

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
TABLE DES MATIERES	ii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES ANNEXES	xiii
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : CADRE DU PROJET	2
CHAPITRE I : DESCRIPTION DU PROJET.....	3
I - 1. Environnement du projet	3
I - 1 - 1. Milieu physique.....	3
I - 1 - 2. Population et démographie	4
I - 1 - 3. Environnement socio-économique	5
I - 2. Généralités sur le projet.....	6
I - 2 - 1. Localisation du projet	6
I - 2 - 2. Présentation du projet	7
I - 3. Justification du projet	9
I - 3 - 1. Situation actuelle	9
I - 3 - 2. Choix de projet.....	10
I - 3 - 3. Faisabilité du projet	10
CHAPITRE II : ETUDE ARCHITECTURALE.....	12
II - 1. Vue d'ensemble	12
II - 1 - 1. Organisation de l'espace	12
II - 1 - 2. Aspect général	13
II - 2. Du confort à la sécurité	13
II - 2 - 1. Le confort	13

II - 2 - 2. La sécurité	14
II - 2 - 3. Disposition des locaux	14
PARTIE II : ETUDES TECHNIQUES	18
CHAPITRE III : ETUDES PRELIMINAIRES	19
III - 1. Hypothèses Générales	19
III - 1 - 1. Les états limites	19
III - 1 - 2. Caractéristiques des matériaux	19
III - 1 - 2 - 1. Le béton.....	19
III - 1 - 2 - 2. L'acier	20
III - 2. Prédimensionnement.....	21
III - 2 - 1. Poteau.....	21
III - 2 - 2. Voile.....	22
III - 2 - 3. Poutre	22
III - 2 - 4. Dalle	23
III - 3. Calcul des actions	23
III - 3 - 1. Charges verticales	23
III - 3 - 1 - 1. Inventaire des charges	23
III - 3 - 1 - 2. Descente des charges	26
III - 3 - 2. Charges horizontales.....	29
III - 3 - 2 - 1. Effets du vent.....	29
III - 3 - 2 - 2. Poussée des terres	35
CHAPITRE IV : CONTREVENTEMENT PAR VOILES	37
IV - 1. Définition des éléments de contreventement	37
IV - 2. Démarche de calcul	38
IV - 2 - 1. Caractéristiques des voiles	38
IV - 2 - 2. Etude de la translation due à H.....	39
IV - 2 - 3. Etude de la rotation due à M	40

IV - 2 - 4. Efforts finaux	40
IV - 3. Cas du projet	41
IV - 3 - 1. Répartition des efforts dus au vent	41
IV - 3 - 1 - 1. Cas de la partie 1	41
IV - 3 - 1 - 2. Cas de la partie 2	43
IV - 3 - 2. Répartition des efforts dus à la poussée	44
IV - 3 - 2 - 1. Cas de la partie 1	44
IV - 3 - 2 - 2. Cas de la partie 2	46
CHAPITRE V : ETUDE DE L'INFRASTRUCTURE	49
V - 1. Choix de fondation	49
V - 1 - 1. Le sol de fondation	49
V - 1 - 2. Actions sur la fondation	50
V - 1 - 2 - 1. Sollicitations dues aux actions verticales	50
V - 1 - 2 - 2. Sollicitations dues aux actions horizontales	53
V - 1 - 2 - 3. Sollicitations de calcul	55
V - 2. Dimensionnement	56
V - 2 - 1 - 1. Dimensions de la fondation	56
V - 2 - 1 - 2. Vérifications	58
V - 2 - 1 - 3. Calcul des armatures	60
CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DE LA SUPERSTRUCTURE	62
VI - 1. Calcul des voiles	62
VI - 1 - 1. Caractéristiques des voiles	62
VI - 1 - 1 - 1. Longueur de flambement	62
VI - 1 - 1 - 2. Elancement mécanique	63
VI - 1 - 2. Justification des murs	63
VI - 1 - 2 - 1. Contrainte limite ultime	63
VI - 1 - 2 - 2. Vérification de la section I	64

VI - 1 - 2 - 3. Vérification de la section II.....	64
VI - 1 - 3. Détermination des armatures.....	65
VI - 2. Calcul du poteau.....	66
VI - 2 - 1. Caractéristiques de l'élément	66
VI - 2 - 2. Justification du poteau	66
VI - 2 - 2 - 1. Calcul de l'effort limite.....	66
VI - 2 - 2 - 2. Vérification de l'effort normal	67
VI - 2 - 3. Dispositions constructives	67
VI - 2 - 3 - 1. Armatures longitudinales	67
VI - 2 - 3 - 2. Armatures transversales.....	67
VI - 3. Calcul de la poutre.....	68
VI - 3 - 1. Evaluation des charges	68
VI - 3 - 2. Calcul des sollicitations	69
VI - 3 - 2 - 1. Moments de flexion et efforts tranchants	70
VI - 3 - 2 - 2. Courbes enveloppes.....	71
VI - 3 - 3. Détermination des armatures.....	73
VI - 3 - 3 - 1. Armatures longitudinales	73
VI - 3 - 3 - 2. Vérification aux appuis.....	74
VI - 3 - 3 - 3. Armatures transversales.....	75
VI - 4. Calcul de la dalle	77
VI - 4 - 1. Calcul des sollicitations	78
VI - 4 - 2. Détermination des armatures.....	79
VI - 4 - 3. Vérification de la flèche.....	80
CHAPITRE VII : CALCUL DE LA RESISTANCE AU FEU DES ELEMENTS.....	83
VII - 1. Stabilité des voiles.....	83
VII - 1 - 1. Section réduite à chaud.....	83
VII - 1 - 2. Force portante à chaud.....	84

VII - 1 - 3. Vérification de la stabilité.....	85
VII - 2. Stabilité du poteau.....	85
VII - 2 - 1. Section réduite à chaud.....	85
VII - 2 - 2. Force portante à chaud.....	86
VII - 2 - 3. Vérification de la stabilité.....	86
VII - 3. Stabilité de la poutre.....	87
VII - 3 - 1. Moment résistant à chaud en travée	87
VII - 3 - 1 - 1. Section réduite des aciers	87
VII - 3 - 1 - 2. Moment résistant.....	88
VII - 3 - 2. Moment résistant à chaud sur appui.....	89
VII - 3 - 3. Vérification de la stabilité.....	89
VII - 3 - 4. Vérification à l'effort tranchant	90
VII - 4. Stabilité de la dalle	92
VII - 4 - 1. Moment résistant à chaud sur appuis	92
VII - 4 - 1 - 1. Rotation des rotules plastiques.....	92
VII - 4 - 1 - 2. Moment résistant sur appuis	94
VII - 4 - 2. Moment résistant à chaud en travée	95
VII - 4 - 3. Vérification de la stabilité.....	96
CHAPITRE VIII : ELEMENTS DU SECOND ŒUVRE.....	97
VIII - 1. Acheminement de l'eau	97
VIII - 1 - 1. Réseau d'alimentation.....	97
VIII - 1 - 1 - 1. Canalisation primaire	97
VIII - 1 - 1 - 2. Canalisation secondaire.....	98
VIII - 1 - 2. Réseau d'évacuation	99
VIII - 1 - 2 - 1. Eaux usées	99
VIII - 1 - 2 - 2. Eaux pluviales.....	101
VIII - 1 - 3. Réseau d'assainissement	102

VIII - 2. Equipements électriques.....	104
VIII - 2 - 1. Structure de l'installation	104
VIII - 2 - 1 - 1. Eléments constitutifs	104
VIII - 2 - 1 - 2. Dispositifs de protection.....	104
VIII - 2 - 2. Projet d'éclairage	105
VIII - 2 - 2 - 1. Choix de l'éclairage	105
VIII - 2 - 2 - 2. Dimensionnement de l'installation	107
PARTIE III : ETUDE FINANCIERE	112
CHAPITRE IX : ETUDE DE PRIX.....	113
IX - 1. Devis descriptif	113
IX - 2. Détail quantitatif et estimatif.....	119
IX - 2 - 1. Coefficient de déboursés.....	119
IX - 2 - 2. Sous-détails de prix	120
IX - 2 - 3. Détail quantitatif et estimatif.....	121
CHAPITRE X : ETUDE DE RENTABILITE.....	126
X - 1. Calcul des flux	126
X - 1 - 1. Flux positifs.....	126
X - 1 - 2. Flux négatifs	126
X - 1 - 3. Flux nets	127
X - 2. Indicateurs de rentabilite	127
X - 2 - 1. Valeur actuelle nette	127
X - 2 - 2. Taux interne de rentabilité.....	128
X - 2 - 3. Indice de profitabilité	128
X - 2 - 4. Délai de récupération du capital investi.....	128
CONCLUSION	131
BIBLIOGRAPHIE	132
ANNEXES	134

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Population d’Antananarivo en 2012.....	4
Tableau 2 : Répartition de la population d’Ambatobe par classe d’âge et par sexe	5
Tableau 3 : Répartition des chefs de ménage par activité	5
Tableau 4 : Distribution du local fitness.....	9
Tableau 5 : Distribution des locaux.....	15
Tableau 6 : Résultats du calcul de section du poteau	22
Tableau 7 : Poids des éléments de la construction	25
Tableau 8 : Descente de charges du poteau	27
Tableau 9 : Descente de charges du voile 1	28
Tableau 10 : Descente de charges du voile 2	29
Tableau 11 : Valeurs de la pression dynamique de base	30
Tableau 12 : Valeurs de λ selon la face frappée par le vent	32
Tableau 13 : Actions statiques exercées par le vent	34
Tableau 14 : Calcul du coefficient β	35
Tableau 15 : Eléments de définition d’un voile	39
Tableau 16 : Détermination du centre de torsion de l’ensemble.....	39
Tableau 17 : Détermination des efforts dus à la translation	40
Tableau 18 : Détermination des efforts dus à la torsion	40
Tableau 19 : Détermination des efforts finals dans les voiles.....	41
Tableau 20 : Caractéristiques des voiles de contreventement de l’étage courant – Partie 1	42
Tableau 21 : Répartition des efforts dus au vent – Partie 1	43
Tableau 22 : Caractéristiques des voiles de contreventement de l’étage courant – Partie 2	43
Tableau 23 : Répartition des efforts dus au vent – Partie 2	44
Tableau 24 : Caractéristiques des voiles de contreventement du sous-sol – Partie 1	45
Tableau 25 : Répartition des efforts dus à la poussée – Partie 1	46
Tableau 26 : Répartition des efforts dus à la surcharge – Partie 1	46
Tableau 27 : Caractéristiques des voiles de contreventement du sous-sol – Partie 2	47
Tableau 28 : Répartition des efforts dus à la poussée – Partie 2	47
Tableau 29 : Répartition des efforts dus à la surcharge – Partie 2	48
Tableau 30 : Caractéristiques des charges venant des poutres voile.....	51
Tableau 31 : Sollicitations dues aux charges verticales	52

Tableau 32 : Efforts repris par les refends contenant les voiles 1 et 2	53
Tableau 33 : Sollicitations globales issues de l'action du vent.....	53
Tableau 34 : Sollicitations produites par les actions du vent.....	54
Tableau 35 : Sollicitations issues de la poussée des terres	54
Tableau 36 : Charges à transmettre au sol par la semelle filante	56
Tableau 37 : Chargement de la fondation.....	57
Tableau 38 : Efforts sur semelles	58
Tableau 39 : Efforts normaux sur voiles.....	64
Tableau 40 : Justification de la section I	64
Tableau 41 : Justification de la section II	65
Tableau 42 : Aciers des voiles intérieurs	65
Tableau 43 : Charges sur poutre.....	69
Tableau 44 : Les différents cas de charges	70
Tableau 45 : Moments de flexion et efforts tranchants	71
Tableau 46 : Calcul d'armatures	74
Tableau 47 : Ecartement initial et nombre de répétition	76
Tableau 48 : Calcul des moments de flexion de la dalle	79
Tableau 49 : Détermination des d'armatures	80
Tableau 50 : Calcul de la flèche pour les différents cas de charge	82
Tableau 51 : Section réduite des aciers - Voiles	84
Tableau 52 : Vérification de la stabilité au feu des voiles.....	85
Tableau 53 : Température des aciers - Poteau	86
Tableau 54 : Température des aciers - Poutre.....	87
Tableau 55 : Section réduite des aciers - Poutre	88
Tableau 56 : Moment résistant en travée.....	88
Tableau 57 : Caractéristiques de l'aire de béton comprimé.....	89
Tableau 58 : Poids du béton constitutif - Travée 1	90
Tableau 59 : Vérification de la stabilité - Poutre	90
Tableau 60 : Température des aciers au point A - Poutre.....	91
Tableau 61 : Température des aciers transversaux - Poutre	92
Tableau 62 : Rotations des rotules plastiques	94
Tableau 63 : Calcul des moments résistants en travée	95
Tableau 64 : Diamètres des tuyaux de la canalisation primaire.....	98
Tableau 65 : Diamètres des tuyaux de la canalisation secondaire	99

Tableau 66 : Diamètres des collecteurs d'appareils	100
Tableau 67 : Diamètre intérieur des tuyaux de chutes d'eaux usées	100
Tableau 68 : Débit probable d'évacuation	101
Tableau 69 : Diamètre intérieur des descentes d'eau pluviale	102
Tableau 70 : Calcul du nombre d'occupants.....	103
Tableau 71 : Caractéristiques de la fosse.....	103
Tableau 72 : Intensité nominales des fusibles et disjoncteurs	105
Tableau 73 : Eclairage moyen recommandé	106
Tableau 74 : Facteurs de réflexion des murs et plafonds.....	107
Tableau 75 : Calcul du nombre de luminaires	108
Tableau 76 : Devis descriptif	113
Tableau 77 : Sous-détails de prix	120
Tableau 78 : Détail quantitatif et estimatif	121
Tableau 79 : Tableau récapitulatif.....	125
Tableau 80 : Calcul des flux nets	127
Tableau 81 : Calcul du délai de récupération.....	129

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Photo du TN	6
Figure 2 : Plan de situation	7
Figure 3 : Plan de masse	8
Figure 4 : Schéma fonctionnel du site	12
Figure 5 : Schémas fonctionnels des étages.....	16
Figure 6 : Position des éléments à étudier	21
Figure 7 : Numérotation des niveaux N_i	26
Figure 8 : Disposition en plan de la construction.....	31
Figure 9 : Valeurs de $C_e - C_i$ pour le cas de vent normal à la grande face	33
Figure 10 : Valeurs de $C_e - C_i$ pour le cas de vent normal à la petite face	34
Figure 11 : Efforts appliqués aux murs de soutènement	35
Figure 12 : Voiles de contreventement du sous-sol	37
Figure 13 : Voiles de contreventement de l'étage courant	37
Figure 14 : Caractéristiques d'un voile.....	38
Figure 15 : Voiles de contreventement de l'étage courant – Partie 1.....	42
Figure 16 : Voiles de contreventement de l'étage courant – Partie 2.....	43
Figure 17 : Points d'application de p et q.....	44
Figure 18 : Voiles de contreventement du sous-sol – Partie 1	45
Figure 19 : Voiles de contreventement du sous-sol – Partie 2.....	47
Figure 20 : Surfaces de chargement pour le calcul des actions sur la semelle filante.....	50
Figure 21 : Distribution des charges venant des poutres voile	51
Figure 22 : Répartition des charges appliquées au voile	52
Figure 23 : Détermination de la résultante de l'effort du au vent	53
Figure 24 : Répartition du moment dû à l'action du vent.....	54
Figure 25 : Dimensions de la semelle filante.....	56
Figure 26 : Caractéristiques de la contrainte.....	59
Figure 27 : Distribution de la contrainte.....	60
Figure 28 : Niveaux de vérification.....	63
Figure 29 : Surfaces de chargement de la poutre à dimensionner.....	68
Figure 30 : Modélisation de la poutre.....	70
Figure 31 : Diagrammes des efforts	72

Figure 32 : Courbes enveloppes des efforts.....	73
Figure 33 : Dimensions de la dalle continue.....	79
Figure 34 : Schéma de la dalle.....	80
Figure 35 : Panneaux de la dalle continue	95

LISTE DES ANNEXES

Annexe I. Effet du vent.....	I
Annexe II. Calcul des charges.....	IV
Annexe III. Contreventement.....	VI
Annexe IV. Dimensionnement.....	XXII
Annexe V. Calcul au feu.....	XXVII
Annexe VI. Second œuvre.....	XXXII
Annexe VII. Planning d'exécution.....	XL
Annexe VIII. Plans d'architecture.....	XLI
Annexe IX. Plans de ferrailage.....	LV

INTRODUCTION

Le Pays est actuellement confronté à une urbanisation massive des grandes villes. D'ailleurs, la Capitale est la principale cible de ce phénomène puisqu'elle constitue un lieu d'attraction économique de la majorité de la population. En conséquence, du point de vue infrastructurel, les constructions traditionnelles cèdent leur place aux constructions multi étagées.

Comme partout dans le monde, le béton est un matériau clé permettant de satisfaire à ce type de construction. Le plus souvent allié aux aciers, il offre une solution constructive résistante, durable et plutôt économique. Toutefois, leur mise en œuvre est régie par des règlements visant à assurer la sécurité des usagers, ainsi que la pérennité et la durabilité des constructions.

C'est dans cette optique que cet ouvrage traitera de l'étude d'un bâtiment d'habitation de cinq étages, avec sous-sol, et dont le contreventement est assuré par des voiles en béton armé. Le but étant d'effectuer un dimensionnement selon les règles de l'art et les exigences imposées. A cet effet, et afin de voir tous les concepts essentiels à la réalisation de ce Projet :

- la première partie sera consacrée à la définition du cadre du Projet : de son environnement à son architecture, tout en assurant la pertinence de l'idée de construction ;
- ensuite, la deuxième partie mettra l'accent sur un aspect plus technique visant à dimensionner les éléments structuraux et les éléments du second œuvre ;
- enfin, la troisième partie consistera en une étude financière du Projet en joignant descriptif, quantitatif, et estimatif ; le tout rapporté à une étude de rentabilité.



PARTIE I : CADRE DU PROJET

CHAPITRE I : DESCRIPTION DU PROJET

I - 1. ENVIRONNEMENT DU PROJET

I - 1 - 1. Milieu physique

Capitale de la République de Madagascar, Antananarivo est située dans les hautes terres de l'île. De sa situation en hauteur, elle a un climat tropical d'altitude caractérisé par des hivers frais et secs, et des étés chauds et pluvieux. La température descend rarement au-dessous de 10°C lors de la saison fraîche, et dépasse rarement 30°C pendant la saison sèche. Soit une pluviométrie annuelle de 1 000mm à 1 600mm. Cependant avec les changements climatiques actuels, aux origines multiples, ces minima et maxima tendent à changer considérablement de façon à bouleverser le cycle climatique du pays.

Entre autres, l'hydrographie de la Capitale est plutôt dense, les plus connus étant : le fleuve Ikopa avec ses affluents, le lac Masay, le lac Mandrozeza, et surtout le lac Anosy. Quant à la topographie, le relief est plutôt mouvementé, présentant de nombreux vallonnements.

La ville d'Antananarivo, Chef-lieu de la Région d'Analamanga, s'étend sur environ 85km² si on ne tient pas compte du relief. Du point de vue administratif, elle est divisée en six (06) Arrondissements dont : Antananarivo Renivohitra, Andrefan'Ambohijanahary, Antaninandro, Ambanidia, Ambatomainty et Soavimasoandro. L'ensemble est délimité :

- au Sud et à l'Est, par la Sous-préfecture d'Antananarivo Atsimondrano ;
- à l'Ouest et au Nord, par la Sous-préfecture d'Antananarivo Avaradrano.

Parmi les Arrondissements de la Commune Urbaine d'Antananarivo se situe le cinquième Arrondissement, dont la mairie est située à Ambatomainty. Il se trouve être le plus vaste de tous car avec ses 27 Fokontany, il couvre 23,05km², soit presque le tiers de la superficie totale de la ville. Ce dernier étant délimité :

- au Nord, par le quartier d'Analamahintsy,
- au Sud, par le quartier de Manjakaray,
- à l'Est, par le quartier d'Ankadindramamy,
- et à l'Ouest, par le quartier de Soavimasoandro.

Ambatobe, un des susdits Fokontany du cinquième Arrondissement, est le lieu de réalisation du Projet à étudier. Il doit son nom à l'existence d'un grand rocher visible de loin, situé à côté de l'église FJKM. Autrefois, Ambatobe était surtout connu pour le domaine et les

établissements agricoles. D'ailleurs, certains champs de culture y subsistent encore alors que d'autres ont été remblayés pour faire place aux différentes constructions. Actuellement, bien qu'il soit un quartier de contraste où se côtoient population aisée, de classe moyenne et défavorisée, il est surtout une référence en tant que quartier résidentiel.

I - 1 - 2. Population et démographie

En 2012, l'effectif de la population de la Région d'Analamanga est estimé à 3 260 060 habitants alors qu'il était de 1 754 749 en 1993. Ce chiffre représente 15% de la population malgache et est distribué comme suit :

Tableau 1 : Population d'Antananarivo en 2012

District	Effectif	%
Ambohidratrimo	388 463	12
Andramasina	165 616	5
Anjozorobe	172 440	5
Ankazobe	147 528	5
Manjakandriana	198 743	6
Antananarivo atsimondrano	569 678	17
Antananarivo avaradrano	352 933	11
Antananarivo renivohitra	1 264 658	39
TOTAL	3 260 060	100

Source : INSTAT

La population est en effet fortement concentrée à Antananarivo Renivohitra. Pour sa part, le cinquième Arrondissement compte actuellement 342 091 habitants (27%). Soit une densité fortement élevée par rapport à la moyenne nationale qui est de l'ordre de 36 habitants au km². Toutefois, la répartition de la population est plutôt inégale dans chaque Fokontany, si l'on ne cite qu'Andraisoro qui recense 28 134 habitants (le plus peuplé), contre Morarano avec 2 490 habitants (le moins peuplé). Pour le cas d'Ambatobe, le quartier abrite 6 369 personnes, dont 1 420 ménages pour 1 120 toits. La taille moyenne du ménage au niveau du quartier est ainsi évaluée à 4,5 personnes, ce qui ne s'écarte pas de celle d'Antananarivo Renivohitra (4,9 personnes selon le RGPH93).

Tant au niveau du quartier qu'à l'échelle nationale, la population est jeune. En effet, plus de la moitié de la population ont moins de 18ans. Par ailleurs, on dénombre plus de femmes que d'hommes, respectivement 56,27% et 43,73%. La répartition par classe d'âge et par sexe de l'effectif de la population du quartier d'Ambatobe est illustrée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Répartition de la population d'Ambatobe par classe d'âge et par sexe

Age	0-5		6-17		18-21		22-60		Plus de 60	
Sexe	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Effectif	860	1 052	1 082	1 368	235	348	436	572	181	235
	1912		2450		583		1 008		416	
Pourcentage (%)	13,50	16,52	16,99	21,48	3,69	5,46	6,85	8,98	2,84	3,69
	30,02		38,47		9,15		15,83		6,53	

Source : CUA

I - 1 - 3. Environnement socio-économique

Le cinquième Arrondissement, comme toute autre subdivision du pays, est marqué par la décomposition de la population en trois couches distinctes : la couche pauvre, la couche moyenne, et la couche aisée. Ce qui touche aussi le quartier d'Ambatobe, bien qu'il soit un des quartiers résidentiels les plus prisés de la ville. Cela étant car les activités varient d'un individu à un autre. Le tableau ci-après montre par exemple celles des chefs de ménage pour le cas de quelques Sous-préfectures de la Région d'Analamanga.

Tableau 3 : Répartition des chefs de ménage par activité

Sous-préfecture	Nombre de ménages	Occupé	Chômeur	En quête 1 ^{er} emploi	Ménagère	Etudiant	Retraité	Incapacité	Autres
Antananarivo Renivohitra	145 591	111 128	5 430	3 404	8 110	5 996	8 753	1 593	1 177
Antananarivo Atsimondrano	47 104	39 878	1 063	610	1 670	161	1 997	784	940
Antananarivo Avaradrano	33 436	28 535	478	267	1 307	88	1 294	592	875

Source : RGPH93

D'après les données recueillies auprès de la CUA, le cinquième Arrondissement dispose d'une vaste plaine de 479ha permettant de cultiver une large gamme de produits et assurant ainsi l'activité économique d'une considérable partie de la population. Pour Ambatobe par exemple, la riziculture est encore prisée par les anciens habitants grâce à la préservation de certaines rizières. Outre cela, il abrite des organismes sociaux mais aussi des unités industrielles et commerciales tels que des imprimeries (NY PIKA Manjakaray), des sociétés œuvrant dans le textile (AKANJO Ambatomaro), dans les produits comestibles (JB Amboditsiry), ou dans les matériaux de construction (RED GRANIT Androhibe), et bien d'autres encore. De cette diversité des activités de la population, la participation des différents secteurs dans l'économie du cinquième Arrondissement est ainsi répartie :

- secteur primaire (agriculture, élevage) : 21,37% ;
- secteur secondaire (industrie, artisanat) : 16,43% ;
- secteur tertiaire (commerce, service) : 42,01%.

En matière d'éducation, le cinquième Arrondissement est bien riche en infrastructures scolaires. Il est en fait doté de 103 établissements scolaires publics et privés tout niveau confondu. 69% de ces infrastructures sont des établissements primaires et 31% sont destinées à l'enseignement secondaire. Parmi eux, 81% sont privés, pour ainsi dire que ce secteur participe activement dans la scolarisation des enfants de tous les quartiers avoisinants ; 38% de l'effectif des résidents de l'Arrondissement constituant la population scolarisable, 30% étant de la préscolaire.

Les dispositifs sanitaires sont tout aussi importants dans la zone. En plus de trois 03 dispensaires publics, elle dispose de 03 autres dispensaires privés. A part cela, on y dénombre : 176 bornes fontaines, 23 blocs sanitaires, 27 lavoirs publics, et 84 bacs à ordures. Concernant l'alimentation en eau potable, elle est assurée par les réseaux de distribution de la JIRAMA, assurant par la même occasion l'alimentation en électricité. Toutefois, certaines familles n'y ont pas encore accès et satisfont leur besoin au moyen des puits.

I - 2. GENERALITES SUR LE PROJET

I - 2 - 1. Localisation du Projet

Le Projet « Terrasse d'Ambatobe » est un projet de construction d'un complexe immobilier à usage d'habitation. Situé dans le quartier d'Ambatobe, du cinquième arrondissement de la commune urbaine d'Antananarivo, à quelques minutes du lycée français, le site est desservi par une route pavée. Plus exactement, le lieu d'implantation du projet se trouve à 18°52'29 de latitude Sud et 47°33'22 de longitude Est.



Figure 1 : Photo du TN



Echelle : 1/3700

Figure 2 : Plan de situation

I - 2 - 2. Présentation du Projet

La terrasse d'Ambatobe est un Projet d'aménagement d'un espace résidentiel de 3 500m². Il comporte une zone d'habitation de 1 400m² et une zone de remise en forme et loisirs de 220m² environ. L'espace restant est destiné à la circulation, aux aménagements paysagers et aux parkings pour les visiteurs.



Echelle : 1/400

- Bâtiment principal
- Bâtiment annexe
- Piscine

Figure 3 : Plan de masse

La zone d'habitation est constituée par un bâtiment principal qui se divise en deux parties A et B au niveau d'un joint de dilatation. Le bâtiment A lui-même contient un autre joint et s'élève jusqu'au cinquième étage tandis que le bâtiment B s'arrête au quatrième. De ce fait, avec ses sept niveaux, l'immeuble contient 37 logements, avec parking, répartis comme suit :

- un parking souterrain de 1 213m², pouvant accueillir jusqu'à 53 véhicules ;
- huit appartements chacun pour les niveaux RDC, R+1, R+2 et R+3 ;
- quatre appartements au R+4, et
- un appartement au R+5.

Outre cela, le Projet possède une construction annexe qui tient sur deux niveaux : le sous-sol et le rez-de-chaussée. C'est un lieu d'activités physiques visant le bien être des propriétaires et locataires. Avec la piscine, elle constitue la deuxième zone.

Tableau 4 : Distribution du local fitness

Niveau	Pièce	Aire
Sous-sol	Salle de fitness	119 m ²
Rez-de-chaussée	Vestiaire et sanitaire (homme)	14 m ²
	Vestiaire et sanitaire (femme)	15 m ²
	Coin repos	17 m ²
	Local rangement	6 m ²
	Local piscine	14 m ²

I - 3. JUSTIFICATION DU PROJET

I - 3 - 1. Situation actuelle

De nos jours, les grandes villes de Madagascar connaissent un accroissement démographique plus que jamais, et la Capitale en est la principale cible. Selon le Schéma National de l'Aménagement du Territoire, la population tananarivienne est estimée devoir doubler dans les 20 prochaines années. Parallèlement à la natalité, l'exode rural en est le plus grand facteur. En effet, depuis l'expansion de la ville d'Antananarivo, les malgaches accourent de toutes les régions : à la recherche d'emploi, en quête d'immobilier où investir, ou encore pour fuir l'insécurité dans les zones désenclavées.

Face à cette augmentation notable de la population, et bien avant qu'elle ne s'accroisse, la ville souffre d'insuffisance d'infrastructures ; la plupart des constructions étant vétustes, d'autres illicites, la bidonvilisation gagne de plus en plus de quartiers, dont le cinquième Arrondissement aussi. Les seuls qui répondent aux normes d'urbanisation sont les quartiers résidentiels et les zones disposant d'un ensemble de logements sociaux (cité Analamahitsy, cité 67ha, ...). Ainsi,

les quartiers concernés se heurtent à plusieurs problèmes mais ce qui les touche le plus sont les problèmes d'assainissement, les problèmes d'éclairage, et les problèmes de sécurité.

I - 3 - 2. Choix de Projet

Depuis l'installation du lycée français, Ambatobe est devenu une référence de luxe dans le domaine de l'immobilier. De plus, avec les grandes infrastructures environnantes, qu'elles soient sportives, culturelles ou commerciales et autres, le quartier ne fait qu'attirer les habitants du centre-ville. Par conséquent, terrains, maisons, et appartements se vendent aussi vite qu'ils sont mis sur le marché. C'est ainsi que de nos jours, les terrains disponibles sont rares et les propriétés à vendre plus chères.

D'après l'Annuaire des statistiques du secteur santé de Madagascar (2011), les ménages de la région d'Analamanga se répartissent comme suit selon le type de logement :

- appartement : 5% ;
- studio : 2,1% ;
- chambre : 25,5% ;
- maison individuelle : 62,8% ;
- villa de type moderne : 4,4% ;
- autres : 0,3%.

En conséquence, le choix de construire des appartements est le mieux adapté puisque ce type de construction permet d'abriter plus de familles sur moins de terrain qu'il ne faudrait si on avait recours aux maisons individuelles. De surcroît, les appartements présentent plusieurs points forts. Déjà au niveau budget, les prix sont plus accessibles, bien que l'espace vital soit moins important. En plus, ils représentent moins de charges grâce à la notion de copropriété, et aussi plus de sécurité. D'un autre point de vue, un tel Projet contribuerait positivement à l'aménagement du territoire, et à plus grande échelle : une meilleure urbanisation du quartier, puis de la ville, avec les bienfaits que cela engendrerait.

I - 3 - 3. Faisabilité du Projet

Face à la réalisation d'un Projet d'une telle ampleur, les principaux intervenants, dont l'Entreprise Titulaire, disposent bien évidemment des ressources nécessaires quant à cette fin. Outre ces moyens, le site d'implantation possède quelques potentialités qui jouent en faveur de ces acteurs :

- l'accessibilité du site ;



- la proximité d'une source d'alimentation en eau et en électricité ;
- l'existence de lieux d'approvisionnement en matériaux de construction aux environs du quartier.

CHAPITRE II : ETUDE ARCHITECTURALE

II - 1. VUE D'ENSEMBLE

II - 1 - 1. Organisation de l'espace

La Terrasse d'Ambatobe est tel un logement collectif, à la différence qu'elle met l'accent sur le luxe et le confort, dans le respect des normes de sécurité qui est un point non négligeable quel que soit le type de construction. Alignée avec des maisons de haut standing, la propriété ne possède pas de clôture extérieure à toute son emprise mais comporte bien des murets en béton armé et des clôtures en panneau rigide qui la compartimentent en certaines zones. De ce fait, le complexe possède quelques points d'entrée qui se situent :

- pour le bâtiment principal : au niveau du parking du bâtiment A et du bâtiment B, mais aussi au niveau du rez-de-chaussée où l'on trouve trois entrées principales ;
- pour le bâtiment annexe : à partir d'une entrée directement accessible depuis la route ;
- pour l'ensemble : au niveau des parcs de stationnement pour les véhicules des visiteurs.

Il y a des allées de part et d'autre de la propriété afin que les piétons puissent circuler librement dans l'enceinte et joindre ces accès. Le reste de la surface du terrain non occupé par les constructions étant engazonné afin de former un espace vert, et ainsi renforcer l'aménagement paysager du projet.

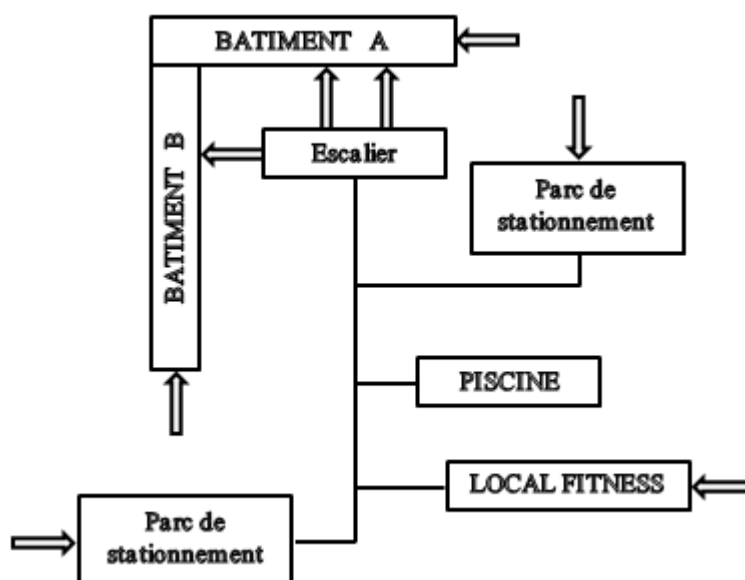


Figure 4 : Schéma fonctionnel du site

II - 1 - 2. Aspect général

D'un point de vue général sur les façades, elles sont enduites de peintures et comportent des bardages en bois à certains endroits, ce qui favorise l'aspect esthétique de la bâtisse. La structure, elle, est en béton armé, dont les éléments porteurs sont les murs : des voiles en béton banché. Par ailleurs, les menuiseries extérieures sont principalement en aluminium : baies vitrées, volets roulants, persiennes. Le tout est alors protégé par une toiture à ossature métallique et dont la couverture est assurée par du bac acier pré laqué. On y rencontre entre autres des pergolas métalliques.

Quant aux menuiseries en bois, elles sont surtout utilisées pour l'aménagement de l'intérieur. En effet, les portes palières et les portes intérieures sont en bois. De plus, ce matériau est très utilisé pour la réalisation du plancher : bien que leur sous face (faux-plafond) soit faite de plaques de plâtre, le recouvrement des planchers est assuré par des parquets en bois. Toutefois, les pièces telles que les cuisines sont carrelées.

II - 2. DU CONFORT A LA SECURITE

II - 2 - 1. Le confort

Le confort et la sécurité sont aussi importants l'un que l'autre. Dans le cas des bâtiments à usage d'habitation, au stade de la conception et de la construction, ils s'obtiennent surtout au moyen des matériaux de construction utilisés, mais aussi grâce aux dispositions constructives adoptées.

Concernant le confort, le bruit constitue une nuisance majeure au bien être des propriétaires. Face à la notion de collectivité au sein de la propriété, il n'est pas à prendre à la légère. C'est pourquoi certaines mesures ont été prises afin d'y remédier. Déjà, l'utilisation du béton comme matériau principal de construction contribue beaucoup au confort acoustique de la construction. En effet, des bruits aériens aux bruits d'impacts, le béton offre une solution efficace à la réalisation de parois isolantes, et sa combinaison avec des matériaux absorbants lui confère plus de capacité à intercepter et à réduire les ondes sonores, ce qui est le cas des planchers. Tout comme le béton, les bois massifs utilisés en tant que menuiserie intérieure contribuent non seulement à l'isolation phonique des pièces entre elles, mais aussi à l'isolation phonique de chaque appartement.

De même que le confort au niveau des appartements, la circulation dans les bâtiments est tout autant assurée. En effet, pour la circulation horizontale, les couloirs ont une largeur de

1,40m ou de 1,45m, dans le respect des exigences. Quant à la communication entre les étages, les escaliers ont un emmarchement égal au minimum requis pour les immeubles, pareillement aux paliers de repos, c'est-à-dire 1,40m. De surcroît, le bâtiment principal possède trois ascenseurs de type petit, accessibles aux handicapés et desservant 6 ou 7 niveaux, y compris le sous-sol. Ces derniers ont une capacité de 400 kg, ce qui admet jusqu'à 5 personnes.

II - 2 - 2. La sécurité

Du côté sécurité, l'accent a été mis sur les risques d'incendie car la structure est calculée de façon à avoir une résistance au feu de 2h ou 1h selon le niveau : 2h pour le sous-sol et 1h pour les étages courants. Ainsi, durant ce laps de temps, l'effondrement des principaux éléments de la structure n'est pas à craindre en cas d'incendie, que cela soient les voiles, les dalles, les poutres ou les poteaux. De cette façon, et grâce à la conception des voies de circulation selon les normes, on peut assurer efficacement une évacuation de l'immeuble.

A part les mesures prises vis-à-vis des dangers liés au feu, ce que l'on considère comme relatif au bâtiment, la sécurité des personnes n'a pour autant pas été prise à la légère. En effet, l'utilisation de matériaux résistants afin de sécuriser les lieux assurent la sérénité des résidents. Déjà, bien que le projet ne possède pas de clôture, les portes ou portails métalliques au niveau des entrées permettent d'y remédier et réduit fortement les risques d'effraction et de vol. De plus, du fait que les varangues sont présentes pour chaque appartement, la mise en place de garde-corps métallique ou en béton armé constitue un moyen de prévention des accidents. De même pour les mains-courantes en métallerie des escaliers.

II - 2 - 3. Disposition des locaux

Les locaux sont disposés dans le respect du Code de la construction et de l'habitation applicable aux logements, dont les points essentiels sont :

- avoir un minimum de surface et de volume habitables de 14m² et de 33m³ par habitant ;
- disposer d'une alimentation en eau potable et d'une installation d'évacuation des eaux usées ;
- comporter au moins une pièce pour la toilette, avec une douche et/ou une baignoire et un lavabo ;
- être pourvu d'un cabinet d'aisance intérieur ;
- comporter un évier et un emplacement réservé aux appareils de cuisson.

Voici ci-après les surfaces en m² des locaux du bâtiment principal, où :

- la hauteur sous-plafond des étages courants est de 2,60m et celui du sous-sol est de 2,46m.
- T désigne type, c'est-à-dire que la dénomination T2, T3 ou T4 renvoi au type d'appartement selon le nombre de pièces principales qu'il comporte (2, 3 ou 4).

Tableau 5 : Distribution des locaux

Niveau	Local	Surface [m ²]	Varangue [m ²]	Total [m ²]
R-1	Parking	1213	-	1244
	Vestiaire	19	-	
	Local poubelle	12	-	
RDC	Appartements T2	52	16	1023
		60	23	
		66	18	
	Appartements T3	96	17	
		120	20	
		124	30	
	Appartements T4	149	23	
		154	55	
R+1	Appartements T2	52	16	1023
		60	23	
		66	18	
	Appartements T3	96	17	
		120	20	
		124	30	
	Appartements T4	149	23	
		154	55	
R+2	Appartements T2	52	26	1035
		60	23	
		66	18	
	Appartements T3	96	17	
		120	20	
		124	32	
	Appartements T4	149	25	
		154	53	
R+3	Appartements T2	52	12	984
		60	17	
		66	14	
	Appartements T3	96	20	
		120	19	
		124	31	
	Appartements T4	149	22	
		154	28	
R+4	Appartements T3	96	29	592
		120	19	
		124	32	
	Appartement T4	149	23	
R+5	Appartement T4	149	49	198

Les différents plans relatifs au projet sont fournis dans l'Annexe VIII.

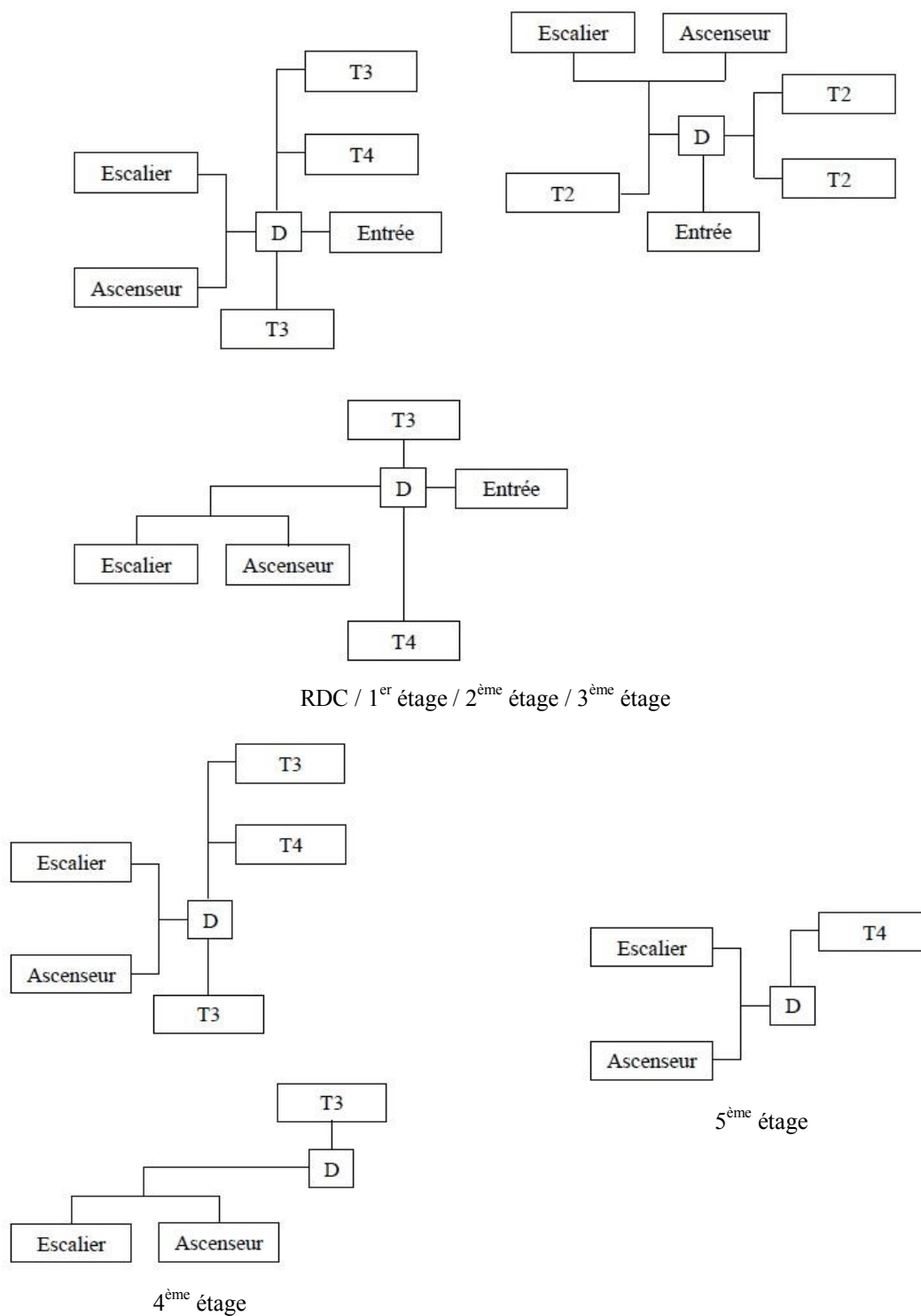


Figure 5 : Schémas fonctionnels des étages

CONCLUSION PARTIELLE

Cette première partie a permis de mettre en avant le bien-fondé de ce projet de construction face aux différents paramètres, tant économique qu'environnemental et autres. En somme, l'accroissement de la population confronté à l'insuffisance d'infrastructures a conduit à l'élaboration de ce projet. Par ailleurs, cette partie fournit un descriptif plus ou moins sommaire du projet, en insistant surtout sur ses traits caractéristiques. Confort et sécurité ont été à la base de la conception architecturale, cela afin de répondre aux besoins du public cible.

Conception faite, il convient alors de poursuivre l'étude avec une partie technique visant surtout à dimensionner les différents éléments de la construction selon les règles en vigueur.



PARTIE II : ETUDES TECHNIQUES

CHAPITRE III : ETUDES PRELIMINAIRES

III - 1. HYPOTHESES GENERALES

III - 1 - 1. Les états limites

L'état limite est défini comme étant l'état d'une structure au-delà duquel sa fonction n'est plus remplie. On en distingue 2 types :

- l'Etat Limite de Service ou ELS, qui est lié aux conditions normales d'exploitation et de durabilité en service, et
- l'Etat Limite Ultime ou ELU, qui est lié à la capacité portante.

Il est de ce fait nécessaire de respecter les critères relatifs à chaque état limite pour assurer la pérennité et la durabilité de l'ouvrage. Sachant que les principaux paramètres qui peuvent influencer sur la sécurité d'une ossature sont : les matériaux, les charges et les modèles de calcul. A cet effet, les calculs se référeront aux règles et textes réglementaires en vigueur.

III - 1 - 2. Caractéristiques des matériaux

III - 1 - 2 - 1. Le béton

a. Résistances

Les calculs seront effectués dans l'hypothèse où la résistance caractéristique du béton dosé à 350 à la compression, notée f_{c28} , est prise égale à 25MPa. Et puisque la résistance à la traction est déduite de cette valeur par la relation $f_{t28} = 0,6 + 0,06f_{c28}$, elle est évaluée à 2,1MPa. Soient :

$$f_{c28} = 25\text{MPa} \text{ et } f_{t28} = 2,1\text{MPa}$$

b. Modules de déformation

Le module de déformation instantanée du béton à 28 jours d'âge est égale à :

$$E_{i28} = 11\,000\sqrt[3]{f_{c28}}$$

Quant au cas de charges de longue durée, le module de déformation est égal au tiers de celui des cas de charges instantanées, soit :

$$E_{v28} = \frac{E_{i28}}{3}$$

D'où :

$$E_{i28} = 32\,164\text{MPa} \text{ et } E_{v28} = 10\,721\text{MPa}$$

c. Contrainte admissible de compression

La contrainte admissible en compression du béton à l'état limite de service $\overline{\sigma}_{bc}$ est donnée par l'équation :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6f_{c28}$$

A l'état limite ultime, elle est égale à :

$$f_{bc} = \frac{0,85f_{c28}}{\theta\gamma_b}$$

Où : $\gamma_b = 1,5$ et $\theta = 1$ sont respectivement des coefficients qui tiennent compte de la sécurité (cas de combinaison fondamentale) et de l'influence de la durée d'application (cas où $t > 24h$).

Ainsi :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 15\text{MPa} \quad \text{et} \quad f_{bc} = 14,17\text{MPa}$$

III - 1 - 2 - 2. L'acier

a. Caractéristique mécanique

Afin d'armer le béton, on utilisera des barres à haute adhérence de limite d'élasticité garantie égale à 500MPa, notées : HA fe E 500.

b. Module d'élasticité

Le module de d'élasticité longitudinale de l'acier est pris égal à : $E_s = 200\,000\text{MPa}$.

c. Contrainte de l'acier

Les fissurations sont considérées peu préjudiciables, tant pour la superstructure que pour l'infrastructure. Alors, la contrainte de l'acier est donnée par la formule :

$$\sigma_s = f_{ed} = \frac{f_e}{\gamma_s}$$

Où : $\gamma_s = 1,15$ est le coefficient de sécurité pour l'acier. Soit :

$$f_{ed} = 435\text{MPa}$$

d. Enrobage

L'enrobage minimal des aciers est de :

- 3cm pour les éléments de la superstructure ;
- 4cm pour les éléments de l'infrastructure et les voiles enterrées.

III - 2. PREDIMENSIONNEMENT

Le prédimensionnement consiste à déterminer selon certaines conditions les sections des différents éléments en béton armé qui constituent la structure du bâtiment. On distingue :

- les éléments verticaux : poteaux, voiles ;
- les éléments horizontaux : poutres, dalles.

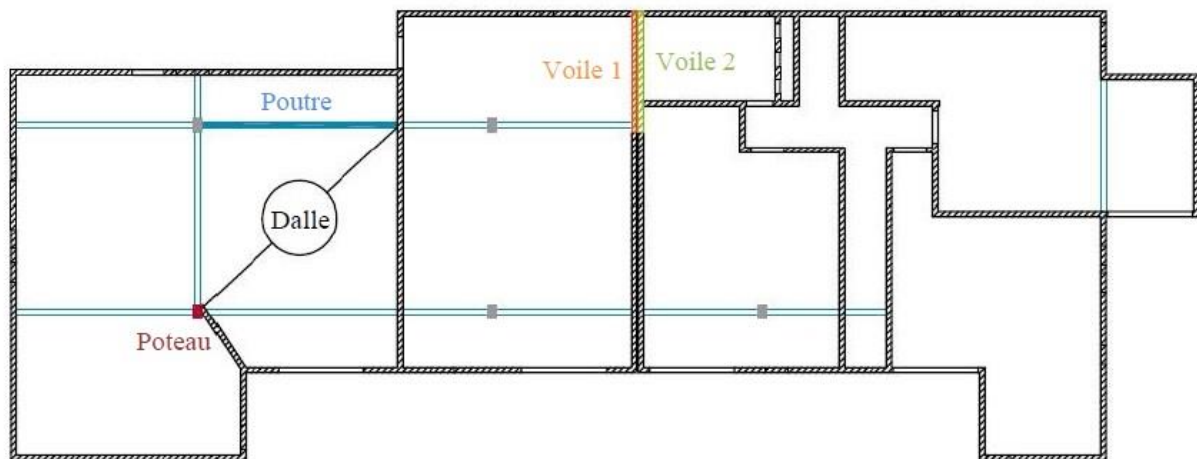


Figure 6 : Position des éléments à étudier

III - 2 - 1. Poteau

En se basant sur l'hypothèse où le poteau est soumis à un effort de compression centré N , la surface correspondante est donnée par la relation :

$$S \geq \frac{N}{0,9f_{bc}}$$

Avec :

S : Section transversale du poteau, de dimensions a et b (section rectangulaire), soit $S = a \times b$;

f_{bc} : Contrainte admissible de compression du béton à l'ELU, évaluée à 14,17MPa.

Pour une surface d'influence du poteau notée A , sur un nombre de niveaux n , l'effort normal de compression est tel que :

$$N = nqA$$

Où q représente la charge moyenne reçue par un plancher d'étage, et sa valeur varie de 1 à 1,5t/m².

L'aire de chargement à prendre en compte pour le calcul est celui du poteau le plus chargé, c'est-à-dire $A = 29,76\text{m}^2$.

On obtient les résultats suivants, pour $n = 6$:

Tableau 6 : Résultats du calcul de section du poteau

$q[t/m^2]$	$N [MN]$	$S [m^2]$
1	1,79	0,14
1,5	2,68	0,21

En fixant $a = 0,50m$, on se permettra d'adopter une section moyenne de $0,150m^2$. Ce qui équivaut à $a = 50cm$ et $b = 30cm$.

III - 2 - 2. Voile

Il n'y a pas de prédimensionnement proprement dit pour les voiles. Toutefois, il est spécifié dans les clauses du DTU 23.1 relatif aux murs en béton banché que l'épaisseur minimale d'un voile est fixée à 15cm, sauf exception. Les valeurs courantes étant de 15cm à 20cm, une épaisseur de 18cm permettrait d'assurer une isolation acoustique suffisante et de supporter efficacement les charges appliquées à l'ouvrage, dans le respect des dispositions d'armatures requises. C'est ainsi qu'on retiendra une épaisseur de 18cm.

III - 2 - 3. Poutre

La plus grande portée (entre nus d'appuis) des poutres de la structure suivant le sens longitudinal est de 6,68m contre 6,40m suivant le sens transversal. Comme les poutres sont continues dans les deux sens, et puisque la différence entre les portées n'est pas trop importante, on utilisera la portée longitudinale $L = 6,68m$ pour le dimensionnement. Il s'agit de déterminer la hauteur et la largeur de la poutre en vérifiant les relations suivantes :

- pour la hauteur h (cas d'une poutre continue) :

$$\frac{L}{18} \leq h \leq \frac{L}{14}$$

- pour la largeur b :

$$0,3h \leq b \leq 0,6h$$

Après calcul, on trouve $37cm \leq h \leq 48cm$. Mais comme plus de béton représente moins d'acier, le choix se porte sur une hauteur $h = 45cm$, limitée par les impératifs architecturaux. La largeur doit de ce fait être comprise entre 13cm et 27cm, soit $b = 18cm$.

III - 2 - 4. Dalle

Les planchers de l'ouvrage sont en béton armé : dalle pleine portant sur 3 ou 4 côtés. Leur prédimensionnement consiste à déterminer l'épaisseur en fonction de la portée la plus importante afin de les uniformiser. Les dimensions de la dalle à considérer sont les suivantes :

$$l_x = 6,15\text{m} \text{ et } l_y = 6,68\text{m}$$

$\alpha = \frac{l_x}{l_y} = 0,92 > 0,40$: La dalle est portée sur deux côtés. L'épaisseur doit alors vérifier l'inéquation (cas de dalle continue) :

$$\frac{L}{45} \leq e \leq \frac{L}{35}$$

Avec : $L = \sqrt{l_x l_y} = 6,41\text{m}$. D'où : $14\text{cm} \leq e \leq 18\text{cm}$. L'épaisseur de la dalle à adopter sera de 18cm.

III - 3. CALCUL DES ACTIONS

Les actions sont l'ensemble des charges appliquées à la structure qui entraînent des déformations de la structure. Pour le cas du projet, il est notamment soumis à :

- des actions permanentes, appliquées de manière définitive, et
- des actions variables, dont :
 - o les actions d'exploitation, et
 - o les actions climatiques dues au vent.

III - 3 - 1. Charges verticales

III - 3 - 1 - 1. Inventaire des charges

Les charges verticales à prendre en compte dans les calculs sont les suivantes :

a. *Charges permanentes*

- Cloison léger : $0,050\text{t/m}^2$
- Forme de pente : $2,000\text{t/m}^3$
- Couche drainante (gravillon) : $1,350\text{t/m}^3$
- Revêtements et étanchéités :
 - o Etanchéité
 - Terrasse inaccessible (multicouche) : $0,010\text{t/m}^2$
 - Terrasse accessible (bicouche) : $0,100\text{t/m}^2$
 - o Carrelage scellé ép. 6cm : $0,120\text{t/m}^2$

- Parquet sur lambourde ép.6cm (y compris le scellement) : $0,030\text{t/m}^2$
- Revêtement en pierre granit ép.4cm : $0,110\text{t/m}^2$
- Faux plafond + isolant (y compris fixation) : $0,020\text{t/m}^2$
- Terre végétale à l'état saturé : $2,000\text{t/m}^3$
- Bardage en bois en bakélite : $0,015\text{t/m}^2$

A part ces charges, le poids volumique du béton armé est de $2,500\text{t/m}^3$. Etant donné que la structure du bâtiment est principalement faite de ce matériau, cette valeur sera la base du calcul du poids des autres éléments de construction utile à la descente des charges. Par ailleurs, il est admis qu'il n'y a ni dégression horizontale ni dégression verticale des charges ci-dessous car le projet n'est pas concerné par les critères d'application de ces dernières.

