

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Département
GENIE CIVIL

PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie civil

Thème :

**Etude technico-économique des
écrans acoustiques**

Proposé par :

M. SILHADI. K

Réalisé par :

FERDJ Laid

Dirigé par :

M. SILHADI. K
Mme. CHIKH. A

Promotion

2002

E.N.P 10.Avenue Hassan Badi. El Harrach. Alger
Tél : (021) 52.53.01/03 . Fax : (021) 52.29.73 . E-mail : ENP@IST.CERIST.DZ

Le bruit est le 5^{ème} sujet de plainte concernant l'environnement local (après la circulation routière, la pollution de l'air, la dégradation des paysages, et les déchets). Le nombre de plaintes enregistrées concernant le bruit est en constante augmentation.

DEDICACES

A ma mère pour tous les sacrifices consentis à mon égard.

A toute ma famille

*A Lotfi, Amine, Sofian, Rachid, Abdennour, Abdelkader,
Adel, Samir, Hocine, Mohamed, Saad, Zora.*

A tous ceux qui me sont chers.

LAI

Remerciements

Je remercie Dieu, tout puissant de m'avoir donné le courage et la capacité d'arriver à ce stade de savoir,

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance et toute ma gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation, à mes promoteurs : M SILHADI et Mme CHIKH.

Mes plus vifs remerciements à tous les membres du jury qui me feront l'honneur d'examiner ce travail.

Je remercie aussi M. ZOUAOUI responsable de l'unité de mesures acoustiques et M. MEZIAN le technicien de CNERJB.

Je ne manquerai pas d'exprimer aussi toute ma gratitude et reconnaissance à mon ami : Hamitouche Lotfi.

Ainsi qu'à tout le personnel de la bibliothèque centrale de l'ENP et du Centre Culturel Universitaire (C.C.U).

LISTE DES FIGURES

N°	Titre	Page
1.1	Effet résonateur (médiuims)	10
1.2	Effet membrane (grave)	10
2.1	Effet de diffraction	13
2.2	Réfraction et réflexion à la surface de séparation de deux milieux.[5]	17
2.3	Notations	18
2.4	Courbes d'égal niveau de bruit de circulation pour un trafic de 16000 véhicules. Entre 6 h et 22	19
2.5	Courbes d'égal niveau de bruit de circulation aux abords d'une route à 4 voies avec effet de sol important	19
2.6	L'effet d'écran au voisinage d'une autoroute _Paramètres de calcul.	21
2.7	Courbe de KURZE et ANDERSON (source linéaire)	22
3.1	Localisation du projet (plan de masse)	25
3.2	Coupe AA' (autoroute Alger- Dar El-Beida)	26
3.3	Représentation des voies	29
3.4	Représentation des chaussées	30
3.5	Représentation de la source linéaire	30
3.6	Représentation des voies (autoroute de Hydra)	35
3.7	Présentation des paramètres	42
3.8	Notations	43
4.1	Coefficient d'absorption en fonction de la fréquence	63
4.2	Coefficient α pour des éprouvettes de béton crépi et un autre normal	65
5.1	Parpaing	69
5.2	Terre banchée	70
5.3	Brique silico-calcaire	70
5.4	Application d'une charge localisée.	76
5.5	Représentation des moments	81
5.6	Efforts tranchants	82
5.7	Schéma de ferrailage de la poutre	83
5.8	Schéma de ferrailage du poteau	84
5.9	Représentation des sollicitations revenant à la semelle	86
5.10	Schéma de ferrailage de la semelle	87
5.11	Schéma de ferrailage du voile	91
5.12	Schéma de ferrailage du poutre (mur en béton armé)	93
5.13	Semelle armée sous mur	106
5.14	Schémas de ferrailage de la semelle (mur en pisé avec semelle isolée)	111
5.15	Schéma de parpaing inversé	112

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Page
2.1	Niveaux de bruits admissibles suivant un extrait de l'arrêté du 25 octobre 1962	14
2.2	Variation de L donnée par la relation (2.1) en fonction du pourcentage de poids lourds et des véhicules de transport en commun	15
2.3	Variation de L donnée par la relation (2.1) en fonction de la pente de la voie de circulation	15
2.4	Facteur d'équivalent acoustique.	16
3.1	Débit des véhicules en (véh/heure) et pourcentage de poids lourds du 17.04.2001 au 09.04.2001	27
3.2	Débit des véhicules et pourcentage de poids lourds et véhicules de transports pour les voies 1 et 2. Le 03.04.2002.(Autoroute Alger-Dar El-Beida).	28
3.3	Débit des véhicules et pourcentage de poids lourds et véhicules de transports pour les voies 3 et 4. Le 28.04.2002.(Autoroute Alger- Dar El-Beida).	28
3.4	Débit des véhicules et pourcentage de poids lourds et véhicules de transports pour une journée. (Autoroute Alger- Dar El-Beida).	31
3.5	Les mesures de bruits par le sonomètre.(Autoroute Alger- Dar El-Beida)	31
3.6	Débit des véhicules en (véh/heure) et pourcentage de poids lourds et véhicules de transports. (Autoroute de Hydra) (Chaussée par chaussée)	36
3.7	Les mesures de bruits par le sonomètre.(Autoroute de Hydra)	36
3.8	Débit des véhicules en (véh/heure) et pourcentage de poids lourds et véhicules de transports. Autoroute à Hydra	39
4.1	Influence de l'étanchéité	64
4.2	Coefficient α pour des éprouvettes de mortier de ciment plus des fibres de cellulose	64
4.3	Coefficient α pour des éprouvettes de béton crépi et de béton normal	64
6.1	Evaluation des coûts pour le mur en parpaings	129
6.2	Evaluation des coûts pour le mur en béton armé	130
6.3	Evaluation des coûts pour le mur en terre banchée (Semelle filante)	130
6.4	Evaluation des coûts pour le mur en terre banchée (Semelle isolée)	131
6.5	Evaluation des coûts pour le mur en parpaing inversé	131
6.6	Les coûts	132
6.7	Comparaison des coûts	132

LISTE DES PHOTOS

N°	Titre	Page
1.1	Ecran en béton 1	4
1.2	Ecran en béton 2	4
1.3	Ecran en brique	5
1.4	Ecran en Bloc de maçonnerie: aileron rompu	5
1.5	Ecran en métal (Acier)	6
1.6	Ecran en métal (Aluminium)	6
1.7	Ecran en contre-plaqué	6
1.8	Ecran en planche	6
1.9	Ecran transparent	7
1.10	Ecran transparent de panneau vandalisme	7
1.11	Ecran en plastique	8
1.12	Ecran en caoutchouc réutilisé	8
5.1	Joint de dilatation dans un mur en béton	68
5.2	Base d écran acoustique en béton armé	91

TABLE DES MATIERES



Introduction générale.....	2
----------------------------	---

CHAPITRE I

Différents types d'écrans acoustiques

1. Introduction.....	4
2. Les différents types d'écrans acoustiques.....	4
2.1 Suivant leurs matériaux constitutifs.....	4
2.1.1 Béton.....	4
2.1.2 Bloc de briques et de maçonnerie.....	5
2.1.3 Métaux.....	5
2.1.4 Bois.....	6
2.1.5 Panneaux transparents.....	7
2.1.6 Plastiques.....	8
2.1.7 Caoutchouc réutilisé.....	8
2.2 Suivant leurs absorptions ou leurs réflexions.....	9
2.2.1 Ecrans réfléchissants.....	9
2.2.2 Ecrans absorbants.....	9

CHAPITRE II

Présentation des méthodes de dimensionnement

1. Introduction : bruit produit par la circulation routière.....	12
2. Effet d'un écran acoustique.....	13
3. Evaluation du niveau de bruit routier.....	14
3.1 Source ponctuelle.....	14
3.2 Source linéaire.....	14
4. Ajustement en fonction des caractéristiques du trafic.....	15
4.1 Débit équivalent : Q_{eq}	16
4.2 Le niveau de bruit équivalent $L_{Aeq,mes}$	16
5. Méthode de calcul pratique de l'effet du sol.....	17
6. Les méthodes pratiques de détermination de la hauteur des écrans acoustiques.....	20
6.1 Méthode numérique « PARKIN et HUMPHREYS ».....	20
6.2 Méthode graphique.....	21
6.2.1 Méthode KURZE et ANDERSON.....	21
6.2.2 Méthode du GREATER LONDON COUNCIL.....	23

CHAPITRE III

Calcul des niveaux de bruit et des hauteurs des écrans acoustiques

1. Détermination des niveaux de bruit.....	27
1.1 Autoroute Alger-Dar El-Beida.....	27
1.1.1 Trafic routier.....	27
1.1.2 Calcul des niveaux de bruit L par la méthode théorique.....	28
1.1.3 Calcul du niveau de bruit L.....	31
1.1.3.1 Suivant les caractéristiques du trafic.....	31

1.1.3.2	Suivant la relation de comptage	33
1.2	Autoroute de Hydra.....	36
1.2.1	Hypothèse de route assimilée à deux sources linéaires.....	36
1.2.1.1	Trafic routier (Autoroute Alger – Dar El-Beida).....	36
1.2.1.2	Calcul des niveaux de bruit L.....	36
1.2.1.2.1	Suivant les caractéristiques du trafic.....	36
1.2.1.2.2	Suivant la Formule de comptage	37
1.2.2	Hypothèse de route assimilée à six sources linéaires.....	39
1.2.2.1	Trafic routier (Autoroute de Hydra).....	39
1.2.2.2	Calcul du niveau de bruit L.....	40
1.2.2.1.1	Calcul suivant les caractéristiques du trafic.....	40
1.2.2.1.2	Calcul suivant la Formule de comptage	40
2.	Calcul de la hauteur de l'écran acoustique.....	42
2.1	Les étapes de calcul de la hauteur de l'écran acoustique.....	42
2.1.1	La démarche d'utilisation des méthodes de calcul	42
2.1.2	La démarche pour déterminer la hauteur de l'écran acoustique.....	44
2.1.3	La démarche pour calculer la hauteur de l'écran acoustique.....	45
2.2.	Résultats.....	46
2.2.1	Autoroute Alger – Dar El-Beida.....	46
2.2.2	Autoroute de Hydra.....	53

CHAPITRE IV

Amélioration de l'absorption des matériaux

1.	Introduction.....	62
2.	Mesure de l'absorption des matériaux.....	62
2.1	Coefficient d'absorption « α ».....	62
2.2	Mesure des coefficients d'absorption	63
2.3	Influence de l'étanchéité.....	63
3.	Amélioration des coefficients d'absorption des matériaux utilisés dans notre étude.....	64

CHAPITRE V

Dimensionnement des murs (Ecrans acoustiques)

1.	Généralités.....	67
1.1	Introduction.....	67
1.2.	Expansion et contraction des matériaux.....	67
1.3	Chargements	67
1.4	Conditions de base.....	67
1.5	Vérification de qualité.....	68
1.6	Joint de dilatation sur les systèmes moulés sur place.....	68
1.7	Matériaux utilisés	69
2.	Dimensionnement des murs.....	71
2.1	Mur en blocs de béton creux « parpaing »	72
2.1.1	Evaluation des charges.....	72
2.1.1.1	Evaluation des charges horizontales « dues au vent »	72
2.1.1.2	Evaluation des charges verticales « poids propres »	73
2.1.2	Vérifications des maçonneries.....	73
2.1.3	Détermination des caractéristiques mécaniques des parois en maçonnerie.	73
2.1.3.1	Caractéristiques des matériaux.....	74

2.1.3.2	Caractéristiques du mur.....	74
2.1.3.2.1	Résistance moyenne de rupture.....	74
2.1.3.2.2	Module de déformation longitudinale.....	74
2.1.3.2.3	Résistance admissible de calcul en compression	74
2.1.3.2.4	Résistance admissible en flexion latérale.....	75
2.1.3.2.5	La résistance admissible au cisaillement.....	75
2.1.4	Efforts sollicitant les parois de maçonnerie.....	76
2.1.5	Calculs.....	77
2.1.5.1	Calcul en compression.....	77
2.1.5.2	Calcul en flexion	79
2.1.5.3	Calcul au cisaillement.....	80
2.1.6	Dimensionnement.....	81
2.1.6.1	Principe de la méthode forfaitaire.....	81
2.1.6.2	Les résultats de dimensionnement.....	83
2.1.7	Fondations.....	85
2.1.7.1	Les charges revenant à la semelle.....	85
2.1.7.2	Dimensionnement de la semelle.....	85
2.2	Mur en Béton armé	88
2.2.1	Evaluation des charges.....	88
2.2.2	Vérification des contraintes de compression à la base du mur.....	88
2.2.3	Vérification à la flexion	89
2.2.4	Vérification de la résistance au cisaillement.....	89
2.2.5	Ferraillage minimal du mur.....	90
2.2.6	Dimensionnement de la poutre.....	91
2.2.7	Dimensionnement du poteau.....	93
2.2.8	Fondations	94
2.3	Mur en terre banchée « en pisé avec semelle filante»	99
2.3.1	Evaluation des charges.....	99
2.3.2	Vérifications des maçonneries.....	100
2.3.3	Détermination des caractéristiques mécaniques des parois en maçonnerie.....	100
2.3.3.1	Caractéristiques des matériaux.....	100
2.3.3.2	Caractéristiques du mur.....	100
2.3.5	Calculs.....	101
2.3.6	Dimensionnement	104
2.3.7	Fondations.....	105
2.4	Mur en terre banchée « en pisé avec semelle isolée»	107
2.4.1	Evaluation des charges.....	107
2.4.2	Vérifications des maçonneries.....	107
2.4.3	Dimensionnement	107
2.4.4	Fondations.....	110
2.5	Mur en blocs de béton creux « parpaing inversé »	112
2.5.1	Evaluation des charges.....	112
2.5.2	Vérifications des maçonneries.....	113
2.5.3	Détermination des caractéristiques mécaniques des parois en maçonnerie.....	113
2.5.3.1	Caractéristiques des matériaux.....	113
2.5.3.2	Caractéristiques du mur.....	113
2.5.4	Calculs.....	115
2.5.5	Dimensionnement	117
2.5.6	Fondations.....	120
2.6	Récapitulation	122

CHAPITRE VI

Etude comparative des coûts

1. Introduction.....	127
2. Hypothèses retenues pour les calculs.....	127
2.1 Terre banchée	127
2.2 Prix de revient d'un mètre carré réalisé en brique silico-calcaire.....	128
2.3 Prix de revient d'un mètre carré réalisé en Parpaing	129
2.4 Prix de revient d'un mètre carré réalisé en Parpaing inversé.....	129
3. Evaluation du coût du mur.....	129
4. Comparaison des coûts.....	132
Conclusion générale.....	134

Bibliographie

Annexes 1 : Notions d'acoustique et appareils de mesure de bruit

Annexes 2 : Mesure des bruits

Annexes 3 : Trafic routier

Annexes 4 : Programmes informatiques.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Le bruit de la circulation routière se pose comme un problème majeur qui constitue une entrave au fonctionnement de certaines institutions (écoles, hôpitaux...), ce qui a poussé les ingénieurs et les spécialistes du domaine de construction à rechercher des remèdes en construisant des obstacles sous forme de murs appelés écrans acoustiques réalisés avec différents types de matériaux.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail. Celui-ci consiste à dimensionner des écrans acoustiques en utilisant plusieurs variantes, puis à faire une étude comparative afin de choisir le matériau convenable du point de vue technique et économique.

Nous avons proposé de dimensionner deux écrans, le premier implanté à l'ENP, à côté du département de génie chimique (voir le plan de masse fig. 3.1), le deuxième écran prévu est situé sur l'autoroute de Hydra au niveau de la cité des fonctionnaires. Pour les matériaux nous avons choisi ceux qui sont disponibles et plus répandus tels que le parpaing, terre banchée (pisé) et le béton armé.

Ce travail a été basé sur une étude expérimentale consistante qui a commencé par la mesure des niveaux de bruit pour différents points sur les sites considérés à l'aide d'un sonomètre intégrateur, de plus un comptage du débit des véhicules sur les différentes voies de circulation a été effectué. En fin on a aussi procédé à la mesure des coefficients d'absorption des matériaux proposés.

L'étude théorique nous a permis de recenser les différents types d'écrans ainsi que les matériaux les plus utilisés. Nous nous sommes basés sur les méthodes de dimensionnement des écrans les plus pratiques, nous avons mis au point deux programmes informatiques sur la base de ces méthodes et nous avons fini par une étude technico-économique qui nous a permis de comparer les coûts des différentes variantes.

CHAPITRE I

Différents types d'écrans acoustiques

1. Introduction

L'écran constitue un obstacle contre la propagation des ondes sonores, est réalisée derrière lui une zone plus ou moins protégée, que certains auteurs appellent zone d'ombre sonore en désignant par opposition, la zone non protégée- zone éclairée. En réalité le phénomène est rendu plus complexe par la diffraction des ondes au droit de la crête de l'écran. Cette diffraction est sélective : elle est plus grande que pour les bruits de grande longueur d'onde, donc pour les fréquences graves, et diminue progressivement vers les fréquences aiguës.

2. Les différents types d'écrans acoustiques

Les écrans acoustiques peuvent être classés en deux grandes catégories :

2.1 Suivant leurs matériaux constitutifs

2.1.1 Béton

Le béton est l'un des modes les plus commun de matériaux de construction (Photos 1.1 et 1.2). Le béton est un mélange constitué de : ciment Portland, de granulats, et l'eau.

Afin d'améliorer ses coefficients d'absorption on pourra lui rajouter des additifs spécifiques.

Pour des opérations moulées sur place, le béton est normalement livré pré-mélangé par camion, mais pour de petites quantités, il pourra être mélangé sur place. Pour les produits préfabriqués, les chantiers ont habituellement leurs propres usines en lots capables de fournir des quantités suffisantes pour assortir la production.

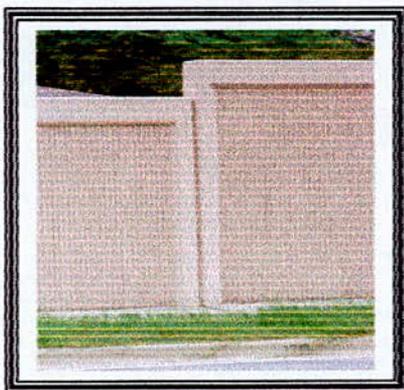


Photo 1.1: Ecran en béton(1)



Photo 1.2 : Ecran en béton(2)

La polyvalence du béton se prolonge également à la forme et la taille avec lesquelles les panneaux peuvent être produits (par exemple, préfabriqués les panneaux empilés, pleins, les panneaux moulés sur place et préfabriqués de taille, et le bloc de béton préfabriqué). En outre, le béton tient compte d'une gamme complète de techniques d'installation comprenant le poteau et le panneau, intégrant le poteau avec le panneau,

position libre, et sur les poses isolées, les poses continues, les écrans du trafic, et les murs de soutènement. Des murs en béton moulés sur place ont été typiquement utilisés sur des ponts et des murs de soutènement en raison de leur flexibilité de conception, de résistance de la structure élevée, et de résistance aux dommages d'impact de véhicule.

