2}{8} + \frac{183{,}41 \times 5{,}87}{4}$$

$$M_u = 268{,}38\ kN.m$$

$$M_{ser} = \frac{0{,}12 \times 5{,}87^2}{8} + \frac{131{,}55 \times 5{,}87}{4}$$

$$M_{ser} = 193{,}57\ kN.m$$

❋ Effort tranchant

$$T_{max} = \frac{G.l + p}{2}$$

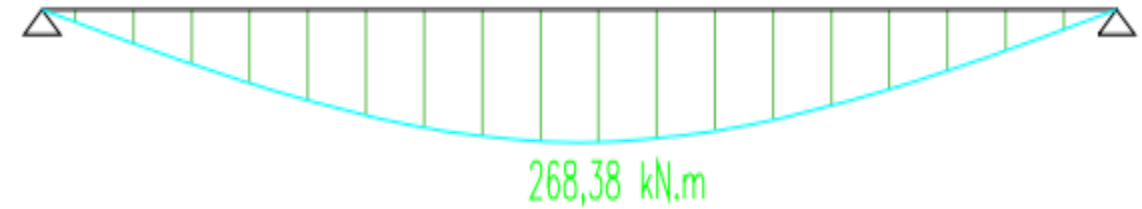
$$T_{max} = \frac{0{,}162 \times 5{,}87 + 183{,}41}{2}$$

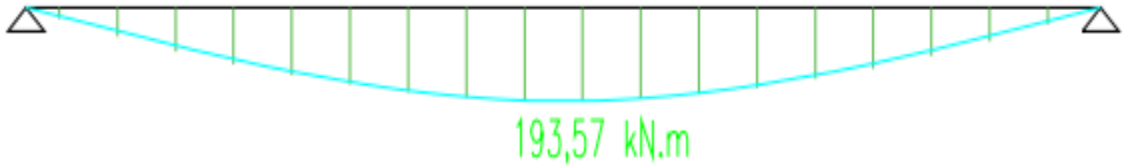
$$T_{max} = 92{,}18\ kN$$

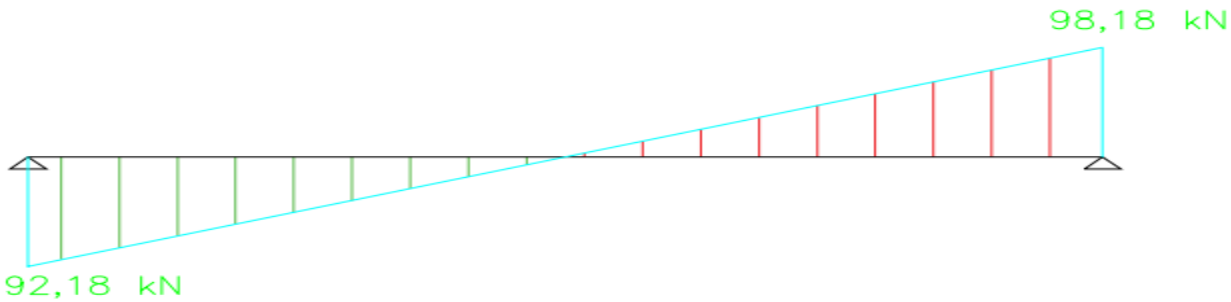
$$T_{min} = -\frac{G.l + p}{2}$$

$$T_{min} = -\frac{0{,}162 \times 5{,}87 + 183{,}41}{2}$$

$$T_{min} = -92{,}18\ kN$$




✓ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}268}{0{,}2 \times 0{,}54^2 \times 11{,}33}$$

$$\mu_u = 0{,}406$$

$$\mu_u > \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ B$$

✓ Evaluation de la nécessité d'armatures comprimées

$$\mu_l = \frac{\left(\frac{f_{c28}}{\theta}\right)}{150 - 75.\theta.\gamma + 1{,}75\ (2{,}5 - \theta.\gamma)\left(\frac{f_{c28}}{\theta}\right)}$$

$$\gamma = \frac{M_u}{M_{ser}} = \frac{0{,}268}{0{,}194} = 1{,}38$$

$$\mu_l = \frac{\left(\frac{20}{1}\right)}{150 - 75 \times 1 \times 1{,}38 + 1{,}75\ (2{,}5 - 1 \times 1{,}38)\left(\frac{20}{1}\right)}$$

$$\mu_l = 0{,}229$$

$\mu_u > \mu_l$
$\Rightarrow$ *Armatures comprimées nécessaires*

✓ Pente critique de la droite de pivot

$\alpha_l = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_l})$

$\alpha_l = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}229})$

$\alpha_l = 0{,}330$

✓ Moment résistant du béton

$M_{rub}=\mu_l.b.d^2.f_{bu}$
$M_{rub}=0{,}229 \times 0{,}2 \times 0{,}54^2 \times 11{,}33$
$M_{rub}=0{,}151$ MN.m

✓ Moment résiduel

$M_{res}= M_u-M_{rub}$

$M_{res}=0{,}268 - 0{,}151$

$M_{res}=0{,}117$ MN.m

✓ Bras de levier limite

$Z_l = [1-0{,}4\alpha_l].d$
$Z_l = (1 - 0{,}4\times0{,}33) \times 0{,}54$
$Z_l = 0{,}469$ m

✓ Section d'armatures tendues

$A_{st}=M_{rub}/[Z_l.f_e/\gamma_s]+M_{res}/[(d-d').f_e/\gamma_s]$

$A_{st}=0{,}151.10^4 /[0{,}469\times347{,}83 ]+0{,}117.10^4 /[0{,}48\times347{,}83]$

$A_{st}$=15,84 cm²

✓ Contrainte de compression de l'acier

$\sigma_{sc} \leq 348$ MPa

$\sigma_{sc} = 9.\gamma.f_{c28} + 0{,}9.\delta'(13.f_{c28} + 415)k$

$\delta' = \frac{d'}{d} = 0{,}11$

$k = 1$

$\sigma_{sc} = 9 \times 1{,}38 \times 20 + 0{,}9 \times 0{,}11(13 \times 20 + 415)$

$\sigma_{sc} = 315{,}225$ MPa

✓ Section d'armatures comprimées

$A_{sc}=M_{res}/[(d-d').\sigma_{sc}]$

$A_{sc}=0{,}117.10^4/[0{,}48\times315{,}225]$

$A_{sc}$=7,73 cm²

✓ Condition de non fragilité

$A_{stmin} = 0{,}23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$

$A_{stmin} = 0{,}23 \times 0{,}2 \times 0{,}45 \times \frac{1{,}8}{400} \times 10^4$

$A_{stmin} = 0{,}932\ cm^2$

✓ Section d'armatures longitudinales retenue

| | | | appui 1 | travée 1 | appui 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| Armatures supérieures | Théorique | | 0,00 | 7,73 | 0,00 |
| | Choisie | Lit 1 | 3 HA 14 | 3 HA 14 | 3 HA 14 |
| | | Lit 2 | - | 2 HA 14 | - |
| | | Lit 3 | - | 1 HA 14 | - |
| | Réelle | | 2,36 | 2,36 | 3,14 |
| Armatures inférieures | Théorique | | 0,00 | 15,84 | 0,00 |
| | Choisie | Lit 3 | - | 2 HA 16 | - |
| | | Lit 2 | - | 3 HA 16 | - |
| | | Lit 1 | 3 HA 16 | 3 HA 16 | 3 HA 16 |
| | Réelle | | 2,36 | 2,36 | 2,36 |