Tableau 7 : Poids des éléments de la construction

Elément de construction		Masse	Total	Unité
Dalle	18cm	0,45	0,45	[t/m ²]
	20cm	0,50	0,50	
	25cm	0,63	0,63	
Poutre	18cm x 30cm	0,14	0,14	[t/m]
	18cm x 45cm	0,20	0,20	
	18cm x 50cm	0,23	0,23	
Poteau	23cm x 50cm	0,29	0,29	[t/m]
	30cm x 50cm	0,38	0,38	
Voile	18cm	0,45	0,45	[t/m ²]
Placoplatre	7cm	0,05	0,05	[t/m ²]
Toiture	bac acier nervuré	0,010	0,050	[t/m ²]
	pannes + accessoires	0,020		
	faux plafond	0,02		
Terrasse inaccessible	étanchéité multicouche	0,01	0,50	[t/m ²]
	forme de pente 2%	0,04		
	dalle 18cm	0,45		
Terrasse accessible	carrelage	0,12	0,71	[t/m ²]
	étanchéité bicouche	0,10		
	forme de pente 2%	0,04		
	dalle 18cm	0,45		
Terrasse végétalisée	terre végétale	0,14	0,73	[t/m ²]
	forme de pente 2%	0,04		
	étanchéité bicouche	0,10		
	dalle 18cm	0,45		
Plancher (carrelage)	carreau	0,12	0,59	[t/m ²]
	dalle 18cm	0,45		
	faux plafond	0,02		
Plancher (parquet)	parquet bois	0,03	0,50	[t/m ²]
	dalle 18cm	0,45		
	faux plafond	0,02		

b. Surcharges d'exploitation

- Logement : 0,150 t/m²
- Circulation, escalier : 0,250 t/m²
- Balcons, varangue et coursive en porte-à-faux : 0,350 t/m²
- Terrasse inaccessible : 0,100 t/m²
- Parking : 0,250 t/m²

- Terrasse accessible en porte-à-faux : $0,350 \text{ t/m}^2$
- Terrasse accessible sur 2 ou 3 cotés : $0,150 \text{ t/m}^2$

III - 3 - 1 - 2. Descente des charges

Il s'agit de calculer pour chaque élément vertical les charges reprises en partant de l'étage le plus haut et de les cumuler jusqu'aux fondations afin de pouvoir dimensionner les différents éléments de la structure. Pour ce faire, les niveaux seront ainsi répartis :

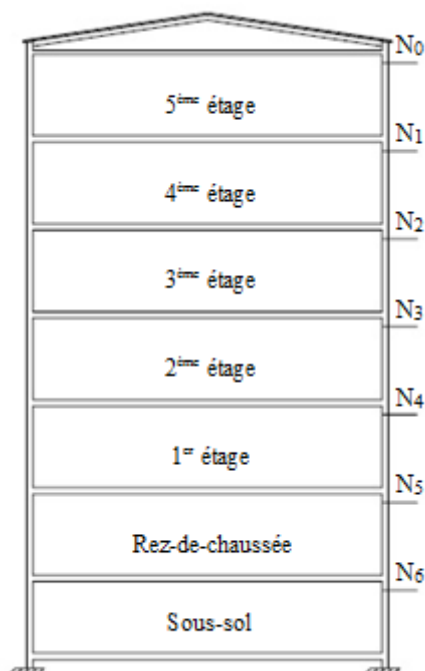


Figure 7 : Numérotation des niveaux N_i

a. Poteau

Le choix du poteau à étudier a été effectué de sorte qu'il assure un bon cheminement des charges jusqu'à la fondation. En plus de répondre à ce critère, du sous-sol au R+5, il présente la plus importante surface d'influence. Il est de ce fait le plus chargé. Les charges à prendre en compte résultent donc des réactions d'appuis des dalles et poutres qui s'appuient dessus.

Tableau 8 : Descente de charges du poteau

Niveau	Nature de la charge	Zone d'impact de la charge		Charge unitaire [t/m ²] ou [t/m]		Charge appliquée		Charge cumulée	
		S [m ²]	L [m]	G	Q	G [t]	Q [t]	G [t]	Q [t]
N ₀	Toiture	29,76	-	0,05	-	1,49	-	2,82	0
	Poutre 18x30	-	9,86	0,14	-	1,33	-		
N ₁	Poteau 30x50	-	3,80	0,38	-	1,43	-	21,66	4,46
	Placoplatre	-	6,26	0,05	-	0,31	-		
	Plancher (parquet)	29,76	-	0,50	0,15	14,88	4,46		
	Poutre 18x50	-	9,86	0,23	-	2,22	-		
N ₂	Poteau 30x50	-	2,58	0,38	-	0,97	-	40,03	8,93
	Placoplatre	-	6,26	0,05	0,15	0,31	4,46		
	Plancher (parquet)	29,76	-	0,50	-	14,88	-		
	Poutre 18x50	-	9,86	0,23	-	2,22	-		
N ₃	Poteau 30x50	-	2,58	0,38	-	0,97	-	58,41	13,39
	Placoplatre	-	6,26	0,05	-	0,31	-		
	Plancher (parquet)	29,76	-	0,50	0,15	14,88	4,46		
	Poutre 18x50	-	9,86	0,23	-	2,22	-		
N ₄	Poteau 30x50	-	2,58	0,38	-	0,97	-	76,79	17,86
	Placoplatre	-	6,26	0,05	-	0,31	-		
	Plancher (parquet)	29,76	-	0,50	0,15	14,88	4,46		
	Poutre 18x50	-	9,86	0,23	-	2,22	-		
N ₅	Poteau 30x50	-	2,58	0,38	-	0,97	-	94,95	22,32
	Placoplatre	-	6,26	0,05	-	0,31	-		
	Plancher (parquet)	29,76	-	0,50	0,15	14,88	4,46		
	Poutre 18x45	-	9,86	0,20	-	2,22	-		
N ₆	Poteau 30x50	-	2,58	0,38	-	0,97	-	115,12	25,66
	Plancher (parquet)	22,27	-	0,50	0,15	11,14	3,34		
	Poutre 50x65	-	9,93	0,81	-	8,07	-		

Due à la position du poteau étudié, il est à effectuer une majoration de 15% des charges ainsi obtenues afin de tenir compte de l'effet de la continuité des efforts sur les poteaux. Après affectation de ce coefficient, les actions en tête de poteau sont :

$$G = 132,19t \text{ et } Q = 29,51t$$

b. Voile

Le choix du voile pour lequel sera effectuée une descente de charges part du même principe que celui du poteau. Cependant, afin d'assurer le bon cheminement des charges, il se porte sur un voile qui tient sur six niveaux : du sous-sol au quatrième étage. Cela étant, il est

nécessaire d'effectuer la descente de charges d'un deuxième voile, séparé du premier par un joint de dilatation, dans un souci de calcul de la fondation correspondante. Ce dernier tient sur cinq niveaux : du sous-sol au troisième étage. Néanmoins, les dispositions pour la détermination des charges reprises par chaque voile sont les mêmes que pour les poteaux.

Tableau 9 : Descente de charges du voile 1

Niveau	Nature de la charge	Surface [m ²]	Charge unitaire [t/m ²]		Charge appliquée [t]		Charge cumulée [t]	
			G	Q	G	Q	G	Q
N ₁	Plancher (parquet)	3,63	0,50	0,15	1,82	0,54	1,82	0,54
N ₂	Voile	12,53	0,45	-	5,64	-	9,27	1,09
	Plancher (parquet)	3,63	0,50	0,15	1,82	0,54		
N ₃	Voile	12,53	0,45	-	5,64	-	16,72	1,63
	Plancher (parquet)	3,63	0,50	0,15	1,82	0,54		
N ₄	Voile	12,53	0,45	-	5,64	-	24,18	2,18
	Plancher (parquet)	3,63	0,50	0,15	1,82	0,54		
N ₅	Voile	12,53	0,45	-	5,64	-	31,63	2,72
	Plancher (parquet)	3,63	0,50	0,15	1,82	0,54		
N ₆	Voile	12,53	0,45	-	5,64	-	39,09	3,27
	Plancher (parquet)	3,63	0,50	0,15	1,82	0,54		
N _{6'}	Toiture terrasse	0,19	0,50	0,05	0,10	0,01	0,10	0,01

$$\begin{cases} G = 39,09t & \text{et} & Q = 3,27t \\ G' = 0,10t & \text{et} & Q' = 0,01t \end{cases}$$

La portée du voile considéré augmente de 1,055m au niveau du sous-sol, alors qu'il était de 4,125m pour les autres niveaux. G' et Q' représentent alors les charges reçues par cette partie excédante. Les charges en tête de voile, par mètre linéaire, sont donc :

$$\begin{cases} g = 9,48t/m & \text{et} & q = 0,79t/m \\ g' = 0,09t/m & \text{et} & q' = 0,01t/m \end{cases}$$

Tableau 10 : Descente de charges du voile 2

Niveau	Nature de la charge	Surface [m ²]	Charge unitaire [t/m ²]		Charge appliquée [t]		Charge cumulée [t]	
			G	Q	G	Q	G	Q
N ₂	Varangue	0,39	0,71	0,35	0,20	0,14	0,28	0,14
N ₃	Voile	12,53	0,45	-	5,64	-	6,11	0,20
	Plancher (parquet)	0,39	0,50	0,15	0,20	0,06		
N ₄	Voile	12,53	0,45	-	5,64	-	11,95	0,25
	Plancher (parquet)	0,39	0,50	0,15	0,20	0,06		
N ₅	Voile	12,53	0,45	-	5,64	-	17,78	0,31
	Plancher (parquet)	0,39	0,50	0,15	0,20	0,06		
N ₆	Voile	12,53	0,45	-	5,64	-	23,61	0,37
	Plancher (parquet)	0,39	0,50	0,15	0,20	0,06		
N _{6'}	Toiture terrasse	0,19	0,50	0,05	0,10	0,01	0,10	0,01

$$\begin{cases} G = 23,61t & \text{et} & Q = 0,37t \\ G' = 0,10t & \text{et} & Q' = 0,01t \end{cases}$$

On obtient les charges en tête de voile par mètre linéaire ci-dessous, respectivement pour chaque partie $L = 4,135m$ et $L' = 1,055m$:

$$\begin{cases} g = 5,72t/m & \text{et} & q = 0,09t/m \\ g' = 0,09t/m & \text{et} & q' = 0,01t/m \end{cases}$$

III - 3 - 2. Charges horizontales

III - 3 - 2 - 1. Effets du vent

Le calcul des effets du vent consiste à évaluer les efforts appliqués aux différentes parties de la construction à partir de la valeur de la charge du vent, selon les Règles NV65. Il est établi dans l'hypothèse que la direction d'ensemble moyenne du vent est horizontale.

a. Pression dynamique

La pression dynamique à prendre en compte dans les calculs dépend d'un certain nombre de paramètres :

➤ La région : q_{10}

Par définition, les pressions dynamiques de base s'exercent à une hauteur de 10m au-dessus du sol, pour un site normal, sans effet de masque, sur un élément dont la plus grande

dimension est égale à 0,50m. Elle varie d'une région à une autre puisqu'elle est fonction de la vitesse du vent.

A la demande du bureau de contrôle, les valeurs à appliquer au projet sont celles de l'ancien règlement qui sont les suivantes :

Tableau 11 : Valeurs de la pression dynamique de base

q_{10} [kg/m ²]	Vent normal	Vent extrême
Hauts plateaux	50	87,5
Zones côtières	143	250

Comme le cas correspondant est un cas de vent normal pour construction en hauts plateaux :

$$q_{10} = 50 \text{ kg/m}^2$$

➤ Le site d'implantation de la construction : K_s

La nature du site est définie par le cahier de charges en tant que site de type normal. Ce type correspond aux plaines et plateaux de grande étendue de pente inférieure à 10%, et l'effet de site résultant est défini par un coefficient de modification de la pression dynamique de base pris égal à :

$$K_s = 1$$

➤ L'emplacement de la construction : K_m

Il y a effet de masque lorsqu'une construction est abritée partiellement ou totalement par d'autres constructions. Dans de pareil cas, la pression dynamique de base peut être réduite de 25% tout au plus, ce qui équivaut à $K_m = 0,75$. Mais comme le bâtiment se trouve dans le cas échéant, aucune réduction des actions du vent relative à l'effet de masque ne sera retenue. D'où :

$$K_m = 1$$

➤ La hauteur de la construction : K_h

L'action du vent est une fonction croissante de l'altitude du point étudié par rapport au sol environnant. Elle est traduite par le coefficient K_h , tel que la pression dynamique à la hauteur h est obtenue en multipliant la pression dynamique de base par ce coefficient.

$$K_h = 2,5 \frac{h + 18}{h + 60}$$

Comme le point le plus élevé de la construction se trouve à $h = 19,73\text{m}$ au-dessus du sol :

$$K_h = 1,18$$

➤ Les dimensions de l'élément étudié : δ

Le coefficient δ est un coefficient de réduction tenant compte de la variation de l'action du vent d'une surface à une autre. Sa valeur est donnée par le diagramme de l'Annexe I - 1 qui est fonction de :

- la plus grande surface offerte au vent $a = 51,38\text{m}$;
- la hauteur au-dessus du sol $h = 19,73\text{m}$.

Après lecture de l'abaque, la valeur correspondante à ces critères est :

$$\delta = 0,73$$

Par la suite, la pression dynamique corrigée est obtenue en affectant ces coefficients à la pression dynamique de base selon la relation :

$$q_c = K_s K_m K_h \delta q_{10}$$

q_c : Pression dynamique corrigée ou pression dynamique de calcul.

$$q_c = 43,18\text{kg/m}^2$$

b. Actions statiques

Au niveau disposition, la construction est considérée comme reposant sur le sol, avec une perméabilité inférieure à 5% (construction fermée), et de forme prismatique à base rectangulaire avec un décrochement en plan. De ce fait, le rapport de la hauteur h à la dimension horizontale diffère selon la direction du vent considérée, dont :

- le vent normal à la grande face (cas du vent 1) ;
- le vent normal à la petite face (cas du vent 2).

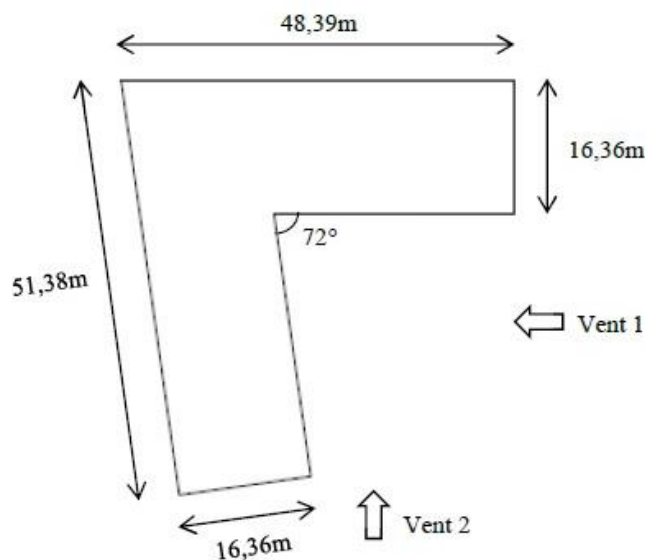


Figure 8 : Disposition en plan de la construction

Pour $S = 1\,324\text{m}^2$, surface en plan du maître-couple de la construction, les rapports de dimension sont :

$$\lambda_a = \frac{h}{a}$$

a : Dimension normale au vent du rectangle circonscrit

$$\lambda_b = \frac{h}{b}$$

b : Quotient par a de la surface en plan

Tableau 12 : Valeurs de λ selon la face frappée par le vent

	a	b	λ_a	λ_b
Vent 1	51,38m	25,77m	0,38	0,77
Vent 2	27,36m	48,39m	0,72	0,41

Pour les deux cas de vent :

- vent normal à la grande face (vent 1) : $\lambda_a < 0,5$ et $\lambda_b = 0,77$;
- vent normal à la petite face (vent 2) : $\lambda_b < 1$ et $\lambda_a = 0,72$;

L'abaque de l'Annexe I - 2 indique une même valeur du coefficient γ_0 qui est un coefficient tenant compte des facteurs aérodynamiques. Soit : $\gamma_0 = 1$.

Pour l'évaluation des actions statiques du vent proprement dites, elles se traduisent par des actions extérieures et intérieures, caractérisées respectivement par les coefficients C_e et C_i qui peuvent être des pressions et/ou des suctions :

➤ Actions extérieures

Cas des parois verticales :

- Face au vent : $C_e = +0,8$
- Face sous le vent : $C_e = -(1,3\gamma_0 - 0,8) = -0,5$

Cas de la toiture à versants plans de pente 15% et dont la flèche $f \leq \frac{h}{2}$ (voir Annexe I – 3) :

- Vent normal aux génératrices ($\alpha = 8,53^\circ$) :
 - Face au vent : $C_e = -0,65$
 - Face sous le vent : $C_e = -0,34$
- Vent parallèle aux génératrices ($\alpha = 0^\circ$) :
 - Face au vent : $C_e = -0,47$
 - Face sous le vent : $C_e = -0,47$

➤ Actions intérieures

Comme les parois ont une perméabilité $\mu \leq 5\%$, il est appliqué sur les faces intérieures :

- soit une surpression : $C_i = +0,6(1,8 - 1,3\gamma_0) = 0,3$
- soit une dépression : $C_i = -0,6(1,3\gamma_0 - 0,8) = -0,3$

➤ Actions résultantes : q

$$q = Cq_c$$

Le coefficient C s'obtient en faisant la différence entre les coefficients de pression des actions extérieures et intérieures. Selon que le vent soit normal à la grande face ou à la petite face, les figures ci-après représentent alors les résultats des combinaisons $C_e - C_i$.

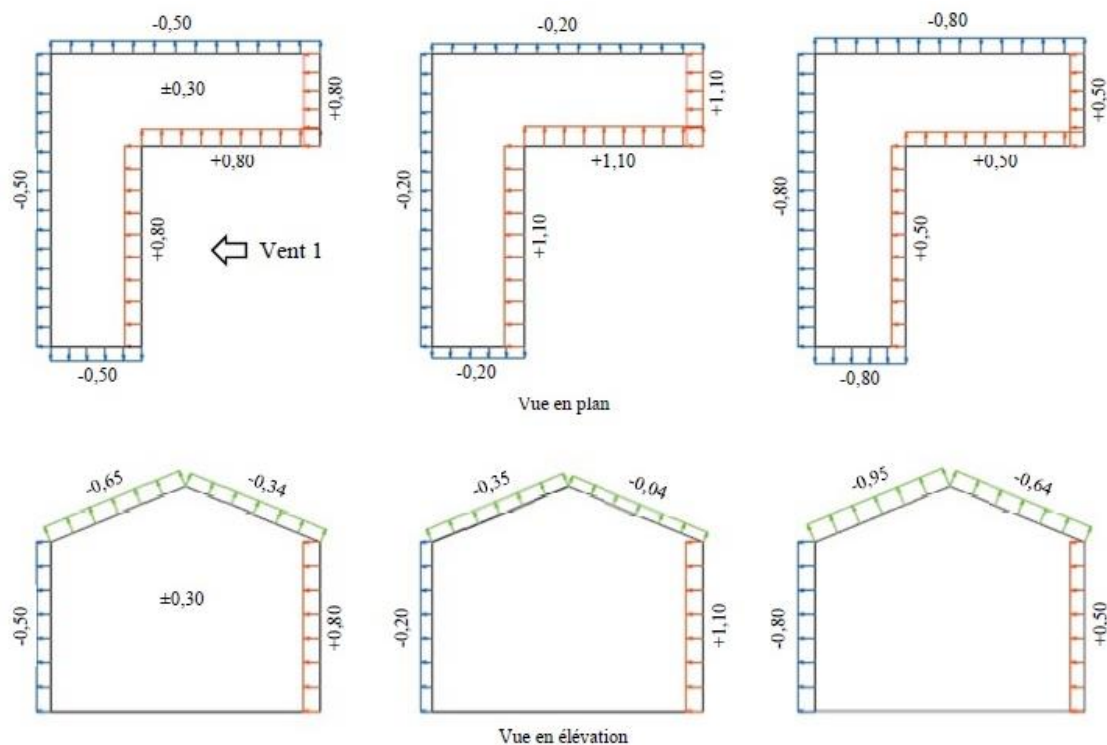


Figure 9 : Valeurs de $C_e - C_i$ pour le cas de vent normal à la grande face

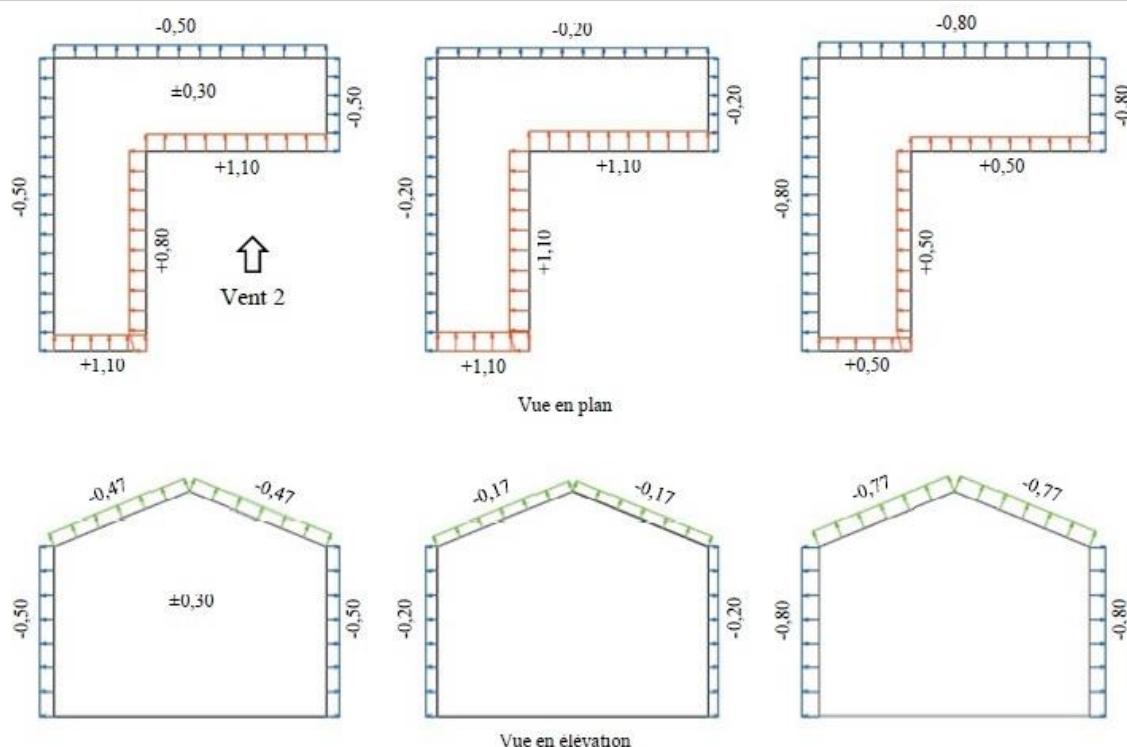


Figure 10 : Valeurs de $C_e - C_i$ pour le cas de vent normal à la petite face

En retenant les valeurs extrêmes des combinaisons $C_e - C_i$, les actions globales exercées par le vent sur la construction sont :

Tableau 13 : Actions statiques exercées par le vent

Action du vent	$C_e - C_i$		$q[\text{kg/m}^2]$	
	Parois verticales	Toiture	Parois verticales	Toiture
Pression	1,1	-	47,50	-
Succion	-0,8	-0,95	-34,55	-41,02

c. Actions dynamiques

Les actions dynamiques s'ajoutent aux effets statiques précédemment définies. Elles se traduisent par une majoration des pressions dynamiques normales par le coefficient β :

$$\beta = \theta(1 + \xi\tau)$$

Avec :

θ : Coefficient global. Comme $h \leq 30\text{m}$: $\theta = 0,7$;

ξ : Coefficient de réponse (voir Annexe I - 4), fonction de la période T du mode fondamental d'oscillation telle que pour le cas de contreventement par voiles :

$$T = 0,08 \frac{H}{\sqrt{I}} \sqrt{\frac{H}{1 + H}}$$

l : Dimension en plan dans la direction considérée ;

H : Cote du niveau considéré, comptée à partir du sol, prise égal à 19,73m pour le calcul.

τ : Coefficient de pulsation donnée par une échelle fonctionnelle à l'Annexe I - 5. Soit $\tau = 0,345$;

Tableau 14 : Calcul du coefficient β

l [m]	T [s]	ξ	β
51,38	0,116	0,10	0,72
49,38	0,122	0,10	0,72

Le coefficient β à adopter doit être au moins égal à l'unité, or les valeurs ainsi obtenues sont inférieures à 1. D'où : $\beta = 1$. C'est-à-dire que les actions statiques restent inchangées.

III - 3 - 2 - 2. Poussée des terres

Les voiles du parking souterrain reçoivent une pression des terres qu'ils retiennent. Par définition, on distingue :

- la pression active ou poussée, et
- la pression passive ou butée.

Cependant, par mesure de sécurité, on négligera la butée. De plus, le déplacement du mur ne suffirait pas à la mobiliser. Les forces horizontales à estimer sont donc :

- la poussée des terres P sur la paroi qui fait soutènement, et
- la poussée Q due à la transmission de la surcharge appliquée sur la masse de terres.

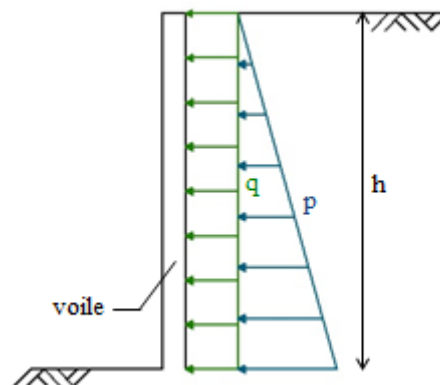


Figure 11 : Efforts appliqués aux murs de soutènement

Le calcul se réfèrera à la méthode de Rankine qui admet les hypothèses suivantes :

- le sol est isotrope et homogène ;
- la surface de rupture est plane ;
- le mur est lisse et vertical, et
- le coin de rupture est rigide et subit une translation.

a. Poussée des terres

Le poids volumique des terres induit une contrainte perpendiculaire à l'écran de soutènement, proportionnelle à la profondeur z . Ceci aboutit à une répartition triangulaire le long du mur telle que :

$$\sigma_p = K_a \gamma z$$

Avec :

K_a : Coefficient de poussée active, donnée par la formule :

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

z : Profondeur ;

D'après les données géotechniques du sol, les valeurs caractéristiques sont :

- $\gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$: Poids volumique du sol ;
- $C = 0$: Cohésion ;
- $\varphi = 30^\circ$: Angle de frottement interne.

Pour l'application numérique, la profondeur à appliquer est prise égale à la hauteur de voile soumis à la poussée des terres, soit $z = 2,73 \text{ m}$. D'où la contrainte en poussée :

$$\sigma_p = 1,82 \text{ t/m}^2$$

L'effort de poussée résultant P par mètre longitudinal de mur est donc :

$$p = \frac{1}{2} K_a \gamma z^2$$

Soit :

$$p = 2,48 \text{ t/m}$$

b. Surcharge

La répartition des contraintes appliquées le long du mur due à la surcharge sur le terrain est uniforme, selon la relation :

$$\sigma_q = K_0 q'$$

La valeur de la surcharge étant évaluée à $q' = 0,50 \text{ t/m}^2$, la contrainte correspondante est de :

$$\sigma_q = 0,17 \text{ t/m}^2$$

Ainsi, on aboutit à la poussée due à la surcharge sur le sol :

$$q = K_0 q' z$$

Soit :

$$q = 0,46 \text{ t/m}$$

CHAPITRE IV : CONTREVENTEMENT PAR VOILES

Le contreventement d'une construction est un système statique destiné à résister à l'action des forces horizontales et les transmettre jusqu'à la fondation, afin de stabiliser l'ensemble. Pour le cas du présent projet, cette fonction est assurée par les voiles, dont les efforts horizontaux appliqués sont issus des actions du vent et de la poussée des terres.

IV - 1. DEFINITION DES ELEMENTS DE CONTREVENTEMENT

Les voiles de contreventement sont irréguliers : ils sont constitués de refends à forme complexe, interne et externe, orientés de manières différentes. Etant donné la présence de joints de dilatation, la structure est contreventée par trois systèmes de voiles indépendants les uns des autres. Par conséquent, la répartition des efforts horizontaux dans chaque élément de voile de chaque système se fait par la méthode du centre de torsion.

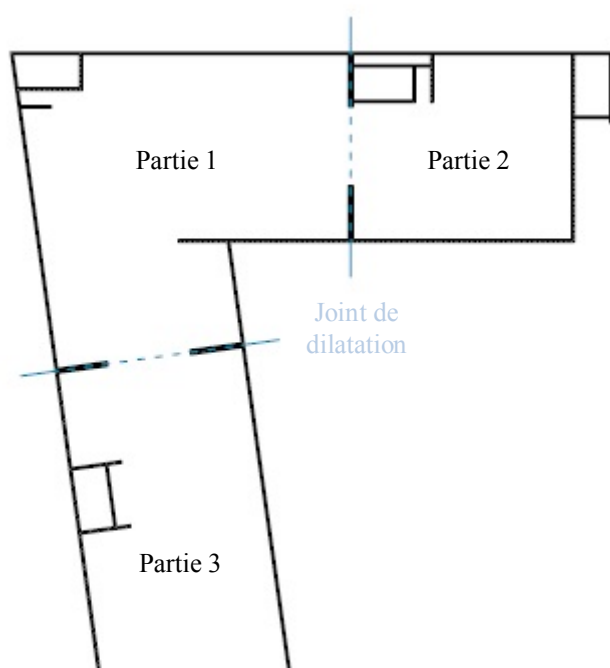


Figure 12 : Voiles de contreventement du sous-sol

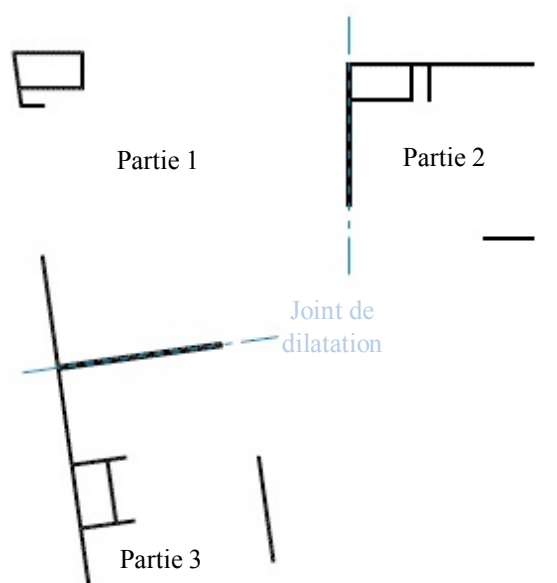


Figure 13 : Voiles de contreventement de l'étage courant

La méthode du centre de rotation consiste à décomposer l'action en un effort H et un moment M provoquant respectivement une translation (sans rotation) et une rotation (sans translation), en rapport avec le centre de torsion de l'ensemble des éléments de contreventement. A cet effet, les principales hypothèses à prendre en compte sont les suivantes :

- les voiles sont de section constante sur toute la hauteur du bâtiment ;
- les planchers sont infiniment rigides dans leur plan ;

- les voiles ont les mêmes conditions d'encastrement en pied et le même module d'élasticité ;
- la répartition de l'effort se fait au prorata des inerties des voiles.

IV - 2. DEMARCHE DE CALCUL

La répartition des efforts horizontaux dans les voiles de contreventement se fait en quatre étapes décrites ci-après.

IV - 2 - 1. Caractéristiques des voiles

Il s'agit de déterminer les différents éléments de définition de chaque voile constituant un système de contreventement. Pour un voile i , ce sont :

- le centre de torsion, O_i
- les axes principaux d'inertie, $O_i x'_i$ et $O_i y'_i$
- les moments d'inertie, I_{x_i} et I_{y_i}
- l'orientation, θ_i

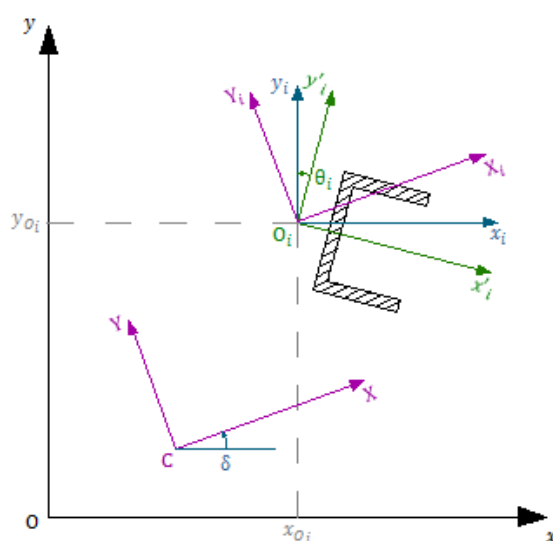


Figure 14 : Caractéristiques d'un voile

Tableau 15 : Eléments de définition d'un voile

Notation	Description	Formules
t_i	Dimension suivant x'_i	-
h_i	Dimension suivant y'_i	-
x_{O_i}	Cordonnées du centre de torsion individuel (dans Oxy)	-
y_{O_i}		
$I_{x'i}$	Moments d'inertie par rapport à $O_i y'_i$	$t_i h_i^3 / 12$
$I_{y'i}$	Moment d'inertie par rapport à $O_i x'_i$	$h_i t_i^3 / 12$
θ_i	Angle de l'axe principal de l'inertie la plus grande avec $O_i y_i$	-

IV - 2 - 2. Etude de la translation due à H

Le centre de torsion d'un système de contreventement est le point d'intersection des résultantes $P = \sum P_i$ et $Q = \sum Q_i$ issues de la translation due à H des refends qui le composent, P_i et Q_i étant fonction des inerties du refend i .

Tableau 16 : Détermination du centre de torsion de l'ensemble

Notation	Description	Formules
I_{x_i}	Moment d'inertie par rapport à $O_i y_i$	$I_{x'i} \cos^2 \theta_i + I_{y'i} \sin^2 \theta_i$
I_{y_i}	Moment d'inertie par rapport à $O_i x_i$	$I_{x'i} \sin^2 \theta_i + I_{y'i} \cos^2 \theta_i$
I_{xy_i}	Produit d'inertie	$(I_{x'i} - I_{y'i}) \cos \theta_i \sin \theta_i$
P_x	Composantes de P (dans Oxy)	$\sum (I_{y_i})$
P_y		$\sum (I_{xy_i})$
Q_x	Composantes de Q (dans Oxy)	$\sum (I_{xy_i})$
Q_y		$\sum (I_{x_i})$
M_P	Moments par rapport à O des inerties de l'ensemble	$\sum (I_{xy_i} x_{O_i} - I_{y_i} y_{O_i})$
M_Q		$\sum (I_{x_i} x_{O_i} - I_{xy_i} y_{O_i})$
x_P	Cordonnées à l'origine de P	M_P / P_y
y_P		$- M_P / P_x$
x_Q	Cordonnées à l'origine de Q	M_Q / Q_y
y_Q		$- M_Q / Q_x$
x_C	Cordonnées du centre de torsion C (dans Oxy)	$(y_P - y_Q) / [(y_P / x_P) - (y_Q / x_Q)]$
y_C		$(x_P - x_Q) / [(x_P / y_P) - (x_Q / y_Q)]$

Soient CX et CY, les axes principaux de l'ensemble des voiles, où δ représente l'angle ($O_i x_i, CX$) ou ($O_i x_i, O_i X_i$). La répartition de l'effort H dans les voiles donne les différents efforts $F_{x'i}$ et $F_{y'i}$, suivant le repère de base de chaque élément.

Tableau 17 : Détermination des efforts dus à la translation

Notation	Description	Formules
$\text{tg}2\delta$	-	$-\left[\frac{\sum (I_{x'i} - I_{y'i}) \sin 2\theta_i}{\sum (I_{x'i} - I_{y'i}) \cos 2\theta_i}\right]$
δ	Angle	$\text{Arctg}(\text{tg}2\delta)/2$
H_X	Composantes de H (dans CXY)	$H_x \cos \delta + H_y \sin \delta$
H_Y		$-H_x \sin \delta + H_y \cos \delta$
φ_i	Angle	$\theta_i + \delta$
I_{X_i}	Moment d'inertie par rapport à CY	$I_{x'i} \cos^2 \varphi_i + I_{y'i} \sin^2 \varphi_i$
I_{Y_i}	Moment d'inertie par rapport à CX	$I_{x'i} \sin^2 \varphi_i + I_{y'i} \cos^2 \varphi_i$
I_{XY_i}	Produit d'inertie	$(I_{x'i} - I_{y'i}) \sin \varphi_i \cos \varphi_i$
$F_{x'i}$	Efforts dus à la translation (dans $O_i x' y'$)	$(H_x / \sum I_{Y_i})(I_{Y_i} \cos \varphi_i - I_{XY_i} \sin \varphi_i) +$ $(H_y / \sum I_{X_i})(I_{XY_i} \cos \varphi_i - I_{X_i} \sin \varphi_i)$
$F_{y'i}$		$(H_y / \sum I_{X_i})(I_{X_i} \cos \varphi_i + I_{XY_i} \sin \varphi_i) +$ $(H_x / \sum I_{Y_i})(I_{XY_i} \cos \varphi_i + I_{Y_i} \sin \varphi_i)$

IV - 2 - 3. Etude de la rotation due à M

La rotation due au moment M donne lieu à des efforts $R_{x'i}$ et $R_{y'i}$ qui sont proportionnelles aux inerties principales des voiles, mais aussi à leur distance au centre de torsion C.

Tableau 18 : Détermination des efforts dus à la torsion

Notation	Description	Formules
M	Moment dans le repère Oxy	$(x_{Hy} - x_C)H_y - (y_{Hx} - y_C)H_x$
x'_{ic}	Coordonnées du centre de torsion C (dans $O_i x' y'$)	$(x_c - x_{oi}) \cos \theta_i - (y_c - y_{oi}) \sin \theta_i$
y'_{ic}		$(x_c - x_{oi}) \sin \theta_i - (y_c - y_{oi}) \cos \theta_i$
r_{xi}	Distance de C à $O_i x_i$	y'_{ic}
r_{yi}	Distance de C à $O_i y_i$	$-x'_{ic}$
J	Rigidité à la torsion	$r_{xi}^2 I_{y'i} + r_{yi}^2 I_{x'i}$
$R_{x'i}$	Efforts dus à la torsion (dans $O_i x' y'$)	$M r_{xi} I_{y'i} / J$
$R_{y'i}$		$M r_{yi} I_{x'i} / J$

IV - 2 - 4. Efforts finaux

L'effort final repris par chaque élément est égal à la somme des efforts individuels dus à la translation ($F_{x'i}$ et $F_{y'i}$) et de ceux dus à la rotation ($R_{x'i}$ et $R_{y'i}$).

Tableau 19 : Détermination des efforts finals dans les voiles

Notation	Description	Formules
$H_{x'i}$	Efforts dans les voiles (dans $O_i x'_i y'_i$)	$F_{x_i} + R_{x_i}$
$H_{y'i}$		$F_{y_i} + R_{y_i}$
H_{x_i}	Efforts dans les voiles (dans $O x_i y_i$)	$H_{x'i} \cos \theta_i + H_{y'i} \sin \theta_i$
H_{y_i}		$-H_{x'i} \sin \theta_i + H_{y'i} \cos \theta_i$

La valeur de la force horizontale à répartir dépend de la direction considérée de celle-ci, c'est-à-dire de la surface frappée, dont le deux cas suivants :

- force normale à la grande face, parallèle à l'axe des x ;
- force normale à la petite face, parallèle à l'axe des y.

La répartition sera par la suite effectuée pour chaque partie 1 et 2 des voiles de contreventement du bâtiment puisqu'elles contiennent les éléments à étudier ultérieurement.

IV - 3. CAS DU PROJET

Les détails des calculs relatifs à la répartition des efforts horizontaux dans les voiles de contreventement, y compris les résultats, sont présentés dans l'Annexe III.

IV - 3 - 1. Répartition des efforts dus au vent

D'après les calculs effectués précédemment, l'action uniformément répartie exercée par le vent sur la construction est de $q_v = 47,50 \text{ kg/m}^2$. Cette valeur permettra de déterminer l'effort horizontal résultant H appliqué sur une surface S de hauteur h et de longueur l .

$$H = q_v S$$

Vu en élévation, H est appliqué à la hauteur du plancher (donc en tête de voile), mais aussi à mi-largeur de la face frappée.

IV - 3 - 1 - 1. Cas de la partie 1

Le contreventement des étages courants de la partie 1 est assuré par huit voiles dont les caractéristiques sont présentées ci-après.

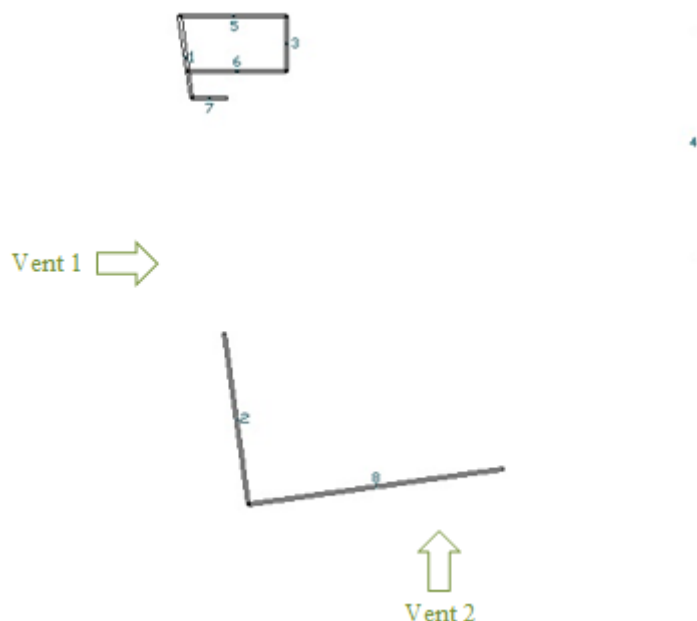


Figure 15 : Voiles de contreventement de l'étage courant – Partie 1

Tableau 20 : Caractéristiques des voiles de contreventement de l'étage courant – Partie 1

Voile	1	2	3	4	5	6	7	8
t_i [m]	0,18	0,18	0,18	0,18	5,96	5,53	1,99	14,32
h_i [m]	4,65	9,68	3,07	12,31	0,18	0,18	0,18	0,18
x_{o_i} [m]	0,43	3,26	6,06	29,11	3,08	3,39	1,69	10,98
y_{o_i} [m]	25,09	4,93	25,86	20,28	27,40	24,32	22,79	1,09

Pour le cas de vent 1 : $h = 3,03\text{m}$ et $l_1 = 27,76\text{m}$. Soit la résultante $H_1 = 4,00\text{t}$ appliquée à $y = 13,88\text{m}$ telle que :

$$H_1 \begin{pmatrix} H_x = 4,00\text{t} \\ H_y = 0,00\text{t} \end{pmatrix}$$

Quant au cas de vent 2 : $h = 3,03\text{m}$ et $l_2 = 29,21\text{m}$. Soit la résultante $H_2 = 4,20\text{t}$ appliquée à $x = 14,61\text{m}$ telle que :

$$H_2 \begin{pmatrix} H_x = 0,00\text{t} \\ H_y = 4,20\text{t} \end{pmatrix}$$

Le tableau suivant fournit les efforts répartis suivant chaque voile dans les cas où le système est soumis à l'effort horizontal H_1 , puis dans le cas où il est soumis à H_2 .

Tableau 21 : Répartition des efforts dus au vent – Partie 1

	Voile i	1	2	3	4	5	6	7	8
Vent 1	H_{x_i}	-0,01	-0,09	0,00	0,00	0,55	0,41	0,02	3,12
	H_{y_i}	0,07	0,65	0,02	-1,18	0,00	0,00	0,00	0,43
Vent 2	H_{x_i}	-0,03	-0,26	0,00	0,00	0,16	0,11	0,005	0,02
	H_{y_i}	0,21	1,87	0,06	2,06	0,00	0,00	0,00	0,00

IV - 3 - 1 - 2. Cas de la partie 2

Pour cette partie, sept voiles participent au contreventement. Le principe étant le même que pour la partie précédente, on traitera le cas de vent normal à la grande face, et le cas de vent normal à la petite face.

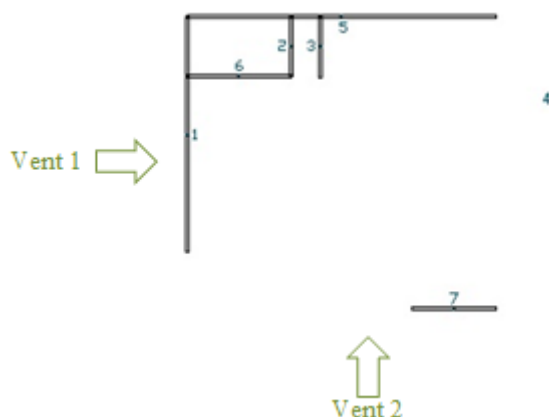


Figure 16 : Voiles de contreventement de l'étage courant – Partie 2

Tableau 22 : Caractéristiques des voiles de contreventement de l'étage courant – Partie 2

Voile	1	2	3	4	5	6	7
t_i [m]	0,18	0,18	0,18	0,18	15,87	5,32	4,30
h_i [m]	12,22	3,07	3,16	4,79	0,18	0,18	0,18
x_{o_i} [m]	0,09	5,41	6,94	19,05	7,89	2,84	13,81
y_{o_i} [m]	9,06	13,68	13,59	10,73	15,22	12,14	0,09

Pour le cas de vent 1 : $h = 3,03\text{m}$ et $l_1 = 15,31\text{m}$. Soit la résultante $H_1 = 2,20\text{t}$ appliquée à $y = 7,66\text{m}$ telle que :

$$H_1 \begin{pmatrix} H_x = 2,20\text{t} \\ H_y = 0,00\text{t} \end{pmatrix}$$

Quant au cas de vent 2 : $h = 3,03\text{m}$ et $l_2 = 22,41\text{m}$. Soit la résultante $H_2 = 3,23\text{t}$ appliquée à $x = 11,21\text{m}$ telle que :

$$H_2 \begin{pmatrix} H_x = 0,00\text{t} \\ H_y = 3,23\text{t} \end{pmatrix}$$

Tableau 23 : Répartition des efforts dus au vent – Partie 2

	Voile	1	2	3	4	5	6	7
Vent 1	H_{x_i}	0,00	0,00	0,00	0,00	1,65	0,19	0,36
	H_{y_i}	-0,61	0,03	0,05	0,53	0,00	0,00	0,00
Vent 2	H_{x_i}	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,87	0,22	0,65
	H_{y_i}	1,71	0,11	0,15	1,25	0,00	0,00	0,00

IV - 3 - 2. Répartition des efforts dus à la poussée

L'évaluation de l'effort résultant dû à la poussée des terres sur les parois diffère de celle de l'effort résultant dû à la poussée induite par la surcharge.

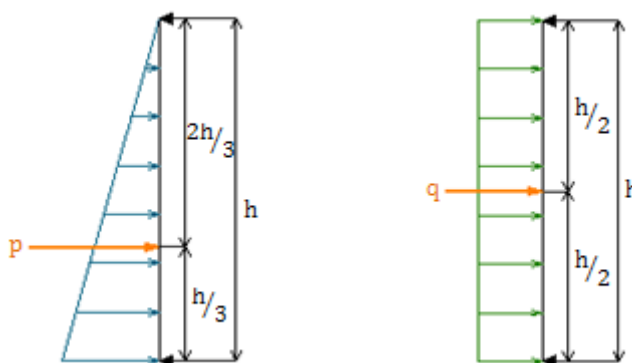


Figure 17 : Points d'application de p et q

En effet, comme la répartition de la contrainte issue du poids volumique du sol est triangulaire, la charge $p = 3,73\text{t/m}$ est appliquée à $1/3$ de la hauteur des refends. De ce fait, l'effort horizontal en tête de voile est égal à :

$$H = \frac{1}{3}pl$$

Concernant la poussée due à la surcharge appliquée sur la masse de terres, les contraintes sont réparties uniformément sur la surface des murs. Ainsi, $q = 0,46\text{t/m}$ est appliquée à mi-hauteur des voiles. D'où l'effort résultant à la cote h :

$$H = \frac{1}{2}ql$$

Pour les deux cas de poussée, le point d'application de H se situe à mi-longueur de la face concernée, c'est-à-dire à $l/2$.

IV - 3 - 2 - 1. Cas de la partie 1

A la différence des voiles de contreventement des étages courants, onze refends participent à la stabilité de l'ouvrage face aux forces horizontales appliquées au sous-sol.

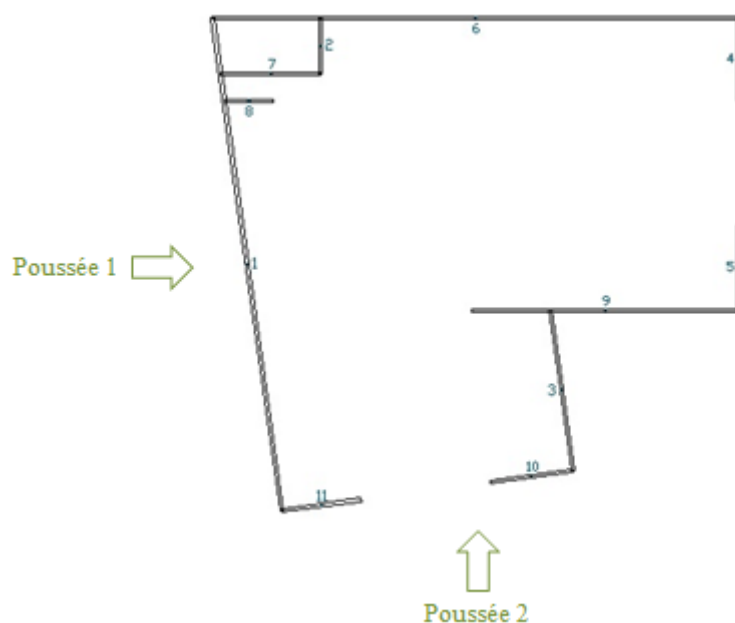


Figure 18 : Voiles de contreventement du sous-sol – Partie 1

Tableau 24 : Caractéristiques des voiles de contreventement du sous-sol – Partie 1

Voile	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
t_i [m]	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	29,03	5,44	2,71	14,72	4,59	4,40
h_i [m]	27,57	3,07	8,96	5,09	5,25	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
x_{0i} [m]	2,02	6,06	19,33	29,12	29,12	14,61	3,39	2,15	21,80	17,73	6,07
y_{0i} [m]	13,75	25,86	6,79	24,81	13,89	27,70	24,32	22,79	11,22	2,04	0,40

a. Poussée

Pour le cas de poussée 1 : $h = 2,73\text{m}$ et $l_1 = 27,76\text{m}$. Soit la résultante $H_1 = 22,99\text{t}$ appliquée à $y = 13,88\text{m}$. Avec :

$$H_1 \begin{pmatrix} H_x = 22,99\text{t} \\ H_y = 0,00\text{t} \end{pmatrix}$$

Quant au cas de poussée 2 : $h = 2,73\text{m}$ et $l_2 = 29,21\text{m}$. Soit la résultante $H_2 = 24,19\text{t}$ appliquée à $x = 14,61\text{m}$. Avec :

$$H_2 \begin{pmatrix} H_x = 0,00\text{t} \\ H_y = 24,19\text{t} \end{pmatrix}$$

Tableau 25 : Répartition des efforts dus à la poussée – Partie 1

	Voile i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Poussée 1	H_{x_i}	0,58	0,00	-0,32	0,00	0,00	9,41	0,17	0,03	12,02	0,59	0,52
	H_{y_i}	-4,10	0,03	2,27	0,78	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,07
Poussée 2	H_{x_i}	-2,54	0,00	-0,50	0,00	0,00	-10,11	0,06	0,02	11,86	0,65	0,57
	H_{y_i}	18,10	0,07	3,56	1,09	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08

b. Surcharge

Pour le cas de la surcharge 1 due à la poussée : $h = 2,73\text{m}$ et $l_1 = 27,76\text{m}$. Soit la résultante $H_1 = 6,32\text{t}$ appliquée à $y = 13,88\text{m}$. Avec :

$$H_1 \begin{pmatrix} H_x = 6,32\text{t} \\ H_y = 0,00\text{t} \end{pmatrix}$$

Quant au cas de la surcharge 2 due à la poussée : $h = 2,73\text{m}$ et $l_2 = 29,21\text{m}$. Soit la résultante $H_2 = 6,65\text{t}$ appliqué à $x = 14,61\text{m}$. Avec :

$$H_2 \begin{pmatrix} H_x = 0,00\text{t} \\ H_y = 6,65\text{t} \end{pmatrix}$$

Tableau 26 : Répartition des efforts dus à la surcharge – Partie 1

	Voile i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Surcharge 1	H_{x_i}	0,16	0,00	-0,09	0,00	0,00	2,59	0,05	0,01	3,30	0,16	0,14
	H_{y_i}	-1,13	0,01	0,62	0,21	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
Surcharge 2	H_{x_i}	-0,70	0,00	-0,14	0,00	0,00	-2,78	0,02	0,00	3,26	0,18	0,16
	H_{y_i}	4,97	0,02	0,98	0,30	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02

IV - 3 - 2 - 2. Cas de la partie 2

Pour cette partie, le système de contreventement est également assuré par onze refends comme indiqué dans la figure ci-après.

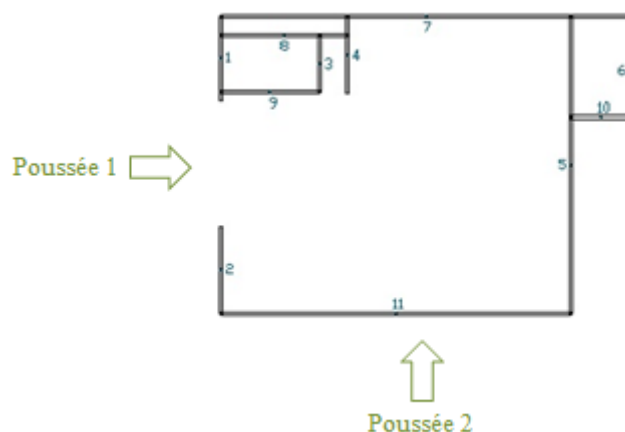


Figure 19 : Voiles de contreventement du sous-sol – Partie 2

Tableau 27 : Caractéristiques des voiles de contreventement du sous-sol – Partie 2

Voile	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_i [m]	18,96	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	22,23	6,85	5,41	3,27
h_i [m]	0,18	4,59	4,75	3,07	4,21	16,18	6,00	0,18	0,18	0,18	0,18
x_{o_i} [m]	9,57	0,09	0,09	5,41	6,94	19,05	22,32	11,21	3,52	2,84	20,69
y_{o_i} [m]	0,09	13,68	2,76	13,68	14,12	8,18	13,23	16,27	15,22	12,14	10,77

a. Poussée

Pour le cas de poussée 1 : $h = 2,73\text{m}$ et $l_1 = 15,31\text{m}$. Soit la résultante $H_1 = 12,68\text{t}$ appliquée à $y = 7,66\text{m}$. Avec :

$$H_1 \begin{pmatrix} H_x = 12,68\text{t} \\ H_y = 0,00\text{t} \end{pmatrix}$$

Quant au cas de poussée 2 : $h = 2,73\text{m}$ et $l_2 = 22,41\text{m}$. Soit la résultante $H_2 = 18,56\text{t}$ appliquée à $x = 11,21\text{m}$. Avec :

$$H_2 \begin{pmatrix} H_x = 0,00\text{t} \\ H_y = 18,56\text{t} \end{pmatrix}$$

Tableau 28 : Répartition des efforts dus à la poussée – Partie 2

	Voile i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Poussée 1	H_{x_i}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,81	0,18	0,10	0,02	6,56
	H_{y_i}	-0,05	-0,05	-0,01	-0,02	0,11	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Poussée 2	H_{x_i}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,15	0,17	0,03	0,00	-7,36
	H_{y_i}	0,56	0,62	0,15	0,38	16,08	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

b. Surcharge

Pour le cas de la surcharge 1 due à la poussée : $h = 2,73\text{m}$ et $l_1 = 15,31\text{m}$. Soit la résultante $H_1 = 3,48\text{t}$ appliquée à $y = 13,88\text{m}$. Avec :

$$H_1 \begin{pmatrix} H_x = 3,48\text{t} \\ H_y = 0,00\text{t} \end{pmatrix}$$

Quant au cas de la surcharge 2 due à la poussée : $h = 2,73\text{m}$ et $l_2 = 22,41\text{m}$. Soit la résultante $H_2 = 5,10\text{t}$ appliquée à $x = 11,21\text{m}$. Avec :

$$H_2 \begin{pmatrix} H_x = 0,00\text{t} \\ H_y = 5,10\text{t} \end{pmatrix}$$

Tableau 29 : Répartition des efforts dus à la surcharge – Partie 2

	Voile i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Surcharge 1	H_{xi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	0,05	0,03	0,01	1,80
	H_{yi}	-0,01	-0,01	0,00	-0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Surcharge 2	H_{xi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96	0,05	0,01	0,00	-2,02
	H_{yi}	0,15	0,17	0,04	0,10	4,42	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

CHAPITRE V : ETUDE DE L'INFRASTRUCTURE

V - 1. CHOIX DE FONDATION

Il importe de choisir le mode de fondation le mieux adapté pour assurer la pérennité d'un ouvrage. Les critères influant ce choix sont :

- la qualité du sol ;
- les charges amenées par la construction, et
- le coût d'exécution.