2.1.2 Bloc de briques et de maçonnerie

La brique (Photo 1.3) est en général manufacturée, constituée d'un mélange d'argile et de sable, elle sera cuite dans un four afin d'augmenter sa force et sa longévité. Les briques peuvent avoir n'importe quelle taille, or les plus utilisées dans notre pays sont en général de l'ordre de (100 × 200 × 300) millimètres.



Photo 1.3: Ecran en brique

Le bloc de maçonnerie (Photo 1.4) est employé manufacturé sec. Il est moulé à l'aide d'un mélange de béton. Ces blocs peuvent avoir n'importe quelle taille.

Généralement les plus utilisées sont de l'ordre de :

200 à 300 millimètres en profondeur

200 à 250 millimètres en hauteur

355 à 466 millimètres en longueur

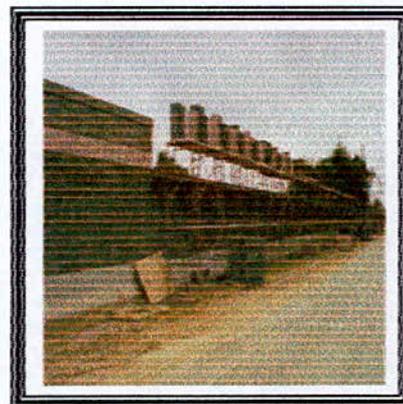


Photo 1.4: Ecran en Bloc de maçonnerie aileron rompu

2.1.3 Métaux

Les trois types de métaux les plus employés sont :

- L'acier
- L'aluminium
- L'acier inoxydable.

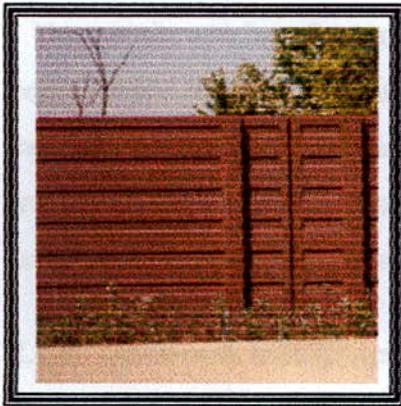


Photo 1.5: Ecran acoustique en métal (Acier)



Photo 1.6 : Ecran acoustique en métal (Aluminium)

- **Acier** Les tôles d'acier se composent de carbone, de minerais de fer ainsi que d'autres métaux, selon les caractéristiques physiques désirées, elles se distinguent surtout par leur coût assez faible(Photo 1.5).
- **Aluminium** L'aluminium est un alliage léger généralement fait à partir de la bauxite, il est le plus souvent enduit d'une poudre collée (peinture d'émail, anodisé) (Photo 1.6). Son inconvénient est sa non compatibilité avec les enduits galvanisés.
- **Acier inoxydable** Il se compose d'un mélange de carbone, nickel et de chrome dans des proportions variables. Les aciers inoxydables se distinguent par :
 - 1- Une très grande résistance ;
 - 2- Leur longévité ;
 - 3- Leur non corrosion donc pas besoin d'être revêtus.

2.1.4 Bois

La plupart des écrans acoustiques en bois sont construits avec du bois de charpente traitée par préservatif de pression, des contre-plaqué (Photo 1.7), et des produits stratifiés par colle (Photo 1.8).

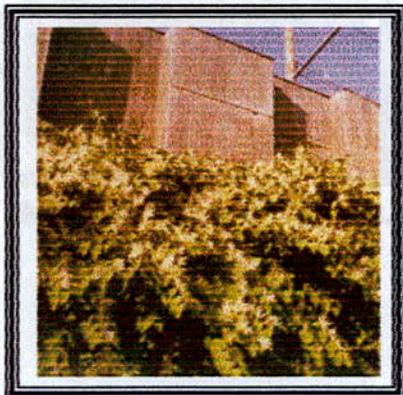


Photo 1.7 : Ecran en contre-plaqué



Photo 1.8: Ecran en planche

Un certain nombre d'espèces différentes de bois offrent des possibilités intéressantes pour l'usage comme produit de barrière de bruit, mais ceci ne signifie pas que tous exécutent également. Quelques espèces, telles que les pins, sont bien appropriées au traitement de pression. Considérant que, il peut être difficile d'obtenir une pénétration profonde et uniforme du préservatif dans les sapins.

2.1.5 Panneaux transparents

Les écrans transparents sont adoptés pour 3 raisons:

Afin de laisser la vue scénique aux conducteurs;

- La vue scénique pour les résidents à côté de la chaussée ;
- La vue des établissements commerciaux pour le public conduisant.

Les panneaux transparents peuvent être divisés selon la matière dont ils sont fait, en deux grandes familles :

2.1.5.1 Panneaux transparents réalisés en verre : ils sont généralement faits de feuilles de verre gâchée ou stratifiée.

2.1.5.2 Panneaux transparents réalisés en plastique : ils sont généralement faits par des plastiques transparents tels que : plexiglas, bu tacite, surlyn ... etc.

L'intérêt des matériaux transparents est de réduire ou d'éliminer presque entièrement l'impact visuel d'un écran acoustique.



Photo 1.9 : Ecran transparent.

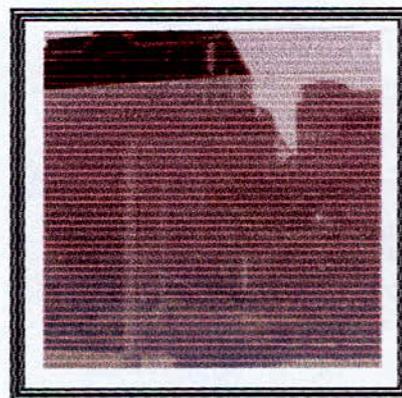


Photo 1.10 : Ecran transparent de panneau: vandalisme

2.1.6 Plastiques

Il y a plusieurs types de matières plastiques disponibles pour l'usage comme matériaux de constructions des écrans acoustiques :

Polyéthylène, PVC et les fibres de verre (Photo 1.11).

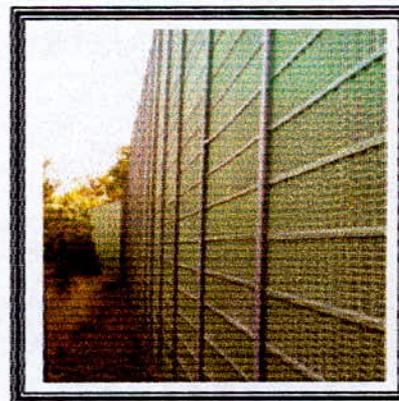


Photo 1.11 : Ecran en plastique

L'avantage des matériaux plastiques est leur légèreté, ce qui permet d'un côté de réaliser des panneaux à grandes dimensions et d'un autre côté à une mise en place très rapide.

2.1.7 Caoutchouc réutilisé

La question d'employer le caoutchouc des pneus usés dans les produits utilisés pour la construction de chaussée a été soumise à l'étude pendant plusieurs années par de nombreux organismes gouvernementaux dans le monde entier. Les résultats de leurs efforts indiquent le succès considérablement variable dans l'essai d'adapter ce type de matériel dans un produit utilisable (Photo 1.12).

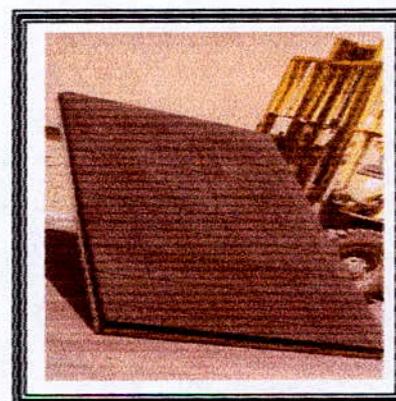


Photo 1.12 : Ecran en caoutchouc réutilisé

Le caoutchouc réutilisé peut se rapporter à un éventail de produits, faits à partir de composés en caoutchouc. Dans la pratique, le jet de rebut en caoutchouc est dominé par les chutes de pneus, et la fatigue des pneus.

2.2 Suivant leurs absorptions ou leurs réflexions

Les isolations acoustiques s'intéressent aux problèmes acoustiques posés par l'art du bâtiment.

Elles traitent en particulier des problèmes concernant la protection des locaux contre les bruits et les vibrations, et des conditions optimales d'émission et de réception des ondes sonores dans un local.

2.2.1 Ecrans réfléchissants

On distingue deux types d'écrans réfléchissants

2.2.1.1 Les écrans compacts : ils peuvent être en béton armé, en métal, en plastique, en bois, ... etc. Ces écrans sont formés de murs auto-porteurs.

2.2.1.2 Ecran comprenant une ossature porteuse distincte des plaques de l'écran

L'ossature porteuse est généralement constituée de profiles métalliques (acier ou alliage d'aluminium).

Les éléments formant l'écran sont des plaques préfabriquées glissées entre éléments porteurs.

2.2.2 Ecrans absorbants

On peut distinguer plusieurs types de matériaux absorbants

2.2.2.1 Les matériaux poreux : (étoffes, tapis, feutres, laine de verre, panneaux de fibres végétales ou minérales, plâtres acoustiques). Dans ces matériaux, l'énergie sonore est dissipée par l'effet de la viscosité. L'énergie absorbée est plus grande que l'énergie réfléchiée à la surface, d'où la nécessité d'adapter les impédances des milieux air et matériau. Dans ces matériaux, le taux d'absorption croît avec l'accroissement de la fréquence.

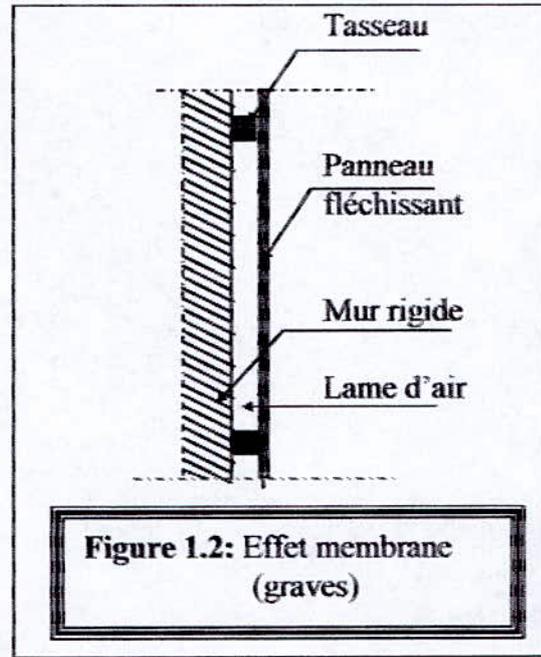
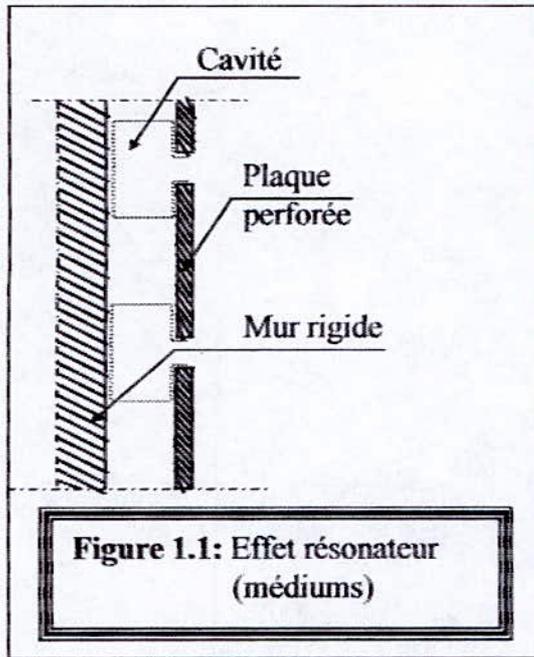
2.2.2.2 Le résonateur : Un résonateur acoustique équivaut à un système mécanique masse-ressort (Figure 1.1)

2.2.2.3 Les membranes vibrantes : On retrouve ici l'effet de paroi, les membranes sont des absorbants pour les basses fréquences. (Figure 1.2)

Remarque : Tous ces systèmes sont plus ou moins sélectifs. Pour obtenir une absorption égale en fonction de la fréquence, on utilise des résonateurs de caractéristiques différentes, montés en série ou en parallèle.

Remarque importante :

Les écrans réfléchissants peuvent devenir des écrans absorbants si l'on leur ajoute des adjuvants.



CHAPITRE II

Présentation des méthodes de dimensionnement

1. Introduction [12]

Les bruits produits par un véhicule routier isolé, en marche normale peuvent être groupés en deux catégories principales :

- Les bruits dus au fonctionnement du moteur et de ses accessoires (moteur, boîte à vitesses, échappement, ventilateur, admission, etc....) sont rayonnés et amplifiés par la carrosserie, surtout dans le cas de certains poids lourds qui comportent de grandes surfaces en tôle mince. La source est ainsi constituée par l'ensemble des véhicules et se trouve placée en haut au-dessus du sol.
- Le bruit de roulement produit par le contact des pneumatiques et de la chaussée, est fonction de la vitesse, des dessins des pneumatiques, de la nature du revêtement, du fait que celui-ci soit sec ou mouillé, etc. La source se trouve au niveau du sol, ce qui constitue un avantage facilitant les dispositions de protection acoustique.

A partir d'une vitesse avoisinant les 60 à 70 km/h, seul le bruit de roulement sera pris en considération, du fait qu'il devient plus important que celui généré par le moteur.

La réduction du bruit produit par le fonctionnement d'un véhicule routier est un problème long et difficile à résoudre.

Le bruit de la circulation routière n'est jamais caractérisé par le passage d'un seul véhicule isolé, mais par le passage d'un flot de véhicules répartis tout le long de la voie.

Si un véhicule est isolé, et qui est à une distance sensiblement plus grande que ses propres dimensions, sera pris comme une source ponctuelle, par conséquent nous considérons une suite de véhicules sur une ou plusieurs files comme une source linéaire.

2. Effets d'un écran acoustique sur la propagation sonore : [7]

En présence d'un écran, l'onde sonore émise par une source (S) se répartit en plusieurs trajets élémentaires simples (transmission, réflexion, diffraction)

Lors du dimensionnement d'un écran on se limite au phénomène de diffraction, du fait que son onde est plus importante en amplitude que celle des autres phénomènes (réflexion et transmission).

La diffraction peut être sommairement décrite de la façon suivante :

Lors de la propagation, si une onde qui rencontre un obstacle de dimension finie, une partie de l'onde n'est pas affectée(c'est celle qui se propage au-dessus de l'obstacle), en cotre parti la partie non affectée, sera soit réfléchié ou bien absorbée.

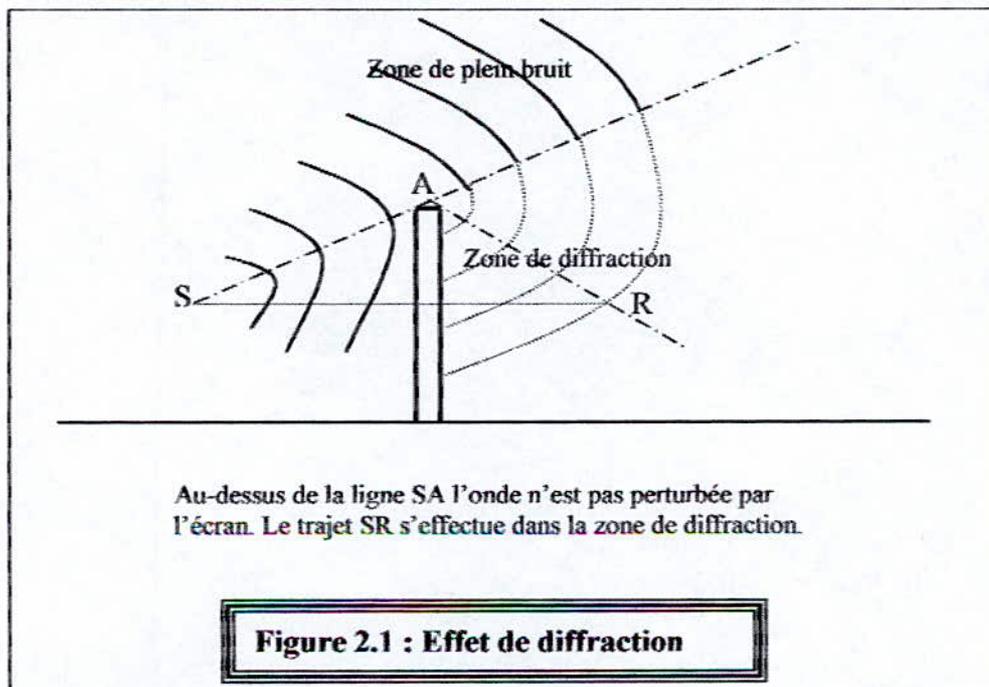
La continuité du milieu de propagation (l'air), entraîne une nouvelle répartition de l'énergie derrière l'obstacle.

Tout se passe comme si une source secondaire (A) était créée0 au voisinage de l'arrêt de diffraction, cette source remet une partie de l'énergie vers le récepteur.

L'affaiblissement de l'énergie perçue par (R), en présence de l'obstacle par rapport à l'énergie qui aurait été perçue sans obstacle, dépend de l'allongement du trajet parcouru et de la longueur d'onde.

La différence de trajet parcouru se mesure par :

$$\delta = SA + AR - SR$$



3. Evaluation du niveau de bruit routier

3.1 Source ponctuelle

Le tableau ci dessus représente les limites admissibles du niveau de bruit pour différents types de véhicules isolés, sur une chaussée en bon état.

Le niveau de bruit est déterminé selon les critères suivants :

- Par l'arrêt (véhicules en pleine accélération dans le second rapport de vitesse) ;
- Aux environs de 50 km/h ;
- Point d'observation à 7,5 m de l'axe du véhicule et à 1,2 m du sol en terrain dégagé.