➢ Justification vis-à-vis des sollicitations tangentielles

✓ Diamètre des aciers transversaux

$$\emptyset_t \leq \min\left(\frac{h}{35}; \frac{b_0}{10}; \emptyset_l\right)$$

$$\emptyset_t \leq \min\left(\frac{600}{35}; \frac{200}{10}; 16\right)$$

$$\emptyset_t \leq \min(17{,}14; 20; 16)$$

$$\emptyset_t \leq \min(16)$$

On prendra $\emptyset_t = 8\ mm \Rightarrow A_t = 0{,}5\ cm^2$

$V_u = 92{,}18\ kN = 0{,}092\ MN$

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0.d}$$

$$\tau_u = \frac{0{,}092}{0{,}2 \times 0{,}54}$$

$\tau_u = 0{,}85\ MPa$

✓ Calcul de l'espacement des cadres

$$S_{t0} \leq \frac{0{,}9.F_e.A_t}{b_0.\gamma_s(\tau_u - 0{,}3.f_{t28})}$$

$$S_{t0} \leq \frac{0{,}9 \times 400 \times 0{,}5.10^{-4}}{0{,}2 \times 1{,}15(0{,}85 - 0{,}3 \times 1{,}8)}$$

$S_{t0} \leq 0{,}39\ m$

$S_{t0} \leq 35\ cm$

❄ Disposition

- Espacement initial : 17,5 cm
- Nombre d'occurrences d'un espacement : 3

✓ Contrainte tangentielle limite

$$\tau_{ulim} = \min\left(\frac{0{,}2 \times f_{c28}}{\gamma_B}; 5\ MPa\right)$$

$$\tau_{ulim} = \min\left(\frac{0{,}2 \times 20}{1{,}5}; 5\ MPa\right)$$

$\tau_{ulim} = 2{,}67\ MPa$

✓ Contrainte effective

On prendra $S_{t0} = 35\ cm$

❄ Vérifications

$S_{t0} \leq \min(0{,}9\ d\ ; 40\ cm) \Rightarrow\ S_{t0} \leq 40\ cm$

$\Rightarrow OK$

$$\frac{A_t.F_e}{b_0.S_{t0}} = \frac{0{,}79.10^{-4} \times 400}{0{,}2 \times 0{,}35}$$

$$\frac{A_t.F_e}{b_0.S_{t0}} = 0{,}45\ MPa$$

$$\frac{A_t.F_e}{b_0.S_{t0}} > 0{,}4\ MPa \Rightarrow OK$$

❄ Conclusion

On adoptera $S_{t0} = 35\ cm$

- Chaine de Caquot

$$1 \times 17{,}5 - 3 \times 35 - 4 \times 4$$

# Annexe II-8. Calcul de la marmite de « la marmite » (cafétéria)

## ➢ Paroi tronc-sphérique inférieure au comble

### ✓ Détermination des contraintes

| φ | cos | sin | Contrainte à la charge initiale | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Méridien | | Parallèle | |
| | | | valeur | unité | valeur | unité |
| 44,24 | 0,71642372 | 0,69766543 | 0 | kPa | 0 | kPa |
| 45 | 0,70710678 | 0,70710678 | 0 | kPa | 0 | kPa |
| 50 | 0,64278761 | 0,76604444 | 0 | kPa | 0 | kPa |
| 60 | 0,5 | 0,8660254 | 0 | kPa | 0 | kPa |
| 68,5 | 0,36650123 | 0,93041757 | 0 | kPa | 0 | kPa |

| φ | cos | sin | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Méridien | | Parallèle | |
| | | | valeur | unité | valeur | unité |
| 44,24 | 0,71642372 | 0,69766543 | 0 | kPa | -542,69 | kPa |
| 45 | 0,70710678 | 0,70710678 | -14,12 | kPa | -521,52 | kPa |
| 50 | 0,64278761 | 0,76604444 | -95,05 | kPa | -391,86 | kPa |
| 60 | 0,5 | 0,8660254 | -218,59 | kPa | -160,16 | kPa |
| 68,5 | 0,36650123 | 0,93041757 | -306,20 | kPa | 28,57 | kPa |

| φ | cos | sin | Contrainte totale | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Méridien | | Parallèle | |
| | | | valeur | unité | valeur | unité |
| 44,24 | 0,71642372 | 0,69766543 | 0,00 | kPa | -542,69 | kPa |
| 45 | 0,70710678 | 0,70710678 | -14,12 | kPa | -521,52 | kPa |
| 50 | 0,64278761 | 0,76604444 | -95,05 | kPa | -391,86 | kPa |
| 60 | 0,5 | 0,8660254 | -218,59 | kPa | -160,16 | kPa |
| 68,5 | 0,36650123 | 0,93041757 | -306,20 | kPa | 28,57 | kPa |

### ✓ Vérification des contraintes

| φ | Contrainte | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Méridien | | Parallèle | |
| | valeur | unité | valeur | unité |
| 44,24 | 0,00 | MPa | -0,54 | MPa |
| 45 | -0,01 | MPa | -0,52 | MPa |
| 50 | -0,10 | MPa | -0,39 | MPa |
| 60 | -0,22 | MPa | -0,16 | MPa |
| 68,5 | -0,31 | MPa | 0,03 | MPa |

Contraintes limites (MPa)

| Acier | | Béton | |
|---|---|---|---|
| traction | Compression | traction | Compression |
| 160 | 142,193 | 1,8 | 12 |

✓ Sections d'acier

| φ | Contrainte | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Méridien | | Parallèle | |
| | valeur | unité | valeur | unité |
| 44,24 | 3,00 | cm² | 3,39 | cm² |
| 45 | 3,00 | cm² | 3,26 | cm² |
| 50 | 3,00 | cm² | 3,00 | cm² |
| 60 | 3,00 | cm² | 3,00 | cm² |
| 68,5 | 3,00 | cm² | 3,00 | cm² |

✓ Section d'acier retenues

| φ | Contrainte | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Méridien | | | Parallèle | | |
| | Disposition | valeur | unité | Disposition | valeur | unité |
| 44,24 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 5 HA 10 | 3,93 | cm² |
| 45 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 5 HA 10 | 3,93 | cm² |
| 50 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 4 HA 10 | 3,14 | cm² |
| 60 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 4 HA 10 | 3,14 | cm² |
| 68,5 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 4 HA 10 | 3,14 | cm² |

➢ Paroi tronc-sphérique Courante

✓ Détermination des contraintes

| φ | cos | sin | Contrainte due à la charge initiale | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Méridien | | Parallèle | |
| | | | valeur | unité | valeur | unité |
| 46,55 | 0,68772131 | 0,7259748 | 37,47 | kPa | -37,47 | kPa |
| 50 | 0,64278761 | 0,76604444 | 33,65 | kPa | -33,65 | kPa |
| 60 | 0,5 | 0,8660254 | 26,33 | kPa | -26,33 | kPa |
| 70 | 0,34202014 | 0,93969262 | 22,36 | kPa | -22,36 | kPa |
| 80 | 0,17364818 | 0,98480775 | 20,36 | kPa | -20,36 | kPa |
| 90 | 0 | 1 | 19,75 | kPa | -19,75 | kPa |
| 100 | -0,17364818 | 0,98480775 | 20,36 | kPa | -20,36 | kPa |
| 106,85 | -0,28986711 | 0,95706691 | 21,56 | kPa | -21,56 | kPa |

| φ | cos | sin | Contrainte due au poids propre | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Méridien | | Parallèle | |
| | | | valeur | unité | valeur | unité |
| 46,55 | 0,68772131 | 0,7259748 | 0,00 | kPa | -520,95 | kPa |
| 50 | 0,64278761 | 0,76604444 | 58,00 | kPa | -544,91 | kPa |
| 60 | 0,5 | 0,8660254 | 189,60 | kPa | -568,35 | kPa |
| 70 | 0,34202014 | 0,93969262 | 296,56 | kPa | -555,64 | kPa |
| 80 | 0,17364818 | 0,98480775 | 401,52 | kPa | -533,06 | kPa |
| 90 | 0 | 1 | 520,95 | kPa | -520,95 | kPa |
| 100 | -0,17364818 | 0,98480775 | 672,77 | kPa | -541,24 | kPa |
| 106,85 | -0,28986711 | 0,95706691 | 808,45 | kPa | -588,88 | kPa |

| φ | cos | sin | Contrainte totale | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Méridien | | Parallèle | |
| | | | valeur | unité | valeur | unité |
| 46,55 | 0,68772131 | 0,7259748 | 37,47 | kPa | -558,42 | kPa |
| 50 | 0,64278761 | 0,76604444 | 91,65 | kPa | -578,56 | kPa |
| 60 | 0,5 | 0,8660254 | 215,93 | kPa | -594,68 | kPa |
| 70 | 0,34202014 | 0,93969262 | 318,92 | kPa | -578,00 | kPa |
| 80 | 0,17364818 | 0,98480775 | 421,88 | kPa | -553,42 | kPa |
| 90 | 0 | 1 | 540,70 | kPa | -540,70 | kPa |
| 100 | -0,17364818 | 0,98480775 | 693,13 | kPa | -561,60 | kPa |
| 106,85 | -0,28986711 | 0,95706691 | 830,01 | kPa | -610,43 | kPa |

