

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : Conception et Calcul de Construction

Présenté par : MADJOUR Abdelhalim & ZITOUNI Salim

**Thème : ETUDE D'UNE SOUS STATION DE
TRACTION DU TRAMWAY DE CONSTANTINE**

Sous la direction de : Dr. BOUTELDJA Fathe

Juin 2013

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

RESUME

Le tramway est redevenu aujourd'hui le mode de transport collectif urbain le plus répandu dans le monde. D'un point de vue génie civil, la réalisation du tramway nécessite la construction de plusieurs ouvrages classiques comme par exemple les ponts, passages inférieurs, remblais, murs de soutènement,... et des ouvrages spécifiques : plates-formes des rails, sous-station de traction,... Ces dernières ont été l'objet d'étude dans ce mémoire de Master. Elles sont des bâtiments disposés le long de la ligne du tramway hébergeant les équipements du système de transport en particulier pour l'énergie de traction des tramways et l'énergie auxiliaire des autres équipements électriques. L'étude sera décomposer en deux parties ; une première partie sur la conception et dimensionnement des différents éléments du bâtiment et une deuxième partie sur les aspects énergétiques à savoir le thermique du bâtiment.

SOMMAIRE

RESUME.....	I
SOMMAIRE	II
LISTE DES FIGURES.....	IV
LISTE DES TABLEAUX	V
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET.....	3
1. INTRODUCTION	3
2. BREF APERÇU SUR LE TRAMWAY DE CONSTANTINE	3
3. DEFINITION DES SOUS-STATIONS DE TRACTION.....	5
4. DONNEES RELATIVES A LA SST 06.....	5
4.1. IMPLANTATION.....	5
4.2. CARACTERISTIQUES DES EQUIPEMENTS.....	6
4.3. DONNEES GEOTECHNIQUES	7
4.4. DONNEES THERMIQUES	8
CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE	10
1. INTRODUCTION	10
2. NOTION SUR LE TRAMWAY.....	10
2.1. DEFINITION	10
2.2. STRATEGIE DE L'ETAT ALGERIEN DANS LE DOMAINE DE TRANSPORT URBAIN.....	11
2.3. AVANTAGES DU TRAMWAY	11
2.4. DOMAINES D'UTILISATION DES TRAMWAYS.....	13
2.5. MAINTENANCE D'UN RESEAU DE TRAMWAY.....	13
3. NOTION SUR LE THERMIQUE DU BATIMENT.....	15
3.1. TRANSFERTS THERMIQUES DANS UN BATIMENT	16
3.2. PRINCIPE DU BILAN THERMIQUE.....	18
3.3. METHODE SIMPLIFIEE DE CALCUL DU BILAN THERMIQUE	20
CHAPITRE III : CONFIGURATION ET PREDIMENSIONNEMENT	25
1. INTRODUCTION	25
2. PLANS GUIDES	25
3. CRITERES DE CHOIX DU TYPE DE STRUCTURE	28
4. DIMENSIONS ET CONFIGURATION DU BATIMENT	28
4.1. DIMENSIONS GENERALES	28
4.2. CANIVEAUX ELECTRIQUES.....	29
4.3. ACCES ET PORTES.....	29
4.4. AUTRES DISPOSITIONS.....	30
4.5. DISPOSITION DES ELEMENTS STRUCTURAUX	30
5. DEFINITION DES CHARGES.....	32
5.1. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES	32
5.2. PLANCHERS ET TOITURES	32
5.3. MURS EXTERIEURS.....	33
5.4. NEIGE.....	33

5.5. ACTIONS THERMIQUES.....	33
5.6. ACTIONS DU VENT	33
6. PRE-DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS	34
6.1. POUTRES.....	34
POUTRES 1 (PR1) :.....	34
6.2. POTEAUX.....	35
6.3. LE PLANCHER.....	36
CHAPITRE IV : MODELISATION ET DIMENSIONNEMENT	38
1. INTRODUCTION	38
2. MODELISATION DE LA STRUCTURE	38
2.1. DEFINITION DE LA GEOMETRIE	38
2.2. INTRODUCTION DES CHARGES	39
2.3. COMBINAISONS DES CHARGES	40
2.4. RESULTATS DE CALCUL.....	42
2.5. FERRAILLAGE DES ELEMENTS.....	43
3. ETUDE DYNAMIQUE	45
3.1. DEPLACEMENTS MAX DE LA STRUCTURE	47
3.2. MODES PROPRES DE VIBRATION.....	48
CHAPITRE V : BILAN THERMIQUE	49
5.1. INTRODUCTION	49
5.2. DONNEES RELATIVES AU BILAN THERMIQUE	49
5.2.1. LOCALISATION (CONSTANTINE)	49
5.2.2. CONDITIONS CLIMATIQUES	49
5.2.3. ORIENTATION DES PAROIS	49
5.2.4. COULEUR DE LA SURFACE EXTERIEURE.....	50
5.3. CARACTERISTIQUES DES PAROIS DU BATIMENT	50
5.3.1. PLANCHER	50
5.3.2. MURS	51
5.3.3. PORTES.....	51
5.4. CALCUL DU BILAN THERMIQUE.....	51
5.4.1. CALCUL DE COEFFICIENT DE RAYONNEMENT	52
5.4.2. CALCUL DE L'APPORT PAR TRANSMISSION ET PAR RAYONNEMENT	52
A) MUR EST.....	53
B) MUR OUEST	54
C) MUR SUD	55
D) MUR NORD.....	56
E) PLANCHER.....	57
F) PORTES 1 ET 2 COTE SUD.....	58
G) PORTE 3 COTE EST.....	59
5.5. CALCUL DE LA CHARGE CALORIFIQUE TOTALE.....	60
CONCLUSION GENERALE	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	62
ANNEXES.....	63
1. RAPPORT DE STAGE.....	63
2. TABLEAUX : BILAN THERMIQUE.....	64

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE LA LIGNE DU TRAMWAY DE CONSTANTINE	4
FIGURE 2 : POSITION DE LA SST06 (PLAN DE MASSE DU COMPLEXE ZOUAGHI)	6
FIGURE 3 : GRANULOMETRIE DE LA GNT	8
FIGURE 4 : ANCIEN (1932) ET NOUVEAU (2002) TRAMWAY DE LA VILLE DE BILBAO	10
FIGURE 5 : PHOTO D'UN TRAMWAY TOURISTIQUE.....	13
FIGURE 6 : TRANSFERT DE LA CHALEUR PAR CONDUCTION	16
FIGURE 7 : TRANSFERT DE CHALEUR PAR RAYONNEMENT	17
FIGURE 8 : PLAGE DES LONGUEURS D'ONDES ELECTROMAGNETIQUES.....	17
FIGURE 9 : TRANSFERT DE LA CHALEUR PAR CONVECTION.....	18
FIGURE 10 : BILAN THERMIQUE EQUILIBRE	18
FIGURE 11 : BILAN THERMIQUE DESEQUILIBRE.....	19
FIGURE 12 : DIFFERENTS APPORTS DE CHALEUR D'UN LOCAL.....	19
FIGURE 13 : TRANSMISSION DU RAYONNEMENT SOLAIRE PAR UN MUR (PAROI OPAQUE)	21
FIGURE 14 : FACTEUR DE RAYONNEMENT « S »	22
FIGURE 15 : TRANSMISSION DU RAYONNEMENT SOLAIRE PAR UN VITRAGE.....	22
FIGURE 16 : PLAN D'IMPLANTATION DES EQUIPEMENTS.....	26
FIGURE 17 : PLAN DE CHEMINEMENTS (LIAISON EN CANIVEAU, AU SOL ET EN AERIEN).....	27
FIGURE 18 : LA DISPOSITION DES ELEMENTS STRUCTURAUX.....	31
FIGURE 19 : FORME ET CONSTITUTION DU PLANCHER	32
FIGURE 20 : DIMENSIONS DU PLANCHER EN CORPS CREUX.....	37
FIGURE 21 : MODELISATION DE LA SOUS-STATION.....	38
FIGURE 22 : CREATION DES BARDAGES.....	39
FIGURE 23 : VENT GENERE AUTOMATIQUEMENT SUR ROBOT.....	39
FIGURE 24 : INTRODUCTION DU GRADIENT THERMIQUE	40
FIGURE 25 : DEFINITION DES COMBINAISONS SUR ROBOT.....	42
FIGURE 26 : EXEMPLE DE RESULTAT GRAPHIQUE ROBOT.....	42
FIGURE 27 : FERRAILLAGE DES ELEMENTS PAR EXPERT	43
FIGURE 28 : FERRAILLAGE LONGITUDINAL DES POUTRES	43
FIGURE 29 : CROQUIS DE FERRAILLAGE DES POUTRES (L=6M).....	44
FIGURE 30 : CROQUIS DE FERRAILLAGE DES POUTRES (L=12M)	44
FIGURE 31 : CROQUIS DE FERRAILLAGE DES POTEAUX.....	45
FIGURE 32 : ORIENTATION DES PAROIS DU BATIMENT.....	49

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES DES EQUIPEMENTS DU LOCAL NRJ.....	7
TABLEAU 2 : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DU TERRAIN.....	7
TABLEAU 3 : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE LA GNT	8
TABLEAU 4 : DONNEES THERMIQUES INTERNES	9
TABLEAU 5 : CHOIX DES CONDITIONS D'AMBIANCE.....	20
TABLEAU 6 : CARACTERISTIQUES DE QUELQUES CLIMATS	21
TABLEAU 7 : VALEURS DU COEFFICIENT D'ABSORPTION « A »	23
TABLEAU 8 : VALEURS DU FACTEUR DE REDUCTION « G ».....	23
TABLEAU 9 : TAUX DE RENOUVELLEMENT D'AIR EN FONCTION DU TYPE DE LOCAL	23
TABLEAU 10 : RELATION ENTRE L'ACTIVITE ET LA TEMPERATURE INTERIEURE	24
TABLEAU 11 : CHALEUR DEGAGEE PAR QUELQUES APPAREILS ELECTRIQUES.....	24
TABLEAU 12 : VALEURS DES CHARGES PERMANENTES.....	33
TABLEAU 13 : COEFFICIENTS ψ POUR LES BATIMENTS	41
TABLEAU 14 : SYNTHESE DES RESULTATS DU MOMENT FLECHISSANT MAX	42
TABLEAU 15 : ESPACEMENTS DES ARMATURES TRANSVERSALES.....	43
TABLEAU 16 : MODES PROPRES DE VIBRATION.....	48
TABLEAU 17 : DONNEES RELATIVES A LA LOCALISATION DU BATIMENT (CONSTANTINE)	49
TABLEAU 18 : CONDITIONS CLIMATIQUES (CONSTANTINE)	49
TABLEAU 19 : PARAMETRES LIEES A L'ORIENTATION DU BATIMENT	50
TABLEAU 20 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX CONSTITUANT LE PLANCHER	50
TABLEAU 21 : COEFFICIENTS D'ECHANGE EXTERIEURE / INTERIEURE DU PLANCHER	50
TABLEAU 22 : CARACTERISTIQUES DU BETON CONSTITUANT LES MURS	51
TABLEAU 23 : COEFFICIENTS D'ECHANGE EXTERIEURE / INTERIEURE DES MURS	51
TABLEAU 24 : CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES PORTES	51
TABLEAU 25 : CARACTERISTIQUES THERMIQUE DES PORTES.....	51
TABLEAU 26 : COEFFICIENT DE RAYONNEMENT SOLAIRE.....	52
TABLEAU 27 : BILAN THERMIQUE DU MUR EST	53
TABLEAU 28 : BILAN THERMIQUE DU MUR OUEST	54
TABLEAU 29 : BILAN THERMIQUE DU MUR SUD.....	55
TABLEAU 30 : BILAN THERMIQUE DU MUR NORD	56
TABLEAU 31 : BILAN THERMIQUE DU PLANCHER.....	57
TABLEAU 32 : BILAN THERMIQUE DES 2 PORTES COTE SUD	58
TABLEAU 33 : BILAN THERMIQUE DE LA PORTE COTE EST	59
TABLEAU 34 : BILAN THERMIQUE TOTAL	60

INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

Le tramway est redevenu aujourd'hui le mode de transport collectif urbain le plus répandu dans le monde. La politique Algérienne en matière de transport collectif dans les grandes agglomérations, adoptée depuis quelques années, a retenu ce mode de transport pour nos villes pour sortir de l'impasse des encombrements sur les routes occasionnés par des milliers de véhicules. La forte croissance démographique semble la cause principale de ce désagrément où le transport traditionnelle par bus est devenu inadapté car il contribue à aggraver les conditions de circulation et ne répond pas aux exigences des voyageurs en matière de confort et de sécurité. C'est dans ce contexte que le projet du tramway de Constantine a été élaboré dans le but de désengorger cette ville de très forte densité de population. Il permettra de desservir plusieurs quartiers du côté sud de la ville ainsi que l'université de Mentouri et la cité Zouaghi. C'est dans ce dernier quartier (Zouaghi) qu'une station multimodale de transport de voyageurs inter-wilaya sera réalisée afin de mieux gérer la circulation dans la ville et de permettre une rentabilité maximale du tramway. A proximité de cette station multimodale, un dépôt sera construit pour le stationnement des rames du tramway et leur entretien.

D'un point de vue génie civil, la réalisation du tramway nécessite la construction de plusieurs ouvrages classiques comme par exemple les ponts, passages inférieurs, remblais, murs de soutènement, etc. et des ouvrages spécifiques : plates-formes des rails, bâtiments techniques, etc. Ces derniers (bâtiments techniques) seront l'objet de ce projet de fin d'étude.

L'objectif de ce PFE sera donc d'étudier un bâtiment d'une sous-station de traction (SST) du tramway de Constantine. Il faut savoir que les SST sont des bâtiments disposés le long de la ligne ou au dépôt. Elles hébergent les équipements du système de transport en particulier pour l'énergie de traction des tramways et l'énergie auxiliaire des autres équipements électriques (armoires électriques, équipements de la voie etc.). L'étude sera décomposée en deux parties ; une première partie sur la conception et dimensionnement des différents éléments du bâtiment et une deuxième partie sur les aspects énergétiques à savoir le thermique du bâtiment.

Dans le premier chapitre de cette étude, nous présentons notre projet en faisant un bref aperçu sur le projet de tramway de Constantine. Ensuite nous fournissons les différentes données de notre projet (plan de situation, caractéristiques des équipements, géotechniques, thermique,...).

Dans le deuxième chapitre, nous présentons une synthèse bibliographique articulée sur deux parties : une partie très succincte sur les tramways et une deuxième, plus détaillée, sur le thermique du bâtiment en particulier le bilan thermique.

Dans le troisième chapitre, nous exposons le travail réalisé pour configurer notre bâtiment et procéder au pré-dimensionnement des éléments de la structure.

Dans le quatrième chapitre, le travail sera focalisé sur la modélisation de notre bâtiment sur Robot. Une fois la modélisation est validée, nous procédons au dimensionnement des différents éléments structuraux.

Le dernier chapitre sera l'objet du bilan thermique.

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale qui résume tout le travail réalisé dans ce projet.

CHAPITRE I

PRESENTATION DU PROJET

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

1. Introduction

Dans ce premier chapitre, nous présentons notre projet de fin d'étude. Tout d'abord, nous allons fournir un court aperçu sur le projet de tramway de la ville de Constantine. Ensuite, nous présentons l'ensemble des données nécessaires à l'élaboration de notre PFE.

2. Bref aperçu sur le tramway de Constantine

La ligne du tramway actuellement en construction à Constantine contient 10 stations d'arrêt. La première station est à côté du stade Ben-Abdelmalek (départ), ensuite le tramway passe par les quartiers Bellvue, Ciloc puis la mosquée Elamir Abdelkadir, à proximité de Kouhil Lakhdar et la zone industrielle Palma où le franchissement de l'oued Rhumel se fera par un pont de 400m de longueur (pont construit en encorbellement). Un peu plus loin, le tram longera l'université Mentouri et Ain elbay pour arriver enfin à son terminus Zouaghi. La figure 1 présente la localisation géographique de cette infrastructure.

Il faut savoir que le projet a bénéficié dernièrement d'une extension de ligne jusqu'à l'aéroport international Mohamed Boudiaf. Une enveloppe financière a été débloquée pour cette extension où les travaux débiteront le mois de juin prochain (2013). Une deuxième extension vers la nouvelle ville Ali Mendjeli va avoir le jour dans les années à venir (projet en cours de validation).

La réalisation de cette infrastructure de transport a été confiée aux groupes PIZZAROTTI & ALSTOM. L'entreprise Italienne PIZZAROTTI a pris en charge l'ingénierie générale ainsi que le génie civil. L'entreprise ALSTOM fournit le système d'exploitation (voies, équipements d'énergie, caténaire, signalisation ferroviaire, télécommunications), les équipements de l'atelier-garage de Zouaghi ainsi que le matériel roulant. Les travaux sont en phase finale (montage des équipements et la signalisation), le projet sera réceptionné au cours du mois de juin 2013.

Parmi les infrastructures construites par PIZZAROTTI on trouve les bâtiments de sous-stations de traction. Ces dernières sont l'objet de notre projet de fin d'étude.

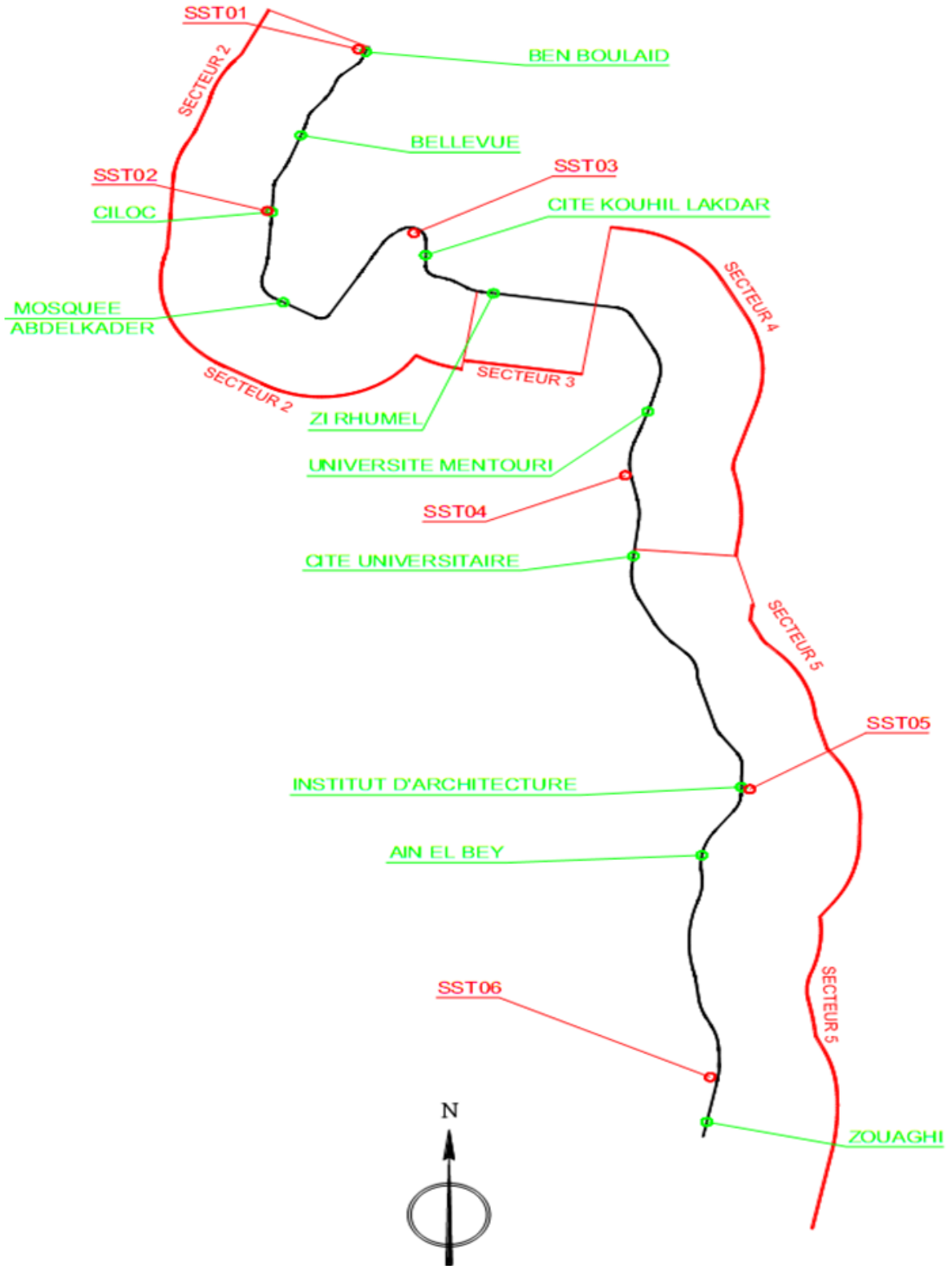


Figure 1 : Localisation géographique de la Ligne du tramway de Constantine

3. Définition des sous-stations de traction

L'alimentation des rames du tramway en énergie électrique est fournie par les sous-stations de traction de 800 à 1 000 kW disposées le long de la ligne tous les 2 à 2,5 kilomètres. Le fonctionnement de ces sous-stations est complètement indépendantes et non gardiennées, mais télé-surveillées et télécommandées par leurs propres automatismes depuis un poste de commande énergie. Il existe ainsi une redondance entre les sources d'alimentation, ce qui permet, pour des opérations de maintenance, d'isoler une sous-station sans que le programme d'exploitation n'en souffre.