V - 1 - 1. Le sol de fondation

La détermination de la couche d'assise, avec ses paramètres clés tels que la profondeur et la contrainte admissible est nécessaire pour le dimensionnement de la fondation. Dans cette perspective, il est nécessaire d'effectuer une reconnaissance du terrain de construction. C'est alors que l'entreprise titulaire du projet a effectué des essais, dont des sondages au pressiomètre Ménard qui ont permis de fournir :

- une coupe stratigraphique approximative du sol avec ses différentes couches constitutives et leur profondeur respective, ainsi que
- les valeurs des modules pressiométriques, des pressions de fluage, et des pressions limites, mesurés tous les mètres de profondeur.

Ces résultats sont fournis dans l'Annexe IV - 1. En somme, il a été établi que sur les 7,10m de profondeur d'essais in situ, suivis d'essais en laboratoire :

- le sol est latéritique sur les trois premiers mètres de profondeur. La contrainte admissible à l'ELS au niveau de cette partie est évaluée à 2bars.
- au-delà de 3m se situe la zone rocheuse, dont la contrainte admissible à l'ELS est égale à 4bars.

Ainsi, la qualité du sol de fondation augmente avec la profondeur. Il conviendrait d'adopter des fondations profondes. Cependant, en considérant les autres critères influant sur le choix de fondation, il est à noter que le coût de telles fondations est de loin plus élevé que celui des fondations superficielles. De plus, les couches en surface (latérite) sont de qualité moyenne, pouvant supporter d'importantes charges. Compte tenu de tous ces critères, il convient d'adopter une fondation de type superficielle, dont des semelles continues et des semelles isolées.

V - 1 - 2. Actions sur la fondation

Cette partie consiste à déterminer l'effort normal, et éventuellement le moment fléchissant, que la fondation a à transmettre au sol support.

La présence de joint de dilatation entre les voiles 1 et 2 conduit à la mise en œuvre d'une semelle filante commune aux deux éléments. Il est de ce fait nécessaire d'évaluer les charges repris par chacun d'eux afin de déterminer l'action résultante sur la fondation.

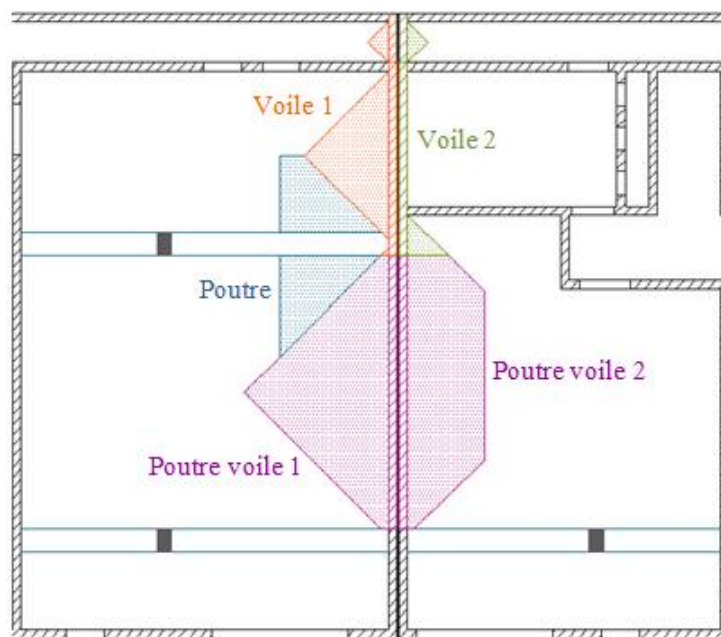


Figure 20 : Surfaces de chargement pour le calcul des actions sur la semelle filante

V - 1 - 2 - 1. Sollicitations dues aux actions verticales

En plus des actions déterminées au moyen de la descente des charges verticales des voiles, chaque élément reprend au niveau N_6 :

- les charges supportées par la poutre qui prend appui dessus, et
- les charges issues de la poutre-voile.

Les charges appliquées par les poutres dérivent de la charge permanente et de la charge d'exploitation que représentent la part de plancher qu'elles reprennent, auxquelles s'ajoute le poids propre de la poutre correspondante. Ainsi, il en résulte :

- pour la poutre 1 : $G = 6,85t$ et $Q = 0,87t$
- pour la poutre 2 : $G = 2,33t$ et $Q = 0,06t$

Concernant les actions des poutres-voiles 1 et 2, les descentes de charges sont détaillées à l'Annexe II, comme pour les poutres. Les valeurs à retenir étant :

- pour la poutre-voile 1 : $G = 48,56t$ et $Q = 8,46t$
- pour la poutre-voile 2 : $G = 38,80t$ et $Q = 8,36t$

Ces charges sont reprises par les voiles de telle façon que si h est la hauteur totale concernée par la descente des charges d'une poutre voile, le voile de portée a reprend la charge résultante F selon une répartition trapézoïdale vérifiant les équations suivantes :

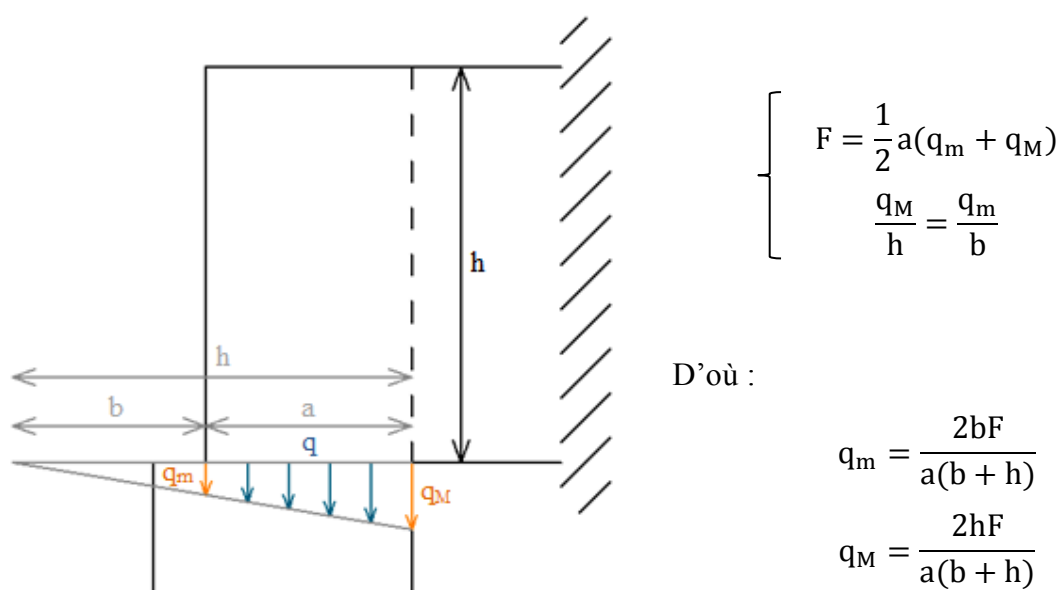


Figure 21 : Distribution des charges venant des poutres voile

q : Charge trapézoïdale appliquée par la poutre voile sur le voile ;

q_m : Petite base de la charge trapézoïdale q ;

q_M : Grande base de la charge trapézoïdale q .

Pour $a = 4,125m$:

Tableau 30 : Caractéristiques des charges venant des poutres voile

Notations	Dimensions			Charges permanentes			Charges d'exploitation		
	h [m]	b [m]	x_c [m]	F [t]	q_m [t/m]	q_M [t/m]	F [t]	q_m [t/m]	q_M [t/m]
Voile 1	15,15	11,025	3,23	48,56	9,92	13,63	8,46	1,73	2,37
Voile 2	12,12	7,995	3,26	38,80	7,48	11,33	8,36	1,61	2,44

Avec :

$$x_c = b + \frac{\sum S_i x_{Ci}}{\sum S_i}$$

Où :

S_i : Surface élémentaire de la charge trapézoïdale q et x_{C_i} la position des centres de gravité respectifs de ces surfaces.

x_{C_i} : Position du centre de gravité de S_i

Il est maintenant possible de déterminer le bras de levier d de l'effort normal résultant N de chaque charge par rapport au centre de gravité du voile correspondant afin d'évaluer le moment ainsi dégagé M , selon la relation $M = Nd$.

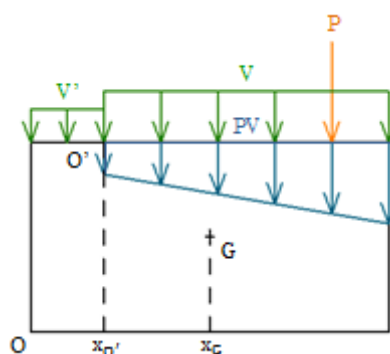


Figure 22 : Répartition des charges appliquées au voile

Pour la suite, et comme indiqués sur la figure ci-dessus :

- V et V' désignent les résultats issus de la descente des charges ;
- P représente les charges induites par la poutre, et
- PV relate les charges appliquées venant de la poutre-voile.

Le centre de gravité G se situe ainsi à $x = 2,59\text{m}$ étant donné que la longueur des voiles est $5,18\text{m}$ tels que $x_{G'} = 1,055\text{m}$ et $a = 4,125\text{m}$. Soient :

Tableau 31 : Sollicitations dues aux charges verticales

	Cas du voile 1				Cas du voile 2			
Notations	V'	V	P	PV	V'	V	P	PV
N _G [t]	0,10	39,09	6,85	48,56	0,10	23,61	2,33	38,80
N _Q [t]	0,01	3,27	0,87	8,46	0,01	0,37	0,06	8,36
d[m]	-2,06	0,53	2,34	0,64	-2,06	0,53	2,34	0,67
M _G [tm]	-0,20	20,62	16,03	30,87	-0,20	12,46	5,45	25,94
M _Q [tm]	-0,02	1,72	2,03	5,38	-0,02	0,20	0,14	5,59

Les indices G et Q font respectivement référence aux charges permanentes et aux charges d'exploitation.

V - 1 - 2 - 2. Sollicitations dues aux actions horizontales

Les voiles 1 et 2 au droit des semelles à étudier reprennent les actions du vent par l'intermédiaire des planchers des étages, mais aussi les charges induites par la poussée des terres pour la partie en sous-sol. D'après les résultats obtenus lors de la répartition des efforts dans les refends de contreventement, pour les différents cas d'application de la force horizontale, celui de l'effort normal à la petite face est plus préjudiciable. Ainsi, il sera retenu les valeurs suivantes :

Unité : tonne [t]

Tableau 32 : Efforts repris par les refends contenant les voiles 1 et 2

	Vent	Poussée	Surcharge
Voile 1	2,06	1,09	0,30
Voile 2	1,71	0,56	0,15

Si d_i est le bras de levier de l'effort V_i repris par le voile au niveau de l'étage i , le moment M dû au vent est égal à :

$$M = \sum d_i V_i = \sum M_i$$

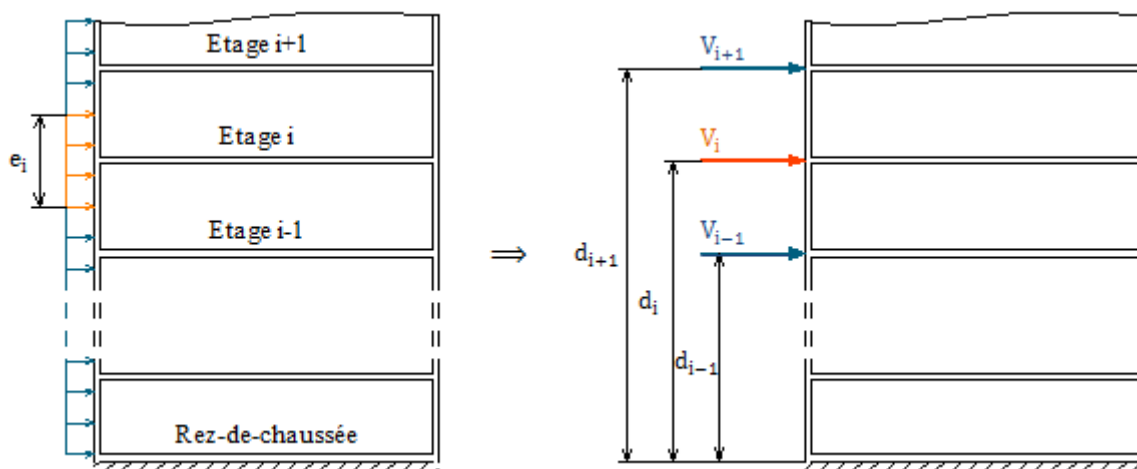


Figure 23 : Détermination de la résultante de l'effort du au vent

Tableau 33 : Sollicitations globales issues de l'action du vent

	Plancher	RDC	R+1	R+2	R+3	R+4	R+5	Somme
Hauteurs	d_i [m]	5,76	8,79	11,8	14,85	17,88	21,68	-
	e_i [m]	4,55	3,03	3,03	3,03	3,42	1,90	-
Voile 1	V_i [t]	3,09	2,06	2,06	2,06	2,32	1,29	12,88
	M_i [tm]	17,80	18,11	24,35	30,59	41,51	28,01	160,36
Voile 2	V_i [t]	2,56	1,71	1,71	1,71	1,93	-	9,62
	M_i [tm]	14,76	15,02	20,20	25,38	34,44	-	109,79

e_i : Hauteur reprise par le plancher à chaque niveau

Les moments ainsi obtenus correspondent à ceux des refends de contreventement de l'étage courant, dont la vue en élévation est fournie par la figure ci-après. Donc, il en suit la détermination des sollicitations agissant réellement dans les voiles 1 et 2.

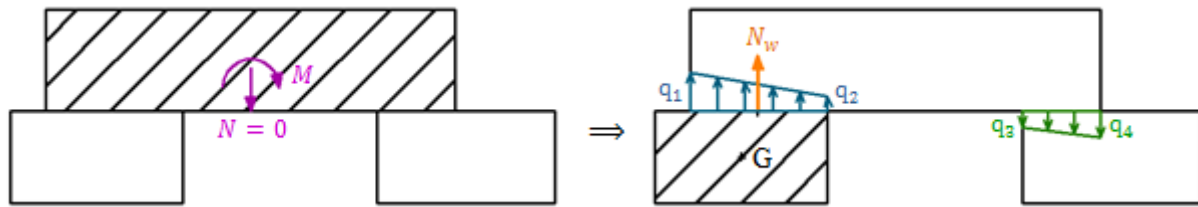


Figure 24 : Répartition du moment dû à l'action du vent

Chacun des voiles de la partie 1 et 2 reprend un effort normal N_w caractérisé par les valeurs extrêmes N_i des charges trapézoïdales. Il est appliqué en un point C avec une excentricité $e = x_C - x_G$. Soient :

$$q_i = \frac{M}{I} v_i$$

Où : $i = 1, 2, 3, 4$. Les détails en rapport avec le calcul des N_i sont présentés dans l'Annexe IV - 2. L'abscisse par rapport au point O' du point d'application C est égale à $x'_C = 1,63m$. C'est à dire que par rapport au point O, $x_C = 2,69m$. Ainsi, $e = 0,10m$ et M_w est tel que :

$$M_w = N_w e$$

$$\text{Où : } N_w = \frac{1}{2} a(q_1 + q_2)$$

Tableau 34 : Sollicitations produites par les actions du vent

	M[tm]	q_1 [t/m]	q_2 [t/m]	N_w [t]	M_w [tm]
Voile 1	160,36	-6,60	-1,51	-16,73	1,60
Voile 2	109,79	-4,52	-1,03	-11,46	1,10

En procédant de la même manière pour la poussée des terres, où H représente l'effort horizontal repris par le voile sous l'action de la poussée des terres :

Tableau 35 : Sollicitations issues de la poussée des terres

	Plancher	Poussée	Surcharge
Hauteur	d[m]	2,73	2,73
Voile 1	H[t]	1,09	0,30
	M[tm]	2,96	0,81
Voile 2	H[t]	0,56	0,15
	M[tm]	1,54	0,42

A la différence de l'évaluation des sollicitations issues de l'action du vent, ces valeurs de H et M sont directement utilisables puisque les refends auxquels correspondent la surcharge et la poussée des terres utilisées pour le calcul ci-dessus sont déjà les voiles 1 et 2.

V - 1 - 2 - 3. Sollicitations de calcul

Par récapitulation de tous les efforts appliqués aux voiles 1 et 2, auxquels sont ajoutés leur poids propre et la part de dallage reprise par la semelle (calculs présentés dans l'Annexe II - 3 et l'Annexe II - 4), les sollicitations en tête de fondation sont :

Tableau 36 : Charges à transmettre au sol par la semelle filante

Nature	Voile 1			Voile 2		
	N[t]	H[t]	M[tm]	N[t]	H[t]	M[tm]
G	104,53	-	68,07	71,57	-	43,64
Q	13,56	-	9,12	8,94	-	5,90
G _p	-	1,09	2,96	-	0,56	1,54
Q _p	-	0,30	0,81	-	0,15	0,42
W	-16,73	-	1,60	-11,46	-	1,10

Telles que :

G : Charges permanentes ;

Q : Surcharges d'exploitation ;

G_p : Poussée des terres ;

Q_p : Surcharge due à la poussée ;

W : Surcharge climatique (vent).

V - 2. DIMENSIONNEMENT

Le calcul va permettre de connaître les dimensions de la fondation en largeur (et/ou en longueur) et en hauteur, mais aussi les armatures à mettre en œuvre pour assurer la stabilité de l'ensemble en partant des massifs de fondation.

V - 2 - 1 - 1. Dimensions de la fondation

Il s'agit de déterminer les dimensions de la fondation suivant la figure ci-après, où a et b sont respectivement la longueur et la largeur du mur, dont a = 5,18m et b = 0,40m.

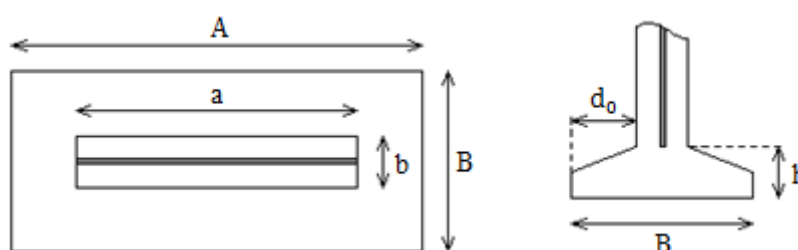


Figure 25 : Dimensions de la semelle filante

A, B : Longueur et largeur de la semelle ;

h : Hauteur de la semelle ;

d₀ : Débord.

a. Calcul des efforts

Deux cas de combinaisons d'actions seront à considérer pour chaque état de chargement afin de déterminer les efforts normaux transmis par les points d'appui. Le premier cas exclut les charges climatiques. Les combinaisons d'actions correspondantes en sont :

- vis-à-vis des états limites de service : $G + Q$
- vis-à-vis des états limites ultimes : $1,35G + 1,5Q$

Quant au deuxième cas, les combinaisons d'actions comprennent les surcharges dues au vent, en plus des actions permanentes et des charges d'exploitation :

- vis-à-vis des états limites de service : $G + Q + 0,77W$
- vis-à-vis des états limites ultimes : $1,35G + 1,5Q + 0,77W$

Tableau 37 : Chargement de la fondation

Efforts	N	H	M
G	176,11	1,65	116,21
Q	22,51	0,45	16,25
W	-28,19	-	2,70

Ainsi, la charge à la base du mur (P_u pour l'ELU et P_s pour l'ELS) vaut :

- pour le premier cas : $P'_{ser} = 198,62t$ et $P'_u = 271,51t$;
- pour le deuxième cas : $P'_{ser} = 176,91t$ et $P'_u = 237,68t$;

Le premier cas est bien plus préjudiciable à la fondation. A cet effet, il sera retenu pour la suite du calcul. Toutefois, il est à noter que l'axe du mur, considéré comme étant un bloc unique formé par les deux voiles, n'est pas confondu avec celui de la semelle à calculer. En effet, dans le sens de la largeur, il y a une excentricité de 2cm (se référer à l'Annexe IV - 3).

b. Dimensions de la semelle

Soient $\bar{\sigma}_{ser}$ et $\bar{\sigma}_u$ la contrainte limite admissible au sol respectivement à l'ELS et à l'ELU. La largeur A de la semelle est telle que :

$$B \geq \text{Max} \left\{ \frac{P_{ser}}{\bar{\sigma}_{ser}}; \frac{P_u}{\bar{\sigma}_u} \right\}$$

Avec : $\bar{\sigma}_{ser} = 20t/m^2$ et $\bar{\sigma}_u = 30t/m^2$

Comme le poids propre de la fondation représente environ 5% de la charge appliquée, les valeurs forfaitaires de P_{ser} et P_u sont :

$$P_{ser} = (1 + 0,05)P'_{ser} = 208,55t \quad \text{et} \quad P_u = (1 + 1,35 \times 0,05)P'_u = 289,83t$$

Ce qui équivaut à des charges par mètre linéaire de mur de : $p_{ser} = 40,26t$ et $p_u = 55,95t$.
Ainsi :

$$B \geq \text{Max}\{1,87m ; 2,01m\}$$

En retenant $B = 2,70m$, le débord d_0 vaut $1,15m$. C'est-à-dire que pour ce même débord dans le sens de la longueur, A est alors arrondi à $7,50m$. Et afin d'assurer la rigidité de la semelle selon la formule :

$$h \geq \frac{B - b}{2} + c$$

Où : c désigne l'enrobage ($4cm$ en infrastructure). La hauteur h doit donc être au moins égal à $46cm$. Soit une semelle excentrée de $2,70m$ de large sur $7,50m$ de long et $0,50m$ de hauteur.

Il est cependant plus judicieux d'adopter une semelle centrée. Pour ce faire, la largeur fictive est égale à $B_{fic} = B + 2e = 2,74m$. Mais dans un souci de mise en œuvre, cette valeur sera arrondie à $2,75m$. En somme, la semelle à considérer est une semelle centrée de dimensions :

$$A = 7,50m ; B = 2,75m \text{ et } h = 0,50m$$

V - 2 - 1 - 2. Vérifications

a. *Calcul des contraintes*

Connaissant les dimensions de la fondation et le poids volumique du béton armé, il est dès lors possible d'évaluer plus précisément le poids de la semelle. Soit une hauteur de rive de $30cm$ pour permettre un bon ancrage des armatures :

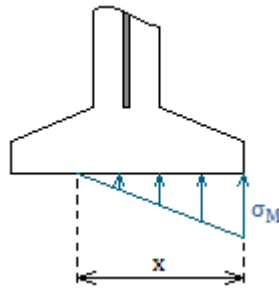
$$P_{semelle} = 14,39t$$

Les efforts réellement appliqués à la semelle ainsi que leur excentricité respective, du fait de l'existence de moment de flexion, sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Tableau 38 : Efforts sur semelles

	N[t]	M[tm]	e[m]
ELS	213,00	132,47	0,622
ELU	290,93	181,27	0,623

Les excentricités $e_{ser} = 0,622m$ et $e_u = 0,623m$ sont supérieures à $B/6 = 0,46m$. C'est-à-dire que la contrainte au sol a une distribution triangulaire caractérisée par σ_M et x , telles que :



$$\sigma_M = \frac{2N}{3A \left(\frac{B}{2} - e \right)}$$

$$x = \frac{3B}{2} - e$$

Figure 26 : Caractéristiques de la contrainte

Soient :

$$\sigma_M^{\text{ser}} = 25,14 \text{ t/m}^2 \quad \text{et} \quad x_{\text{ser}} = 2,259 \text{ m}$$

$$\sigma_M^u = 31,26 \text{ t/m}^2 \quad \text{et} \quad x_u = 2,256 \text{ m}$$

b. Vérification de la contrainte au sol

La résistance du sol est vérifiée si les contraintes à l'ELS et à l'ELU vérifient la condition qui suit :

$$\sigma_M \leq 1,33 \bar{\sigma}$$

Comme : $\bar{\sigma}_{\text{ser}} = 20 \text{ t/m}^2$ et $\bar{\sigma}_u = 30 \text{ t/m}^2$

Et : $\sigma_M^{\text{ser}} = 25,14 \text{ t/m}^2$ et $\sigma_M^u = 31,26 \text{ t/m}^2$

$1,33 \bar{\sigma}_{\text{ser}} = 26,60 \text{ t/m}^2$ et $1,33 \bar{\sigma}_u = 39,90 \text{ t/m}^2$

$\sigma_M^{\text{ser}} \leq 1,33 \bar{\sigma}_{\text{ser}}$ et $\sigma_M^u \leq 1,33 \bar{\sigma}_u$ sont vérifiées

c. Etat limite ultime de renversement

La vérification de l'état limite ultime de renversement se traduit par une compression du sol sur une surface au moins égale à 10% de la surface totale de la fondation. La contrainte étant répartie de façon triangulaire à l'ELU sur $x_u = 2,256 \text{ m}$, la part de sol comprimée est de :

$$c_u(\%) = \frac{x_u}{B} \times 100 = 82,16\%$$

De ce fait, la justification est assurée :

$$c_u(\%) \geq 10\%$$

d. Etat limite de service de décompression du sol

Concernant cet état limite, la surface du sol comprimé doit être au moins égale à 75%.

A l'ELS, le diagramme de la contrainte est aussi triangulaire. C'est-à-dire que :

$$c_{\text{ser}}(\%) = \frac{x_{\text{ser}}}{B} \times 100 = 82,03\%$$

Ainsi, le calcul de la décompression du sol à l'état limite de service est vérifié :

$$c_{ser}(\%) \geq 75\%$$

V - 2 - 1 - 3. Calcul des armatures

Le calcul des armatures d'une semelle filante soumise à une charge N et un moment de flexion M appliqué au niveau de son assise se fait avec la méthode des moments.

a. *Armatures principales*

La section d'aciers à disposer le long de la grande dimension est donnée par la relation :

$$A_s = \frac{M_1}{z_b \sigma_s}$$

Avec :

M_1 : Moment au nu du mur ;

z_b : Bras de levier, tel que $z_b = 0,9d$. Où $d = h - c$ est la hauteur utile et vaut 0,46m ;

σ_s (ou f_{ed}) : Contrainte de l'acier, avec $\sigma_s = 435\text{MPa}$.

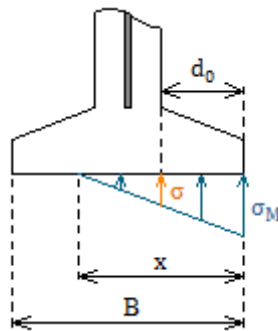


Figure 27 : Distribution de la contrainte

Selon la figure ci-dessus, la contrainte du sol à la verticale du nu du mur est égale à :

$$\sigma^u = \frac{x^u - d_0}{x^u} \sigma_M^u = 15,32\text{t/m}^2$$

La résultante R_u issue de la contrainte délimitée par σ_M^u et σ^u vaut donc :

$$R_u = \frac{1}{2} (\sigma_M^u + \sigma^u) d_0 = 26,79\text{t/ml}$$

Son point d'application se situe à 0,51m du bord de la semelle. C'est-à-dire que le moment correspondant $M_u(\sigma)$ est tel que :

$$M_u(\sigma) = R_u(d_0 - 0,51\text{m}) = 17,43\text{tm/ml}$$

Le moment au nu du mur M_1 est par la suite obtenu en effectuant l'opération: $M_u(\sigma) - M_u(P)$.

Où $M_u(P)$ est le moment issu du poids propre de la partie en console :

$$M_u(P) = 1,35h' \gamma_b \frac{d_0^2}{2} = 0,89\text{tm/ml}$$

D'où :

$$M_1 = 16,53 \text{ tm/ml}$$

Ainsi, la section d'armatures principales par unité de longueur est de $5,59 \text{ cm}^2$.

$$A_s = 9,18 \text{ cm}^2/\text{ml en FeE500}$$

D'après les valeurs fournies dans l'Annexe IV - 4, la longueur de scellement l_s correspondant à $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$ est égale à $44,1\phi$. En choisissant des barres HA16, l_s est supérieure à $B/4$, c'est-à-dire qu'il est nécessaire de munir les barres de crochets. Par ailleurs, leur espacement sera de 21cm.

b. Armatures de répartition

Les armatures à répartir le long de la largeur B ont une section égale à :

$$A_r = \frac{A_s B}{4}$$

Soit :

$$A_r = 6,31 \text{ cm}^2 \text{ en FeE500}$$

Cette section équivaut à 10HA10 espacées de 27cm. Comme $44,1\phi < B/4$, les barres seront dépourvues de crochets.

CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DE LA SUPERSTRUCTURE

VI - 1. CALCUL DES VOILES

Les voiles 1 et 2 sont considérés comme voiles intérieurs vue la présence de joint de dilatation entre les deux éléments.

VI - 1 - 1. Caractéristiques des voiles

Les principales dimensions de chaque voile sont :

- longueur du mur : $L = 5,18\text{m}$;
- épaisseur : $a = 0,18\text{m}$;
- hauteur libre : $l = 2,64\text{m}$.

Les murs étant raidi à une seule extrémité, la longueur entre le nu du raidisseur et le bord libre est : $c = 5\text{m}$. Pour ce type de raidissement, la longueur b est définie par $b = 2,5c$. Soit $b = 12,5\text{m}$.

VI - 1 - 1 - 1. Longueur de flambement

La valeur de la longueur de flambement l_f se déduit d'une valeur intermédiaire l'_f qui, elle-même est fonction de la liaison du mur avec les planchers. Suivant les valeurs indiquées dans l'Annexe IV - 5, et dans l'hypothèse où les voiles sont considérés non armés, l'_f est égale à la hauteur libre l , c'est-à-dire que : $l'_f = 2,64\text{m}$.

Toujours dans l'hypothèse où les murs sont non armés, et comme $l'_f \leq b$:

$$l_f = \frac{l'_f}{\left[1 + \left(\frac{l'_f}{b}\right)^2\right]}$$

D'où :

$$l_f = 2,53\text{m}$$

Par conséquent, l'excentricité initiale e , qui tient compte de l'hétérogénéité du béton, des défauts de planéité et des faux aplombs éventuels, est égale à la plus grande des valeurs : 2cm et $l_f/300$.

$$e = \max(2\text{cm}; 0,84\text{cm}) = 2\text{cm}$$

VI - 1 - 1 - 2. Elancement mécanique

L'élancement mécanique, noté λ , est fonction de la longueur de flambement l_f déterminé précédemment et de l'épaisseur a selon la formule :

$$\lambda = \frac{l_f \sqrt{12}}{a}$$

Soit :

$$\lambda = 48,64$$

VI - 1 - 2. Justification des murs

La vérification des voiles s'effectue à deux niveaux dont l'un à mi-hauteur d'étage et l'autre sous le plancher. A cet effet, il est nécessaire de déterminer la contrainte limite ultime.

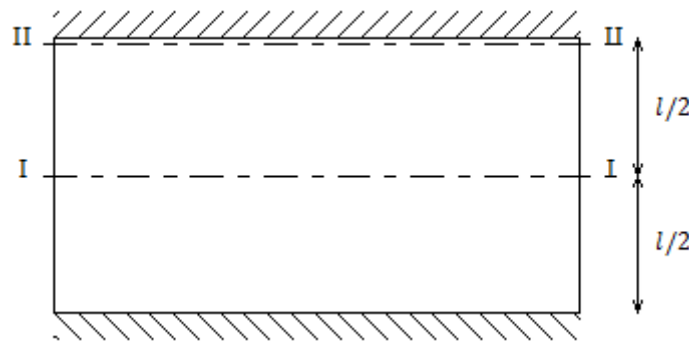


Figure 28 : Niveaux de vérification

VI - 1 - 2 - 1. Contrainte limite ultime

La contrainte limite ultime $\sigma_{u,lim}$ est telle que :

$$\sigma_{u,lim} = \frac{N_{u,lim}}{aL}$$

Où $N_{u,lim}$ est l'effort normal limite ultime donné par :

$$N_{u,lim} = \alpha \left[\frac{B_r f_{c28}}{0,9 \gamma_b} + A \frac{f_e}{\gamma_s} \right]$$

Avec :

B_r : Surface réduite d'un mur d'épaisseur a et de longueur L . Elle est égale à $L(a - 2\text{cm})$.

Soit : $B_r = 0,83\text{m}^2$;

α : Coefficient réducteur qui, pour le cas de mur non armé ($A = 0$), est pris égal à :

$$\alpha = \frac{0,65}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{30} \right)^2} = 0,43$$

Ainsi : $N_{u,lim} = 6,54\text{MN}$. D'où :

$$\sigma_{u,lim} = 7,01\text{MPa}$$

VI - 1 - 2 - 2. Vérification de la section I

La justification de la section horizontale I du mur situé à mi-hauteur consiste à vérifier que la contrainte ultime σ_u^I reste inférieure à la contrainte limite ultime $\sigma_{u,lim}$ telle que :

$$\sigma_u^I = \frac{N_u^I}{aL}$$

N_u^I étant l'effort à l'état limite ultime issu des charges venant des étages supérieures et du poids propre P du voile délimité par le plancher haut et la section I.

$$N_u^I = 1,35(N_G + P) + 1,5N_Q$$

Les efforts appliqués aux voiles, c'est-à-dire au niveau N_6 (voir Figure 7), sont :

Tableau 39 : Efforts normaux sur voiles

Nature	Voile 1	Voile 2
$N_G[t]$	95,77	64,83
$N_Q[t]$	12,61	8,80
$N_W[t]$	-16,133	-11,46

Et comme le poids propre défini ci-dessus est égal à :

$$P = 2,5 \times 0,18 \times 5,18 \times \frac{2,46}{2} = 2,87t$$

Tableau 40 : Justification de la section I

	$N_u^I[MN]$	$\sigma_u^I[MPa]$	$\sigma_u^I \leq \sigma_{u,lim}$
Voile 1	1,52	1,63	oui
Voile 2	1,05	1,12	oui

Les voiles 1 et 2 sont donc justifiés au niveau de la section I.

VI - 1 - 2 - 3. Vérification de la section II

Pour justifier la section horizontale II du mur situé immédiatement au-dessous du plancher haut, il faut vérifier que la contrainte extrême du béton σ_u^{II} doit être inférieure à $\frac{\sigma_{u,lim}}{\alpha}$.

Pour chaque mur, σ_u^{II} est composé de la contrainte due aux charges situées au-dessus du plancher considéré et de celle due à la réaction d'appui de la poutre. Soient respectivement :

$$\sigma_{u_1}^{II} \text{ et } \sigma_{u_2}^{II}.$$

$$\sigma_{u_1}^{II} = \frac{N_{u_1}^{II}}{aL}$$

Où : $N_{u1}^{II} = 1,35N_G + 1,5N_Q$

Et :

$$\sigma_{u2}^{II} = \frac{N_{u2}^{II}}{ab}$$

Avec :

b: Largeur de la poutre qui prend appui sur le voile (b = 0,50m)

$$N_{u2}^{II} = 1,35G + 1,5Q$$

En rappel des valeurs de G et Q :

- pour la poutre 1 : G = 6,85t et Q = 0,87t
- pour la poutre 2 : G = 2,33t et Q = 0,06t

Et comme $\frac{\sigma_{u,lim}}{\alpha} = 16,46\text{MPa}$:

Tableau 41 : Justification de la section II

	$N_{u1}^{II} [\text{MN}]$	$\sigma_{u1}^{II} [\text{MPa}]$	$N_{u2}^{II} [\text{MN}]$	$\sigma_{u2}^{II} [\text{MPa}]$	$\sigma_{u1}^{II} [\text{MPa}]$	$\sigma_{u1}^{II} \leq \frac{\sigma_{u,lim}}{\alpha}$
Voile 1	1,48	1,59	0,11	1,17	2,76	oui
Voile 2	1,01	1,08	0,03	0,36	1,44	oui

Les voiles 1 et 2 sont aussi justifiés au niveau de la section II.

VI - 1 - 3. Détermination des armatures

Le choix de voiles non armés est retenu étant donné que les justifications précédentes sont assurées. De plus, les efforts à l'ELU sont largement inférieurs aux efforts limites, de même pour le cas des contraintes, qu'il n'est pas nécessaire d'adopter des aciers de calcul. Toutefois, les voiles comporteront des armatures minimales fixées forfaitairement, dites de comportement.

Tableau 42 : Aciers des voiles intérieurs

Notations	Désignation	Section $[\text{cm}^2]$
AV	Aciers de peau verticaux	0,48
AH	Aciers de peau horizontaux	0,96
CV	Chânage vertical	1,50
CH	Chânage horizontal	1,50
RV	Renforcement vertical au voisinage des angles de baies	0,85
RH	Renforcement horizontal au voisinage des angles de baies	3,08

Les aciers de peau à disposer par mètre linéaire sont donc :

- pour les armatures verticales de répartition (AV) : 2HA6 avec $e_{\max} = 50\text{cm}$;

- pour les armatures horizontales principales (AH) : 4HA6 avec $e_{\max} = 33\text{cm}$;
- pour les chaînages verticaux (CV) : 2HA10
- pour les chaînages horizontaux (CH) : 1HA14

VI - 2. CALCUL DU POTEAU

Du fait du contreventement rigide du bâtiment par des refends, les poteaux sont calculés dans l'hypothèse que leurs extrémités ne sont susceptibles de déplacements horizontaux. C'est-à-dire qu'ils sont calculés en compression simple : sollicités par un effort normal seul, et dont l'effet du flambement et des moments résiduels est pris en compte forfaitairement.

VI - 2 - 1. Caractéristiques de l'élément

L'élément à dimensionner est le poteau sujet de la descente de charges (voir Figure 6), au niveau du rez-de-chaussée. Ses principales caractéristiques sont :

- dimensions : $a = 0,30\text{m}$ et $b = 0,50\text{m}$
- longueur libre : $l_0 = 2,58\text{m}$
- longueur de flambement : $l_f = l_0 = 2,58\text{m}$
- chargement au niveau N_5 majoré de 15% (voir Figure 7) : $N_G = 109,19\text{t}$ et $N_Q = 25,67\text{t}$

L'élancement du poteau étant donné par la formule :

$$\lambda = \frac{l_f \sqrt{12}}{a}$$

Soit :

$$\lambda = 29,79$$

VI - 2 - 2. Justification du poteau

VI - 2 - 2 - 1. Calcul de l'effort limite

L'effort normal résistant que peut supporter un poteau d'élancement inférieur à 70 est donné par la formule :

$$N_{u,\lim} = \alpha \left(\frac{B_r f_{c28}}{0,90 \gamma_b} + \frac{A_s f_e}{1,15} \right)$$

Avec :

α : Coefficient réducteur fonction de l'élancement. Pour $\lambda \leq 50$:

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35} \right)^2}$$

B_r : Section de béton réduite en retirant 1cm sur toute la périphérie du poteau

$$B_r = (a - 2\text{cm})(b - 2\text{cm})$$

En prenant la section d'armatures longitudinales $A_s = A_{\min}$, telle que $A_{\min} = \max(0,2\%B; 4u)$. Où B et u sont respectivement l'aire et le périmètre de la section du poteau, la valeur de l'effort limite est alors égal à :

$$N_{u,\text{lim}} = 0,71 \left(\frac{0,13 \times 25}{0,9 \times 1 \times 1,5} + \frac{6,40 \cdot 10^{-4} \times 500}{1,15} \right)$$
$$N_{u,\text{lim}} = 2,05\text{MN}$$

VI - 2 - 2 - 2. Vérification de l'effort normal

La justification du poteau consiste à vérifier que l'effort normal ultime N_u est au plus égal à l'effort normal résistant $N_{u,\text{lim}}$ selon l'écriture : $N_u \leq N_{u,\text{lim}}$. En affectant une majoration de 15% aux valeurs des charges appliquées au poteau obtenues par la descente de charges : $N_G = 109,19\text{t}$ et $N_Q = 25,67\text{t}$. Ainsi, la sollicitation normale à l'ELU vaut :

$$N_u = 185,91\text{t}$$

Comme $N_u = 1,86\text{MN} \leq N_{u,\text{lim}} = 2,05\text{MN}$: la justification est assurée.

VI - 2 - 3. **Dispositions constructives**

VI - 2 - 3 - 1. Armatures longitudinales

Afin de résister à la charge normale ultime, le poteau doit être armé longitudinalement d'au moins la section d'aciers minimale A_{\min} définie précédemment : $A_{\min} = \max(0,2\%B; 4u)$

$$A_{\min} = 6,40\text{cm}^2$$

En adoptant des barres de diamètre égal à 12mm, cette section correspond à 6HA12 ($A_s = 6,79\text{cm}^2$). Par ailleurs, la distance horizontale entre les barres voisines c doit respecter :

$$c \leq \min\{(a + 10\text{cm}) ; 40\text{cm}\}$$

La petite dimension vaut $a = 30\text{cm}$. Soit : $c \leq 40\text{cm}$

VI - 2 - 3 - 2. Armatures transversales

Le diamètre des aciers transversaux qui servent à maintenir les aciers longitudinaux doit être égal à la valeur normalisée la plus proche du tiers de $\phi_{l\text{max}}$.

$\phi_{l\text{max}}$: Plus grand diamètre des armatures longitudinales, ici égal à 12mm. Ainsi, $\phi_t = 6\text{mm}$. Où ϕ_t représente le diamètre des armatures transversales (cadres). Elles sont au plus espacées de : $\min\{15\phi_{l\text{min}}; 40\text{cm}; (a + 10\text{cm})\} = 18\text{cm}$ en zone de non recouvrement. Par contre, dans

les zones de recouvrement des aciers longitudinaux, le nombre de cours d'aciers transversaux est au moins égal à trois.

VI - 3. CALCUL DE LA POUTRE

La poutre à étudier est une poutre continue à 2 travées comme représentée sur la figure ci-après (plancher haut rez-de-chaussée), et de section rectangulaire. Les charges appliquées à l'élément étant orthogonales à la ligne moyenne, la poutre sera donc calculée en flexion simple.

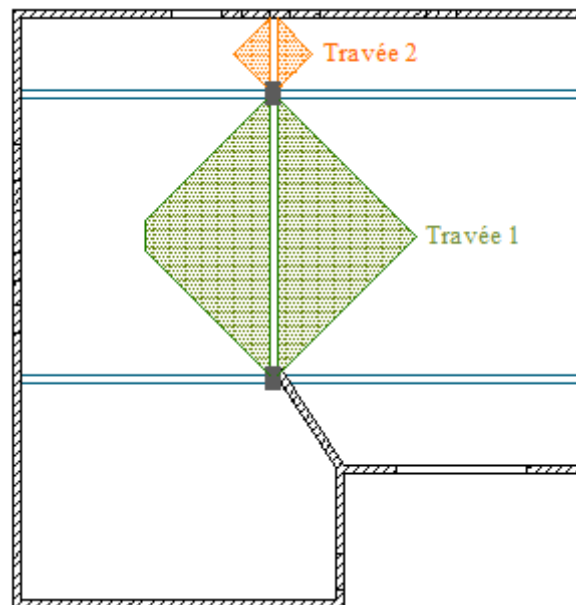


Figure 29 : Surfaces de chargement de la poutre à dimensionner

VI - 3 - 1. Evaluation des charges

La répartition des charges des dalles à partir des lignes de rupture (à 45°) permet de déterminer la part de charges supportées par la poutre. Selon que la distribution de chaque charge soit triangulaire ou trapézoïdale, les formules suivantes permettent d'obtenir la charge uniforme équivalente p appliquée :

- cas d'une distribution triangulaire :

$$p = \frac{2}{3} p_0$$

- cas d'une distribution trapézoïdale :

$$p = p_0 \left(1 - \frac{\alpha^2}{3} \right)$$

Où :

$$\alpha = \frac{l_x}{l_y}, \text{ avec } l_x \text{ et } l_y : \text{ les portées de la dalle } (l_x < l_y) ;$$

$$p_0 = p'_0 \frac{l_x}{2}, \text{ avec } p'_0 : \text{ la charge par mètre carré de plancher}$$

Pour $l_1 = 6,16\text{m}$ et $l_2 = 1,58\text{m}$ - les portées respectives de la travée 1 et 2 mesurées entre nus d'appuis - les charges reprises par la poutre sont :

Tableau 43 : Charges sur poutre

	$l_x[\text{m}]$	$l_y[\text{m}]$	α	$g_0[\text{t/m}^2]$	$q_0[\text{t/m}^2]$	$g[\text{t/m}]$	$q[\text{t/m}]$
Travée 1	6,10	6,16	0,99	0,59	0,15	1,03	0,31
	6,16	6,68	-	0,59	0,15	1,03	0,31
Travée 2	1,58	6,10	-	0,59	0,15	0,26	0,08
	1,58	6,68	-	0,59	0,15	0,26	0,08

Concernant la travée 1, il s'ajoute le poids de la part de placoplatre inscrit dans les lignes de répartition. Elle s'évalue à $0,15\text{t/m}$. Ainsi, en désignant chaque travée par les indices 1 et 2 :

$$g_1 = 2,20\text{t/m} \text{ et } q_1 = 0,62\text{t/m}$$

$$g_2 = 0,53\text{t/m} \text{ et } q_2 = 0,16\text{t/m}$$

Avec :

g_i : charges permanentes de la travée i , et

q_i : charges d'exploitation.

VI - 3 - 2. Calcul des sollicitations

Après calcul des charges, la conception d'une poutre nécessite la connaissance des valeurs maximales du moment et de l'effort tranchant. Pour cela, il faut considérer certains cas de charges permettant par la suite d'obtenir les courbes enveloppes. Le principe est de charger et de décharger successivement chaque travée. A cet effet, les combinaisons d'actions à prendre en compte sont :

- Cas 1 : travées 1 chargée - travée 2 chargée
- Cas 2 : travée 1 chargée - travée 2 déchargée
- Cas 3 : travée 1 déchargée - travée 2 chargée
- Cas 4 : travée 1 déchargée - travée 2 déchargée

Tableau 44 : Les différents cas de charges

N°	Travée 1		Travée 2	
	Combinaison	Charge appliquée	Combinaison	Charge appliquée
Cas 1	$1,35g_1 + 1,5q_1$	3,90t/m	$1,35g_2 + 1,5q_2$	0,95t/m
Cas 2	$1,35g_1 + 1,5q_1$	3,90t/m	$1,35g_2$	0,71t/m
Cas 3	$1,35g_1$	2,97t/m	$1,35g_2 + 1,5q_2$	0,95t/m
Cas 4	$1,35g_1$	2,97t/m	$1,35g_2$	0,71t/m

VI - 3 - 2 - 1. Moments de flexion et efforts tranchants

Deux méthodes sont applicables pour le calcul des poutres continues : la méthode forfaitaire et la méthode de Caquot. D'après les caractéristiques de la poutre, il convient d'adopter la méthode de Caquot car une des conditions relatives à l'application de la première méthode n'est pas remplie, à savoir le rapport de portées successives qui doit être compris entre 0,8 et 1,25.

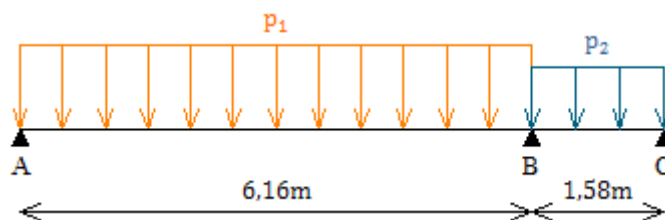


Figure 30 : Modélisation de la poutre

Selon Caquot, les moments sur appui sont évalués à partir des charges des travées adjacentes à cet appui. Comme la poutre est en appui simple à ses extrémités A et C, les moments en ces points sont nuls ($M_A = 0$ et $M_C = 0$). Mais en partant de l'hypothèse que les travées sont de même inertie, et que cette inertie est constante tout le long de chaque portée, le moment à l'appui j (assimilable à B) est de la forme :

$$M_j = \frac{p_{ij}l_{ij}^3 + p_{jk}l_{jk}^3}{8,5(l_{ij} + l_{jk})}$$

En conséquence, les efforts tranchants à droite et à gauche de chaque appui sont obtenus par les formules suivantes :

- pour l'effort à gauche :

$$T_i^D = \frac{p_{ij}l_{ij}}{2} + \frac{M_i - M_j}{l_{ij}}$$

- pour l'effort à droite :

$$T_j^G = \frac{p_{ij}l_{ij}}{2} - \frac{M_i - M_j}{l_{ij}}$$

Par la suite, les moments en travée dépendent des efforts définis précédemment, en sus de la charge appliquée à la travée considérée. Ainsi, pour la travée ij , ce moment s'écrit :

$$M_{ij} = T_i^D x_{ij} - \frac{p_{ij} x_{ij}^2}{2} - M_i$$

Où :

p_{ij} : Charge appliquée à la travée ij ;

l_{ij} : Portée de la travée ij ;

$x_{ij} = \frac{T_i^D}{p_{ij}}$: Abscisse où le diagramme de l'effort tranchant coupe l'axe.

Avec $l_{AB} = 6,16\text{m}$ et $l_{BC} = 1,58\text{m}$:

Tableau 45 : Moments de flexion et efforts tranchants

Notations	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
$p_{AB}[\text{t/m}]$	3,90	3,90	2,97	2,97
$p_{BC}[\text{t/m}]$	0,95	0,71	0,95	0,71
$M_B[\text{tm}]$	13,90	13,88	10,61	10,60
$T_A^D[\text{t}]$	9,74	9,74	7,43	7,43
$T_B^G[\text{t}]$	14,25	14,25	10,88	10,87
$T_B^D[\text{t}]$	9,54	9,35	7,47	7,27
$T_C^G[\text{t}]$	-8,05	-8,23	-5,97	-6,15
$x_{AB}[\text{m}]$	2,50	2,50	2,50	2,50
$M_{AB}[\text{tm}]$	12,18	12,19	9,29	9,29

VI - 3 - 2 - 2. Courbes enveloppes

a. *Diagrammes des efforts*

Les diagrammes ci-après schématisent la variation de l'effort tranchant et du moment de flexion de la poutre pour les différents cas de charges :

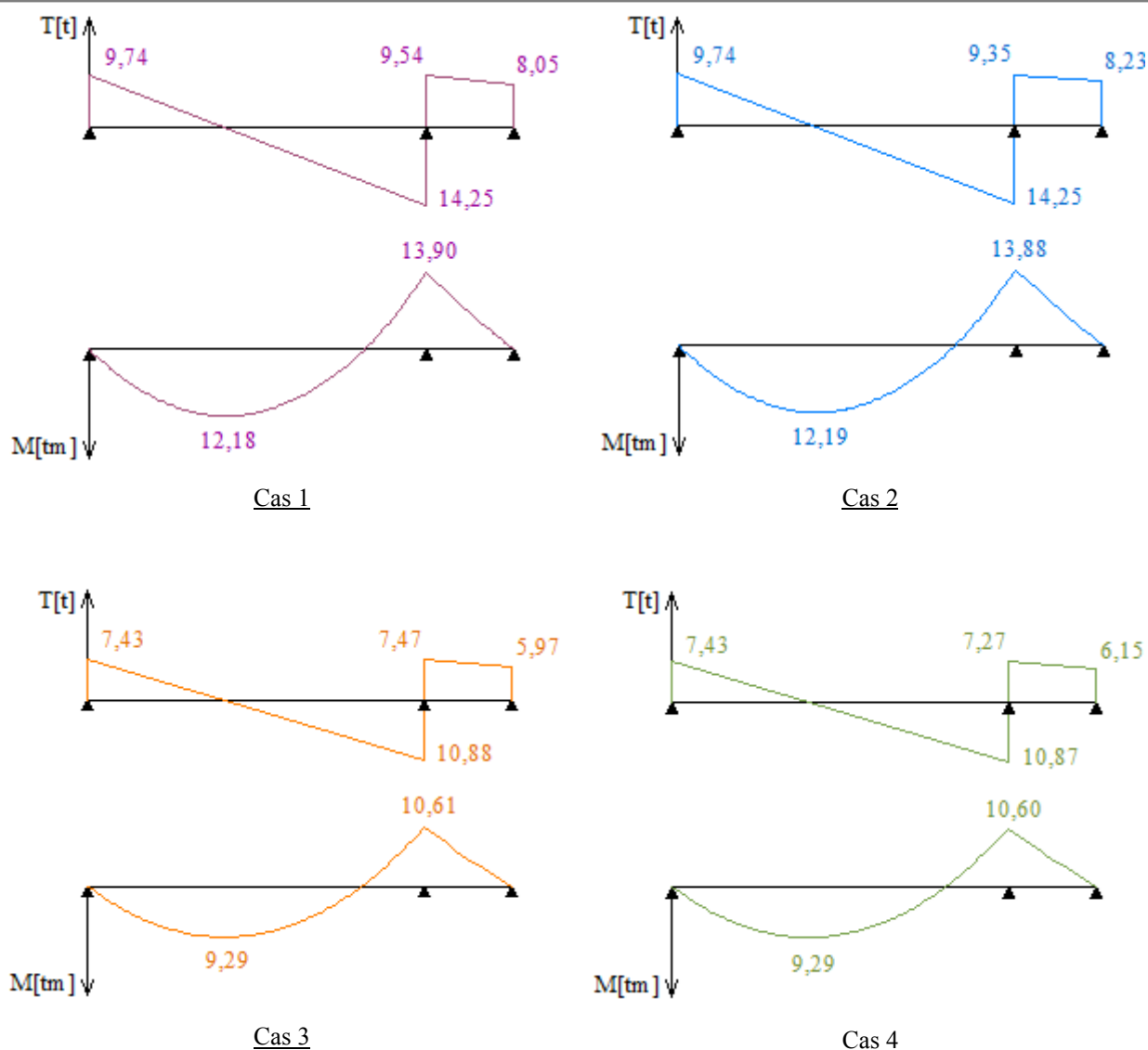


Figure 31 : Diagrammes des efforts

b. Courbes enveloppes

Pour l'ensemble des combinaisons d'actions ci-dessus (cas 1 à cas 4), il s'en suit de reproduire le contour des efforts maximums et minimums, d'où la courbe enveloppe de l'effort tranchant et celle du moment de flexion représentées en pointillés :

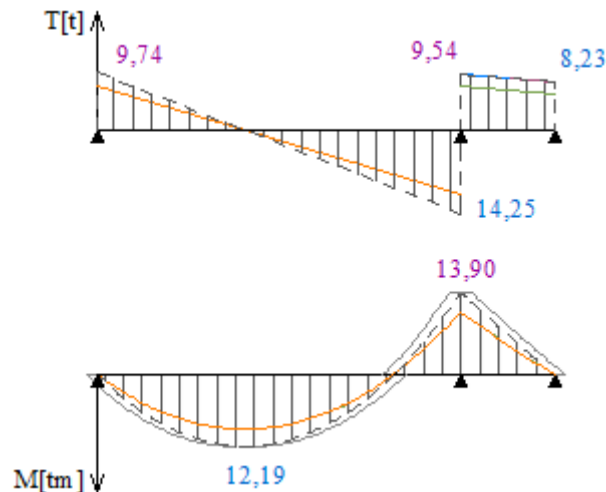


Figure 32 : Courbes enveloppes des efforts

VI - 3 - 3. Détermination des armatures

VI - 3 - 3 - 1. Armatures longitudinales

La section d'armatures longitudinales est déterminée pour équilibrer les moments évalués précédemment. Soit M_u le moment fléchissant ultime appliqué à une section donnée de dimensions $h \times b$ telles que $h = 0,45\text{m}$ (hauteur) et $b = 0,18\text{m}$ (largeur). Le moment réduit μ est défini par :

$$\mu = \frac{M_u}{bd^2f_{bc}}$$

Avec :

f_{bc} : Contrainte de compression du béton, $f_{bc} = 14,17\text{MPa}$;

$d = h - c$: Hauteur utile, où c est l'enrobage (3cm en superstructure) ; soit $d = 0,42\text{m}$.