✓ Vérification des contraintes

| φ | Contrainte | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Méridien | | Parallèle | |
| | valeur | unité | valeur | unité |
| 46,55 | 0,04 | MPa | -0,56 | MPa |
| 50 | 0,09 | MPa | -0,58 | MPa |
| 60 | 0,22 | MPa | -0,59 | MPa |
| 70 | 0,32 | MPa | -0,58 | MPa |
| 80 | 0,42 | MPa | -0,55 | MPa |
| 90 | 0,54 | MPa | -0,54 | MPa |
| 100 | 0,69 | MPa | -0,56 | MPa |
| 106,85 | 0,83 | MPa | -0,61 | MPa |

Contraintes limites (MPa)

| Acier | | Béton | |
|---|---|---|---|
| traction | Compression | traction | Compression |
| 160 | 142,193 | 1,8 | 12 |

✓ Sections d'aciers

| φ | Contrainte | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Méridien | | Parallèle | |
| | valeur | unité | valeur | unité |
| 46,55 | 3,00 | cm² | 3,49 | cm² |
| 50 | 3,00 | cm² | 3,62 | cm² |
| 60 | 3,00 | cm² | 3,72 | cm² |
| 70 | 3,00 | cm² | 3,61 | cm² |
| 80 | 3,00 | cm² | 3,46 | cm² |
| 90 | 3,00 | cm² | 3,38 | cm² |
| 100 | 3,00 | cm² | 3,51 | cm² |
| 106,85 | 3,00 | cm² | 3,82 | cm² |

✓ Sections d'aciers retenues

| φ | Contrainte | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Méridien | | | Parallèle | | |
| | Disposition | valeur | unité | Disposition | valeur | unité |
| 46,55 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 5 HA 10 | 3,93 | cm² |
| 50 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 5 HA 10 | 3,93 | cm² |
| 60 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 5 HA 10 | 3,93 | cm² |
| 70 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 5 HA 10 | 3,93 | cm² |
| 80 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 5 HA 10 | 3,93 | cm² |
| 90 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 5 HA 10 | 3,93 | cm² |
| 100 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 5 HA 10 | 3,93 | cm² |
| 106,85 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 5 HA 10 | 3,93 | cm² |

➢ Ceinture inférieure

✓ Force de ceinture

$$P = 2\pi.r.e.\sigma.\cos\alpha_1$$

$$P = 2\pi \times 3{,}3 \times 0{,}15 \times 0{,}22 \times \cos(73{,}15)$$

$$P = 0{,}198 \text{ MN}$$

✓ Effort de traction développé

$$T = \frac{P}{2\pi}(\cot\varphi_2 - \cot\varphi_1)$$

$$T = \frac{0{,}198}{2\pi}\cot(73{,}15)$$

$T = 9{,}5.10^{-3}\text{MN}$

✓ Détermination des armatures

Les armatures sont déterminées en traction simple.

❋ A l'ELU

$$A_{st} = \frac{N_u.\gamma_s}{f_e}$$

$$A_{st} = \frac{9{,}5.10^{-3} \times 1{,}15}{400}.10^4$$

$$A_{st} = 0{,}27\ cm^2$$

❋ A l'ELS

$$A_{st} = \frac{N_u}{\sigma_{st}}$$

La fissuration étant préjudiciable, $\sigma_{st} = 200\ MPa$

$$A_{st} = \frac{9{,}5.10^{-3}}{200}.10^4$$

$$A_{st} = 0{,}475\ cm^2$$

❋ Condition de non fragilité

$$A_{st} = \frac{B.f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}15^2 \times 1{,}8}{400}.10^4$$

$$A_{st} = 1{,}0125\ \text{cm}^2$$

❋ Section retenue

$$A_{st} = 1{,}0125\ \text{cm}^2$$

On disposera 4 Ha 8, soit une section de 2,01 cm²

➢ Ceinture inférieure

✓ Force de ceinture

$$P = 2\pi.r.e.\sigma.\cos\alpha_1$$

$$P = 2\pi \times 2{,}6 \times 0{,}15 \times 0{,}61 \times \cos(106{,}85)$$

$$P = -0{,}433\ \text{MN}$$

✓ Effort de traction développé

$$T = \frac{P}{2\pi}(\cot\varphi_2 - \cot\varphi_1)$$

$$T = \frac{-0{,}433}{2\pi}(\cot 106{,}85)$$

$$T = 0{,}021 \text{ MN}$$

✓ Détermination des armatures

Les armatures sont déterminées en traction simple.

❋ A l'ELU

$$A_{st} = \frac{N_u . \gamma_s}{f_e}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}021 \times 1{,}15}{400} . 10^4$$

$$A_{st} = 0{,}60\ cm^2$$

❋ A l'ELS

$$A_{st} = \frac{N_u}{\sigma_{st}}$$

La fissuration étant préjudiciable, $\sigma_{st} = 200\ MPa$

$$A_{st} = \frac{0{,}021}{200} . 10^4$$

$$A_{st} = 1{,}05\ cm^2$$

❋ Condition de non fragilité

$$A_{st} = \frac{B . f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}15^2 \times 1{,}8}{400} . 10^4$$

$$A_{st} = 1{,}0125 \text{ cm}^2$$

❋ Section retenue

$$A_{st} = 1{,}05 \text{ cm}^2$$

On disposera 4 Ha 8, soit une section de 2,01 cm²

➢ Paroi cylindrique (voile de sous bassement)

✓ Détermination des contraintes

| x | Contraintes dues à la charge initiale | |
|---|---|---|
| | Méridien | Parallèle |

| | valeur | unité | valeur | unité |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 65,87426346 | kPa | 0 | kPa |
| 0,5 | 65,87426346 | kPa | 0 | kPa |
| 1 | 65,87426346 | kPa | 0 | kPa |
| 1,5 | 65,87426346 | kPa | 0 | kPa |
| 2 | 65,87426346 | kPa | 0 | kPa |
| 2,5 | 65,87426346 | kPa | 0 | kPa |

| x | Contraintes dues au poids propre | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Méridien | | Parallèle | |
| | valeur | unité | valeur | unité |
| 0 | 0 | kPa | 0 | kPa |
| 0,5 | 83,33333333 | kPa | 0 | kPa |
| 1 | 166,6666667 | kPa | 0 | kPa |
| 1,5 | 250 | kPa | 0 | kPa |
| 2 | 333,3333333 | kPa | 0 | kPa |
| 2,5 | 416,6666667 | kPa | 0 | kPa |

| x | Contraintes totales | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Méridien | | Parallèle | |
| | valeur | unité | valeur | unité |
| 0 | 65,87426346 | kPa | 0 | kPa |
| 0,5 | 149,2075968 | kPa | 0 | kPa |
| 1 | 232,5409301 | kPa | 0 | kPa |
| 1,5 | 315,8742635 | kPa | 0 | kPa |
| 2 | 399,2075968 | kPa | 0 | kPa |
| 2,5 | 482,5409301 | kPa | 0 | kPa |