Les équipements électriques de ces sous-stations sont hébergés dans des bâtiments. Ces dernières sont considérées comme des bâtiments techniques qui doivent prendre en compte la variabilité temporelle importante des sollicitations et des sources d'énergie. Pour le tramway de Constantine, il y a six (6) sous-stations de SST 01 à SST 06 (voir figure 1).

Dans notre PFE, on s'intéresse uniquement à la sous station 06 (SST 06) car c'est la sous-station la plus grande et la plus importante des 6 sous-stations existantes.

4. Données relatives à la SST 06

4.1. Implantation

Le bâtiment de la SST 06 est implanté dans l'enceinte du dépôt du complexe de Zouaghi. Ce dépôt est destiné au remisage et à la maintenance du parc de rames du tramway et des installations fixes du réseau ainsi qu'à la gestion et la supervision de l'exploitation du réseau. Le complexe comprend les six bâtiments suivants :

- bâtiment de remisage,
- bâtiment principal pour la maintenance du matériel roulant et des installations fixes,
- Bâtiment hébergeant la station de service et grand lavage,
- Bâtiment de la SST 06,
- Bâtiment de poste de garde.

Le plan de masse suivant indique la position de la SST 06 (figure 2).

La SST 06 contient deux groupes de traction, l'un pour la traction en ligne des rames et l'autre pour la traction au dépôt. Le bâtiment de la SST 06 est composé de deux locaux indépendants à savoir :

- le local du Sous-Système énergie (NRJ) hébergeant les équipements électriques pour l'énergie de traction des tramways et l'énergie auxiliaire,
- le local concessionnaire hébergeant les équipements des concessionnaires, le Coffret Courants Vagabonds (CCV) et l'armoire d'éclairage public.

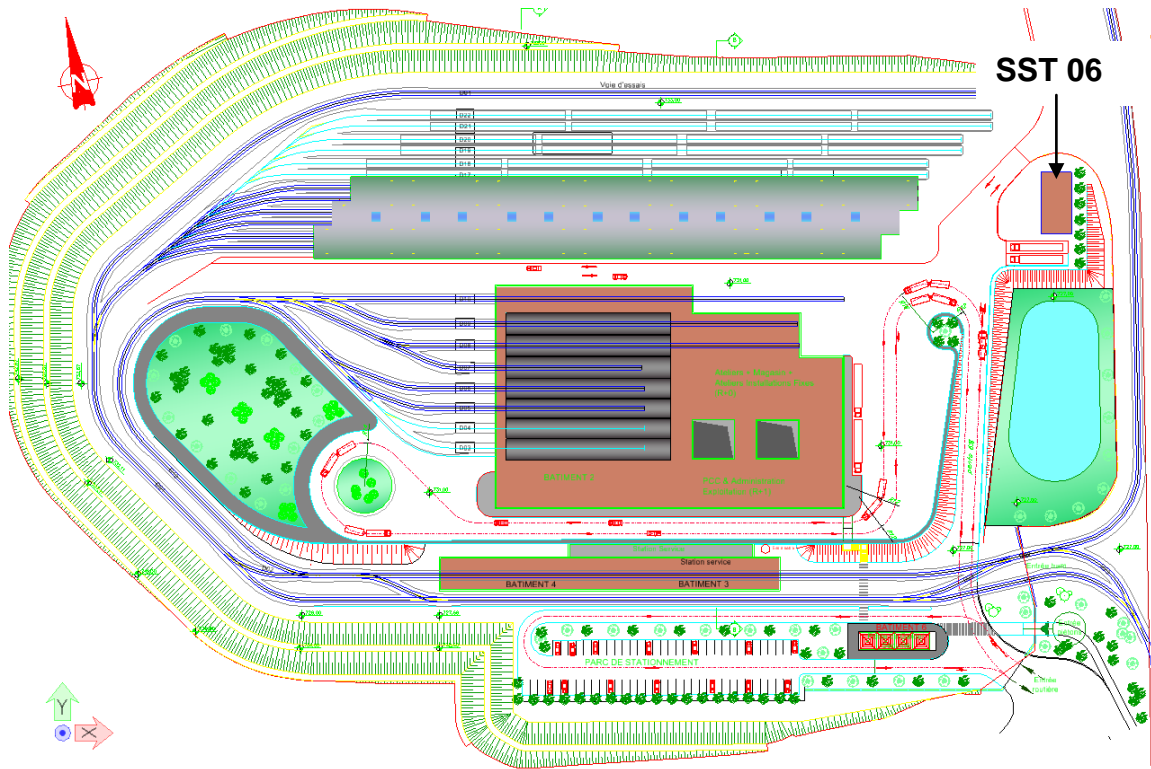


Figure 2 : Position de la SST06 (plan de masse du complexe Zouaghi)

Dans notre PFE, on s'intéresse particulièrement au local NRJ qui abrite :

- Equipements tramway :
 - Equipements distribution haut tension,
 - Equipements production et distribution énergie de traction,
 - Equipements production et distribution énergie basse tension auxiliaires,
 - Equipements de contrôle/commande et de communication.
- Equipements services auxiliaires : équipements de distribution basse tension et de contrôle commande (Détection incendie, contrôle d'accès, éclairage, ventilation, climatisation, pompe d'assainissement),
- Coffret Télécom Transport Information Solutions avec téléphone.

4.2. Caractéristiques des équipements

Les équipements électriques du local NRJ sont nombreux et divers. Ils sont rangés dans des armoires métalliques de forme polygonale. Les caractéristiques des principaux équipements sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Le local comporte également des coffrets d'éclairage, télécom + téléphone mural, équipements de sécurité, surveillance isolement.

Désignations	Nombre	Dimensions (hauteur x longueur x largeur)	Poids total (kg)
Transformateur traction 1000 kVA	2	2,91 x 2,95 x 1,7	5458 x 2
Transformateur auxiliaire 2000 kVA	1	2,65 x 2,82 x 1,82	6360
Interrupteur en service	2	2,25 x 1,4 x 0,55	250 x 2
Disjoncteur haute tension du redresseur 1	1	2,33 x 1,4 x 1	780
Disjoncteur haute tension du redresseur 2	1	2,25 x 1,4 x 1	610
Protection transformateur auxiliaire	1	2,25 x 1,4 x 1	610
Tableau de distribution traction	1	2 x 0,8 x 0,8	500
Interrupteur de secours télécommande dépôt	1	1,55 x 1,5 0,5	250
Disjoncteur ultra rapide	1	2,3 x 1,2 x 0,45	390
Redresseur 12 pulses 900 kW	1	2,2 x 1,6 x 1,4	600
Armoire arrêt d'urgence	1	2 x 0,8 x 0,8	200
Armoire contrôle commande	1	2 x 0,8 x 0,8	150
Tableau général basse tension	1	2,23 x 4,36 x 0,8	3500
Alimentation sans interrupteur	2	2,13 x 0,81 x 0,7	770
Armoire batterie 1	1	2,13 x 1 x 0,81	250
Armoire batterie 2	14	1,93 x 1 x 0,8	16800
Armoire batterie 3	1	2,13 x 0,81 x 0,7	150
Armoire batterie 4	2	1,93 x 0,8 x 0,7	200
Coffret des négatifs	2	0,75 x 0,75 x 0,42	50 x 2
Disjoncteur ultra rapide	4	2,3 x 1,2 x 0,45	390 x 4
Redresseur 12 pulses 900 kW	1	2,2 x 1,6 x 1,4	600

Tableau 1 : Caractéristiques des équipements du local NRJ

4.3. Données géotechniques

Les campagnes de reconnaissances géotechniques réalisées en 2006 et 2008 ont permis de définir la stratigraphie des différentes couches du sol au niveau du dépôt où le bâtiment de la SST 06 est construit. Les mesures effectuées ont fournies les principales caractéristiques géotechniques du terrain. Les essais réalisés sont :

- Forages carottés
- Forages à la tarière
- Essais pressiométriques
- Essais au pénétromètre statique
- Essais à la plaque

Dans le tableau ci-dessous ont a synthétisés les résultats des différentes investigations menées pendant les deux campagnes d'essais.

Profondeur (m)	Nature	γ (kN/m ³)	Cu (kPa)	C' (kPa)	φ' (°)	PI (MPa)	Pf (MPa)	E (MPa)
0 – 2	UG1	17	0	0	30	0,6	0,3	8,5
2 – 4	UG2	18	200	10 – 15	26	1,0	0,5	40
4 – 6						1,5	0,6	72,5
6 – 8						1,8	0,8	72,5
8 - 10						2,8	1,0	70
10 – 15	UG3	20	0	0	30	1,9	1,2	36

Tableau 2 : Principales caractéristiques géotechniques du terrain

UG1 : signifie Unité Géotechnique 1 qui représente le remblai / terre végétale.

UG2 : signifie Unité Géotechnique 2 qui représente les couches à granulométrie fine prévalent de type argileuse-limoneuses, limoneuse-argileuse ou argileuse-marneuse. Elle est donc caractérisée par une fraction cohésive dominante.

UG3 : signifie Unité Géotechnique 3 qui représente les couches caractérisés par une fraction incohérente principales, de type sableuse – limoneuse et sableuse – limoneuse – graveleuse. Cette unité est présente localement comme lentilles d'épaisseur métrique.

Selon les mesures piézométriques exécutées pendant les deux campagnes d'essais, l'altitude de la nappe a été fixée à 7 – 8 m de profondeur à partir du terrain naturel.

Il faut préciser que le bâtiment de la SST 06 n'a pas été implanté directement sur le terrain naturel mais sur un remblai d'environ 5m de hauteur composé d'une grave non traitée (GNT) 0/31,5 dont ses caractéristiques sont présentées ci-dessous. L'origine de cette grave est la carrière ENG Bounouara.

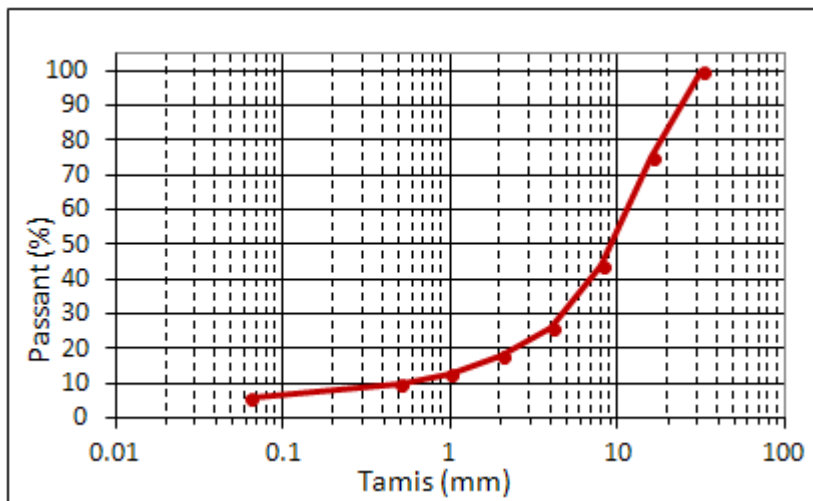


Figure 3 : Granulométrie de la GNT

Essais	Valeur
Equivalent de sable (ES)	48%
Valeur de bleu (VBS)	0,18
Poids volumique sec optimum Proctor normal ($\gamma_{d\text{OPN}}$)	2,01 kN/m ³
Teneur en eau optimum Proctor normal (w_{OPN})	5,5%

Tableau 3 : Principales caractéristiques de la GNT

4.4. Données thermiques

Le dégagement calorifique de l'ensemble des équipements du local NRJ sont synthétisés dans le tableau ci-dessous. Il faut savoir que la température ambiante à l'intérieure du local NRJ doit être comprise entre 0 et 40°C. Pour cela, le système de ventilation / climatisation qui va être mis en place doit tenir compte de ces données

ainsi que les données extérieures (ensoleillement, transmission...). Ces derniers seront fournis dans la suite de ce rapport de PFE (partie bilan thermique).

Mode de fonctionnement	Puissance calorifique (W)
Normal	49000
Surcharge d'une durée de 2h le matin et d'une durée de 5h le soir	64000

Tableau 4 : Données thermiques internes

Nous avons terminé ce premier chapitre, on va passer maintenant à la recherche bibliographique.

CHAPITRE II

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Introduction

Ce chapitre est organisé en deux parties, la première présente des notions générales sur le tramway et la deuxième fournit des notions sur le thermique du bâtiment en particulier le bilan thermique.

2. Notion sur le tramway

2.1. Définition

Le mot Tramway désigne une voie ferrée formée de 2 rails parallèles sur lesquels circulent des véhicules à roues en acier effectuant un service urbain de transport de voyageurs. Par extension, le véhicule de transport à traction électrique circulant sur ces rails, souvent noyés dans la chaussée, et guidé par eux.

Les premières expérimentations de tramways hippomobiles, qui étaient des omnibus sur rails, ont eu lieu à partir de 1830 dans des villes américaines : Baltimore, La Nouvelle Orléans et New York. Dans quelques avenues, des rails de chemin de fer furent posés à même la chaussée. Le résultat permettait, grâce à la moindre résistance à l'avancement d'une roue à bandage en fer sur rails en acier, en moyenne, de diviser par deux le nombre de chevaux attelés à des omnibus roulant sur la terre battue. En contrepartie, les rails étaient saillants et formaient un obstacle pour les piétons.

Rapidement, les promoteurs de ces projets firent inventer une sorte de *rail à gorge* qui était enterré dans la voirie. En France, la première réalisation du chemin de fer américain date de 1855, à Paris, entre la place de la Concorde et le quai de Billy.



Figure 4 : Ancien (1932) et nouveau (2002) tramway de la ville de Bilbao

2.2. Stratégie de l'état Algérien dans le domaine de transport urbain

Les transports en commun ont longtemps constitué le parent pauvre du système de transport algérien. L'embellie financière que connaît aujourd'hui le pays s'est traduite par le développement des infrastructures et de différents modes de transport. Dans cette stratégie, le tramway a pris une bonne part des budgets publics destinés à la modernisation du transport urbain. Le programme d'amélioration du transport urbain depuis 2005 contient 10 milliards de dollars, avec notamment la finalisation des tramways d'Alger, Oran et Constantine et la future réalisation des tramways à travers 14 villes (Annaba, Batna, Bejaia, Biskra, Bechar, Blida, Djelfa, Ouargla, Mostaganem, Sétif, Skikda, Sidi Bel Abbas, Tébessa, Tlemcen).

Cette stratégie d'état a pour objectifs de :

- développer l'offre de transport, pour satisfaire les besoins de mobilité des personnes à l'intérieur des grandes villes, cela va permettre de désengorger les grandes villes de la circulation automobile.
- améliorer la qualité de service par la réduction des temps de parcours.

2.3. Avantages du tramway

- **Par rapport au transport routier :**

L'avantage essentiel du tramway sur rails est la possibilité de constituer des rames de 30 à 60 m de long avec une possibilité de surcharge pouvant atteindre **11 t** par essieu en charge exceptionnelle (8 voyageurs/m²), ce qui est bien au-delà des surcharges acceptables pour un essieu équipé de pneus.

Le confort d'un tramway, circulant sur une voie bien entretenue, est bien supérieur à celui d'un autobus en raison de la qualité de l'état de la table de roulement (rails) parfaitement plane et dépourvue d'aspérités.

Cette possibilité de grandes longueurs permet, à coût de conduite égal, d'offrir un débit pouvant atteindre 7 000 voyageurs par heure et par sens, soit 3 à 4 fois supérieur à celui d'une ligne exploitée par véhicules routiers.

Un tramway, quelle que soit sa longueur, étant parfaitement guidé par ses deux rails, son emprise au sol est inférieure à celle des autobus, en alignement comme en courbe, à cause de l'absence d'effet de mur qui impose pour le croisement de 2 autobus un espace de sécurité supérieur à la lame d'air nécessaire au croisement de 2 rames de tramway. En d'autres termes, un site propre réservé aux tramways a une emprise légèrement inférieure à celle nécessaire à la circulation des autobus.

- **Par rapport au métro traditionnel :**

Difficilement accessible financièrement pour les agglomérations moyennes, le tramway est gagnant, et ce malgré sa vitesse moyenne inférieure, car la possibilité

de construire des stations légères à 200 ou 300 mètres d'intervalle rend les trajets moyens attractifs, le voyageur restant à la surface et ne perdant pas de temps pour accéder aux souterrains et en sortir. La construction d'une ligne de métro à grand débit continue à se justifier dans les très grandes agglomérations. Mais, dans les villes moyennes le coût de la construction d'une ligne de métro représentait un montant environ 5 fois supérieur à celui d'une ligne de tramway sur un tracé équivalent.

- **Le tramway électrique préserve l'environnement :**

Dans le cadre de ce grand défi mondial en ce début du 21^{ème} siècle, les pays industrialisés doivent diviser par 4, d'ici 2050, leurs émissions de gaz à effet de serre, soit une réduction moyenne de 3 % par an. Le tramway permet de répondre parfaitement à cette problématique où la résistance au roulement des véhicules ferroviaires étant 5 fois inférieure à celle d'un véhicule de transport public sur pneumatiques et le rendement d'un moteur thermique, en circulation urbaine, étant 3 à 4 fois inférieur à celui d'un véhicule à traction électrique avec freinage par récupération d'énergie, la consommation globale d'un tram, rapporté à la place offerte, est inégalable et se situe 3 à 4 fois sous le niveau de celle d'un autobus diesel.

- **Les tramways sont des véhicules de transport silencieux :**

- bon effet d'amortissement des vibrations au niveau de la voie grâce à un choix de matériaux résilients dans la construction de la plate-forme,
- meulage préventif des rails,
- roues élastiques,
- tournage régulier des bandages de roue sur un tour en fosse,
- graisseurs de boudins embarqués.

Les niveaux de bruit, à l'extérieur comme à l'intérieur, imposés aux constructeurs sont très exigeants.

- **Les tramways répondent aux besoins des PMR :**

Au niveau de l'accessibilité en station, le tramway s'arrête toujours à la même distance invariable du quai ce qui, en outre, permet aux personnes à mobilité réduite (PMR) (en fauteuil roulant par exemple) de rentrer sans difficulté dans la rame ou d'en sortir.

- **Les tramways sont pratiquement insensibles aux intempéries :**

La pluie nettoie les rails, sa masse par essieu le rend également insensible à la neige et au verglas. En cas de forte chute de neige, il suffit de laisser circuler, durant la nuit, une rame qui se charge de maintenir l'épaisseur de la neige dans des limites qui ne mettent pas en péril l'exploitation du système.

2.4. Domaines d'utilisation des tramways

- **Transport urbain :**

Le tramway est avant tout un moyen de transport urbain, utilisé dans des agglomérations de plus de 100 000 habitants. Mais, la règle n'est pas absolue, surtout lorsque des conditions locales spécifiques (fortes rampes, secteurs piétonniers importants, lieux de cure, etc.) conduisent à privilégier cette technologie.

- **Tramways touristique :**

De plus en plus les tramways sont utilisés pour le tourisme. Des motrices, anciennes et rénovées, sont alors mises à disposition des groupes pour offrir un parcours spécial en visitant les quartiers les plus intéressants.



Figure 5 : Photo d'un tramway touristique

- **Transport de marchandises :**

Jusqu'à la fin des années 1950, beaucoup de compagnies de tramways ont assuré un certain volume de transport de marchandises (Strasbourg), puis ce type de service a été sacrifié au moloch automobile qui guettait, avec impatience, cette activité lucrative.

2.5. Maintenance d'un réseau de tramway

Les installations fixes d'une ligne de tramway se composent essentiellement de la voie, de la ligne aérienne, des sous-stations et du matériel roulant.

- **Voie et plate-forme :**

- surveillance visuelle régulière des désordres susceptibles de se manifester, balayage mécanisé de la plate-forme à l'aide d'une balayeuse du service de la voirie,
- meulage, par un véhicule spécial, de la surface du rail afin d'éliminer l'usure ondulatoire génératrice, de bruit et d'inconfort,

- nettoyage des boîtiers de drainage et nettoyage mécanique de la gorge du rail,
- rechargement, par apport et soudage d'un cordon de métal dur sur la zone de roulement du patin du rail,
- changement occasionnel des cordons d'isolement coulés entre rails et revêtements de surface,
- changement, à long terme (15 à 20 ans) des sections de rails à limite d'usure.

▪ **Intempéries :**

La neige, ou la glace, ne constituent pas d'obstacle pour la circulation des rames. Dans certaines contrées, il est cependant utile de posséder une lame chasse-neige pouvant être fixée à l'avant d'un véhicule de service.