En effectuant le calcul pour les moments maximums :

$$- M_u = 12,19\text{tm} \Rightarrow \mu = 0,271$$

$$- M_u = 13,10\text{tm} \Rightarrow \mu = 0,309$$

Par ailleurs, il a été établi que si :

- $\mu \leq \mu_{lim}$: la section de béton est simplement armée ;
- $\mu > \mu_{lim}$: il est nécessaire de prévoir des armatures comprimées.

Comme indiquée dans l'Annexe IV - 6, la valeur limite du moment réduit μ_{lim} correspondant à une nuance d'aciers de 500MPa (cas de combinaisons durables) est égale à 0,371. Les moments réduits calculés sont donc inférieurs à la limite ($\mu < \mu_{lim}$). C'est-à-dire que la section d'armatures longitudinales à mettre en œuvre est celle des armatures tendues seules ; elle est déterminée par la formule :

$$A_s = \frac{M_u}{z_b \sigma_s}$$

Où :

$z_b = d(1 - 0,4\alpha)$: Bras de levier, avec $\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu})$;

σ_s : Contrainte de l'acier, $\sigma_s = 435\text{MPa}$.

Tableau 46 : Calcul d'armatures

$M_u[\text{tm}]$	12,19	13,90
α	0,404	0,477
$z_b[\text{m}]$	0,35	0,34
$A_s[\text{cm}^2]$	7,96	9,41

La condition de non fragilité de la poutre exige une section d'aciers tendus vérifiant la condition :

$$A_s \geq \max\left(\frac{bh}{1000}; 0,23bd \frac{f_{t28}}{f_e}\right)$$

Ainsi, A_s doit être au moins égal à $0,81\text{cm}^2$. A ce titre, il convient d'adopter comme section réelle d'aciers :

- en travée : $4\text{HA}16 = 8,04\text{cm}^2$;
- sur appuis : $2\text{HA}20 + 2\text{HA}16 = 10,30\text{cm}^2$.

VI - 3 - 3 - 2. Vérification aux appuis

Deux vérifications sont à effectuer au droit de l'appui simple d'about, dont :

- la section d'armatures inférieure qui doit respecter l'inégalité :

$$A_s \geq \frac{V_u}{f_{ed}}$$

Pour une valeur maximum de l'effort tranchant au niveau des appuis de rive $V_u = 9,74\text{t}$: A_s doit être au moins égale à $2,24\text{cm}^2$. Or $A_s = 8,04\text{cm}^2$.

$$A_s \geq 2,24\text{cm}^2$$

Les aciers inférieurs au droit des appuis de rive sont donc vérifiés.

- la contrainte de compression σ_{bc} dans la bielle d'about :

$$\sigma_{bc} = \frac{2V_u}{ba} \leq 0,8 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$$

a : Longueur de la bielle. Elle vaut $a = l - c - 2\text{cm}$, où l est la longueur de l'appui, ici égal à 50cm . Soit $a = 45\text{cm}$. Et pour la même valeur de l'effort tranchant que lors de la vérification précédente, $\sigma_{bc} = 2,41\text{MPa}$.

$$\sigma_{bc} \leq 13,33\text{MPa}$$

C'est-à-dire que la justification de la contrainte du béton est assurée.

Pour l'appui intermédiaire B de la poutre continue, il faut vérifier :

- les armatures longitudinales suivant la relation :

$$V_u \leq \frac{M_u}{0,9d}$$

Sinon, d'autres dispositions constructives sont à prendre en compte concernant la section d'armatures.

Soit $V_u = 14,25\text{t}$ et $M_u = 13,90\text{tm}$. Avec $d = 0,42\text{m}$: est de loin inférieure à $0,9dV_u$.

$$5,39\text{MPa} \leq M_u$$

Les armatures au droit de l'appui intermédiaire sont donc vérifiées.

- la contrainte du béton qui doit être telle que :

$$\sigma_{bc} = \frac{R_u}{S} \leq 1,3 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$$

La contrainte moyenne de compression sur l'aire d'appui S sous la réaction d'appui ultime R_u est égale à :

$$\sigma_{bc} = \frac{V_u^G + V_u^D}{S}$$

Avec : $V_u^G = 9,54\text{t}$ et $V_u^D = 14,25\text{t}$. Entre autres : $S = 0,18\text{m} \times 0,50\text{m}$. Soit $\sigma_{bc} = 2,64\text{MPa}$.

$$\sigma_{bc} < 21,67\text{MPa}$$

C'est-à-dire que la contrainte du béton est justifiée.

VI - 3 - 3 - 3. Armatures transversales

a. *Dimensionnement des âmes*

A partir de la contrainte conventionnelle τ_u , il est possible de déterminer l'inclinaison des armatures d'âme. En effet, pour les barres droites (sinon inclinées de 45°), le règlement impose la vérification ci-après pour le cas de fissuration non préjudiciable (voir Annexe IV - 7) :

$$\tau_u = \frac{V_u}{bd} \leq \min \left(0,2 \frac{f_{c28}}{\gamma_b} ; 5\text{MPa} \right)$$

Soit :

$$\tau_u \leq 3,33\text{MPa}$$

Où : V_u représente l'effort tranchant. Pour les différentes valeurs représentées sur la courbe enveloppe (voir Figure 32) :

- $V_u = 9,74\text{t} \Rightarrow \tau_u = 1,29\text{MPa}$

- $V_u = 14,25t \Rightarrow \tau_u = 1,89\text{MPa}$
- $V_u = 9,54t \Rightarrow \tau_u = 1,26\text{MPa}$
- $V_u = 8,53t \Rightarrow \tau_u = 1,09\text{MPa}$

Par conséquent, il en découle que la vérification est assurée pour toutes les sections de la poutre. C'est-à-dire que les armatures transversales sont contenues dans des plans perpendiculaires à la fibre moyenne. Leur diamètre est tel que :

$$\phi_t \geq \frac{\phi_{l_{\max}}}{3} \quad \text{et} \quad \phi_t \leq \min\left(\frac{h}{35}; \frac{b}{10}; \phi_{l_{\max}}\right)$$

$\phi_{l_{\max}}$: Diamètre maximal des armatures longitudinales, ici égal à 20mm

Ainsi, $6,67\text{mm} \leq \phi_t \leq 12,86\text{mm}$. Soit :

$$\phi_t = 8\text{mm}$$

Pour des cadres de 8mm de diamètre, la section d'aciers correspondante est de $2\text{HA}8 = 1,01\text{cm}^2$.

b. Répartition des armatures

Les écartements des aciers sont pris parmi les valeurs de la suite suivante : 7, 8, 9, 10, 11, 13, 16, 20, 25, 35, 40.

En définissant par s_{t_0} l'écartement initial, où :

$$s_{t_0} = \frac{0,9f_{ed}A_t}{b(\tau_u - 0,3f_{t28})}$$

La répartition des armatures transversales consiste à placer le premier cadre à la distance $s_{t_0}/2$ du nu d'appui. Puis d'adopter n_i fois les espacements successifs s_{t_i} ($i = 0, 1, \dots$), conformes à la suite indiquée ci-dessus et inférieurs à la valeur limite $s_{t_{\max}}$.

$$s_{t_{\max}} = \min(0,9d; 40\text{cm}) = 38\text{cm}$$

Tableau 47 : Ecartement initial et nombre de répétition

$V_u[t]$	$\tau_u[\text{MPa}]$	$s_{t_0}[\text{cm}]$	$s_{t_1}[\text{cm}]$	$s_{t_0}/2[\text{cm}]$	n
9,74	1,29	17	16	8	1,70
14,25	1,89	11	11	7	2,72
9,54	1,26	17	16	8	1,66

La répartition des armatures le long de la première travée est établie en deux parties délimitées par le point de changement de signe de l'effort tranchant, à $x = 2,50\text{m}$. Ainsi :

- pour la travée 1 :

Espacement [cm]	$s_{t_0}/2$	8	9	10	11	13	16	20	25	35
Nombre théorique de répétition	-	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
Nombre cumulé	-	1,70	3,40	5,10	6,80	8,50	10,21	11,91	13,61	15,31
Nombre arrondi	-	2	3	5	7	9	10	12	14	15
Nombre de répétition	-	<u>2</u>	1	2	2	2	1	2	2	1
Longueurs cumulées [cm]	8	24	33	53	75	101	117	157	207	242

$$4 \times 8 - 1 \times 9 - 2 \times 10 - 2 \times 11 - 2 \times 13 - 1 \times 16 - 2 \times 20 - 2 \times 25 - 1 \times 35 = 2,50\text{m}$$

Espacement [cm]	$s_{t_0}/2$	8	9	10	11	13	16	20	25	35
Nombre théorique de répétition	-	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72
Nombre cumulé	-	2,72	5,45	8,17	10,90	13,62	16,35	19,07	21,80	24,52
Nombre arrondi	-	3	5	8	11	14	16	19	22	25
Nombre de répétition	-	3	2	3	3	<u>3</u>	2	3	3	1
Longueurs cumulées [cm]	7	31	49	79	112	151	183	243	318	353

$$1 \times 7 - 3 \times 8 - 2 \times 9 - 3 \times 10 - 3 \times 11 - 4 \times 13 - 2 \times 16 - 3 \times 20 - 3 \times 25 - 1 \times 35 = 3,66\text{m}$$

- pour la travée 2 :

Espacement [cm]	$s_{t_0}/2$	8	9	10	11	13	16	20	25	35
Nombre théorique de répétition	-	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
Nombre cumulé	-	1,66	3,31	4,97	6,62	8,28	9,93	11,59	13,24	14,90
Nombre arrondi	-	2	3	5	7	8	10	12	13	15
Nombre de répétition	-	2	<u>1</u>	2	<u>2</u>	1	2	2	1	2
Longueurs cumulées [cm]	8	24	33	53	75	88	120	160	-	-

$$3 \times 8 - 2 \times 10 - 2 \times 11 - 1 \times 13 = 0,79\text{m}$$

Soient les répartitions de gauche à droite suivantes :

- travée 1 :

$$4 \times 8 - 1 \times 9 - 2 \times 10 - 2 \times 11 - 2 \times 13 - 1 \times 16 - 2 \times 20 - 2 \times 25 - 2 \times 35 - 3 \times 25 - 3 \times 20 - 2 \times 16 - 4 \times 13 - 3 \times 11 - 3 \times 10 - 2 \times 9 - 3 \times 8 - 1 \times 7$$

- travée 2 :

$$3 \times 8 - 2 \times 10 - 2 \times 11 - 2 \times 13 - 2 \times 11 - 2 \times 10 - 3 \times 8$$

VI - 4. CALCUL DE LA DALLE

Soient l_x et l_y les portées de la dalle, mesurées entre nus intérieurs des poutres du plancher haut (voir Figure 6) :

$$l_x = 6,16\text{m} \quad \text{et} \quad l_y = 6,68\text{m}$$

L'élancement du panneau est alors défini par le rapport :

$$\alpha = \frac{l_x}{l_y}$$

Il vaut 0,92. Ce paramètre étant supérieur à 0,40 et inférieur à 1 : la dalle porte dans deux directions. Par ailleurs, elle est continue sur 3 travées suivant le sens de chaque portée.

VI - 4 - 1. Calcul des sollicitations

Le moment fléchissant développé sur un panneau rectangulaire uniformément chargé reposant librement sur son pourtour a pour expression :

- suivant le sens de l_x : $M_{0x} = \mu_x p l_x^2$
- suivant le sens de l_y : $M_{0y} = \mu_y M_{0x}$

Tels que :

Les valeurs de μ_x et μ_y sont donnés en fonction de α dans l'Annexe IV - 8. D'où pour $\alpha = 0,92$ (à l'ELU) : $\mu_x = 0,0437$ et $\mu_y = 0,8251$.

p : Charge de calcul. A l'état limite ultime : $p_u = 1,35g + 1,5q$. Avec :

g : Charge permanente

- dalle 18cm : $0,45\text{t/m}^2$
 - revêtement : $0,12\text{t/m}^2$
 - faux-plafond : $0,02\text{t/m}^2$
- $$g = 0,59\text{t/m}^2$$

q : Surcharge d'exploitation

- logement : $0,15\text{t/m}^2$
- $$q = 0,15\text{t/m}^2$$

Soit : $p_u = 1,02\text{t/m}^2$

Ainsi :

$$M_{0x} = 1,69\text{tm/ml} \quad \text{et} \quad M_{0y} = 1,40\text{tm/ml}$$

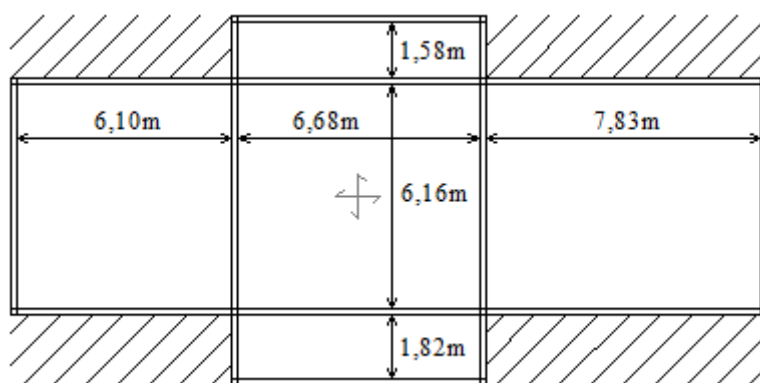


Figure 33 : Dimensions de la dalle continue

Afin de prendre en compte la continuité de la dalle, les moments de flexion ainsi calculés dans l'hypothèse de l'articulation sont par la suite multipliés par des coefficients forfaitaires définis à partir de la condition ci-après :

$$M_t + \frac{M_w + M_e}{2} \geq 1,25M_0$$

Comme il s'agit d'un panneau courant (continu sur ses quatre bords), il convient d'adopter :

$$M_t = 0,75M_0 \quad \text{et} \quad M_a = 0,50M_0$$

Avec :

M_t : Moment en travée

M_a : Moment sur appui

Il est à noter que le moment d'encastrement pour le grand côté est le même que celui pour le petit côté. C'est-à-dire : $M_{ax} = M_{ay} = 0,50M_{0x}$.

Tableau 48 : Calcul des moments de flexion de la dalle

Moment	Appui ouest M_w	Travée M_t	Appui est M_e
Sens de la petite portée	$0,50M_{0x}$	$0,75M_{0x}$	$0,50M_{0x}$
	0,85tm/ml	1,27tm/ml	0,85tm/ml
Sens de la grande portée	$0,50M_{0x}$	$0,75M_{0y}$	$0,50M_{0x}$
	0,85tm/ml	1,05tm/ml	0,85tm/ml

VI - 4 - 2. Détermination des armatures

Connaissant les moments de flexion de la dalle, le ferrailage est calculé suivant la formule ci-après, en considérant une largeur unité ($b = 1m$) :

$$A = \frac{M_u}{z_b \sigma_s}$$

Où : $\sigma_s = 435MPa$. Les sections minimales d'armatures étant :

- $A_{y_{\min}} = 6h$ suivant le sens de la grande portée ($= 1,08\text{cm}^2$) ;
- $A_{x_{\min}} = \frac{3-\alpha}{2} A_{y_{\min}}$ suivant le sens de la grande portée ($= 1,12\text{cm}^2$)

Avec des espacements maximal respectifs de : $s_{ty} \leq \min(4h; 45\text{cm})$ et $s_{tx} \leq \min(3h; 33\text{cm})$.

Tableau 49 : Détermination des d'armatures

Notations	Unités	Travée (sens de l_x)	Travée (sens de l_y)	Appui
M_u	tm/ml	1,27	1,05	0,85
$\mu = \frac{M_u}{bd^2 f_{bc}}$	-	0,040	0,033	0,027
$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu})$	-	0,051	0,042	0,034
$z_b = d(1 - 0,4\alpha)$	m	0,147	0,147	0,148
A	cm^2/ml	2,00	1,63	1,32
$s_{t_{\max}}$	cm	33	45	33

Les sections réelles d'aciers à adopter par mètre linéaire de dalle sont donc :

- 5H8 espacés de 20cm comme aciers en travée suivant le sens de la petite portée ;
- 4HA8 avec un espacement de 25cm pour le ferrailage en travée suivant le sens de la grande portée, et
- 3HA8 espacés de 33cm en guise de chapeau.

VI - 4 - 3. Vérification de la flèche

Pour pouvoir se dispenser de la vérification de la flèche, il faut que :

$$\frac{h}{l_x} \geq \frac{M_{tx}}{20M_{0x}} \quad \text{et} \quad \frac{A}{bd} \leq \frac{2}{f_e}$$

Cependant : $\frac{h}{l_x} = 0,029 < \frac{M_{tx}}{20M_{0x}} = 0,038$ alors que $\frac{A}{bd} = 0,002 \leq \frac{2}{f_e} = 0,004$. C'est-à-dire que la première condition n'est pas justifiée, et que le calcul de la flèche est nécessaire. Pour ce faire, il faut tenir compte des fissures éventuelles dans les zones tendues en considérant un moment d'inertie fictif I_f au lieu du moment d'inertie réel :

$$I_f = \frac{1,1I_0}{1 + \lambda\mu}$$

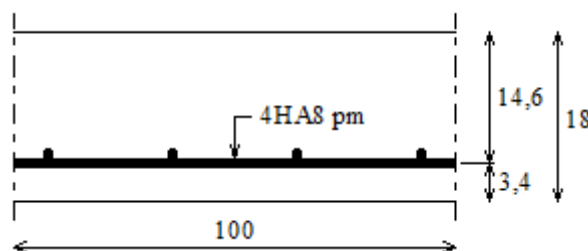


Figure 34 : Schéma de la dalle

I_0 : Moment d'inertie de la section totale, rendue homogène avec $n = 15$

La position du centre de gravité par rapport à l'arête supérieur est :

$$v = \frac{18 \times 100 \times 9 + 15 \times 2,01 \times 14,6}{18 \times 100 + 15 \times 2,01} = 9,09\text{cm}$$

$$v = 9,09\text{cm}$$

Soient : $18\text{cm} - 9,09\text{cm} = 8,91\text{cm}$ et $14,6\text{cm} - 9,09\text{cm} = 5,51\text{cm}$. D'où :

$$I_0 = \frac{100(9,09^3 + 8,91^3)}{3} + 15 \times 2,01 \times 5,51^2 = 49\,530\text{cm}^4$$

$$I_0 = 49\,530\text{cm}^4$$

Le coefficient λ est donné par la relation :

$$\lambda_i = \frac{0,05f_{t28}}{5\rho} \quad \text{et} \quad \lambda_v = \frac{2}{3}\lambda_i$$

Avec :

i : pour les charges d'une durée d'application inférieure à 24hs

v : pour les charges de longue durée d'application

ρ : rapport de l'aire de la section des armatures tendues à celle de la section utile de la nervure :

$$\rho = \frac{A}{bd}$$

Tels que : $A = 2,01\text{cm}^2$; $b = 100\text{cm}$ et $d = 15\text{cm}$. Soit : $\rho = 0,17\%$. D'où :

$$\lambda_i = 12,53 \quad \text{et} \quad \lambda_v = 5,01$$

Concernant le coefficient μ , il est pris au moins égal à 0 et a pour expression :

$$\mu = 1 - \frac{1,75f_{t28}}{4\rho\sigma_s + f_{t28}}$$

Où σ_s est la contrainte de traction des armatures correspondant à chaque cas de charge considéré, dont :

- j : charge permanente avant mise en place des cloisons et des revêtements.

$$p_j = 0,45\text{t/m}^2 ;$$

- g : charge permanente après mise en place des cloisons et des revêtements.

$$p_g = 0,59\text{t/m}^2 ;$$

- p : charge totale (g + charges d'exploitation)

$$p_p = 0,74\text{t/m}^2.$$

$$\sigma_s = \frac{M}{Ad\beta_1}$$

β_1 est tiré du tableau de l'Annexe, en fonction de la valeur de $\rho_1 = 100\rho$. En effet, pour $\rho_1 = 0,17$: $\beta_1 = 0,934$.

La valeur de la flèche, respectivement de courte de durée et de longue durée, est alors donnée par la formule :

$$f_i = \frac{Ml_x^2}{10E_i I_{f_i}} \quad \text{et} \quad f_v = \frac{Ml_x^2}{10E_v I_{f_v}}$$

E_i étant le module de déformation instantanée et E_v le module de déformation différée :

$$E_i = 32\,164\text{MPa} \quad \text{et} \quad E_v = 10\,721\text{MPa}$$

Tableau 50 : Calcul de la flèche pour les différents cas de charge

Charges	i			v
Notations	j	g	p	g
$p[\text{t/m}^2]$	0,45	0,59	0,74	0,59
$M_{0x}[\text{tm/ml}]$	0,87	1,14	1,43	1,14
$M[\text{tm/ml}]$	0,65	0,85	1,07	0,85
$\sigma_s[\text{MPa}]$	185,18	242,79	304,52	242,79
μ	0	0,01	0,11	0,01
$I_f[\text{cm}^4]$	54\,734	46\,560	22\,709	51\,142
$f[\text{cm}]$	0,14	0,22	0,56	0,59

A l'ELS : $\mu_x = 0,0509$. Par conséquent, la flèche totale Δf_t susceptible de mettre en cause le bon comportement des cloisons est :

$$\Delta f_t = f_{gv} - f_{ji} + f_{pi} - f_{gi}$$

$$\Delta f_t = 0,59 - 0,14 + 0,56 - 0,22 = 0,79\text{cm}$$

$$\Delta f_t = 0,79\text{cm}$$

La justification de la flèche consiste par la suite à vérifier la condition ci-après, applicable aux éléments reposant sur deux appuis de portée supérieure à 5m :

$$\Delta f_t < \frac{l_x}{1000} + 0,5\text{cm}$$

$$\text{Avec : } \frac{l_x}{1000} + 0,5\text{cm} = 1,12\text{cm}$$

$$\Delta f_t < 1,2\text{cm} : \text{la flèche est vérifiée.}$$

CHAPITRE VII : CALCUL DE LA RESISTANCE AU FEU DES ELEMENTS

Dans la perspective des objectifs de la sécurité incendie qui sont :

- la sauvegarde des vies des occupants de l'immeuble ;
- la protection des vies des services d'intervention ;
- la protection de l'intégrité du bâtiment, et
- la sauvegarde des bâtiments adjacents,

il faut intégrer dans les calculs la notion d'évolution des caractéristiques des matériaux au cours d'un incendie, dont essentiellement celle du béton et celle de l'acier, afin de réduire au maximum les risques. Toutefois, avec la notion de section réduite à chaud, cela revient à appliquer les coefficients d'affaiblissement sur les sections supposées constituées de matériaux conservant leurs dites caractéristiques.

Selon le classement établi compte tenu du temps pendant lequel sont satisfaites la résistance mécanique, l'étanchéité aux flammes et l'isolation thermique, les éléments de la structure sont du type :

- coupe-feu 1 heure (C.F. 1h) pour les logements, et
- coupe-feu 2 heures (C.F. 2h) pour le parc de stationnement.

Les tableaux et abaques relatifs au calcul de la résistance au feu sont fournis dans l'Annexe V.

VII - 1. STABILITE DES VOILES

Les voiles 1 et 2 sont situés au niveau du parking du sous-sol : ils sont de la classe C.F. 2h. Leur justification est conduite dans l'hypothèse que la prise en compte du flambement demeure valable en cas d'incendie.

VII - 1 - 1. Section réduite à chaud

Par définition, la section réduite à chaud est la section capable d'équilibrer avec la résistance à froid l'effort que peut équilibrer à chaud la section réelle.

Pour le cas d'une section de béton, la section réduite vaut :

$$B_{\theta} = \phi_b B$$

Où :

B_{θ} est la section réduite à chaud du béton et B sa section réelle ;

ϕ_b : Coefficient d'affaiblissement du béton, fonction de la température moyenne θ_m (voir Annexe V - 6)

Quant à la section réduite de l'acier, notée A_θ , elle est égale à :

$$A_\theta = \sum \phi_{s_i} A_i$$

Telle que θ_i est la température à laquelle est porté chaque acier A_i . Il y correspond le coefficient d'affaiblissement ϕ_{s_i} (voir Annexe V - 5).

Ainsi, pour un voile C.F. 2h attaqué par le feu sur une seule face (compte tenu de la présence de joint de dilatation sur l'autre), la température moyenne correspondant à une épaisseur du mur de 18cm est $\theta_m = 370^\circ\text{C}$ (voir Annexe V - 4). Il en aboutit un coefficient $\phi_b = 0,812$. Soit avec une section à froid du béton $B = aL = 0,93\text{m}^2$:

$$B_\theta = 0,76\text{m}^2$$

$$a = 0,18\text{m} \quad \text{et} \quad L = 5,18\text{m}$$

Concernant les aciers, les voiles sont armés verticalement de 10HA6 par face situés à une distance axe-parement de 3,5cm. Notons que pour les aciers proches de la face froide, il est admis une température inférieure à 140°C (voir Annexe V - 1).

Tableau 51 : Section réduite des aciers - Voiles

Face	Aciers	$A_i[\text{cm}^2]$	$\theta_i[^\circ\text{C}]$	ϕ_{s_i}	$\phi_{s_i} A_i[\text{cm}^2]$
Chaude	10HA6	2,83	550	0,466	1,32
Froide	10HA6	2,83	<140	1	2,83

$$A_\theta = 4,15\text{cm}^2$$

VII - 1 - 2. Force portante à chaud

Notée N_R , la force portante à chaud est obtenue à partir de la formule suivante :

$$N_R = 1,4\alpha\beta \left[\frac{B_\theta f_{c28}}{1,3} + A_\theta f_e \right]$$

Où α et β sont des coefficients définis comme suit :

$$\alpha = 1 - \frac{10e}{3a} \quad \text{et} \quad \beta = \frac{1}{1 + 2 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2}$$

Avec :

$$e = \max \left(\frac{l_f}{300}; 1\text{cm} \right)$$

a : Epaisseur des voiles

λ : Elancement mécanique

Pour l'application numérique : $\alpha = 0,81$ et $\beta = 0,68$. Ainsi, la force portante des voiles 1 et 2 vaut :

$$N_R = 11,44 \text{ MN}$$

VII - 1 - 3. Vérification de la stabilité

La stabilité des murs est par la suite prouvée si $N_R > N$; la charge N est du type : $N = N_G + N_Q + 0,8N_W$. D'après les valeurs des différentes sollicitations appliquées aux voiles (voir Tableau 39), il résulte :

- pour le voile 1 : $N = 91,64 \text{ t}$
- pour le voile 2 : $N = 62,18 \text{ t}$

Tableau 52 : Vérification de la stabilité au feu des voiles

	$N[\text{MN}]$	$N_R[\text{MN}]$	$N_R > N$
Voile 1	0,92	11,44	oui
Voile 2	0,62	11,44	oui

Ainsi :

$N_R > N$: la stabilité au feu 2h des voiles est assurée.

VII - 2. STABILITE DU POTEAU

Le poteau étudié au préalable, de 30cm sur 50 cm de côtés, est situé au rez-de-chaussée qui est un niveau destiné à l'habitation : il est de ce fait de la classe C.F. 1h. Sa justification est conduite suivant le même procédé que celle des voiles, à quelques différences près.

VII - 2 - 1. Section réduite à chaud

La section réduite du béton B_θ à la température θ_m pour une durée donnée est obtenue par la formule :

$$B_\theta = \phi_b B_r$$

Où :

ϕ_b : Coefficient d'affaiblissement du béton ;

B_r : Section réduite du poteau à la température ambiante en retirant 1cm sur tout le périmètre. Soit : $B_r = 0,134 \text{ m}^2$.

Quant à la section réduite à chaud de l'acier, elle est égale à :

$$A_\theta = \sum \phi_{s_i} A_i$$

Avec :

ϕ_{s_i} : Coefficient d'affaiblissement de l'acier A_i , dont la valeur est fonction de celle de θ_i ;

θ_i : Température à laquelle l'acier est porté. L'Annexe V - 1 rassemble les résultats de calcul de température au milieu de chaque carré de 2cm de côté, sur 20cm de hauteur et sur une demi-largeur (avec axe de symétrie à gauche).

Il a été établi que les poteaux présentant le même coefficient de massivité M (rapport périmètre/surface) sont portés à la même température θ_m pendant une durée donnée. Ainsi, pour une stabilité au feu de 1h, et $M = 0,11m^{-1}$, $\theta_m = 290^\circ C$ (voir Annexe V - 3). Il y correspond un coefficient d'affaiblissement : $\phi_b = 0,937$. D'où :

$$B_\theta = 0,126m^2$$

Concernant les aciers, la largeur à considérer est celle de la petite dimension, c'est-à-dire $b_0 = 30cm$. Les tableaux de résultats vont cependant par pas de 4cm, et la température est à déterminer pour une distance axe-parement : $x = 3,5cm$.

Tableau 53 : Température des aciers - Poteau

θ	$b_0 = 28cm$	$b_0 = 32cm$
$x = 3cm$	615	535
$x = 5cm$	615	535

Ainsi après interpolation : $\theta = 595^\circ$. Par ailleurs :

- pour $\theta = 590^\circ C$: $\phi_s = 0,395$;
- pour $\theta = 600^\circ C$: $\phi_s = 0,371$.

D'où : $\phi_s = 0,383$. Et comme $A = 6,79cm^2$:

$$A_\theta = 2,60cm^2$$

VII - 2 - 2. Force portante à chaud

L'effort normal résistant du poteau soumis à l'incendie est égal à :

$$N_R = \frac{\alpha}{0,85} \left[\frac{B_\theta f_{c28}}{1,17} + A_\theta f_e \right]$$

Tel que : $\alpha = 0,74$. Soit :

$$N_R = 2,46MN$$

VII - 2 - 3. Vérification de la stabilité

La stabilité au feu du poteau pendant une période de 1h est assurée si :

$$N_R > N$$

Où N est l'effort normal de service défini par : $N = N_G + N_Q$ tels que $N_G = 109,19t$ et $N_Q = 25,67t$. Soit : $N = 134,86t = 1,35MN$. Ainsi :

$N < N_R$: la stabilité du poteau au feu 1h est assurée.

VII - 3. STABILITE DE LA POUTRE

La section à froid de la poutre est de 18cm de largeur sur 50cm de hauteur. Elle est à vérifier à la stabilité au feu de 1h puisqu'elle est supposée du type C.F.1h.

VII - 3 - 1. Moment résistant à chaud en travée

VII - 3 - 1 - 1. Section réduite des aciers

Les aciers du lit inférieur et supérieur (aciers en travée) sont respectivement situés à une distance axe-parement (voir Schéma de ferrailage à l'Annexe IX) de :

- $x = 4,5cm$ et $y = 4,5cm$;
- $x = 4,5cm$ et $y = 6cm$.

A ces distances correspondent les températures suivantes, en référence aux valeurs fournies par les tableaux de l'Annexe V - 1 :

Tableau 54 : Température des aciers - Poutre

Aciers inférieurs	y	3cm		5cm		4,5cm
	x	5cm	3cm	5 cm	3 cm	4,5cm
	θ (b = 16cm)	545°	620°	440°	535°	539°
	θ (b = 20cm)	540°	620°	435°	540°	535°
Aciers supérieurs	y	5cm		7cm		6,5cm
	x	5 cm	3 cm	5 cm	3 cm	4,5 cm
	θ (b = 16cm)	440°	535°	365°	480°	534°
	θ (b = 20cm)	435°	540°	360°	480°	538°

Ainsi pour $b = 18cm$, les aciers du lit inférieur sont portés à $\theta = 537^\circ$; ceux du lit supérieur à $\theta = 536^\circ$. Par ailleurs, les coefficients d'affaiblissement relatifs à ces températures sont :

- pour $\theta = 537^\circ \Rightarrow \phi_s = 0,486$
- pour $\theta = 536^\circ \Rightarrow \phi_s = 0,487$

En appliquant la formule permettant d'obtenir la valeur de la section réduite à chaud des aciers $A_\theta = \sum \phi_{s_i} A_i$:

Tableau 55 : Section réduite des aciers - Poutre

Armature		A	θ	ϕ_s	A_θ
Sans éclatement	2HA16	4,02cm ²	537°	0,486	1,95cm ²
	2HA16	4,02cm ²	536°	0,487	1,96cm ²
Avec éclatement	1HA16	2,01cm ²	537°	0,486	0,98cm ²
	2HA16	4,02cm ²	536°	0,487	1,96cm ²

En effet, la considération du phénomène d'éclatement consiste à éliminer l'acier qui équilibre l'effort le plus grand. Soient alors les valeurs de la section réduite des aciers :

- sans éclatement : $A_\theta = 3,91\text{cm}^2$
- avec éclatement : $A_\theta = 2,93\text{cm}^2$

VII - 3 - 1 - 2. Moment résistant

Le moment résistant à chaud en travée est le moment :

$$M_{Rt} = \mu b d^2 \frac{f_{c90}}{1,3}$$

Avec :

μ : Moment réduit, tel que :

$$\mu = \frac{kp}{1 + 0,6kp}$$

p : Pourcentage mécanique qui, pour un acier HA du type 2 est donné par la formule :

$$p = \frac{1,3A_\theta f_e}{b d f_{c90}}$$

k : Coefficient pris égal à 1,10 si $p < 0,19$. Sinon $k = 1,2 - 0,55p$;

b = 0,18m : Largeur de la poutre ;

d : Hauteur utile. Elle vaut 0,42m ;

$f_{c90} = 1,1f_{c28}$: Résistance du béton à 90 jours. Soit $f_{c90} = 27,50\text{MPa}$.

Tableau 56 : Moment résistant en travée

Cas	$A_\theta[\text{cm}^2]$	p	k	μ	$M_{Rt}[\text{MNm}]$
Sans éclatement	3,91	0,12	1,10	0,12	0,084
Avec éclatement	2,93	0,09	1,10	0,10	0,064

Les résultats du calcul du moment résistant en travée sont donc :

- sans éclatement : $M_{Rt} = 0,084\text{MNm}$
- avec éclatement : $M_{Rt} = 0,064\text{MNm}$

VII - 3 - 2. Moment résistant à chaud sur appui

En désignant par N_{bc} l'effort équilibré à froid, et par z son bras de levier, le moment résistant à chaud sur appui est donné par la relation :

$$M_R = N_{bc}z$$

Tels que :

$N_{bc} = Af_{ed}$, où A est la section d'armatures (à froid) sur appui. Pour l'appui est (B), elle vaut $2HA20 + 2HA16 = 10,30\text{cm}^2$. Par contre, pour l'appui ouest (A), c'est la section permettant d'équilibrer le moment $M_W = 0,15M_0$.

$M_0 = 12,19\text{tm}$: Moment en travée. C'est-à-dire que $M_W = 1,83\text{tm}$. Soit $A = 1,02\text{cm}^2$ où il convient d'adopter $2HA10 = 1,57\text{cm}^2$.

$z = d - c$. Où c est la position du centre de gravité de l'aire de béton comprimé B. Sa valeur ainsi que de celle de la hauteur de la section x sont fournies dans le tableau de l'Annexe V - 11 en fonction de B :

$$B = \frac{1,3N_{bc}}{f_{c90}}$$

Pour :

- $A = 10,30\text{cm}^2 \Rightarrow N_{bc} = 0,45\text{MN} \Rightarrow B = 211,79\text{cm}^2$
- $A = 1,57\text{cm}^2 \Rightarrow N_{bc} = 0,07\text{MN} \Rightarrow B = 23,29\text{cm}^2$

Tableau 57 : Caractéristiques de l'aire de béton comprimé

Appui est	b	16cm		20cm		18cm
	B	207cm ²	220cm ²	211cm ²	228cm ²	<u>211,79cm²</u>
	c	10,50cm	11,10cm	8,40cm	8,90cm	<u>9,57cm</u>
	x	19cm	20cm	15cm	16cm	<u>17,21cm</u>
Appui ouest	b	16cm		20cm		18cm
	B	19cm ²	27cm ²	15cm ²	25cm ²	<u>32,29cm²</u>
	c	1,6cm	2,2cm	1,1cm	1,6cm	<u>2,2cm</u>
	x	3cm	4cm	2cm	3cm	<u>4,07cm</u>

D'où :

- $M_{RE} = 0,145\text{MNm}$: moment résistant sur l'appui est ;
- $M_{RW} = 0,027\text{MNm}$: moment résistant sur l'appui ouest.

VII - 3 - 3. Vérification de la stabilité

La stabilité au feu de la poutre est assurée si le moment résistant total à chaud est au moins égal au moment sollicitant, selon l'écriture :

$$M_R \geq M_0$$

Où :

M_R : Moment résistant total à chaud, tel que :

$$M_R = M_{Rt} + \frac{M_{RE} + M_{RW}}{2}$$

M_0 : Moment sollicitant maximal évalué dans la travée isostatique de référence à partir des combinaisons suivantes :

- $p = g + q$ sans prise en compte du risque d'éclatement, et
- $p = g - 0,05g_2 + 0,8q$ dans le cas où le risque d'éclatement est envisagé.

$$M_0 = \frac{pl^2}{8}$$

g_2 est l'effort normal dû au poids propre du béton constitutif du plancher :

Tableau 58 : Poids du béton constitutif - Travée 1

	l_x [m]	l_y [m]	α	g_0 [t/m ²]	g [t/m]
Travée 1	6,10	6,16	0,99	0,45	0,92
	6,16	6,68	-	0,45	0,92

$$g_2 = 1,85t$$

Ainsi, avec :

$$g = 2,20t/m \text{ et } q = 0,62t/m ;$$

$$M_{RE} = 14,53tm \text{ et } M_{RW} = 2,753tm$$

Tableau 59 : Vérification de la stabilité - Poutre

Cas	M_{Rt} [tm]	M_R [tm]	p [t/m]	M_0 [tm]	$M_R > M_0$
Sans éclatement	8,36	16,99	2,82	13,36	oui
Avec éclatement	6,39	15,02	2,60	12,34	oui

Dans les deux cas :

$M_R > M_0$: la stabilité de la poutre au feu 1h est assurée.

VII - 3 - 4. Vérification à l'effort tranchant

L'effort tranchant maximal à chaud de la poutre est égale à :

$$V_\theta = V_0 + \frac{M_{RE} + M_{RW}}{l}$$

Avec : $V_0 = pl/2$, soit : $V_\theta = 10,59t$. D'où la contrainte tangente τ_θ qui doit être inférieure à $0,2f_{c90\theta} = 0,2\phi_b f_{c90}$:

$$\tau_\theta = \frac{V_\theta}{bd}$$

$$\tau_\theta = \frac{10,59 \cdot 10^{-2}}{0,28 \times 0,42} = 1,40 \text{MPa}$$

ϕ_b est le coefficient d'affaiblissement du béton, fonction de la température au point A qui est situé à $x = b/4$ et $y = a/2$

Tableau 60 : Température des aciers au point A - Poutre

y	13cm		15cm		13,5cm
x	5cm	3cm	5 cm	3 cm	4,5cm
θ (b = 16cm)	285°	415°	280°	410°	317°
θ (b = 20cm)	270°	410°	260°	405°	267°

a : Hauteur de l'âme, $a = h - 0,18 = 0,45 - 0,18 = 0,27m$.

$$\theta = 292^\circ$$

Par interpolation des valeurs ci-dessous :

$$- \theta = 290^\circ \Rightarrow \phi_b = 0,937$$

$$- \theta = 300^\circ \Rightarrow \phi_b = 0,922$$

$$\phi_b = 0,934$$

En effet, $\tau_\theta < 5,14 \text{MPa}$.

Entre autres justifications, il faut que l'effort tranchant F_θ équilibré par la section à chaud vérifie :

$$F_\theta \geq F \frac{V_\theta}{1,5V_u}$$

Avec :

$V_u = 1,1pl/2$: Effort tranchant à froid ;

$F = Af_{ed}$: Effort équilibré à froid par les aciers transversaux ;

$F_\theta = A_\theta f_e$. Où A_θ est la section réduite des armatures une fois portée à la température :

Tableau 61 : Température des aciers transversaux - Poutre

y	13cm		15cm		13,5cm
x	5cm	3cm	5 cm	3 cm	3,5cm
θ (b = 16cm)	285°	415°	280°	410°	375°
θ (b = 20cm)	270°	410°	260°	405°	369°

$$\theta = 366^\circ$$

Pour :

$$- \theta = 360^\circ \Rightarrow \phi_s = 0,756$$

$$- \theta = 370^\circ \Rightarrow \phi_s = 0,741$$

$$\phi_s = 0,762$$

Ainsi : $A_\theta = 0,762 \times 1,01 = 0,77 \text{ cm}^2$. D'où : $F_\theta = 0,038 \text{ MNm}$ et $F = 0,044 \text{ MNm}$.

$$0,038 \text{ MNm} \geq F \frac{V_\theta}{1,5V_u} = 0,044 \times \frac{10,59}{1,5 \times 13,20} = 0,0234 \text{ MN}$$

C'est-à-dire que :

$$F_\theta \geq F \frac{V_\theta}{1,5V_u} : \text{la vérification à l'effort tranchant est assurée.}$$

VII - 4. STABILITE DE LA DALLE

Le calcul de la stabilité de la dalle est à établir pour le type S.F. 1h. A cet effet, il sera utilisé la méthode générale qui consiste en deux principales étapes justificatives :

VII - 4 - 1. Moment résistant à chaud sur appuis

VII - 4 - 1 - 1. Rotation des rotules plastiques

Le moment sollicitant sur un appui intermédiaire s'écrit :

$$M = M_a + M_\theta - M_\Omega$$

Où :

M_a : Moment dû aux charges verticales d'expression (« g » pour gauche et « d » pour droite) :

$$M_a = \frac{k_{1g} p_g l'_g{}^3 + k_{1d} p_d l'_d{}^3}{k_{2g} l'_g + k_{2d} l'_d}$$

k_1 et k_2 : Coefficients fonction des rapports de portées α . Leurs valeurs sont fournies dans l'Annexe V - 8 selon qu'il s'agit d'un grand ou d'un petit côté du panneau.

p : Charge appliquée sur les panneaux :

$$p = \frac{2}{3}g + q$$

Avec $g = 0,59\text{t/m}^2$ et $q = 0,15\text{t/m}^2$. Soit $p = 0,54\text{t/m}^2$

l' : Portée réduite définie ci-dessous, dont la valeur du coefficient X est lue dans le tableau de l'Annexe V - 10 en fonction de α :

$$l' = Xl_x$$

M_θ : Moment dû au gradient de température $\Delta\theta$, tel que :

$$M_\theta = \frac{\alpha_b \Delta\theta (l'_g + l'_d) Ei}{2h(k_{2g} l'_g + k_{2d} l'_d)}$$

α_b : Coefficient de dilatation du béton, $\alpha_b = 10^{-5}$

h : Epaisseur de la dalle (= 18cm)

$\Delta\theta$: Gradient de température en $^\circ\text{C}$ (voir tableau de l'Annexe V - 9). Soit $\Delta\theta = 439^\circ$ pour $h = 18\text{cm}$ et S.F. 1h

E : Module d'élasticité à froid du béton pris égal à :

$$E = 11000 \sqrt[3]{f_{c90}} = 33\,202\text{MPa}$$

i : Inertie d'une bande de dalle de largeur unité et de hauteur réduite h' . D'après l'Annexe V - 7, $h' = 13,4\text{cm}$ pour $h = 18\text{cm}$ et S.F. 1h. Ainsi :

$$i = \frac{h'^3}{12} = 20\,051\text{cm}^4$$

M_Ω : Moment libéré par la rotation Ω de la rotule plastique

$$M_\Omega = k\Omega$$

Avec :

$$k = \frac{Ei}{k_{2g} l'_g + k_{2d} l'_d}$$

La rotation de la rotule peut par la suite être évaluée en écrivant que le moment sollicitant est égal au moment résistant :

$$M = M_{Ra} \Rightarrow \Omega = \frac{M_a + M_\theta - M_{Ra}}{k}$$

En effet, M_R est le moment résistant sur l'appui considéré. Il a pour expression :

$$M_{Ra} = N_s z$$

Où :

$N_s = A\sigma_s$. A est la section d'armatures au droit de l'appui (chapeau), et σ_s est pris égal à $f_e = 500\text{MPa}$.

$A = 1,51\text{cm}^2$. D'où $N_s = 0,075\text{MN}$

$z = d - c$. Pour une distance utile $u = 3,4\text{cm}$: $d = h - u = 14,6\text{cm}$. Quant à la distance c , elle vaut $c = \mu b$. Tels que : $a = 0,027t$; $b = 0,85e^{-0,073t}$ et $\mu = \frac{1,3N_s 10^4}{f_{c90}}$.

Pour $t = 1\text{h}$: $a = 0,027$; $b = 0,790$ et $\mu = 35,64\text{cm}^2$. Soit $c = 0,45\text{cm}$ et $z = 14,15\text{cm}$. D'où

$$M_R = 0,011\text{MNm}$$

Tableau 62 : Rotations des rotules plastiques

Panneau considéré	Suivant le petit côté l_x				Suivant le grand côté l_y			
	Ouest		Est		Nord		Sud	
	Gauche	Droite	Gauche	Droite	Gauche	Droite	Gauche	Droite
$l_x[\text{m}]$	6,10	6,16	6,16	6,16	1,58	6,16	6,16	1,82
$l_y[\text{m}]$	6,16	6,68	6,68	7,83	6,68	6,68	6,68	6,68
α	0,99	0,92	0,92	0,79	0,24	0,92	0,92	0,27
k_1	0,0136	0,0147	0,0147	0,0166	0,0417	0,0158	0,0158	0,0417
k_2	0,238	0,258	0,258	0,296	0,333	0,235	0,235	0,333
X	0,916	0,909	0,909	0,893	0,800	0,909	0,909	0,800
$l'[\text{m}]$	5,59	5,60	5,60	5,50	1,26	5,60	5,60	1,46
$M_a[\text{tm}]$	0,97		0,94		0,89		0,88	
$M_\theta[\text{tm}]$	32,73		29,33		32,08		31,81	
$M_{Ra}[\text{tm}]$	1,07		1,07		1,07		1,07	
$k[\text{tm/rad}]$	239,95		216,65		383,32		369,71	
$\Omega[\text{rad}]$	0,14		0,13		0,08		0,09	

VII - 4 - 1 - 2. Moment résistant sur appuis

A partir des valeurs des rotations des rotules plastiques, il est dès lors possible d'évaluer les moments résistants mobilisés sur chaque appui. En effet, si :

- $\Omega < \Omega_R$: l'acier ne casse pas ; c'est-à-dire que le moment résistant calculé est bien mobilisé
- $\Omega \geq \Omega_R$: l'acier casse ; par conséquent, le moment mobilisé sur appui est nul.

Ω_R est l'allongement de rupture de l'acier, au-delà duquel il casse. Pour les aciers HA en barres, il est pris égal à 0,10rad.

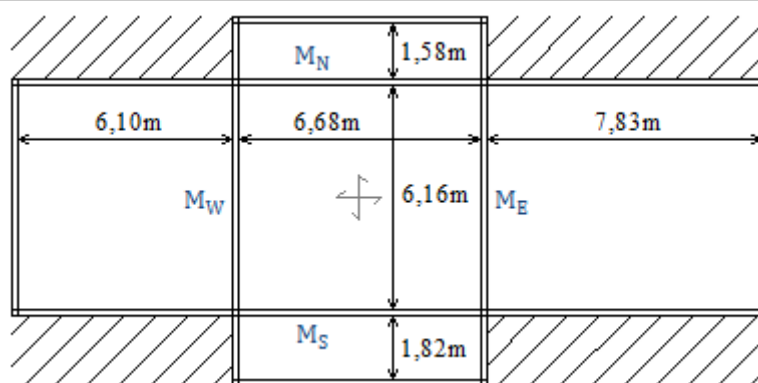


Figure 35 : Panneaux de la dalle continue

En désignant par Ω_i la rotation correspondant à l'appui i et M_i le moment résistant ainsi mobilisé ($i = W$: ouest ; E : est ; N : nord ; S : sud) :

- $\Omega_W = 0,14\text{rad} > \Omega_R \Rightarrow M_W = 0$;
- $\Omega_E = 0,13\text{rad} > \Omega_R \Rightarrow M_E = 0$;
- $\Omega_N = 0,08\text{rad} < \Omega_R \Rightarrow M_N = 1,07\text{tm}$;
- $\Omega_S = 0,09\text{rad} < \Omega_R \Rightarrow M_S = 1,07\text{tm}$.

VII - 4 - 2. Moment résistant à chaud en travée

Le calcul du moment résistant à chaud en travée d'une dalle est analogue à celui de la poutre, à effectuer pour les deux sens : suivant la petite portée et suivant la grande portée.

Tableau 63 : Calcul des moments résistants en travée

	Formule	Suivant l_x	Suivant l_y
Distance utile	u [cm]	3,4	4,2
Hauteur utile	$d = h - u$ [cm]	14,6	13,8
Section à froid des aciers	A [cm ²]	2,51	2,01
Température des aciers	θ [°]	368	297
Coefficient d'affaiblissement	ϕ_s	0,744	0,852
Section réduite des aciers	$A_\theta = \phi_s A$ [cm ²]	1,87	1,71
Pourcentage mécanique	$p = \frac{1,3A_\theta f_{c90}}{bdf_{c90}}$	0,03	0,03
Moment réduit	$\mu = \frac{kp}{1 + 0,6kp}$	0,03	0,03
Moment résistant en travée	$M_{Rt} = \mu b d^2 \frac{f_{c90}}{1,3}$ [tm]	1,47	1,28

$$M_x = 1,47\text{tm} \quad \text{et} \quad M_y = 1,28\text{tm}$$

VII - 4 - 3. Vérification de la stabilité

La stabilité au feu de la dalle pendant une durée de 1h est assurée si la charge admissible \bar{p} vérifie la relation :

$$\bar{p} > g + q$$

La charge admissible étant définie par l'expression ci-dessous :

$$\bar{p} = \frac{24m_x}{l_x^2} \times \frac{1 + \frac{\alpha\varphi}{\lambda}}{3 - \alpha\lambda}$$

Avec :

$$m_x = M_x + \frac{M_N + M_S}{2} \quad \text{et} \quad m_y = M_y + \frac{M_W + M_E}{2}$$

$$m_x = 2,54\text{tm} \quad \text{et} \quad m_y = 1,28\text{tm}$$

$$\alpha = \frac{l_x}{l_y} ; \quad \varphi = \frac{m_y}{m_x} \quad \text{et} \quad \lambda = -\alpha\varphi + \sqrt{\alpha^2\varphi^2 + 3\varphi}$$

$$\alpha = 0,92 ; \quad \varphi = 0,50 \quad \text{et} \quad \lambda = 0,88$$

D'où :

$$\bar{p} = 1,12\text{t/m}^2$$

Comme $g = 0,59\text{t/m}^2$ et $q = 0,15\text{t/m}^2$: $g + q = 0,74\text{t/m}^2$. D'où :

$\bar{p} > g + q$: la stabilité de la dalle au feu 1h est assurée.

CHAPITRE VIII : ELEMENTS DU SECOND ŒUVRE

VIII - 1. ACHEMINEMENT DE L'EAU

VIII - 1 - 1. Réseau d'alimentation

Pour une meilleure installation sanitaire, il est primordial de dimensionner les canalisations nécessaires à l'approvisionnement en eau de chaque logement à partir des besoins en appareillage. A cet effet, on en distingue trois types :

- la canalisation principale, qui correspond au réseau souterrain acheminant l'eau, de la prise d'eau jusqu'à chaque bâtiment. Elle relève de la société de distribution (JIRAMA) ;
- la canalisation primaire, qui part de la canalisation principale pour desservir chaque niveau d'un bâtiment donné;
- la canalisation secondaire, qui part de la canalisation primaire pour desservir chaque appareil.

L'étude ne traitera que des canalisations primaire et secondaire. Elle consiste à déterminer les diamètres de chaque tuyauterie suivant différents paramètres variables d'une installation à une autre (pression au sol, les débits des appareils, ...), dans la perspective de garantir les bonnes conditions de distribution de l'eau.

Les tuyaux à adopter pour le réseau de distribution d'eau potable seront en PVC. Cela étant car ils sont plus accessibles sur le plan coût. De plus, le choix a surtout été influencé par les qualités du matériau, à savoir : la légèreté, la facilité de mise en œuvre, ainsi que la résistance à la corrosion et à l'abrasion.

VIII - 1 - 1 - 1. Canalisation primaire

Les diamètres des tuyaux de la canalisation primaire sont évalués à partir du débit de pointe probable Q_p . C'est un débit qui permet de tenir en compte le nombre d'appareils susceptibles de fonctionner simultanément, pour des raisons économiques. Il vaut :

$$Q_p = kQ_b$$

Q_b : Débit de base défini dans l'Annexe VI - 1

k : Coefficient de simultanéité

$$k = \frac{1}{\sqrt{x - 1}}$$

Où x correspond au nombre d'appareils installés.

Le tableau ci-après regroupe les diamètres intérieurs minimums des tuyaux de la canalisation primaire. Ils ont été estimés à partir de l'abaque de Diarès (voir Annexe VI - 3), en partant de l'hypothèse où la vitesse de l'eau est prise égale à 1,5m/s.