✓ Vérification des contraintes

| x | Contrainte | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Méridien | | Parallèle | |
| | valeur | unité | valeur | unité |
| 0 | 0,07 | Mpa | 0,00 | Mpa |
| 0,5 | 0,15 | Mpa | 0,00 | Mpa |
| 1 | 0,23 | Mpa | 0,00 | Mpa |
| 1,5 | 0,32 | Mpa | 0,00 | Mpa |
| 2 | 0,40 | Mpa | 0,00 | Mpa |
| 2,5 | 0,48 | Mpa | 0,00 | Mpa |

Contraintes limites (MPa)

| Acier | | Béton | |
|---|---|---|---|
| traction | Compression | traction | Compression |
| 160 | 142,193 | 1,8 | 12 |

✓ Sections d'aciers

| x | Contrainte | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Méridien | | Parallèle | |
| | valeur | unité | valeur | unité |
| 0 | 3,00 | cm² | 3,00 | cm² |
| 0,5 | 3,00 | cm² | 3,00 | cm² |
| 1 | 3,00 | cm² | 3,00 | cm² |
| 1,5 | 3,00 | cm² | 3,00 | cm² |
| 2 | 3,00 | cm² | 3,00 | cm² |
| 2,5 | 3,00 | cm² | 3,00 | cm² |

✓ Sections d'aciers retenues

| x | Contrainte | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Méridien | | | Parallèle | | |
| | Disposition | valeur | unité | Disposition | valeur | unité |
| 0 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 4 HA 10 | 3,14 | cm² |
| 0,5 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 4 HA 10 | 3,14 | cm² |
| 1 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 4 HA 10 | 3,14 | cm² |
| 1,5 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 4 HA 10 | 3,14 | cm² |
| 2 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 4 HA 10 | 3,14 | cm² |
| 2,5 | 4 HA 10 | 3,14 | cm² | 4 HA 10 | 3,14 | cm² |

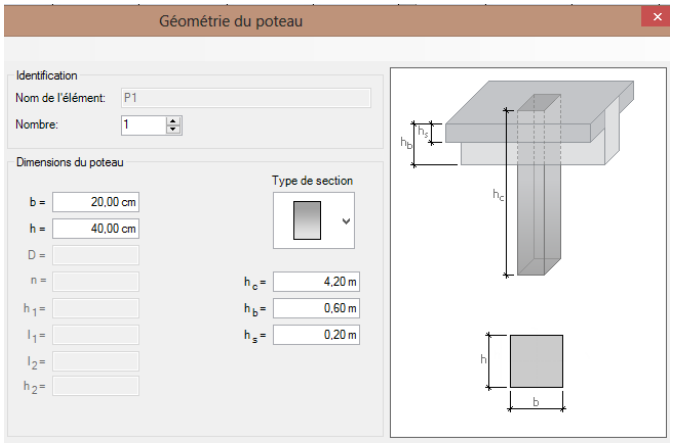
➢ Tableau récapitulatif des sections d'armatures de la marmite

| | Tableau récapitulatif des sections | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Méridien | | | Parallèle | | |
| | Disposition | esp | unité | Disposition | esp | unité |
| Coque du comble | 4 HA 10 | 20 | cm | 4 HA 10 | 20 | cm |
| Ceintures | 4 HA 10 | - | cm | 4 HA 10 | - | cm |
| Coque courante | 4 HA 10 | 20 | cm | 5 HA 10 | 16,67 | cm |
| Voile de sous bassement | 4 HA 10 | 20 | cm | 4 HA 10 | 20 | cm |

# Annexe II-9. Note de calcul des poteaux

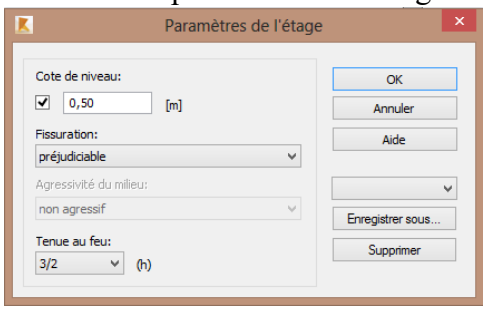
## ➢ Etapes du calcul dans RSA

### ✓ Géométrie du poteau

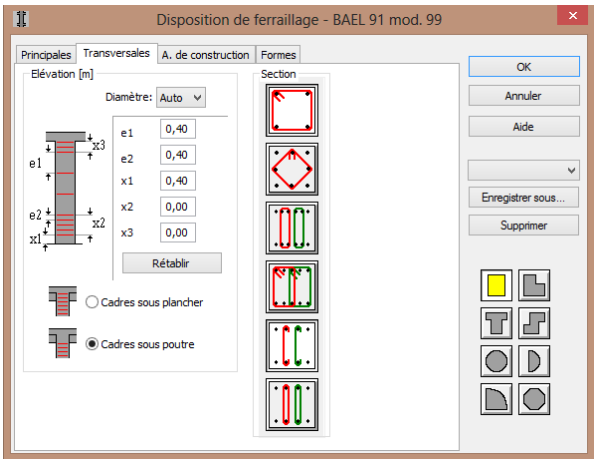


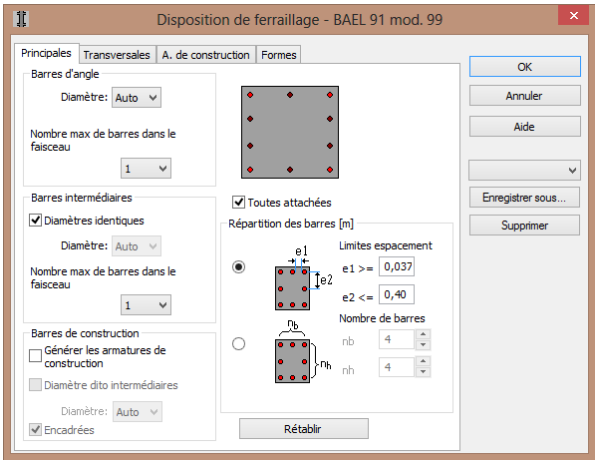

### ✓ Paramètres de l'étage

Les paramètres de l'étage sont ceux définis lors du paramétrage du logiciel Robot CBS.