Le givre peut, par contre, se déposer sur la ligne aérienne formant une gangue empêchant la captation du courant de traction. En de pareilles circonstances, on remplace sur un nombre restreint de rames l'archet en carbone de 4 ou 5 rames par un archet en acier, muni de « dents » dont le rôle est de casser la gangue de glace qui s'est formée autour de la ligne aérienne.

▪ **Ligne aérienne :**

Une fois exécutés les réglages de début d'exploitation, le seul entretien régulier sont les observations des conducteurs, du personnel du service des installations fixes et le contrôle régulier de l'état des bandes de carbone insérées sur l'archet des pantographes.

Un appareil portatif sert à contrôler l'état du fil de contact qui, à partir de la limite d'usure annoncée par le fabricant, doit alors être remplacé.

Les interventions sur la ligne aérienne se font avec l'aide d'une voiture-échelle, camion muni d'une plate-forme élévatrice, et d'un véhicule à nacelle pour intervenir sur les ancrages de ligne aérienne sur les façades des immeubles.

▪ **Sous-stations :**

Elles demandent la visite régulière des électriciens du réseau qui contrôlent l'état général des appareils de coupure, ou de commutation, et dépoussièrent les cellules après avoir mis celles-ci hors tension.

▪ **Atelier d'entretien du matériel roulant :**

Il nécessite des aménagements et des équipements particuliers :

- voies munies de fosses de visite pour contrôler l'état des freins mécaniques et les bogies,
- passerelles latérales surélevées pour accéder aux équipements de traction en toiture,

- pont roulant au-dessus des voies sur fosse pour démonter un bloc d'appareils en toiture. Les ponts roulants ne pouvant se déplacer que si la ligne aérienne de la voie est hors-tension,
- tour en fosse à commande numérique pour profiler les bandages de roues,
- pont élévateur, ou un ensemble de colonnes élévatrices, pour changer un bogie,
- cabine de peinture pour un élément de rame et une cabine pour les éléments en polyester.

Le personnel de maintenance doit posséder un certain nombre de valises-test pour contrôler le bon fonctionnement d'un groupe d'ensembles électroniques avec détection des pannes et marche à suivre pour une remise rapide en état.

Afin de rester fidèle à la philosophie de base prévoyant qu'une rame doit, avant tout, rouler car l'immobilisation en atelier est très coûteuse, une politique d'échanges standard d'un bloc d'éléments est privilégiée par rapport à la recherche d'une panne sur une rame immobilisée. Le personnel de maintenance doit pouvoir disposer d'une documentation de maintenance détaillée, parfois contestée par le constructeur du matériel roulant, comprenant, de façon très détaillée, les modes et temps de maintenance pour la dépose et le remontage des éléments à réviser, ainsi que les modes de remise en état des organes déposés, temps de dépose et de remontage inclus.

La zone de remisage sert au garage des rames. Cette zone est précédée généralement par un tunnel de lavage muni de brosses rotatives qui lavent la totalité des faces extérieures, toiture comprise, en évitant la zone du pantographe. Il est complété par une centrale à sable pour remplir les sablières.

Il est indispensable enfin de prévoir, sur le site du dépôt-atelier, une section de voie de 200 m à 400 m afin de pouvoir procéder, sous la tension du réseau, aux essais de traction et de freinage d'une rame sortant d'atelier avant de la renvoyer en ligne.

3. Notion sur le thermique du bâtiment

La thermique du bâtiment est une discipline de la thermique visant à étudier les besoins énergétiques des bâtiments. Elle aborde principalement les notions d'isolation thermique et de ventilation afin d'offrir le meilleur confort thermique aux occupants. Elle aborde aussi les problématiques de fourniture d'énergie pour le chauffage et de production d'eau chaude sanitaire.

L'ensemble des parties d'un bâtiment est soumis aux transferts thermiques, qui sont des échanges de chaleur entre le milieu chaud et le milieu froid (de l'intérieur vers l'extérieur ou le contraire). La connaissance et la maîtrise de ces transferts thermiques permet une gestion de la facture énergétique d'un bâtiment. La diminution de ces échanges thermiques permet de maintenir une température tempérée à l'intérieur du bâtiment en y apportant le moins d'énergie possible. Elle

permet également d'orienter la conception du bâtiment dans un cadre réglementaire tout en visant un compromis entre coût énergétique et confort.

Une étude complète nécessite de distinguer les sources de chaleur internes et externes au bâtiment, c'est-à-dire les parties actives, des parties passives comme les surfaces extérieures, les vitres, la toiture par exemple.

3.1. Transferts thermiques dans un bâtiment

Un échange de chaleur se produit entre deux milieux lorsqu'il existe une différence de température entre ces deux milieux. La chaleur se propage d'un milieu chaud vers le milieu froid par **conduction**, **rayonnement** et **convection**.

L'enveloppe thermique d'un bâtiment est la surface qui sépare le volume intérieur du bâtiment de l'environnement extérieur. Elle est définie par les parois extérieures du bâtiment. C'est autour de cette enveloppe qu'opèrent les **échanges de chaleur**, appelés aussi **transferts thermiques**, qui influenceront sur les besoins de chauffage ou de rafraîchissement du bâtiment.

Les parois du bâtiment transfèrent la chaleur par conduction dans son épaisseur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Le vent accélère l'échange thermique à la surface extérieure des parois par convection. Le soleil chauffe les parois par rayonnement. Les parois chaudes rayonnent aussi la nuit vers l'extérieur.

3.1.1. Transmission par conduction

Ce mode de transmission de la chaleur concerne tous les milieux matériels (fluides ou solides) sans déplacement de la matière c-à-dire l'énergie se propage par contact direct sans déplacement appréciable des molécules (figure 6).

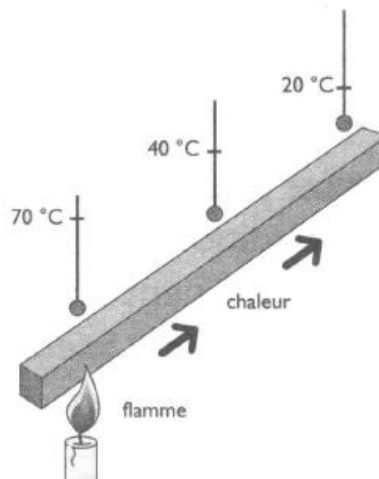


Figure 6 : Transfert de la chaleur par conduction

La relation fondamentale de la transmission de la chaleur par conduction a été proposée par **Fourier** en 1822. Les grandeurs physiques utilisées dans cette relation sont :

- Flux de chaleur à travers une surface noté « ϕ » et exprimé en « W »,
- Densité de flux de chaleur (W/m^2),
- Surfaces isothermes,
- Gradient de température,
- Conductivité thermique, plus un matériau est conducteur de la chaleur, plus sa conductivité thermique est élevée.

3.1.2. Transmission par rayonnement

Le rayonnement thermique est la quantité d'énergie thermique échangée dans un système sous forme d'ondes électromagnétiques. Une onde électromagnétique est un phénomène ondulatoire caractérisé par sa période et sa longueur d'onde.

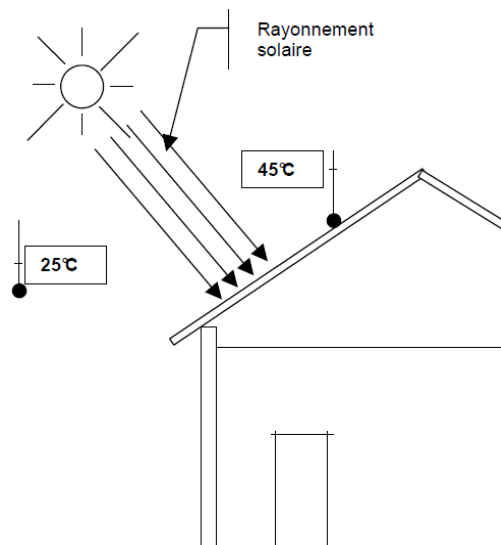


Figure 7 : Transfert de chaleur par rayonnement

Le spectre des ondes électromagnétiques est très large et seule une **petite partie comprise entre $0,1\mu m$ et $100\mu m$** correspond aux rayonnements thermiques. C'est dans ce domaine que la plus grande partie des échanges de chaleur par rayonnement est réalisée.

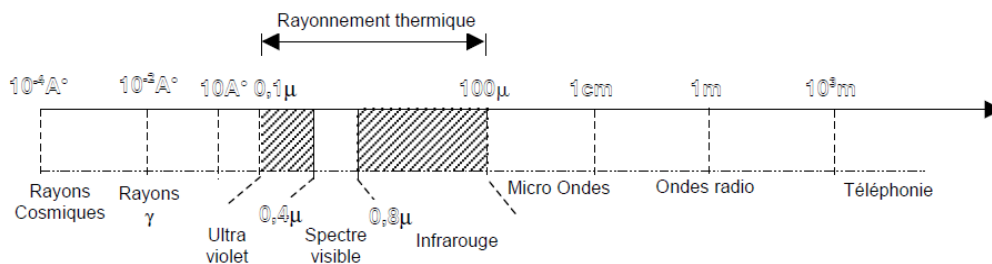


Figure 8 : Plage des longueurs d'ondes électromagnétiques

3.1.3. Transmission par convection

Les échanges de chaleur par convection se produisent entre une paroi solide et un fluide (liquide ou gaz). Dans le cas du bâtiment, les phénomènes convectifs mis en jeu sont extrêmement complexes. Pour la conception d'une installation de

climatisation, on s'intéresse à la convection de manière très globale en utilisant des équations simples.

On distingue deux types de transfert par convection :

- la convection forcée pour laquelle c'est une action mécanique qui est à l'origine du mouvement (ventilateur, pompe, etc.),
- la convection naturelle (libre) où la mise en mouvement est due à des différences de densité au sein même du fluide.

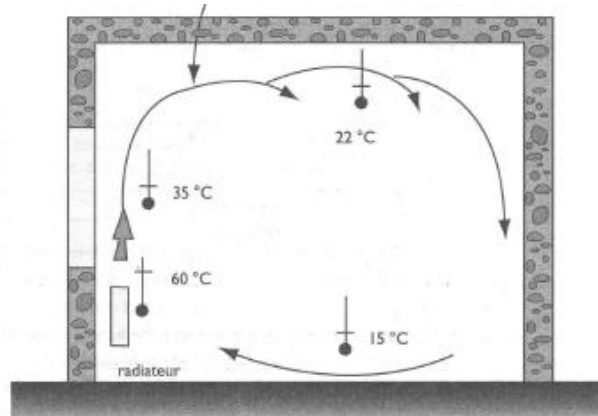


Figure 9 : Transfert de la chaleur par convection

Il faut savoir que le flux de chaleur transmis par convection à l'interface entre la paroi et le fluide est proportionnel à l'écart de température entre la surface de la paroi et le fluide.

3.2. Principe du bilan thermique

La détermination des performances d'une installation consiste à calculer le bilan thermique de cette installation, c'est à dire la puissance calorifique à mettre en œuvre pour maintenir sa température stable (figure 10 & 11).

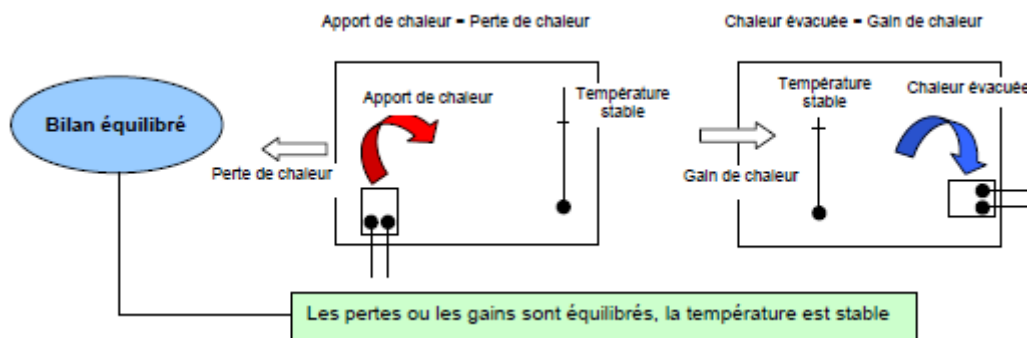


Figure 10 : Bilan thermique équilibré

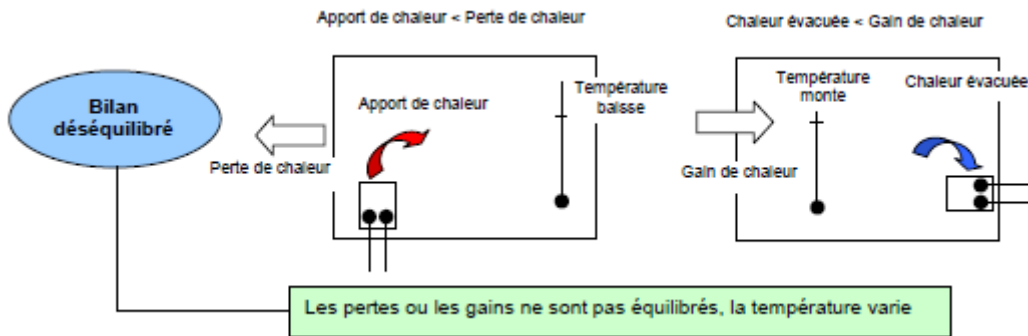


Figure 11 : Bilan thermique déséquilibré

Pour déterminer la puissance des équipements de climatisation (ou chauffage) destiné à maintenir les conditions de confort ou de sécurité dans les locaux desservis, il est nécessaire d'établir un bilan thermique. Dans ce bilan interviennent les différents apports et pertes de chaleur susceptibles de modifier l'équilibre thermique du local.

On classe ces apports selon leur origine (externe ou interne) et leur nature (chaleur sensible ou latente). Les principaux apports sont :

- **Apports externes**
 - apports solaires,
 - apports par transmission (écart de température extérieur/intérieur),
 - apports par infiltration (renouvellement d'air, infiltration).
 -
- **Apports internes**
 - occupants,
 - éclairage,
 - processus industriel,
 - appareils électriques.

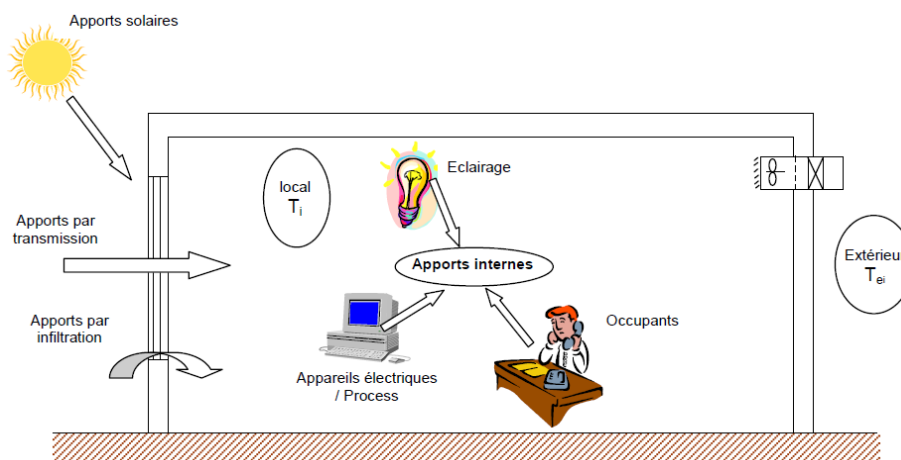


Figure 12 : Différents apports de chaleur d'un local

L'établissement du bilan thermique pour un local est une opération longue et compliquée pour plusieurs raisons :

- les apports internes et externes varient dans le temps, il faut donc effectuer un calcul tenant compte de la variable temps ce qui complique notablement les équations qui régissent le bilan thermique.
- la transmission de la chaleur dans les parois doit prendre en compte une géométrie bi voire tri dimensionnelle : ponts thermiques, liaison avec le sol.
- les variables climatiques : température, ensoleillement, humidité ne sont pas toujours connues avec précision.

Dans la pratique, le calcul du bilan thermique d'un local s'effectue à l'aide de logiciel de calcul de charges (CODYBA). Toutefois, il existe des méthodes de calcul manuel, faisant largement appel à des abaques (méthodes CARRIER, AICVF, etc.). Nous allons dans ce qui suit présenter une méthode simplifiée de calcul manuel d'un bilan thermique. Cette méthode a été utilisée dans notre PFE.

3.3. Méthode simplifiée de calcul du bilan thermique

C'est une méthode de calcul simplifiée qui permet de faire un pré-dimensionnement rapide des équipements de climatisation dans le cadre d'un avant-projet. La méthode proposée tient compte des principaux types d'apport :

- Apports par transmission
- Apports solaire
- Apports internes

Les calculs peuvent être programmés sous Excel. Les différentes étapes de calculs sont explicitées ci-dessous.

3.3.1. Choix des conditions d'ambiance

Elles sont fonction de l'affectation du local et de l'activité des occupants.

Utilisation des locaux	Optimale		Économique	
	Temp. °C	Humidité %	Temp. °C	Humidité %
Logement, Bureaux	23 à 25	40 - 50	26 à 28	45 - 55
Commerces	24 à 26	45 - 50	26 à 28	45 - 55
Sous Station de traction	0 à 40	/	/	/

Tableau 5 : Choix des conditions d'ambiance

3.3.2. Choix des conditions extérieures

Elles dépendent du type de climat, qui est lui aussi fonction de facteurs géographiques (altitude, latitude, éloignement des côtes, etc.).

A titre d'exemple, le tableau suivant fournit les caractéristiques de quelques climats :

Climat	Méditerranéen	Désertique	Équatorial
Temp. sèche / Humidité	33 °C / 50%	47 °C / 15%	35 °C / 65%

Tableau 6 : Caractéristiques de quelques climats

3.3.3. Apports extérieurs

a) Par insolation

L'intensité du rayonnement solaire reçu par une paroi d'orientation donnée dépend de la hauteur de ce dernier et de l'angle formé par sa direction et le plan de la paroi. Ces valeurs angulaires varient selon l'heure de la journée.

▪ **Les parois opaques :**

Le rayonnement solaire ne traverse pas directement la paroi opaque, la part absorbée chauffe la surface extérieure de la paroi dont la température est supérieure à la température extérieure.

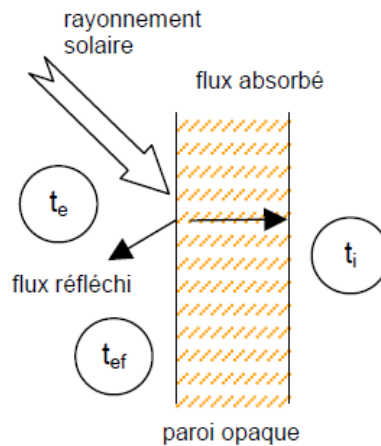


Figure 13 : Transmission du rayonnement solaire par un mur (paroi opaque)

La quantité de chaleur traversant le mur (paroi opaque) dus au rayonnement solaire notée « **R (mur)** » s'écrit :

$$R (mur) = A \times S \times I (mur)$$

A : coefficient d'absorption de la paroi recevant le rayonnement, il dépend de la couleur et de la nature du mur ou du vitrage (tableau 7).

S : facteur de rayonnement indique la part de chaleur absorbée par la surface et transmise à travers le mur au local (figure 14).

I (mur) : rayonnement solaire absorbé sur la surface du mur (W/m²), il dépend de l'orientation du mur et de l'heure pour laquelle le calcul a été effectué et, également, de la latitude sous laquelle se trouve le local. L'heure d'apport solaire maximal est déterminée à l'aide des tables d'orientation (annexe).

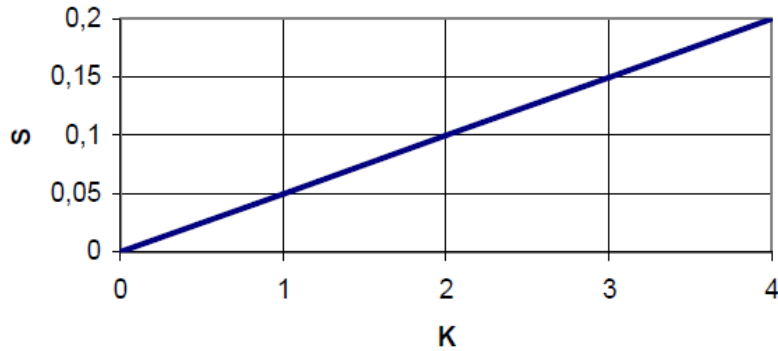


Figure 14 : Facteur de rayonnement « S »

▪ **Les parois vitrées :**

Lorsque le rayonnement solaire rencontre une vitre, le flux calorifique est en partie réfléchi, absorbé, le reste est transmis dans le local.