Tableau 2.1: Niveaux de bruits admissibles suivant un extrait de l'arrêté du 25 octobre 1962. [2]

Catégories de véhicules	Niveau de bruit admissible en dB(A)
Cyclomoteurs	76
Vélocycleurs et véhicules assimilés	80
Motocyclettes et motocycleurs	86
Véhicules utilitaires de poids inférieur ou égal à 3,5 t	83
Voitures particulières	83
Véhicules de transport en commun	90
Véhicules utilitaires d'un poids total en charge supérieur à 3,5 t ; tracteurs agricoles et machines agricoles automotrices	90

3.2 Source linéaire

Quelle que soit la nature des voies de circulation (rues, routes ou autoroutes) elles peuvent être considérées comme des rangées linéaires de sources ponctuelles dans le cas où le trafic automobile est suffisamment important et continu,

Le niveau de la pression acoustique moyenne est donné par :

$$L = 52 + 10 \log \frac{Q}{d}, \text{ en dB(A) [3]} \tag{2.1}$$

Avec :

- d : distance au bord de la chaussée, en mètres.
- Q : nombre de véhicules par heure.

Cette formule est applicable dans les cas suivants :

- Pour les voies rapides.
- Si le débit des véhicules avoisine les 2000 véhicules/heure (somme des débits dans les deux sens de circulation).
- Si le trafic des poids lourds est faible (inférieur à 10%).

Remarque :

Le niveau indiqué par la formule (2.1), sera majoré dans les trois cas suivants :

- Si le pourcentage de poids lourds est important
- Si la voie est inclinée
- Si les véhicules circulent dans le sens de la montée

Les corrections sont données dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2.2 : Variation de L donnée par (2.1) en fonction du pourcentage de poids lourds et de véhicules de transport en commun.[3]

% de poids lourds et de véhicules de transport en commun	7	20	35	47	60	73	87	100
Correction en dB(A)	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7

Tableau 2.3 : Variation de L donnée par (2.1) en fonction de la pente de la voie de circulation.[3]

Rampe longitudinale en %	0	2	4	6
Correction en dB(A)	0	+1	+2	+3

Remarque

La vitesse moyenne des véhicules circulant sur la voie a aussi une influence sur le niveau de la pression acoustique moyenne. La Norme (NF S 085) propose des corrections. On les expose ci-dessous..

4. Ajustement en fonction des caractéristiques de trafic

4.1 Débit équivalent : Q_{eq}

Pour simplifier les calculs, les données de trafic relatives aux deux types de véhicules sont traitées en ensemble, en pondérant le débit de poids lourds (PL) d'un facteur d'équivalence acoustique entre les poids lourds (PL) et les véhicules légers (VL).

Le débit équivalent, Q_{eq} se calcule selon la formule :

$$Q_{eq} = Q_{VL} + E \cdot Q_{PL} \tag{2.2}$$

Où : Q_{eq} est le débit équivalent,

Q_{VL} est le débit VL

Q_{PL} est le débit PL

E est un facteur d'équivalence acoustique donné dans le tableau suivant :

Tableau 2.4 : Facteur d'équivalence acoustique. [1]

\bar{V}_{LT} en Km/h	Rampe de la voie %	≤ 2	3	4	5	≥ 6
	120		4	5	5	6
100		5	5	6	6	7
80		7	9	10	11	12
50		10	13	16	18	20

\bar{V}_{LT} : vitesse moyenne de long terme, en kilomètre par heure,

4.2 Le niveau de bruit équivalent $L_{Aeq,mes}$: [1]

L'ajustement en fonction des caractéristiques du trafic est effectué selon la formule suivante :

$$L_{Aeq,LT} = L_{Aeq,mes} + 10 \log \frac{\bar{Q}_{eq,LT}}{\bar{Q}_{eq,mes}} + 20 \frac{\bar{V}_{LT}}{\bar{V}_{mes}} \tag{2.3}$$

Où :

$L_{Aeq,LT}$: niveau de la moyenne à long terme de la pression acoustique, en dB(A) ;

$L_{Aeq,mes}$: niveau de la pression acoustique continue équivalent, pondéré et mesuré sur l'intervalle de la référence en décibels A ;

$\bar{Q}_{eq,LT}$: débit moyen horaire équivalent à long terme, en véhicule par heure ;

$\bar{Q}_{eq,mes}$: débit moyen horaire équivalent mesuré ou estimé sur l'intervalle de référence en véhicule par heure ;

\bar{V}_{mes} : vitesse moyenne mesurée ou estimée en kilomètre par heure.

Remarque 1

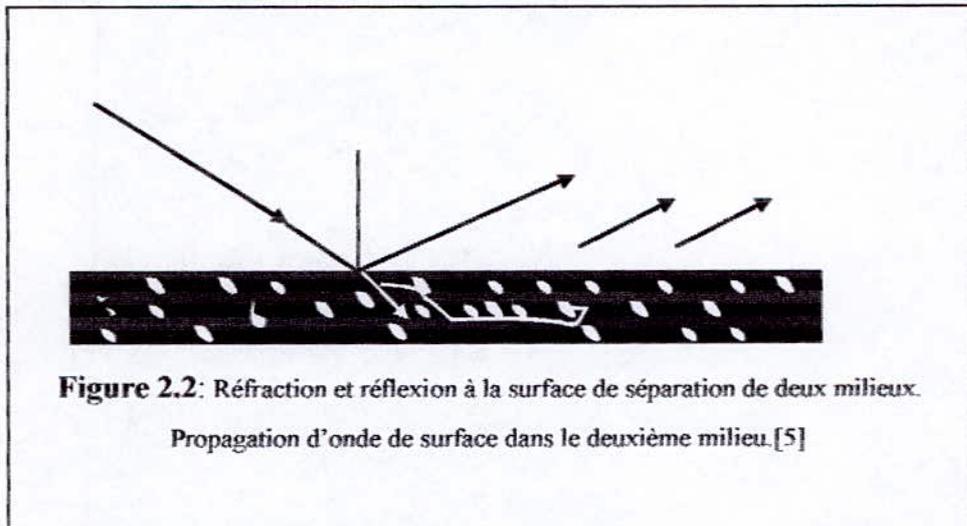
Dans le cas des voies à grand nombre de couloirs, un calcul rigoureux nécessite de prendre en compte séparément les niveaux de pression produits sur chacun des couloirs et de composer ensuite ces niveaux.

Remarque 2

D'après (2.2), la décroissance du niveau de la pression acoustique moyenne avec la distance devrait être de 3 dB à chaque doublement de distance. Mais dans le cas où la distance entre la source et le récepteur serait inférieure à la largeur de la voie, l'affaiblissement est de moins de 3dB(A) par doublement de la distance.

5. Méthode de calcul pratique de l'effet du sol [6]

Nous disposons de modèles graphiques de propagation qui sont applicables en fonction d'un sol plus ou moins absorbant, ou plus ou moins réfléchissant. Ces méthodes sont évidemment adaptées au cas des sources linéaires, telles que le bruit de la circulation automobile.

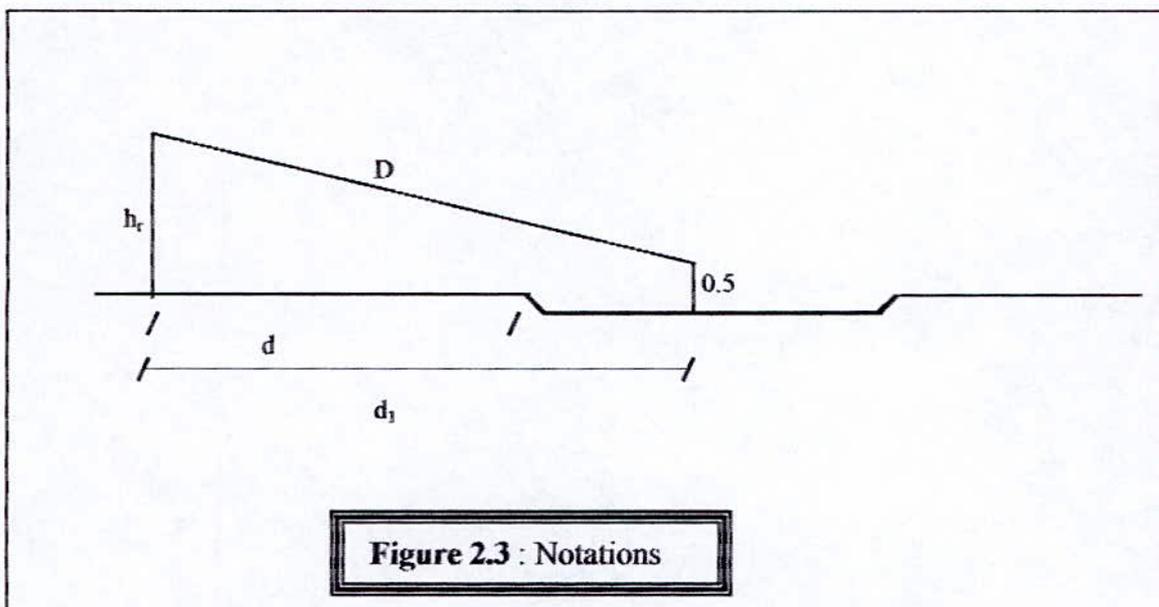


- Si le sol est dur et réfléchissant, la correction proposée en fonction de la distance est :

$$A_1 = 10 \log \frac{D}{13.5} \quad (2.4)$$

- Si le sol est recouvert d'herbe touffue :

$$A_2 = 10 \log \frac{3h}{d_1} \quad (2.5)$$



Où :

- h_r : hauteur en mètres du point de réception au-dessus de la chaussée ;
- D : distance en mètres entre le point de réception et la ligne de source ;
- d : distance horizontales en mètre entre le point de réception et la bordure de l'autoroute ;
- $d_1 = d + 3.5$

Note :

Soit une ligne théorique correspondant à la file des automobiles prise à une hauteur de 0.5 m au-dessus du revêtement de la chaussée, et à 3.5 m de la bordure extérieure des voies ; On a donc la relation :

$$D = \sqrt{d_1^2 + (h - 0.5)^2} \tag{2.6}$$

Remarque :

L'effet du sol ne doit être pris en considération, qu'en dessous d'une droite limite issue de la ligne de source et d'équation, $h_r = \frac{d_1}{3}$, au-dessous de cette droite, la propagation n'est atténuée que par la distance

Et les figures suivantes nous donnent plus d'explications pour les courbes iso-phones.

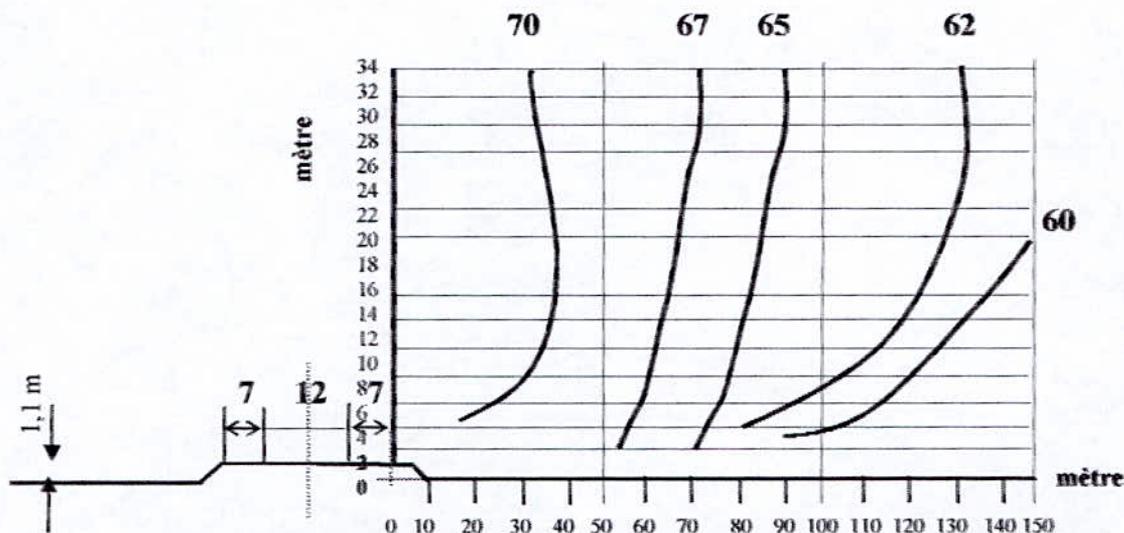


Figure 2.4: Courbes d'égal niveau de bruit de circulation pour un trafic de 16000 véhicules. Entre 6 h et 22 h ;
Premier profil en travers des voies de circulation.[2]

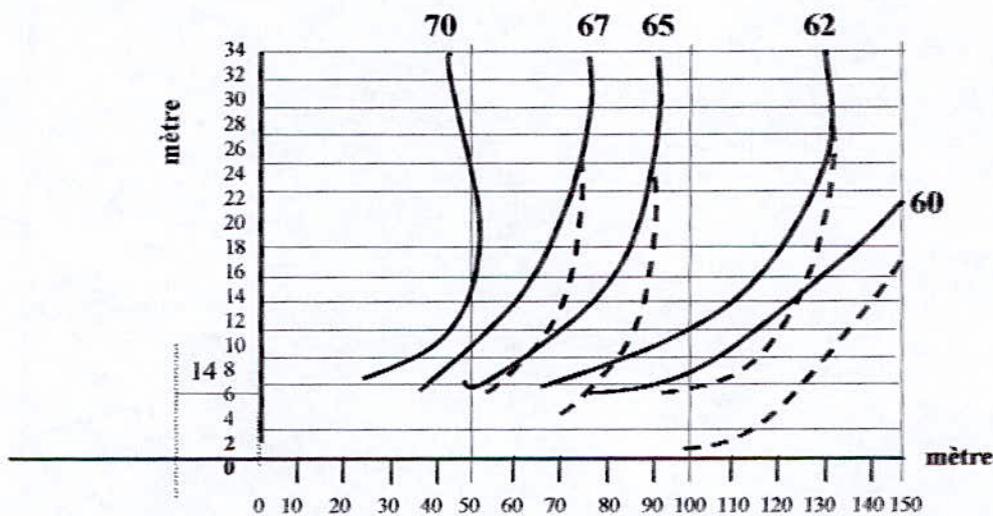


Figure 2.5: Courbes d'égal niveau de bruit de circulation aux abords d'une route à 4 voies avec effet de sol important.[2]
- - - - - Courbe isophone pour un faible effet de sol.

Sachant que :

- Les distances représentées en abscisses sont les distances de la source au récepteur ;
- Les distances représentées en ordonnées correspondent à la hauteur du récepteur.

6. Les méthodes pratiques de détermination de la hauteur des écrans acoustiques [6]

Différentes méthodes pratiques ont été proposées, ces dernières années, pour le dimensionnement des écrans acoustiques adaptés à la protection contre le bruit des autoroutes.

Nous citerons par la suite les méthodes les plus utilisées :

6.1 Méthode numérique « PARKIN et HUMPHREYS » :[6]

Cette méthode consiste en un premier lieu de mentionner, la formule proposée par le GREATER LONDON COUNCIL en 1970, à l'usage des urbanistes, (formule déjà publiée par PARKIN et HUMPHREYS)

$$A(e) = 10 \log_{10} X \quad (2.7)$$

Dans cette formule, X peut être comparé au nombre de FRESNEL, utilisé dans l'abaque de MAEKAWA, d'où :

$$X = 2 \left(\frac{\sqrt{R^2 + h_e^2} - R + \sqrt{D^2 + h_e^2} - D}{\lambda \left(1 + \frac{h_e^2}{R^2} \right)} \right) = \frac{2\delta}{\lambda + \lambda \left(\frac{h_e^2}{R^2} \right)} \quad (2.8)$$

Où :

- h_e : Hauteur effective de l'écran.
- D : Distance entre l'écran et le récepteur.
- R : Distance entre la source et l'écran.
- A : Atténuation du niveau de bruit en dB(A)
- δ : A été explicité précédemment
- λ : Longueur d'onde

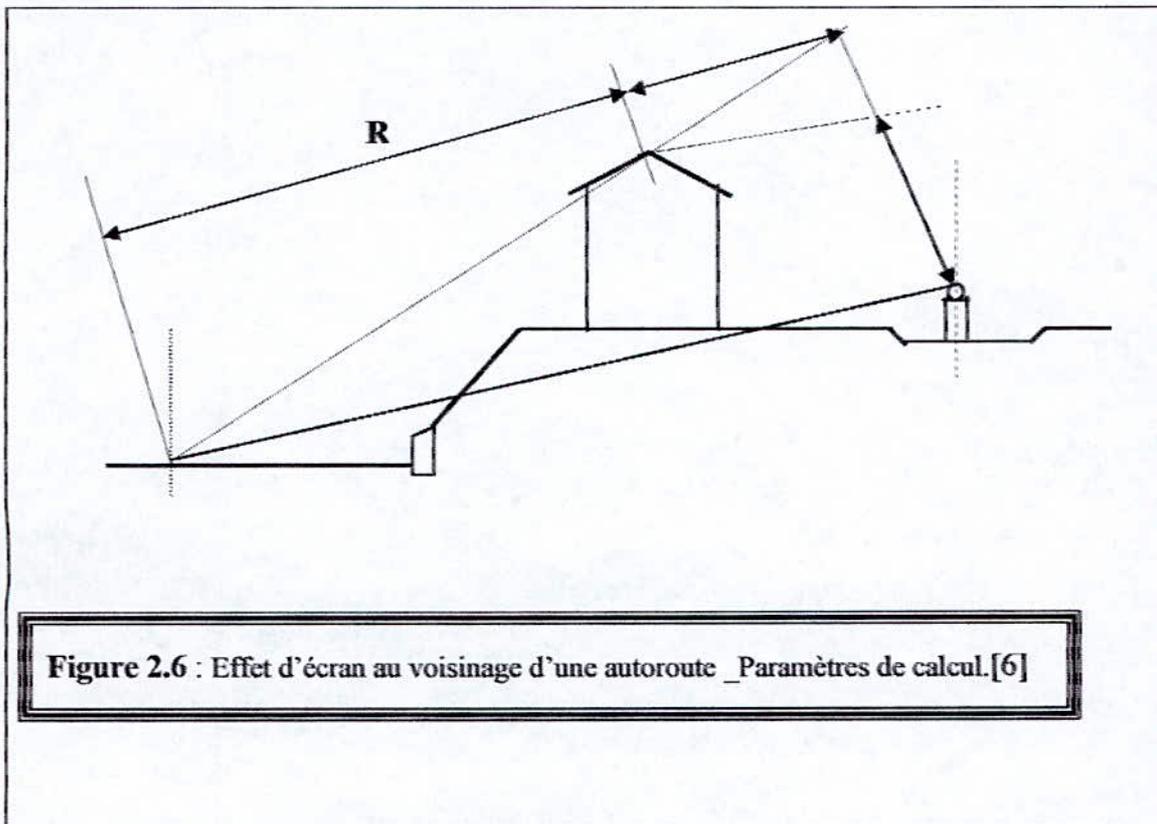


Figure 2.6 : Effet d'écran au voisinage d'une autoroute _Paramètres de calcul.[6]

Le point le plus intéressant, en vue de l'application urbaine de cette équation c'est la recommandation donnée par cet organisme, de l'emploi de la longueur d'onde de 0.56 m, pour des calculs directs de l'effet d'écran en dB(A), ceci à l'usage de la protection phonique au voisinage des autoroutes. Mais comme nous allons utiliser une analyse par bande d'octaves nous prenons $f = 500\text{Hz}(\lambda = 0.68\text{m}).$

6.2 Méthode graphique :[6]

6.2.1 Méthode KURZE et ANDERSON

Etant donné que dans notre cas l'écran acoustique est de longueur finie, l'abaque de MAEKAWA, tel que modifié par KURZE et ANDERSON, pour une source de bruit linéaire ne pourrait être utilisée pour la simple raison qu'elle est basée sur les écrans de longueur infinis.