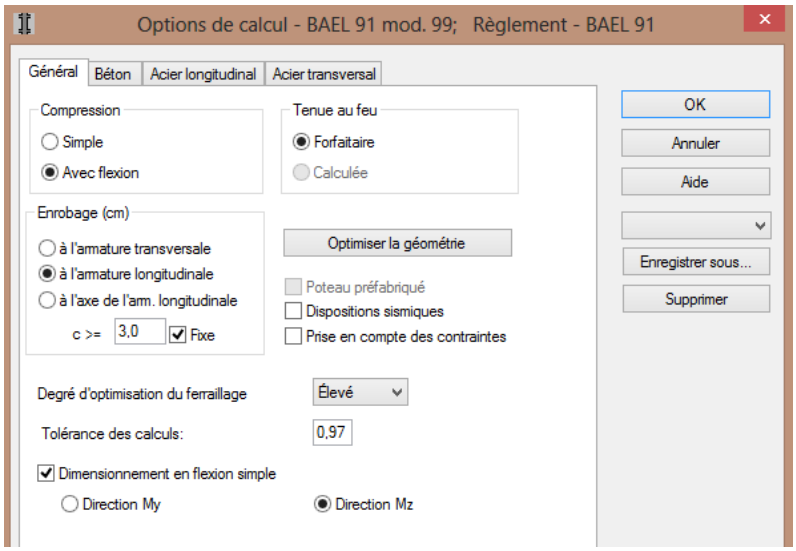


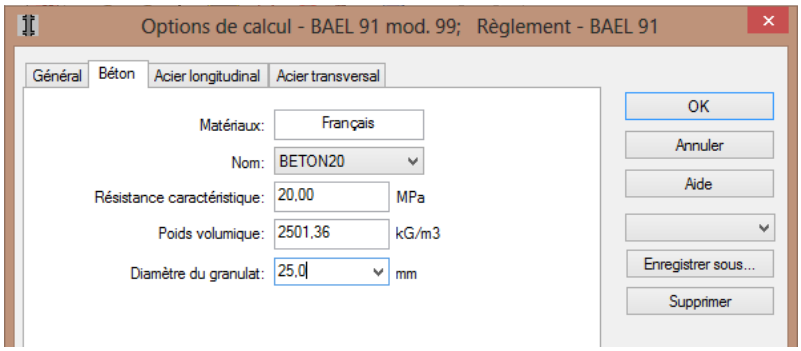

### ✓ Disposition du ferraillage

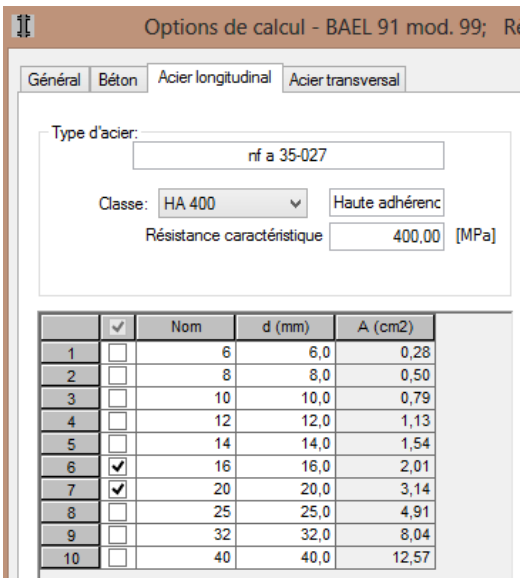


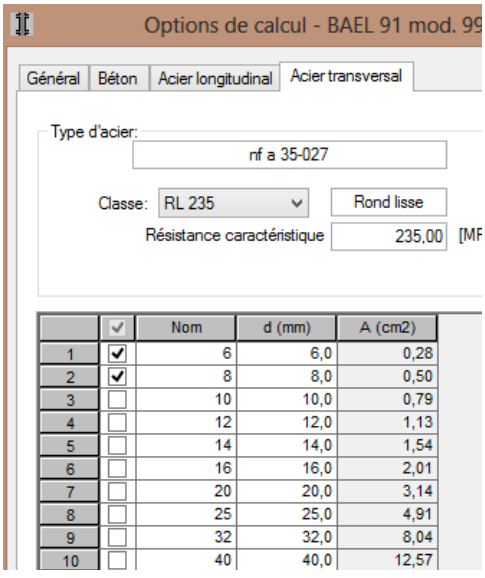

### ✓ Options de calcul



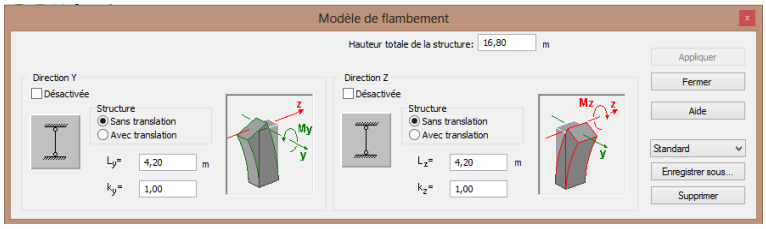




| | | Nom | d (mm) | A (cm2) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ☐ | 6 | 6,0 | 0,28 |
| 2 | ☐ | 8 | 8,0 | 0,50 |
| 3 | ☐ | 10 | 10,0 | 0,79 |
| 4 | ☐ | 12 | 12,0 | 1,13 |
| 5 | ☐ | 14 | 14,0 | 1,54 |
| 6 | ☑ | 16 | 16,0 | 2,01 |
| 7 | ☑ | 20 | 20,0 | 3,14 |
| 8 | ☐ | 25 | 25,0 | 4,91 |
| 9 | ☐ | 32 | 32,0 | 8,04 |
| 10 | ☐ | 40 | 40,0 | 12,57 |



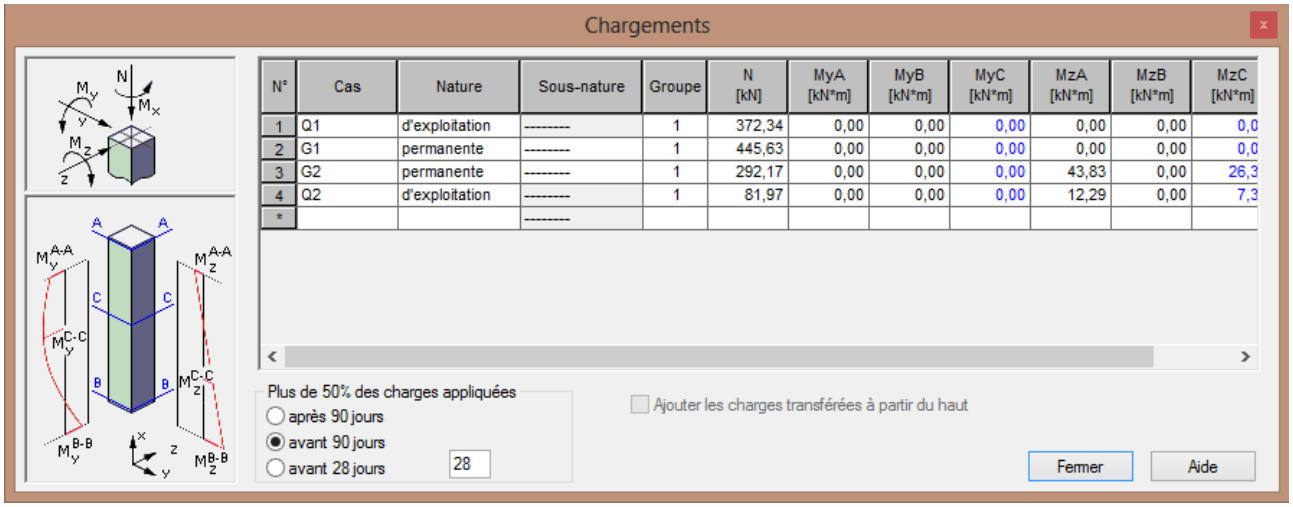

| | | Nom | d (mm) | A (cm2) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ☑ | 6 | 6,0 | 0,28 |
| 2 | ☑ | 8 | 8,0 | 0,50 |
| 3 | ☐ | 10 | 10,0 | 0,79 |
| 4 | ☐ | 12 | 12,0 | 1,13 |
| 5 | ☐ | 14 | 14,0 | 1,54 |
| 6 | ☐ | 16 | 16,0 | 2,01 |
| 7 | ☐ | 20 | 20,0 | 3,14 |
| 8 | ☐ | 25 | 25,0 | 4,91 |
| 9 | ☐ | 32 | 32,0 | 8,04 |
| 10 | ☐ | 40 | 40,0 | 12,57 |