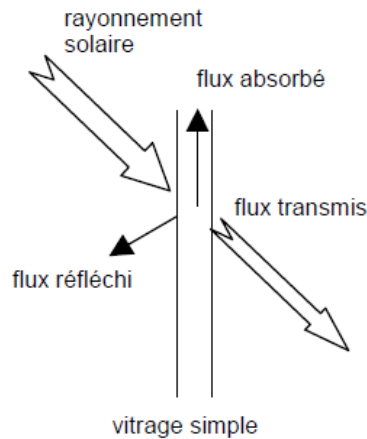


Figure 15 : Transmission du rayonnement solaire par un vitrage

La quantité de chaleur traversant le vitrage dus au rayonnement solaire « **R (vit)** » s'écrit :

$$R (vit) = A \times g \times I (vit)$$

A : coefficient d'absorption du vitrage recevant le rayonnement (tableau 7).

g : facteur de réduction est fonction du mode de protection de la fenêtre contre le rayonnement solaire (tableau 8).

I (vit) : rayonnement solaire absorbé sur la surface du mur définit comme I (mur), il est exprimé en W/m².

Il faut préciser que l'ensemble des tableaux qui fournissent I (vit) et I (mur) sont donnés en annexe.

Couleur et nature de la surface	A
Surfaces très claires (pierre blanche, surface blanche claire ou crème ciment très clair)	0,4
Surfaces foncées (fibrociment, bois non peint, pierre brune, brique, rouge, ciment foncé, staff rouge - vert ou gris)	0,7
Surfaces très foncées (toiture en ardoises foncées, carton bitumé très sombre)	0,9
Verres (fenêtres ou lanternaux) :	
- vitrage simple	1,0
- vitrage double	0,9
- vitrage triple	0,8

Tableau 7 : Valeurs du coefficient d'absorption « A »

Fenêtres protégées par :	Couleur	g
Stores extérieurs en toile	écru	0,28
	aluminium	0,22
Stores intérieurs entièrement baissés	aluminium	0,22
Stores intérieurs à moitié baissés	Blanc ou crème	0,63
Persiennes entièrement baissées à l'intérieur des fenêtres	aluminium	0,58
Persiennes entièrement baissées à l'extérieur des fenêtres	aluminium	0,22

Tableau 8 : Valeurs du facteur de réduction « g »

b) Par renouvellement d'air

L'air pénètre naturellement dans les locaux du fait des défauts d'étanchéité des ouvrants (portes, fenêtres) et de la présence d'orifice de ventilation et mécaniquement par la ventilation mécanique contrôlée (VMC) sous l'action d'un ventilateur. Les taux de renouvellement d'air en fonction du type de local sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Type de local	Logement	Bureaux et locaux administratifs	Locaux d'enseignement	Commerce	Locaux sportifs
Débit ou taux de ventilation	0,5 à 1 volume/heure	20 à 30m ³ /h par occupant	15 à 20m ³ /h par occupant	15 à 25 m ³ /h par occupant	20 à 25m ³ /h par occupant

Tableau 9 : Taux de renouvellement d'air en fonction du type de local

La quantité de chaleur apportée par le renouvellement d'air est donnée par la relation :

$$Q(w) = q m_{as} \times \Delta h(kw)$$

3.3.4. Apports intérieurs

a) Occupants

Selon l'activité et les conditions de température intérieure, le corps humain dégage de la chaleur. Le tableau ci-dessous donne ces valeurs pour deux types d'activité.

Temp. sèche	22°C		24°C		26°C		28°C	
	Cs	CL	Cs	CL	Cs	CL	Cs	CL
Repos	80 W	35 W	70 W	40 W	65 W	45 W	58 W	55 W
Activité modéré	88 W	60 W	78 W	72 W	73 W	83 W	66 W	90 W

Tableau 10 : Relation entre l'activité et la température intérieure

La quantité de chaleur dégagée (sensible : C_S ou latente : C_L) :

$$Q_{(S\ ou\ L)} = N^{bre} \times C_{(S\ ou\ L)} \quad (W)$$

b) Appareils électriques

Lorsqu'ils sont en fonctionnement, les appareils électriques dégagent, sous forme de chaleur, la totalité de la puissance absorbée. Selon le type d'appareil cette chaleur est dissipée uniquement sous forme sensible ou en une combinaison de chaleur sensible et latente.

Désignation	Puissance électrique unitaire	Ch. sensible (W)	Ch. latente (W)	Durée moy. de fonctionnement pour une heure %
Appareil d'éclairage	Indication du constructeur (P _u)	n X (P _u =36 W)	néant	100
Ordinateur	150 à 250 W	150 à 250 W	néant	100
Fer à repasser	300 à 600 W	150 à 300 W	150 à 300 W	100
Plaque de cuisson	500 à 1000 W	250 à 500 W	250 à 500 W	50

Tableau 11 : Chaleur dégagée par quelques appareils électriques

Nous avons finalisé la recherche bibliographique, on va passer maintenant au chapitre III : configuration du bâtiment de la sous-station.

CHAPITRE III

CONFIGURATION ET PREDIMENSIONNEMENT

CHAPITRE III : CONFIGURATION ET PREDIMENSIONNEMENT

1. Introduction

Nous présentons dans ce chapitre le travail réalisé pour la conception et le pré-dimensionnement du bâtiment de la sous station de traction. Dans un premier temps, nous présentons les différentes contraintes à prendre en considération pour le choix de la configuration du bâtiment. Ensuite, le type de structure, ses dimensions générales ainsi que les positions des éléments structuraux seront choisis. Enfin, un pré-dimensionnement de ses éléments est réalisé afin de passer à la phase qui suit (dimensionnement).

2. Plans guides

Pour la conception de notre bâtiment NRJ, nous avons utilisé deux documents établis par des spécialistes en électricité et électronique. Il s'agit du **plan d'implantation des équipements et le plan des cheminements**. Le plan d'implantation des équipements permet de préciser l'emplacement des différents équipements électriques de la sous-station de traction (position en plan des équipements, dimensions, distances entre eux, etc.). Le plan des cheminements permet de visualiser les connexions entre ces équipements (emplacement du passage des câbles électriques : aérien ou sous terrain, cheminement des câbles vers l'extérieur de la sous-station, etc.).

Nous présentons dans ce qui suit les deux plans (équipements et cheminements). Il faut rappeler que les caractéristiques des équipements de la sous-station ont été fournies précédemment dans le chapitre 1 (tableau 1).

Il faut préciser que les cheminements des câbles entre les différents équipements se font selon trois configurations :

- au sol : les cheminements sont noyés dans la plateforme du bâtiment.
- en caniveau : les cheminements sont installés dans des caniveaux accessibles à l'inspection.
- en aérien : les cheminements sont installés sur les murs et/ou le plafond.

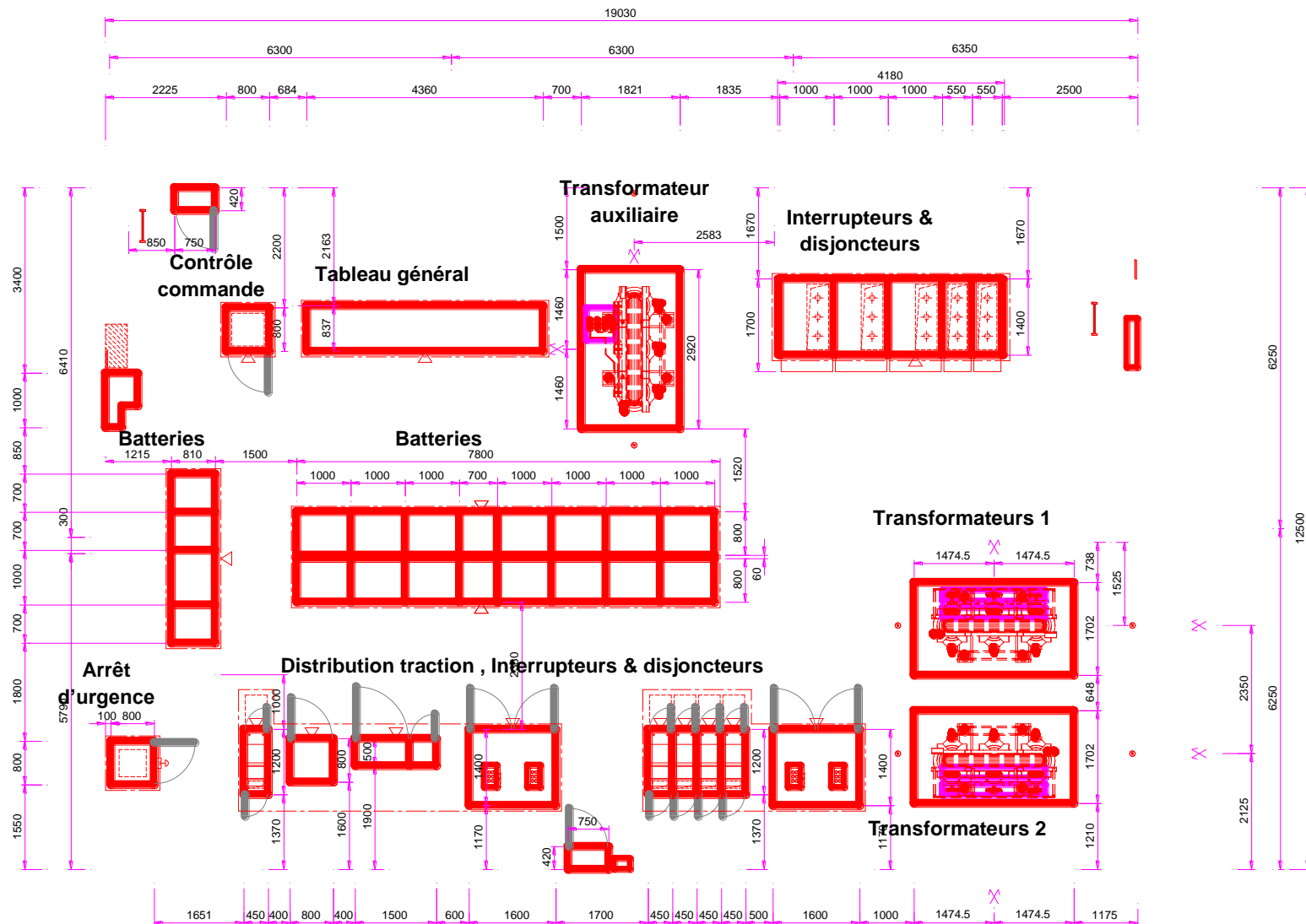


Figure 16 : Plan d'implantation des équipements

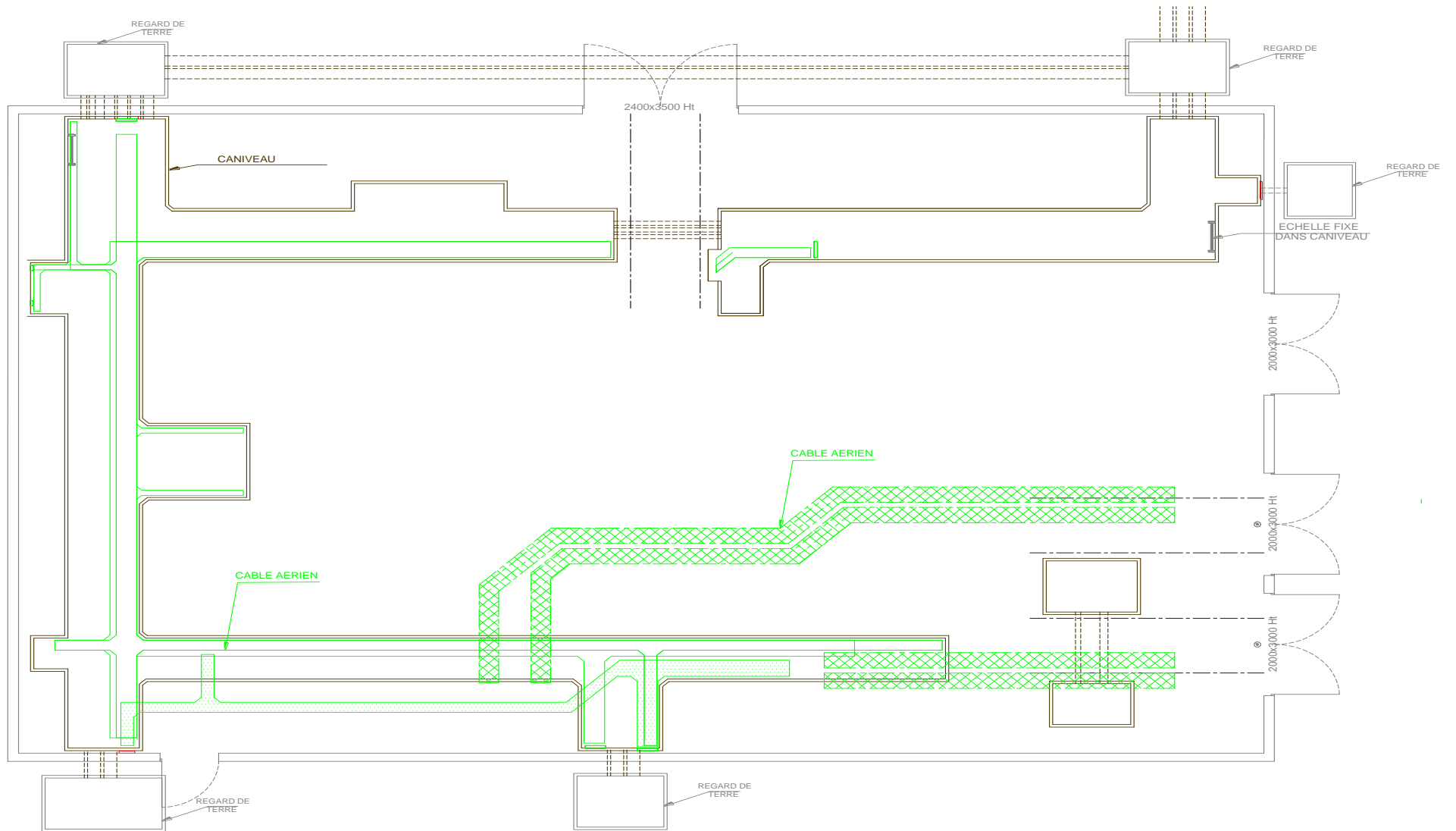


Figure 17 : Plan de cheminements (liaison en caniveau, au sol et en aérien)

3. Critères de choix du type de structure

Le choix d'un type de structure dépend de plusieurs critères, Parmi ces critères :

- Structure peu vulnérable aux dangers potentiels considérés,
- Structure de dimensions permettant de résister de façon appropriée à la disparition accidentelle d'un élément ou d'une partie limitée de la structure ou à un dommage localisé d'ampleur acceptable,
- Eviter autant que possible les systèmes structuraux susceptibles de s'effondrer sans signe préalable avertisseur,
- Structure conçue et exécutée de telle sorte qu'elle ne soit pas endommagée par des événements tels qu'un incendie, une explosion, un choc où les conséquences d'erreurs humaines de façon disproportionnée par rapport à la cause initial,
- Structure facile à réaliser dans un temps court,
- Isolation thermique acceptable vis-à-vis les conditions climatiques extérieurs.

D'après ces différents critères et la future fonction de notre bâtiment, et en prenant en considération les plans guides présentées précédemment, la structure la mieux adaptée est le bâtiment en ***système portique poteaux-poutres en béton armé avec des murs préfabriqués et une dalle corps creux coulée sur prédalle.***

4. Dimensions et configuration du bâtiment

4.1. Dimensions générales

Nous avons choisi un bâtiment de forme rectangulaire avec les dimensions en plan 20 m x 12 m. Ces dimensions permettent un ragréage auto-nivelant sous et devant les équipements électriques et le long du chemin de halage des transformateurs (voir plan des équipements).

La hauteur utile sous poutre est de 5 m par rapport au niveau du sol. Cette hauteur a été choisie pour permettre la pose des transformateurs de traction qui font environ 3m de hauteur et aussi les cheminements aériens des câbles (voir plan de cheminements). Il faut préciser que des rails constitués (UPN120) sont scellés au dallage par des pattes de scellement pour manutention des transformateurs. Un tube en acier d'environ 60mm de diamètre et de 300mm de longueur est posé comme point de tirage pour manutention des transformateurs. Ce tube sera encastré dans la dalle.

Les façades sont réalisées avec des panneaux préfabriqués en béton armé. Les panneaux verticaux s'appuient sur les voiles périphériques de fondation (porte panneaux) et sont fixés sur les poutres portantes de la toiture.

La dalle, les plaques de fermeture des caniveaux, le plafond et les murs seront recouverts d'une peinture anti-poussière et antistatique.

4.2. Caniveaux électriques

Les caniveaux sont réalisés conformément aux plans guide, leurs caractéristiques sont les suivantes :

- ils sont en pente vers l'extérieur afin de les drainer vers les puisards de drainage en fonction des pentes des caniveaux.
- hauteur utile est de 1m minimum.
- ils sont en béton armé pour permettre la fixation des cornières.
- ils sont équipés de cornières métalliques et de plaques de fermeture.
- les plaques de fermeture sont amovibles en béton armé. Dimensions des plaques de fermeture suivant les charges d'exploitation. Leurs dimensions et poids doit permettre leur manutention par 1 personne seule.
- le système de manutention sera à demeure et il comportera soit des poignées métalliques encastrables et coulissantes soit des ouvertures pour une prise de main sans outil.

Il est prévu une étanchéité autour des fourreaux de la multitubulaire pénétrant dans le local NRJ afin d'interdire toute entrée d'eau. En outre, ces fourreaux seront installés en pente vers l'extérieur du bâtiment afin d'éviter toute pénétration des eaux.

4.3. Accès et portes

Pour des raisons de sécurité électrique et de vandalisme, le bâtiment de la sous-station (NRJ) est inaccessible au public. Il est pourvu de plusieurs portes d'accès s'ouvrant sur l'extérieur :

- Portes doubles accès du matériel : nombre de 3, destinées à l'accès des équipements électriques. Chaque porte est positionnée en face des 3 transformateurs.
- Porte simple d'accès du personnel.

Les caractéristiques des portes sont les suivantes :

- Porte constituée d'un matériau très résistant au vandalisme et actes de malveillance (exp : acier)
- Serrure à clé, commune à toutes les portes.
- Dispositif de maintien en position ouverte.
- Degré d'ouverture de porte à 180°.
- Dispositif permettant d'ouvrir la porte, de l'intérieur, par simple pression du corps même si la SST est fermée à clé (barre anti-panique).
- Pour des raisons d'anti-intrusion, les portes sont équipées de charnières disposées à l'intérieur, et sans aucune poignée coté extérieur.

- Système de ferme-porte (groom) pour fermer la porte de façon systématique.
- Affichage sur les portes des consignes de sécurité et de secours et soins aux personnes électrisées (en Français et en Arabe).

4.4. Autres dispositions

L'éclairage intérieur du bâtiment doit assurer l'illumination des faces avant des armoires. Le niveau d'éclairement moyen à l'intérieur est de 500 lux.

L'éclairage de sécurité sera réalisé par des blocs autonomes d'une autonomie d'une heure. Il est prévu une lampe autonome portative avec console murale.

Le bâtiment est équipé de 3 barres de terre principales connectées entre elles et reliées au circuit de terre de fond de fouille.

Le bâtiment est protégé par une détection automatique d'incendie. Des déclencheurs manuels sont installés au niveau des portes de sortie. Un diffuseur sonore d'alarme générale est installé.

Le bâtiment est protégé également par un système anti-intrusion (détecteur magnétique sur les portes d'accès et à l'intérieur). Les informations de la centrale de détection intrusion et incendie sont renvoyées au niveau du poste de commande.

4.5. Disposition des éléments structuraux

Nous avons proposé une structure composée de 10 poteaux et 12 poutres. Les poteaux ont été disposés en prenant considération la position des 3 portes qui permettent de rentrer les équipements et en particulier les transformateurs électriques (voir figure ci-dessous). Concernant les poutres, deux grandes poutres ont été disposées au milieu du bâtiment afin de laisser l'espace vide à l'intérieur pour la disposition libre des équipements. La disposition des éléments structuraux se présente comme suit (figure ci-dessous).