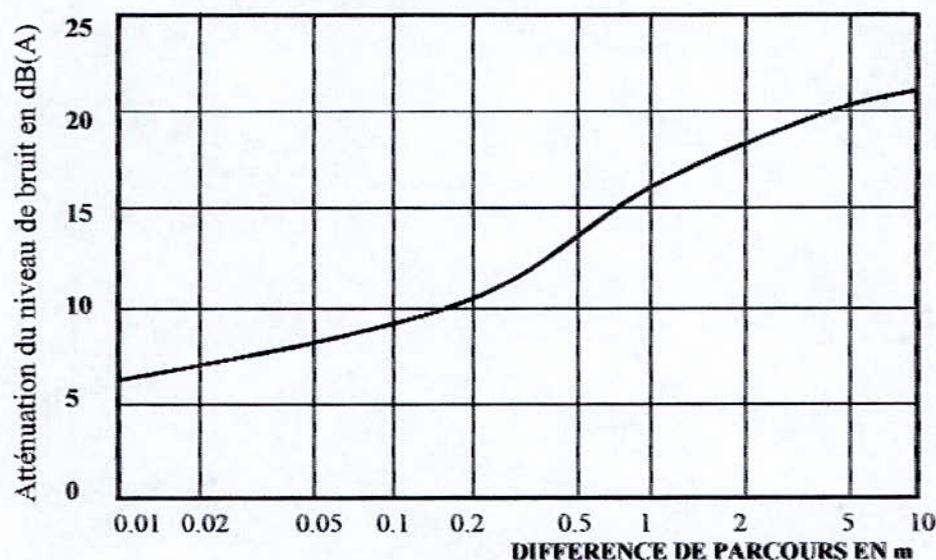


Figure 2.7 : Courbe de KURZE et ANDERSON (source linéaire).[6]

Remarque importante

Puisque cette méthode est une méthode manuelle (la résolution prend énormément de temps), Nous avons opté pour une résolution numérique, pour cela nous avons choisi d'approximer le graphe de KURZE et ANDERSON par des fonctions mathématiques.

Les fonctions du graphe

$$x \in [0.01,0.015,0.02]$$

$$y = -4000 x^2 + 160 x + 4.4$$

$$x \in [0.02,0.03,0.04,0.05]$$

$$y = 50000.00001 x^3 - 5000 x^2 + 185 x + 3.9$$

$$x \in [0.05,0.06,0.07,0.08,0.09,0.1]$$

$$y = 0.1666666658 \cdot 10^8 x^5 - 0.7083333303 \cdot 10^7 x^4 + 0.1166666662 \cdot 10^7 x^3 - 93291.66638 x^2 + 3653.166657 x - 49.29999985$$

$$x \in [0.1,0.15,0.2]$$

$$y = 12x + 6.9$$

$$x \in [0.2, 0.3, 0.4, 0.5]$$

$$y = -45.00000001x^3 + 39.5x^2 - 1.1x + 8.3$$

$$x \in [0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1]$$

$$y = 41.66666667x^5 - 145.8333333x^4 + 202.0833333x^3 - 138.5416667x^2 + 51.47500000x + 3.450000000$$

$$x \in [1, 1.5, 2]$$

$$y = 2.7x + 11.6$$

$$x \in [2, 3, 4, 5]$$

$$y = 0.1x^3 + 0.85x^2 - 0.85x + 16.1$$

$$x \in [5, 6, 7, 8, 9, 10]$$

$$y = 0.0002083333333x^5 - 0.008333333333x^4 + 0.1322916667x^3 - 1.041666667x^2 + 4.342500002x + 12.95000000$$

Où x : représente la différence de parcours en m.
 y : représente l'atténuation du niveau de bruit en dB(A)

6.2.2 Méthode du GREATER LONDON COUNCIL.[6]

Le GREATER LONDON COUNCIL avait, en 1970, proposé une série de six courbes ; qui étaient destinées au calcul direct de l'effet d'écran, et des atténuations dues à la distance et aussi aux absorptions de l'air et du sol.

Remarque :

La méthode du GREATER LONDON COUNCIL dont l'utilisation avait été envisagée, a été abandonnée car elle propose le calcul pour une hauteur d'écran fixée.

(Utiliser ces courbes pratiques à des problèmes simples d'aménagement urbain).

CHAPITRE III

Calcul des niveaux de bruit et
des hauteurs des écrans acoustiques

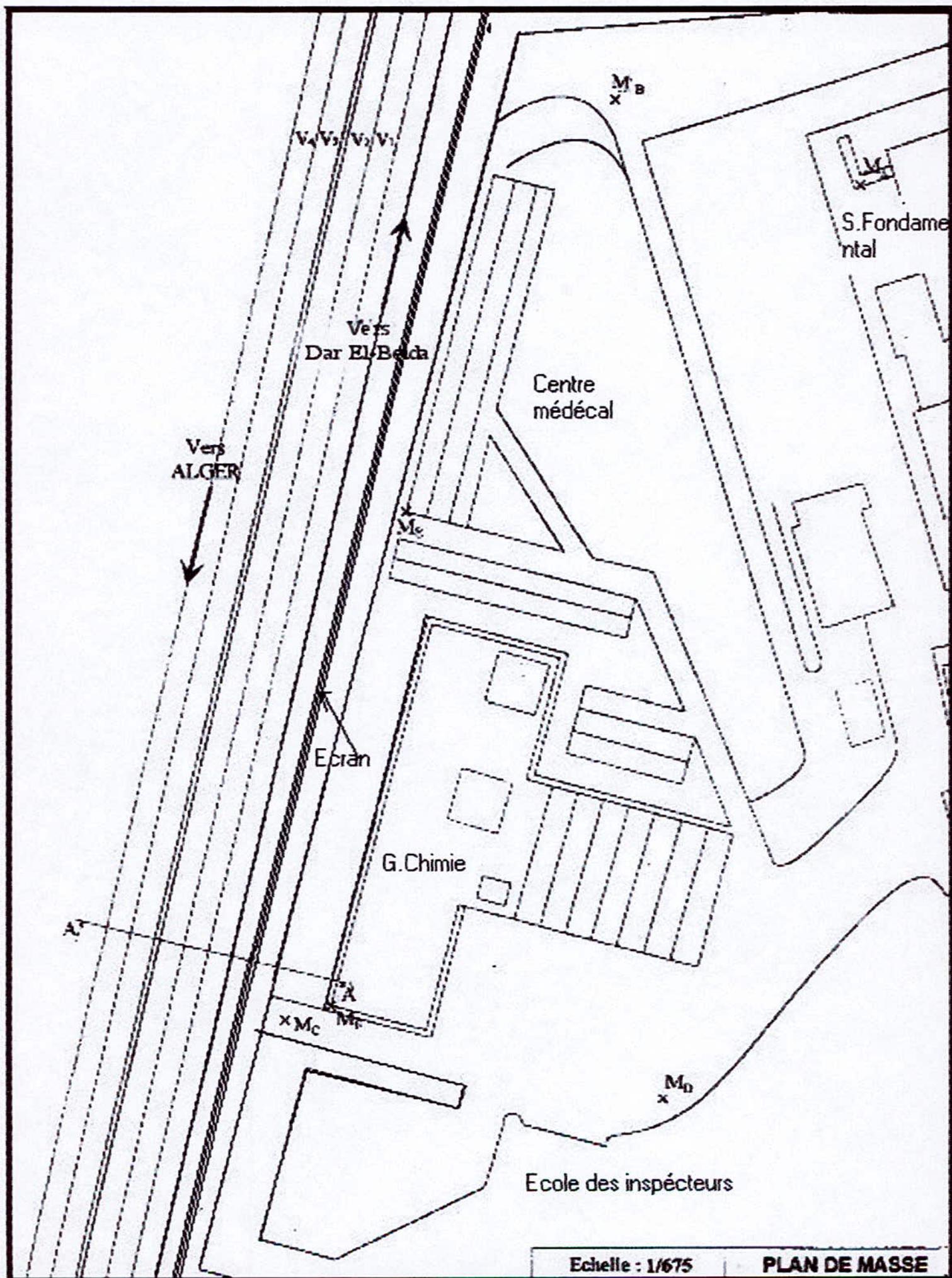


Figure 21 Localisation du projet (plan de masse)



Echelle 1/2700

Figure :3.2 : Coupe A A'

1. Détermination des niveaux de bruits :

Une mesure acoustique de bruit routier représentative, devra rapporter de façon précise la nature et le volume du trafic (pourcentage PL, vitesse estimée, allure, nature du convoi).

Les caractéristiques de trafic sont :

- Le débit total Q, du trafic routier (PL+VL) ;
- Le pourcentage PL ;
- L'estimation de la vitesse moyenne du flot et l'allure.

1.1 Autoroute ALGER - Dar El-Beida

1.1.1 Trafic routier

Dans nos calculs de niveaux de bruit, nous cherchons le débit qui nous donne, dans la mesure du possible, un niveau de bruit maximal.

		CHAUSSEE 1				CHAUSSEE 2			
		Voie 1		Voie 2		Voie 3		Voie 4	
		Poids légers	Poids lourds						
SAMEDI	Somme	2381	568	2393	122	2942	169	2881	600
	Moyenne/heure	476	114	479	24	588	39	576	125
	Moyenne totale /heure	590		503		627		696	
	Pourcentage de poids lourds	19.32		4.77		6.22		17.24	
DEMANCHE	Somme	2644	534	2435	154	2670	130	2840	564
	Moyenne/heure	529	107	487	31	534	26	568	113
	Moyenne totale /heure	636		518		560		681	
	Pourcentage de poids lourds	16.83		5.98		4.64		16.59	
LUNDI	Somme	2372	533	2449	125	2124	139	3730	618
	Moyenne/heure	474	107	490	25	425	28	746	124
	Moyenne totale /heure	581		515		453		870	
	Pourcentage de poids lourds	18.41		4.85		6.18		14.25	

Tableau 3.1: Débit des véhicules en (véh/heure) et pourcentage de poids lourds en matinée (9^h-13^h) pour les trois premiers jours de la semaine de 07.04.2001 au 09.04.2001

		CHAUSSEE 1			
		Voie 1		Voie 2	
		Poids légers	Poids lourds	Poids légers	Poids lourds
Mercredi soir	Somme	1726	272	1792	252
	Moyenne/heure	576	91	598	75
	Moyenne totale /heure	667		673	
	Pourcentage de poids lourds	13.64		11.15	

Tableau 3.2 : Débit des véhicules et pourcentage de poids lourds et véhicules de transport pour les voies 1 et 2 avec période de temps de une heure. Le 03.04.2002.

		CHAUSSEE 2			
		Voie 3		Voie 4	
		Poids légers	Poids lourds	Poids légers	Poids lourds
Dimanche soir	Somme	1740	176	1475	372
	Moyenne/heure	580	59	492	124
	Moyenne totale /heure	639		616	
	Pourcentage de poids lourds	9,24		20.13	

Tableau 3.3 : Débit des véhicules et pourcentage de poids lourds et véhicules de transport pour les voies 3 et 4 avec période de temps de une heure. Le 28.04.2002.

1.1.2 Calcul des niveaux de bruits L par la méthode théorique :

On peut considérer la route suivant 3 hypothèses possibles :

- Comme quatre sources linéaires ;
- Comme deux sources linéaires ;
- Comme une seule source linéaire.

□ **Hypothèses de route assimilée à quatre sources linéaires**

On fait les calculs des niveaux de bruit pour le point M_F , qu'on prend comme exemple, et connaissant les distances entre celui-ci et les bords des voies 1,2,3 et 4 en mètre qui sont classé respectivement : 19.78,23.28,27.52 et 31.08 (m).

$$L = 52 + 10 \text{Log} \frac{Q}{d}, \text{ en dB(A)}$$

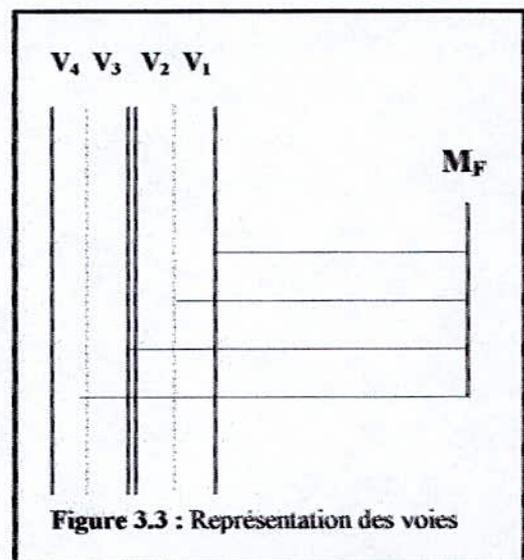
Le niveau de bruit pour chaque voie par rapport au M_F

$$L_1 = 52 + 10 \text{Log} \frac{676.1}{19.78} = 67.34 \text{ dB(A)}$$

$$L_2 = 52 + 10 \text{Log} \frac{680.5}{23.28} = 66.66 \text{ dB(A)}$$

$$L_3 = 52 + 10 \text{Log} \frac{641.9}{27.52} = 65.68 \text{ dB(A)}$$

$$L_4 = 52 + 10 \text{Log} \frac{628.4}{31.08} = 65.06 \text{ dB(A)}$$



Correction des niveaux de bruits en fonction du pourcentage de poids lourds

$$\left\{ \begin{array}{l} \% \text{ PL pour } V_1 = 13.24\% \Rightarrow \text{ correction égale à } (+1) \text{ dB(A)} \\ \% \text{ PL pour } V_2 = 11.15 \% \Rightarrow \text{ correction égale à } (+1) \text{ dB(A)} \\ \% \text{ PL pour } V_3 = 9.24 \% \Rightarrow \text{ correction égale à } (+1) \text{ dB(A)} \\ \% \text{ PL pour } V_4 = 20.15\% \Rightarrow \text{ correction égale à } (+1) \text{ dB(A)} \end{array} \right.$$

donc on trouve

$$L_1 = 68.34 \text{ dB(A)}$$

$$L_2 = 67.66 \text{ dB(A)}$$

$$L_3 = 66.68 \text{ dB(A)}$$

$$L_4 = 66.06 \text{ dB(A)}$$

Calcul du niveau de bruit total:

La somme des niveaux de bruit est donnée par la formule suivante

$$L = 10 \text{Log} (10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}}).$$

$$L = 73.294 \text{ dB(A)}.$$

□ **Hypothèse de route assimilée à deux sources linéaires**

Le débit des véhicules ainsi que le pourcentage de poids lourds pour chaque chaussée sont :

Pour la chaussée N°1 on a 1356.6 véh/h, et 12.24% de poids lourds

Pour la chaussée N°2 on a 1270.3 véh/h, et 14.40 % de poids lourds

Les distances entre le point M_F et le bord de chaque chaussée sont respectivement de :

19.78 m et 27.58 m

Les niveaux de bruit sont

$$L_1 = 52 + 10 \text{Log} \frac{1356.6}{19.78} = 70.36 \text{ dB}(A)$$

$$L_2 = 52 + 10 \text{Log} \frac{1270.3}{27.58} = 68.63 \text{ dB}(A)$$

Après la correction acoustique ils deviennent :

$$L_1 = 71.36 \text{ dB}(A).$$

$$L_2 = 69.63 \text{ dB}(A).$$

Et le niveau total est :

$$L = 73.59 \text{ dB}(A).$$

□ **Hypothèse de route assimilée à une seule source linéaire**

Dans ce cas là le débit de véhicules est :

2626.9 véh/h

Le pourcentage de poids lourds est :13.29 %

La distance entre le point M_F et le bord est

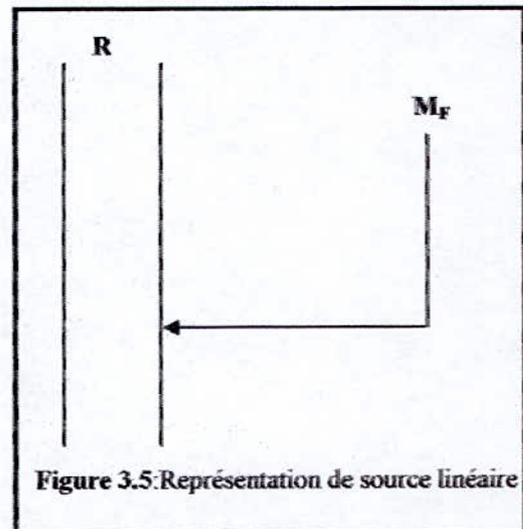
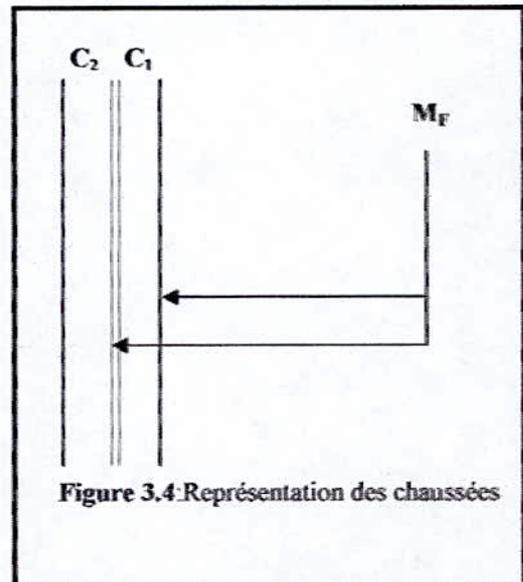
19.78 m

Le niveau de bruit est :

$$L = 52 + 10 \text{Log} \frac{2626.9}{19.78} = 73.23 \text{ dB}(A)$$

Après la correction acoustique est :

$$L = 74.23 \text{ dB}(A).$$



Conclusion :

Les différences de niveau de bruit sont respectivement de :

- 0,296 entre la première hypothèse et la deuxième
- 0,640 entre la deuxième hypothèse et la troisième,
- 0,936 entre la première hypothèse et la troisième.