✓ Modèle de flambement



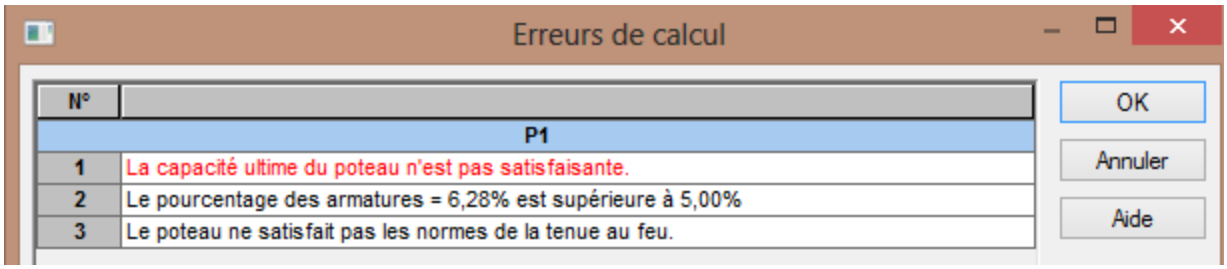

✓ Définition des charges

Les charges sont chargées par défaut depuis Robot CBS



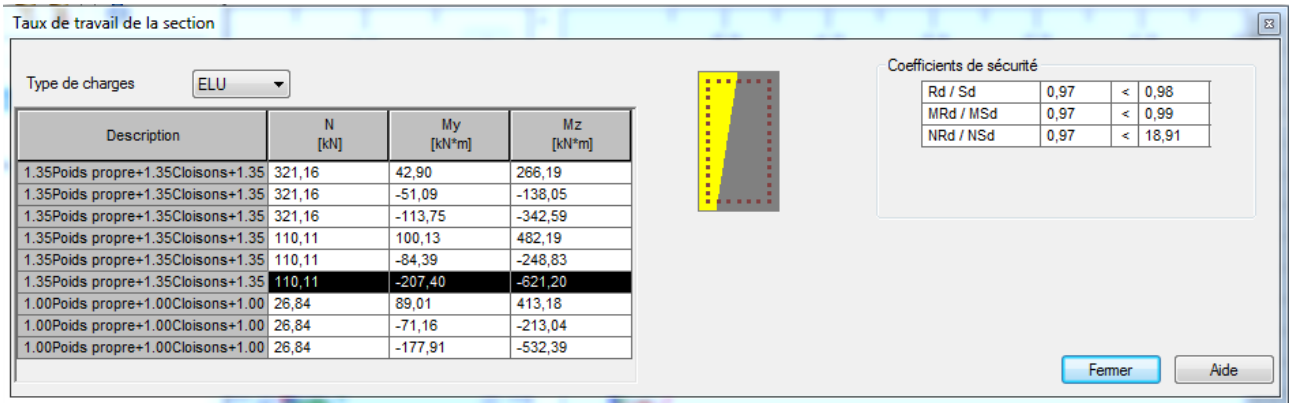

| N° | Cas | Nature | Sous-nature | Groupe | N [kN] | MyA [kN*m] | MyB [kN*m] | MyC [kN*m] | MzA [kN*m] | MzB [kN*m] | MzC [kN*m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Q1 | d'exploitation | -------- | 1 | 372,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |
| 2 | G1 | permanente | -------- | 1 | 445,63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |
| 3 | G2 | permanente | -------- | 1 | 292,17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 43,83 | 0,00 | 26,3 |
| 4 | Q2 | d'exploitation | -------- | 1 | 81,97 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12,29 | 0,00 | 7,3 |
| * | | | -------- | | | | | | | | |

✓ Calcul du poteau




| N° | P1 |
|---|---|
| 1 | La capacité ultime du poteau n'est pas satisfaisante. |
| 2 | Le pourcentage des armatures = 6,28% est supérieure à 5,00% |
| 3 | Le poteau ne satisfait pas les normes de la tenue au feu. |

A travers ces calculs, nous avons déterminé que la section envisageable du poteau est 40x70 cm




| Description | N [kN] | My [kN*m] | Mz [kN*m] |
|---|---|---|---|
| 1.35Poids propre+1.35Cloisons+1.35 | 321,16 | 42,90 | 266,19 |
| 1.35Poids propre+1.35Cloisons+1.35 | 321,16 | -51,09 | -138,05 |
| 1.35Poids propre+1.35Cloisons+1.35 | 321,16 | -113,75 | -342,59 |
| 1.35Poids propre+1.35Cloisons+1.35 | 110,11 | 100,13 | 482,19 |
| 1.35Poids propre+1.35Cloisons+1.35 | 110,11 | -84,39 | -248,83 |
| 1.35Poids propre+1.35Cloisons+1.35 | 110,11 | -207,40 | -621,20 |
| 1.00Poids propre+1.00Cloisons+1.00 | 26,84 | 89,01 | 413,18 |
| 1.00Poids propre+1.00Cloisons+1.00 | 26,84 | -71,16 | -213,04 |
| 1.00Poids propre+1.00Cloisons+1.00 | 26,84 | -177,91 | -532,39 |

➢ Note de calcul dérivée du calcul dans Robot RSA

# 1 Niveau:

- Nom : Indéfini
- Cote de niveau : 0,45 (m)
- Tenue au feu : 3/2 h
- Fissuration : peu préjudiciable
- Milieu : non agressif

# 2 Poteau: Poteau P2 Nombre: 1

## 2.1 Caractéristiques des matériaux:

- Béton : fc28 = 20,00 (MPa) Poids volumique = 2501,36 (kG/m3)
- Aciers longitudinaux : type HA 400 fe = 400,00 (MPa)
- Armature transversale : type RL 235 fe = 235,00 (MPa)

## 2.2 Géométrie:

2.2.1 Rectangle 40,0 x 70,0 (cm)
2.2.2 Epaisseur de la dalle = 0,20 (m)
2.2.3 Sous dalle = 4,00 (m)
2.2.4 Sous poutre = 3,60 (m)
2.2.5 Enrobage = 3,0 (cm)

## 2.3 Hypothèses de calcul:

- Calculs suivant : BAEL 91 mod. 99
- Dispositions sismiques : non
- Poteau préfabriqué : non
- Tenue au feu : forfaitaire
- Prédimensionnement : oui
- Prise en compte de l'élancement : oui
- Compression : avec flexion
- Cadres arrêtés : sous plancher
- Plus de 50% des charges appliquées: : après 90 jours

## 2.4 Chargements:

| Cas | Nature | Groupe | N (kN) | Fy (kN) | Fz (kN) | My (kN*m) | Mz (kN*m) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poids propre | | permanente | (poids propre) | | 251 | 89,70 | -269,57 | |
| 67,68 | 12,11 | 118,01 | | | | | | |
| Cloisons | permanente | (avant cloisons) | 251 | 110,86 | 0,11 | -4,65 | -4,72 | -0,31 |
| permanente | | permanente | | | 251 | 37,34 | -178,99 | 53,01 24,39 |
| 78,23 | | | | | | | | |
| d'exploitation | | d'exploitation | | | 251 | -140,70 | -331,22 | 100,59 38,15 |
| 144,74 | | | | | | | | |

## 2.5 Résultats théoriques:

### 2.5.1 Analyse à l'ELU

Combinaison défavorable: 1.35Poids propre+1.35Cloisons+1.35permanente+1.50d'exploitation (B)

Efforts sectionnels:
Nsd = 110,11 (kN) Msdy = -207,40 (kN*m) Msdz = -620,63 (kN*m)
Efforts de dimensionnement:
noeud inférieur
N = 110,11 (kN) N*etotz = -207,40 (kN*m) N*etoty= -621,20 (kN*m)

| Excentrement: | | ez (My/N) | ey (Mz/N) |
|---|---|---|---|
| statique | e0: | -188,4 (cm) | -563,7 (cm) |
| due au montage | ea: | 0,0 (cm) | 0,5 (cm) |
| II genre | e2: | 0,0 (cm) | 0,0 (cm) |
| total | etot: | -188,4 (cm) | -564,2 (cm) |

#### 2.5.1.1. Analyse détaillée-Direction Y:

##### 2.5.1.1.1 Analyse de l'Elancement

Structure sans possibilité de translation

| L (m) | Lo (m) | λ | λlim | |
|---|---|---|---|---|
| 4,20 | 4,20 | 20,78 | 87,34 | Poteau peu élancé |