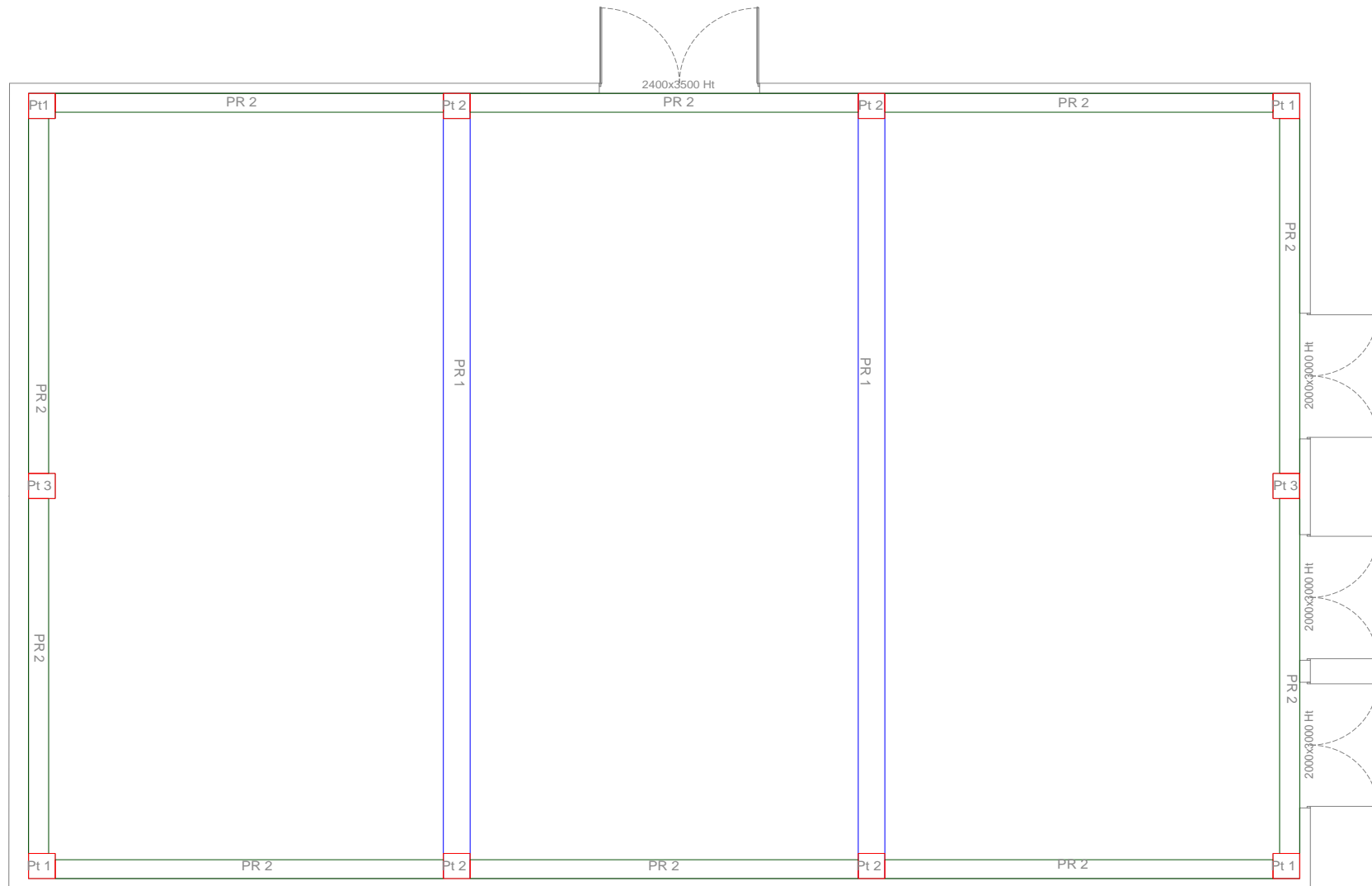


Figure 18 : La disposition des éléments structuraux

5. Définition des charges

5.1. Caractéristiques des matériaux utilisés

Les matériaux utilisés pour la réalisation du bâtiment sont décrits dans la suite.

- Acier ordinaire pour béton armé : Fe 500 MPa
- Béton pour les ouvrages armés simples, les massifs, les regards, murets :
 - C25/30
 - $f_{ck,cyl}$ 25 MPa
 - f_{cm} 33 MPa
 - f_{ctm} 2,6 MPa
 - f_{ctk} 0,05 1.8 MPa
 - f_{ctk} 0,95 3.3 MPa
 - f_{cd} 16,6 MPa
 - f_{ctd} 1,20 MPa
 - E_{cm} 30,5 GPa
- Béton pour l'élévation et les fondations :
 - C30/37
 - $f_{ck,cyl.}$ 30 MPa
 - f_{cm} 38 MPa
 - f_{ctm} 2,9 MPa
 - f_{ctk} 0,05 2.0 MPa
 - f_{ctk} 0,95 3,8 MPa
 - f_{cd} 20 MPa
 - f_{ctd} 1,33 MPa
 - E_{cm} 32 GPa

5.2. Planchers et toitures

Le plancher est composé de prédalles en BA, hourdis, nervures et dalle en BA comme indiqué dans la figure ci-dessous.

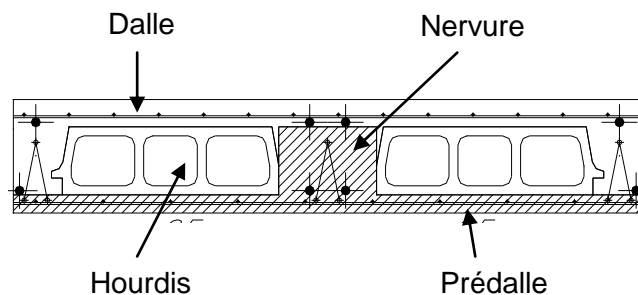


Figure 19 : Forme et constitution du plancher

Les charges permanentes agissantes sur ce plancher sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Définition de la charge	La valeur de charge
Plancher : béton coulé sur prédalles H = 26 (4 +15 + 6)	380 daN /m ²
Forme de pente : 0,15 m x 1800 Kg/m ³	270 daN /m ²
Equipements	80 daN /m ²

Tableau 12 : Valeurs des charges permanentes

Selon l'EC, la charge d'exploitation sur une toiture inaccessible est de : **75 daN /m²**.

5.3. Murs extérieurs

Les murs extérieurs sont constitués de panneaux préfabriqués en béton armé d'épaisseur de 160mm et qui pèsent 400 kg/m².

5.4. Neige

La charge de neige est calculée de la manière suivante :

$$S = \mu \cdot S_k$$

μ est le coefficient de forme, il est fonction de la forme de la toiture, il est égale à 0,8 pour les toitures planes.

S_k est la charge de neige sur le sol, fonction de l'altitude et de la zone de neige.

La zone du projet appartient à la catégorie A, pour cette catégorie S_k vaut :

$$S_k = \frac{0.07 \cdot H + 15}{100}$$

H est l'altitude par rapport au niveau de la mer, dans notre cas H = 700 m

Donc, **$S_k = 0,66 \text{ KN/m}^2$**

La charge de neige vaut donc : **$S = 53 \text{ kg/m}^2$**

5.5. Actions thermiques

La variation saisonnière de température considérée est de = +/- 30 °C avec une température de référence de l'ordre de 20°C. Pour les éléments de structure en béton armé (poutres, poteaux, planchers) un gradient thermique de $\Delta T = +/- 20^\circ\text{C}$ a été adopté pour l'évaluation des effets dus à l'action thermique, ces éléments étant tous protégés.

5.6. Actions du vent

L'évaluation des actions du vent s'exerçant sur les différents bâtiments se base sur les données suivantes :

La zone est de catégorie I : $q_{\text{référence}} = 375 \text{ N/m}^2$

Le terrain est de catégorie III : $k_T = 0,22$; $z_o = 0,30$ m ; $z_{\min} = 8,00$ m.

k_T est le facteur du terrain, z_o est un paramètre de rugosité, z_{\min} est la hauteur minimale.

Le calcul de l'action du vent est effectué séparément pour chacune des directions perpendiculaires aux différentes parois de la construction. Ces actions sont proportionnelles à la projection de la surface considérée dans un plan perpendiculaire à la direction du vent, appelée maître-couple.

Il faut préciser que l'action du vent a été introduite automatiquement sur le logiciel Robot.

6. Pré-dimensionnement des éléments

6.1. Poutres

Critère de rigidité (selon B.A.E.L 91) :

$$L/15 \leq h \leq L/10$$

h : hauteur de la poutre ; L : portée de la poutre entre nus

Condition RPA 2003 :

$h \geq 30$ cm, $b \geq 20$ cm, $h / b \leq 4$

Application Numérique :

Poutres 1 (PR1) :

Pour notre projet on a : **$L = 12$ m = 1200cm**

$$\rightarrow 76,66 \text{ cm} \leq h \leq 120 \text{ cm}$$

Donc on adopte : **$h = 100$ cm et $b \geq 20$ cm, on adopte $b = 40$ cm**

$$\rightarrow h / b = 2,75 \leq 4 \quad \text{condition vérifiée}$$

Poutres 2 (PR2) :

On a: $L = 560$ cm $\rightarrow 37,3 \leq h \leq 56$; on adopte **$h = 50$ cm**

$b \geq 20$ cm, on adopte **$b = 30$ cm**

$$\rightarrow h / b = 1,67 \leq 4 \quad \text{condition vérifiée}$$

Donc les dimensions des deux poutres PR1 et PR2 sont :

Poutre1 (PR1) $\rightarrow (100 \times 40)$ cm² Poutre2 (PR2) $\rightarrow (50 \times 30)$ cm²

6.2. Poteaux

Selon le critère de résistance, l'effort normal ultime N_u agissant sur un poteau doit être au plus égale à la valeur suivante :

$$N_u \leq \alpha [(B_r \cdot f_{c28} / 0,9\gamma_b) + (A \cdot f_e / \gamma_s)]$$

Le B.A.E.L préconisent de prendre la section réduite B_r :

$$B_r \geq \beta \cdot N_u / [(f_{BC} / 0,9) + 0,85 (f_e / \gamma_s) \cdot (A / B_r)]$$

Avec : $f_{BC} = 0,85 \cdot F_{c28} / \gamma_b$

β : coefficient de correction de l'élanement λ des poteaux qui rend les valeurs :

$$\beta = 1 + 0,2 (\lambda / 35) \quad \text{si } \lambda \leq 50$$

$$\beta = (0,85 \lambda^2 / 1500) \quad \text{si } 50 < \lambda < 70$$

B_r : section réduite du poteau (cm^2)

A : section des Armatures comprimé

f_e : limite élastique de l'acier

$$\gamma_b = 1,5 \quad ; \quad \gamma_s = 1,15$$

$$F_{c28} = 30 \text{ MPa} \quad f_e = 500 \text{ Mpa}$$

$\lambda = 35$ pour rester toujours dans le domaine de la compression

$$\beta = 1,2$$

D'après le RPA :

$$A / B_r = 0,8 \% \text{ (zone II a)}$$

Pour les poteaux d'angle (Pt1) :

Poids propre des Poutre 1 (PR1) et poutre 2 (PR2) :

$$P_{p(PR1)} = P_{p(PR2)} = 2500 \times (0,5 \times 0,3 \times 2,8) = 1050 \text{ kg}$$

$$P_p = \text{Poutre 1 (PR1) + poutre 2 (PR2)} = 2100 \text{ kg}$$

$$N = G + Q + P_p = (730 + 75) \times (2,75 \times 2,8) + 2100 = 8298,5 \text{ kg}$$

$$B_r \geq 5492 \text{ mm}^2$$

$$a \geq \sqrt{B_r} + 20 \quad \rightarrow a \geq 94 \text{ mm}$$

Les règles du RPA :

$$\min (a ; b) \geq 25 \text{ cm}$$

$$\min (a ; b) \geq h_e / 20$$

$$1 / 4 \leq b/a \leq 4$$

Donc d'après ces règles, on adopte une section de **(40 x 40) cm²**

Pour les poteaux (Pt2) :

Poids propre des Poutre 1 (PR1) et poutre 2 (PR2) :

$$P_P = P_{PR1} + P_{PR2} = 5500 + 2100 = 7600 \text{ kg}$$

$$N = G + Q + P_P = (730+75) \times (5,5 \times 5,6) + 7600 = 32394 \text{ kg}$$

$$\text{Donc , } Br \geq 19600 \text{ mm}^2$$

$$a \geq \sqrt{Br} + 20 \quad \rightarrow a \geq 160 \text{ mm}$$

D'après les règles du RPA, on adopte une section de **(40 x 40) cm²**

Pour les poteaux (Pt3) :

Poids propre des Poutre 1 (PR1) et poutre 2 (PR2) :

$$N = 144595 \text{ N}$$

$$Br \geq 7942 \text{ mm}^2$$

$$a \geq \sqrt{Br} + 20 \quad \rightarrow a \geq 110 \text{ mm}$$

et on a que les prescriptions du R.P.A :

$$\min (a, b) \geq 25 \text{ cm}$$

$$\min (a ,b) \geq h_e / 20$$

$$1 / 4 \leq b/a \leq 4$$

D'après les règles du RPA, on adopte une section de **(40 x 40) cm²**

Finalement, nos poteaux sont **de même section (40 x 40) cm²**

6.3. Le plancher

La hauteur totale de la section du plancher (corps creux + dalle de compression) est donnée par la formule suivante :

$$h_t \geq (L_{\max} / 22,5)$$

L_{\max} est la plus grande longueur entre nus des poutres ; h_t est la hauteur totale du plancher.

Application Numérique :

$$h_t \geq L_{\max} / 22,5 \cdot \implies h_t \geq 560 / 22,5 = 24,8 \text{ cm}$$

On prend $h_t=25 \text{ cm}$ (4cm prédalle ,15 cm corps creux, 6 cm dalle de compression)

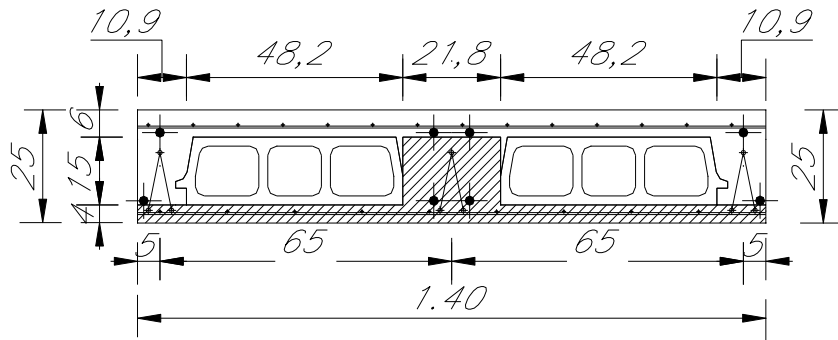


Figure 20 : Dimensions du plancher en corps creux

Après avoir terminé la conception et le pré-dimensionnement des éléments, on va passer maintenant à l'étude détaillée de notre bâtiment (modélisation et dimensionnement).

CHAPITRE IV

MODELISATION & DIMENSIONNEMENT

CHAPITRE IV : MODELISATION ET DIMENSIONNEMENT

1. Introduction

Nous présentons dans ce chapitre la modélisation et le dimensionnement du bâtiment de la sous-station de traction. Nous montrerons dans un premier temps les étapes de la modélisation, puis nous présentons comment introduire les différents charges agissantes sur la structure ainsi que les combinaisons d'actions. Ensuite, nous fournissons les résultats des calculs automatiques ainsi que le ferrailage des éléments.

Ce chapitre a été également l'objet d'une étude dynamique où nous avons déterminé les déplacements maximaux de la structure sous sollicitation sismique. Nous avons analysé ainsi les modes propres de vibration.

2. modélisation de la structure

2.1. Définition de la géométrie

On a utilisé le logiciel « Robot » pour modéliser notre structure.

On a tracé dans un premier temps les lignes de construction afin de faciliter l'introduction des éléments structuraux. Cette étape consiste à entrer les espacements selon les axes « X », « Y » et « Z ». Ensuite, on introduit la forme et les dimensions des sections des poteaux, des poutres et la dalle (corps creux sur prédalle). Une fois terminé, on dessine les poteaux et les poutres en utilisant l'élément barre, et l'élément plaque pour la dalle à corps creux. La figure suivante montre l'image du bâtiment sous Robot après finalisation des opérations :

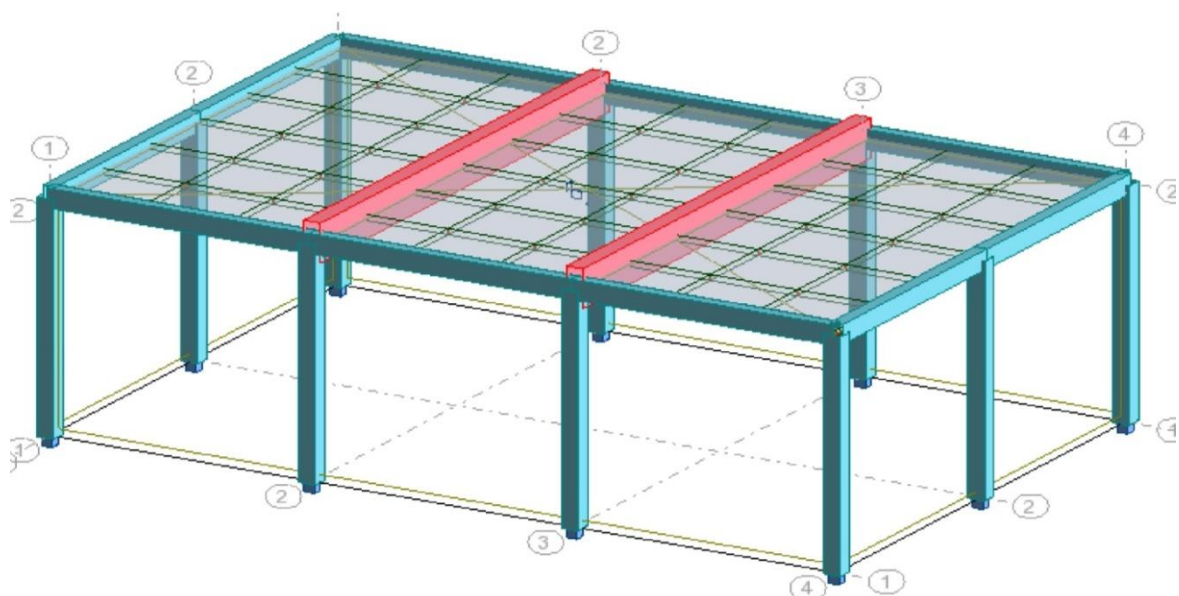


Figure 21 : Modélisation de la sous-station

2.2. Introduction des charges

Les charges définies dans le chapitre III précédent (paragraphe 5) ont été introduit dans Robot. Nous détaillons dans ce qui suit les étapes de la génération automatique du vent sur Robot ainsi que la manière d'introduire la charge thermique.

Dans un premier temps nous avons créé des bardages autour du périmètre du bâtiment et sur le plancher. Ces bardages sont des éléments virtuels qui n'interviennent pas dans la résistance de la structure mais ils facilitent uniquement l'application de la pression du vent sur la structure.

Dans le menu déroulant « charge » on clique sur « autres charges » puis sur « Neige et vent », comme on le voit sur la figure suivante :

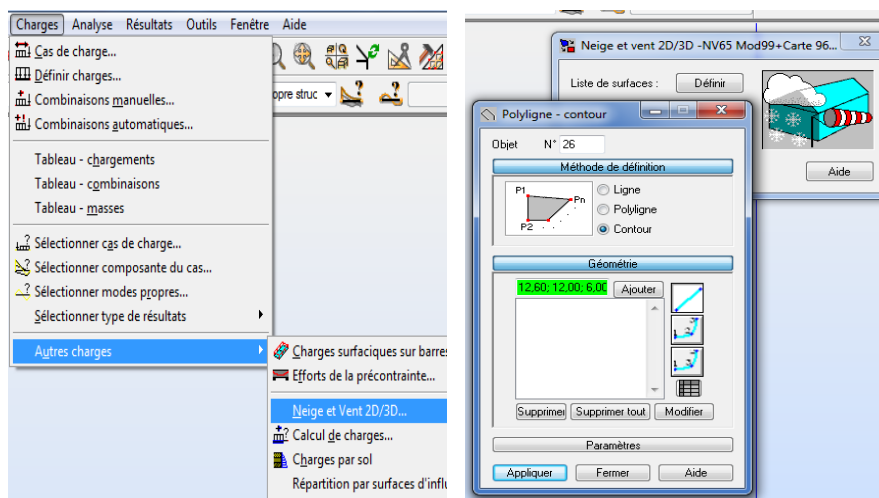


Figure 22 : Création des bardages

Une fois les bardages créés, la fenêtre ci-dessous apparaît. Elle permet d'introduire les directions du vent et le type de sol et la région et l'altitude de la construction. Nous avons choisi une région du sud de la France (climat méditerranéen) qui ressemble à la notre région (Constantine).