La meilleure hypothèse à prendre pour une estimation rapide est celle d'une seule source linéaire.

1.1.3 Calculs du niveau de bruit L :

Les tableaux précédents nous ont permis d'écrire les résultats ci dessus, lesquels nous utiliserons pour le calcul des niveaux des bruits dans la suite :

		CHAUSSEE 1				CHAUSSEE 2			
		Voie 1		Voie 2		Voie 3		Voie 4	
		Poids légers	Poids lourds						
JOUR	Somme	552.5	99	542.5	53	557	42.5	530	118.5
	Moyenne/heure	651.5		595.5		599.5		648.5	
	Pourcentage de poids lourds	15.20		8.90		7.08		18.27	

Tableau 3.4 : Débit des véhicules et pourcentage de poids lourds et véhicules de transport pour un jour.

On peut considérer les calculs de niveau de bruit suivant deux méthodes possibles :

1.1.3.1 Calcul suivant les caractéristiques du trafic :

Les mesures des niveaux de bruit par le sonomètre sont données dans le tableau ci-dessous :

Point de mesure	Niveau de bruit mesuré dB(A)
M_A	61.9
M_B	67.4
M_C	65.2
M_D	59.3

Tableau 3.5: Débit équivalent pour chaque point.

□ Débit équivalent pour chaque voie :

Pour simplifier les calculs et la présentation des données, les données de trafic relatives aux deux types de véhicules sont traitées ensemble en pondérant le débit PL d'un facteur d'équivalence acoustique entre PL et VL

Le débit équivalent, Q_{eq} , se calcule par la formule (2.2) :

$$Q_{eq} = Q_{VI} + E \cdot Q_{PI} \quad (2.2)$$

Dans notre projet nous avons :

- rampe de la voie $\leq 2\%$
- $\bar{V}_{LT} = 65 \text{ Km/h}$

Donc on prend $E = 8,5$ (E a été explicité précédemment)

Débit équivalent à long terme

$$Q_{eq1} = 552,5 + 8,5 \times 99 = 1394 \text{ VL/h}$$

$$Q_{eq2} = 542,5 + 8,5 \times 53 = 993 \text{ VL/h}$$

$$Q_{eq2} = 557 + 8,5 \times 42,5 = 918,25 \text{ VL/h}$$

$$Q_{eq2} = 530 + 8,5 \times 118,5 = 1537,25 \text{ VL/h}$$

$$Q_{eq, total} = \sum Q_{eqi} = 4842,5 \text{ VL/h}$$

Débit équivalent mesuré

$$Q_{eq1} = 525 + 8,5 \times 115 = 1502,5 \text{ VL/h}$$

$$Q_{eq2} = 452 + 8,5 \times 27 = 681,5 \text{ VL/h}$$

$$Q_{eq2} = 491 + 8,5 \times 21 = 669,5 \text{ VL/h}$$

$$Q_{eq2} = 555 + 8,5 \times 99 = 1396,5 \text{ VL/h}$$

$$Q_{eq, total} = \sum Q_{eqi} = 4250 \text{ VL/h}$$

La relation qu'exprime le niveau sonore est : [2]

$$L_{Aeq, LT} = L_{Aeq, mes} + 10 \log \frac{\bar{Q}_{eq, LT}}{Q_{eq, mes}} + 20 \text{Log} \frac{\bar{V}_{LT}}{V_{mes}}$$

On prend $\bar{V}_{LT} = \bar{V}_{mes}$

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Point de mesure	Niveau de bruit équivalent en dB(A)
M _A	62,47
M _B	67,97
M _C	65,77
M _D	59,87

1.1.3.2 Calcul suivant la formule de comptage:

$$L = 52 + 10 \text{Log} \frac{Q}{d} \text{ en dB(A).} \quad (2.1)$$

Pour la suite des calculs, on a déterminé le niveau sonore en prenant en considération quatre sources linéaires, pour ensuite calculer des niveaux de bruit dans les points M_A, M_B, M_C, M_D,

Calcul des niveaux sonores

Dans ce cas là :

Connaissant les distances entre les points M_A, M_B, M_C, M_D et les bords des voies 1,2,3 et 4 en ,qui sont données par le tableau suivant :

On fait les calculs des niveaux de bruit dans les points M_A, M_B, M_C, M_D

Point de mesure	d(V ₁)	d(V ₂)	d(V ₃)	d(V ₄)
M _A	64,06	67,56	71,86	75,36
M _B	28.35	31.85	36.09	39.65
M _C	12.83	16.33	20.57	24.13
M _D	68.18	71.68	75.92	79.48

Le niveau de bruit pour chaque point est donné par le tableau suivant :

Point de mesure	L(V ₁)	L(V ₂)	L(V ₃)	L(V ₄)
M _A	62,07	61,45	61,21	61,34
M _B	65.61	64.71	64.20	64.13
M _C	68.05	67.62	66.64	66.29
M _D	61.80	61.19	60.97	61.11

Après correction des niveaux de bruits en fonction du pourcentage de poids lourds on trouve :

Point de mesure	L(V ₁)	L(V ₂)	L(V ₃)	L(V ₄)
M _A	63,07	62,45	61,21	62,34
M _B	66.61	65.71	64.20	65.13
M _C	69.05	68.62	66.64	67.29
M _D	62.80	62.19	60.97	62.11

Calcul du niveau de bruit total pour chaque point

Point de mesure	Niveau de bruit en dB(A)
M _A	68,33
M _B	71,52
M _C	74,03
M _D	68,08

- Comparaison entre les résultats mesurés (par le sonomètre) et les résultats obtenus par les calculs :

Le tableau ci-dessous nous donne les différences

Point de mesure	Niveau de bruit équivalent en dB(A)	Résultats obtenus par les calculs en dB(A)
M _A	62,45	68,33
M _B	67,95	71,52
M _C	65,75	74,03
M _D	59,85	68,08

Remarque :

Pour des raisons de sécurité, nous optons les résultats obtenus par les calculs pour dimensionner la hauteur d'écran acoustique.

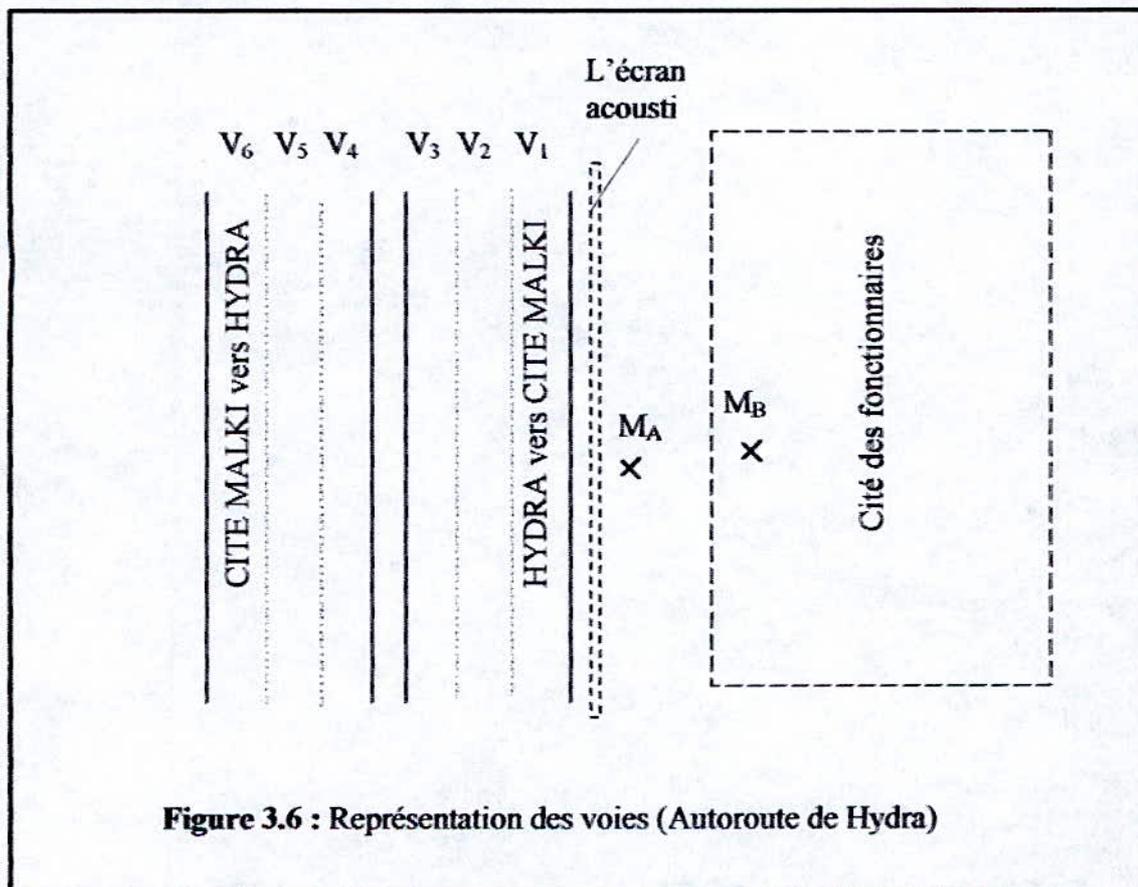


Figure 3.6 : Représentation des voies (Autoroute de Hydra)

1.2 Autoroute de HYDRA

1.2.1 Hypothèse de route assimilée à deux sources linéaires (chaussée par chaussée)

1.2.1.1 Trafic routier

Après avoir mesurer le niveau de bruit sur l'autoroute à l'aide du sonomètre ; nous allons réaliser une étude théorique de calcul du niveau de bruit et de la hauteur de l'écran acoustique.

Résultat du comptage :

Date :07 avril 2002

Sens de circulation : de HYDRA vers CITE MALKI .

	CHAUSSEE 1		CHAUSSEE 2	
	Poids légers	Poids lourds	Poids légers	Poids lourds
Somme	44531	7444	46579	7267
Moyenne/heure	4947,89	827,11	5175,45	807,45
Moyenne totale /heure	5775		5982,9	
Pourcentage de poids lourds	14,32		13,50	

Tableau 3.6 : Débit des véhicules en (véh/heure) et pourcentage de poids lourds et véhicules de transports. Autoroute de HYDRA

Remarque Le détail du comptage est donné en annexe 4

1.2.1.2 Calculs des niveaux de bruits L :

On peut considérer les calculs de niveau de bruit suivant deux méthodes possibles :

1.2.1.2.1 Calcul suivant les caractéristiques du trafic :

Les niveaux de bruit mesurés par le sonomètre sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Point de mesure	Niveau de bruit mesuré dB(A)
M _A	81,3
M _B	72,5

Tableau 3.7 :Les mesures de bruits par le sonomètre.(Autoroute de Hydra)

- Débit équivalent pour chaque voie

Le débit équivalent, Q_{eq} , se calcule par la formule (2.2): $Q_{eq} = Q_{VL} + E \cdot Q_{PL}$

Dans notre projet nous avons :

- Rampe de la voie égale : 4 %
- $\bar{V}_{LT} = 80 \text{ Km/h}$

Donc si on prend $E = 10$ alors :

le débit équivalent à long terme serait :

$$Q_{eq1} = 4947.89 + 10 \times 827.11 = 13219 \text{ VL/h}$$

$$Q_{eq2} = 5175.45 + 10 \times 807.45 = 13250 \text{ VL/h}$$

$$Q_{eq, total} = \sum Q_{eqi} = 26469 \text{ VL/h}$$

Le débit équivalent mesuré :

$$Q_{eq1} = 4511 + 10 \times 826 = 12771 \text{ VL/h}$$

$$Q_{eq2} = 4738 + 10 \times 885 = 13588 \text{ VL/h}$$

$$Q_{eq, total} = \sum Q_{eqi} = 26359 \text{ VL/h}$$

La relation qui exprime le niveau sonore est : [2]

$$L_{Aeq,LT} = L_{Aeq,mes} + 10 \log \frac{\bar{Q}_{eq,LT}}{\bar{Q}_{eq,mes}} + 20 \text{Log} \frac{\bar{V}_{LT}}{\bar{V}_{mes}}$$

On prend $\bar{V}_{LT} = \bar{V}_{mes}$

Les calculs aboutissent aux résultats suivants :

Point de mesure	Niveau de bruit équivalent en dB(A)
M_A	81,32
M_B	72,52

1.2.1.2.2 Calcul suivant la relation suivante comptage : [3]

$$L = 52 + 10 \text{Log} \frac{Q}{d} ; \text{ en dB(A).}$$

□ **Calcul du niveau sonore :**

Sachant que les distances entre les points M_A , M_B , et les bords des chaussées 1 et 2 sont donnés par le tableau ci dessous, nous calculerons pas la suite les niveaux de bruit pour ces mêmes points.

Point de mesure	$d(C_1)$	$d(C_2)$
M_A	1,5	14
M_B	20	32,5

Le niveau de bruit pour chaque point est donné par le tableau suivant :

Point de mesure	$L(C_1)$	$L(C_2)$
M_A	87,85	78,31
M_B	76,61	74,65

Après la correction des niveaux de bruit en fonction du pourcentage de poids lourd on obtient :

Point de mesure	$L(V_1)$	$L(V_2)$
M_A	90,85	81,92
M_B	79,61	77,18

Calcul du niveau de bruit total pour chaque point :

Point de mesure	Niveau de bruit total en dB(A)
M_A	91,37
M_B	81,57

□ **Comparaison entre les résultats obtenus par le sonomètre et les résultats obtenus par les calculs :**

Point de mesure	Niveau de bruit équivalent en dB(A)	Les résultats obtenus par les calculs en dB(A)
M_A	81,32	91,37
M_B	72,52	81,57

Remarque : Pour des raisons de sécurité, nous optons les résultats obtenus par les calculs pour dimensionner la hauteur d'écran acoustique.

1.2.2 Hypothèse de route assimilée à six sources linéaires (voie par voie) :

1.2.2.1 Trafic routier (Autoroute de Hydra)

	CHAUSSEE 1						CHAUSSEE 2					
	Voie 1		Voie 2		Voie 3		Voie 4		Voie 5		Voie 6	
	VL	PL	VL	PL	VL	PL	VL	PL	VL	PL	VL	PL
Somme	8906,2	3722	13359,3	2791,5	22265,5	930,5	23289,5	908,375	13973,7	2725,13	9315,8	3633,5
Débit des véhicules à 10h-11h	902,2	1353,3	2255,5	947,6	1421,4	902,2	413	309,75	82,6	442,5	331,87	413
Moyenne/heure	989,58	413,56	1484,37	310,17	2473,94	103,39	2587,72	100,93	1552,63	302,79	1035,09	989,58
Moyenne totale /heure	1403,14		1794,54		2577,33		2688,65		1855,42		1438,81	
Pourcentage de poids lourds	29,47		17,28		4,01		3,75		16,32		28,06	

Tableau 3.8 : Débit des véhicules en (véh/heure) et pourcentage de poids lourds et véhicules de transports. Autoroute à HYDRA

Remarque : Le détail du comptage est donné en annexe 3

1.2.2.2 Calculs des niveaux de bruit L :

Les méthodes susceptibles de déterminer les niveaux de bruit sont :

1.2.2.2.1 Calcul suivant les caractéristiques du trafic

$$Q_{eq,total} = \sum Q_{eqi} = 26468,93 \text{ VL/h}$$

Le débit équivalent mesuré

$$Q_{eq,total} = \sum Q_{eqi} = 25931,25 \text{ VL/h}$$

La relation qui exprime le niveau sonore est : [1]

$$L_{Aeq,LT} = L_{Aeq,mes} + 10 \log \frac{\bar{Q}_{eq,LT}}{Q_{eq,mes}} + 20 \log \frac{\bar{V}_{LT}}{V_{mes}}$$

On prend $\bar{V}_{LT} = V_{mes}$

Après calculs on trouve les résultats suivants :

Point de mesure	Niveau de bruit équivalent en dB(A)
M _A	81,39
M _B	72,59

1.2.2.2.2 Calcul suivant la relation (2.1) : [3]

Calcul du niveau sonore

Connaissant les distances entre ces points et les bords des voies 1,2,3 ,4,5 et 6 (exprimées en mètres), nous calculerons les niveaux de bruit pour les points M_A, M_B.

Point de mesure	d(V ₁)	d(V ₂)	d(V ₃)	d(V ₄)	d(V ₅)	d(V ₆)
M _A	1,5	5	8,5	14	17,5	21
M _B	20	23,5	27	32,5	36	39,5

Le niveau de bruit pour chaque point est donné par le tableau suivant :

Point de mesure	L(V ₁)	L(V ₂)	L(V ₃)	L(V ₄)	L(V ₅)	L(V ₆)
M _A	81,71	77,55	76,82	74,83	72,25	70,36
M _B	70,46	70,83	71,8	71,18	69,12	67,61

Après la correction des niveaux de bruits en fonction du pourcentage de poids lourds on trouve :

Point de mesure	L(V ₁)	L(V ₂)	L(V ₃)	L(V ₄)	L(V ₅)	L(V ₆)
M _A	85,71	80,55	78,82	76,83	76,25	74,36
M _B	74,46	73,83	73,8	73,18	72,12	71,61

Remarque : il ne faut pas perdre de vue que la rampe (pente) longitudinale de la route est égale à 4% (On ajoute 2dB(A) pour chaque niveau calculé) ; et le pourcentage de poids lourd varie d'une voie à une autre ;

Calcul du niveau de bruit total pour chaque point :

Point de mesure	Le niveau de bruit en dB(A)
M _A	88,32
M _B	81,06

- Comparaison entre les résultats obtenus par le sonomètre et les résultats obtenus par les calculs :

Le tableau ci-dessous nous donne les différences

Point de mesure	Niveau de bruit équivalent en dB(A)	Résultats obtenus par les calculs en dB(A)
M _A	81,39	88,32
M _B	72,59	81,06

2. Calcul de la hauteur de l'écran acoustique

2.1 Les étapes de calcul de la hauteur de l'écran acoustique

2.1.1 La démarche d'utilisation de la méthode de calcul :

La relation qui exprime le niveau sonore est :

$$L = 52 + 10 \text{Log} \frac{Q}{d} ; \text{ avec } d = \sqrt{h_r^2 + h_h^2}$$

Et la figure suivante représente les paramètres de la formule précédente.