Tableau 64 : Diamètres des tuyaux de la canalisation primaire

Etage	Appareils	Quantité	Débit Q_b [l/s]		Total		Coeff. k	Débit Q_p [l/s]	Φ [mm]
			Unitaire	Cumulé	Quantité	Débit Q_b [l/s]			
R+5	Evier	1	0,20	0,20	21	5,27	0,18	0,94	29
	Vasque	3	0,20	0,60					
	Baignoire	11	0,33	3,63					
	Douche	1	0,20	0,20					
	WC	2	0,12	0,24					
	Lave-mains	1	0,10	0,10					
	Linge	1	0,20	0,20					
	Vaisselle	1	0,10	0,10					
R+4	Evier	4	0,20	0,80	37	6,59	0,13	0,88	28
	Vasque	9	0,20	1,80					
	Baignoire	3	0,33	0,99					
	Douche	4	0,20	0,80					
	WC	5	0,12	0,60					
	Lave-mains	4	0,10	0,40					
	Linge	4	0,20	0,80					
	Vaisselle	4	0,10	0,40					
R+3 R+2 R+1 RDC	Evier	8	0,20	1,60	70	12,25	0,10	1,18	31
	Vasque	15	0,20	3,00					
	Baignoire	5	0,33	1,65					
	Douche	8	0,20	1,60					
	WC	10	0,12	1,20					
	Lave-mains	8	0,10	0,80					
	Linge	8	0,20	1,60					
	Vaisselle	8	0,10	0,80					
R-1	Douchette	1	0,20	0,20	3	0,42	0,57	0,24	14
	WC	1	0,12	0,12					
	Lave-mains	1	0,10	0,10					

VIII - 1 - 1 - 2. Canalisation secondaire

Etant donné que la canalisation secondaire assure l'alimentation en eau de chaque appareil, le dimensionnement est directement effectué à partir du débit de base Q_b . Pour un

écoulement de l'eau à une vitesse de 1,5m/s, les valeurs minimums des diamètres intérieurs des canalisations secondaires d'après l'abaque sont :

Tableau 65 : Diamètres des tuyaux de la canalisation secondaire

Appareils	Débit Q_b [l/s]	Φ [mm]
Evier	0,20	13
Vasque	0,20	13
Baignoire	0,33	17
Douche	0,20	13
WC	0,12	10
Lave-mains	0,10	10
Linge	0,20	13
Vaisselle	0,10	10

VIII - 1 - 2. Réseau d'évacuation

Il s'agit des canalisations verticales et horizontales qui permettent de collecter les eaux usées ou pluviales des logements de l'immeuble. Elles sont dimensionnées de façon à permettre l'évacuation rapide et sans stagnation de chaque catégorie d'eau. Le choix de matériau étant porté sur le PVC pour les mêmes raisons que pour l'alimentation en eau.

VIII - 1 - 2 - 1. Eaux usées

Les eaux usées (EU) sont formées par les eaux ménagères provenant de la cuisine, de la salle de bains, ainsi que des machines à laver, et les eaux vannes (EV) qui proviennent des WC. Leur réseau d'évacuation est principalement constitué de :

a. Siphons

Ce sont des dispositifs de la forme d'un tuyau coudé ou d'une bouteille et qui empêchent les odeurs de remonter vers l'orifice d'évacuation. Soit une prévention contre les mauvaises odeurs.

b. Collecteurs d'appareils

Ce sont des canalisations d'allure horizontale raccordant les appareils aux tuyaux de chute. Les diamètres minimaux de ces éléments sont fournis dans l'Annexe VI - 4. Soient pour les appareils ci-dessous :

Tableau 66 : Diamètres des collecteurs d'appareils

Appareils	Φ [mm]
Evier	33
Vasque	33
Baignoire	38
Douche	33
WC	80
Lave-mains	30
Linge	33
Vaisselle	33

c. Chutes

Ce sont les canalisations verticales du réseau. Leur diamètre est fonction du nombre des appareils desservis.

Tableau 67 : Diamètre intérieur des tuyaux de chutes d'eaux usées

Appareil	Nombre total d'appareils	Diamètre [mm]
WC	1 ou plusieurs	90
Baignoire, Evier, Lavabo, Douche, Urinoir, Bidet, Lave-mains, Machines à laver	1 à 3 appareils autres que baignoire ou 1 baignoire au plus	50
	4 à 10 appareils incluant 2 baignoires au plus	65
	11 appareils et au-delà	90

Source : DTU 60.11

Comme le nombre d'appareils par niveau est supérieur à 11, il convient d'adopter des tuyaux de chutes de diamètre minimum égal à 90mm.

d. Collecteur principal

Il recueille les différentes chutes et tuyaux pour évacuer les eaux collectées vers le système d'assainissement. Pour le dimensionnement, le calcul du débit probable est analogue à celui de la canalisation primaire. La valeur ainsi obtenue est par la suite à rapporter dans le tableau de l'Annexe VI - 6 pour en déduire le diamètre correspondant, en fonction de la pente adoptée. Les débits de base étant fournis dans l'Annexe VI - 5.

Tableau 68 : Débit probable d'évacuation

Appareils	Quantité	Débit Q_b [l/s]		Total		Coeff. k	Débit Q_p [l/s]
		Unitaire	Cumulé	Quantité	Débit Q_b [l/s]		
Evier	37	0,75	27,75	341	271,40	0,04	11,77
Vasque	72	0,75	54,00				
Baignoire	34	1,20	40,80				
Douche	38	0,50	19				
WC	48	1,50	72,00				
Lave-mains	38	0,50	19,00				
Linge	37	0,65	24,05				
Vaisselle	37	0,40	14,80				

Ainsi, avec une pente du tuyau de 2cm/m, le diamètre minimum du collecteur principal vaut 153mm.

VIII - 1 - 2 - 2. Eaux pluviales

Lors de leur processus d'évacuation, les eaux de pluie sont recueillies par des gouttières disposées à la base des pentes de la toiture, puis acheminées vers le réseau de collecte au moyen de tuyaux de descente. A cet effet, le dimensionnement de ces dispositifs dépend de la quantité d'eau à évacuer, et par conséquent de la surface de toiture desservie.

Le calcul de la section des gouttières doit tenir compte de sa pente, en sus de la surface de toiture desservie. Une pente de 5mm/m permet d'assurer une conduite plus fluide des eaux, sans stagnation, vers les tuyaux de descente. En adoptant cette valeur, et en considérant la plus grande portion de toiture de l'immeuble qui est d'une section d'environ 310m², les gouttières devraient avoir une section de 250cm² par interpolation des valeurs indiquées dans l'Annexe VI - 7.

La valeur précédemment obtenue correspond à des conduits de section demi-circulaire. Pour ceux à section trapézoïdale comme dans le cas du présent projet, elle est à majorer de 10%. Soit 275cm².

Quant aux descentes d'eau, les diamètres des tuyaux sont déterminés d'après les indications du tableau ci-dessous, valable pour les terrasses et toitures comportant un revêtement d'étanchéité.

Tableau 69 : Diamètre intérieur des descentes d'eau pluviale

Diamètre [cm]	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Surface desservie [m ²]	71	91	113	136	161	190	220	253	287

Source : DTU 60.11

Ainsi, en considérant la même surface de toiture que pour le calcul des gouttières, c'est-à-dire 310m², et en fixant le diamètre des tuyaux à 12cm, l'évacuation nécessiterait 2 unités en terme de tuyau de descente d'eau de pluie.

VIII - 1 - 3. Réseau d'assainissement

Un système d'assainissement permet de traiter les eaux usées en provenance des logements de manière à rejeter une eau assainie, dépolluée mais non potable pour autant.

Les installations relatives à l'assainissement des eaux usées sont séparées de celles des eaux de pluie. En effet, le débit des eaux pluviales est très variable que cela pourrait provoquer le dysfonctionnement d'un réseau unitaire. Ainsi, les eaux de pluie sont alors évacuées directement dans les égouts.

Quant aux eaux usées, regroupant eaux ménagères et eaux vannes, elles sont traitées dans une fosse « toutes eaux » (fosse septique) permettant de décarter les particules solides et les graisses, avant de rejoindre les égouts. Elle est composée de deux dispositifs correspondant à deux phases d'épuration distinctes :

- la fosse proprement dite, où a lieu la fermentation septique, et
- l'épurateur, appelé aussi nitrificateur.

La capacité de la fosse est évaluée en fonction du nombre d'usagers, le volume exigé par personne étant de 250l. Soit V_f le volume total de la fosse, correspondant à n personnes ; il est compartimenté en deux parties destinées à la chute et à la décantation dont les volumes respectifs notés V_1 et V_2 valent $2/3V_f$ et $1/3V_f$.

Si l'on se base sur le principe régissant les systèmes d'épuration individuelle :

1 équivalent habitant = 1pièce principale

Cela revient à dire que l'équivalent habitant de chaque logement est égal au type de l'appartement, d'où le tableau suivant :

Tableau 70 : Calcul du nombre d'occupants

Appartements		Equivalent habitant	
Type	Quantité	Unitaire	Cumulé
T2	12	2	24
T3	15	3	45
T4	10	4	40
Equivalent habitant total			109

Toutefois, pour des raisons de sécurité, il est préférable de majorer ce nombre lors du calcul. Soit en supposant que l'immeuble compte un maximum de 120 occupants :

$$V_f = 120 \times 250 = 30\,000\text{l}$$

$$V_f = 30\text{m}^3$$

D'où :

$$V_1 = 20\text{m}^3 \text{ et } V_2 = 10\text{m}^3$$

La profondeur de la fosse sera de 2m étant donné que le minimum recommandée est de 1m.

Concernant l'épurateur, sa surface en plan est donnée par la relation :

$$S_e = \frac{n}{10h^2}$$

La profondeur h de l'épurateur sera prise identique à celle de la fosse, c'est-à-dire : h = 2m.

D'où : $S_e = 3\text{m}^2$, ce qui équivaut à :

$$V_e = 6\text{m}^3$$

Tableau 71 : Caractéristiques de la fosse

Compartiment	Volume [m ³]	Surface [m ²]	Profondeur [m]
Chute	20	10	2
Décantation	10	5	2
Epuration	6	3	2

La fosse septique doit être équipée de regards de 60cm × 60cm permettant le contrôle et la vidange de ses différents compartiments. Par ailleurs, il est aussi nécessaire pour l'entretien du réseau d'évacuation et les débouchages éventuels, de placer des regards de 40cm × 40cm à 60cm × 60cm :

- à une distance régulière de 12m au maximum,
- aux extrémités en amont des canalisations, et
- à chaque changement de direction.

Il est à noter que les sections fournies ci-dessus correspondent aux sections intérieures.

VIII - 2. EQUIPEMENTS ELECTRIQUES

VIII - 2 - 1. Structure de l'installation

VIII - 2 - 1 - 1. Eléments constitutifs

L'installation électrique demeure un élément essentiel au fonctionnement de l'habitation. Elle est constituée de divers éléments consistant à contrôler, transmettre, commander et convertir l'énergie électrique pour qu'elle puisse alimenter les appareils. En partant du point de raccordement au réseau de distribution de la JIRAMA, les éléments de l'installation électrique domestique du projet sont essentiellement :

- la mise à la terre, qui permet de dévier le courant en cas de défaut d'un équipement ;
- le compteur électrique, qui comptabilise la consommation électrique ;
- le tableau électrique, qui gère les différents systèmes composant l'installation ;
- les interrupteurs différentiels, qui coupent le courant lorsqu'une perte de courant se produit ;
- les disjoncteurs et fusibles, qui permettent d'éteindre les systèmes électriques ou de couper les circuits défectueux ;
- les interrupteurs, qui permettent de fermer et d'ouvrir les circuits électriques, et
- les prises électriques, qui permettent de relier les appareils domestiques au réseau

VIII - 2 - 1 - 2. Dispositifs de protection

Les dispositifs de protection à mettre en œuvre pour assurer la sécurité au niveau d'une installation électrique peuvent être répartis en trois catégories selon l'objet de la protection :

- les dispositifs de protection de la personne. Il s'agit de la mise à la terre des appareils ; le but étant d'écouler les courants de défaut vers la terre plutôt qu'à travers la personne en contact avec l'appareil défectueux. Pour toute construction dont la profondeur des fondations atteint au moins 60cm, la prise de terre comporte une boucle de terre constituée d'un conducteur en cuivre, de 35mm² de section circulaire, et disposée à environ 5cm du fond de fouille.
- les dispositifs de protection du bâtiment. A ce titre, le paratonnerre est un dispositif de protection extérieure contre les coups directs de la foudre. Il consiste en une pointe placée sur le point le plus élevé de la construction afin de capter l'énergie de la foudre et de la conduire directement à la terre à l'aide de fils conducteurs, permettant ainsi d'éviter incendies et dégradations de la structure du bâtiment.
- les dispositifs de protection des circuits : les disjoncteurs et les fusibles qui permettent d'éviter une détérioration irréversible de l'installation électrique lors d'une surintensité. Ces

éléments se différencient au niveau de leur mécanisme, bien qu'ils concourent au même but. En effet, les fusibles ne sont pas réarmables comme les disjoncteurs. Toutefois, il importe de bien choisir leur calibre selon la section des conducteurs comme indiqué ci-dessous.

Tableau 72 : Intensité nominales des fusibles et disjoncteurs

Utilisation	Section [mm ²]	Intensité nominale [A]	
		Fusible	Disjoncteur
Commande, Contrôle, Signalisation	0,5	2	4
Eclairage	1,5	10	16
Prise, Circuit mixte (éclairage et prises)	2,5	16	20
Cuisinière, Lessiveuse... triphasé	4	20	25
Cuisinière, Lessiveuse... monophasé	6	32	40

Source : Installations électriques domestiques 2013

VIII - 2 - 2. Projet d'éclairage

Le projet consiste à déterminer le nombre, le type et la disposition des luminaires nécessaires pour réaliser un éclairage convenable d'un local donné en partant de ses caractéristiques.

VIII - 2 - 2 - 1. Choix de l'éclairage

Le choix de l'éclairage dépend de plusieurs paramètres variant d'un local à un autre, dont :

- la destination du local ;
- les dimensions (longueur, largeur et hauteur), et
- la couleur des murs et du plafond ;

a. Le niveau d'éclairement

C'est un facteur très important du confort visuel. En effet, un niveau minimum est requis pour pouvoir effectuer correctement une certaine tâche. Pour les applications domestiques, rien n'est imposé, tout dépend des besoins et préférences. Toutefois, le tableau ci-après regroupe des valeurs de l'éclairement moyen en fonction de la nature des locaux et des activités, à titre indicatif.

Tableau 73 : Eclairage moyen recommandé

Local	Activités	Eclairage moyen [lux]
Hall d'entrée, Couloirs	Hall d'entrée	100
	Couloir et circulation	50 – 100
	Escalier	100
Sanitaires	Eclairage ambiant	200
	Eclairage du miroir et du lavabo	300-50
	Toilette	100
Cuisine	Eclairage ambiant	200 – 300
	Eclairage du plan de travail	300 – 500
Living – Salon	Zone de repos (fauteuil, ...)	50 – 200
	Zone de lecture	300
Salle à manger	Eclairage général	100
	Eclairage de la table	100 – 300
Chambre	Eclairage général	100 – 200
	Zone de lecture (tête de lit)	300
Débaras, Buanderie, Cave, Garage, ...	Eclairage général	50 – 100
	Zone de travail (repassage, bricolage, ...)	300

Source : Guide pratique et technique de l'éclairage résidentiel

b. Caractéristiques du local

Chaque local est caractérisé par deux rapports de dimensions : l'indice du local et le facteur de suspension. Pour un choix de système d'éclairage direct, l'indice du local est la valeur arrondie au nombre 0,6 - 0,8 - 1 - 1,25 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 - 4 ou 5 du résultat donné par la relation :

$$K = \frac{a \times b}{h(a + b)}$$

Avec :

a : Largeur du local ;

b : Longueur du local ;

h : Hauteur du luminaire au-dessus du plan utile qui est supposé situé à 0,85m du sol. Soit h = 1,61 pour le sous-sol, et h = 1,85 pour les étages courants.

Quant au rapport de suspension, il vaut :

$$J = \frac{h'}{h + h'}$$

Où h' est la hauteur de suspension du luminaire. Par convention, J est pris égal à 0 ou 1/3

c. Facteur de réflexion

La lumière émise est réfléchiée en partie sur les parois du local éclairé. Selon la nature des surfaces, les coefficients de réflexion peuvent prendre les valeurs suivantes exprimées en pourcentage :

Tableau 74 : Facteurs de réflexion des murs et plafonds

Peintures	%	Matériaux	%
Blanc	75	Plâtre	85
Crème	70	Pierre de taille	50
Jaune	50	Ciment	40
Vert clair	45	Brique rouge	20
Gris (20% de noir)	35	Bois (érable)	40
Rouge	25	Bois (chêne)	20
Vert foncé	20	Bois (acajou)	10

Source : EDF

Ne connaissant pas la couleur exacte des parois, il est préférable de considérer une teinte du type moyen, caractérisé par des facteurs de réflexion du plafond et des murs de respectivement 70% et 50%.

VIII - 2 - 2 - 2. Dimensionnement de l'installation

Le principe du calcul est de déterminer le flux lumineux adapté au type d'éclairage choisi, et d'en déduire le nombre de luminaires correspondant.

a. Facteur d'utilance

Le facteur d'utilance est le rapport du flux reçu par le plan utile au flux total sortant des luminaires. Il est obtenu à l'aide de tableaux figurant dans l'Annexe VI - 8 et comportant 3 variables :

- la valeur du facteur de suspension ;
- la valeur de l'indice du local, et
- les facteurs de réflexion des parois.

Les valeurs de l'utilance sont fournies pour différentes classes photométriques allant de A à J, mais il sera retenu la classe D qui est adéquat pour les éclairages de type domestique.

b. Flux lumineux

Pour éclairer le plan utile d'une pièce à niveau d'éclairement E, il faut assurer un total de flux F, tel que :

$$F = \frac{E \times S \times d}{U \times \eta}$$

Avec :

S : Surface totale à éclairer ;

d : Facteur compensateur de dépréciation du flux lumineux, pris égal à 1,3

η : Rendement lumineux des lampes

Il convient d'utiliser les lampes fluocompactes qui se substituent aisément aux lampes à incandescence ordinaires grâce à leurs multiples avantages, dont : une large gamme de puissances, une variété de formes et une longue durée de vie. Par ailleurs, le label énergétique de ces lampes est généralement de classe A du fait de leur efficacité lumineuse allant de 35 à 80lm/W. Soit un rendement η pris égal à 70%.

c. Nombre de luminaires

Connaissant le flux lumineux total, le nombre de luminaires à installer est de :

$$N = \frac{F}{f}$$

Où f est le flux lumineux produit par chaque luminaire. En optant pour des lampes de 36W, le flux est environ de 2 500lm.

Tableau 75 : Calcul du nombre de luminaires

Local			a [m]	b [m]	S [m ²]	K	J	E [lm/m ²]	U	F [lm]	n
ETAGES	T2 (A)	Chambre	3,10	4,54	14,03	1,00	0	200	0,67	7 778	4
		Salle de bain	2,89	3,00	8,47	0,80	0	300	0,60	7 865	4
		WC	1,07	1,83	1,96	0,60	0	100	0,50	728	1
		Séjour	3,38	8,69	29,37	1,50	1/3	300	0,76	21 533	9
	T2 (A)	Chambre	3,00	3,60	10,80	1,00	0	200	0,67	5 988	3
		Salle de bain	2,20	2,32	4,78	0,60	0	300	0,50	5 327	3
		WC	0,90	2,20	1,98	0,60	0	100	0,50	736	1
		Séjour	4,85	5,16	25,03	1,50	1/3	300	0,76	18 347	8
		Cellier	1,73	2,20	2,94	0,60	0	100	0,50	1 092	1
	T2 (A)	Chambre	3,29	4,30	14,04	1,00	0	200	0,67	7 784	4
		Salle de bain	2,08	3,23	5,18	0,80	0	300	0,60	4 810	2
		WC	0,98	2,09	2,04	0,60	0	100	0,50	758	1
		Séjour	3,88	8,87	33,89	1,50	1/3	300	0,76	24 845	10
		Cellier	1,78	2,45	4,36	0,60	0	100	0,50	1 620	1

ETAGES	T3 (A)	Chambre 1	2,98	4,88	14,04	1,00	0	200	0,67	7 784	4
		Chambre 2	2,91	4,88	14,14	1,00	0	200	0,67	7 839	4
		Salle de bain	2,63	3,45	6,25	0,80	0	300	0,60	5 804	3
		WC	1,00	1,95	1,95	0,60	0	100	0,50	725	1
		Séjour	4,93	7,00	34,51	1,50	1/3	300	0,76	25 299	11
		Cuisine	3,00	3,60	7,96	1,00	1/3	300	0,65	6 823	3
	T4 (A)	Chambre 1	3,66	3,80	13,88	1,00	0	200	0,67	7 695	4
		Chambre 2	3,62	4,98	17,67	1,25	0	200	0,74	8 870	4
		Chambre 3	3,80	4,98	17,05	1,25	0	200	0,74	8 558	4
		Salle de bain 1	1,80	3,66	6,25	0,60	0	300	0,50	6 965	3
		Salle de bain 2	2,14	3,66	7,68	0,80	0	300	0,60	7 132	3
		Séjour	6,42	7,65	49,11	2,00	1/3	300	0,83	32 968	14
		Cuisine	3,50	3,46	12,11	1,00	1/3	300	0,65	10 380	5
		Cellier	2,20	3,09	6,58	0,80	0	100	0,60	2 037	1
	T3 (A)	Chambre 1	3,10	3,75	11,63	1,00	0	200	0,67	6 445	3
		Chambre 2	4,08	4,47	18,19	1,25	0	200	0,74	9 131	4
		Salle de bain	3,39	3,62	12,13	1,00	0	300	0,67	10 087	5
		WC	4,51	1,19	5,35	0,60	0	100	0,50	1 988	1
		Séjour	4,21	9,41	34,03	1,50	1/3	300	0,76	24 947	10
		Cuisine	2,63	3,36	8,84	1,00	1/3	300	0,65	7 575	4
		Cellier	1,90	2,56	4,85	0,60	0	100	0,50	1 802	1
	T3 (B)	Chambre 1	3,10	4,84	14,98	1,00	0	200	0,67	8 305	4
		Chambre 2	4,21	4,46	18,78	1,25	0	200	0,74	9 427	4
		Salle de bain	2,89	3,39	9,62	0,80	0	300	0,60	8 933	4
		WC	1,02	4,46	4,55	0,60	0	100	0,50	1 690	1
		Séjour	4,97	6,00	29,82	1,50	1/3	300	0,76	21 861	9
		Cuisine	3,41	2,74	9,04	0,80	1/3	300	0,58	8 684	4
		Cellier	1,98	2,28	4,51	0,60	0	100	0,50	1 677	1
	T4 (B)	Chambre 1	3,64	5,29	19,26	1,25	0	200	0,74	9 665	4
		Chambre 2	3,20	5,22	16,61	1,00	0	200	0,67	9 209	4
		Chambre 3	3,23	5,22	16,84	1,25	0	200	0,74	8 453	4
		Salle de bain 1	2,28	5,22	11,56	1,00	0	300	0,67	9 613	4
		Salle de bain 2	1,20	3,22	3,86	0,60	0	300	0,50	4 306	2
		WC	0,98	3,20	3,14	0,60	0	100	0,50	1 167	1
		Séjour	5,27	9,21	48,54	2,00	1/3	300	0,83	32 581	14
		Cuisine	2,96	4,12	11,97	1,00	1/3	300	0,65	10 260	5
		Cellier	2,21	2,82	6,14	0,80	0	100	0,60	1 901	1

SOUS-SOL	Parking	Partie 1	16,00	47,35	695,92	5,00	0	150	1,01	191 944	77
		Partie 2	16,00	34,89	525,17	5,00	0	150	1,01	144 849	58
	Loge gardien	Loge	3,09	3,56	11,00	1,00	0	200	0,67	6 099	3
		Salle de bain	1,70	2,13	3,53	0,60	0	300	0,50	3 934	2
		WC	0,90	1,70	1,53	0,60	0	100	0,50	569	1
	Vestiaire	Vestiaire	2,95	4,04	11,91	1,00	0	200	0,67	6 603	3
		Cabine F	1,05	1,80	1,89	0,60	0	300	0,50	2 106	1
		Cabine H	0,97	1,80	1,75	0,60	0	300	0,50	1 950	1
		Douche	0,90	1,80	1,62	0,60	0	300	0,50	1806	1
		WC	0,90	1,80	1,62	0,60	0	100	0,50	602	1
	Local poubelle		2,28	5,23	11,90	1,00	0	100	0,67	3 299	2

CONCLUSION PARTIELLE

Arrivé à terme de cette partie, il convient de conclure que les différents éléments constitutifs du projet : infrastructure, superstructure et second œuvre, ont été dimensionnés de sorte à assurer la stabilité et la pérennité de l'ouvrage. La construction étant essentiellement en béton armé, le dimensionnement s'est fait en trois étapes : évaluation des efforts appliqués, détermination des armatures et vérification de la résistance au feu (1h ou 2h, selon disposition).

Tous les résultats ainsi obtenus sont directement applicables à la réalisation de la construction du point de vue technique. Toutefois, une évaluation financière des travaux ainsi nécessités est à effectuer dans la partie suivante.



PARTIE III : ETUDE FINANCIERE

CHAPITRE IX : ETUDE DE PRIX

IX - 1. DEVIS DESCRIPTIF

Le devis descriptif permet de décrire précisément les travaux à effectuer dans le cadre de l'exécution du projet en termes de conditions matérielles, de technologie de mise en œuvre et de localisation.

Tableau 76 : Devis descriptif

N°	Désignation	Concerne	Unité
1 – INSTALLATION ET REPLI DE CHANTIER			
1. 01	TRAVAUX PREPARATOIRES	Totalité du chantier	Fft
	Clôtures, baraquements – Amené des matériels Gardiennage et nettoyage – Branchements provisoires – Panneaux de chantier		
1. 02	REPLI DE CHANTIER	Totalité du chantier	Fft
	Repli de l’installation du chantier Nettoyage et mise en service des lieux		
2 – TERRASSEMENT			
2. 01	TERRASSEMENT DE LA PLATEFORME	Emprise du chantier	Fft
	Enlèvement de la terre végétale Nivellement de la surface		
2. 02	FOUILLE	Fondations – Fosse – Regards – Canalisation	m ³
	Fouille pour fondation, y compris dressement des parois et compactage des fonds		
2. 03	REMBLAI	Fondations – Fosse – Regards – Canalisation	m ³
	Compactage – Apports en matériau Dressement et mise en place des remblais Evacuation des terres excédentaires		
3 – INFRASTRUCTURE			
3. 01	BETON DE PROPLETE	Forme de propreté au droit des fouilles	m ³
	Fourniture et mise en œuvre de béton de propreté dosé à 150kg/m ³		
3. 02	GROS BETON	Ensemble des dallages	m ³
	Fourniture et mise en œuvre de gros béton dosé à 250kg/m ³		
3. 03	BETON ARME	Semelles, Longrines, Bêches, Nervures	m ³
	Fourniture et mise en œuvre de béton armé dosé à 350kg/m ³		
3. 04	ARMATURE	Semelles, Longrines, Bêches, Nervures, Dallage	kg
	Fourniture et mise en œuvre d’armature en barres façonnées d’acier HA		
3. 05	COFFRAGE	Semelles, Longrines, Bêches, Nervures	m ³
	Fourniture et mise en œuvre de coffrage du type ordinaire		

3. 06	HERISSONNAGE		m ³
	Fourniture et mise en œuvre d'hérissonnage en pierres sèches (GNT 0/31 ⁵)	Partie sous dallages	
4 – SUPERSTRUCTURE			
4. 01	BETON ARME		m ³
	Fourniture et mise en œuvre de béton armé dosé à 350kg/m ³	Voiles, Poutres voiles, Poteaux, Poutres, Dalles, Acrotères, Escaliers, Gardes corps, Murs de soutènement	
4. 02	ARMATURE		kg
	Fourniture et mise en œuvre d'armature en barres façonnées d'acier HA	Voiles, Poutres voiles, Poteaux, Poutres, Dalles, Acrotères, Escaliers, Gardes corps, Murs de soutènement	
4. 03	COFFRAGE		m ³
	Fourniture et mise en œuvre de coffrage du type ordinaire et soigné	Voiles, Poutres voiles, Poteaux, Poutres, Dalles, Acrotères, Escaliers, Gardes corps, Murs de soutènement	
4. 04	ENDUIT		m ²
	Réalisation d'enduit au mortier ciment dosé à 350kg/m ³ , avec finition talochée	Faces vues des maçonneries en agglomérés	
4. 05	CHAPE		m ²
	Réalisation de chape au mortier de ciment dosé à 450kg/m ³ , avec finition talochée	Sous revêtements – Parking	
5 – REVETEMENT			
5. 01	CARRELAGE		m ²
	Fourniture et pose scellée sur chape avec croisillons de carrelage en grès de cérame	Séjours – Cuisines – Sanitaires – Vestiaires – Dégagements – Celliers – Terrasses	
5. 02	FAIENCE		m ²
	Fourniture et pose collée de faïences sur toute la hauteur	Salles de bains – WC et douches – Vestiaires – Sauna	
5. 03	PLINTHE DROITE		m
	Fourniture et pose collée de plinthes droites en grès émaillé	Zones carrelées – Circulations, Escaliers, Paliers, Dégagements – RDC de l'annexe sportive	
5. 04	PARQUET BOIS		m ²
	Fournitures et pose de parquets bois sur lambourdes avec les accessoires nécessaires	Au droit des chambres	
5. 05	PLINTHE BOIS		m
	Fourniture et pose de plinthes en chêne massif	En périphérie des chambres	
5. 06	CARRELAGE ET FAIENCE PISCINE		m ²
	Fourniture et pose de carrelage et faïence	Au droit de la piscine	
6 – MENUISERIE ALUMINIUM			
6. 01	JALOUSIE		U
	Fourniture et pose de jalousies en profilés aluminium anodisé	WC, Douches, Salles de bains, Cuisines – Celliers – Paliers d'escalier – Loge gardien	

6. 02	BAIE VITREE A TROIS VANTAUX		U
	Fourniture et pose de baies vitrées à 3 vantaux égaux coulissants en aluminium anodisé	Au droit des séjours	
6. 03	BAIE VITREE A UN BATTANT		U
	Fourniture et pose de baies vitrées à 1 battant ouvrant à la française en aluminium anodisé	Ensemble des fenêtres hormis les jalousies	
6. 04	PORTE VITREE A UN BATTANT		U
	Fourniture et pose de portes vitrées à 1 battant ouvrant à la française en aluminium anodisé	Portes donnant sur les terrasses	
6. 05	PORTE VITREE A DEUX BATTANTS		U
	Fourniture et pose de portes vitrées à 2 battants ouvrant à l'anglaise en aluminium anodisé	Entrées de l'immeuble et des escaliers	
6. 06	BAIE VITREE FIXE		U
	Fourniture et pose de baies vitrées fixes en aluminium anodisé, cadres compris	Annexe sportive – Au droit des escaliers et ascenseurs centraux	
6. 07	VOLET ROULANT		U
	Fourniture et pose de volet roulant motorisé en acier galvanisé	Ensemble des fenêtres – Portes donnant sur terrasses – Portes au droit des séjours	
6. 08	PERSIENNE		U
	Fourniture, pose des persiennes en aluminium Traitement antirouille des éléments métalliques d'assemblage	Au droit des entrées du parking	
7 – MENUISERIE BOIS			
7. 01	BLOC-PORTE INTERIEURE A UN VANTAIL		U
	Fourniture et pose de blocs-portes intérieures à un vantail à âme pleine, cadres compris	Au droit des chambres	
7. 02	BLOC-PORTE INTERIEURE A UN VANTAIL «MARINE»		U
	Fourniture et pose de blocs-portes intérieures à un vantail à âme pleine de qualité «MARINE»	Sanitaires, Celliers, Vestiaires, Cabines, Loge gardien	
7. 03	BLOC-PORTE PALIERE A UN VANTAIL		U
	Fourniture et pose de blocs-portes palières à un vantail à âme pleine	Ensemble des portes palières	
7. 04	BLOC-PORTE EXTERIEURE A UN VANTAIL «MARINE»		U
	Fourniture et pose de blocs-portes extérieures blindées à un vantail à âme pleine de qualité «MARINE»	Vestiaires – Loge gardien – Local rangement de l'annexe sportive	
7. 05	PORTE COULISSANTE A UN VANTAIL		U
	Fourniture et pose de portes en bois rouge exotique	Au droit des suites	
8 – COUVERTURE / PLAFONNAGE / CLOISON			
8. 01	CHARPENTE EN ELEMENTS ASSEMBLES		kg
	Exécution, traitement et fixation des fermes, demi-fermes et pannes en bois massif	Emprise de la toiture	
8. 02	COUVERTURE EN METAL		m²
	Fourniture, recouvrement, et fixation de plaques nervurées issues de tôles d'acier galvanisé d'épaisseur 75/100 ^{ème} pré laquées	Emprise de la toiture	

8. 03	FAITAGE		m
	Fourniture, fixation et mise en œuvre de faitages issus de tôles pliées d'épaisseur 75/100 ^{ème} pré laquées	Ensemble des couvertures	
8. 04	TOLE DE RIVE		m
	Fourniture, fixation et mise en œuvre de tôles de rive issus de tôles pliées d'épaisseur 75/100 ^{ème} pré laquées	Au droit des rives de couverture	
8. 05	PLANCHE DE RIVE		m
	Exécution, traitement et fixation de planches de rives en bois	Au droit des rives de couverture – Sur certains rampants	
8. 06	FAUX PLAFOND SUSPENDU		m ²
	Fourniture et mise en œuvre de faux-plafonds à simple parement en plaques de plâtre	Ensemble des faux-plafonds	
8. 07	MATELAS ISOLANT		m ²
	Fourniture et mise en œuvre de matelas isolant en panneaux rigides de laine de roche	Sur les faux-plafonds	
8. 08	CLOISON DE DISTRIBUTION		m ²
	Fourniture et mise en œuvre de cloisons de distribution en plaques de plâtre vissées sur ossatures métalliques	Ensemble des cloisons de distribution	
9 – CHARPENTE METALLIQUE / METALLERIE			
9. 01	POTEAU METALLIQUE		m
	Fourniture et pose de poteaux métalliques avec habillage en tôle en acier galvanisé	Au droit des pergolas	
9. 02	PANNE METALLIQUE		m
	Fourniture et pose de pannes métalliques	Au droit des pergolas	
9. 03	PORTE BASCULANTE		U
	Fourniture et mise en œuvre de portes de garage basculantes motorisées	Entrée et sortie du parking	
9. 04	MAIN COURANTE		m
	Réalisation et fixation de mains courantes lisses en tubes d'acier galvanisé de 50mm de diamètre	Au droit des escaliers	
9. 05	GARDE CORPS		m
	Fourniture et mise en œuvre de garde-corps avec remplissage en verre feuilleté et film réfléchissant, mains courantes comprises	Ensemble des garde-corps avec allège vitré	
9. 06	PORTILLON A UN BATTANT COMMANDEE		U
	Fourniture et pose d'un portillon à 1 battant à ouverture commandée	Accès piéton	
9. 07	PORTILLON A UN BATTANT OUVRANT		U
	Fourniture et pose d'un portillon à 1 battant ouvrant à l'anglaise, cadre compris	Accès local technique	
10 – PLOMBERIE SANITAIRE			
10. 01	RACCORDEMENT		Fft
	Mise en œuvre du raccordement au réseau public et de l'adduction en eau, accessoires comprises	Adduction en eau	

10. 02	WC A L'ANGLAISE		U
	Fourniture et pose de WC à l'anglaise avec réservoir attenant poussoir une chasse	Ensemble des WC	
10. 03	EVIER		U
	Fourniture et pose d'évier inox double bac avec égouttoir, robinets mitigeurs compris	Ensemble des cuisines	
10. 04	VASQUE		U
	Fourniture et pose de vasques ovales, robinets mitigeurs compris	Ensemble des salles de bain et salles d'eau	
10. 05	BAIGNOIRE D'ANGLE		U
	Fourniture et pose de baignoire d'angles, robinets mitigeurs compris	Ensemble des salles de bain	
10. 06	COLONNE DE COUCHE		U
	Fourniture et pose de colonnes de douche en laiton chromé	Ensemble des douches et vestiaires	
10. 07	DOUCHETTE		U
	Fourniture et pose de douchettes, robinets mitigeurs compris	Ensemble des WC	
10. 08	CHAUFFE EAU ELECTRIQUE		U
	Fourniture et pose de chauffe-eau électriques muraux	Appartements et loge gardien – Vestiaires – Annexe sportive	
10. 09	GLACE-MIROIR		U
	Fourniture et pose de glace-miroir intérieurs d'épaisseur 6mm	Ensemble des salles de bain et salles d'eau	
10. 10	VENTILATION MECANIQUE CONTROLEE		Fft
	Fourniture et installation de ventilation mécanique contrôlée collective	Bâtiment principal et annexe sportive	
10. 11	RESEAU D'EVACUATION		Fft
	Mise en œuvre de l'évacuation des eaux usées et eaux vannes, accessoires comprises	Evacuation des eaux usées et eaux vannes	
10. 12	GOUTTIERE		m
	Fourniture et fixation des gouttières avec les accessoires nécessaires	Evacuation des eaux pluviales	
10. 13	DESCENTE		m
	Fourniture et fixation des descentes d'eau avec les accessoires nécessaires	Evacuation des eaux pluviales	
11 – ELECTRICITE			
11. 01	RACCORDEMENT		Fft
	Mise en œuvre du raccordement au réseau public et de la distribution électrique, accessoires comprises	Branchement et distribution électriques	
11. 02	HUBLLOT ETANCHE VARANGUE		U
	Fourniture et pose d'hublots anti-vandales étanches équipées de lampes	Au droit des varangues	
11. 03	HUBLLOT DESERTE		U
	Fourniture et pose d'hublots anti-vandales désertes équipées de lampes	Au droit des dégagements communs et escaliers	
11. 04	HUBLLOT ETANCHE		U
	Fourniture et pose d'hublots anti-vandales équipées de lampes	Salles de bain, Douches, WC	

11. 05	LAMPE A BOUT DE FIL		U
	Fourniture et pose de lampes à bout de fil avec facettes ou mini réflecteurs	Cuisines, Chambres, Séjours	
11. 06	REGLETTES ETANCHES		U
	Fourniture et pose de réglettes étanches équipées de lampes	Au droit des vasques	
11. 07	PRISE DE COURANT 16A+T		U
	Fourniture et mise en œuvre de prises de courant à encastrer	Ensemble des logements	
11. 08	PRISE DE COURANT 32A+T		U
	Fourniture et mise en œuvre de prises de courant à encastrer	Au droit de chaque plaque de cuisson	
11. 09	INTERRUPTEUR SIMPLE ALLUMAGE		U
	Fourniture et pose d'interrupteurs à simple allumage	Selon les plans d'électricité	
11. 10	INTERRUPTEUR VA ET VIENT		U
	Fourniture et pose d'interrupteurs va et vient	Selon les plans d'électricité	
11. 11	INTERRUPTEUR PLEXO MINUTERIE		U
	Fourniture et pose d'interrupteurs plexo minuterie	Escaliers et circulations communes	
11. 12	SONNETTE		U
	Fourniture et pose de sonnettes	Au droit de chaque appartement	
11. 13	CLIMATISATION		U
	Fourniture et pose de groupes de climatisation	Au droit des séjours	
11. 14	ALARME		U
	Fourniture et mise en œuvre d'alarmes anti-intrusion	Au droit de chaque appartement	
11. 15	CONTROLE D'ACCES		U
	Fourniture et installation de systèmes de portier vidéo couleur avec liaison phonique (interphone) du portillon accès piéton	Au droit de chaque appartement	
11. 16	ASCENCEUR		U
	Fourniture et installation d'ascenseurs Protection contre la corrosion des parties métalliques	Selon les plans d'architecte	
12 – PEINTURE			
12. 01	PEINTURE EXTERIEURE SUR BETON		m ²
	Réalisation des travaux de peinture extérieur sur béton du type résine acrylique souple	Ensemble des surfaces exposées ou en extérieures	
12. 02	PEINTURE INTERIEURE SUR BETON		m ²
	Réalisation des travaux de peinture intérieur sur béton du type pliolite ou acrylique	Ensemble des surfaces en intérieur	
12. 03	LASURE EXTERIEURE		m ²
	Réalisation des travaux de lasurage extérieur et intérieur du type lasure acrylique	Eléments en bois des portes et de la charpente	
12.04	PEINTURE SUR METAL		m ²
	Réalisation des travaux de peinture extérieur et intérieur du type polyuréthane bi-composant	Eléments en métal de la charpente, des mains-courantes et des garde-corps	

12. 05	PEINTURE SUR PLATRE		m ²
	Réalisation des travaux de peinture intérieur du type acrylique	Ensemble des faux-plafonds et cloisons	
13 – AMENAGEMENT EXTERIEUR			
13. 01	BETON ARME		m ³
	Fourniture et mise en œuvre de béton armé dosé à 350kg/m ³	Murs de soutènement et murets extérieurs	
13. 02	ARMATURE		kg
	Fourniture et mise en œuvre d’armature en barres façonnées d’acier HA	Murs de soutènement et murets extérieurs	
13. 03	COFFRAGE		m ³
	Fourniture et mise en œuvre de coffrage du type ordinaire et soigné	Murs de soutènement et murets extérieurs	
13. 04	DALETTE		m ²
	Fourniture et pose de dalettes de granit	Cour, Circulations et Escaliers extérieurs	
13. 05	ESPACE VERT		Fft
	Mise en place de la terre végétale – Fourniture et plantation d’arbres, engazonnement	Selon le plan de masse	
14 – ASSAINISSEMENT			
14. 01	REGARD AVEC TAMPON BETON		U
	Fourniture et mise en œuvre de regard en béton avec tampon béton sur double cornière	Adduction et évacuation d’eau de l’ensemble du projet	
14. 02	REGARD AVEC TAMPON A GRILLE		U
	Fourniture et mise en œuvre de regard en béton avec tampon à grille sur double cornière	Evacuation d’eau de l’ensemble du projet	
14. 03	FOSSE SEPTIQUE		Fft
	Fourniture et pose de fosse septique comprenant fosse + préfiltre + épurateur	Totalité du projet	

IX - 2. DETAIL QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Il s'agit de déterminer les prix de vente unitaires hors taxes (PVHT) des ouvrages élémentaires (OE) afin d'en déduire le montant total hors taxes (HT) et le montant total toutes taxes comprises (TTC) à l'aide de la quantité de prestations à réaliser.

IX - 2 - 1. Coefficient de déboursés

C'est le coefficient noté K à appliquer au déboursé sec (DS) d'un ouvrage élémentaire pour obtenir son prix de vente hors taxes qui est défini par :

$$PVHT = DS + FC + Fop + FG + BA$$

Les différents frais sont établis en pourcentage de DS ou de PVHT. Soient :

FC : Frais de chantier, $FC = fc \text{ DS}$

Fop : Frais d'opération, $Fop = fop \text{ PVHT}$

FG : Frais généraux, FG = fg PVHT

BA : Bénéfices et aléas, BA = ba PVHT

D'où :

$$K = \frac{1 + fc}{1 - (fop + fg + ba)}$$

En considérant :

$$FC = 15\% \text{ DS} \Rightarrow fc = 15\%$$

$$Fop = 12\% \text{ PVHT} \Rightarrow fop = 12\%$$

$$FG = 5\% \text{ PVHT} \Rightarrow fg = 5\%$$

$$BA = 5\% \text{ PVHT} \Rightarrow ba = 5\%$$

Le coefficient de déboursé vaut :

$$K = 1,47$$

IX - 2 - 2. Sous-détails de prix

C'est un ensemble de calculs permettant de déterminer le déboursé sec nécessité par la réalisation d'un ouvrage élémentaire donné : main d'œuvre, matériaux, matériels. Par conséquent, il en résulte le prix de vente hors taxes selon la relation :

$$PVHT = K \times DS$$

Tableau 77 : Sous-détails de prix

Désignation	Béton Q350 [m ³]					
	Quantité élémentaire	Unité	Déboursé unitaire [Ar]	Déboursé sec [Ar]		
				Main d'œuvre	Matériaux	Matériels
1. Main d'œuvre						
Chef de chantier	3,00	h	1 500,00	4 500,00		
Chef d'équipe	2,50	h	1 200,00	3 000,00		
Maçon	5,00	h	1 100,00	5 500,00		
Manœuvre	12,00	h	600,00	7 200,00		
2. Matériaux						
Ciment	350,00	kg	500,00		175 000,00	
Sable	0,45	m ³	10 000,00		4 500,00	
Gravillon	0,85	m ³	30 000,00		25 500,00	
Eau	0,17	m ³	4 000,00		680,00	
3. Matériels						
Bétonnière	2,50	h	6 000,00			15 000,00
Pervibrateur	2,50	h	4 000,00			10 000,00
Outillage	5,00	h	500,00			2 500,00
Déboursés secs partiels				20 200,00	205 680,00	27 500,00
Déboursé sec global				253 380,00		
Prix de vente hors taxe unitaire				373 573,08		

Désignation	Armature [kg]					
Composants	Quantité élémentaire	Unité	Déboursé unitaire [Ar]	Déboursé sec [Ar]		
				Main d'œuvre	Matériaux	Matériels
1. <u>Main d'œuvre</u>						
Chef d'équipe	0,05	h	1 200,00	60,00		
Ferrailleur	0,10	h	1 100,00	110,00		
Manœuvre	0,07	h	600,00	42,00		
2. <u>Matériaux</u>						
Acier	1,00	kg	2 500,00		2 500,00	
Fil recuit	0,01	kg	2 800,00		28,00	
3. <u>Matériels</u>						
Outillage	0,10	h	100,00			10,00
Déboursés secs partiels				212,00	2 528,00	10,00
Déboursé sec global				2 750,00		
Prix de vente hors taxe unitaire				4 054,49		

Désignation	Coffrage [m ²]					
Composants	Quantité élémentaire	Unité	Déboursé unitaire [Ar]	Déboursé sec [Ar]		
				Main d'œuvre	Matériaux	Matériels
1. <u>Main d'œuvre</u>						
Chef d'équipe	0,72	h	1 200,00	864,00		
Coffreur	1,44	h	1 100,00	1 584,00		
Manœuvre	0,72	h	600,00	432,00		
2. <u>Matériaux</u>						
Planche	1,68	m ²	2 500,00		4 187,50	
Pointe	0,15	kg	2 400,00		360,00	
Bois rond	4,00	u	1 000,00		4 000,00	
3. <u>Matériels</u>						
Outillage	1,44	h	700,00			1 008,00
Déboursés secs partiels				2 880,00	8 547,50 / 5	1 008,00
Déboursé sec global				5 597,50		
Prix de vente hors taxe unitaire				8 253,84		

IX - 2 - 3. Détail quantitatif et estimatif

Les dépenses directes liées à la réalisation de l'ouvrage sont obtenues en associant les sous-détails de prix au quantitatif, c'est-à-dire en multipliant les prix unitaires par les quantités et en déduire le montant total des travaux. Ces opérations sont illustrées dans le détail quantitatif et estimatif ci-après.

Tableau 78 : Détail quantitatif et estimatif

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
1 – INSTALLATION ET REPLI DE CHANTIER					
1. 01	Travaux préparatoires	Fft	1	75 000 000	75 000 000
1. 02	Repli de chantier	Fft	1	15 000 000	15 000 000
TOTAL INSTALLATION ET REPLI DE CHANTIER					90 000 000

2 – TERRASSEMENT					
2. 01	Terrassement de la plateforme	Fft	1	5 000 000	5 000 000
2. 02	Fouille	m ³	817,52	3 760	3 073 881
2. 03	Remblai	m ³	491,16	4 205	2 065 316
TOTAL TERRASSEMENT					10 139 197
3 – INFRASTRUCTURE					
3. 01	Béton de propreté	m ³	56,31	227 915	12 834 328
3. 02	Gros béton	m ³	212,49	362 760	77 081 330
3. 03	Béton	m ³	199,51	373 575	74 533 590
3. 04	Armature	kg	32 781,84	4 055	132 930 374
3. 05	Coffrage	m ³	691,79	8 253	5 709 340
3. 06	Hérissonnage	m ³	221,77	45 740	10 143 875
TOTAL INFRASTRUCTURE					313 232 836
4 – SUPERSTRUCTURE					
4. 01	Béton	m ³	2 295,77	373 575	857 642 853
4. 02	Armature	kg	137 746,29	4 055	558 561 216
4. 03	Coffrage	m ³	534,73	8 253	4 413 136
4. 04	Enduit	m ²	8 534,85	9 610	82 019 896
4. 05	Chape	m ²	5 513,25	11 340	62 520 246
TOTAL SUPERSTRUCTURE					1 093 063 216
5 – REVETEMENT					
5. 01	Carrelage	m ²	2 905,55	39 060	113 490 926
5. 02	Faïence	m ²	2 642,20	29 730	78 552 733
5. 03	Plinthe droite	m	3 535,65	2 925	10 341 776
5. 04	Parquet bois	m ²	1 149,57	24 830	28 543 823
5. 05	Plinthe bois	m	1 150,10	3 440	3 956 344
5. 06	Carrelage et faïence piscine	m ²	150,80	31 800	4 795 440
TOTAL REVETEMENT					239 681 042
6 – MENUISERIE ALUMINIUM					
6. 01	Jalousie	U	109	196 350	21 402 150
6. 02	Baie vitrée à trois vantaux	U	43	560 040	24 081 720
6. 03	Baie vitrée à un battant	U	66	257 215	16 976 190
6. 04	Porte vitrée à un battant	U	20	419 925	8 398 500
6. 05	Porte vitrée à deux battants	U	22	532 790	11 721 380
6. 06	Baie vitrée fixe	U	9	294 250	2 648 250
6. 07	Volet roulant	U	129	725 200	93 550 800
6. 08	Persienne	U	6	875 620	5 253 720
TOTAL MENUISERIE ALUMINIUM					184 032 710

7 – MENUISERIE BOIS					
7. 01	Bloc-porte intérieure à un vantail	U	72	354 370	25 514 640
7. 02	Bloc-porte intérieure «marine»	U	125	396 125	49 515 625
7. 03	Bloc-porte palière à un vantail	U	37	413 110	15 285 070
7. 04	Bloc-porte extérieure «marine»	U	4	446 250	1 785 000
7. 05	Porte coulissante à un vantail	U	10	480 630	4 806 300
TOTAL MENUISERIE BOIS					96 906 635
8 – COUVERTURE / PLAFONNAGE / CLOISON					
8. 01	Charpente en éléments assembles	kg	21,40	487 540	10 434 624
8. 02	Couverture en métal	m ²	713,42	39 400	28 108 748
8. 03	Faitage	m	62,14	5 425	337 110
8. 04	Tôle de rive	m	76,65	6 250	479 063
8. 05	Planche de rive	m	102,52	4 320	442 886
8. 06	Faux plafond suspendu	m ²	3 764,74	25 210	94 909 095
8. 07	Matelas isolant	m ²	3 764,74	22 700	85 459 598
8. 08	Cloison de distribution	m ²	2 646,44	34 055	90 124 514
TOTAL COUVERTURE / PLAFONNAGE / CLOISON					310 295 638
9 – CHARPENTE METALLIQUE / METALLERIE					
9. 01	Poteau métallique	m	31,82	47 140	1 499 759
9. 02	Panne métallique	m	721,39	9 700	6 997 483
9. 03	Porte basculante	U	2,00	512 380	1 024 760
9. 04	Main courante	m	189,30	18 450	3 492 511
9. 05	Garde-corps	m	148,33	136 115	20 189 938
9. 06	Portillon a un battant commandé	U	1	539 450	539 450
9. 07	Portillon a un battant ouvrant	U	1	480 060	480 060
TOTAL CHARPENTE METALLIQUE / METALLERIE					34 223 961
10 – PLOMBERIE / SANITAIRE					
10. 01	Raccordement	Fft	1	6 000 000	6 000 000
10. 02	WC à l'anglaise	U	53	311 540	16 511 620
10. 03	Evier	U	37	283 210	10 478 770
10. 04	Vasque	U	68	175 080	11 905 440
10. 05	Baignoire d'angle	U	20	407 231	8 144 620
10. 06	Colonne de couche	U	48	93 455	4 485 840
10. 07	Douchette	U	53	68 165	3 612 745
10. 08	Chauffe-eau électrique	U	40	4 637 550	185 502 000
10. 09	Glace-miroir	U	48	37 200	1 785 600
10. 10	Ventilation Mécanique Contrôlée	Fft	1	2 000 000	2 000 000
10. 11	Réseau d'évacuation	Fft	1	4 000 000	4 000 000
10. 12	Gouttière	m	115,62	7 970	921 491

10. 13	Descente	m	142,52	28 615	4 078 341
TOTAL PLOMBERIE / SANITAIRE					259 426 468
11 – ELECTRICITE					
11. 01	Raccordement	Fft	1	8 000 000	8 000 000
11. 02	Hublot étanche varangue	U	91	49 165	4 474 015
11. 03	Hublot déserte	U	47	43 285	2 034 395
11. 04	Hublot étanche	U	111	47 540	5 276 940
11. 05	Lampe à bout de fil	U	260	47 540	12 360 400
11. 06	Réglettes étanches	U	47	56 270	2 644 690
11. 07	Prise de courant 16A+T	U	770	6 780	5 220 600
11. 08	Prise de courant 32A+T	U	37	9 755	360 935
11. 09	Interrupteur simple allumage	U	201	7 240	1 455 240
11. 10	Interrupteur va et vient	U	115	9 035	1 039 025
11. 11	Interrupteur plexo minuterie	U	63	8 690	547 470
11. 12	Sonnette	U	37	12 410	459 170
11. 13	Climatisation	U	37	7 350 020	271 950 740
11. 14	Alarme	U	38	375 300	14 261 400
11. 15	Contrôle d'accès	U	37	993 750	36 768 750
11. 16	Ascenseur	U	3	55 625 310	166 875 930
TOTAL ELECTRICITE					533 729 700
12 – PEINTURE					
12. 01	Peinture extérieure sur béton	m ²	5 651,85	11 520	65 109 312
12. 02	Peinture intérieure sur béton	m ²	8 894,28	9 685	86 141 102
12. 03	Lasure extérieure	m ²	1 435,66	5 905	8 477 572
12. 04	Peinture sur métal	m ²	1 170,59	4 250	4 975 008
12. 05	Peinture sur plâtre	m ²	7 987,00	6 530	52 155 110
TOTAL PEINTURE					216 858 104
13 – AMENAGEMENT EXTERIEUR					
13. 01	Béton	m ³	21,77	373 575	8 132 728
13. 02	Armature	kg	980,59	4 055	3 976 292
13. 03	Coffrage	m ³	56,08	15 865	889 709
13. 04	Dalette	m ²	368,00	326 200	120 041 600
13. 05	Espace vert	Fft	1	2 000 000	2 000 000
TOTAL AMENAGEMENT EXTERIEUR					135 040 329
14 – ASSAINISSEMENT					
14. 01	Regard avec tampon béton	U	10	28 595	285 950
14. 02	Regard avec tampon a grille	U	3	23 440	70 320
14. 03	Fosse septique	Fft	1	6 875 000	6 875 000
TOTAL ASSAINISSEMENT					7 231 270

Tableau 79 : Tableau récapitulatif

N°	Désignation	Montant [Ar]
1	INSTALLATION ET REPLI DE CHANTIER	90 000 000
2	TERRASSEMENT	10 139 197
3	INFRASTRUCTURE	313 232 836
4	SUPERSTRUCTURE	1 565 157 346
5	REVETEMENT	239 681 042
6	MENUISERIE ALUMINIUM	184 032 710
7	MENUISERIE BOIS	96 906 635
8	COUVERTURE / PLAFONNAGE / CLOISON	310 295 638
9	CHARPENTE METALLIQUE / METALLERIE	34 223 961
10	PLOMBERIE / SANITAIRE	259 426 468
11	ELECTRICITE	533 729 700
12	PEINTURE	216 858 104
13	AMENAGEMENT EXTERIEUR	135 040 329
14	ASSAINISSEMENT	7 231 270
MONTANT TOTAL HT		3 995 528 354
TVA (20%)		799 105 671
MONTANT TOTAL TTC		4 794 634 025

Arrêté le présent détail quantitatif et estimatif à la somme de QUATRE MILLIARDS SEPT CENT QUATRE-VINGT QUATORZE MILLIONS SIX CENT TRENTE QUATRE MILLE VINGT CINQ ARIARY (4 794 634 025Ar), y compris la taxe sur la valeur ajoutée (TVA) au taux de 20% d'un montant de SEPT CENT QUATRE VINGT DIX NEUF MILLIONS CENT CINQ MILLE SIX CENT SOIXANTE ET ONZE ARIARY (799 105 671Ar). Soit un coût du mètre carré bâti de SIX CENT VINGT ET UN MILLE CINQ CENT SOIXANTE DIX SEPT ARIARY (621 577Ar/m²).