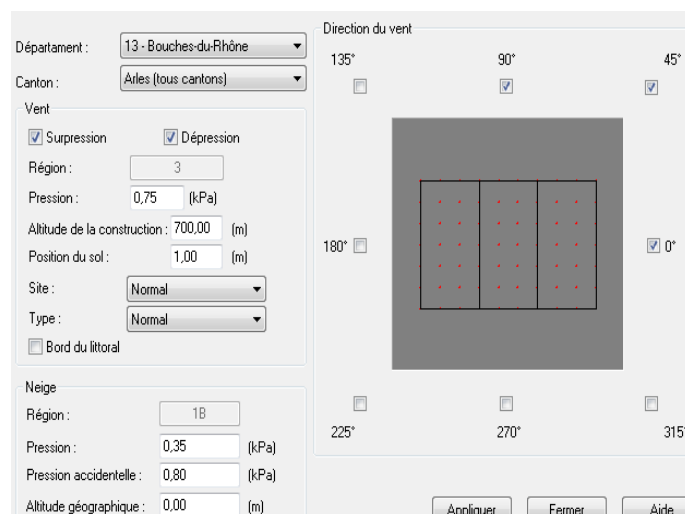


Figure 23 : Vent généré automatiquement sur Robot

En ce qui concerne la charge thermique, le gradient thermique à introduire pour notre cas (sous-station) est de $\Delta T=20\text{ C}^\circ$. On clique une autre fois sur le menu déroulant « charge » puis sur « définir charge », et on choisit l'onglet « barre » pour introduire le gradient thermique aux éléments de type barres (poteaux et poutres) et l'onglet « surface » pour introduire la charge thermique aux éléments plaques (dalle). La figure suivante montre les fenêtres qui apparaissent :

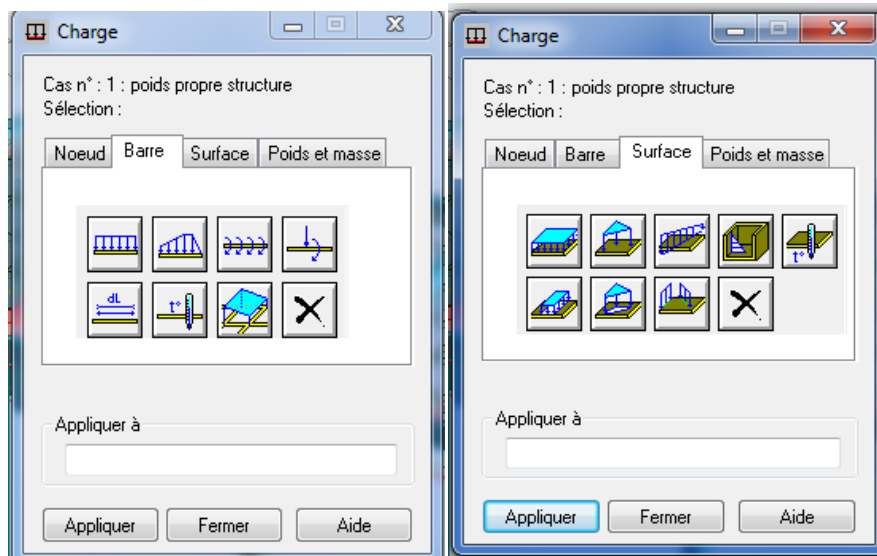


Figure 24 : Introduction du gradient thermique

2.3. Combinaisons des charges

Pour la définition des combinaisons selon l'Eurocode 1, les actions doivent être organisées en 3 catégories à savoir :

Actions permanentes G

Les actions G défavorables (G_{\max}) sont le poids propre de structure, les équipements et forme de pente.

Les actions G favorables (G_{\min}), dans notre cas $G_{\min} = 0$.

Actions variables Q

Il s'agit dans notre cas :

Des charges d'exploitation : surcharge d'exploitation sur la dalle.

Des charges dues aux effets climatiques : vent, neige, température.

Ces actions variables Q interviennent dans toutes les combinaisons d'actions soit comme action variable de base Q_1 , soit comme action variable d'accompagnement Q_i ($i > 1$) selon le cas.

Actions accidentelles A

Pour les bâtiments, c'est l'action due à un séisme, une explosion, un vent extrême, un choc ...etc. Pour notre bâtiment, il y a risque d'incendie et d'explosion.

Les combinaisons d'action selon l'Eurocode 1 sont :

Etat limite ultime :

$$1,35 G_{k,sup} + 1,0 G_{k,inf} + 1,5 Q_{k1} + 1,5 \sum_{i>1} \psi_{0i} Q_{k,i}$$

Situation accidentelle

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ OU } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2i} Q_{k,i}$$

Situation sismique

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + A_{Ed} + \sum_{i>1} \psi_{2i} Q_{k,i}$$

Les valeurs caractéristiques sont définies comme suit :

Actions	Ψ₀	Ψ₁	Ψ₂
Température (hors incendie) dans les bâtiments	0,6	0,5	0,0
Charges d'exploitation des bâtiments	1,0	0,9	0,8
Charges dues à la neige sur les bâtiments	0,6	0,2	0,0
Charges dues au vent sur les bâtiments	0,6	0,5	0,0

Tableau 13 : Coefficients ψ pour les bâtiments

Combinaison états limites de service :

Combinaison caractéristique

$$G_{k,sup} + 1G_{k,inf} + Q_{k1} + \sum_1 \psi_{0i} Q_{k,i}$$

Combinaison fréquente

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2i} Q_{k,i}$$

Combinaison quasi-permanente

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + \sum_{i>1} \psi_{2i} Q_{k,i}$$

Pour introduire les différentes combinaisons sur Robot, on clique toujours sur le menu déroulant « charge » puis sur « combinaison manuelles », et on définit les combinaisons comme le montre la figure suivante :

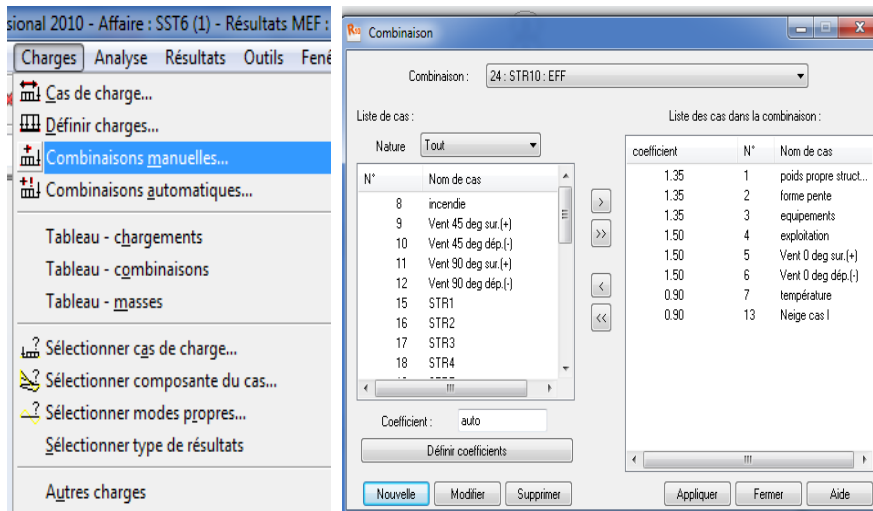


Figure 25 : Définition des combinaisons sur Robot

2.4. Résultats de calcul

Les résultats du moment fléchissant maximum en travers et en appuis pour les deux combinaisons (ultime et accidentelle) sont résumés dans le tableau suivant :

Moment max (kN.m)	en travée		en appuis	
	ELU	ELA	ELU	ELA
Combinations	ELU	ELA	ELU	ELA
Poteau	/	202	/	235,24
Poutre longue	1231,38	/	195,02	/
Poutre courte	125,49	/	98,07	/

Tableau 14 : Synthèse des résultats du moment fléchissant max

Un exemple de diagramme de moment pour une poutre est fourni ci-dessous. La valeur rouge correspond au moment max en travée et la valeur verte correspond au moment max en appuis.

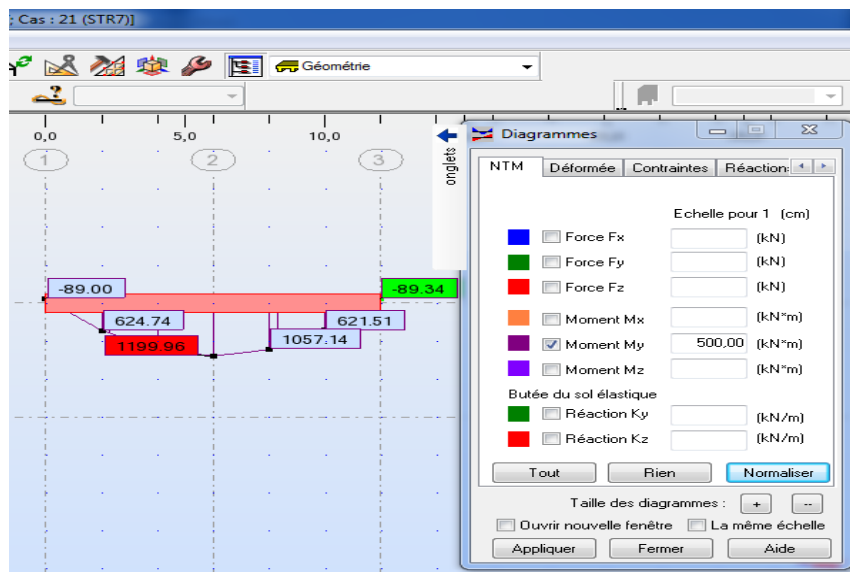


Figure 26 : Exemple de résultat graphique Robot

2.5. Ferrailage des éléments

On a utilisé le logiciel « Expert » pour le Ferrailage des éléments. Le travail consiste à introduire les efforts internes (M, N, T), par la suite expert fourni la section des armatures et leur espacement (figure ci-dessous). Il faut préciser que les poutres travaillent en flexion simple et les poteaux en flexion composée.

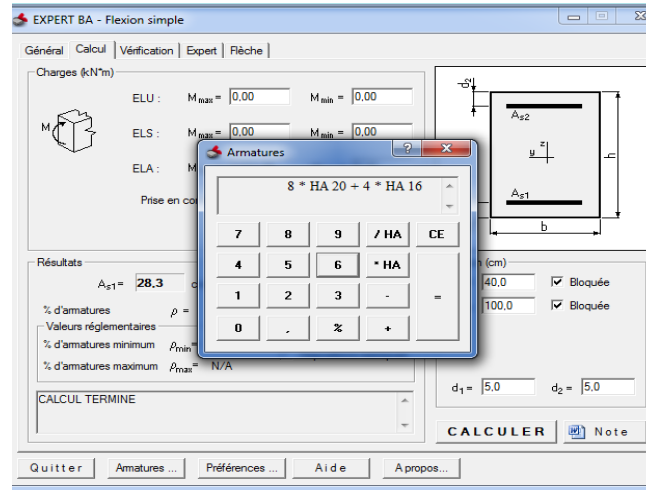


Figure 27 : Ferrailage des éléments par Expert

Armatures longitudinales :

Pour les poteaux, on a obtenu une section des armatures égale à 15,7 cm² ce qui représente 8HA16.

Pour les poutres, on a deux types de poutres, poutres longues (L=12m) et les poutres courtes (L=6m). Le ferrailage de ces poutres est résumé dans le tableau ci-dessous :

Ferrailage	en travée		en appuis	
	Sections (cm ²)	Barres	Sections	Barres
Poutres longues	34,7	8 HA 20	4,8	4 HA 18
Poutres courtes	7	4 HA 14 2 HA 12	5,3	6 HA 16

Figure 28 : Ferrailage longitudinal des poutres

Armatures transversales :

Selon RPA 2003 l'espacement « S_t » égale à : Min (10∅_L, 15cm) en zone nodale et à 15∅_L en zone courante.

Eléments	Longueur (m)	S _t zone nodale (cm)	S _t zone courante (cm)
Poteaux	5	10	20
Poutres longues	6	10	20
Poutres courtes	12	20	30

Tableau 15 : Espacements des armatures transversales

Croquis de ferrailage des éléments structuraux :

Poutres de 6m (50x30) :

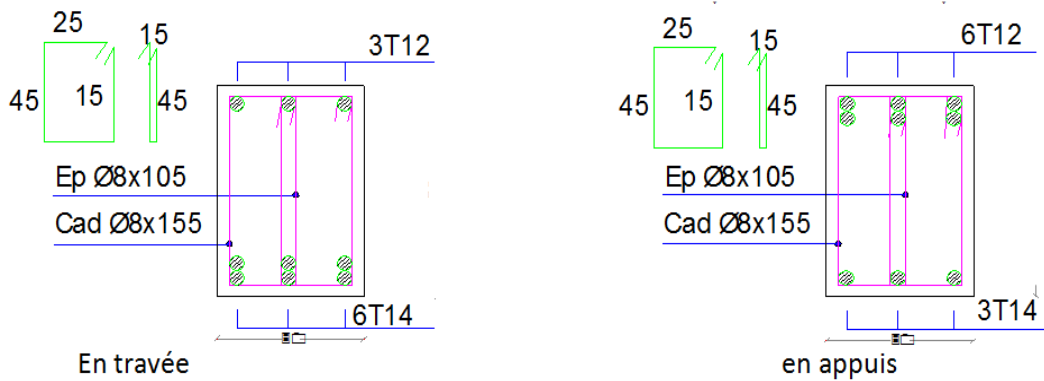
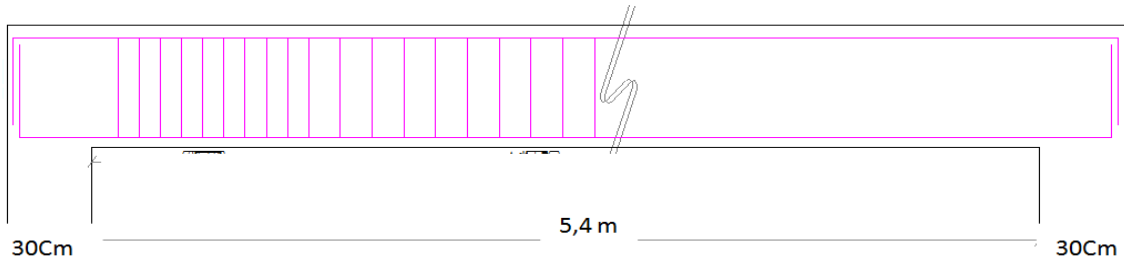


Figure 29 : Croquis de ferrailage des poutres (L=6m)

Poutres de 12m (100x40) :

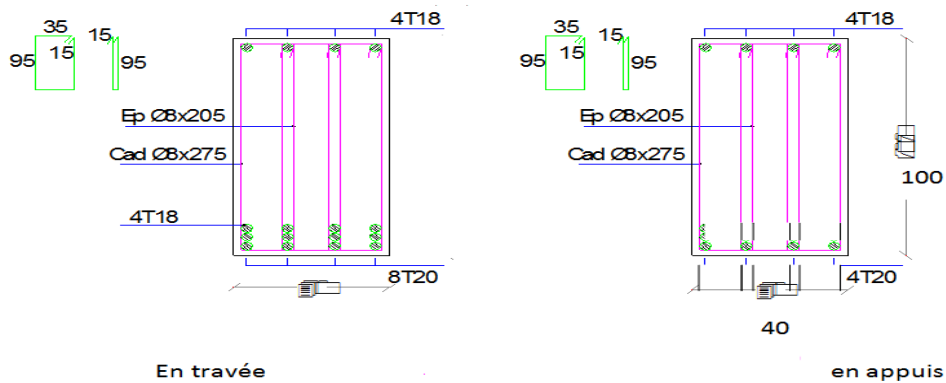
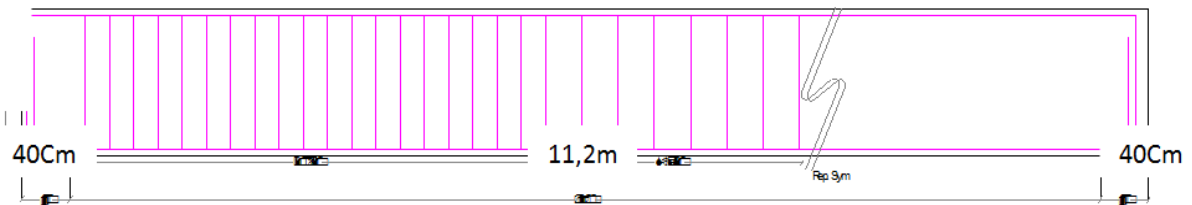


Figure 30 : Croquis de ferrailage des poutres (L=12m)

Poteaux L=5m (40x40) :

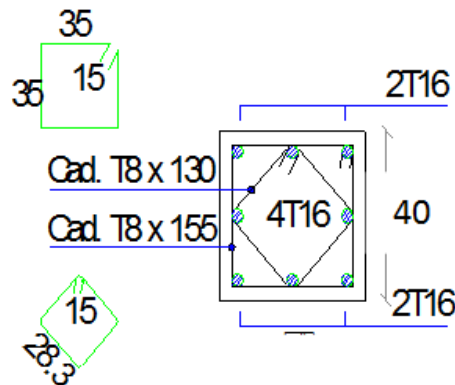
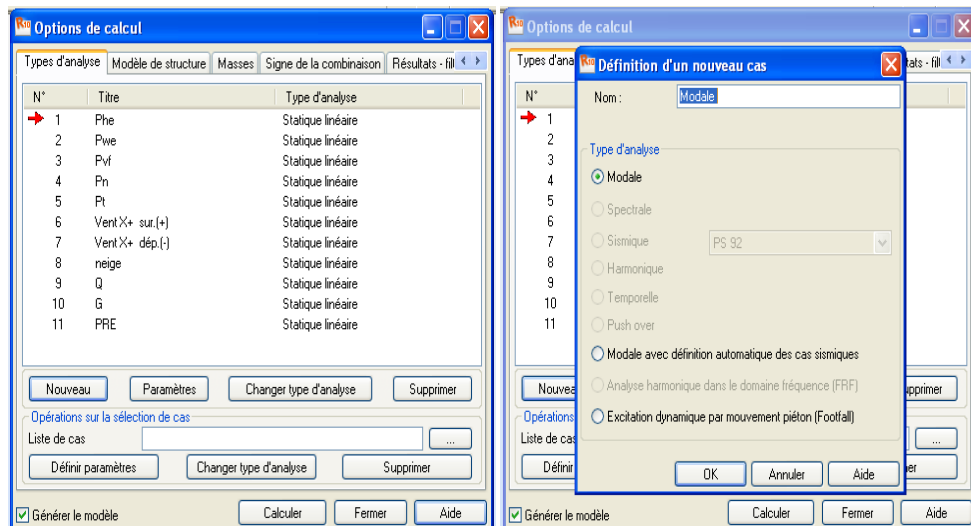


Figure 31 : Croquis de ferrailage des poteaux

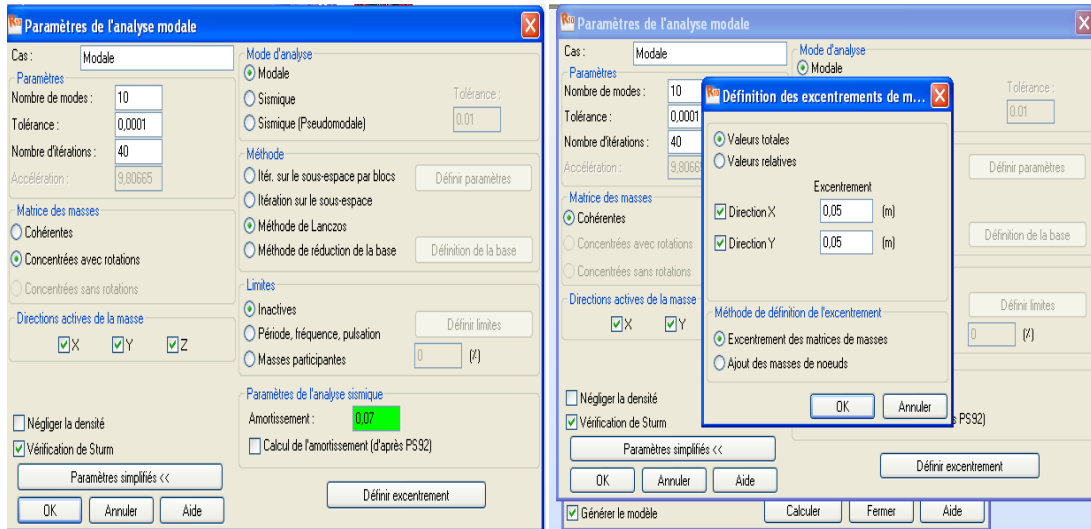
3. Etude dynamique

L'excitation sismique engendre des forces dans la structure qui peuvent amener à la ruine brutale. C'est pour cela qu'il est indispensable de connaître les modes de vibration propres de la structure et de s'assurer que les déplacements restent toujours dans le domaine élastique.