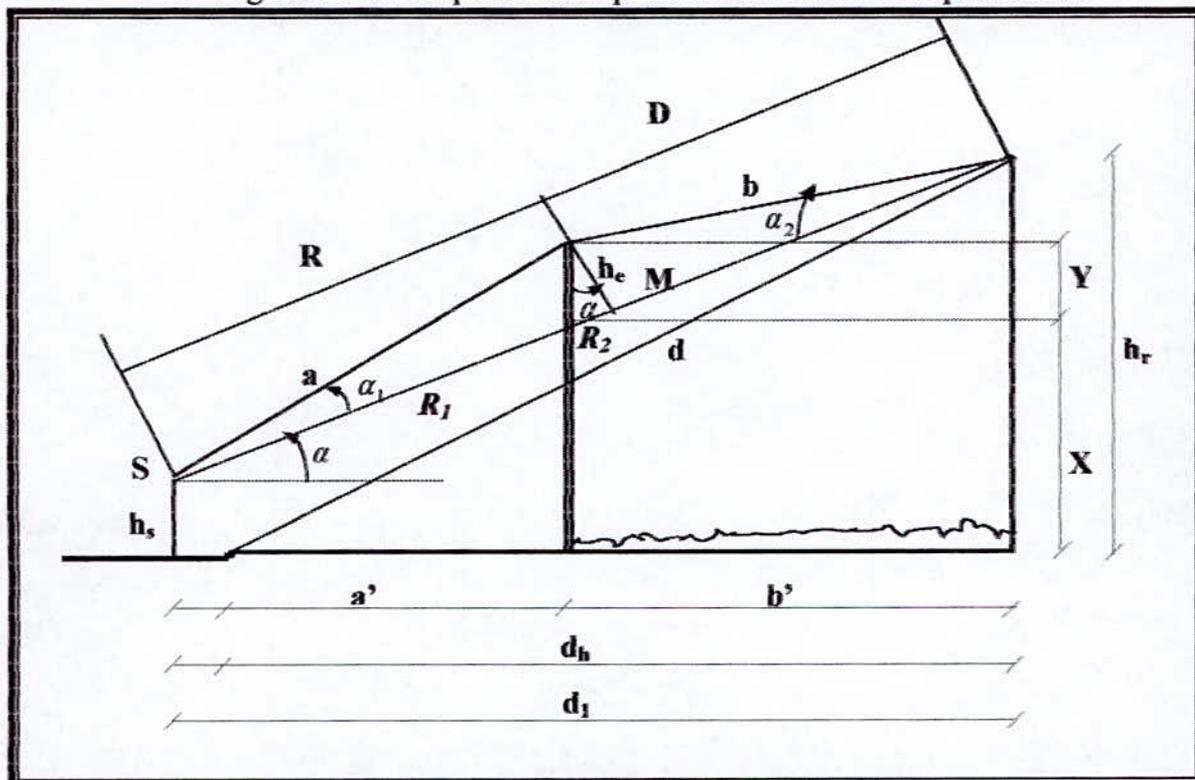


Figure 3.7 : Présentation des paramètres

Où :

h_s : ligne théorique correspondant à la file des automobiles prise à une hauteur de 0.5 m au dessus du revêtement de la chaussée ;

h_r : hauteur en mètres du point de réception au-dessus de la chaussée ;

d : distance en mètres entre le point de réception et la bordure de la voie ;

d_h : distance horizontale en mètres entre le point de réception et la bordure de la voie ;

a' : distance horizontale en mètres entre l'écran acoustique de réception et la bordure de la voie ;

b' : distance horizontale en mètres entre le point de réception et la bordure de l'écran acoustique.

- **Prise en compte de l'atténuation du sol dur :**

$$A_1 = 10 \text{Log} \frac{M}{13.5}$$

- **Prise en compte de l'atténuation de l'herbe :**

$$\text{Si : } d_r > \frac{d_1}{3} \Rightarrow A_2 = 0$$

$$\text{Si non : } A_2 = 5.2 \text{Log} \frac{3h_r}{d_1}$$

Nous pouvons traiter notre problème (l'existence de sol dur et d'herbe) comme suit :

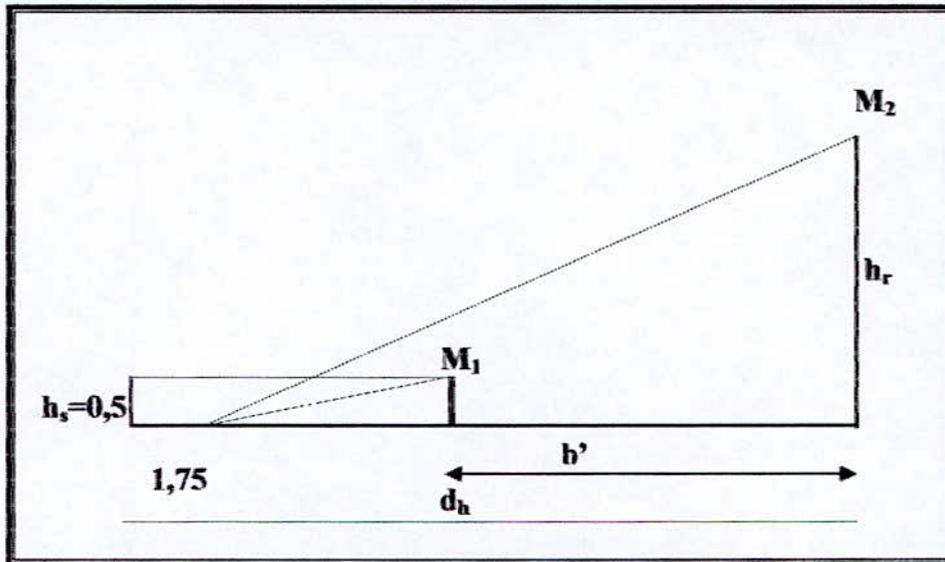


Figure 3.8 : Notations

En M_1 le niveau de bruit est :

$$L_1 = 52 + 10 \text{Log} \frac{Q}{\sqrt{(d_h - b')^2 + 0.5^2}} + A_1$$

$$\approx 52 + 10 \text{Log} \frac{Q}{(d_h - b')} + A_1$$

$$\text{et : } A_1 = 52 + 10 \text{Log} \frac{a'}{13.5}$$

En M_2 le niveau de bruit est :

$$L_2 = 52 + 10 \text{Log} \frac{Q}{\sqrt{d_r^2 - b'^2}} + A = 52 + 10 \text{Log} \frac{Q}{\sqrt{d_r^2 - b'^2}} \times \frac{d_h - b'}{d_h - b'} + A$$

$$= 52 + 10 \text{Log} \frac{Q}{(d_h - b')} + A_1 - 10 \text{Log} \frac{\sqrt{d_r^2 - b'^2}}{d_h - b'} + A - A_1$$

donc $L_2 = L_1 - 10 \text{Log} \frac{\sqrt{(d_h - b')^2}}{d_h - b'} + A_2$, tel que $A_2 = A - A_1 = 5,2 \text{Log} \frac{3h_r}{b'}$

2.1.2 La démarche pour déterminer la hauteur de l'écran acoustique :

$$\cos \alpha = \frac{h_e}{y} \Rightarrow y = \frac{h_e}{\cos \alpha}$$

donc la hauteur de l'écran acoustique:

$$H = h_s + x + y = h_s + a' \times \frac{(h_r - h_s)}{a' + b'} + \frac{h_e}{\cos \alpha}$$

Sachant que $\text{tg} \alpha = \frac{(h_r - h_s)}{a' + b'} \Rightarrow \alpha = \text{tg}^{-1} \left(\frac{(h_r - h_s)}{a' + b'} \right)$

Et on a :

$$\sin \alpha = \frac{x}{R_1} \Rightarrow R_1 = \frac{x}{\sin \alpha}$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{R_2}{h_e} \Rightarrow R_2 = \text{tg} \alpha \times h_e$$

$$R = R_1 + R_2 = \frac{x}{\sin \alpha} + \text{tg} \alpha \times h_e$$

$$\cos \alpha = \frac{a' + b'}{R + D} \Rightarrow D = \frac{a' + b'}{\cos \alpha} - R$$

$$\delta = \sqrt{R^2 + h_e^2} - R + \sqrt{D^2 + h_e^2} - D$$

Comme on a aussi:

$$\text{tg} \alpha_1 = \frac{h_e}{a} \Rightarrow a = \frac{h_e}{\text{tg} \alpha_1}$$

$$\text{tg} \alpha_2 = \frac{h_e}{b} \Rightarrow b = \frac{h_e}{\text{tg} \alpha_2}$$

$$\Rightarrow \delta = a + b - R - D$$

Une fois la valeur de δ connue, on calcule l'atténuation due à l'écran. Pour cela nous utilisons soit la méthode de PARKIN et HYPHEYS ou bien celle de KURZE et ANDERSON.

Afin de déterminer la hauteur H de l'écran acoustique nous commencerons par choisir une valeur initiale h_e pour la première voie, et des hauteurs effectives pour les autres voies. On constate que la hauteur de l'écran acoustique varie d'une voie à une autre, pour y remédier nous avons :

$$H = cst \Rightarrow X_{V1} + Y_{V1} = X_{V2} + \frac{h_{e(V2)}}{\alpha_{V2}} = X_{V3} + \frac{h_{e(V3)}}{\alpha_{V3}} = X_{V4} + \frac{h_{e(V4)}}{\alpha_{V4}}$$

$$\begin{cases} h_{e(V2)} = (X_{V1} + Y_{V1} - X_{V2})\alpha_{V2} \\ h_{e(V3)} = (X_{V1} + Y_{V1} - X_{V3})\alpha_{V3} \\ h_{e(V4)} = (X_{V1} + Y_{V1} - X_{V4})\alpha_{V4} \end{cases}$$

2.1.3 La démarche pour le calcul de la hauteur de l'écran acoustique :

La démarche à suivre pour le calcul de la hauteur de l'écran acoustique est :

- Supposer une valeur algébrique pour la hauteur effective h_e de la première voie,
- Faire le calcul des autres hauteurs effectives pour les autres voies
- Faire le calcul du niveau de bruit
- Calculer la somme des niveaux de bruit de toutes les voies
- Refaire le même travail jusqu'à trouver la somme des niveaux de bruit de toutes les voies égale à 60 dB(A).

Remarque :

Pour éviter une perte de temps inutile, les calculs itératifs étant fastidieux ; nous avons élaboré un programme informatique pour chaque méthode dont le détail est présenté en annexe (4).

2.2. RESULTATS

2.2.1 Autoroute Alger – Dar El-Beida

2.2.1.1 Le point M_F : h_r = 2,4 m [Niveau de RDC]

Calcul du niveau de bruit

	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4
Q (véh/heure)	651.5	595.5	599.5	648.5
d _h (mètres)	19,78	23,28	27,58	31,08
$d = \sqrt{h_r^2 + d_h^2}$ (mètres)	19,93	23,4	27,68	31,17
L (dB(A))	67,15	66,06	65,36	65,18
L corrigé	68,15	67,06	65,36	66,18
a' (mètres)	11,88	15,38	19,68	23,18
A ₁ (dB(A))	-0,555	0,566	1,637	2,348
b' (metres)	9,65	9,65	9,65	9,65
L ₁ (dB(A))	69,53	68,97	68,879	69,157
$-10\text{Log}(\sqrt{d_h^2 - h_r^2} / (d_h - d'))$	-2,874	-2,3	-1,85	-1,602
A ₂ (dB(A))	-0,661	-0,66	-0,66	-0,661
L ₂ (dB(A))	65,99	66,01	66,36	66,89

On obtient un niveau de bruit total **L = 72,35 dB(A)**

Nous utiliserons maintenant les méthodes de PARKIN et HUMPHREYS ainsi que celle de KURZE et ANDERSON pour réduire le niveau de bruit à 60 dB(A), ces méthodes ont été déjà exposées précédemment.

Afin de déterminer la hauteur de l'écran acoustique, nous devons réduire le niveau de bruit à 60dB, pour cela nous nous référerons à première méthode puis nous injecterons les résultats obtenus à la deuxième méthode pour pouvoir tirer les remarques et les comparaisons existantes.

A. Méthode de PARKIN et HUMPHREYS

Après les calculs, et pour réduire le niveau de bruit à 60 dB(A) par la méthode de PARKIN et HUMPHREYS, on a trouvé les résultats ci-dessous :

Remarque :

Les calculs sont donnés par un programme de résolution de la méthode PARKIN et HUMPHREYS qui est présenté à l'annexe 4 :

h_e	2,10	1,98	1,88	1,81
R	12,11	15,57	19,84	23,32
D	9,50	9,53	9,55	9,56
δ	0,41	0,33	0,27	0,24
X	1,17	0,95	0,79	0,70
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	13,69	12,81	11,99	11,48
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	52,30	53,20	54,37	55,41

$L_{total} = 60.00$ dB(A) et la hauteur de l'écran $H = 3,66$ m

Remarque

Pour h_e de la première voie égale à 2,10 m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	0,41	0,33	0,27	0,24
Atténuation A (dB(A))	11,39	10,6	10	9,69
$L = L_2 - A$ (dB(A))	54,6	55,39	56,36	57,2

$L_{total} = 62,02$ dB(A), celui-ci est supérieur à 60 dB(A) donc la hauteur de l'écran acoustique doit être supérieure à 3,66 m

B. Méthode de KURZE et ANDERSON

Les résultats de la réduction du niveau de bruit à 60 dB(A) par la méthode de KURZE et ANDERSON, sont donnés dans le tableau suivant :

h_e	2,84	2,72	2,62	2,55
R	12,18	15,63	19,89	23,37
D	9,44	9,47	9,50	9,52
δ	0,74	0,62	0,53	0,48
Atténuation A (dB(A))	13,10	12,54	12,12	11,87
$L = L_2 - A$ (dB(A))	52,89	53,47	54,24	55,02

On obtient le niveau de bruit total $L = 60.00$ dB(A) avec $H = 4.40$ m

Remarque :

Pour h_e de la première voie égale à 2.84m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	0,74	0,62	0,53	0,48
R	12,18	15,63	19,89	23,37
X	2,06	1,77	1,53	1,40
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	16,15	15,49	14,86	14,47
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	49,84	50,52	51,50	52,42

Ceci correspond à un niveau de 57,20 dB(A).

2.2.1.2 Le point M_F : $h_r = 1,9$ m [Niveau de RDC]

Calcul du niveau de bruit

	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4
Q (véh/heure)	651,5	595,5	599,5	648,5
d_h (mètres)	13,05	16,55	20,85	24,35
$d = \sqrt{h_r^2 + d_h^2}$ (mètres)	13,19	16,66	20,94	24,42
L (dB(A))	68,94	67,53	66,57	66,24
L corrigé	69,94	68,53	66,57	67,24
a' (mètres)	13,23	16,73	21,03	24,53
A_1 (dB(A))	-0,088	0,932	1,925	2,594
b' (metres)	1,57	1,57	1,57	1,57
L_1 (dB(A))	69,452	68,925	68,852	69,137
$-10\text{Log}(\sqrt{d_h^2 - h_r^2} / (d_h - d'))$	-0,51	-0,4	-0,32	-0,276
A_2 (dB(A))	0	0	0	0
L2 (dB(A))	68,94	68,52	68,53	68,86

On obtient le niveau de bruit total $L = 74,74$ dB(A)

Dans ce qui suit on calculera la hauteur nécessaire de l'écran acoustique pour réduire le niveau de bruit à 60 dB(A).

a. Méthode de PARKIN et HUMPHREYS

h_e	1,30	1,27	1,25	1,24
R	13,41	16,88	21,15	24,63
D	1,45	1,48	1,50	1,51
δ	0,56	0,52	0,49	0,47
X	1,62	1,52	1,44	1,39
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	15,12	14,83	14,58	14,44
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	53,82	53,69	53,95	54,42

$L_{\text{total}} = 60$ dB(A) et la hauteur de l'écran $H = 3.05$ m

Remarque :

Pour h_e de la première voie est égale à 1,3 m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants.

δ	0,56	0,52	0,49	0,47
Atténuation A (dB(A))	12,27	12,1	11,95	11,84
$L = L_2 - A$ (dB(A))	56,67	56,43	56,58	57,02

$L_{total} = 62.70$ dB(A) celui-ci est supérieur à 60 dB(A) donc la hauteur de l'écran acoustique doit être supérieure à 3,05 m

b. Méthode de KURZE et ANDERSON

h_e	2,06	2,03	2,01	2,00
R	13,48	16,93	21,19	24,67
D	1,38	1,42	1,45	1,47
δ	1,25	1,18	1,12	1,09
Atténuation A (dB(A))	14,98	14,79	14,64	14,55
$L = L_2 - A$ (dB(A))	53,96	53,73	53,89	54,31

On obtient le niveau de bruit total $L = 60,00$ dB(A) avec $H = 3,82$ m

Remarque :

Pour h_e de la première voie égale à 2.06m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants.

δ	1,25	1,18	1,12	1,09
R	13,48	16,93	21,19	24,67
X	3,59	3,42	3,26	3,18
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	18,56	18,35	18,14	18,03
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	50,38	50,17	50,39	50,83

Ceci correspond à un niveau de : 56.47 dB(A)

2.2.1.3 Le point M_F : $h_r = 4,35$ m [Niveau de RDC]

Calcul du niveau de bruit

	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4
Q (véh/heure)	651,5	595,5	599,5	648,5
d_h (mètres)	64,06	67,56	71,86	75,36
$d = \sqrt{h_r^2 + d_h^2}$ (mètres)	64,21	67,7	71,99	75,49
L (dB(A))	62,06	61,44	61,21	61,34
L corrigé	63,06	62,44	61,21	62,34

On obtient le niveau de bruit total $L = 68,33$ dB(A)

On passe à la deuxième étape de calcul la hauteur nécessaire de l'écran acoustique pour réduire le niveau à 60 dB(A).

a) Méthode de PARKIN et HUMPHREYS

On a les données suivantes

a' (mètres)	14,44	17,94	22,24	25,74
b' (mètres)	51,37	51,37	51,37	51,37

Calcul de la hauteur de l'écran acoustique

h_e	2,08	1,93	1,77	1,64
R	14,59	18,07	22,36	25,85
D	51,34	51,34	51,35	51,35
δ	0,19	0,14	0,10	0,08
X	0,55	0,40	0,29	0,23
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	10,40	9,08	7,66	6,63
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	52,66	53,36	53,55	55,71

$L_{total} = 60,00$ dB(A) et la hauteur de l'écran $H = 3,43$ m

Remarque :

Pour h_e de la première voie est égale à 2.08 m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	0,19	0,14	0,10	0,08
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	9,08	8,58	8,1	7,7
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	53,98	53,86	53,11	54,64

$L_{total} = 59,95$ dB(A). celui-ci est inférieur à 60 dB(A) donc la hauteur de l'écran acoustique doit être inférieure à 3,43 m

b) Méthode de KURZE et ANDERSON

h_e	2,07	1,95	1,77	1,67
δ	0,19	0,15	0,10	0,08
Atténuation A (dB(A))	8.94	8.80	8.06	6.69
$L = L_2 - A$ (dB(A))	54.06	53.20	52.94	55.31

On obtient le niveau de bruit total $L = 60,00$ dB(A) avec $H = 3.33$ m

Remarque :

Pour h_e de la première voie est égale à 2.07m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	0,19	0,15	0,10	0,08
R	14,13	17,12	22,11	25,10
X	0,55	0,43	0,30	0,24
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	10,45	9,33	7,72	6,87
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	52,61	53,11	53,49	55,47

Ceci correspond à un niveau de : 61,52 dB(A).