CHAPITRE X : ETUDE DE RENTABILITE

X - 1. CALCUL DES FLUX

L'étude de rentabilité consiste à déterminer la rentabilité du projet à partir des coûts réels d'investissement par rapport aux profits probables. En effet, chaque investissement induit des flux positifs et négatifs. Le but étant de déterminer les flux nets ainsi générés.

Le coût de la construction du projet ne représente qu'une partie du coût réel d'investissement. Il comprend entre autres :

- le prix du terrain, qui est estimé à $180\,000\text{Ar}/\text{m}^2$. Soit $450\,000\,000\text{Ar}$;
 - la prestation des entités concernées par la conception et l'étude de la construction (architecte, bureau d'études, ...), qui est estimé à 7% du coût de la construction. Soit $290\,774\,634\text{Ar}$;
 - la prestation des entités concernées par la réalisation de la construction (bureau de contrôle, laboratoire, ...), qui est estimé à 4% du coût de la construction. Soit $527\,409\,742\text{Ar}$.
- Ainsi, le coût réel de l'investissement revient à $5\,772\,043\,768\text{Ar}$.

X - 1 - 1. Flux positifs

Les flux de trésorerie positifs correspondent aux encaissements, aux recettes générées par l'investissement. Dans le cas du présent projet, ce sont les prix de vente des appartements qui sont de :

- $128\,100\,000\text{Ar}$ pour les appartements du type T2 ;
- $237\,900\,000\text{Ar}$ pour les appartements du type T3 ;
- $318\,725\,000\text{Ar}$ pour les appartements du type T4.

A raison de 12 T2, 15 T3 et 10 T4, le projet rapportera $8\,157\,000\,000\text{Ar}$. En supposant que la durée de vente est étalée sur trois ans après achèvement des travaux, la recette est répartie comme suit :

- année 1 : 5 T2, 6 T3 et 5 T4
- année 2 : 4 T2, 5 T3 et 2 T4
- année 3 : 3 T2, 4 T3 et 3 T4

X - 1 - 2. Flux négatifs

Ce sont les charges engendrées par l'utilisation du bien, dont :

- les frais liés au fonctionnement, à l'entretien et à la maintenance de la construction au cours de son utilisation. Ils sont d'environ 10% de la recette.

- les dotations aux amortissements de l'investissement (DAA) :

$$DAA = C \times t$$

Où :

C : Capital investi

$$t : \text{Taux d'amortissement, tel que : } t (\%) = \frac{100}{\text{durée de vie}}$$

Soit $t = 33,33\%$ pour une durée d'amortissement de trois ans. D'où : $DAA = 1\,924\,014\,589\text{Ar}$

- l'impôt sur l'accroissement du bénéfice réalisé. Il vaut 20% du résultat imposable qui est tel que :

$$\text{Résultat imposable} = \text{Flux brut} - \text{Amortissement}$$

X - 1 - 3. Flux nets

Les flux nets traduisent la comparaison des recettes aux dépenses d'exploitation comme l'indique la relation :

$$\text{Flux brut} = \text{Recette} - \text{Charge}$$

$$\text{Flux net} = \text{Flux brut} - \text{Impôt}$$

Tableau 80 : Calcul des flux nets

Année	Recette [Ar]	Charge [Ar]	Flux brut [Ar]	Résultat imposable [Ar]	Impôt [Ar]	Flux net [Ar]
1	3 661 525 000	366 152 500	3 295 372 500	1 371 357 911	274 271 582	3 021 100 918
2	2 339 350 000	233 935 000	2 105 415 000	181 400 411	36 280 082	2 069 134 918
3	2 292 075 000	229 207 500	2 062 867 500	138 852 911	27 770 582	2 035 096 918

X - 2. INDICATEURS DE RENTABILITE

X - 2 - 1. Valeur actuelle nette

La valeur actuelle nette (VAN) est égale à la somme des flux nets actualisés. En d'autres termes, c'est le profit futur ramené à la date actuelle que peut représenter l'investissement. Ainsi, il n'est rentable que si le résultat est supérieur à 0.

$$VAN = \sum_{n=1}^3 F_n \frac{1}{(1+a)^n} - C$$

Où :

F_n : Flux net de l'année n

$a = 12\%$ est le taux d'actualisation prenant en compte le risque encouru par l'investissement.

C : Capital investi

$$VAN = \frac{3\,021\,100\,918}{(1 + 0,12)^1} + \frac{2\,069\,134\,918}{(1 + 0,12)^2} + \frac{2\,035\,096\,918}{(1 + 0,12)^3} - 5\,772\,043\,768$$

$$VAN = 23\,411\,243\text{Ar} > 0$$

Le projet permet donc de récupérer l'investissement initial, de le rémunérer au taux de 12% pendant 3ans, et de dégager un excédent de liquidité de 23 411 243Ar : l'investissement est rentable.

X - 2 - 2. Taux interne de rentabilité

C'est le taux d'actualisation pour lequel la somme des flux est égale au montant de l'investissement, et la valeur actuelle nette égale à zéro. De ce fait, TIR est l'inconnu à chercher de l'équation :

$$VAN = \sum_{n=1}^3 F_n \frac{1}{(1 + \text{TIR})^n} - C = 0$$

$$\text{TIR} = 12,25\%$$

Le taux de rentabilité interne est de loin supérieur au taux d'actualisation. Ce qui renforce la rentabilité du projet.

X - 2 - 3. Indice de profitabilité

L'indice de profitabilité (IP) exprime le rapport entre les flux nets actualisés et le montant de l'investissement. Soit :

$$\text{IP} = 1 + \frac{VAN}{I}$$

D'où :

$$\text{IP} = 1,004$$

Cet indice signifie que l'investissement génère 0,41Ar par 1Ar investi.

X - 2 - 4. Délai de récupération du capital investi

Afin de déterminer le délai de récupération du capital investi (DRCI), il faut cumuler les flux nets actualisés et rapprocher la somme obtenue avec le montant de l'investissement initial pour en déduire la durée nécessaire au retour sur investissement.

Tableau 81 : Calcul du délai de récupération

Année	Flux net [Ar]	Facteur d'actualisation	Flux net actualisé [Ar]	Flux cumulé [Ar]
1	3 021 100 918	0,89	2 697 411 534	2 697 411 534
2	2 069 134 918	0,80	1 649 501 688	4 346 913 222
3	2 035 096 918	0,71	1 448 541 788	5 795 455 011

⇒ 5 772 043 768

$$\text{DRCI} = 2,98\text{ans}$$

Le retour sur investissement est prévu pour un délai de 2ans 11mois et 23jours après finition des travaux de construction.

CONCLUSION PARTIELLE

Les prix de vente hors taxe des ouvrages élémentaires, associés aux quantités d'ouvrage à réaliser, ont permis de déterminer le montant total toute taxe comprise de la construction qui s'élève à 4 794 634 025Ar. L'investissement initial est donc obtenu par ajout des prix des terrains et diverses prestations externes à la réalisation proprement dite des travaux.

Concernant l'étude de rentabilité menée dans cette partie, elle a montré que la valeur actuelle du projet est positive pour un taux d'actualisation de 12%, applicable pendant trois ans. De même, le taux interne de rentabilité supérieur au taux d'actualisation, ainsi que le l'indice de profitabilité supérieur à l'unité traduisent une rentabilité certaine de l'investissement.

CONCLUSION

La promotion du projet « Terrasse d'Ambatobe » permet de faire face à divers problèmes socio-économiques. Si l'on ne cite que le surpeuplement issu de l'urbanisation de la ville d'Antananarivo, ainsi que les problèmes fonciers et les problèmes de construction qui en résultent. Cela à travers un complexe immobilier constitué d'un bâtiment de 37 appartements, une annexe sportive et une piscine.

Le style de construction adopté, ainsi que les éléments liés à la conception dépendent essentiellement des clients potentiels. A cet effet, le confort et la sécurité ont été les points clés influençant le choix de style, en sus des normes de référence. D'ailleurs, en particulier, le choix s'est porté sur une structure à voiles de contreventement qui allie stabilité, pérennité et facilité de mise en œuvre.

Sur le point technique, l'étude a nécessité le recours à une diversité de méthodes et procédés de calcul. Le principe étant de savoir modéliser les éléments afin de les ramener aux règles en vigueur. Evaluation des efforts, calcul des armatures et diverses vérifications ont été les grandes étapes de dimensionnement. En l'occurrence, la stabilité au feu des éléments a confirmé les résultats ainsi obtenus.

Du point de vue financier, les indicateurs de rentabilité obtenus à la base du coût total de l'investissement traduisent une rentabilité du projet avec génération de profit, bien que cela soit spéculative. En somme, le projet est réalisable techniquement et économiquement. Personnellement, avoir traité là-dessus en guise de mémoire m'a permis de concilier théorie et pratique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ministère de la santé publique, ANNUAIRE DES STATISTIQUES DU SECTEUR SANTE DE MADAGASCAR, 2011
- [2] Journal officiel, ARRETE DU 31 JANVIER 1986 ET ILLUSTRATIONS, Mars 1986
- [3] Jean-Pierre Mougine, BETON ARME BAEL 91 MODIFIE 99 ET DTU ASSOCIES, Eyrolles, 2006
- [4] Pierre Charon, CALCUL DES OUVRAGES EN BETON ARME SUIVANT LES REGLES BAEL 80, Eyrolles, Paris, 1983
- [5] Henry Thonier, CONCEPTION ET CALCUL DES STRUCTURES DE BATIMENT, Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1999
- [6] Ministère de l'équipement, du logement et des transports, FASCICULE N°62, France, 1999
- [7] Victor Davidovici, FORMULAIRE DU BETON ARME, Le moniteur, Paris, 1996
- [8] Centre scientifique et technique de la construction, GUIDE PRATIQUE ET TECHNIQUE DE L'ECLAIRAGE RESIDENTIEL, 2011
- [9] Roger Cadiergues, LES CALCULS D'ECLAIRAGE, 2009
- [10] Ernst Neufert, LES ELEMENTS DES PROJETS DE CONSTRUCTION, Dunod, Paris, 2002
- [11] Jean Perchat, Jean Roux, MAITRISE DU BAEL 91 ET DES DTU ASSOCIES, Eyrolles, Paris, 2002
- [12] Programme des Nations Unies pour les Etablissements Humains, MADAGASCAR : PROFIL URBAIN D'ANTANANARIVO, Unon publishing services section, Nairobi, 2012
- [13] Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche, MONOGRAPHIE DE LA REGION D'ANTANANARIVO, 2013
- [14] Collectif CSTB, NORME FRANCAISE NF P 18-210 (DTU 23.1), CSTB, 2007
- [15] Pierre Guillemont, OUVRAGES EN BETON ARME, Dunod, Paris, 1997
- [16] Jean Perchat, Jean Roux, PRATIQUE DU BAEL 91, Eyrolles, Paris, 2002
- [17] J. P. Boutin, PRATIQUE DU CALCUL DE LA RESISTANCE AU FEU DES STRUCTURES EN BETON, Eyrolles, Paris, 1983
- [18] Collectif CSTB, REGLES DTU 60.11, CSTB, 2007
- [19] Collectif CSTB, REGLES NV 65, CSTB, 2000
- [20] fr.wikipedia.org
- [21] www.apprendre-tous-cours.com



[22] www.civilmania.com

[23] www.cours-genie-civil.com

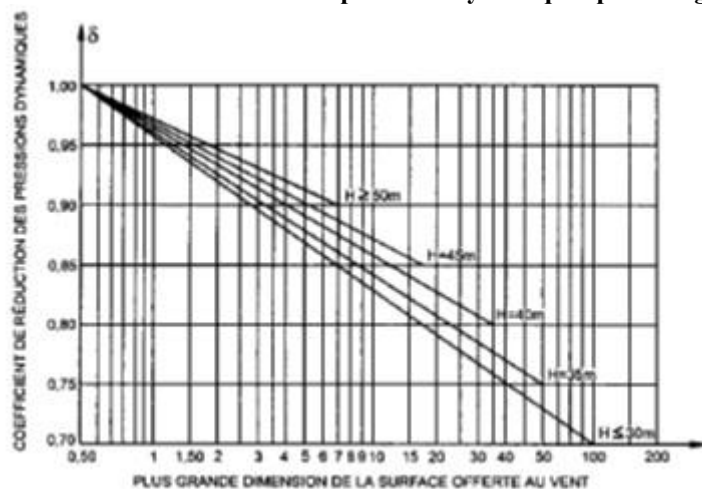
[24] www.ecolechezsoi.com

[25] www.infociments.fr

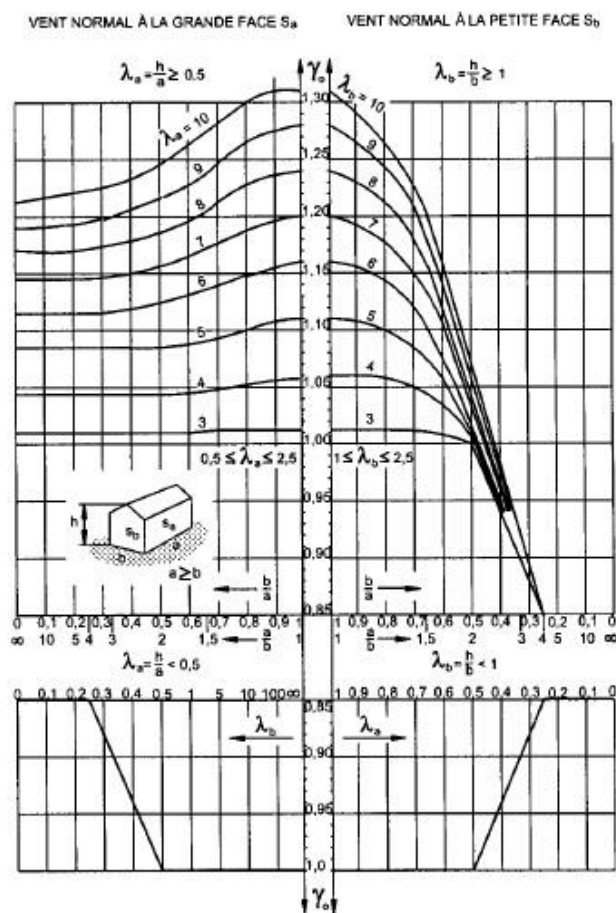
ANNEXES

ANNEXE I. EFFET DU VENT

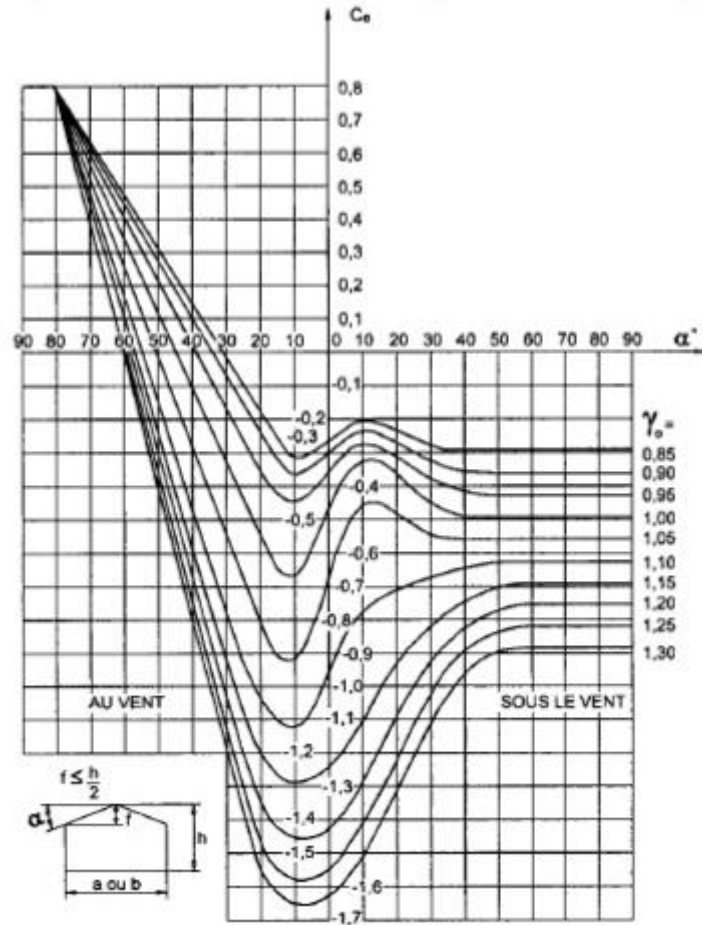
Annexe I - 1. Coefficient de réduction δ des pressions dynamiques pour les grandes surfaces



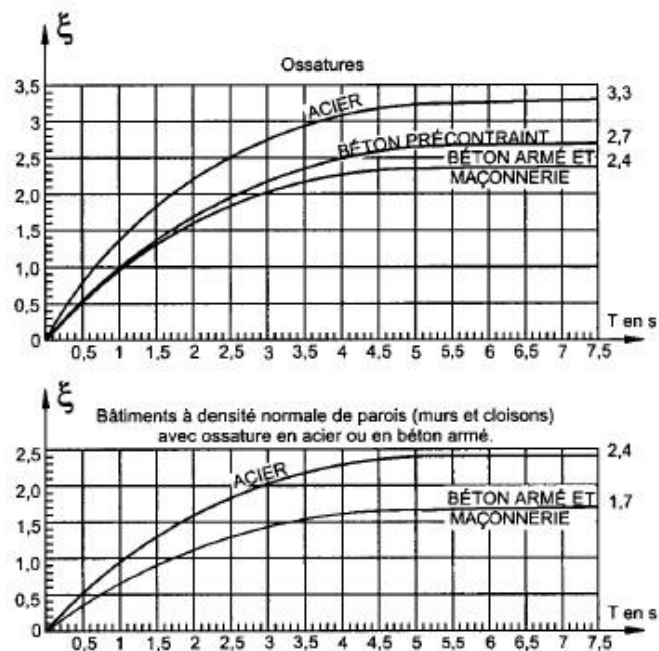
Annexe I - 2. Constructions prismatiques à base rectangulaire reposant sur le sol, coefficient γ_0



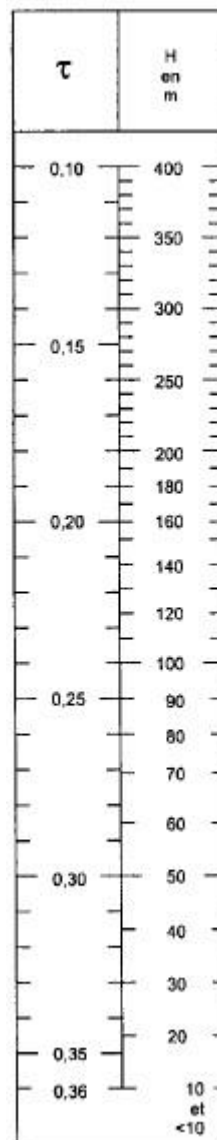
Annexe I - 3. Toitures à versants plans, coefficient C_e



Annexe I - 4. Coefficient de réponse ξ



Annexe I - 5. Coefficient de pulsation τ



ANNEXE II. CALCUL DES CHARGES

Annexe II - 1. Poutre 1

Niveau	Nature de la charge	Surface [m ²]	Charge unitaire [t/m ²]		Charge appliquée [t]		Charge cumulée [t]	
			G	Q	G	Q	G	Q
N ₆	Poutre	4,87	0,81	-	3,96	-	6,85	0,87
	Plancher	5,78	0,50	0,15	2,89	0,87		

Annexe II - 2. Poutre 2

Niveau	Nature de la charge	Surface [m ²]	Charge unitaire [t/m ²]		Charge appliquée [t]		Charge cumulée [t]	
			G	Q	G	Q	G	Q
N ₆	Poutre	3,41	0,63	-	2,13	-	2,33	0,06
	Plancher	0,39	0,50	0,15	0,20	0,06		

Annexe II - 3. Voile 1

Niveau	Nature de la charge	Surface [m ²]	Charge unitaire [t/m ²]		Charge appliquée [t]		Charge cumulée [t]	
			G	Q	G	Q	G	Q
N ₇	Voile	14,17	0,45	-	6,38	-	8,77	0,96
	Plancher	3,82	0,63	0,25	2,39	0,96		

Annexe II - 4. Voile 2

Niveau	Nature de la charge	Surface [m ²]	Charge unitaire [t/m ²]		Charge appliquée [t]		Charge cumulée [t]	
			G	Q	G	Q	G	Q
N ₇	Voile	13,23	0,45	-	6,38	-	6,74	0,15
	Plancher	0,58	0,63	0,25	0,36	0,15		

Annexe II - 5. Poutre voile 1

Niveau	Nature de la charge	Surface [m ²]	Charge unitaire [t/m ²]		Charge appliquée [t]		Charge cumulée [t]	
			G	Q	G	Q	G	Q
N ₁	Plancher	9,95	0,50	0,10	4,98	1,00	4,98	1,00
N ₂	Voile	8,31	0,45	-	3,74	-	13,69	2,4
	Plancher	9,95	0,50	0,15	4,98	1,49		
N ₃	Voile	8,31	0,45	-	3,74	-	22,41	3,98
	Plancher	9,95	0,50	0,15	4,98	1,49		
N ₄	Voile	8,31	0,45	-	3,74	-	31,12	5,48
	Plancher	9,95	0,50	0,15	4,98	1,49		
N ₅	Voile	8,31	0,45	-	3,74	-	39,84	6,97
	Plancher	9,95	0,50	0,15	4,98	1,49		
N ₆	Poutre voile	8,31	0,45	-	3,74	-	48,56	8,46
	Plancher	9,95	0,50	0,15	4,98	1,49		

Annexe II - 6. Poutre voile 2

Niveau	Nature de la charge	Surface [m ²]	Charge unitaire [t/m ²]		Charge appliquée [t]		Charge cumulée [t]	
			G	Q	G	Q	G	Q
N ₂	Varangue	8,80	0,71	0,35	6,25	3,08	6,25	3,08
N ₃	Voile	8,31	0,45	-	3,74	-	14,38	4,40
	Plancher	8,80	0,50	0,15	4,40	1,32		
N ₄	Voile	8,31	0,45	-	3,74	-	22,52	5,72
	Plancher	8,80	0,50	0,15	4,40	1,32		
N ₅	Voile	8,31	0,45	-	3,74	-	30,66	7,04
	Plancher	8,80	0,50	0,15	4,40	1,32		
N ₆	Poutre voile	8,31	0,45	-	3,74	-	38,80	8,36
	Plancher	8,80	0,50	0,15	4,40	1,32		

ANNEXE III. CONTREVENTEMENT

Annexe III - 1. Etage courant (Partie 1)

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	Somme
Caractéristiques des voiles	t_i	m	0,18	0,18	0,18	0,18	5,96	5,53	1,99	14,32	-
	h_i	m	4,65	9,68	3,07	12,31	0,18	0,18	0,18	0,18	-
	x_{O_i}	m	0,43	3,26	6,06	29,11	3,08	3,39	1,69	10,98	-
	y_{O_i}	m	25,09	4,93	25,86	20,28	27,40	24,32	22,79	1,09	-
	$I_{x'i}$	m ⁴	1,51	13,61	0,43	27,98	0,00	0,00	0,00	0,01	-
	$I_{y'i}$	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,01	3,18	2,54	0,12	44,05	-
	θ_i	°	172	172	0	0	0	0	0	172	-
		rad	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	-
Centre de torsion de l'ensemble	I_{x_i}	m ⁴	1,48	13,34	0,43	27,98	0,00	0,00	0,00	0,86	44,10
	I_{y_i}	m ⁴	0,03	0,27	0,00	0,01	3,18	2,54	0,12	43,19	49,33
	I_{xy_i}	m ⁴	-0,21	-1,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,07	3,99
	M_{P_i}	m ⁵	-0,88	-7,43	-0,04	-0,12	-87,01	-61,69	-2,69	19,56	-140,3
	M_{Q_i}	m ⁵	5,84	52,74	2,63	814,53	0,01	0,01	0,00	2,83	878,59

Notation	P_x	P_y	Q_x	Q_y	M_P	M_Q	x_P	y_P	x_Q	y_Q	x_C	y_C
Unité	m ⁴	m ⁴	m ⁴	m ⁴	m ⁵	m ⁵	m	m	m	m	m	m
Valeur	49,33	3,99	3,99	44,10	-140,3	878,59	-35,19	2,84	19,92	-220,33	20,33	4,49

a. Vent normal à la grande face

Notation	H_x	H_y	x_{H_y}	y_{H_x}	M	$\text{tg}2\delta$	δ	H_x	H_y
Unité	t	t	m	m	tm	-	rad	t	t
Valeur	4,00	0,00	0,00	13,88	-37,53	1,53	0,50	3,52	-1,90

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	Somme
Efforts dus à la translation	φ_i	rad	3,50	3,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	3,50	-
	I_{x_i}	m ⁴	1,33	11,96	0,34	21,66	0,72	0,57	0,03	5,35	41,95
	I_{y_i}	m ⁴	0,18	1,65	0,10	6,32	2,46	1,96	0,09	38,71	51,49
	I_{xy_i}	m ⁴	0,49	4,44	0,18	11,70	-1,33	-1,06	-0,05	-14,37	0,00
	$F_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,21	0,01	-3,51	-
	$F_{y'i}$	t	0,03	0,25	0,00	-0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts dus à la rotation	x'_{iG}	m	-16,84	-16,84	14,27	-8,78	17,25	16,94	18,64	-9,73	-
	y'_{iG}	m	23,17	2,81	-21,37	-15,79	-22,91	-19,83	-18,30	-2,06	-
	r_{x_i}	m	23,17	2,81	-21,37	-15,79	-22,91	-19,83	-18,30	-2,06	-
	r_{y_i}	m	16,84	16,84	-14,27	8,78	-17,25	-16,94	-18,64	9,73	-
	J	m ⁶	429	3859	89	2160	1669	999	40	188	9430
	$R_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,20	0,01	0,36	-
	$R_{y'i}$	t	-0,10	-0,91	0,02	-0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts repris par chaque voile	$H_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,41	0,02	-3,15	-
	$H_{y'i}$	t	-0,07	-0,66	0,02	-1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	H_{x_i}	t	-0,01	-0,09	0,00	0,00	0,55	0,41	0,02	3,12	4,00
	H_{y_i}	t	0,07	0,65	0,02	-1,18	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00

b. Vent normal à la petite face

Notation	H_x	H_y	x_{H_y}	y_{H_x}	M	$\text{tg}2\delta$	δ	H_x	H_y
Unité	t	t	m	m	tm	-	rad	t	t
Valeur	0,00	4,20	14,61	0,00	-24,06	1,53	0,50	2,00	3,70

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	Somme
Efforts dus à la translation	φ_i	rad	3,50	3,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	3,50	-
	I_{x_i}	m ⁴	1,33	11,96	0,34	21,66	0,72	0,57	0,03	5,35	41,95
	I_{y_i}	m ⁴	0,18	1,65	0,10	6,32	2,46	1,96	0,09	38,71	51,49
	I_{xy_i}	m ⁴	0,49	4,44	0,18	11,70	-1,33	-1,06	-0,05	-14,37	0,00
	$F_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	-0,02	0,00	-0,25	-
	$F_{y'i}$	t	-0,15	-1,31	0,04	2,69	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts dus à la rotation	x'_{iG}	m	-16,84	-16,84	14,27	-8,78	17,25	16,94	18,64	-9,73	-
	y'_{iG}	m	23,17	2,81	-21,37	-15,79	-22,91	-19,83	-18,30	-2,06	-
	r_{x_i}	m	23,17	2,81	-21,37	-15,79	-22,91	-19,83	-18,30	-2,06	-
	r_{y_i}	m	16,84	16,84	-14,27	8,78	-17,25	-16,94	-18,64	9,73	-
	J	m ⁶	429	3858	89	2160	1668	999	40	188	9430
	$R_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,13	0,01	0,23	-
	$R_{y'i}$	t	-0,06	-0,58	0,02	-0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts repris par chaque voile	$H_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,11	0,00	-0,02	-
	$H_{y'i}$	t	-0,21	-1,89	0,06	2,06	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	H_{x_i}	t	-0,03	-0,26	0,00	0,00	0,16	0,11	0,00	0,02	0,00
	H_{y_i}	t	0,21	1,87	0,06	2,06	0,00	0,00	0,00	0,00	4,20

Annexe III - 2. Etage courant (Partie 2)

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	Somme
Caractéristiques des voiles	t_i	m	0,18	0,18	0,18	0,18	15,87	5,32	4,30	-
	h_i	m	12,22	3,07	3,16	4,79	0,18	0,18	0,18	-
	x_{0i}	m	0,09	5,41	6,94	19,05	7,89	2,84	13,81	-
	y_{0i}	m	9,06	13,68	13,59	10,73	15,22	12,14	0,09	-
	$I_{x'i}$	m ⁴	27,37	0,43	0,47	1,65	0,01	0,00	0,00	-
	$I_{y'i}$	m ⁴	0,01	0,00	0,00	0,00	59,95	2,26	1,19	-
	θ_i	°	180	180	180	180	180	180	180	-
		rad	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	-
Centre de torsion de l'ensemble	I_{x_i}	m ⁴	27,37	0,43	0,47	1,65	0,01	0,00	0,00	29,94
	I_{y_i}	m ⁴	0,01	0,00	0,00	0,00	59,95	2,26	1,19	63,42
	I_{xy_i}	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	M_{P_i}	m ⁵	-0,05	-0,02	-0,02	-0,02	-912,51	-27,42	-0,11	-940,15
	M_{Q_i}	m ⁵	2,46	2,35	3,28	31,40	0,06	0,01	0,03	39,60

Notation	P_x	P_y	Q_x	Q_y	M_P	M_Q	x_P	y_P	x_Q	y_Q	x_C	y_C
Unité	m ⁴	m ⁴	m ⁴	m ⁴	m ⁵	m ⁵	m	m	m	m	m	m
Valeur	63,42	0,00	0,00	29,94	-940,15	39,60	2,29.10 ¹⁷	14,82	1,32	9,65.10 ¹⁵	1,32	14,82

a. Vent normal à la grande face

Notation	H_x	H_y	x_{H_y}	y_{H_x}	M	$\text{tg}2\delta$	δ	H_x	H_y
Unité	t	t	m	m	tm	-	rad	t	t
Valeur	2,20	0,00	0,00	7,66	15,80	0,00	0,00	2,20	0,00

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	Somme
Efforts dus à la translation	φ_i	rad	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	-
	I_{x_i}	m ⁴	27,37	0,43	0,47	1,65	0,01	0,00	0,00	29,94
	I_{y_i}	m ⁴	0,01	0,00	0,00	0,00	59,95	2,26	1,19	63,42
	$I_{x'y_i}$	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$F_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,08	-0,08	-0,04	-
	$F_{y'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts dus à la rotation	x'_{iG}	m	-1,23	4,09	5,62	17,73	6,57	1,52	12,49	-
	y'_{iG}	m	-5,76	-1,14	-1,23	-4,09	0,40	-2,68	-14,73	-
	r_{x_i}	m	-5,76	-1,14	-1,23	-4,09	0,40	-2,68	-14,73	-
	r_{y_i}	m	1,23	-4,09	-5,62	-17,73	-6,57	-1,52	-12,49	-
	J	m ⁶	42	7	15	518	10	16	259	867
	$R_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	-0,11	-0,32	-
	$R_{y'i}$	t	0,61	-0,03	-0,05	-0,53	0,00	0,00	0,00	-
Efforts repris par chaque voile	$H_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,65	-0,19	-0,36	-
	$H_{y'i}$	t	0,61	-0,03	-0,05	-0,53	0,00	0,00	0,00	-
	H_{x_i}	t	0,00	0,00	0,00	0,00	1,65	0,19	0,36	2,20
	H_{y_i}	t	-0,61	0,03	0,05	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00

b. Vent normal à la petite face

Notation	H_x	H_y	x_{H_y}	y_{H_x}	M	$\text{tg}2\delta$	δ	H_x	H_y
Unité	t	t	m	m	tm	-	rad	t	t
Valeur	0,00	3,23	11,21	0,00	31,87	0,00	0,00	0,00	3,23

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	Somme
Efforts dus à la translation	φ_i	rad	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	-
	I_{X_i}	m ⁴	27,37	0,43	0,47	1,65	0,01	0,00	0,00	29,94
	I_{Y_i}	m ⁴	0,01	0,00	0,00	0,00	59,95	2,26	1,19	63,42
	I_{XY_i}	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$F_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	$F_{y'i}$	t	-2,95	-0,05	-0,05	-0,18	0,00	0,00	0,00	-
Efforts dus à la rotation	x'_{iG}	m	-1,23	4,09	5,62	17,73	6,57	1,52	12,49	-
	y'_{iG}	m	-5,76	-1,14	-1,23	-4,09	0,40	-2,68	-14,73	-
	r_{x_i}	m	-5,76	-1,14	-1,23	-4,09	0,40	-2,68	-14,73	-
	r_{y_i}	m	1,23	-4,09	-5,62	-17,73	-6,57	-1,52	-12,49	-
	J	m ⁶	42	7	15	518	10	16	259	867
	$R_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	-0,22	-0,65	-
	$R_{y'i}$	t	1,24	-0,07	-0,10	-1,07	0,00	0,00	0,00	-
Efforts repris par chaque voile	$H_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	-0,22	-0,65	-
	$H_{y'i}$	t	-1,71	-0,11	-0,15	-1,25	0,00	0,00	0,00	-
	H_{x_i}	t	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,87	0,22	0,65	0,00
	H_{y_i}	t	1,71	0,11	0,15	1,25	0,00	0,00	0,00	3,23

Annexe III - 3. Sous-sol (Partie 1)

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Somme
Caractéristiques des voiles	t_i	m	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	29,03	5,44	2,71	14,72	4,59	4,40	-
	h_i	m	27,57	3,07	8,96	5,09	5,25	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	-
	x_{O_i}	m	2,02	6,06	19,33	29,12	29,12	14,61	3,39	2,15	21,80	17,73	6,07	-
	y_{O_i}	m	13,75	25,86	6,79	24,81	13,89	27,40	24,32	22,79	11,22	2,04	0,40	-
	$I_{x'i}$	m ⁴	314,34	0,43	10,79	1,98	2,17	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	-
	$I_{y'i}$	m ⁴	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	366,97	2,41	0,30	47,84	1,45	1,28	-
	θ_i	°	172	0	172	0	0	0	0	0	0	172	172	-
		rad	3,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	3,00	-
Centre de torsion de l'ensemble	I_{x_i}	m ⁴	308,25	0,43	10,58	1,98	2,17	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	323,50
	I_{y_i}	m ⁴	6,10	0,00	0,21	0,00	0,00	366,97	2,41	0,30	47,84	1,42	1,25	426,52
	I_{xy_i}	m ⁴	-43,32	0,00	-1,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,18	-44,43
	M_{P_i}	m ⁵	-171,40	-0,04	-30,18	-0,06	-0,04	-10055	-58,73	-6,80	-536,79	0,64	0,57	-10857
	M_{Q_i}	m ⁵	1218,32	2,63	214,62	57,60	63,21	0,21	0,01	0,00	0,16	0,13	0,09	1556,98

Notation	P_x	P_y	Q_x	Q_y	M_P	M_Q	x_P	y_P	x_Q	y_Q	x_C	y_C
Unité	m ⁴	m ⁴	m ⁴	m ⁴	m ⁵	m ⁵	m	m	m	m	m	m
Valeur	426,52	-44,43	-44,43	323,50	-10857,9	1556,98	244,37	25,46	4,81	35,04	1,34	25,32

a. Poussée normale à la grande face

Notation	H_x	H_y	x_{H_y}	y_{H_x}	M	$\text{tg}2\delta$	δ	H_x	H_y
Unité	t	t	m	m	tm	-	rad	t	t
Valeur	34,48	0,00	0,00	13,88	394,39	-0,86	-0,36	32,32	12,01

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Somme
Efforts dus à la translation	φ_i	rad	2,65	-0,36	2,65	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	2,65	2,65	-
	I_{X_i}	m ⁴	243,28	0,38	8,35	1,74	1,91	44,56	0,30	0,04	5,81	0,33	0,29	306,98
	I_{Y_i}	m ⁴	71,07	0,05	2,44	0,24	0,27	322,43	2,12	0,26	42,04	1,12	0,99	443,04
	I_{XY_i}	m ⁴	-131,48	-0,14	-4,51	-0,65	-0,71	119,84	0,79	0,10	15,62	0,61	0,53	0,00
	$F_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,10	0,20	0,02	3,92	-0,12	-0,11	-
	$F_{y'i}$	t	0,08	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts dus à la rotation	x'_{iG}	m	-0,93	-4,72	15,24	-27,78	-27,78	-13,27	-2,05	-0,81	-20,46	13,00	1,22	-
	y'_{iG}	m	-11,55	-0,54	-20,85	0,51	11,43	-2,08	1,00	2,53	14,10	-25,33	-25,33	-
	r_{x_i}	m	-11,55	-0,54	-20,85	0,51	11,43	-2,08	1,00	2,53	14,10	-25,33	-25,33	-
	r_{y_i}	m	0,93	4,72	-15,24	27,78	27,78	13,27	2,05	0,81	20,46	-13,00	-1,22	-
	J	m ⁶	275	10	2508	1527	1676	1594	2	2	9511	931	820	18857
	$R_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-15,98	0,05	0,02	14,11	-0,77	-0,68	-
	$R_{y'i}$	t	6,13	0,04	-3,44	1,15	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts repris par chaque voile	$H_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,11	0,25	0,04	18,03	-0,89	-0,78	-
	$H_{y'i}$	t	6,21	0,05	-3,44	1,17	1,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	H_{x_i}	t	0,87	0,00	-0,48	0,00	0,00	14,11	0,25	0,04	18,03	0,88	0,78	34,48
	H_{y_i}	t	-6,15	0,05	3,40	1,17	1,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,11	0,00

b. Poussée normale à la petite face

Notation	H_x	H_y	x_{H_y}	y_{H_x}	M	$\text{tg}2\delta$	δ	H_x	H_y
Unité	t	t	m	m	tm	-	rad	t	t
Valeur	0,00	36,28	14,61	0,00	481,45	-0,86	-0,36	-12,64	34,01

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Somme
Efforts dus à la translation	φ_i	rad	2,65	-0,36	2,65	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	2,65	2,65	-
	I_{X_i}	m ⁴	243,28	0,38	8,35	1,74	1,91	44,56	0,30	0,04	5,81	0,33	0,29	306,98
	I_{Y_i}	m ⁴	71,07	0,05	2,44	0,24	0,27	322,43	2,12	0,26	42,04	1,12	0,99	443,04
	I_{XY_i}	m ⁴	-131,48	-0,14	-4,51	-0,65	-0,71	119,84	0,79	0,10	15,62	0,61	0,53	0,00
	$F_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,35	0,03	0,00	0,57	-0,04	-0,04	-
	$F_{y'i}$	t	-34,90	0,05	-1,20	0,23	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts dus à la rotation	x'_{iG}	m	-0,93	-4,72	15,24	-27,78	-27,78	-13,27	-2,05	-0,81	-20,46	13,00	1,22	-
	y'_{iG}	m	-11,55	-0,54	-20,85	0,51	11,43	-2,08	1,00	2,53	14,10	-25,33	-25,33	-
	r_{x_i}	m	-11,55	-0,54	-20,85	0,51	11,43	-2,08	1,00	2,53	14,10	-25,33	-25,33	-
	r_{y_i}	m	0,93	4,72	-15,24	27,78	27,78	13,27	2,05	0,81	20,46	-13,00	-1,22	-
	J	m ⁶	275	10	2508	1527	1676	1594	2	2	9511	931	820	18857
	$R_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-19,51	0,06	0,02	17,22	-0,94	-0,83	-
	$R_{y'i}$	t	7,48	0,05	-4,20	1,40	1,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts repris par chaque voile	$H_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-15,16	0,09	0,02	17,79	-0,98	-0,86	-
	$H_{y'i}$	t	-27,42	0,10	-5,40	1,63	1,79	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	H_{x_i}	t	-3,81	0,00	-0,75	0,00	0,00	-15,16	0,09	0,02	17,79	0,97	0,85	0,00
	H_{y_i}	t	27,15	0,10	5,34	1,63	1,79	0,01	0,00	0,00	0,00	0,14	0,12	36,28

c. Surcharge normale à la grande face

Notation	H_x	H_y	x_{H_y}	y_{H_x}	M	$\text{tg}2\delta$	δ	H_x	H_y
Unité	t	t	m	m	tm	-	rad	t	t
Valeur	9,47	0,00	0,00	13,88	108,35	-0,86	-0,36	8,88	3,30

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Somme
Efforts dus à la translation	φ_i	rad	2,65	-0,36	2,65	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	2,65	2,65	-
	I_{x_i}	m ⁴	243,28	0,38	8,35	1,74	1,91	44,56	0,30	0,04	5,81	0,33	0,29	306,98
	I_{y_i}	m ⁴	71,07	0,05	2,44	0,24	0,27	322,43	2,12	0,26	42,04	1,12	0,99	443,04
	I_{xy_i}	m ⁴	-131,48	-0,14	-4,51	-0,65	-0,71	119,84	0,79	0,10	15,62	0,61	0,53	0,00
	$F_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,27	0,05	0,01	1,08	-0,03	-0,03	-
	$F_{y'i}$	t	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts dus à la rotation	x'_{ic}	m	-0,93	-4,72	15,24	-27,78	-27,78	-13,27	-2,05	-0,81	-20,46	13,00	1,22	-
	y'_{ic}	m	-11,55	-0,54	-20,85	0,51	11,43	-2,08	1,00	2,53	14,10	-25,33	-25,33	-
	r_{x_i}	m	-11,55	-0,54	-20,85	0,51	11,43	-2,08	1,00	2,53	14,10	-25,33	-25,33	-
	r_{y_i}	m	0,93	4,72	-15,24	27,78	27,78	13,27	2,05	0,81	20,46	-13,00	-1,22	-
	J	m ⁶	275	10	2508	1527	1676	1594	2	2	9511	931	820	18857
	$R_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,39	0,01	0,00	3,88	-0,21	-0,19	-
	$R_{y'i}$	t	1,68	0,01	-0,94	0,32	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts repris par chaque voile	$H_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,88	0,07	0,01	4,95	-0,24	-0,22	-
	$H_{y'i}$	t	1,71	0,01	-0,94	0,32	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	H_{x_i}	t	0,24	0,00	-0,13	0,00	0,00	3,88	0,07	0,01	4,95	0,24	0,21	9,47
	H_{y_i}	t	-1,69	0,01	0,94	0,32	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00

d. Surcharge normale à la petite face

Notation	H_x	H_y	x_{H_y}	y_{H_x}	M	$\text{tg}2\delta$	δ	H_x	H_y
Unité	t	t	m	m	tm	-	rad	t	t
Valeur	0,00	9,97	14,65	0,00	132,27	-0,86	-0,36	-3,47	9,34

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Somme
Efforts dus à la translation	φ_i	rad	2,65	-0,36	2,65	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	2,65	2,65	-
	I_{X_i}	m ⁴	243,28	0,38	8,35	1,74	1,91	44,56	0,30	0,04	5,81	0,33	0,29	306,98
	I_{Y_i}	m ⁴	71,07	0,05	2,44	0,24	0,27	322,43	2,12	0,26	42,04	1,12	0,99	443,04
	I_{XY_i}	m ⁴	-131,48	-0,14	-4,51	-0,65	-0,71	119,84	0,79	0,10	15,62	0,61	0,53	0,00
	$F_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19	0,01	0,00	0,16	-0,01	-0,01	-
	$F_{y'i}$	t	-9,59	0,01	-0,33	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts dus à la rotation	x'_{iG}	m	-0,93	-4,72	15,24	-27,78	-27,78	-13,27	-2,05	-0,81	-20,46	13,00	1,22	-
	y'_{iG}	m	-11,55	-0,54	-20,85	0,51	11,43	-2,08	1,00	2,53	14,10	-25,33	-25,33	-
	r_{x_i}	m	-11,55	-0,54	-20,85	0,51	11,43	-2,08	1,00	2,53	14,10	-25,33	-25,33	-
	r_{y_i}	m	0,93	4,72	-15,24	27,78	27,78	13,27	2,05	0,81	20,46	-13,00	-1,22	-
	J	m ⁶	275	10	2508	1527	1676	1594	2	2	9511	931	820	18857
	$R_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,36	0,02	0,01	4,73	-0,26	-0,23	-
	$R_{y'i}$	t	2,06	0,01	-1,15	0,39	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts repris par chaque voile	$H_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,17	0,02	0,01	4,89	-0,27	-0,24	-
	$H_{y'i}$	t	-7,53	0,03	-1,48	0,45	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	H_{x_i}	t	-1,05	0,00	-0,21	0,00	0,00	-4,17	0,02	0,01	4,89	0,27	0,23	0,00
	H_{y_i}	t	7,46	0,03	1,47	0,45	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	9,97

Annexe III - 4. Sous-sol (Partie 2)

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Somme
Caractéristiques des voiles	t_i	m	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	22,23	6,85	5,41	3,27	18,96	-
	h_i	m	4,59	4,75	3,07	4,21	16,18	6,00	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	-
	x_{O_i}	m	0,09	0,09	5,41	6,94	19,05	22,32	11,21	3,52	2,84	20,69	9,57	-
	y_{O_i}	m	13,98	2,76	13,68	14,12	8,18	13,23	16,27	15,22	12,14	10,77	0,09	-
	I_{x_i}	m ⁴	1,45	1,61	0,43	1,12	63,54	3,24	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	-
	I_{y_i}	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	164,78	4,82	2,38	0,52	102,24	-
	θ_i	°	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	-
		rad	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	-
Centre de torsion de l'ensemble	I_{x_i}	m ⁴	1,45	1,61	0,43	1,12	63,54	3,24	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	71,42
	I_{y_i}	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	164,78	4,82	2,38	0,52	102,24	274,76
	I_{xy_i}	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	M_{P_i}	m ⁵	-0,03	-0,01	-0,02	-0,03	-0,06	-0,04	-2681,00	-73,38	-28,83	-5,65	-9,20	-2798,26
	M_{Q_i}	m ⁵	0,13	0,14	2,35	7,77	1210,38	72,32	0,12	0,01	0,01	0,03	0,09	1293,35

Notation	P_x	P_y	Q_x	Q_y	M_P	M_Q	x_P	y_P	x_Q	y_Q	x_C	y_C
Unité	m ⁴	m ⁴	m ⁴	m ⁴	m ⁵	m ⁵	m	m	m	m	m	m
Valeur	274,76	0,00	0,00	71,42	-2798,26	1293,35	1,12.10 ¹⁷	10,18	18,11	5,19.10 ¹⁶	18,11	10,18

a. Poussée normale à la grande face

Notation	H_x	H_y	x_{Hy}	y_{Hx}	M	$\text{tg}2\delta$	δ	H_x	H_y
Unité	t	t	m	m	tm	-	rad	t	t
Valeur	19,02	0,00	0,00	7,66	48,10	0,00	0,00	19,02	0,00

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Somme
Efforts dus à la translation	φ_i	rad	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	-
	I_{x_i}	m ⁴	1,45	1,61	0,43	1,12	63,54	3,24	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	71,42
	I_{y_i}	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	164,78	4,82	2,38	0,52	102,24	274,76
	I_{xy_i}	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$F_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-11,41	-0,33	-0,16	-0,04	-7,08	-
	$F_{y'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts dus à la rotation	x'_{ic}	m	-18,02	-18,02	-12,70	-11,17	0,94	4,21	-6,90	-14,59	-15,27	2,58	-8,54	-
	y'_{ic}	m	3,80	-7,42	3,50	3,94	-2,00	3,05	6,09	5,04	1,96	0,59	-10,09	-
	r_{x_i}	m	3,80	-7,42	3,50	3,94	-2,00	3,05	6,09	5,04	1,96	0,59	-10,09	-
	r_{y_i}	m	18,02	18,02	12,70	11,17	-0,94	-4,21	6,90	14,59	15,27	-2,58	8,54	-
	J	m ⁶	471	522	70	140	56	57	6103	123	10	0	10418	17971
	$R_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,68	0,06	0,01	0,00	-2,76	-
	$R_{y'i}$	t	0,07	0,08	0,01	0,03	-0,16	-0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts repris par chaque voile	$H_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,72	-0,27	-0,15	-0,04	-9,84	-
	$H_{y'i}$	t	0,07	0,08	0,01	0,03	-0,16	-0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	H_{x_i}	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,72	0,27	0,15	0,04	9,84	19,02
	H_{y_i}	t	-0,07	-0,08	-0,01	-0,03	0,16	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

b. Poussée normale à la petite face

Notation	H_x	H_y	x_{Hy}	y_{Hx}	M	$\text{tg}2\delta$	δ	H_x	H_y
Unité	t	t	m	m	tm	-	rad	t	t
Valeur	0,00	27,84	11,21	0,00	-192,21	0,00	0,00	0,00	27,84

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Somme
Efforts dus à la translation	φ_i	rad	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	-
	I_{x_i}	m ⁴	1,45	1,61	0,43	1,12	63,54	3,24	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	71,42
	I_{y_i}	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	164,78	4,82	2,38	0,52	102,24	274,76
	I_{xy_i}	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$F_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	$F_{y'i}$	t	-0,57	-0,63	-0,17	-0,44	-24,77	-1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts dus à la rotation	x'_{ic}	m	-18,02	-18,02	-12,70	-11,17	0,94	4,21	-6,90	-14,59	-15,27	2,58	-8,54	-
	y'_{ic}	m	3,50	-7,42	3,50	3,94	-2,00	3,05	6,09	5,04	1,96	0,59	-10,09	-
	r_{x_i}	m	3,50	-7,42	3,50	3,94	-2,00	3,05	6,09	5,04	1,96	0,59	-10,09	-
	r_{y_i}	m	18,02	18,02	12,70	11,17	-0,94	-4,21	6,90	14,59	15,27	-2,58	8,54	-
	J	m ⁶	471	522	70	140	56	57	6103	123	10	0	10418	17971
	$R_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-10,73	-0,26	-0,05	0,00	11,04	-
	$R_{y'i}$	t	-0,28	-0,31	-0,06	-0,13	0,64	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts repris par chaque voile	$H_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-10,73	-0,26	-0,05	0,00	11,04	-
	$H_{y'i}$	t	-0,84	-0,94	-0,23	-0,57	-24,13	-1,12	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	H_{x_i}	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,73	0,26	0,05	0,00	-11,04	0,00
	H_{y_i}	t	0,84	0,94	0,23	0,57	24,13	1,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	27,84

c. Surcharge normale à la grande face

Notation	H_x	H_y	x_{H_y}	y_{H_x}	M	$\text{tg}2\delta$	δ	H_x	H_y
Unité	t	t	m	m	tm	-	rad	t	t
Valeur	5,22	0,00	0,00	7,66	13,22	0,00	0,00	5,22	0,00

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Somme
Efforts dus à la translation	φ_i	rad	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	-
	I_{x_i}	m ⁴	1,45	1,61	0,43	1,12	63,54	3,24	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	71,42
	I_{y_i}	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	164,78	4,82	2,38	0,52	102,24	274,76
	I_{xy_i}	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$F_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,13	-0,09	-0,05	-0,01	-1,94	-
	$F_{y'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts dus à la rotation	x'_{ic}	m	-18,02	-18,02	-12,70	-11,17	0,94	4,21	-6,90	-14,59	-15,27	2,58	-8,54	-
	y'_{ic}	m	3,80	-7,42	3,50	3,94	-2,00	3,05	6,09	5,04	1,96	0,59	-10,09	-
	r_{x_i}	m	3,80	-7,42	3,50	3,94	-2,00	3,05	6,09	5,04	1,96	0,59	-10,09	-
	r_{y_i}	m	18,02	18,02	12,70	11,17	-0,94	-4,21	6,90	14,59	15,27	-2,58	8,54	-
	J	m ⁶	471	522	70	140	56	57	6103	123	10	0	10418	17971
	$R_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,02	0,00	0,00	-0,76	-
	$R_{y'i}$	t	0,02	0,02	0,00	0,01	-0,04	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts repris par chaque voile	$H_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,40	-0,07	-0,04	-0,01	-2,70	-
	$H_{y'i}$	t	0,02	0,02	0,00	0,01	-0,04	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	H_{x_i}	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40	0,07	0,04	0,01	2,70	5,22
	H_{y_i}	t	-0,02	-0,02	0,00	-0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

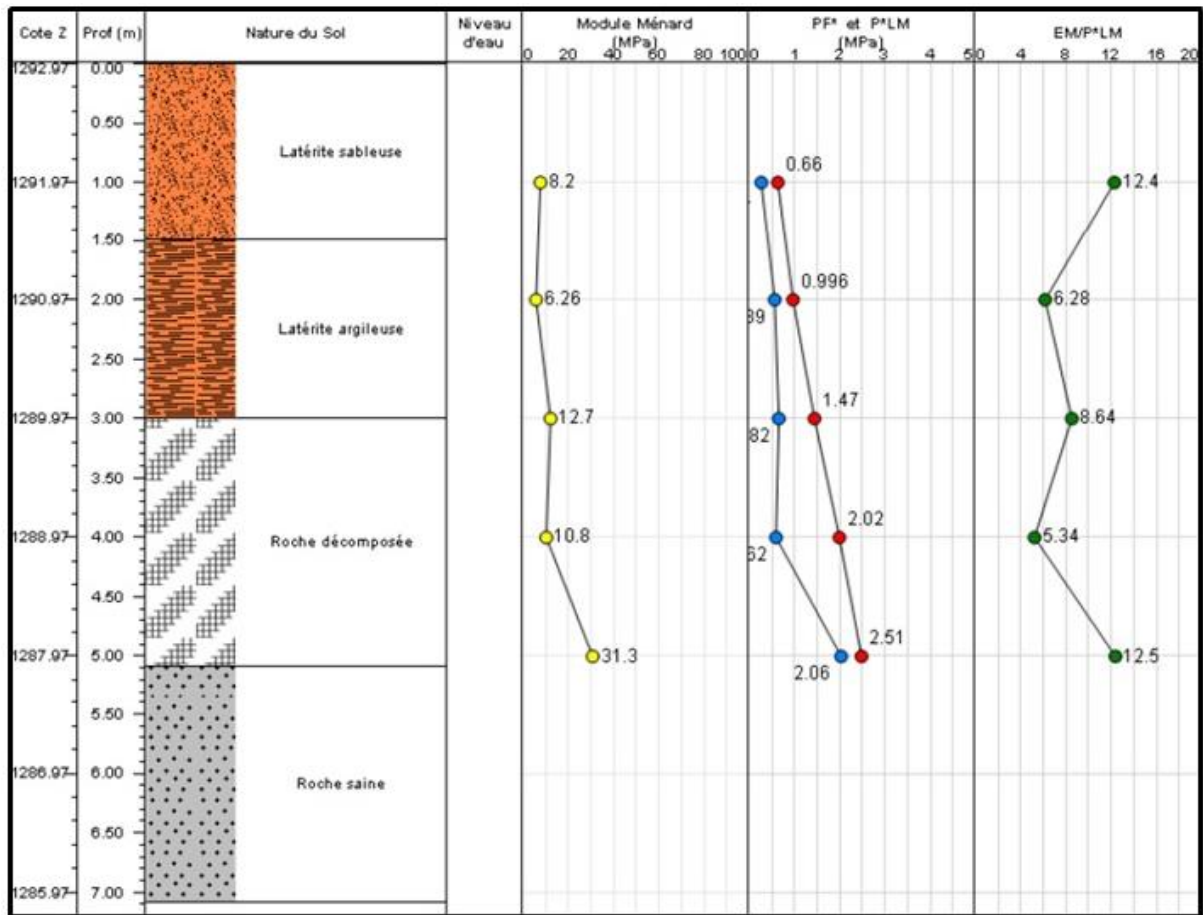
d. Surcharge normale à la petite face

Notation	H_x	H_y	x_{H_y}	y_{H_x}	M	$\text{tg}2\delta$	δ	H_x	H_y
Unité	t	t	m	m	tm	-	rad	t	t
Valeur	0,00	7,65	11,21	0,00	-52,81	0,00	0,00	0,00	7,65