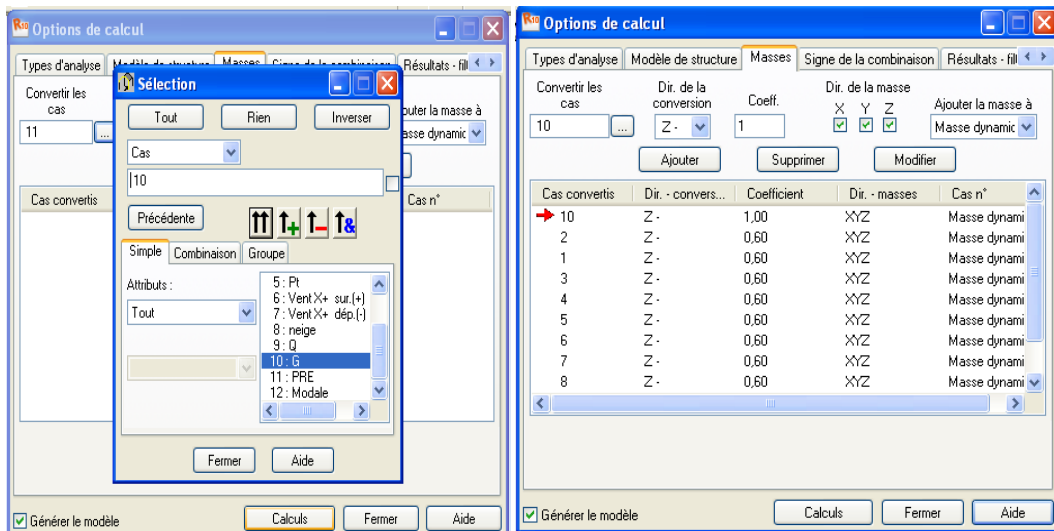
Pour réaliser une analyse sismique sur Robot, on doit d'abord définir un nouveau cas d'analyse appelé « analyse modale ». Pour faire cela, il faut cliquer sur le bouton « Analyse » situé dans le menu déroulant et choisir « type d'analyse », Par la suite on clic sur « nouveau » la fenêtre suivante va apparaître :



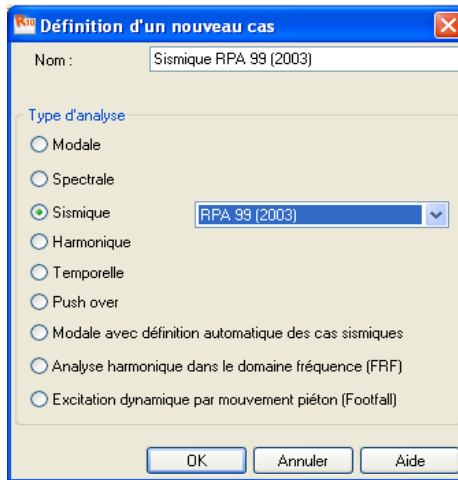
Après validation l'analyse modale va être créée et on pourra introduire ses paramètres dans les fenêtres qui vont apparaître :



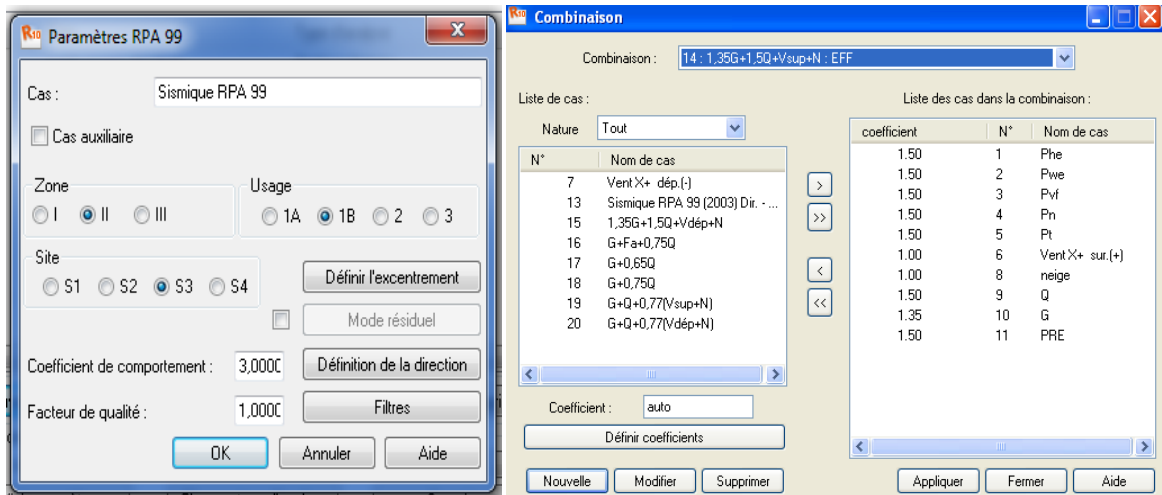
La figure ci-dessous montre comment introduire les coefficients de pondération β pour chaque charge. Dans notre cas c'est-à-dire bâtiment de sous-station $\beta=0,6$ pour toutes les charges variables (d'après RPA99 version 2003 : autres locaux non visés dans le tableau).



Puis on définit le cas sismique par la même procédure utilisée pour le cas modale (étape 1 et 2).

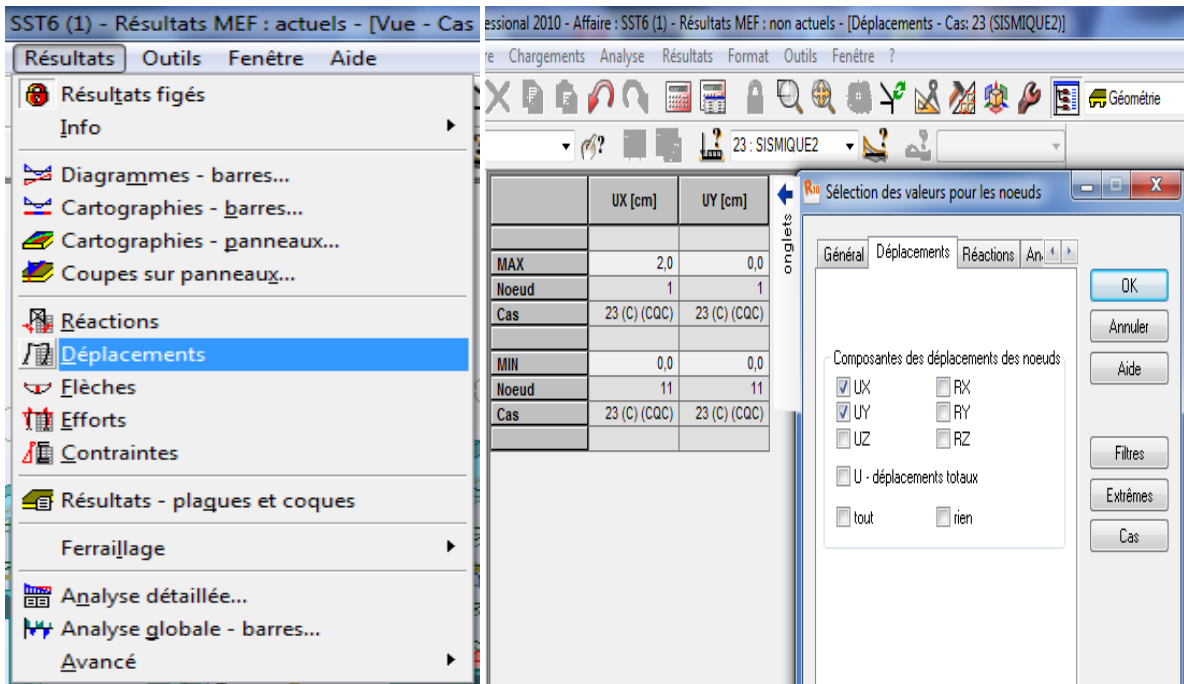


En dernière étape, on introduit les paramètres relatifs à la zone sismique, le type de structure et le site de construction, Selon RPA 99 groupe d'usage 1B, le site S3 et la zone IIa.



3.1. Déplacements max de la structure

A partir des résultats Robot, on trouve la valeur max du déplacement selon l'axe « X » ou « Y ».



Robot affiche un déplacement max selon « X » égale à : $U_x = 2 \text{ cm}$

Selon RPA 99 (version 2003) les déplacements relatifs ne doivent pas dépasser 1% de la hauteur de l'étage. Dans notre cas la hauteur de l'étage est de 5m, donc :

$$U_{\max} = 0,01 \times 500 \text{ cm} = 5 \text{ cm}$$

Donc $U_x = 2 \text{ cm} < 5 \text{ cm}$ le déplacement est acceptable.

3.2. Modes propres de vibration

D'après les résultats Robot, on a obtenu les valeurs suivantes :

Modes	Période (sec)	U_x (%)	U_y (%)	U_z (%)
1	0,72	95,57	0,00	0,00
2	0,67	0,00	95,88	0,00
3	0,51	0,00	0,00	0,00
4	0,24	0,00	0,00	49,29

Tableau 16 : Modes propres de vibration

On remarque que les quatre premiers modes propres de la structure sont des modes de translation.

CHAPITRE V

BILAN THERMIQUE

CHAPITRE V : BILAN THERMIQUE

5.1. Introduction

Nous allons présenter dans ce chapitre, les calculs effectués pour le bilan thermique. Dans un premier temps, nous exposons les données relatives à la localisation géographique, au climat et à l'orientation du bâtiment vis-à-vis l'ensoleillement,...etc. Ensuite, on présentera les caractéristiques des parois du bâtiment (épaisseur, conductivité, conductance ...). Nous terminerons ce chapitre par le calcul détaillé du bilan thermique.

5.2. Données relatives au bilan thermique

5.2.1. Localisation (Constantine)

Altitude au-dessus du niveau de la mer	[m]	693,72
Latitude	[°N]	36,28
Longitude	[°]	-6,62

Tableau 17 : Données relatives à la localisation du bâtiment (Constantine)

5.2.2. Conditions climatiques

Conditions externes	Unité	Eté
Température extérieure	[°C]	45
Température intérieure	[°C]	25
Humidité relative	[%]	20,9
Amplitude thermique journalière	[°C]	15

Tableau 18 : Conditions climatiques (Constantine)

5.2.3. Orientation des parois

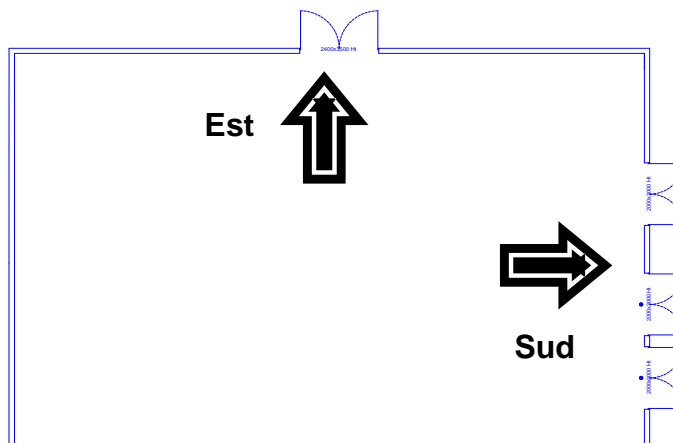


Figure 32 : Orientation des parois du bâtiment

Description	Type	Orient.	Incl.	Fac. Sec.
		[°]	[°]	[%]
Sud	Extérieure	202,5	90	5
Ouest	Extérieure	292,5	90	10
Nord	Extérieure	22,5	90	20
Est	Extérieure	112,5	90	15
Plancher	Sur le sol	0	180	10

Orientation : 0°=Nord, 90°= Est, 180°=Sud, 270°= Ouest
Inclinaison : 0°÷60° = toits ou plafonds, 61°÷90° = mur vertical, 91°÷180° = étages

Tableau 19 : Paramètres liés à l'orientation du bâtiment

5.2.4. Couleur de la surface extérieure

La couleur de chaque élément de structure est grise donc **A= 0,7**.

5.3. Caractéristiques des parois du bâtiment

5.3.1. Plancher

Notre plancher se compose de plusieurs matériaux comme indiqué dans le tableau suivant :

Matériaux (Description de l'extérieur vers l'intérieur)	Epaisseur	Conductivité	Conductance
	[cm]	[W/ (m.K)]	[W/ (m².K)]
Gravier et pierre concassée	10	0,700	0,700
Béton (substrat mince)	2	0,930	46,500
Ardoise	3	2,000	66,667
Bitume	0,4	0,170	42,500
Béton (ordinaire)	10	1,280	12,800
Feuille d'aluminium	5	0,040	0,800
Feuille d'aluminium (0,03 - 0,05)	0,3	220,000	73,333
Plancher à prédalles	25	1,340	6,091

Tableau 20 : Caractéristiques des matériaux constituant le plancher

Pour cela on a calculé la conductance thermique K selon la formule suivante :

$$K = 1 / \left(\frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{e_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{h_e} \right)$$

Les coefficients d'échange « h_i » et « h_e » sont fournis dans le tableau suivant :

Coefficient h _i [W/ (m²—K)]	5,882	Poids [kg/m²]	583,5
Coefficient h _e [W/(m²—K)]	25	Couleur [C /M /D]:	M

Tableau 21 : Coefficients d'échange extérieure / intérieure du plancher

Après les calculs on obtient : **K= 0,005814 W/(m² .K)**

5.3.2. Murs

Les murs de notre bâtiment sont en béton armé dans ses caractéristiques sont résumés dans le tableau suivant :

Matériau	Epaisseur	Conductivité	Conductance
	[cm]	[W/ (m. K)]	[W/ (m ² .K)]
Béton	16	0,756	4,725

Tableau 22 : Caractéristiques du béton constituant les murs

Les coefficients d'échange extérieure / intérieure sont fournis tableau suivant :

Coefficient hi [W/ (m ² —K)]	7.692	Poids [kg/m ²):	272
Coefficient he [W/ (m ² —K)]	25	Couleur [C /M /D]:	M

Tableau 23 : Coefficients d'échange extérieure / intérieure des murs

5.3.3. Portes

Description	Surface	Nombre de porte	Altitude	Longueur
	[m ²]		[m]	[m]
P1 120/260	3,12	1	2,60	1,20
P2 200/300	6.00	2	3,00	2,00
P3 240/300	7,20	1	3,00	2,40

Tableau 24 : Caractéristiques géométriques des portes

Définition	Symbole	Unité
Transmission de chaleur	U	[W/ (m ² .K)]
Facteur de sécurité	F. S	1,0999

Tableau 25 : Caractéristiques thermique des portes

5.4. Calcul du bilan thermique

Les étapes de calcul du bilan thermique sont :

- Calcul de la conductance pour les murs multicouches et déduction des coefficients de rayonnement solaire.
- Calcul de l'apport de chaleur par transmission
- Calcul de la quantité de chaleur traversant les parois et déduction de l'apport de chaleur par rayonnement solaire.
- Calcul de la quantité totale de chaleur transmise à l'intérieur du bâtiment.

Il faut préciser que ces étapes ont été appliquées pour chaque paroi et pour une période de 24 heures (1 jour). On a considéré que ce jour est le plus chaud de l'année.

5.4.1. Calcul de coefficient de rayonnement

Le coefficient de rayonnement solaire (S) est calculé selon l'équation suivante :

$$S = \frac{1}{20} \times K$$

Les résultats des calculs sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Conductance K	Coefficient de rayonnement solaire (S)
0,005814	0,0002907
4,725	0,23625
2,2	0,11

Tableau 26 : Coefficient de rayonnement solaire

5.4.2. Calcul de l'apport par transmission et par rayonnement

Nous allons présenter dans les tableaux qui suit le détail des calculs de l'apport de chaleur par transmission et par rayonnement pour chaque paroi du bâtiment. Les paramètres utilisées dans les tableaux sont définies comme suit :

t° Ext : température extérieure.

t° Int : température intérieure.

Im : apports dus au rayonnement solaire sur les parois (voir l'annexe).

Δt des t° sèche : la différence entre la t° Ext et t° Int.

Apports par transmission : surface de paroi (nette) x K x Δ t°

R (mur) : quantité de chaleur traversant le mur.

Apports par ray. Solaire : R (mur) x surface de paroi (nette).

Charge calorifique totale : apports par transmission + Apports par ray. Solaire.

a) Mur Est

Surface nette (paroi) = 95 m²

heure	t° Ext	t° Int	Im	Δ t des t° sèche °C	Apports par transmission (W)	Rm	Apports par ray. solaire (W)	Charge calorifique totale (W)
0	25	25	0	0	0	0	0	0
1	25	25	0	0	0	0	0	0
2	25	25	0	0	0	0	0	0
3	25	25	0	0	0	0	0	0
4	25	25	0	0	0	0	0	0
5	25	25	0	0	0	0	0	0
6	25	25	330	0	0	54,573	5184,506	5184,506
7	30	25	565	5	3720,937	93,436	8876,503	12597,440
8	35	30	655	5	3720,937	108,320	10290,459	14011,396
9	40	35	590	5	3720,937	97,571	9269,268	12990,206
10	45	35	440	10	7441,875	72,765	6912,675	14354,55
11	45	35	230	10	7441,875	38,036	3613,443	11055,318
12	45	35	0	10	7441,875	0	0	7441,875
13	45	35	230	10	7441,875	0	0	7441,875
14	45	35	440	10	7441,875	0	0	7441,875
15	45	35	590	10	7441,875	0	0	7441,875
16	45	35	655	10	7441,875	0	0	7441,875
17	40	35	565	5	3720,937	0	0	3720,937
18	35	30	330	5	3720,937	0	0	3720,937
19	30	25	0	5	3720,937	0	0	3720,937
20	25	25	0	0	0	0	0	0
21	25	25	0	0	0	0	0	0
22	25	25	0	0	0	0	0	0
23	25	25	0	0	0	0	0	0
							Charge calorifique Max (W)	14354,55

Tableau 27 : Bilan thermique du mur Est

b) Mur Ouest

Surface nette (paroi) m² = 95 m²

heure	t° Ext	t° Int	Im	Δ t des t° sèche °C	Apports par transmission (W)	Rm	Apports par ray. solaire (W)	Charge calorifique totale (W)
0	25	25	0	0	0	0	0	0
1	25	25	0	0	0	0	0	0
2	25	25	0	0	0	0	0	0
3	25	25	0	0	0	0	0	0
4	25	25	0	0	0	0	0	0
5	25	25	0	0	0	0	0	0
6	25	25	330	0	0	0	0	0
7	30	25	565	5	3720,937	0	0	3720,937
8	35	30	655	5	3720,937	0	0	3720,937
9	40	35	590	5	3720,937	0	0	3720,937
10	45	35	440	10	7441,875	0	0	7441,875
11	45	35	230	10	7441,875	0	0	7441,875
12	45	35	0	10	7441,875	0	0	7441,875
13	45	35	230	10	7441,875	38,036	3613,443	11055,318
14	45	35	440	10	7441,875	72,765	6912,675	14354,55
15	45	35	590	10	7441,875	97,571	9269,268	16711,143
16	45	35	655	10	7441,875	108,320	10290,459	17732,334
17	40	35	565	5	3720,937	93,436	8876,503	12597,440
18	35	30	330	5	3720,937	54,573	5184,506	8905,443
19	30	25	0	5	3720,937	0	0	3720,937
20	25	25	0	0	0	0	0	0
21	25	25	0	0	0	0	0	0
22	25	25	0	0	0	0	0	0
23	25	25	0	0	0	0	0	0
Charge calorifique Max (W)								17732,334

Tableau 28 : Bilan thermique du mur Ouest

c) Mur Sud

Surface nette (paroi) = 62,5 m².

heure	t° Ext	t° Int	Im	Δ t des t° sèche °C	Apports par transmission (W)	Rm	Apports par ray. Solaire (W)	Charge calorifique totale (W)
0	25	25	0	0	0	0	0	0
1	25	25	0	0	0	0	0	0
2	25	25	0	0	0	0	0	0
3	25	25	0	0	0	0	0	0
4	25	25	0	0	0	0	0	0
5	25	25	0	0	0	0	0	0
6	25	25	150	0	0	24,806	3906,984	3906,984
7	30	25	335	5	3720,937	55,400	8725,598	12446,535
8	35	30	460	5	3720,937	76,072	11981,418	15702,356
9	40	35	480	5	3720,937	79,38	12502,35	16223,287
10	45	35	435	10	7441,875	71,938	11330,254	18772,129
11	45	35	325	10	7441,875	53,746	8465,132	15907,007
12	45	35	175	10	7441,875	28,940	4558,148	12000,023
13	45	35	325	10	7441,875	53,746	8465,132	15907,007
14	45	35	435	10	7441,875	71,938	11330,254	18772,129
15	45	35	480	10	7441,875	79,38	12502,35	19944,225
16	45	35	460	10	7441,875	76,072	11981,418	19423,2938
17	40	35	335	5	3720,937	55,400	8725,598	12446,535
18	35	30	150	5	3720,937	24,806	3906,984	7627,921
19	30	25	0	5	3720,937	0	0	3720,937
20	25	25	0	0	0	0	0	0
21	25	25	0	0	0	0	0	0
22	25	25	0	0	0	0	0	0
23	25	25	0	0	0	0	0	0
							Charge calorifique Max (W)	19944,225

Tableau 29 : Bilan thermique du mur Sud

d) Mur Nord

Surface nette (paroi) = 62,5 m².

heure	t° Ext	t° Int	Δ t des t° sèche °C	Apports par transmission (W)
0	25	25	0	0
1	25	25	0	0
2	25	25	0	0
3	25	25	0	0
4	25	25	0	0
5	25	25	0	0
6	25	25	0	0
7	30	25	5	1476,562
8	35	30	5	1476,562
9	40	35	5	1476,562
10	45	35	10	2953,125
11	45	35	10	2953,125
12	45	35	10	2953,125
13	45	35	10	2953,125
14	45	35	10	2953,125
15	45	35	10	2953,125
16	45	35	10	2953,125
17	40	35	5	1476,562
18	35	30	5	1476,562
19	30	25	5	1476,562
20	25	25	0	0
21	25	25	0	0
22	25	25	0	0
23	25	25	0	0
Charge calorifique Max (W)				2953,125