2.3.2 Autoroute de Hydra

2.3.2.1 Hypothèse de route assimilée à deux sources linéaires (chaussée par chaussée)

2.3.2.1.1 Le point M_A : $h_r = 5$ m [Niveau de R+1]

Calcul du niveau de bruit :

	Voie 1	Voie 3
Q (véh/heure)	5775	5982,9
d_h (mètres)	20	32,5
$d = \sqrt{h_r^2 + d_h^2}$ (mètres)	20,62	32,88
L (dB(A))	76,47	74,60
L corrigé	77,47	75,599
a' (mètres)	7,25	19,75
A_1 (dB(A))	-2,7	1,65
b' (metres)	18	18
L_1 (dB(A))	65,50	64,62
$-10\text{Log}(\sqrt{d_h^2 - h_r^2} / (d_h - d'))$	-8,86	-9,07
A_2 (dB(A))	-0,41	-0,41
L2 (dB(A))	68,2	66,12

On obtient le niveau de bruit total $L = 70,29$ dB(A)

Dans ce qui suit on calcule la hauteur nécessaire de l'écran acoustique pour réduire le niveau de bruit à 60 dB(A).

A. Méthode de PARKIN et HUMPHREYS

h_e	2,36	1,32
R	7,78	20,05
D	17,86	17,97
δ	0,50	0,09
X	1,36	0,27
Atténuation A(e) (dB(A))	14,34	7,33
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	53,86	58,79

$L_{\text{total}} = 60,00$ dB(A) et la hauteur de l'écran $H = 4,19$ m

Remarque :

Pour h_e de la première voie est égale à 2,36 m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	0,50	0,09
Atténuation A (dB(A))	12	8
$L = L_2 - A$ (dB(A))	56,2	58,12

$L_{\text{total}} = 60,28$ dB(A) celui-ci est supérieur à 60 dB(A) donc la hauteur de l'écran acoustique doit être supérieure à 4.19 m

b. Méthode de KURZE et ANDERSON

h_e	2,50	1,47
R	7,81	20,06
D	17,84	17,95
δ	0,57	0,11
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	12,30	8,26
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	55,90	57,86

On obtient le niveau de bruit total $L = 60,00$ dB(A) avec $H = 4.33$ m

Remarque :

Pour h_e de la première voie égale à 2,50 m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	0,57	0,11
R	7,81	20,06
X	1,52	0,32
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	14,83	8,06
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	53,37	58,06

Ceci correspond à un niveau de 59.33 dB(A).

2.3.2.1.2 Le point M_B : $h_r = 3$ m [Niveau de R+1]

Calcul du niveau de bruit

	Chaussée 1	Chaussée 3
Q (véh/heure)	5775	5982,9
d_h (mètres)	20	32,5
$d = \sqrt{h_r^2 + d_h^2}$ (mètres)	20,22	32,638
L (dB(A))	76,56	74,632
L corrigé	77,56	75,632
a' (mètres)	7,25	19,75
A_1 (dB(A))	-2,7	1,6523
b' (metres)	18	18
L_1 (dB(A))	65,5	64,62
$-10\text{Log}(\sqrt{d_h^2 - h_r^2} / (d_h - d'))$	-8,854	-9,071
A_2 (dB(A))	-1,565	-1,565
L_2 (dB(A))	67,14	64,996

On obtient le niveau de bruit total $L = 69,21$ dB(A)

Dans ce qui suit on calcul la hauteur nécessaire de l'écran acoustique pour réduire le niveau de bruit à 60 dB(A).

A. Méthode de PARKIN et HUMPHREYS

h_e	1,80	1,21
R	7,46	19,87
D	17,91	17,96
δ	0,30	0,08
X	0,84	0,23
Atténuation $A(e)$ en dB(A)	12,27	6,59
$L = L_2 - A(e)$ en dB(A)	54,87	58,41

$L_{total} = 60,00$ dB(A) et la hauteur de l'écran $H = 3,02$ m

Remarque

Pour h_e de la première voie égale à 1.8 m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	0,30	0,08
Atténuation $A(e)$ en dB(A)	10,31	7,7
$L = L_2 - A(e)$ en dB(A)	56,83	57,296

$L_{total} = 60.08$ dB(A) , celui-ci est supérieur à 60 dB(A) donc la hauteur de l'écran acoustique doit être supérieure à 3.02m

b. Méthode de KURZE et ANDERSON

h_e	2.28	1.50
δ	0.48	0.15
Atténuation A en dB(A)	11.88	8.80
$L = L_2 - A$ en dB(A)	56.33	57.56

On obtient le niveau de bruit total $L = 60$ dB(A) avec $H = 3.61$ m

Remarque

Pour h_e de la première voie égale à 2,28 m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	0.48	0.15
R	7.51	19.91
X	1,2926	0,4387
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	14,125	9,4318
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	53,01	55,56

Ceci correspond à un niveau de : 57,48 dB(A).

2.3.2.2 Hypothèses de route assimilée à six sources linéaires (voie par voie) :

2.3.2.2.1 Le point M_B : h_r = 5 m [Niveau de R+1]

Calcul du niveau de bruit

	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4	Voie 5	Voie 6
Q (véh/heure)	1403,14	1794,54	2577,33	2688,65	1855,42	1438,81
d _h (mètres)	20	23,5	27	32,5	36	39,5
$d = \sqrt{h_r^2 + d_h^2}$ (mètres)	20,62	24,026	27,46	32,88	36,35	39,82
L (dB(A))	70,33	70,733	71,72	71,13	69,08	67,58
L corrigé	74,33	73,733	73,72	73,13	72,08	71,58
a' (mètres)	3,75	7,25	10,75	16,25	19,75	23,25
A ₁ (dB(A))	-5,563	-2,7	-0,99	0,805	1,652	2,361
b' (metres)	18	18	18	18	18	18
L ₁ (dB(A))	64,8	64,51	64,5	64,3	64	63,8
$-10\text{Log}(\sqrt{d_h^2 - h_r^2} / (d_h - d'))$	-8,863	-9,009	-9,05	-9,074	-9,08	-9,073
A ₂ (dB(A))	-0,412	-0,412	-0,41	-0,412	-0,41	-0,412
L ₂ (dB(A))	65,05	64,31	64,26	63,64	62,59	62,09

On obtient le niveau de bruit total L = 71,56 dB(A)

Dans ce qui suit on calcul la hauteur nécessaire de l'écran acoustique pour réduire le niveau de bruit à 60 dB(A).

a. Méthode de Parkin et Humphreys

h _e	3,12	2,63	2,25	1,81	1,59	1,41
R	4,47	7,83	11,23	16,63	20,08	23,54
D	17,74	17,82	17,87	17,92	17,94	17,95
δ	1,25	0,62	0,36	0,19	0,13	0,1
X	2,48	1,64	1,03	0,55	0,39	0,29
Atténuation A(e) (dB(A))	16,95	15,16	13,14	10,41	8,93	7,6
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	48,1	49,15	51,12	53,23	53,66	54,49

L_{total} = 60.00 dB(A) et la hauteur de l'écran H = 4,46 m

Remarque :

Pour h_e de la première voie égale à 3,12 m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants.

δ	1,25	0,62	0,36	0,19	0,13	0,1
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	14,98	12,54	10,92	9,18	8,46	8,10
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	50,07	51,77	53,34	54,46	54,13	53,99

$L_{total} = 61.00$ dB(A) celui-ci est supérieur à 60 dB(A) donc la hauteur de l'écran acoustique doit être supérieure à 4.46 m

b. Méthode de KURZE et ANDERSON

h_e	3,55	3,06	2,69	2,25	2,04	1,86
R	4,56	7,91	11,30	16,69	20,13	23,59
D	17,65	17,74	17,80	17,86	17,88	17,90
δ	1,57	0,84	0,52	0,29	0,22	0,17
Atténuation A (dB(A))	15,85	13,51	12,08	10,23	9,47	8,93
$L = L_2 - A$ (dB(A))	49,20	50,80	52,18	53,41	53,12	53,16

On obtient le niveau de bruit total $L = 60,00$ dB(A) avec $H = 4.91$ m

Remarque :

Pour h_e de la première voie égale à 3,55 m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	1,57	0,84	0,52	0,29	0,22	0,17
R	4,56	7,91	11,3	16,69	20,13	23,59
X	2,88	2,15	1,45	0,84	0,64	0,50
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	17,60	16,33	14,62	12,25	11,07	10,00
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	47,45	47,98	49,64	51,39	51,52	52,09

Ceci correspond à un niveau de 58,14 dB(A)

2.3.2.2.2 Le point M_A : $h_r = 3$ m [Niveau de RDC]

Calcul du niveau de bruit

	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4	Voie 5	Voie 6
Q (véh/heure)	1403,14	1794,54	2577,33	2688,65	1855,42	1438,81
d_h (mètres)	20	23,5	27	32,5	36	39,5
$d = \sqrt{h_r^2 + d_h^2}$ (mètres)	20,22	23,691	27,17	32,64	36,12	39,61
L (dB(A))	70,41	70,794	71,77	71,16	69,11	67,6
L corrigé	74,41	73,794	73,77	73,16	72,11	71,602
a' (mètres)	3,75	7,25	10,75	16,25	19,75	23,25
A_1 (dB(A))	-5,563	-2,7	-0,99	0,805	1,652	2,361
b' (metres)	18	18	18	18	18	18
L_1 (dB(A))	64,8	64,51	64,5	64,3	64	63,8
$-10\text{Log}(\sqrt{d_h^2 - h_r^2} / (d_h - d'))$	-8,854	-9,003	-9,05	-9,071	-9,07	-9,071
A_2 (dB(A))	-1,565	-1,565	-1,57	-1,565	-1,57	-1,565
L_2 (dB(A))	63,99	63,226	63,16	62,52	61,47	60,97

On obtient le niveau de bruit total $L = 70,46$ dB(A)

Dans ce qui suit on calcul la hauteur nécessaire de l'écran acoustique pour réduire le niveau de bruit à 60 dB(A).

A. Méthode de PARKIN et HUMPHREYS

h_e	2,31	2,02	1,81	1,56	1,44	1,34
R	4,04	7,49	10,95	16,41	19,89	23,37
D	17,85	17,89	17,91	17,93	17,94	17,95
δ	0,76	0,38	0,24	0,14	0,11	0,09
X	1,69	1,05	0,69	0,41	0,32	0,26
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	15,28	13,22	11,38	9,18	8,08	7,15
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	48,71	50	51,78	53,34	53,39	53,82

$L_{\text{total}} = 60,00$ dB(A) et la hauteur de l'écran $H = 3,25$ m

Remarque :

Pour h_e de la première voie égale à 2,31m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	0,76	0,38	0,24	0,14	0,11	0,09
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	13,17	11,12	9,69	8,58	8,22	8,00
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	51,88	53,19	54,57	55,06	54,37	54,09

$L_{total} = 61,78$ dB(A) celui-ci est supérieur à 60 dB(A) donc la hauteur de l'écran acoustique doit être supérieure à 3,25 m

b) La méthode de KURZE et ANDERSON

h_e	2,57	2,29	2,08	1,83	1,71	1,61
R	4,07	7,51	10,97	16,43	19,91	23,39
D	17,82	17,86	17,89	17,91	17,93	17,94
δ	0,93	0,49	0,32	0,20	0,15	0,13
Atténuation (dB(A))	13,94	11,94	10,47	9,24	8,76	8,43
L (dB(A))	50,05	51,28	52,69	53,28	52,71	52,54

On obtient le niveau de bruit total $L = 60.00$ dB(A) avec $H = 3.52$ m

Remarque :

Pour h_e de la première voie égale à 2, 57 m, la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	0,93	0,49	0,32	0,2	0,15	0,13
R	4,07	7,51	10,97	16,43	19,91	23,39
X	1,96	1,32	0,91	0,58	0,44	0,38
Atténuation $A(e)$ (dB(A))	15,93	14,22	12,60	10,64	9,44	8,81
$L = L_2 - A(e)$ (dB(A))	48,06	49,01	50,56	51,88	52,03	52,16

Ceci correspond à un niveau de = 58.67 dB(A)

Conclusion

Pour des raisons de sécurité, nous optons pour les résultats de KURZE et ANDERSON pour dimensionner les murs, mais on note que pour couvrir les trois points au niveau de l'ENP, il faut qu'on prend une hauteur de 4.44 m, et de 4.91 m à Hydra pour couvrir les deux points.

CHAPITRE IV

Amélioration de l'absorption des matériaux

1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons réaliser un écran acoustique dans une zone non dégagée. Au sens de la norme NF S 31-110.

Une zone dégagée est une zone non construite dans un rayon d'au moins 50 mètres autour du point de mesurage.

Pour cela nous utilisons des matériaux absorbants, afin d'éviter la réflexion de bruit dans le sens des habitants, d'où la nécessité d'introduire des améliorations de coefficient d'absorption aux matériaux utilisés(choix et conception).

2. Mesure de l'absorption des matériaux

2.1 Le coefficient d'absorption « α »

L'absorption de l'énergie sonore par un matériau est chiffrée par le facteur d'absorption de l'énergie ou coefficient d'absorption

Le coefficient d'absorption est le rapport d'énergie acoustique absorbée à l'énergie acoustique incidente. Une paroi lisse, dure, lourde est très réfléchissante. Son facteur d'absorption acoustique est voisin de 0, Par contre, si dans une pièce on ouvre une fenêtre, l'énergie sonore est absorbée par l'ouverture* et, par définition, le facteur d'absorption est égal à 1.

$$\alpha = \frac{\text{énergie acoustique absorbée}}{\text{énergie acoustique incidente}} \times 100$$

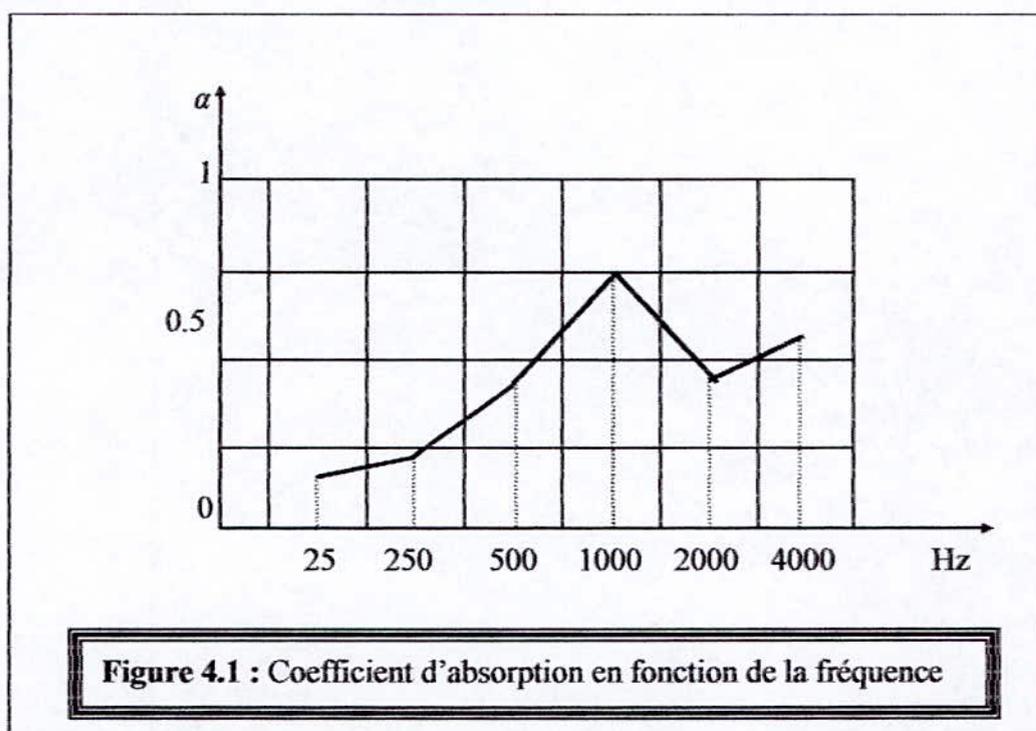
Il est défini pour une fréquence précise (car les matériaux n'absorbent pas de la même manière les fréquences graves médiums et aiguës).

$$\begin{cases} \text{Si } \alpha < 0.1 \rightarrow \text{Matériaux réfléchissants} \\ \text{Si } \alpha \geq 0.1 \rightarrow \text{Matériaux absorbants} \end{cases}$$

Remarque

Un matériau donné n'absorbe pas de la même façon les sons graves, médium ou aigus. Il faut donc toujours donner le facteur d'absorption en fonction de la fréquence. En général, il est assuré dans les bandes de fréquence médianes 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz (Figure 4.1)

(*) Il s'agit là d'une approximation permettant de mieux comprendre ces phénomènes.



2.2 La mesure du coefficient d'absorption « α »

Il peut être mesuré par la méthode du tube de KUNDT, où l'analyse du système d'ondes quasi stationnaires qui se crée face au matériau sous l'effet d'une onde harmonique en incidence normale permet de déduire l'impédance acoustique du matériau (rapport de la pression acoustique à la vitesse particulière) et par suite, son coefficient d'absorption et de réflexion en incidence normale.

Cette mesure est habituellement effectuée dans un tube à ondes stationnaires en relevant, à l'aide d'une sonde microphonique, le taux d'ondes stationnaires (rapport des amplitudes des maxima à celles des minima) et la distance qui sépare les minima d'amplitude de la surface du matériau.