	Notation	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Somme
Efforts dus à la translation	φ_i	rad	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	-
	I_{x_i}	m ⁴	1,45	1,61	0,43	1,12	63,54	3,24	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	71,42
	I_{y_i}	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	164,78	4,82	2,38	0,52	102,24	274,76
	I_{xy_i}	m ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$F_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	$F_{y'i}$	t	-0,16	-0,17	-0,05	-0,12	-6,80	-0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts dus à la rotation	x'_{iG}	m	-18,02	-18,02	-12,70	-11,17	0,94	4,21	-6,90	-14,59	-15,27	2,58	-8,54	-
	y'_{iG}	m	3,50	-7,42	3,50	3,94	-2,00	3,05	6,09	5,04	1,96	0,59	-10,09	-
	r_{x_i}	m	3,50	-7,42	3,50	3,94	-2,00	3,05	6,09	5,04	1,96	0,59	-10,09	-
	r_{y_i}	m	18,02	18,02	12,70	11,17	-0,94	-4,21	6,90	14,59	15,27	-2,58	8,54	-
	J	m ⁶	471	522	70	140	56	57	6103	123	10	0	10418	17971
	$R_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,95	-0,07	-0,01	0,00	3,03	-
	$R_{y'i}$	t	-0,08	-0,09	-0,02	-0,04	0,18	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Efforts repris par chaque voile	$H_{x'i}$	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,95	-0,07	-0,01	0,00	3,03	-
	$H_{y'i}$	t	-0,23	-0,26	-0,06	-0,16	-6,63	-0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	H_{x_i}	t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,95	0,07	0,01	0,00	-3,03	0,00
	H_{y_i}	t	0,23	0,26	0,06	0,16	6,63	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,65

ANNEXE IV. DIMENSIONNEMENT

Annexe IV - 1. Sondage pressiométrique



Annexe IV - 2. Répartition du moment du au vent

a. Calcul du moment d'inertie

	Notation	Unité	1	2
Epaisseur	t_i	m	0,18	0,18
Longueur	l_i	m	4,13	2,34
Centre de gravité	x_{0i}	m	2,06	11,14
Aire	S_i	m ²	0,74	0,42
Inertie principale	I_{x_i}	m ⁴	1,05	0,19
Moments statiques	$S_i x_{0i}$	m ³	1,53	4,69
Inerties par rapport à G	d_i	m	3,28	5,79
	d_i^2	m ²	10,78	33,51
	$S_i d_i^2$	m ⁴	8,01	14,11
	I_i	m ⁴	9,06	14,31

$$x'_G = \frac{\sum S_i x_{0i}}{\sum S_i} = 5,35m$$

$$I = \sum I_i = 23,37m^4$$

G : centre de gravité de l'ensemble des voiles

b. Détermination des efforts

		Notation	Unité	1	2	3	4
Coordonnées des voiles		x_i	m	0,00	4,13	9,97	12,31
Position par rapport à G		v_i	m	-5,35	-1,22	4,62	6,96
Module d'inertie		$\omega_i = \frac{v_i}{I}$	m ⁻³	-4,37	-19,13	5,06	3,36
Charges	Voile 1	q_i	t/m	-6,60	-1,51	5,71	8,60
	Voile 2			-4,52	-1,03	3,91	5,89

$M_1 = 160,36\text{tm}$ et $M_2 = 109,79\text{tm}$

L = 4,13m	Notation	Unité	Voile 1		Voile 2	
			Rectangle	Triangle	Rectangle	Triangle
Largeur	t_i	m	-1,51	-5,10	-1,03	-3,49
Longueur	l_i	m	4,13	4,13	4,13	4,13
Centre de gravité	x_{0i}	m	2,06	1,38	2,06	1,38
Aire	S_i	m ²	-6,22	-10,51	-4,26	-7,20
Inerties principales	I_{x_i}	m ⁴	-8,82	-29,81	-6,04	-20,41
Moments statiques	$S_i x_{0i}$	m ³	-12,84	-14,45	-8,79	-9,89
Position de C	x'_C	m	1,63		1,63	

C : point d'application de la résultante N_w

Annexe IV - 3. Excentricité de la semelle

a = 0,40m	Notation	Unité	Voile 1	Voile 2
Largeur	t_i	m	0,18	0,18
Longueur	l_i	m	5,18	5,18
Centre de gravité	x_{0i}	m	0,09	0,31
Effort	N_i	t	101,36	69,06
Moments statiques	$N_i x_{0i}$	tm	9,12	21,41
Position de C	x_C	m	0,18	

e = 0,02m

C : point d'application de la résultante

Annexe IV - 4. Longueurs de scellement, valeurs de I_s/Φ

f_{c28} [MPa]	16	18	20	25	30	40	50	60
Fe E 400	47,5	44,1	41,2	35,3	30,9	24,7	20,6	17,6
Fe E 500	59,4	55,1	51,4	<u>44,1</u>	38,6	30,9	25,7	22,0

Annexe IV - 5. Calcul de la longueur de flambement, valeurs de I'_f/I

I'_f/I		Mur armé verticalement	Mur non armé verticalement
Mur encastré en tête et en pied	Avec un plancher de part et d'autre	0,80	0,85
	Avec un plancher d'un seul côté	0,85	0,90
Mur articulé en tête et en pied		1,00	<u>1,00</u>

Annexe IV - 6. Caractéristiques des aciers à l'ELU

Nuance	Combinaisons durables ou transitoires ($\gamma_s = 1,15$)				Combinaisons accidentelles ($\gamma_s = 1$)			
	f_e/γ_s MPa	ϵ_{sc} ‰	α_{lim}	μ_{lim}	f_e/γ_s MPa	ϵ_{sc} ‰	α_{lim}	μ_{lim}
Fe E 215	189	0,935	0,789	0,429	215	1,075	0,765	0,422
Fe E 235	204	1,022	0,774	0,425	235	1,175	0,749	0,418
Fe E 400	348	1,739	0,668	0,391	400	2,000	0,636	0,379
Fe E 500	435	2,174	0,617	0,371	500	2,500	0,683	0,358

Annexe IV - 7. Valeurs limites des contraintes tangentes ultimes ($\gamma_b = 1,5$)

f_{c28} MPa	Armatures droites		Armatures à 45°	Pièces comprimées
	FPP	FP ou FTP	FPP, FP ou FTP	FPP, FP ou FTP
-	$0,2 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 5\text{MPa}$	$0,15 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 4\text{MPa}$	$0,27 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 7\text{MPa}$	$0,06 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 1,5\text{MPa}$
16	2,13	1,60	2,88	0,64
18	2,40	1,80	3,24	0,72
20	2,67	2,00	3,60	0,80
25	3,33	2,50	4,50	1,00
30	4,00	3,00	5,40	1,20
40	5,00	4,00	7,00	1,50
50	5,00	4,00	7,00	1,50

Annexe IV - 8. Calcul des moments a l'ELU, coefficients μ_x et μ_y

α	$v = 0$		$v = 2$	
	μ_x	μ_y	μ_x	μ_y
0,40	0,1101	0,2500	0,1121	0,0285
0,41	0,1088	0,2500	0,1110	0,2924
0,42	0,1075	0,2500	0,1098	0,3000
0,43	0,1062	0,2500	0,1087	0,3077
0,44	0,1049	0,2500	0,1075	0,3155
0,45	0,1036	0,2500	0,1063	0,3234
0,46	0,1022	0,2500	0,1051	0,3319
0,47	0,1008	0,2500	0,1038	0,3402
0,48	0,0994	0,2500	0,1026	0,3491
0,49	0,0980	0,2500	0,1013	0,3580
0,50	0,0966	0,2500	0,1000	0,3671
0,51	0,0951	0,2500	0,0987	0,3758
0,52	0,0937	0,2500	0,0974	0,3853
0,53	0,0922	0,2500	0,0961	0,3949
0,54	0,0908	0,2500	0,0948	0,4050
0,55	0,0894	0,2500	0,0936	0,4150
0,56	0,0880	0,2500	0,0923	0,4254
0,57	0,0865	0,2582	0,0910	0,4357
0,58	0,0851	0,2703	0,0897	0,4462
0,59	0,0836	0,2822	0,0884	0,4565
0,60	0,0822	0,2948	0,0870	0,4672
0,61	0,0808	0,3075	0,0857	0,4781
0,62	0,0794	0,3205	0,0844	0,4892
0,63	0,0779	0,3338	0,0831	0,5004
0,64	0,0765	0,3472	0,0819	0,5117
0,65	0,0751	0,3613	0,0805	0,5235
0,66	0,0737	0,3753	0,0792	0,5351
0,67	0,0723	0,3895	0,0780	0,5469
0,68	0,0710	0,4034	0,0770	0,5584
0,69	0,0697	0,4181	0,0755	0,5704
0,70	0,0684	0,4320	0,0741	0,5817
0,71	0,0671	0,4471	0,0731	0,5940
0,72	0,0658	0,4674	0,0719	0,6063
0,73	0,0646	0,4780	0,0708	0,6188
0,74	0,0633	0,4938	0,0696	0,6315
0,75	0,0621	0,5105	0,0684	0,6447
0,76	0,0608	0,5274	0,0672	0,6580
0,77	0,0596	0,5440	0,0661	0,6710
0,78	0,0584	0,5608	0,0650	0,6841
0,79	0,0573	0,5786	0,0639	0,6928
0,80	0,0561	0,5959	0,0628	0,7111
0,81	0,0550	0,6135	0,0617	0,7246
0,82	0,0539	0,6313	0,0607	0,7381
0,83	0,0528	0,6494	0,0596	0,7588
0,84	0,0517	0,6678	0,0586	0,7655
0,85	0,0506	0,6867	0,0526	0,7294
0,86	0,0496	0,7052	0,0566	0,7933
0,87	0,0486	0,7244	0,5560	0,8024
0,88	0,0476	0,7438	0,0546	0,8216
0,89	0,0466	0,7635	0,0537	0,8358
0,90	0,0456	0,7834	0,0528	0,8502
0,91	0,0447	0,8036	0,0518	0,8646
0,92	0,0437	0,8251	0,0509	0,8799
0,93	0,0428	0,8420	0,0500	0,8939
0,94	0,0419	0,8661	0,0491	0,9087
0,95	0,0410	0,8875	0,0483	0,9236
0,96	0,0401	0,9092	0,0474	0,9305
0,97	0,0392	0,9322	0,0465	0,9543
0,98	0,0384	0,9545	0,0457	0,9694
0,99	0,0376	0,9778	0,0449	0,9847
1,00	0,0368	1,0000	0,0441	1,0000

Annexe IV - 9. Valeurs de β_1 , k , ρ_1 en fonction de μ_1

μ_1	β_1	k	ρ_1	μ_1	β_1	k	ρ_1	μ_1	β_1	k	ρ_1
0,5222	0,680	1,600	76,80	0,0394	0,770	0,148	5,12	0,0087	0,860	0,048	1,01
0,4498	0,682	0,382	65,95	0,0381	0,772	0,144	4,93	0,0084	0,862	0,047	1,00
0,3940	0,684	0,215	57,61	0,0368	0,774	0,140	4,76	0,0081	0,864	0,0446	0,94
0,3498	0,686	0,082	51,00	0,0356	0,776	0,137	4,59	0,0078	0,866	0,045	0,90
0,3139	0,688	0,975	45,63	0,0344	0,778	0,133	4,44	0,0075	0,868	0,044	0,87
0,2842	0,690	0,886	41,19	0,0333	0,800	0,129	4,27	0,0072	0,870	0,043	0,83
0,2591	0,692	0,812	37,45	0,0322	0,782	0,126	4,12	0,0070	0,872	0,042	0,80
0,2377	0,694	0,746	34,26	0,0312	0,784	0,123	4,00	0,0067	0,874	0,041	0,77
0,2193	0,696	0,691	31,51	0,0302	0,786	0,120	3,84	0,0064	0,846	0,039	0,73
0,2032	0,698	0,642	29,11	0,0292	0,788	0,117	3,70	0,0061	0,878	0,038	0,70
0,1890	0,000	0,600	27,00	0,0282	0,790	0,114	3,58	0,0059	0,880	0,037	0,67
0,1764	0,702	0,562	25,13	0,0273	0,792	0,111	3,45	0,0057	0,882	0,037	0,65
0,1652	0,704	0,528	23,47	0,0265	0,794	0,108	3,33	0,0055	0,884	0,036	0,62
0,1551	0,706	0,498	21,97	0,0256	0,796	0,105	3,22	0,0052	0,886	0,035	0,59
0,1460	0,708	0,472	20,63	0,0248	0,798	0,103	3,11	0,0050	0,888	0,034	0,57
0,1378	0,710	0,446	19,41	0,0240	0,800	0,100	3,00	0,0048	0,890	0,033	0,54
0,1303	0,712	0,420	18,30	0,0232	0,802	0,010	2,90	0,0046	0,892	0,032	0,52
0,1233	0,714	0,403	17,28	0,0225	0,804	0,095	2,80	0,0044	0,894	0,031	0,49
0,1170	0,716	0,384	16,35	0,0218	0,806	0,093	2,70	0,0042	0,896	0,030	0,47
0,1112	0,718	0,366	15,49	0,0211	0,808	0,091	2,61	0,0040	0,898	0,029	0,45
0,1058	0,720	0,350	14,71	0,0204	0,810	0,088	2,52	0,0038	0,900	0,029	0,43
0,1008	0,722	0,335	13,97	0,0197	0,812	0,086	2,43	0,0034	0,905	0,027	0,38
0,0962	0,724	0,321	13,29	0,0191	0,814	0,084	2,35	0,0030	0,910	0,025	0,33
0,0919	0,726	0,308	12,65	0,0185	0,816	0,082	2,27	0,0026	0,915	0,023	0,29
0,0878	0,728	0,296	12,06	0,0179	0,818	0,080	2,19	0,0023	0,920	0,021	0,25
0,0840	0,730	0,284	11,51	0,0173	0,820	0,078	2,11	0,0020	0,925	0,019	0,22
0,0805	0,732	0,273	10,99	0,0168	0,822	0,076	2,04	0,0017	0,930	0,018	0,19
0,0771	0,734	0,263	10,51	0,0162	0,824	0,075	1,97	0,0015	0,935	0,016	0,16
0,0740	0,736	0,254	10,05	0,0157	0,826	0,073	1,90	0,0012	0,940	0,015	0,13
0,0710	0,738	2,245	9,62	0,0152	0,828	0,071	1,83	0,0010	0,945	0,013	0,11
0,0682	0,740	0,236	9,22	0,0147	0,830	0,069	1,77	0,0008	0,950	0,012	0,09
0,0656	0,742	0,228	8,84	0,0142	0,832	0,068	1,71	0,0007	0,955	0,010	0,07
0,0630	0,744	0,221	8,47	0,0137	0,834	0,066	1,65	0,0005	0,960	0,009	0,05
0,0606	0,746	0,214	8,13	0,0133	0,836	0,065	1,59	0,0004	0,965	0,008	0,04
0,0574	0,748	0,207	7,81	0,0128	0,838	0,063	1,53	0,0003	0,970	0,007	0,03
0,0562	0,785	0,200	7,50	0,0124	0,840	0,062	1,48	0,0020	0,975	0,005	0,02
0,0542	0,752	0,194	7,21	0,0120	0,842	0,060	1,42	0,0001	0,980	0,004	0,01
0,0522	0,754	0,188	6,93	0,0116	0,844	0,059	1,37	0,0000	0,990	0,002	0,00
0,0504	0,756	0,182	6,66	0,0112	0,846	0,057	1,32				
0,0486	0,758	0,177	6,41	0,0108	0,848	0,056	1,27				
0,0469	0,760	0,171	6,17	0,0104	0,850	0,055	1,23				
0,0453	0,762	0,166	5,94	0,0101	0,852	0,053	1,18				
0,0437	0,764	0,161	5,72	0,0097	0,854	0,052	1,14				
0,0422	0,766	0,157	5,51	0,0094	0,856	0,051	1,10				
0,0408	0,768	0,153	5,31	0,0090	0,858	0,049	1,05				

ANNEXE V. CALCUL AU FEU

Annexe V - 1. Température des aciers

b = 16 S.F. = 1h

205	275	405	600
205	275	405	600
210	280	410	600
220	285	415	605
235	295	425	610
260	325	445	625
310	365	480	645
390	440	535	680
505	545	620	730
665	685	735	805

b = 16 S.F. = 2h

470	525	620	760
475	530	625	760
485	535	630	765
505	550	645	770
525	570	660	785
560	605	685	800
610	645	720	820
670	705	765	850
750	775	825	885
850	865	890	920

b = 20 S.F. = 1h

115	160	255	405	600
115	165	260	405	600
120	165	260	405	600
130	175	270	410	605
150	195	285	425	615
185	225	310	445	625
240	280	360	480	650
330	365	435	540	685
465	490	540	628	735
640	655	685	735	805

b = 20 S.F. = 2h

335	380	465	590	745
345	390	475	595	750
360	400	485	605	755
380	420	500	615	760
410	450	525	635	775
455	490	560	665	790
520	550	610	700	815
600	625	675	750	850
700	720	755	815	885
815	830	855	890	920

Annexe V - 2. Température des aciers dans une dalle

u	Exposition au feu en heures						
cm	0,5	1	1,5	2	3	4	6
0	460	670	760	815	890	935	1000
0,5	4220	6625	720	775	850	905	970
1	380	580	680	740	820	875	940
1,5	340	540	40	700	785	840	910
2	300	495	600	660	750	810	880
2,5	270	450	555	625	710	775	855
3	215	400	520	590	680	740	825
3,5	180	360	475	550	640	710	800
4	-	315	435	510	605	675	770
4,5	-	270	400	485	570	645	740
5	-	235	360	440	535	615	720
5,5	-	200	325	405	500	585	690
6	-	175	295	375	475	555	660
6,5	-	-	265	340	440	530	635
7	-	-	235	320	420	500	615
7,5	-	-	200	290	400	480	585
8	-	-	185	265	375	455	560

Annexe V - 3. Température moyenne du béton

M	Exposition au feu en heures					
l/cm	0,5	1	1,5	2	3	4
0,05	-	125	180	230	330	425
0,06	100	155	225	290	400	480
0,07	120	185	270	330	450	540
0,08	130	215	305	380	505	590
0,09	150	245	345	430	555	640
0,10	160	270	380	470	600	680
0,11	175	290	415	510	640	715
0,12	190	320	450	540	675	760
0,13	205	345	475	570	700	790
0,14	215	370	505	595	725	820
0,15	230	390	525	615	745	845
0,16	245	415	550	630	760	860
0,17	255	440	565	650	775	875
0,18	270	460	580	660	785	885
0,19	280	480	600	680	800	895
0,20	295	500	610	690	805	900
0,21	310	510	620	700	815	910
0,22	315	525	630	710	825	915
0,23	325	530	640	715	830	920
0,24	335	540	650	720	835	9255
0,25	345	545	655	725	840	930

Annexe V - 4. Mur chauffé sur une face, température moyenne

a	Exposition au feu en heures						
cm	0,5	1	1,5	2	3	4	6
10	280	350	410	460	540	610	720
12	280	340	390	430	500	560	660
15	270	320	360	390	450	500	580
18	270	310	340	370	420	460	530
20	270	300	330	360	400	440	500
22	270	300	330	350	390	420	480
25	260	290	320	340	370	400	450
30	260	290	310	320	350	380	420
35	260	280	300	310	340	360	400
40	260	280	290	310	330	350	380
45	250	270	290	300	320	340	360
50	250	270	280	290	310	330	350

Annexe V - 5. Coefficient d'affaiblissement de l'acier Φ_s

θ	Φ_s	θ	Φ_s	θ	Φ_s	θ	Φ_s
200	1,000	340	0,786	480	0,573	620	0,321
210	0,985	350	0,771	490	0,557	630	0,296
220	0,969	360	0,756	500	0,542	640	0,272
230	0,954	370	0,741	510	0,527	650	0,247
240	0,939	380	0,725	520	0,512	660	0,222
250	0,924	390	0,710	530	0,496	670	0,198
260	0,908	400	0,695	540	0,481	680	0,173
270	0,893	410	0,679	550	0,466	690	0,148
280	0,878	420	0,664	560	0,451	700	0,124
290	0,863	430	0,649	570	0,435	710	0,099
300	0,847	440	0,634	580	0,420	720	0,074
310	0,832	450	0,618	590	0,395	730	0,049
320	0,817	460	0,603	600	0,371	740	0,025
330	0,802	470	0,588	610	0,346	750	0,000

Annexe V - 6. Coefficient d'affaiblissement du béton Φ_b

θ	Φ_b	θ	Φ_b	θ	Φ_b	θ	Φ_b
250	1,000	430	0,717	610	0,439	790	0,236
260	0,984	440	0,702	620	0,428	800	0,225
270	0,969	450	0,686	630	0,416	810	0,214
280	0,953	460	0,670	640	0,405	820	0,203
290	0,937	470	0,654	650	0,394	830	0,191
300	0,922	480	0,639	660	0,383	840	0,180
310	0,906	490	0,623	670	0,371	850	0,169
320	0,890	500	0,607	680	0,360	860	0,158
330	0,874	510	0,592	690	0,349	870	0,146
340	0,859	520	0,576	700	0,338	880	0,135
350	0,843	530	0,560	710	0,326	890	0,124
360	0,827	540	0,545	720	0,315	900	0,113
370	0,812	550	0,545	730	0,344	910	0,101
380	0,796	560	0,513	740	0,293	920	0,090
390	0,780	570	0,497	750	0,281	930	0,079
400	0,764	580	0,482	760	0,270	940	0,066
410	0,749	590	0,466	770	0,259	950	0,058
420	0,733	600	0,450	780	0,248	960	0,045

Annexe V - 7. Epaisseur réduite h'

h cm	Exposition au feu en heures					
	0,5	1	1,5	2	3	4
7	4,89	3,96	3,34	2,85	1,98	-
8	5,73	4,76	4,09	3,54	2,53	0,03
9	6,60	5,56	4,84	4,23	3,08	0,92
10	7,45	6,36	5,58	4,92	3,63	1,80
11	8,35	7,21	6,39	5,68	4,26	2,55
12	9,24	8,05	7,19	6,44	4,89	3,30
13	10,2	8,92	8,04	7,25	5,59	3,93
14	11,1	9,79	8,88	8,05	6,28	4,55
15	12,0	10,7	9,74	8,90	7,03	5,20
16	12,9	11,6	10,6	9,74	7,78	5,85
17	13,8	12,5	11,5	10,6	8,58	6,53
18	14,7	13,4	12,4	11,5	9,38	7,20
19	15,7	14,3	13,3	12,4	10,2	7,60
20	16,6	15,2	14,2	13,3	11	8,00
21	17,6	16,2	15,1	14,2	11,9	9,10
22	18,5	17,1	16,0	15,0	12,8	10,2
23	19,5	18,0	16,9	16,0	13,7	10,8
24	20,4	18,9	17,8	16,9	14,5	11,4
25	21,3	19,8	18,7	17,8	15,3	12,0

Annexe V - 8. Coefficients k_1 et k_2

α	k_1	k_2	α	k_1	k_2
1,00	0,0135	0,235	0,69	0,0179	0,322
0,99	0,0136	0,238	0,68	0,0180	0,324
0,98	0,0138	0,241	0,67	0,0182	0,326
0,97	0,0139	0,244	0,66	0,0183	0,329
0,96	0,0141	0,247	0,65	0,0184	0,331
0,95	0,0142	0,249	0,64	0,0185	0,333
0,94	0,0144	0,252	0,63	0,0186	0,335
0,93	0,0145	0,255	0,62	0,0187	0,337
0,92	0,0147	0,258	0,61	0,0188	0,339
0,91	0,0148	0,261	0,60	0,0189	0,341
0,90	0,0150	0,264	0,59	0,0190	0,343
0,89	0,0151	0,267	0,58	0,0191	0,344
0,88	0,0153	0,270	0,57	0,0192	0,346
0,87	0,0154	0,273	0,56	0,0193	0,348
0,86	0,0156	0,276	0,55	0,0193	0,349
0,85	0,0157	0,279	0,54	0,0194	0,351
0,84	0,0159	0,281	0,53	0,0195	0,352
0,83	0,0160	0,284	0,52	0,0196	0,353
0,82	0,0162	0,287	0,51	0,0196	0,355
0,81	0,0163	0,290	0,50	0,0197	0,356
0,80	0,0165	0,293	0,49	0,0198	0,357
0,79	0,0166	0,296	0,48	0,0198	0,358
0,78	0,0167	0,298	0,47	0,0199	0,359
0,77	0,0169	0,301	0,46	0,0199	0,360
0,76	0,0170	0,304	0,45	0,0200	0,361
0,75	0,0172	0,307	0,44	0,0200	0,362
0,74	0,0173	0,309	0,43	0,0201	0,363
0,73	0,0174	0,312	0,42	0,0201	0,364
0,72	0,0175	0,314	0,41	0,0202	0,365
0,71	0,0177	0,317	0,40	0,0202	0,366
0,70	0,0178	0,319		0,0203	0,367

Annexe V - 9. Gradient de température $\Delta\theta$

h cm	Exposition au feu en heures					
	0,5	1	1,5	2	3	4
7	365	448	480	480	410	280
8	372	467	503	509	456	330
9	381	482	524	537	496	380
10	389	492	539	559	530	438
11	390	498	550	576	564	476
12	389	496	552	586	590	514
13	385	494	552	594	613	565
14	379	485	548	594	634	620
15	372	475	541	592	650	660
16	362	465	532	587	665	700
17	353	452	520	579	675	724
18	342	439	507	569	681	745
19	331	422	492	557	683	756
20	320	410	477	543	683	758
21	310	390	462	527	681	755
22	299	381	445	511	673	748
23	289	366	429	493	664	740
24	278	353	412	477	650	730
25	260	344	394	440	632	720

Annexe V - 10. Coefficient X

α	X	α	X
1,00	0,920	0,69	0,876
0,99	0,918	0,68	0,874
0,98	0,917	0,67	0,873
0,97	0,915	0,66	0,871
0,96	0,914	0,65	0,869
0,95	0,913	0,64	0,868
0,94	0,912	0,63	0,866
0,93	0,911	0,62	0,864
0,92	0,909	0,61	0,863
0,91	0,908	0,60	0,861
0,90	0,907	0,59	0,859
0,89	0,906	0,58	0,857
0,88	0,905	0,57	0,856
0,87	0,904	0,56	0,854
0,86	0,902	0,55	0,852
0,85	0,901	0,54	0,850
0,84	0,900	0,53	0,848
0,83	0,899	0,52	0,845
0,82	0,897	0,51	0,843
0,81	0,896	0,50	0,841
0,80	0,894	0,49	0,838
0,79	0,893	0,48	0,835
0,78	0,891	0,47	0,832
0,77	0,889	0,46	0,828
0,76	0,888	0,45	0,825
0,75	0,886	0,44	0,820
0,74	0,885	0,43	0,816
0,73	0,883	0,42	0,811
0,72	0,881	0,41	0,806
0,71	0,879	0,40	0,800
0,70	0,878		0,800

Annexe V - 11. Caractéristiques de l'aire de béton comprimé

b = 16 S.F. = 1h		
x	B	c
1	5	0
2	11	5
3	19	1,1
4	27	1,6
5	37	2,2
6	47	3,4
7	58	4,0
8	70	4,6
9	82	5,1
10	94	5,7
11	106	6,3
12	119	6,8
13	131	7,4
14	144	7,9
15	156	8,4
16	169	9,0
17	182	9,5
18	195	10,0
19	207	10,5
20	220	11,1
$B_c = 12,7$		

b = 20 S.F. = 1h		
x	B	c
1	7	0,5
2	15	1,1
3	25	1,6
4	37	2,2
5	50	2,9
6	65	3,4
7	80	4,0
8	96	4,6
9	112	5,1
10	128	5,7
11	144	6,2
12	161	6,8
13	178	7,3
14	194	7,9
15	211	8,4
16	228	8,9
17	245	9,4
18	262	10,0
19	279	10,5
20	296	11,0
$B_c = 16,9$		

ANNEXE VI. SECOND ŒUVRE

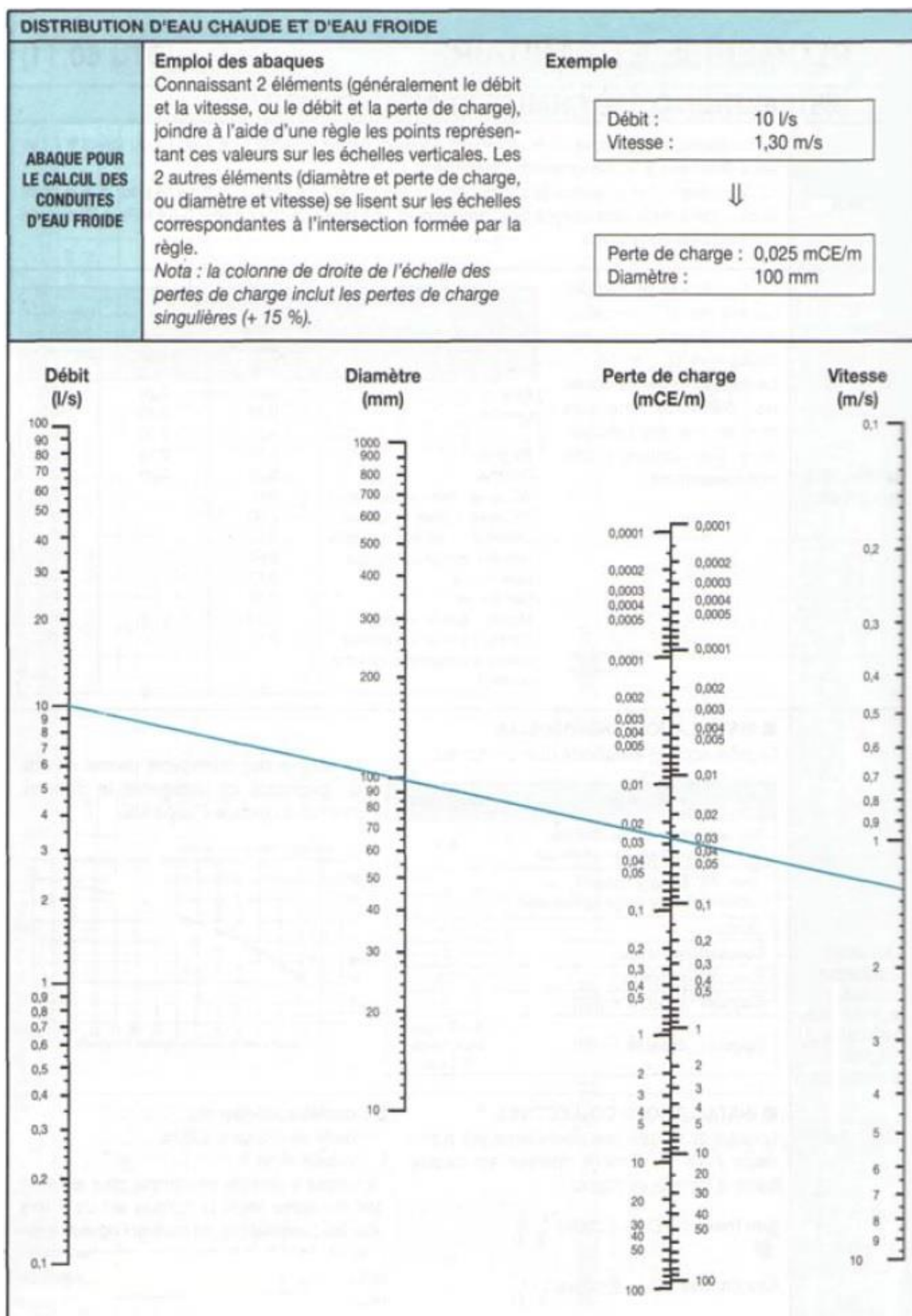
Annexe VI - 1. Diamètre intérieur minimum des canalisations d'alimentation

Appareil	Q _{min} de calcul		Diamètre [mm]
	Eau froide ou mélangée [l/s]	Eau chaude [l/s]	
Evier – timbre d'office	0,20	0,20	12
Lavabo	0,20	0,20	10
Lavabo collectif	0,05	0,05	Suivant le nombre de jets
Bidet	0,20	0,20	10
Baignoire	0,33	0,33	13
Douche	0,20	0,20	12
Poste d'eau robinet ½	0,33	-	12
Poste d'eau robinet ¾	0,42	-	13
WC avec réservoir de chasse	0,12	-	10
WC avec robinet de chasse	1,50	-	Au moins le diamètre du robinet
Urinoir avec robinet individuel	0,15	-	10
Urinoir à action siphonique	0,50	-	Au moins le diamètre du robinet
Lave-mains	0,10	-	10
Bac à laver	0,33	-	13
Machine à laver le linge	0,20	-	10
Machine à laver la vaisselle	0,10	-	10

Annexe VI - 2. Diamètre intérieur des descentes d'eau pluviale

Diamètre [mm]	Surface desservie [m ²]
8	71
9	91
10	113
11	136
12	161
13	190
14	220
15	253
16	287

Annexe VI - 3. Abaques de Diarès



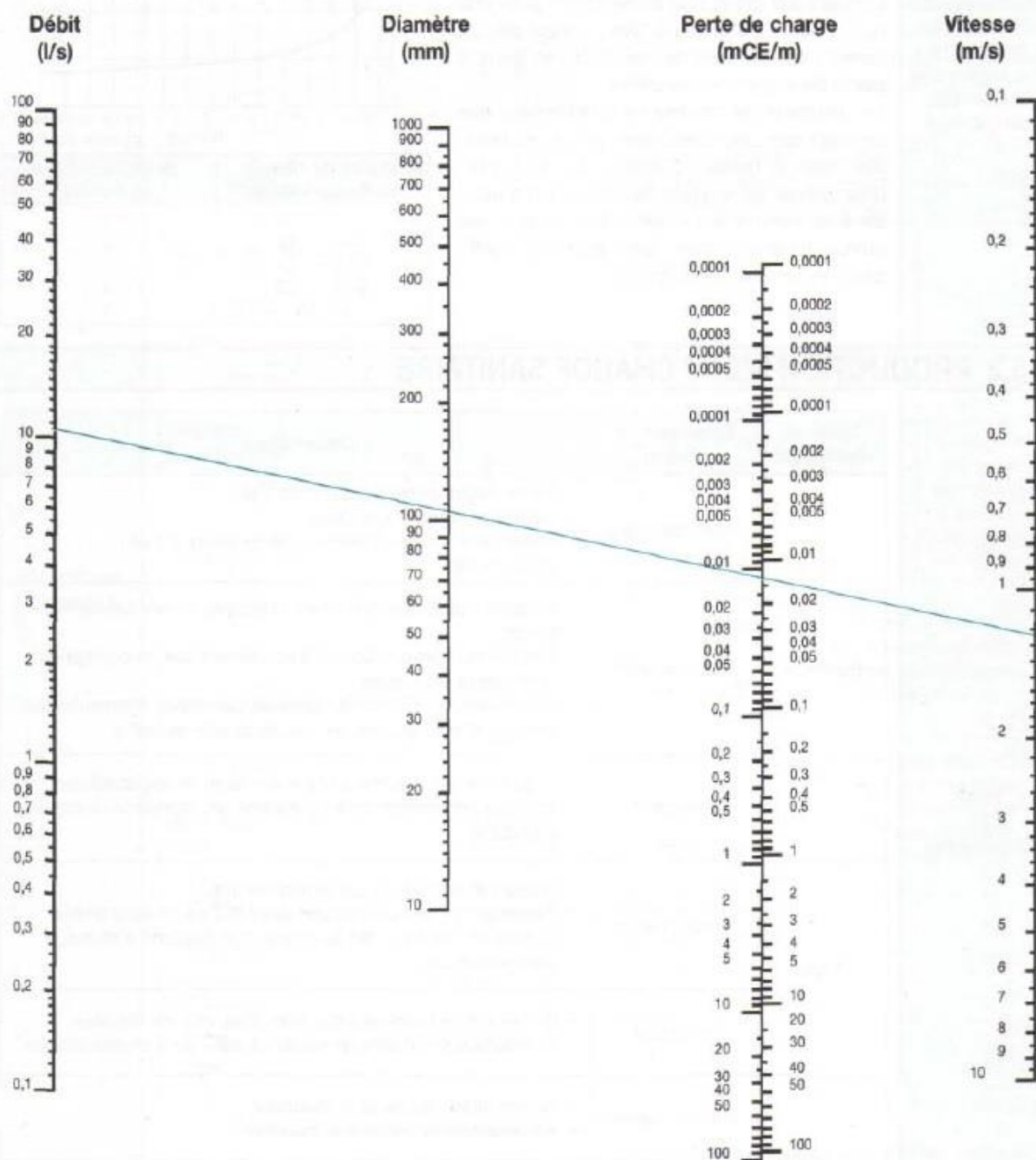
ABaque POUR
LE CALCUL DES
CONDUITES
D'EAU CHAUDE

Exemple


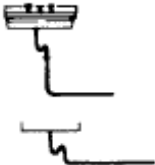
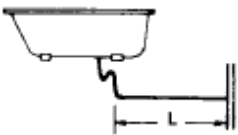




Débit : 10 l/s
Vitesse : 1,30 m/s



Perte de charge : 0,012 mCE/m
Diamètre : 100 mm



Annexe VI - 4. Diamètre intérieur minimum des collecteurs d'appareils

Appareil	Diamètre [mm]	Observations
Lavabo Lave-mains Bidet 	30	-
Poste d'eau Evier Douche Urinoir 	33	-
Baignoire 	33	Si $L \leq 1\text{m}$
	38	Si $L > 1\text{m}$
Groupe de sécurité 	20	Si $L \geq 1\text{m}$
	25	Sans partie verticale ou $L < 1\text{m}$
Machine à laver 	33	-
WC à action siphonique 	60	Sur longueur de 1m
	77	Sur partie L supérieure à 1m
WC à chasse directe 	80	-

Annexe VI - 5. Débit d'évacuation des collecteurs principaux coulant à ½ pleins

Appareil	Débit de base [l]	
	Par minute	Par seconde
Baignoire	72	1,2
Douche	30	0,5
Lavabo	45	0,75
Bidet, Lave-mains	30	0,5
Evier	45	0,75
Bac à laver	45	0,75
Urinoir	30	0,5
Urinoir à action siphonique	60	1,0
WC à chasse directe	90	1,5
WC à action siphonique	90	1,5
Machine à laver le linge	40	0,65
Machine à laver la vaisselle	25	0,40

Annexe VI - 6. Diamètre intérieur des collecteurs principaux coulant à ½ pleins

Diamètre [mm]	Pente par mètre				
	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm
69	0,96	1,36	1,67	1,93	2,15
77	1,31	1,85	2,26	2,61	2,92
84	1,66	2,35	2,88	3,32	3,71
94	2,26	3,20	3,92	4,53	5,26
104	2,99	4,23	5,18	5,98	6,69
119	4,33	6,12	7,50	8,66	9,68
129	5,40	7,64	9,35	10,80	12,07
134	5,99	8,47	10,38	11,98	13,40
153	8,60	12,17	14,90	17,21	19,24
154	8,76	12,38	15,17	17,51	19,58
191	15,72	22,24	27,23	31,45	35,16
203	18,55	26,23	32,12	37,09	41,47
238	28,51	40,31	49,38	57,01	63,74
266	38,47	54,40	66,63	76,94	85,02
300	53,15	75,17	92,06	106,31	118,85
317	61,62	87,15	106,74	123,25	137,80

Annexe VI - 7. Section des gouttières

Surface desservie [m ²]	Pente du conduit [mm]							
	≤1	2	3	5	7	10	15	20
20	65	50	45	35	35	30	25	20
30	85	70	60	50	45	40	35	30
40	105	80	70	60	55	50	40	35
50	120	95	85	70	65	55	50	45
60	140	110	95	80	70	60	55	50
70	155	120	105	90	80	70	60	55
80	170	135	115	95	85	75	65	60
90	185	145	125	100	95	85	70	65
100	200	155	135	115	100	90	80	70
110	215	170	145	120	110	95	85	75
120	230	180	155	130	115	100	90	80
130	240	190	165	135	120	105	95	85
140	255	200	170	145	130	115	100	90
150	265	210	180	150	135	120	105	95
160	280	220	190	160	140	125	110	100
170	290	230	200	165	145	130	115	100
180	305	240	205	170	150	135	120	105
200	330	255	220	185	165	125	125	115
250	385	300	260	215	190	170	145	135
300	440	340	295	245	220	195	165	150
350	490	380	330	275	245	215	185	170
400	540	420	365	305	270	235	205	185
450	585	460	395	330	290	255	225	200
500	635	490	425	355	315	275	240	215
600	720	560	485	405	360	315	275	245
700	805	630	540	450	400	350	305	275
800	890	690	595	495	440	385	335	305
900	965	750	650	540	480	420	365	330
1 000	1 045	810	700	585	515	455	395	355

Annexe VI - 8. Facteurs d'utilance

Indice du local	K = 0,6																			
	J = 0										J = 1/3									
Suspension	70	70	70	70	50	50	50	30	30	0	70	70	70	70	50	50	50	30	30	0
Plafond %	70	70	70	70	50	50	50	30	30	0	70	70	70	70	50	50	50	30	30	0
Mur %	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0
A	0,83	0,77	0,73	0,70	0,76	0,73	0,70	0,72	0,70	0,69	0,81	0,76	0,72	0,70	0,75	0,72	0,70	0,72	0,70	0,69
B	0,74	0,67	0,62	0,58	0,66	0,61	0,58	0,61	0,58	0,57	0,72	0,65	0,61	0,58	0,65	0,61	0,58	0,61	0,58	0,57
C	0,66	0,56	0,50	0,46	0,55	0,50	0,46	0,49	0,46	0,44	0,63	0,55	0,49	0,46	0,54	0,49	0,46	0,49	0,45	0,44
D	0,60	0,50	0,43	0,38	0,49	0,43	0,38	0,42	0,38	0,36	0,58	0,48	0,42	0,38	0,48	0,42	0,38	0,42	0,38	0,36
E	0,55	0,44	0,36	0,31	0,43	0,36	0,31	0,35	0,30	0,28	0,52	0,42	0,35	0,30	0,41	0,35	0,30	0,35	0,30	0,26
F	0,51	0,38	0,30	0,25	0,37	0,30	0,24	0,29	0,24	0,22	0,48	0,36	0,29	0,24	0,36	0,29	0,24	0,29	0,24	0,22
G	0,53	0,40	0,32	0,27	0,39	0,32	0,27	0,31	0,27	0,24	0,50	0,38	0,31	0,26	0,38	0,31	0,26	0,31	0,26	0,24
H	0,51	0,39	0,31	0,25	0,38	0,30	0,25	0,30	0,25	0,23	0,48	0,37	0,30	0,25	0,36	0,29	0,25	0,29	0,24	0,23
I	0,46	0,33	0,24	0,18	0,31	0,23	0,17	0,23	0,17	0,14	0,43	0,30	0,23	0,17	0,30	0,22	0,17	0,22	0,17	0,15
J	0,46	0,32	0,23	0,17	0,31	0,22	0,17	0,22	0,16	0,15	0,42	0,30	0,22	0,16	0,29	0,22	0,16	0,22	0,16	0,14

Indice du local	K = 0,8																			
Suspension	J = 0										J = 1/3									
Plafond	70	70	70	70	50	50	30	30	30	0	70	70	70	70	50	50	30	30	30	0
Mur	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0
A	0,89	0,83	0,80	0,77	0,83	0,79	0,77	0,79	0,77	0,75	0,87	0,82	0,79	0,77	0,82	0,79	0,77	0,79	0,76	0,75
B	0,82	0,75	0,70	0,67	0,74	0,70	0,66	0,69	0,66	0,65	0,80	0,74	0,70	0,66	0,73	0,69	0,66	0,69	0,66	0,65
C	0,75	0,66	0,60	0,56	0,65	0,60	0,56	0,59	0,55	0,54	0,73	0,64	0,59	0,55	0,64	0,59	0,55	0,59	0,55	0,54
D	0,70	0,60	0,53	0,48	0,58	0,52	0,48	0,52	0,47	0,45	0,67	0,58	0,52	0,47	0,57	0,51	0,47	0,51	0,47	0,45
E	0,65	0,53	0,46	0,40	0,52	0,45	0,40	0,44	0,40	0,37	0,62	0,51	0,44	0,40	0,51	0,44	0,40	0,44	0,39	0,37
F	0,63	0,51	0,43	0,37	0,50	0,43	0,37	0,42	0,37	0,35	0,60	0,59	0,42	0,37	0,48	0,42	0,37	0,41	0,27	0,35
G	0,61	0,49	0,41	0,35	0,48	0,40	0,35	0,40	0,34	0,32	0,58	0,47	0,40	0,34	0,46	0,39	0,34	0,39	0,34	0,32
H	0,59	0,47	0,38	0,32	0,45	0,38	0,32	0,37	0,32	0,29	0,56	0,45	0,27	0,31	0,44	0,37	0,31	0,36	0,31	0,29
I	0,56	0,43	0,34	0,27	0,41	0,33	0,27	0,32	0,27	0,24	0,53	0,41	0,22	0,27	0,40	0,32	0,27	0,32	0,27	0,24
J	0,54	0,40	0,31	0,24	0,38	0,30	0,24	0,29	0,23	0,21	0,51	0,38	0,29	0,23	0,37	0,29	0,23	0,29	0,23	0,21

Indice du local	K = 1																			
Suspension	J = 0										J = 1/3									
Plafond	70	70	70	70	50	50	30	30	30	0	70	70	70	70	50	50	30	30	30	0
Mur	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0
A	0,92	0,88	0,84	0,81	0,87	0,83	0,81	0,83	0,81	0,79	0,91	0,86	0,83	0,81	0,86	0,83	0,81	0,83	0,80	0,79
B	0,86	0,80	0,76	0,72	0,79	0,75	0,72	0,74	0,72	0,70	0,85	0,79	0,75	0,72	0,78	0,74	0,71	0,74	0,71	0,70
C	0,81	0,73	0,67	0,63	0,71	0,66	0,62	0,65	0,62	0,60	0,78	0,71	0,66	0,62	0,70	0,65	0,62	0,65	0,62	0,60
D	0,76	0,67	0,60	0,55	0,65	0,59	0,55	0,59	0,55	0,52	0,74	0,65	0,59	0,55	0,64	0,58	0,54	0,58	0,54	0,52
E	0,71	0,61	0,53	0,48	0,59	0,53	0,47	0,52	0,47	0,45	0,69	0,59	0,52	0,47	0,58	0,52	0,47	0,51	0,47	0,45
F	0,71	0,60	0,53	0,47	0,59	0,52	0,47	0,51	0,46	0,44	0,68	0,56	0,21	0,46	0,57	0,51	0,46	0,51	0,46	0,44
G	0,68	0,56	0,48	0,42	0,54	0,47	0,41	0,46	0,41	0,39	0,65	0,54	0,46	0,41	0,53	0,46	0,41	0,46	0,41	0,39
H	0,65	0,53	0,45	0,38	0,52	0,44	0,38	0,43	0,38	0,35	0,63	0,51	0,43	0,38	0,50	0,43	0,37	0,42	0,37	0,35
I	0,64	0,51	0,42	0,35	0,49	0,41	0,35	0,40	0,35	0,32	0,61	0,49	0,41	0,35	0,48	0,40	0,34	0,50	0,34	0,32
J	0,60	0,47	0,37	0,29	0,45	0,36	0,28	0,35	0,29	0,26	0,57	0,44	0,35	0,29	0,43	0,35	0,29	0,35	0,29	0,26

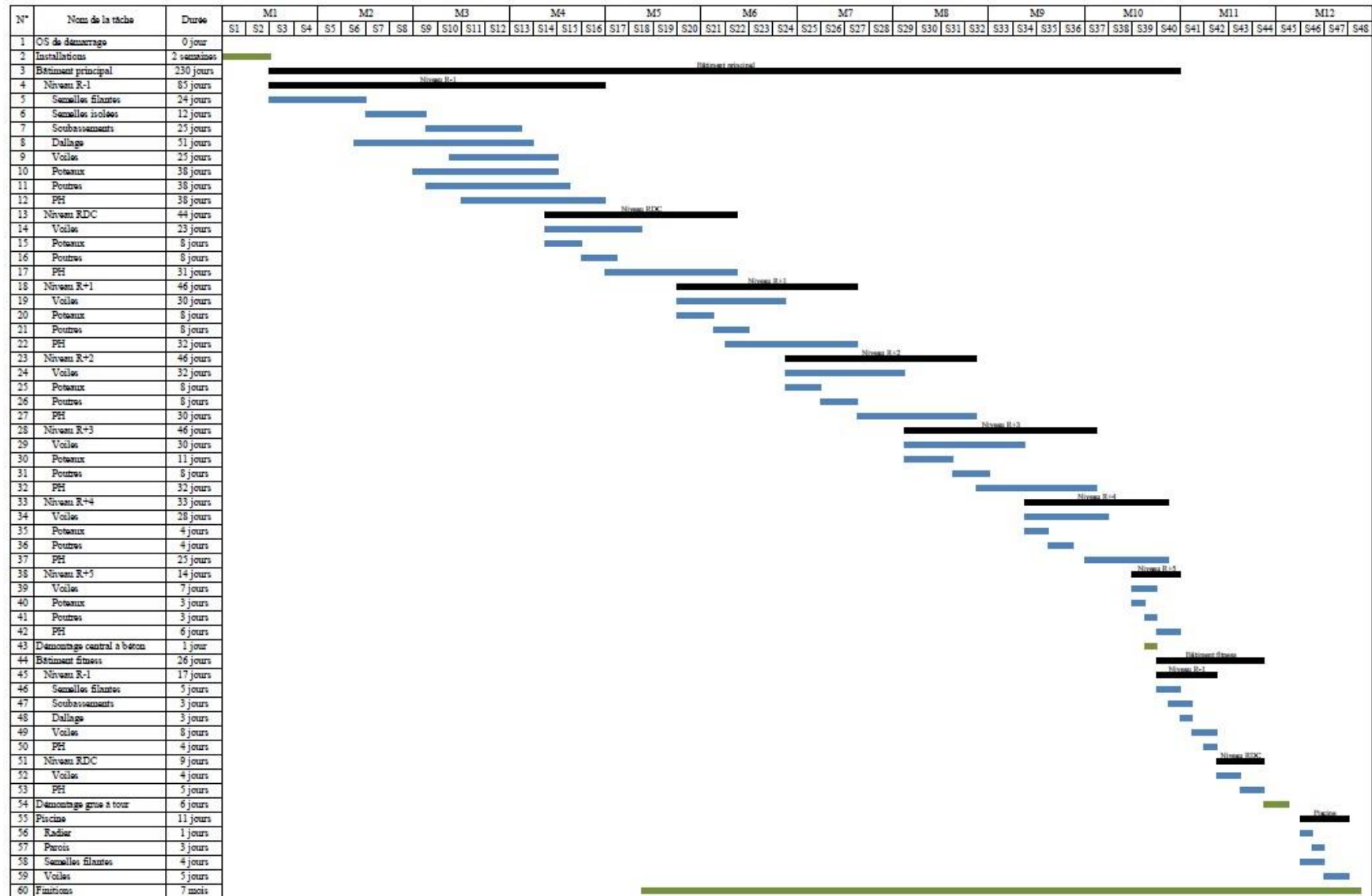
Indice du local	K = 1,25																			
Suspension	J = 0										J = 1/3									
Plafond	70	70	70	70	50	50	30	30	30	0	70	70	70	70	50	50	30	30	30	0
Mur	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0
A	0,95	0,92	0,88	0,86	0,90	0,88	0,85	0,87	0,85	0,84	0,94	0,90	0,87	0,85	0,90	0,87	0,85	0,87	0,85	0,84
B	0,91	0,85	0,81	0,78	0,84	0,80	0,78	0,80	0,77	0,75	0,89	0,84	0,80	0,77	0,83	0,80	0,77	0,79	0,77	0,75
C	0,86	0,79	0,74	0,70	0,78	0,73	0,69	0,72	0,69	0,67	0,84	0,77	0,72	0,69	0,76	0,72	0,69	0,72	0,68	0,67
D	0,82	0,74	0,68	0,63	0,72	0,67	0,62	0,66	0,62	0,60	0,80	0,72	0,66	0,62	0,71	0,66	0,62	0,65	0,20	0,60
E	0,78	0,68	0,61	0,56	0,67	0,60	0,55	0,60	0,55	0,53	0,76	0,66	0,60	0,55	0,65	0,59	0,55	0,59	0,55	0,53
F	0,78	0,69	0,62	0,57	0,67	0,61	0,56	0,60	0,56	0,54	0,76	0,67	0,61	0,56	0,66	0,60	0,56	0,60	0,56	0,54
G	0,74	0,63	0,55	0,49	0,61	0,54	0,49	0,53	0,48	0,46	0,71	0,61	0,54	0,48	0,60	0,53	0,46	0,53	0,48	0,46
H	0,71	0,60	0,52	0,45	0,58	0,51	0,45	0,50	0,44	0,42	0,69	0,58	0,50	0,44	0,57	0,50	0,44	0,49	0,44	0,42
I	0,71	0,60	0,51	0,44	0,58	0,50	0,44	0,49	0,43	0,41	0,68	0,57	0,49	0,44	0,56	0,49	0,43	0,48	0,43	0,41
J	0,66	0,53	0,44	0,36	0,51	0,43	0,36	0,42	0,36	0,33	0,63	0,51	0,42	0,36	0,50	0,42	0,35	0,41	0,35	0,33