Tableau 30 : Bilan thermique du mur Nord

e) Plancher

Surface nette (plancher) = 237,5 m².

heure	t° Ext	t° Int	Im	Δ t des t° sèche °C	Apports par transmission (W)	Rm	Apports par ray. solaire (W)	Charge calorifique totale (W)
0	25	25	0	0	0	0	0	0
1	25	25	0	0	0	0	0	0
2	25	25	0	0	0	0	0	0
3	25	25	0	0	0	0	0	0
4	25	25	0	0	0	0	0	0
5	25	25	0	0	0	0	0	0
6	25	25	65	0	0	0,0132	3,1413	3,1413
7	30	25	245	5	6,9041	0,0498	11,8405	18,7446
8	35	30	470	5	6,9041	0,0956	22,7145	29,6186
9	40	35	660	5	6,9041	0,1343	31,8970	38,8011
10	45	35	810	10	13,808	0,1648	39,1463	52,9546
11	45	35	915	10	13,808	0,1861	44,2209	58,0291
12	45	35	935	10	13,808	0,1902	45,1874	58,9957
13	45	35	915	10	13,808	0,1861	44,2209	58,0291
14	45	35	810	10	13,808	0,1648	39,1463	52,9546
15	45	35	660	10	13,808	0,1343	31,8970	45,7053
16	45	35	470	10	13,808	0,0956	22,7145	36,5228
17	40	35	245	5	6,9041	0,0498	11,8405	18,7446
18	35	30	65	5	6,9041	0,0132	3,1413	10,0455
19	30	25	0	5	6,9041	0	0	6,9041
20	25	25	0	0	0	0	0	0
21	25	25	0	0	0	0	0	0
22	25	25	0	0	0	0	0	0
23	25	25	0	0	0	0	0	0
							Charge calorifique Max (W)	59

Tableau 31 : Bilan thermique du plancher

f) Portes 1 et 2 coté Sud

Surface nette (portes) =15,12 m².

heure	t° Ext	t° Int	Im	Δ t des t° sèche °C	Apports par transmission (W)	Rm	Apports par ray. solaire (W)	Charge calorifique totale (W)
0	25	25	0	0	0	0	0	0
1	25	25	0	0	0	0	0	0
2	25	25	0	0	0	0	0	0
3	25	25	0	0	0	0	0	0
4	25	25	0	0	0	0	0	0
5	25	25	0	0	0	0	0	0
6	25	25	0	0	0	0	0	0
7	30	25	0	5	166,32	0	0	166,32
8	35	30	0	5	166,32	0	0	166,32
9	40	35	85	5	166,32	6,545	59,690	226,0104
10	45	35	175	10	332,64	13,475	122,892	455,532
11	45	35	225	10	332,64	17,325	158,004	490,644
12	45	35	245	10	332,64	18,865	172,048	504,6888
13	45	35	225	10	332,64	17,325	158,004	490,644
14	45	35	175	10	332,64	13,475	122,892	455,532
15	45	35	85	10	332,64	6,545	59,690	392,330
16	45	35	0	10	332,64	0	0	332,64
17	40	35	0	5	166,32	0	0	166,32
18	35	30	0	5	166,32	0	0	166,32
19	30	25	0	5	166,32	0	0	166,32
20	25	25	0	0	0	0	0	0
21	25	25	0	0	0	0	0	0
22	25	25	0	0	0	0	0	0
23	25	25	0	0	0	0	0	0
Charge calorifique Max (W)								504,689

Tableau 32 : Bilan thermique des 2 portes coté Sud

g) Porte 3 coté Est

Surface / nette (porte) = 7,2 m².

heure	t° Ext	t° Int	Im	Δt des t° sèche °C	Apports par transmission (W)	Rm	Apports par ray. solaire (W)	Charge calorifique totale (W)
0	25	25	0	0	0	0	0	0
1	25	25	0	0	0	0	0	0
2	25	25	0	0	0	0	0	0
3	25	25	0	0	0	0	0	0
4	25	25	0	0	0	0	0	0
5	25	25	0	0	0	0	0	0
6	25	25	330	0	0	25,41	182,952	182,952
7	30	25	565	5	79,2	43,505	313,236	392,436
8	35	30	655	5	79,2	50,435	363,132	442,332
9	40	35	590	5	79,2	45,43	327,096	406,296
10	45	35	440	10	158,4	33,88	243,936	402,336
11	45	35	230	10	158,4	17,71	127,512	285,912
12	45	35	0	10	158,4	0	0	158,4
13	45	35	0	10	158,4	0	0	158,4
14	45	35	0	10	158,4	0	0	158,4
15	45	35	0	10	158,4	0	0	158,4
16	45	35	0	10	158,4	0	0	158,4
17	40	35	0	5	79,2	0	0	79,2
18	35	30	0	5	79,2	0	0	79,2
19	30	25	0	5	79,2	0	0	79,2
20	25	25	0	0	0	0	0	0
21	25	25	0	0	0	0	0	0
22	25	25	0	0	0	0	0	0
23	25	25	0	0	0	0	0	0
							Charge calorifique Max (W)	442,332

Tableau 33 : Bilan thermique de la porte coté Est

5.5. Calcul de la charge calorifique totale

Position de mur / heure		8 h	10 h	12 h	15 h	16 h
Mur sud + 2 portes		16207,05	19276,8	12504,7	20448,9	19927,9
Mur nord		1476,6	2953,1	2953,1	2953,1	2953,1
Mur Est + 1 porte		14453,7	14796,9	7884,2	7884,2	7884,2
Mur ouest		3720,9	7441,9	7441,9	16711,1	17732,3
Plancher		29,6	52,9	58,9	45,7	36,5
La charge maximale (W)		35887,9	44521,7	30842,9	48043,0	48534,2
2 occupants		2 x 65 = 130 W				
Eclairage (20 lampes néant)		20 x 36 = 720 W				
Charge équipements	Normal	49000 W				
	Surcharge	64000 W				

Tableau 34 : Bilan thermique total

On voit qu'à 16 h la charge calorifique maximale dans la sous station est égale 48534,2 W.

Donc la charge calorifique total dans le cas :

- Normal = 130 + 720 + 49000 + 48434,2 = **98384,2 W**
- Surcharge = 130 + 720 + 64000 + 48534,2 = **113384,2 W**

Par la suit, ce bilan thermique sera utilisé par les spécialistes de la climatisation pour dimensionner le système de ventilation et de refroidissement du bâtiment.

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

Ce projet de fin d'étude avait comme objectif de mener une étude d'un bâtiment d'une sous-station de traction du tramway de Constantine. Ces bâtiments techniques construits le long de la ligne du tramway, permettent d'alimenter l'ensemble des rames ainsi que les autres équipements par l'énergie électrique nécessaire pour leur fonctionnement.

Nous avons commencé notre travail par la présentation de notre projet. Nous avons parlé brièvement du tramway de Constantine, ensuite nous avons exposé les différentes données techniques relatives à notre bâtiment de sous-station.

Puis, nous avons fourni une synthèse bibliographique articulée sur deux parties ; une première sur les tramways et la deuxième sur le thermique du bâtiment. Nous avons pu réunir dans la première partie l'ensemble des informations relatives aux tramways. La deuxième partie a été le cadre théorique de base pour effectuer le bilan thermique dans la suite de notre travail.

Ensuite, nous avons fait la conception et le prédimensionnement de notre bâtiment en respectant les contraintes imposées par la présence des équipements électriques et leur plan de cheminement. Cela a conduit à définir la position et les dimensions des éléments structuraux.

Une fois la géométrie et les charges sont définies, nous avons procédé à la modélisation de notre bâtiment afin de déterminer les efforts internes nécessaires au dimensionnement final. Une étude dynamique a été réalisée afin, d'une part, s'assurer que les déplacements maximaux sont admissibles par rapport ce qui est imposé par la réglementation, et d'autre part, vérifier que les modes propres de vibration de la construction sont bien des modes de translation.

Enfin, à travers le calcul du bilan thermique, nous avons pu être sensibilisés de l'importance de prendre en considération les aspects énergies du bâtiment dans les projets de construction. Cela permet d'optimiser la consommation d'énergie et de préserver durablement notre environnement.

Ce travail nous a permis d'acquérir des connaissances utiles pour la suite de notre vie professionnelle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 📖 Règles du B.A.E.L 91.
- 📖 Règlement parasismique Algérien 1999 (version 2003).
- 📖 Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures.
- 📖 Plan d'implantation des équipements. Projet du tramway de Constantine. Groupe Alstom – Pizzarotti.
- 📖 Plan des cheminements. Projet du tramway de Constantine. Groupe Alstom – Pizzarotti.
- 📖 Georges MULLER (2012). « Tramway : Modèles actuels et innovations ». Techniques de l'ingénieur.
- 📖 Georges MULLER (2012). « Tramway : Alimentation, conception, performances et design ». Techniques de l'ingénieur.
- 📖 Georges MULLER (2012). « Tramway : Avantages, contraintes et exploitation ». Techniques de l'ingénieur.
- 📖 Cours béton armé (2008). Polytechnique Clermont Ferrand – France.
- 📖 Gérard KRAUSS (2002). Cours de thermique du bâtiment – Polytechnique de Masuku – France.

ANNEXES

1. Rapport de stage

2. Tableaux utilisés pour le bilan thermique

1. RAPPORT DE STAGE

On a effectué notre stage au niveau de la société **ALSTOM Algérie** / projet tramway de Constantine de la wilaya de Constantine du 24/02/2013 au 25/03/2013.

Ce stage a été l'opportunité pour nous d'acquérir une première expérience en entreprise et d'observer sa structure ainsi que son organisation. De plus on a pu enrichir nos connaissances pour ce projet (tramway de Constantine).

Dès notre arrivée à l'entreprise, on a été accueilli par le service Environnement, Hygiène et sécurité (EHS) afin de faire une formation sur la sécurité des intervenant sur chantier et la confidentialité et obtenir un badge donnant accès aux différents bâtiments du ce projet. L'entreprise Alstom Algérie donne beaucoup d'importance à la sécurité sur chantier afin de limiter au maximum les accidents de travail.

Parmi les obligations en terme de sécurité qu'on a appris à travers cette formation :

- Le port d'un badge est obligatoire.
- Le port du casque et des chaussures de sécurité est obligatoire.
- ...

Pendant la période de stage, on a pu bénéficier de plusieurs sorties sur le terrain pour voir et comprendre les étapes de réalisation du tramway et en particulier celles relatives à notre projet de fin d'étude « bâtiments des sous-stations ». Grâce à ses sorties, on a eu énormément d'informations sur les techniques de construction de ce type de bâtiment technique très particulier.

En ce qui concerne la partie conception et dimensionnement des bâtiments de sous-station, on a eu l'opportunité d'avoir des explications de la part des ingénieurs d'Alstom chargés d'étude et de réalisation. Leurs conseils et orientations nous ont servi pour faire notre travail de PFE.

A travers ce stage, on a eu l'occasion de mettre en application ce qu'on a appris tout le long de ma formation en Master de Génie Civil.

On a profité aussi de ce stage pour observer le fonctionnement administratif de l'entreprise et son organisation. Au-delà, de l'activité de chacun des services, on a pu apprendre comment s'articulent les différents départements d'une telle entreprise étrangère. Par ailleurs, les relations humaines entre les différents employés de la société, indépendamment de l'activité exercée par chacun d'eux, nous ont appris sur le comportement à avoir en toute circonstance.

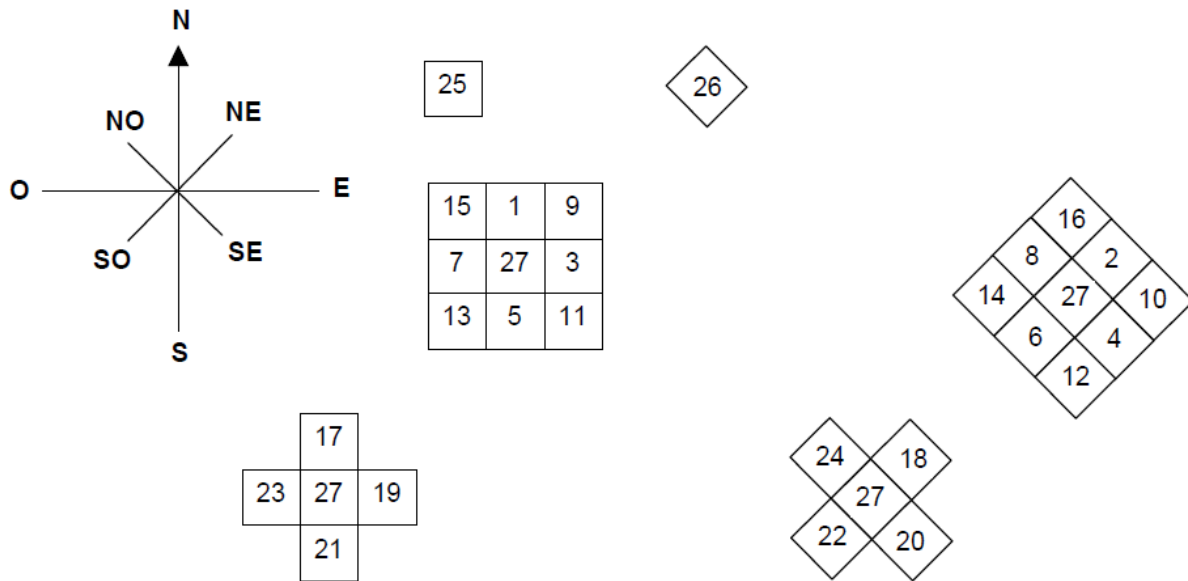
2. TABLEAUX : BILAN THERMIQUE

Orientation des locaux	Nombre de murs exposés	Murs exposés	Heures				
			Fenêtres protégées		Fenêtres nues		
			a	b	a	b	
1	1	N	-	-	14	14	
2		NE	-	-	14	14	
3		E	12	12	9	9	
4		SE	13	13	10	10	
5		S	14	13	13	13	
6		SO	15	14	16	15	
7		O	15	15	16	16	
8		NO	16	15	17	16	
9		NE N et E	14	14	9	9	
10		NE - SE	14	13	9	9	
11		SE S et E	14	13	10	10	
12		2	SE - SO	15	14	15	15
13			SO S et O	15	14	15	15
14			SO - NO	15	15	16	16
15			O - N	15	15	16	16
16			NO - NE	16	15	17	17
17	3	O - N - E	16	15	16	16	
18		NO - NE - SE	15	15	16	16	
19		N - E - S	14	14	10	10	
20		NE - SE - SO	15	14	15	15	
21		E - S - O	15	14	15	15	
22		SE - SO - NO	15	15	16	16	
23		S - O - N	15	15	16	16	
24		SO - NO - NE	16	15	16	16	
25	4	S - O - N - E	15	14	15	15	
26		SO - NO - NE - SE	15	14	16	16	
27	néant				14	14	

a : avec local au dessus

b : avec toit ou combles non ventilées au dessus

- Orientations types des locaux pour déterminer l'heure de charge thermique maximale



Rayonnement solaire

h : heure solaire

m : coef. de rayonnement solaire absorbé par les parois opaques (W/m²)

v : coef. de rayonnement solaire absorbé par les vitrages (W/m²)

Orientation des surfaces	Verticales						
	NE	E	SE	S	NO	O	SO
Hémisphère Nord (1 ^{er} Août)	Nord Est	Est	Sud Est	Sud	Nord Ouest	Ouest	Sud Ouest
Hémisphère Sud (1 ^{er} Février)	Sud Ouest	Ouest	Nord Ouest	Nord	Sud Est	Est	Nord Est

Latitude 20°

	NE		E		SE		S		H		h
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
6	210	190	220	195	105	70			25	6	18
7	435	395	560	435	250	205			185	130	17
8	535	460	645	575	360	290			440	365	16
9	475	390	585	510	360	260			650	575	15
10	335	230	435	340	285	180			830	730	14
11	175	75	240	115	160	60			930	835	13
12									955	860	12
h	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
	NO		O		SO		S		H		

Latitude 0°

	NE		E		SE		S		H		h
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
6											18
7	280	240	285	250	130	90	100	70	75	35	17
8	570	490	570	490	230	170	215	155	325	250	16
9	605	510	555	475	190	120	260	190	555	475	15
10	535	435	435	335	80	40	290	210	755	650	14
11	405	295	230	210			295	220	880	765	13
12	230	115					295	220	910	800	12
h	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
	NO		O		SO		S		H		

Latitude 30°

	NE		E		SE		S		H		h
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
6	245	220	265	240	130	100			45	18	18
7	440	395	530	470	260	245			220	155	17
8	495	420	655	575	430	335			465	375	16
9	395	290	585	505	440	335	30	6	665	580	15
10	240	140	435	335	385	285	100	30	820	730	14
11	60	12	230	130	275	170	145	60	915	820	13
12					115	35	160	65	950	855	12
h	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
	NO		O		SO		S		H		

Latitude 10°

	NE		E		SE		S		H		h
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
6	35	30	40	35	18	12	18	12	6		18
7	325	280	350	325	170	120	85	65	115	70	17
8	570	490	610	520	295	210	150	100	395	300	16
9	545	460	580	485	270	170	150	80	625	540	15
10	440	335	440	340	180	70	140	70	805	695	14
11	290	175	240	115	40		130	65	930	810	13
12	115	30					130	60	955	840	12
h	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
	NO		O		SO		S		H		

Latitude 35°

	NE		E		SE		S		H		h
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
6	285	240	330	280	150	115					18
7	450	400	565	500	335	260			245	175	17
8	470	395	655	575	460	375			470	390	16
9	360	260	590	505	480	385	85	25	660	575	15
10	185	85	440	335	435	325	175	80	810	715	14
11	6		230	130	325	220	225	120	915	790	13
12					175	80	245	140	935	835	12
h	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
	NO		O		SO		S		H		

Latitude 40°

	NE		E		SE		S		H		h
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
6	310	265	335	315	175	135			75	40	18
7	450	395	575	515	360	290			260	190	17
8	440	360	660	575	485	405	30	6	470	390	16
9	320	220	590	505	515	430	145	65	650	560	15
10	140	45	440	335	480	385	240	140	785	695	14
11	90		230	130	370	275	300	190	870	775	13
12	35				230	195	325	220	905	805	12
h	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
	NO		O		SO		S		H		

Latitude 55°

	NE		E		SE		S		H		h	
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v		
6	260	210	350	300	245	210				105	60	18
7	330	265	545	475	425	385	85	25	255	210	17	
8	300	215	615	535	575	495	205	110	425	335	16	
9	170	70	550	465	615	530	315	220	565	475	15	
10			425	325	590	500	420	320	720	615	14	
11			230	115	515	420	500	400	735	640	13	
12					375	275	535	435	760	660	12	
h	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v		
	NO		O		SO		S		H			

Latitude 45°

	NE		E		SE		S		H		h
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
6	325	290	370	335	195	150			80	50	18
7	450	390	595	535	370	320			275	195	17
8	415	330	665	585	515	440	70	17	470	395	16
9	275	175	585	505	550	470	205	110	620	550	15
10	95	25	435	375	520	390	330	205	755	675	14
11			230	130	465	325	370	265	835	740	13
12					275	185	400	290	860	765	12
h	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
	NO		O		SO		S		H		

Latitude 60°

	NE		E		SE		S		H		h
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
6	255	210	360	315	255	220			110	65	18
7	315	260	535	465	445	385	90	30	250	175	17
8	265	195	605	520	585	505	220	130	405	320	16
9	140	45	545	460	630	550	350	255	520	435	15
10			410	315	620	535	460	360	615	525	14
11			225	115	545	450	545	450	670	580	13
12					410	305	580	485	690	595	12
h	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
	NO		O		SO		S		H		

Latitude

	NE		E		SE		S		H		h
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
6	280	240	315	280	175	135			95	50	18
7	405	340	555	485	375	315			255	185	17
8	370	285	640	550	525	445	110	35	440	360	16
9	230	120	575	480	580	485	250	150	590	500	15
10	35	6	430	330	570	470	370	265	720	620	14
11			225	110	475	370	440	335	790	685	13
12					330	225	470	365	810	710	12
h	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
	NO		O		SO		S		H		

Latitude

	NE		E		SE		S		H		h
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
6	250	210	370	330	265	225			120	75	18
7	300	260	525	465	445	385	100	35	254	175	17
8	250	185	590	510	590	510	245	160	375	295	16
9	110	30	525	445	640	550	370	285	475	390	15
10			400	305	630	545	495	405	550	465	14
11			220	115	570	485	580	495	605	520	13
12					430	335	605	520	605	520	12
h	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
	NO		O		SO		S		H		