λ < λlim
20,78 < 87,34Poteau peu élancé

$$\lambda_{\lim} = \max\left\{25; \frac{15}{\sqrt{\nu_u}}\right\} \quad \nu_u = \frac{|N_{Sd}|}{A_c \cdot f_{cd}}$$ 4.3.5.3.5(2)

##### 2.5.1.1.2 Analyse de flambement

M2 = 100,13 (kN*m) M1 = -207,40 (kN*m)
Cas: section à l'extrémité du poteau (noeud inférieur), négliger l'influence de l'élancement
Msd = -207,40 (kN*m)
e0 = Msd/Nsd = -188,4 (cm)
ea = 0
etot = e0+ea = -188,4 (cm)

#### 2.5.1.2. Analyse détaillée-Direction Z:

M2 = 481,61 (kN*m) M1 = -620,63 (kN*m)
Cas: section à l'extrémité du poteau (noeud inférieur), négliger l'influence de l'élancement
Msd = -620,63 (kN*m)
e0 = Msd/Nsd = -563,7 (cm)
ea = ν*lo/2 = 0,5 (cm)
ν = 1/(100*h^(1/2)) = 0,00
h = 16,80 (m)
ν >1 / 400
etot = e0+ea = -564,2 (cm)

#### 2.5.2 Ferraillage:

- Coefficients de sécurité
- global (Rd/Sd) = 0,98
- section d'acier réelle A = 125,66 (cm2)

## 2.6 Ferraillage:

**Barres principales:**
- 40 HA 400 20 l = 4,17 (m)

**Armature transversale:**
- 13 Cad RL 235 8 l = 2,12 (m)
  e = 3*0,29 + 10*0,30(m)
- 65 Ep RL 235 8 l = 0,79 (m)
  e = 3*0,29 + 10*0,30(m)
- 169 Ep RL 235 8 l = 0,49 (m)

e = 3*0,29 + 10*0,30(m)

# 3 Quantitatif:

- Volume de Béton = 1,01 (m3)
- Surface de Coffrage = 7,92 (m2)

- Acier HA 400
  - Poids total = 411,49 (kG)
  - Densité = 408,23 (kG/m3)
  - Diamètre moyen = 20,0 (mm)
  - Liste par diamètres:

| Diamètre | Longueur (m) | Poids (kG) |
|---|---|---|
| 20 | 166,80 | 411,49 |

- Acier RL 235
  - Poids total = 64,12 (kG)
  - Densité = 63,61 (kG/m3)
  - Diamètre moyen = 8,0 (mm)
  - Liste par diamètres:

| Diamètre | Longueur (m) | Poids (kG) |
|---|---|---|
| 8 | 162,45 | 64,12 |

## Annexe II-10. Note de calcul de la semelle

Notre étude portera plus précisément sur la semelle S1, qui est en fait un radier partiel.

### a. Géométrie de la semelle

#### i. Section de la semelle

$$\sigma_{sol} \leq \frac{\sum P_{ser}}{S} \Rightarrow S \geq \frac{\sum P_{ser}}{\sigma_{sol}}$$

$P_{ser1} = 481{,}96\ kN$

$P_{ser2} = 783{,}79\ kN$

$P_{ser3} = 641{,}62\ kN$

$P_{ser4} = 173{,}41\ kN$

$$S \geq \frac{481{,}96 + 783{,}79 + 641{,}62 + 173{,}41}{0{,}15}.10^{-3}$$

$S \geq 13{,}87\ m^2$

On prendra $A = B = 4{,}40\ m$

#### ii. Hauteur de la semelle

$$\frac{l_t}{9} \leq h \leq \frac{l_t}{6}$$

$l_t = 2{,}83\ m$

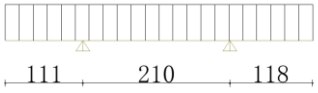
$$\frac{2{,}83}{9} \leq h \leq \frac{2{,}83}{6}$$

$0{,}314 \leq h \leq 0{,}47$

On prendra $h = 40\ cm$

### b. Détermination des armatures

#### i. Sections transversales :




$$M_1 = \frac{q.{l_1}^2}{2}$$

$$M_1 = \frac{150 \times 1{,}1^2}{2}$$

$M_1 = 90{,}75\ kN.m$

$$M_2 = \frac{q.{l_2}^2}{2}$$

$$M_2 = \frac{150 \times 1{,}18^2}{2}$$

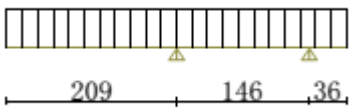
$$M_2 = 104{,}43\ kN.m$$

$$M_{max} = \frac{q.l^2}{8} + \frac{M_1 - M_2}{2}$$

$$M_{max} = \frac{150 \times 2{,}11^2}{8} + \frac{90{,}75 - 104{,}43}{2}$$

$$M_{max} = 76{,}64\ kN.m$$

ii. Sections longitudinales :




$$M_1 = \frac{q.{l_1}^2}{2}$$

$$M_1 = \frac{150 \times 2{,}09^2}{2}$$

$$M_1 = 327{,}60\ kN.m$$

$$M_2 = \frac{q.{l_2}^2}{2}$$

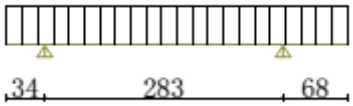
$$M_2 = \frac{150 \times 0{,}36^2}{2}$$

$$M_2 = 9{,}72\ kN.m$$

$$M_{max} = \frac{q.l^2}{8} + \frac{M_1 - M_2}{2}$$

$$M_{max} = \frac{150 \times 1{,}46^2}{8} + \frac{327{,}6 - 9{,}72}{2}$$

$$M_{max} = 208{,}63\ kN.m$$




$$M_1 = \frac{q.{l_1}^2}{2}$$

$$M_1 = \frac{150 \times 0{,}34^2}{2}$$

$$M_1 = 8{,}67\ kN.m$$

$$M_2 = \frac{q.{l_2}^2}{2}$$

$$M_2 = \frac{150 \times 0{,}68^2}{2}$$

$$M_2 = 34{,}68\ kN.m$$

$$M_{max} = \frac{q.l^2}{8} + \frac{M_1 - M_2}{2}$$

$$M_{max} = \frac{150 \times 2{,}83^2}{8} + \frac{8{,}67 - 34{,}68}{2}$$

$$M_{max} = 137{,}16\ kN.m$$

iii. Récapitulatif :

| | | |
|---|---|---|
| Transversalement | $M_a = 104{,}43\ kN$ | $M_t = 73{,}64\ kN$ |
| Longitudinalement | $M_a = 327{,}60\ kN$ | $M_t = 208{,}63\ kN$ |

### c. Détermination des sections d'armatures

Les sections sont déterminées à l'ELU.