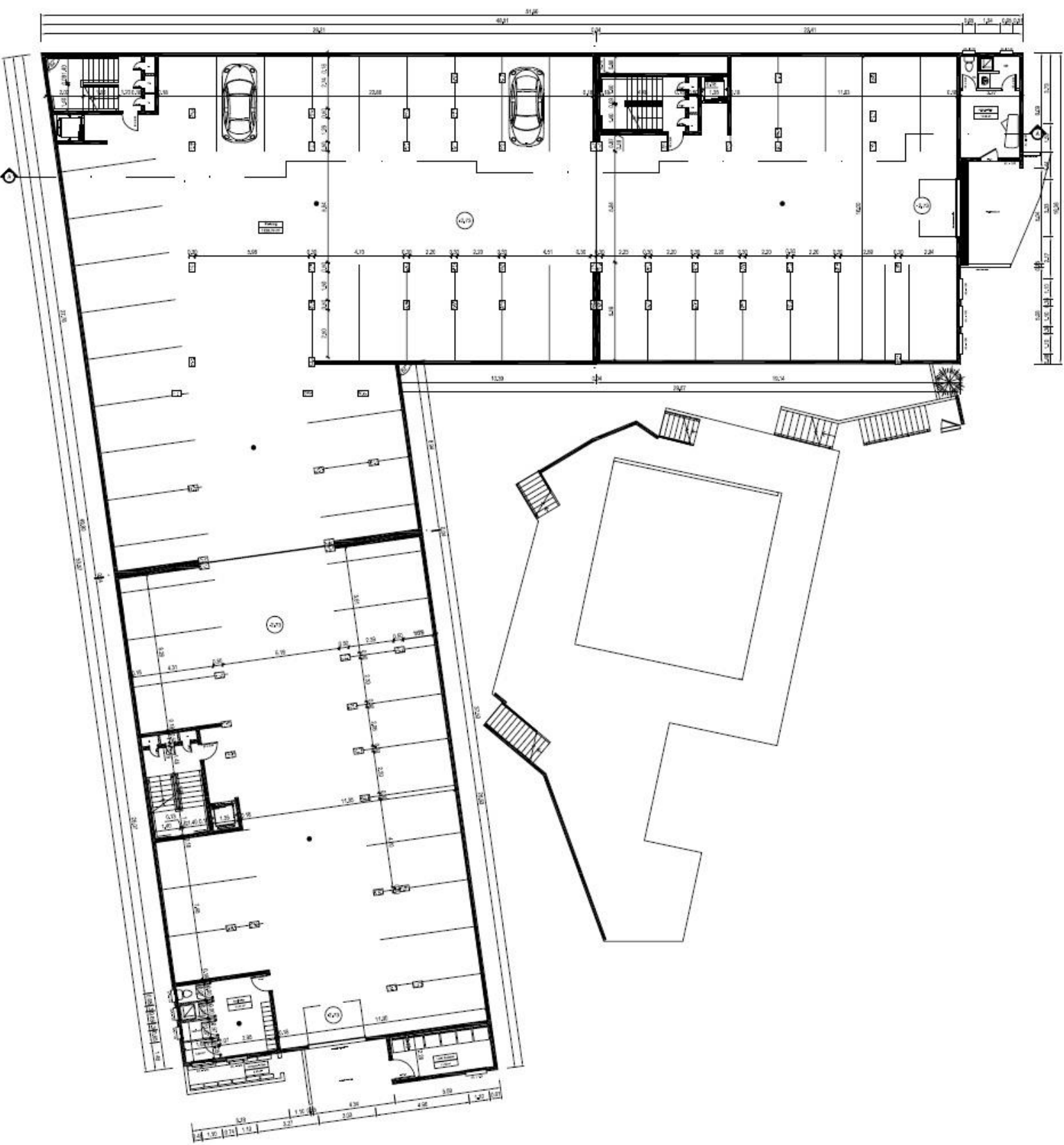
Indice du local	K = 1,5																			
Suspension	J = 0										J = 1/3									
Plafond	70	70	70	70	50	50	30	30	0	0	70	70	70	70	50	50	30	30	0	
Mur	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0
A	0,97	0,93	0,90	0,88	0,92	0,90	0,87	0,89	0,85	0,85	0,96	0,92	0,89	0,87	0,91	0,89	0,87	0,88	0,86	0,85
B	0,93	0,89	0,84	0,81	0,87	0,83	0,81	0,82	0,80	0,78	0,92	0,87	0,83	0,80	0,86	0,83	0,80	0,82	0,80	0,78
C	0,89	0,83	0,78	0,74	0,81	0,77	0,73	0,76	0,73	0,71	0,87	0,81	0,76	0,73	0,80	0,76	0,73	0,75	0,72	0,71
D	0,85	0,78	0,72	0,68	0,75	0,71	0,67	0,70	0,86	0,64	0,84	0,76	0,74	0,67	0,75	0,70	0,66	0,70	0,66	0,64
E	0,82	0,73	0,67	0,61	0,71	0,66	0,61	0,65	0,60	0,58	0,80	0,72	0,65	0,61	0,70	0,65	0,60	0,64	0,60	0,58
F	0,83	0,75	0,69	0,63	0,73	0,67	0,63	0,66	0,62	0,60	0,81	0,73	0,67	0,63	0,72	0,67	0,62	0,66	0,20	0,60
G	0,78	0,68	0,61	0,55	0,66	0,60	0,54	0,58	0,54	0,51	0,76	0,66	0,59	0,51	0,65	0,59	0,54	0,58	0,53	0,51
H	0,55	0,65	0,57	0,50	0,63	0,55	0,50	0,54	0,49	0,46	0,73	0,63	0,55	0,49	0,61	0,54	0,49	0,54	0,49	0,46
I	0,76	0,65	0,57	0,51	0,63	0,56	0,50	0,55	0,50	0,47	0,71	0,63	0,56	0,50	0,62	0,55	0,50	0,54	0,49	0,47
J	0,70	0,58	0,49	0,41	0,56	0,47	0,41	0,46	0,40	0,37	0,68	0,56	0,47	0,40	0,54	0,46	0,40	0,45	0,40	0,37

Indice du local	K = 2																			
Suspension	J = 0										J = 1/3									
Plafond	70	70	70	70	50	50	50	30	30	0	70	70	70	70	50	50	50	30	30	0
Mur	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0
A	1,00	0,97	0,94	0,92	0,95	0,93	0,71	0,92	0,90	0,87	0,99	0,95	0,93	0,91	0,94	0,92	0,90	0,91	0,90	0,89
B	0,97	0,93	0,90	0,87	0,91	0,88	0,86	0,87	0,85	0,83	0,96	0,92	0,88	0,56	0,90	0,88	0,85	0,87	0,85	0,83
C	0,93	0,88	0,84	0,91	0,86	0,83	0,80	0,82	0,79	0,77	0,92	0,81	0,83	0,79	0,86	0,82	0,79	0,81	0,78	0,77
D	0,91	0,85	0,80	0,75	0,83	0,78	0,75	0,77	0,74	0,71	0,89	0,83	0,79	0,74	0,82	0,77	0,74	0,77	0,73	0,71
E	0,88	0,81	0,75	0,70	0,79	0,74	0,70	0,73	0,69	0,66	0,86	0,79	0,74	0,69	0,78	0,73	0,69	0,72	0,68	0,66
F	0,89	0,83	0,77	0,73	0,81	0,76	0,72	0,75	0,72	0,69	0,88	0,81	0,70	0,72	0,80	0,75	0,72	0,74	0,71	0,69
G	0,84	0,76	0,69	0,64	0,74	0,68	0,63	0,66	0,62	0,59	0,83	0,74	0,68	0,63	0,73	0,68	0,62	0,66	0,62	0,59
H	0,81	0,72	0,67	0,58	0,70	0,63	0,58	0,62	0,57	0,54	0,80	0,70	0,63	0,57	0,69	0,62	0,57	0,61	0,57	0,51
I	0,83	0,74	0,65	0,61	0,72	0,56	0,61	0,64	0,60	0,57	0,81	0,72	0,66	0,60	0,71	0,65	0,60	0,64	0,59	0,57
J	0,76	0,65	0,57	0,49	0,63	0,55	0,48	0,53	0,48	0,45	0,74	0,63	0,55	0,48	0,62	0,54	0,48	0,53	0,47	0,45

Indice du local	K = 5																			
Suspension	J = 0										J = 1/3									
Plafond	70	70	70	70	50	50	50	30	30	0	70	70	70	70	50	50	50	30	30	0
Mur	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0	70	50	30	10	50	30	10	30	10	0
A	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	0,99	0,97	1,05	1,03	1,02	1,01	1,02	1,01	1,00	0,99	0,99	0,97
B	1,04	1,02	1,01	0,99	0,99	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	1,03	1,02	1,00	0,98	1,00	0,98	0,97	0,97	0,96	0,94
C	1,01	0,99	0,96	0,94	0,94	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	1,01	0,98	0,96	0,93	0,96	0,94	0,92	0,93	0,91	0,89
D	1,01	0,98	0,95	0,93	0,93	0,95	0,93	0,91	0,90	0,87	1,00	0,97	0,99	0,90	0,95	0,93	0,91	0,91	0,89	0,87
E	1,00	0,97	0,94	0,91	0,91	0,94	0,92	0,90	0,88	0,85	0,99	0,96	0,93	0,90	0,94	0,91	0,89	0,90	0,88	0,85
F	1,00	0,97	0,94	0,92	0,92	0,95	0,92	0,90	0,89	0,86	0,99	0,96	0,93	0,91	0,94	0,92	0,90	0,90	0,88	0,86
G	0,97	0,93	0,89	0,86	0,86	0,90	0,87	0,84	0,83	0,80	0,96	0,92	0,88	0,85	0,90	0,87	0,84	0,85	0,82	0,80
H	0,95	0,89	0,85	0,81	0,81	0,84	0,83	0,79	0,78	0,75	0,94	0,89	0,84	0,80	0,85	0,82	0,79	0,81	0,78	0,75
I	0,97	0,93	0,89	0,86	0,86	0,91	0,87	0,84	0,83	0,80	0,96	0,92	0,88	0,85	0,90	0,87	0,84	0,85	0,83	0,80
J	0,90	0,84	0,77	0,72	0,72	0,81	0,75	0,71	0,69	0,66	0,90	0,83	0,77	0,71	0,80	0,75	0,70	0,73	0,69	0,66

ANNEXE VII. PLANNING D'EXECUTION





R-1 Bâtiment principal



RDC Bâtiment principal



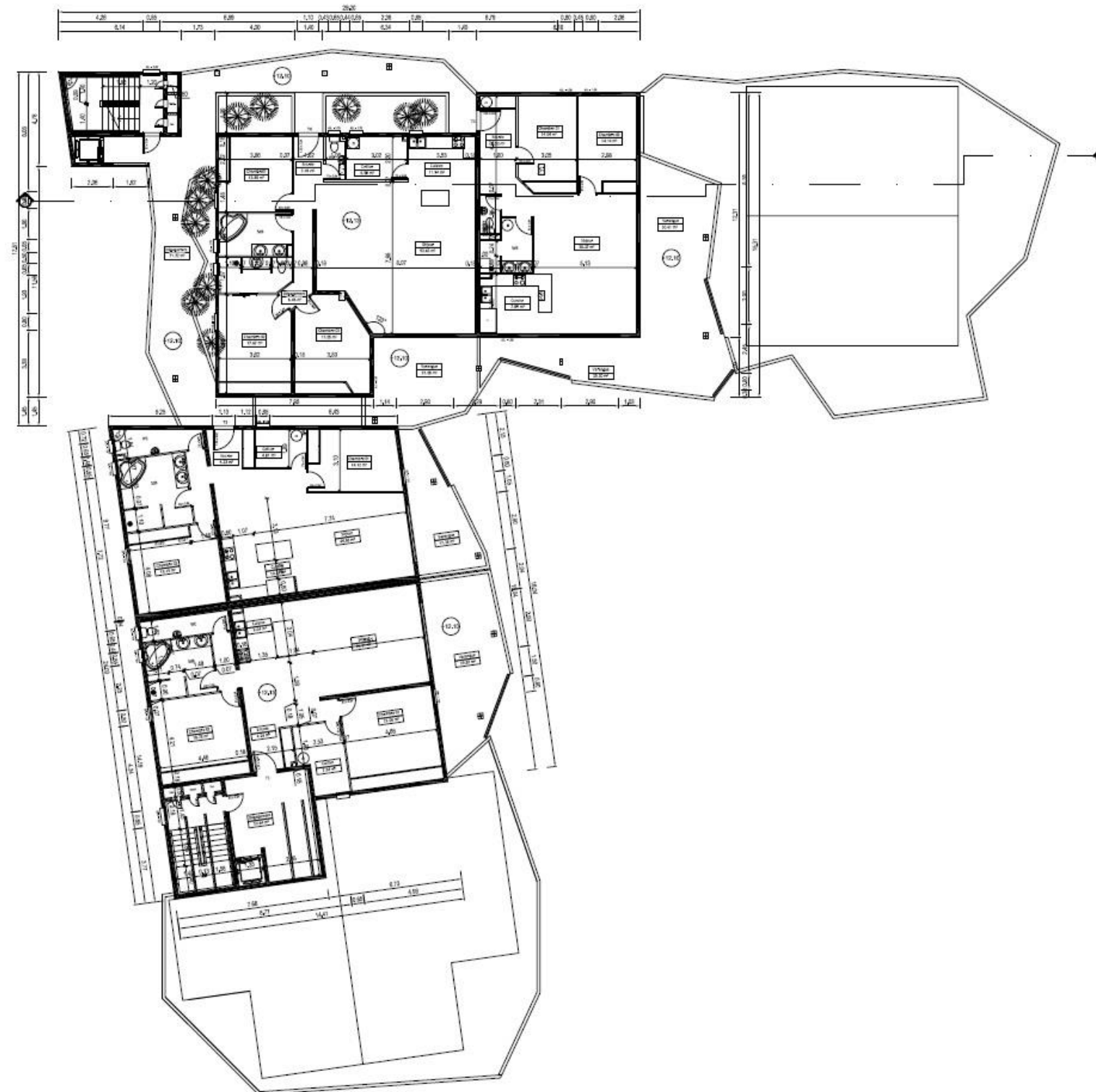
R+1 Bâtiment principal



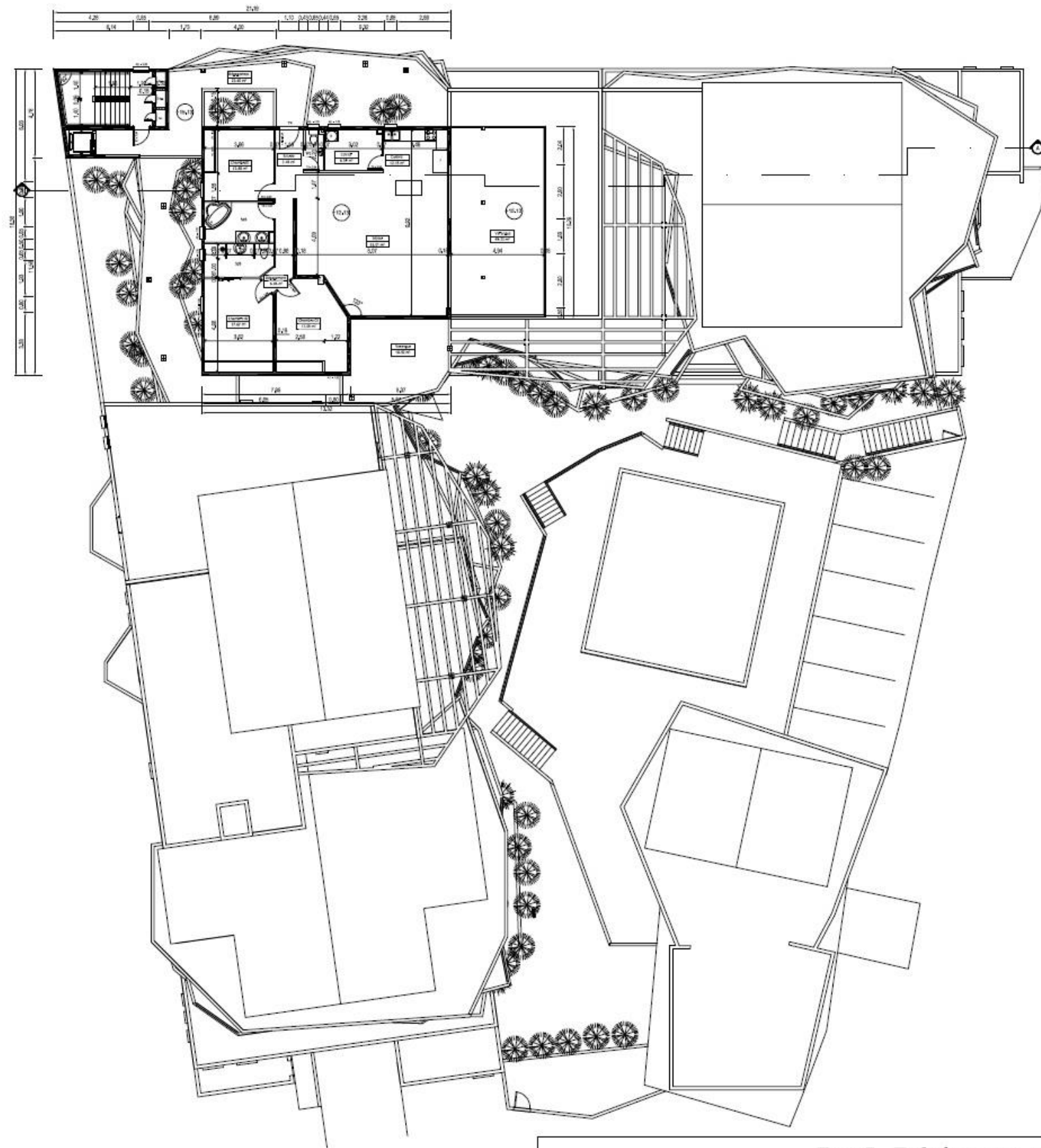
R+2 Bâtiment principal



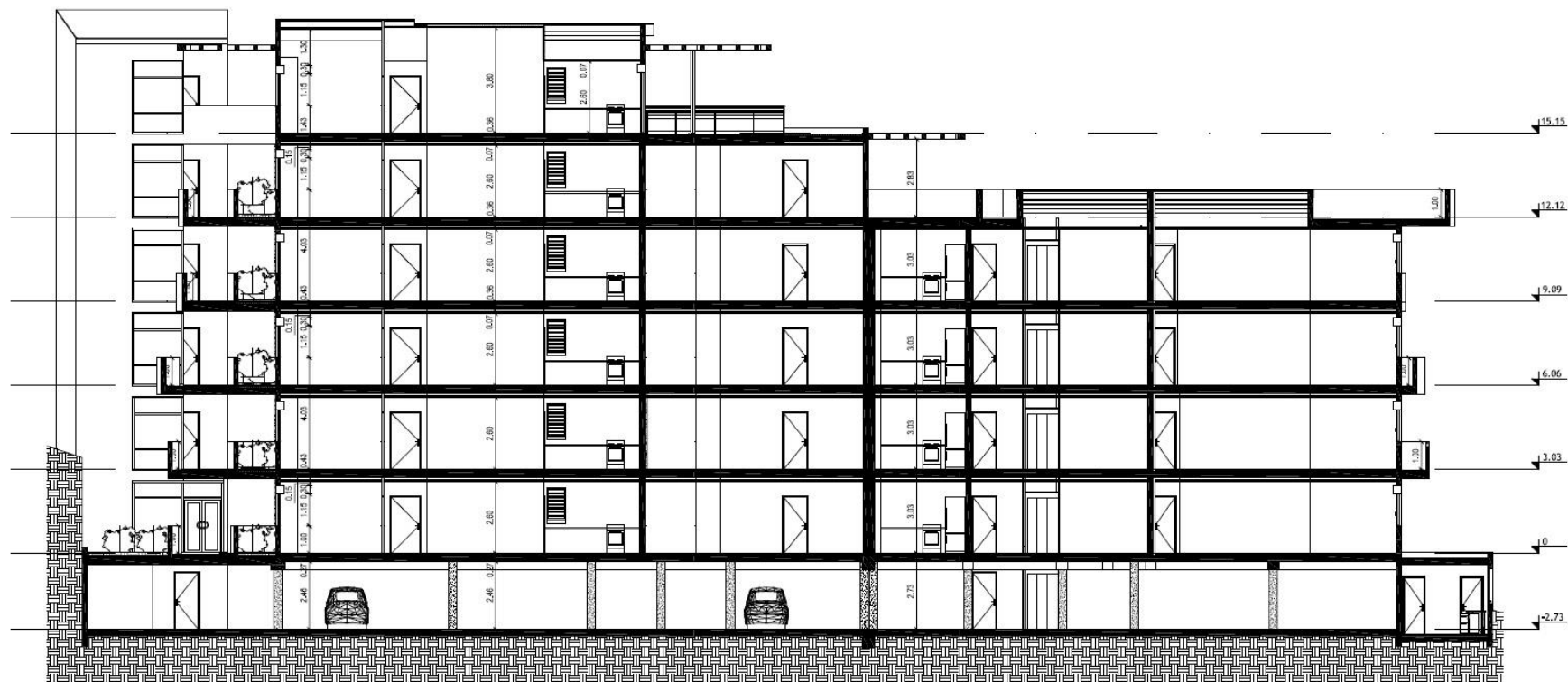
R+3 Bâtiment principal



R+4 Bâtiment principal

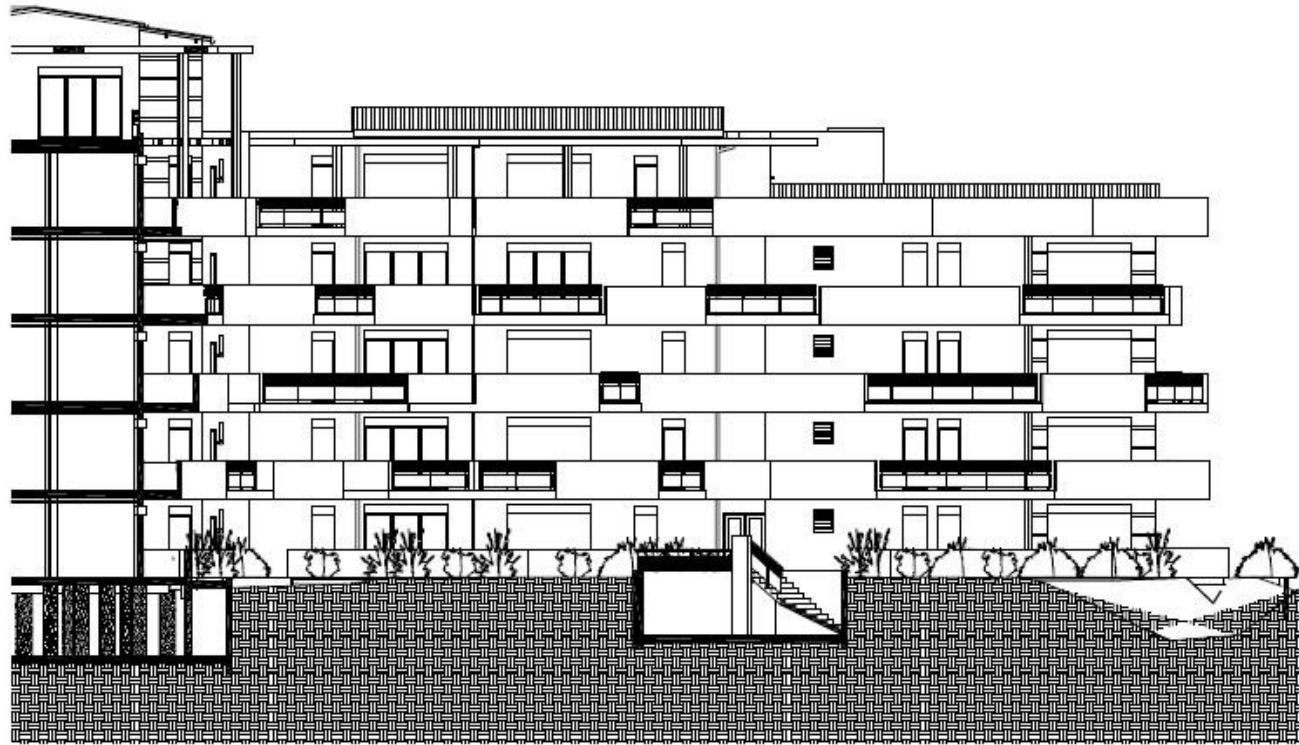


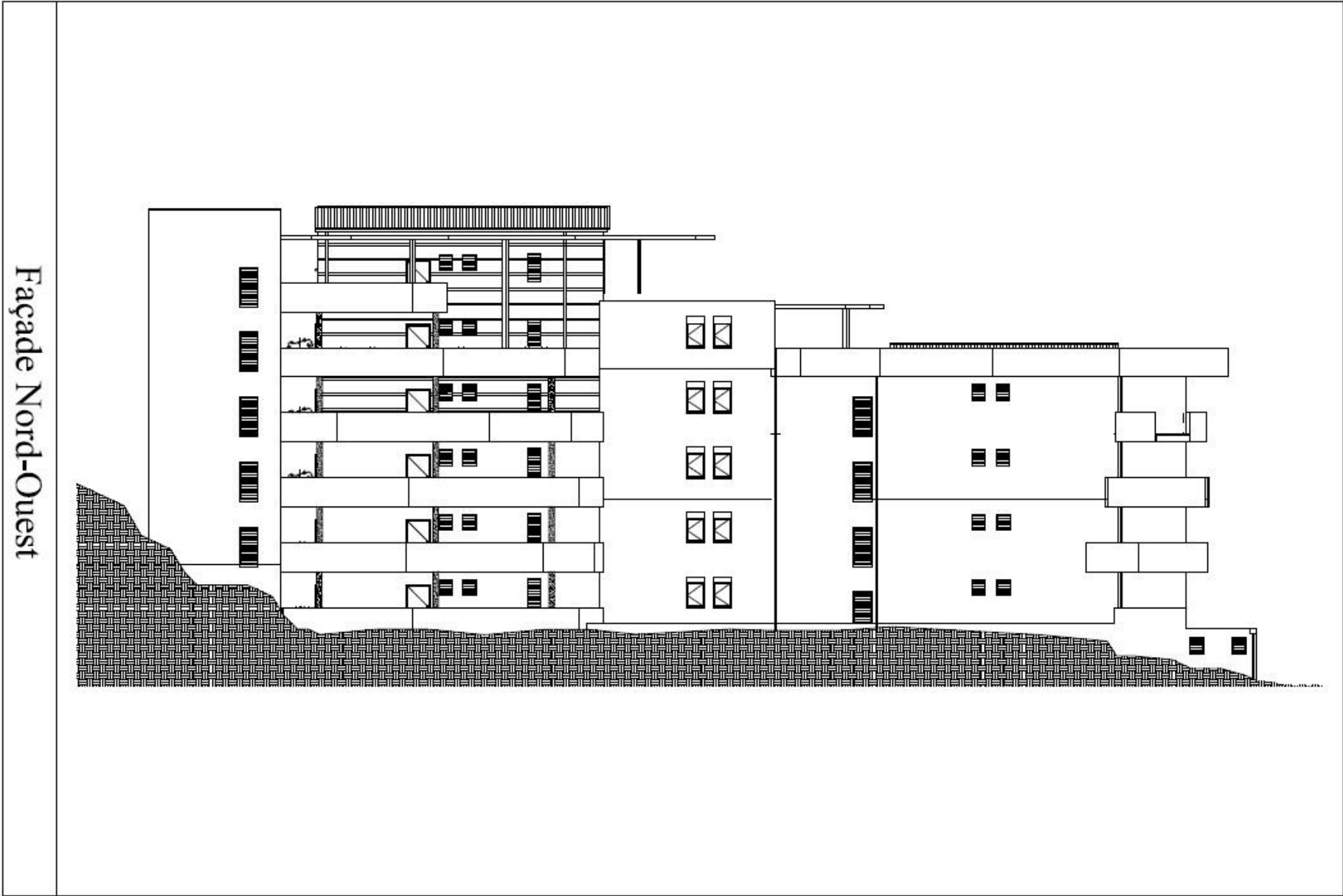
R+5 Bâtiment principal



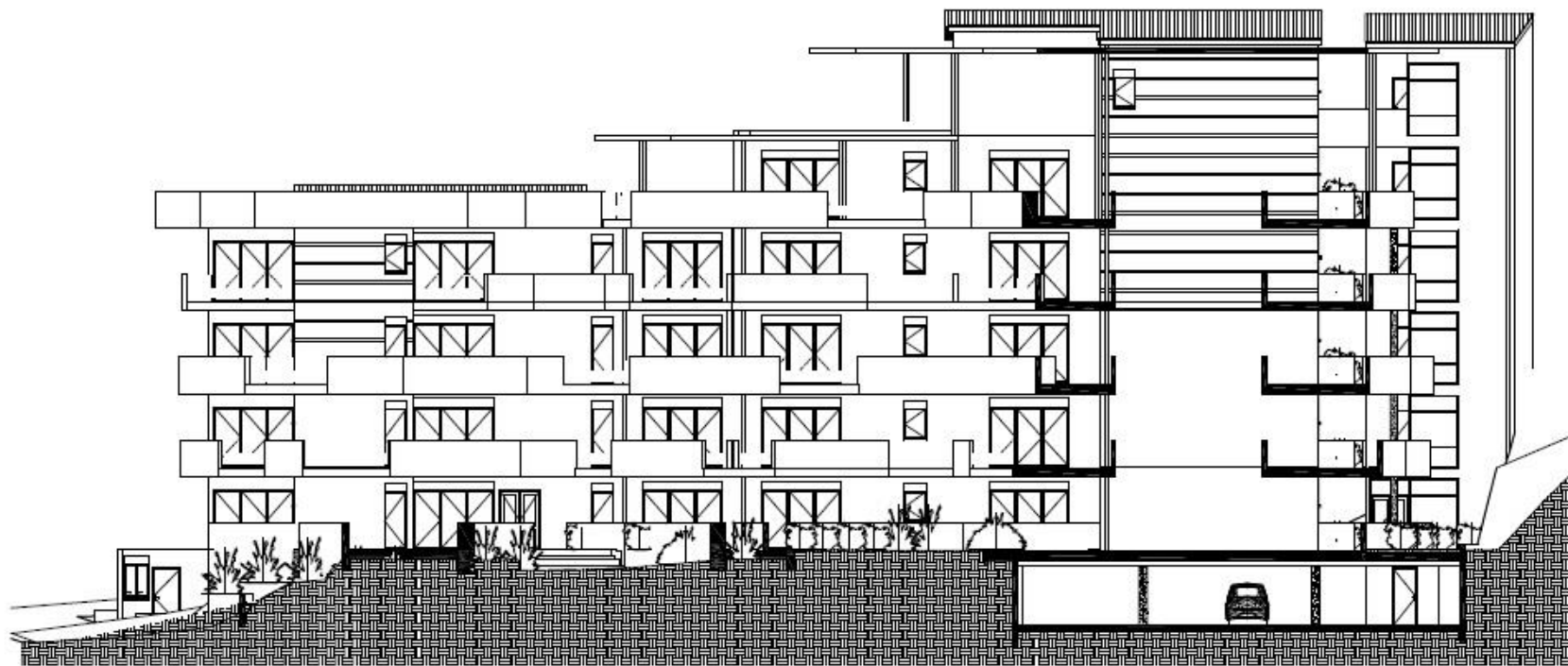
Coupe AA

Façade Nord-Est

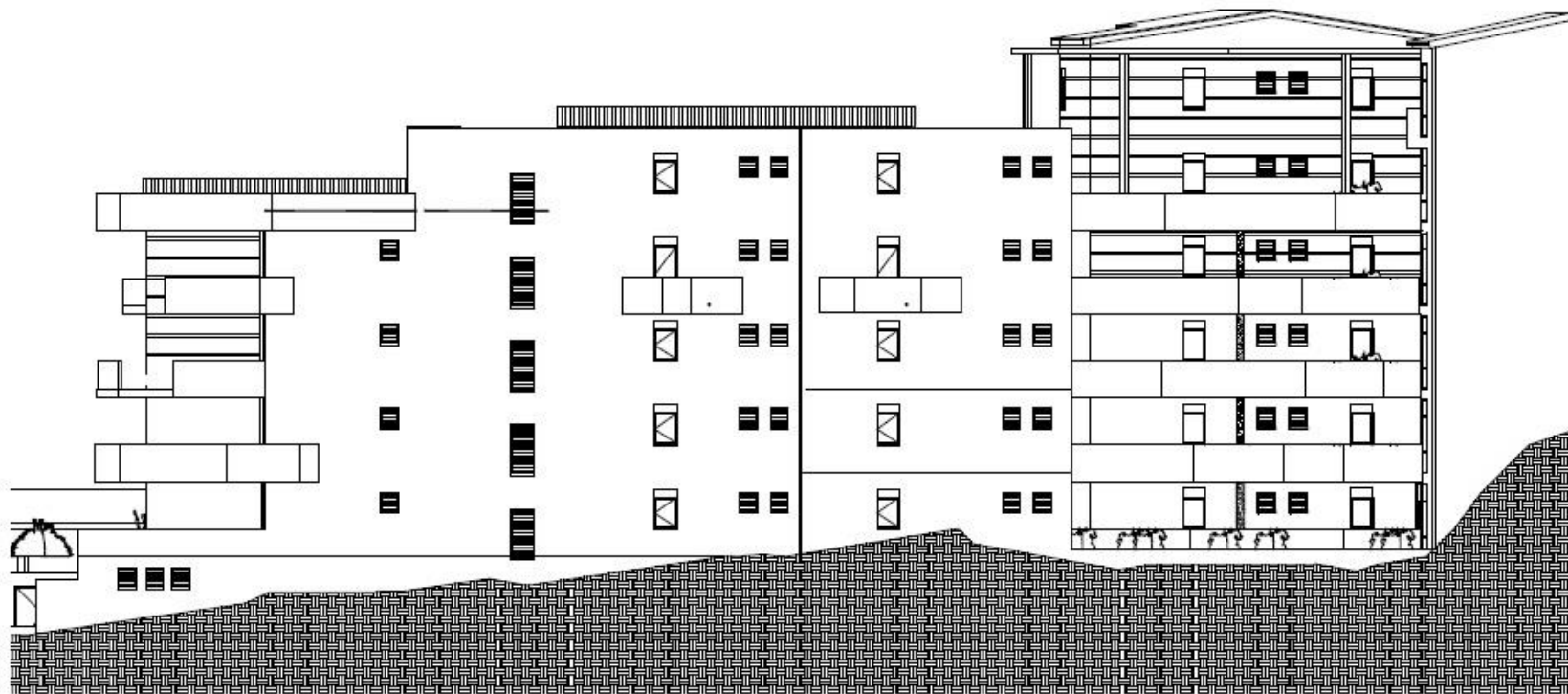


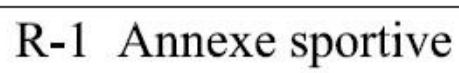


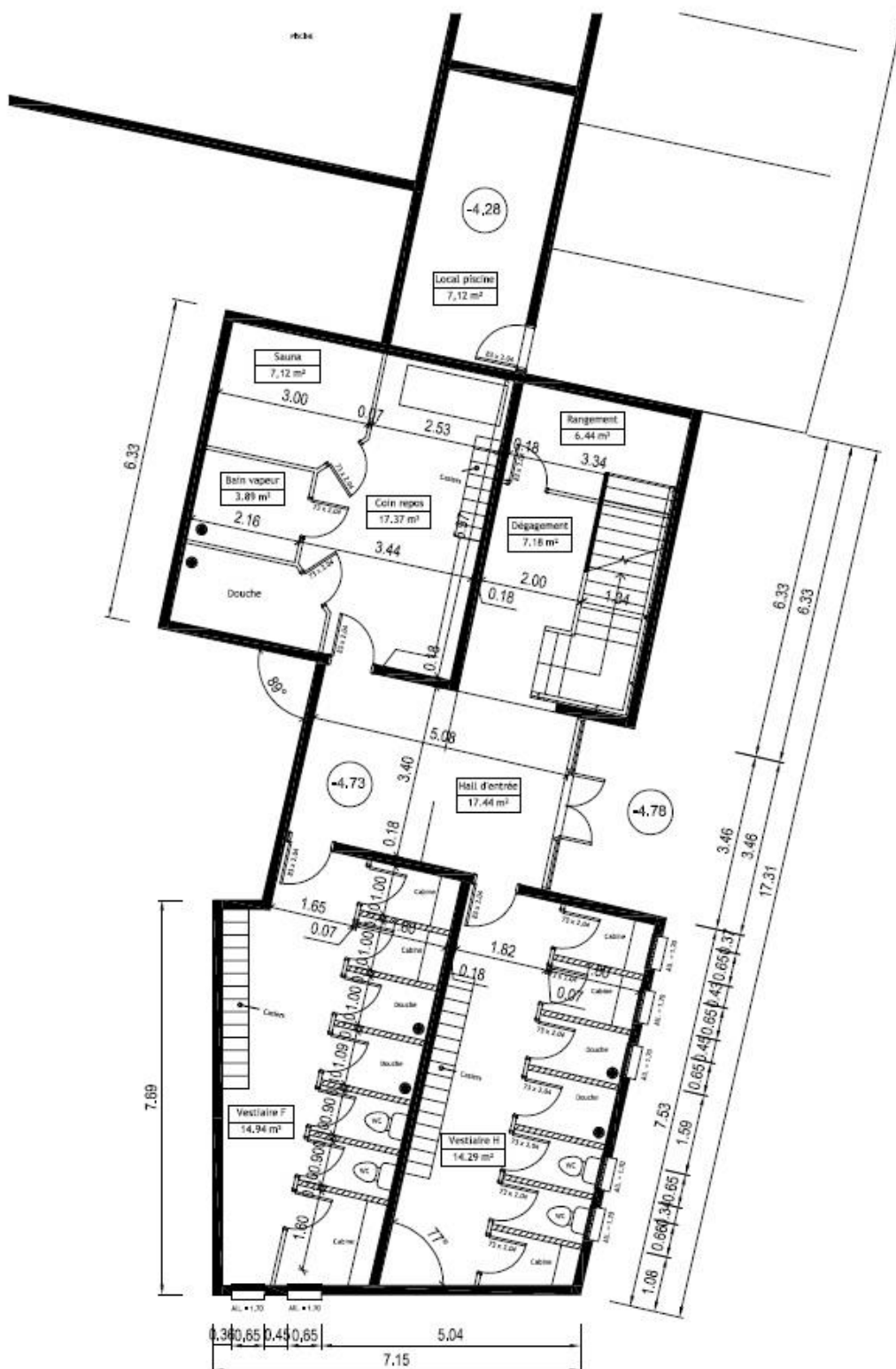
Façade Sud-Est



Façade Sud-Ouest

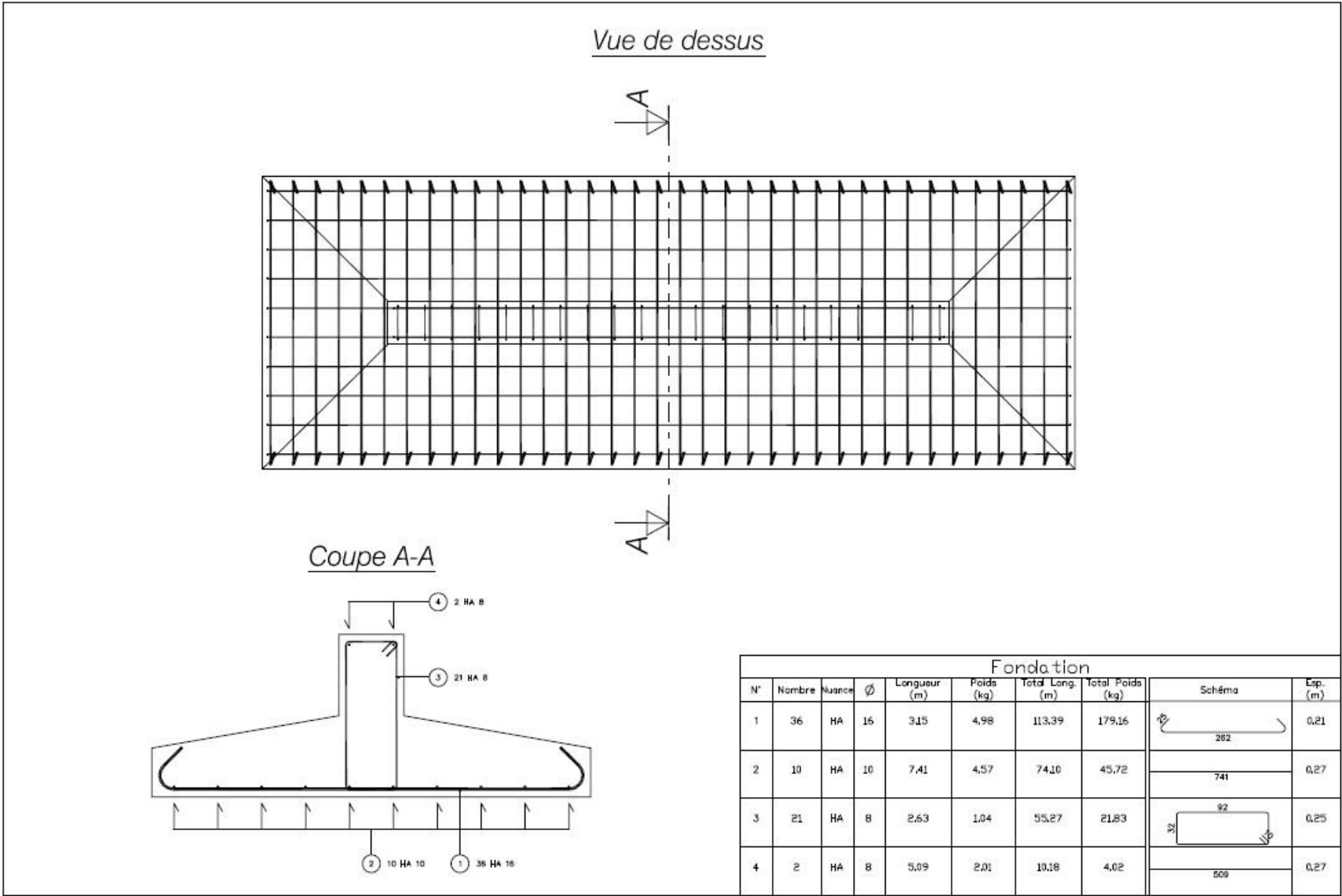




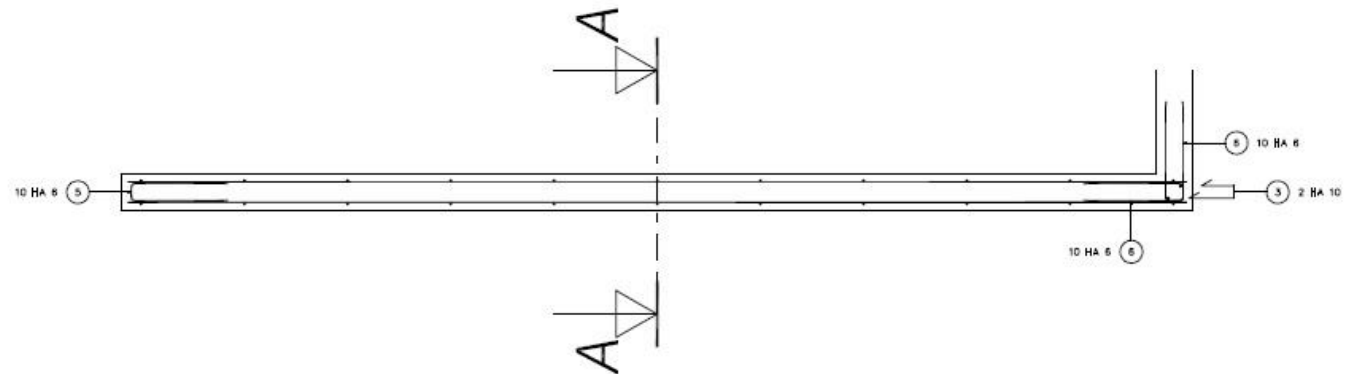


RDC Annexe sportive

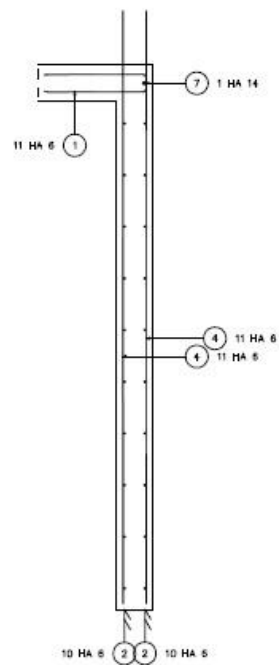
ANNEXE IX. PLANS DE FERRAILLAGE



Vue de dessus



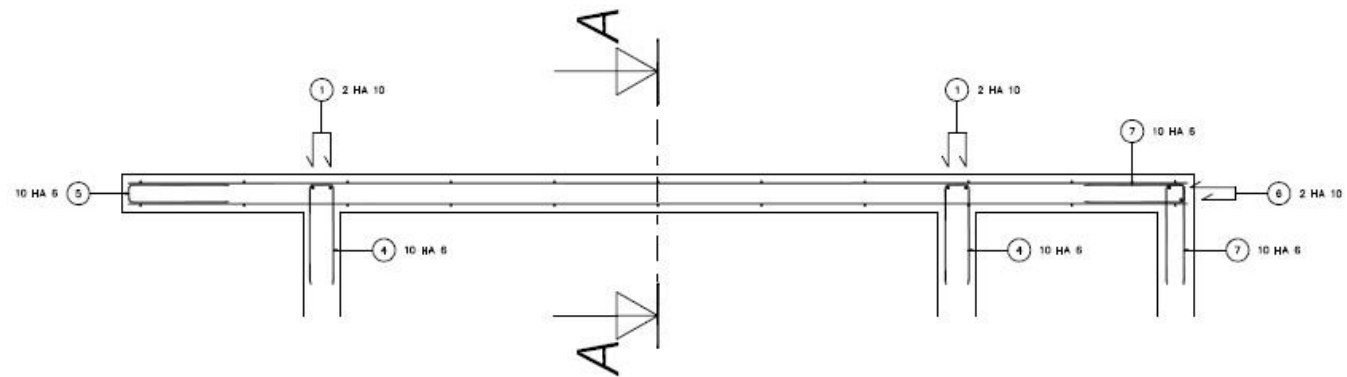
Coupe A-A



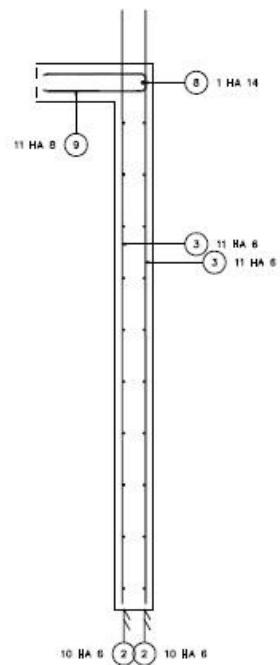
Voile a

N°	Nombre	Nuance	Ø	Longueur (m)	Poids (kg)	Total Long. (m)	Total Poids (kg)	Schéma	Esp. (m)
1	11	HA	6	1,06	0,24	11,68	2,59		0,30
2	20	HA	6	5,13	1,14	102,60	22,78		0,25
3	2	HA	10	2,84	1,75	5,68	3,50		
4	22	HA	6	2,87	0,64	63,14	14,02		0,30
5	10	HA	6	1,01	0,22	10,06	2,23		0,25
6	20	HA	6	1,03	0,23	20,68	4,59		0,25
7	1	HA	14	5,13	6,21	5,13	6,21		

Vue de dessus



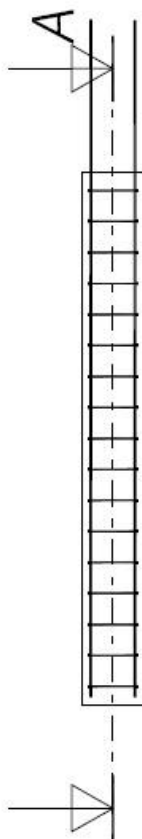
Coupe A-A



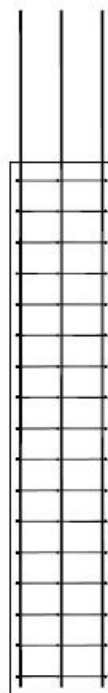
Voile b

N°	Nombre	Nuance	Ø	Longueur (m)	Poids (kg)	Total Long. (m)	Total Poids (kg)	Schéma	Esp. (m)
1	4	HA	10	2,86	1,76	11,42	7,05	286	
2	20	HA	6	5,12	1,14	102,40	22,73	512	0,25
3	22	HA	6	2,87	0,64	63,14	14,02	287	0,50
4	20	HA	6	1,06	0,24	21,24	4,72	49	0,25
5	10	HA	6	1,03	0,23	10,34	2,30	49	0,25
6	2	HA	10	2,87	1,77	5,74	3,54	287	
7	20	HA	6	1,03	0,23	20,68	4,59	49	0,25
8	1	HA	14	5,09	6,16	5,09	6,16	509	
9	11	HA	8	1,06	0,42	11,63	4,59	50	0,50

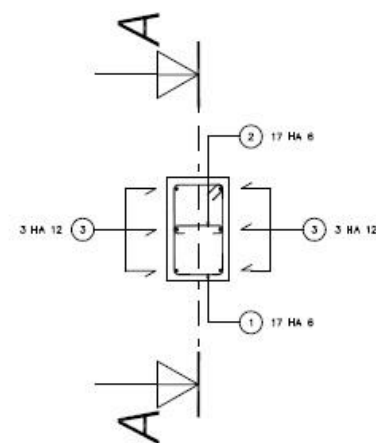
Elévation



Coupe A-A



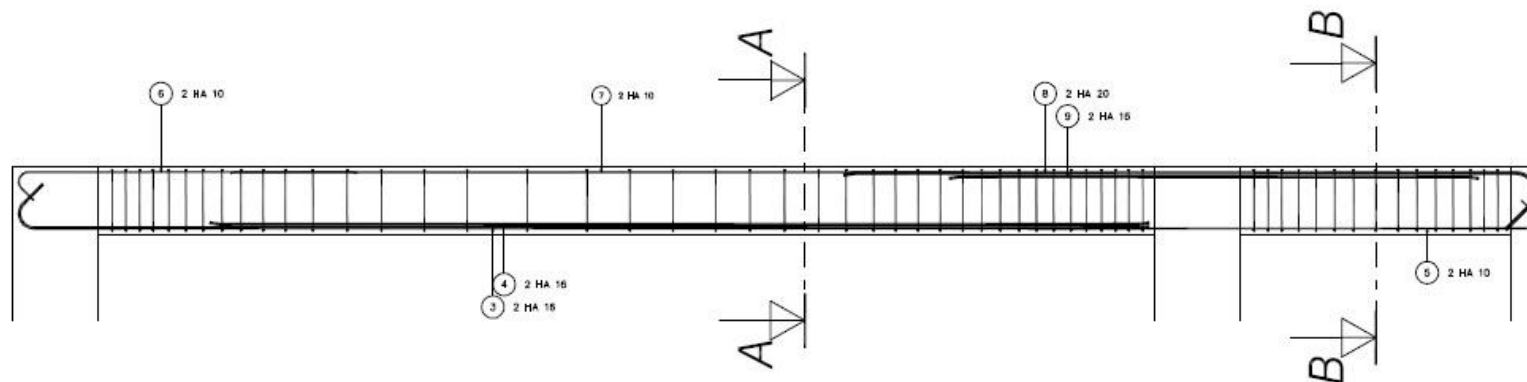
Vue de dessus



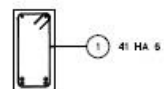
Poteau

N°	Nombre	Nuance	Ø	Longueur (m)	Poids (kg)	Total Long. (m)	Total Poids (kg)	Schéma	Esp. (m)
1	17	HA	6	1,48	0,33	25,13	5,58		0,15
2	17	HA	6	0,37	0,08	6,33	1,40		0,15
3	6	HA	12	3,28	2,91	19,68	17,48		

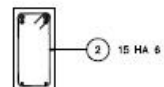
Elévation



Coupe A-A

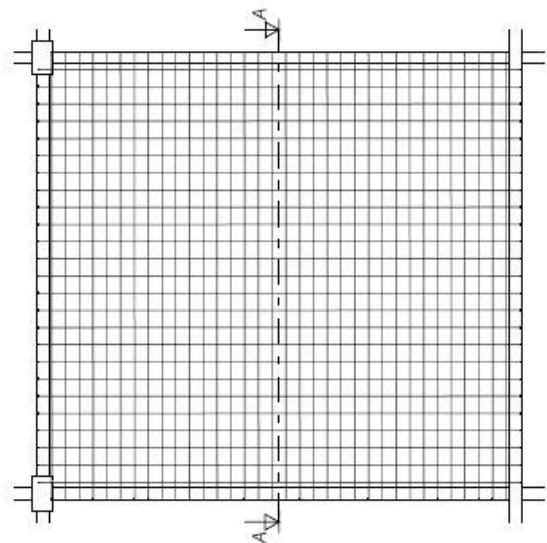


Coupe B-B

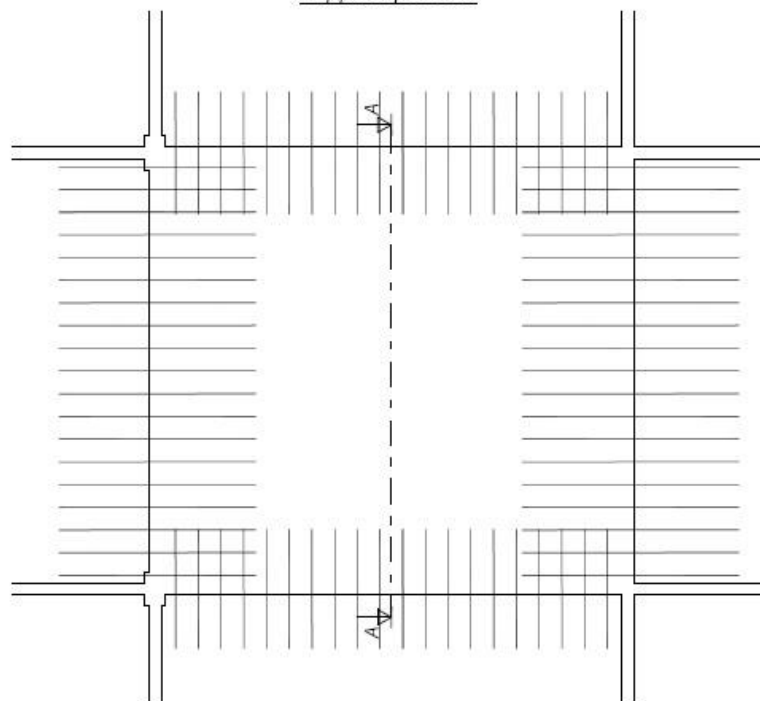


Poutre								Schéma	Esp. (m)
N°	Nombre	Nuance	Ø	Longueur (m)	Poids (kg)	Total Long. (m)	Total Poids (kg)		
1	41	HA	6	1,16	0,26	47,49	10,54		
2	15	HA	6	1,16	0,26	17,38	3,86		
3	2	HA	16	6,86	10,85	13,73	21,69		0,12
4	2	HA	16	5,48	8,66	10,97	17,33		0,12
5	2	HA	10	3,17	1,96	6,34	3,91		0,12
6	2	HA	10	2,15	1,33	4,30	2,65		0,12
7	2	HA	10	4,31	2,66	8,62	5,32		0,12
8	2	HA	20	4,39	10,82	8,78	21,64		0,12
9	2	HA	16	3,09	4,89	6,19	9,78		0,12

Nappe inférieure



Nappe supérieure



Nom : RABOTOSON

Prénoms : Soamananoro Julie Alice

E-mail : rsj_alice@yahoo.fr

Téléphone : +261 33 20 019 91



Titre du mémoire : **ETUDE D'UN IMMEUBLE D'HABITATION R+5 A VOILES DE CONTREVENTEMENT « Terrasse d'Ambatobe »**

Nombre de pages : 133

Nombre de tableaux : 81

Nombre de figures : 35

RESUME

Le présent ouvrage fait lieu d'étude d'un bâtiment de 37 logements de haut standing à voiles de contreventement et parking souterrain. Il rassemble étude justificative, architecturale, technique et financière. Concernant le calcul des éléments structuraux en béton armé, il consiste à modéliser les éléments de façon à les rapporter aux lois classiques de la RDM et/ou aux méthodes de calcul des sollicitations particulières selon les réglementations françaises (BAEL91, DTU, ...). Les résultats ainsi obtenus sont par la suite vérifiés au feu selon les exigences de sécurité.

Mots clés : bâtiment, béton armé, voile de contreventement, résistance au feu

ABSTRACT

This book consists on a wind bracing layer building study. It contains 37 luxury flats and an underground parking. It gathers justificatory, architectural, technical and financial study. Concerning the calculation of reinforced concrete structural elements, it is a question of modelling the elements so as to refer them to the classical laws of RDM and/or the calculation method of specific loads according to the French regulations (BAEL91, DTU, ...). Afterward, the results so obtained are verified by calculation of fire resistance.

Keywords : building, reinforced concrete, wind-bracing layer, fire resistance

Directeur de mémoire : Monsieur RABENATOANDRO Martin