On considère pour chaque section

$b = 1\ m$

$h = 0{,}45\ m$

$d = 0{,}9 \times 0{,}4 = 0{,}36\ m$

$\sigma_{bc} = f_{bu} = 11{,}33\ MPa$

$\sigma_{su} = 347{,}83\ MPa$

❋ Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0{,}23 \times 1 \times 0{,}36 \times \frac{1{,}8}{400}$$

$$A_{stmin} = 3{,}726\ cm^2$$

#### i. Nappe inférieure

➢ Disposition Transversale

$M_u = 0{,}10443\ MN.m$

❋ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}10443}{1 \times 0{,}36^2 \times 11{,}33}$$

$$\mu_u = 0{,}071$$

$\mu_u < \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ A$

❋ Pente critique de la droite de pivot

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$$

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}071})$$

$$\alpha_u = 0{,}0.092$$

❋ Calcul du bras de levier limite

$$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$$

$$z_u = 0{,}36 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}092)$$

$$z_u = 0{,}35\ m$$

❋ Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}10443.10^4}{0{,}35 \times 347{,}83}$$

$$A_{st} = 8{,}66\ cm^2$$

❋ Section d'acier retenue

$$A_{st} = 8{,}66\ cm^2$$

On disposera 8 HA 12, espacés de 11,10 cm

➢ Disposition Longitudinale

$M_u = 0{,}32760\ MN.m$

❋ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}32760}{1 \times 0{,}36^2 \times 11{,}33}$$

$$\mu_u = 0{,}223$$

$\mu_u < \mu_l = 0{,}2947 \Rightarrow Pivot\ B$

❋ Pente de la droite de pivot

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$$

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}002})$$

$$\alpha_u = 0{,}320$$

❋ Calcul du bras de levier

$$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$$

$$z_u = 0{,}36 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}320)$$

$$z_u = 0{,}31\ m$$

❋ Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}32760.10^4}{0{,}31 \times 347{,}83}$$

$$A_{st} = 30\ cm^2$$

❋ Section d'acier retenue

$$A_{st} = 30\ cm^2$$

On disposera 10 HA 20, espacés de 9 cm

ii. Nappe supérieure

➢ Disposition transversale

$$M_u = 0{,}07664\ MN.m$$

❋ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}07664}{1 \times 0{,}36^2 \times 11{,}33}$$

$$\mu_u = 0{,}052$$

$$\mu_u < \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ A$$

❋ Pente de la droite de pivot

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$$

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}052})$$

$$\alpha_u = 0{,}067$$

❋ Calcul du bras de levier

$$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$$

$$z_u = 0{,}36 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}067)$$

$$z_u = 0{,}35\ m$$

❋ Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}07664.10^4}{0{,}35 \times 347{,}83}$$

$$A_{st} = 6{,}29\ cm^2$$

❋ Section d'acier retenue

$$A_{st} = 6{,}29\ cm^2$$

On disposera 6 HA 12 espacés de 14,28 cm

➢ Disposition longitudinale

$$M_u = 0{,}20863\ MN.m$$

❋ Moment réduit ultime

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}20863}{1 \times 0{,}36^2 \times 11{,}33}$$

$$\mu_u = 0{,}142$$

$$\mu_u < \mu_{AB} = 0{,}189 \Rightarrow Pivot\ A$$

❋ Pente de la droite de pivot

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$$

$$\alpha_u = 1{,}25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}142})$$

$\alpha_u = 0{,}192$

- Calcul du bras de levier

$z_u = d \times (1 - 0{,}4 \times \alpha_u)$

$z_u = 0{,}36 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}192)$

$z_u = 0{,}33\ m$

- Section d'armatures tendues théorique

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$$

$$A_{st} = \frac{0{,}20863.10^4}{0{,}36 \times 347{,}83}$$

$A_{st} = 18{,}05\ cm^2$

- Section d'acier retenue

$A_{st} = 18{,}05\ cm^2$

On disposera 12 HA 14 espacés de 7,70 cm

# Annexe III
## Calcul du réseau photovoltaïque

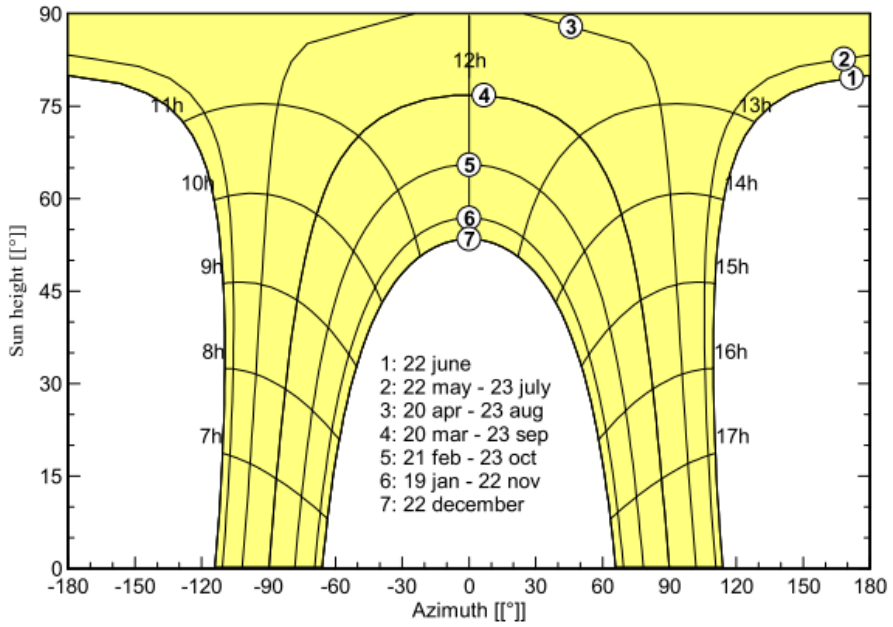
➢ Site d'implantation :

$$Kaya\begin{cases} Latitude: +13.08° \\ Longitude: +1{,}08° \\ Altutude: +353\ m \end{cases}$$

✓ Données météorologiques (Meteonorm 7.1 / PVSYST)

| | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Dec. | Year | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hor. global | 171.9 | 180.3 | 205.2 | 198.8 | 197.1 | 184.2 | 179.3 | 173.3 | 180.0 | 189.8 | 177.8 | 168.1 | 2205.8 | kWh/m².mth |
| Hor. diffuse | 52.9 | 51.1 | 75.4 | 83.2 | 89.4 | 81.2 | 89.2 | 84.0 | 70.4 | 69.9 | 46.2 | 47.0 | 839.9 | kWh/m².mth |
| Extraterrestrial | 263.5 | 261.7 | 313.3 | 316.9 | 328.8 | 315.5 | 326.0 | 326.2 | 307.4 | 297.0 | 261.4 | 254.6 | 3572.5 | kWh/m².mth |
| Clearness Index | 0.652 | 0.689 | 0.655 | 0.627 | 0.599 | 0.584 | 0.550 | 0.531 | 0.585 | 0.639 | 0.680 | 0.661 | 0.617 | |
| Amb. temper. | 24.5 | 27.4 | 31.5 | 34.2 | 34.4 | 31.3 | 29.2 | 27.8 | 28.7 | 31.0 | 28.2 | 25.7 | 29.5 | °C |
| Wind velocity | 3.6 | 3.7 | 3.4 | 3.1 | 3.8 | 4.0 | 3.5 | 3.1 | 2.8 | 2.4 | 2.6 | 3.1 | 3.3 | m/s |

✓ Données solaires




➢ Repères géographiques

✓ Orientation des panneaux : plein sud (azimut 0°)

✓ Inclinaison des panneaux :

$i = 13{,}08 + 1{,}5°$

$i = 14{,}58°$

On prendra $i = 15°$

➢ Appareillage

Suite à un calcul itératif assisté par le logiciel PVSYST pour une installation photovoltaïque couplée au réseau les appareils suivants ont été adoptés.

### ✓ Panneau photovoltaïque

- ✓ Fabricant : Panasonic
- ✓ Modèle : VBHN230SE51
- ✓ Dimensions
  - Longueur : 1,58 m
  - Largeur : 0,798 m
- ✓ Nombre
  - Série : 13
  - Parallèle : 13
  - Total : 169
- ✓ Puissance
  - Puissance nominale : 230 Wp
  - Puissance nominale array : 39 kWc

### ✓ Onduleur

- ✓ Fabricant : KACO new energy
- ✓ Modèle : Powador 40.0 TL3 XL
- ✓ Dimensions
  - Largeur : 0,84 m
  - Hauteur : 1,36 m
  - Profondeur : 0,355 m
  - Masse : 165 kg
- ✓ Puissance
  - Puissance nominale : 36 kWac
  - Ratio puissance : 1,08