2.3 Influence de l'étanchéité

Il n'est pratiquement pas possible de préjuger l'isolement d'une cloison poreuse à l'air. Les défauts dans les joints de maçonnerie, les fentes sous les portes et fenêtres, les fissures entre cloison et plafond, jouent un rôle extrêmement néfaste pour chaque ouverture et sont à l'origine d'une fuite acoustique laissant passer de préférence les fréquences aiguës.

L'influence des enduits est mise en évidence par le tableau suivant, reproduisant des résultats de mesures sur diverses parois :

Type de mur	Indice d'isolement du mur en dB sans enduit	Indice d'isolement du mur en dB avec enduit	Différence
Fibres de bois incorporées au ciment de 7 cm d'épaisseur	4	36.5 (p)	32.5
Parpaing plein de 10 cm	29	43.5 (p) 45 (c)	14.5
Briques de 11 cm	37	42.5 (p) 43 (c)	5.5 6

Où P = enduit plâtre C = enduit ciment

Tableau 4.1 : Influence de l'étanchéité [7]

3. Amélioration du coefficient d'absorption des matériaux utilisés dans notre étude

On a fait des essais d'amélioration du coefficient d'absorption pour l'enduit(au laboratoire du CNERIB), par la méthode du tube de KUNDT, on a ajouté une quantité de fibres de cellulose (sachant que cette quantité ne change pas les conditions physiques du mortier).

Les résultats sont présentés dans le tableau ci- dessous :

f(Hz)	125	250	500	1000	2000	6000
α	0.04	0.03	0.04	0.1	0.07	0.1

Tableau 4.2 : Coefficient α pour des éprouvettes de mortier ciment plus fibres de Cellulose

Si on voit le coefficient d'absorption pour l'enduit au ciment ; on trouve que :

$$0.02 < \alpha < 0.04$$

Comparaison entre le coefficient d'absorption du béton crépi et du béton normal :

f(Hz)	125	250	500	1000	2000	6000
α de béton normal	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
α de béton crépi	0.01	0.03	0.04	0.04	0.08	0.17

Tableau 4.3 : Coefficient α pour des éprouvettes de béton crépi et un autre normal

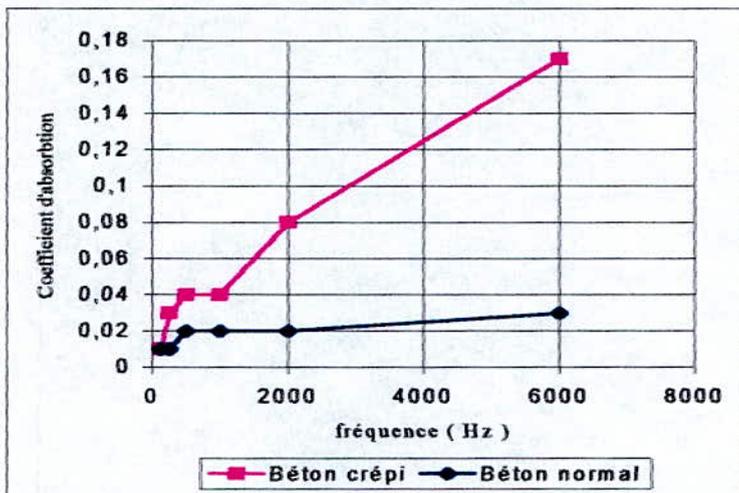


Figure 4.2: Coefficient α pour des éprouvettes de béton crépi et un autre normal

CHAPITRE V

Dimensionnement

1. Généralités

1.1 Introduction

Une conception appropriée des écrans acoustiques exige la considération d'une variété de facteurs structurellement reliés. Nous énumérons dans ce qui suit les facteurs importants, qui influent sur le dimensionnement d'un écran.

1.2. Expansion et contraction des matériaux

Les joints de dilatations et les raccourcissements pouvant être provoqués par les variations de température et d'humidité, entraînant des fissures et des déformations graves qu'il faut éviter par une conception bien adaptée.

1.3 Chargements

La détermination des charges sollicitant le mur, est faite en deux étapes :

- Evaluation des différentes actions du chargement.
- Détermination de la combinaison adéquate des différents chargements.

Les chargements existent sous différentes formes dont nous citons :

- Actions permanentes
- Actions climatiques
- Les forces d'impacts éventuels

1.4 Conditions de base

Les différents facteurs qu'on doit tenir en compte, afin de dimensionner les fondations d'un écran, sont :

- Les caractéristiques de portance et de compressibilité du sol ou de la roche environnant;
- Eventualité des mouvements du sol ;
- Future activité prévue d'excavation à côté des bases ;
- Présence d'eaux souterraines ;
- Ampleur de pénétration du gel ;
- Ampleur des changements de volume saisonniers des sols cohérents ;
- La proximité et la profondeur des bases des structures adjacentes;
- Stabilité globale de la terre, en particulier à côté de coupe ou de pentes de suffisance.

1.5 Vérification de qualité

La vérification de la qualité tient compte de :

- **La résistance à la pression** : La résistance à la pression du bloc de brique ou de maçonnerie, doit remplir les vides à l'intérieur du mur par du béton.
Pour les composants structuraux du mur, nous devons en premier lieu examiner de façon minutieuse le béton utilisé.
- **Dimensions** Puisque les blocs et les briques de béton ont été embarqués sur des palettes, il suffit de vérifier les dimensions d'une unité par palette.
- **Mortier** - le mortier est utilisé dans la plupart des écrans acoustiques, le mortier est une partie intégrante de la résistance de la structure du mur, il permet de reprendre les forces latérales contre le mur. Par conséquent, la qualité du mortier devient tout à fait critique et devrait être vérifiée pour assurer l'adhérence selon les caractéristiques du projet.

1.6 Joints de dilatation sur les systèmes moulés sur place

Concevoir de tels joints en assurant l'esthétique et l'intégrité acoustique est souvent un défi. Pour éviter la fissuration du mur, des joints de dilatation seront implantés à des intervalles.

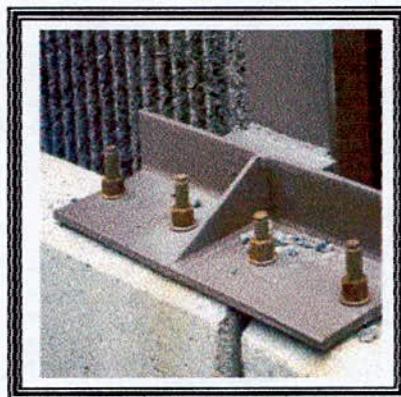


Photo 5.1 : Joint de dilatation dans un mur en béton

1.7 Matériaux utilisés

1.7.1 Parpaing

Il se présente sous deux aspects différents : Les creux ou les pleins. Les creux ont des divisions intérieures, variables suivant le moule et les résistances demandées, on en trouve à 2,3,4 alvéoles, d'autres encore en comptent plus de 15 de dimension différentes, ils sont eux- mêmes divisés en deux groupes :

- les creux proprement dite (pour remplissage le plus souvent),
- les creux borgnes (pour murs porteurs).

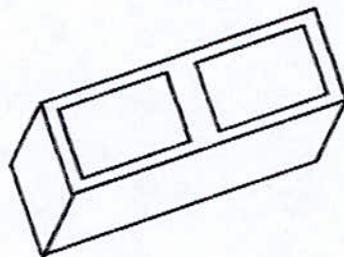


Figure 5.1 : Parpaing

Dans le premier type, l'alvéole traverse presque de part en part le parpaing, dans le deuxième cas l'alvéole est arrêtée avant la face supérieure et il reste une paroi minimum pour la tenue.

Les bétons qui entrent dans leur composition sont surtout à base d'agrégats lourds.

Les dimensions rencontrées sont variables, toutefois les moules les plus courants sont de dimensions $(20 \times 40) \text{ mm}^2$ et les épaisseurs varient de 0.05 m à 0.35 m.

1.7.2 Terre banchée (pisé) [11]

Le pisé se compose d'argile et de sable mélangés avec un tiers de terre franche.

Il est susceptible d'une assez longue conservation lorsqu'il est revêtu d'un bon crépi le protège contre la pluie.

Le mode de coffrage qu'il s'agisse de béton ou de pisé, les encoffrements sont composés de deux panneaux ou banches, en planches de 34 mm d'épaisseur, mesurant généralement 3 m de longueur et 0.66 m à 0.90 m de hauteur (pour pouvoir damer). Les banches sont renforcées par des traverses extérieures, espacés d'un peu moins d'un mètre, soit quatre traverses pour des banches de 3 m

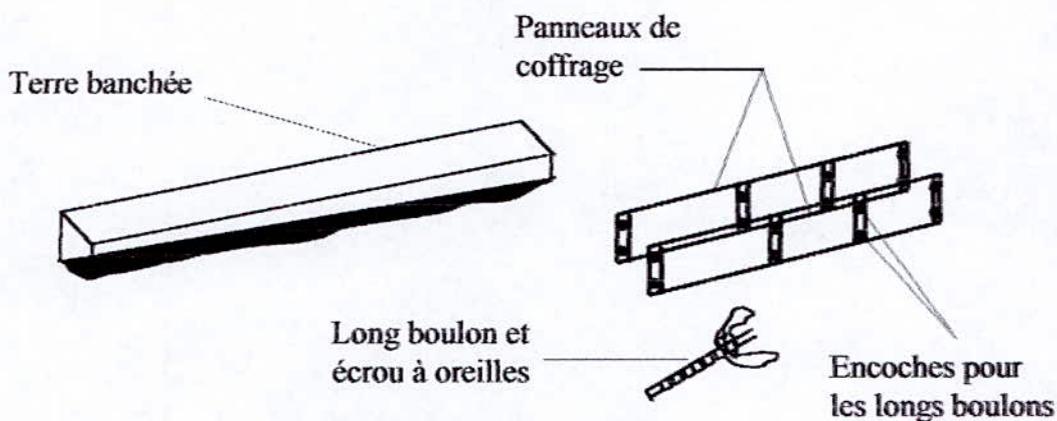


Figure 5.2 : Terre banchée

1.7.3 Brique silico-calcaire

La silice cristalline (SiO_2) que l'on trouve en grande quantité sous forme de sable silicieux. La brique silico-calcaire est un mélange de mortier composé de patte de chaux et de sable qui ne durcit que très longuement à l'air avec évaporation d'eau et absorption du dioxyde de carbone et la résistance atteinte est faible (0.5 à 1) N/mm^2 .

Pour notre dimensionnement, nous avons utilisé les deux types produit en Algérie qui sont : l'un de $24 \times 11.5 \times 11.3$ et l'autre de $24 \times 11.5 \times 9$

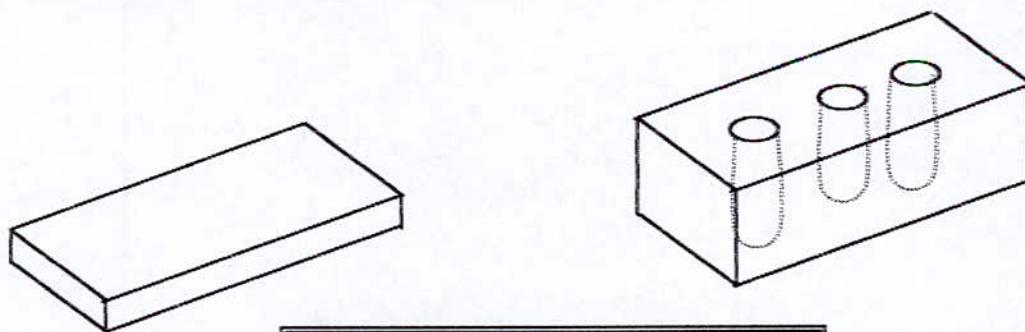


Figure 5.3 : Brique silico-calcaire

1.7.4 Enduits

On a utilisé des bribes de papier journal dans une proportion suffisamment faible pour préserver les caractéristiques de l'enduit

2. Dimensionnement des murs

□ Joint de dilatation

Dans notre présente étude de dimensionnement, nous négligerons la charge due à la neige à cause de la faible épaisseur du mur.

La distance entre les joints sera adapter en fonction du retrait des matériaux constitutifs du mur et des conditions d'ambiance (humidité, température)

Cette distance est en général prise égale à 15 m.[8]

□ Les caractéristiques mécaniques des armatures:

On travaille dans le cas de fissuration préjudiciable

$$\text{Du béton : } \begin{cases} f_{c28} = 25 \text{ MPa} \\ \gamma_b = 1.5 \\ f_{bu} = 14.166 \text{ MPa} \\ \theta = 1 \\ \text{Le coefficient : } n = 15 \end{cases}$$

f_{c28} : résistance à la compression à 28 jours

f_{bu} : contrainte du béton à l'E.L.U

$$\text{De la acier : } \begin{cases} FeE400 \text{ (Limite élastique de l'acier mesurée en MPa)} \\ \gamma_s = 1.15 \\ f_{su} = 348 \text{ MPa} \\ \text{Acier HA (Haute adhérence)} \\ \text{Module de Young : } E = 2 \times 10^5 \text{ MPa} \end{cases}$$

D'où

E : Module de Young

γ_s : Le coefficient γ_s est pris égal à 1.15 sauf vis à vis des combinaisons accidentelles (A.4.3.2.[20]).

γ_b : Le coefficient γ_b (coefficient de sécurité) vaut 1.5 pour les combinaisons fondamentales et 1.15 pour les combinaisons accidentelles

θ : Le coefficient θ est fixé à 1 lorsque la durée probable d'application de la combinaison d'actions considérée est supérieur à 24 h, à 0.9 lorsque cette durée est comprise entre 1h et 24h, et à 0.85 lorsqu'elle est inférieure à 1h.

f_{su} : contrainte de l'acier à l'E.L.U

Remarque : toutes ces valeurs sont bien définies dans le C.B.A 93[20]

2.1 Mur en blocs de béton creux « parpaing »

2.1.1 Evaluation des charges

2.1.1.1 Evaluation des charges horizontales « dues au vent »

Etant donné que le cas du mur isolé n'existe pas dans le règlement Algérien (*Règlement Neige et Vent, RNV 99*), nous nous référerons aux règlements français (*Règles Neige et vent, NV 65*)

On dit qu'un mur isolé est lorsque ses extrémités ne s'appuient pas sur des murs en retour.

Les dimensions de mur en parpaing étant de :

Hauteur : $H = 4,40 \text{ m}$

Largeur : $l = 4,91 \text{ m}$. c'est la longueur de la maçonnerie correspondant à un nombre entier de blocs.

La force de traînée T par unité de longueur est la force du vent dans la direction parallèle à ce dernier :

$$T = C_t \times q_z \times H \times l \quad ([9], P167) \quad (4.1)$$

Où :

C_t : Coefficient global de traînée dépendant de l'élanement de l'ouvrage.

q_z : Valeur de la pression dynamique.

A.N :

La valeur de C_t est donnée par la figure (R III-4.14-p.163[9])

L'élanement est :

$$\lambda = \frac{H}{l} = \frac{4,40}{4,91} = 0,896 \Rightarrow C_t = 1,62 \quad (\text{figure R-III-10[9] P 165}) \quad (4.2)$$

La pression dynamique q_z est :

$$q_z = 0,6018 \times 10^{-3} \text{ MPa.} \quad (\text{figure C 3.4 [9] p.54})$$

La pression normale sera donc :

$$\begin{aligned} q_n &= C_t \times q_z & (4.3) \\ &= 1,62 \times 0,6018 \times 10^{-3} \text{ MPa.} \\ &= 0,975 \times 10^{-3} \text{ MPa.} \end{aligned}$$

La pression extrême du vent est :

$$\begin{aligned}
 q_e &= 1.75 \times C_r \times q_z & (4.4) \\
 &= 1.75 \times 0.975 \times 10^{-3} \text{ MPa} \\
 &= 1.706 \times 10^{-3} \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

donc :

$$T = 4.787 \times 10^{-3} \text{ MN/ml}$$

2.1.1.2 Evaluation des charges verticales « poids propres »

Les dimensions d'un élément de bloc en béton creux « parpaing » sont $40 \times 20 \times 15$ et l'épaisseur du mur est : $e = 0,15 \text{ m}$.

La masse volumique des parpaings est : $1,2 \times 10^{-2} \text{ kg / m}^3$

Donc :

$$\begin{aligned}
 \text{Poids mur} &: 0,15 \times 4,40 \times 1,2 \times 10^{-2} = 7,92 \times 10^{-3} \text{ MN / ml} \\
 \text{Poids poutre} &: 0,30 \times 0,25 \times 2,5 \times 10^{-2} = 1,1875 \times 10^{-3} \text{ MN / ml} \\
 \text{Enduit} &: 0,015 \times 2 \times 4,40 \times 2 \times 10^{-2} = 2,64 \times 10^{-3} \text{ MN / ml}
 \end{aligned}$$

2.1.2 Vérifications des maçonneries

□ Vérification des contraintes de compression à la base du mur

○ Contrainte calculée

La charge totale « Q » à la base du mur en blocs de béton creux 'parpaing' est :

$$Q = 1,056 \times 10^{-2} \text{ MN / ml}$$

La surface à la base du mur :

$$S = 0,15 \text{ m}^2/\text{ml}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{cal}} &= \frac{Q}{S} & (4.5) \\
 &= \frac{1,056 \times 10^{-2}}{0,15} = 7,04 \times 10^{-2} \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2.1.3 Détermination des caractéristiques mécaniques des parois en maçonneries.

La détermination des caractéristiques mécaniques des parois en maçonneries a été faite selon les règles de maçonnerie en vigueur en Algérie à savoir « Règles de conception et de calcul des maçonneries D.T.R C2-45 »

2.1.3.1 Caractéristiques des matériaux

Résistance à la compression du bloc : $\sigma_b = 6 \text{ MPa}$

Résistance à la compression du mortier : $\sigma_m = 10 \text{ MPa}$

2.1.3.2 Caractéristiques du mur

2.1.3.2.1 Résistance moyenne à la rupture

$$R = 0.55 \times \sqrt[3]{\sigma_m \times \sigma_b^2} \quad (4.6)$$

$$= 3.91 \text{ MPa}$$

2.1.3.2.2 Module de déformation longitudinal

$$E_0 = \alpha \times R \quad (4.7)$$

d'où :

E_0 : module de déformation initial exprimé en MPa

α : constante élastique de la maçonnerie

R : valeur moyenne de la résistance de rupture exprimée en MPa

$$\alpha = 750 \quad (\text{Tableau 3 [8] p.34})$$

$$E_0 = 2932.5 \text{ MPa}$$

2.1.3.2.3 Résistance admissible de calcul en compression

$$R_{adm} = \frac{R_n}{K_c} \quad (4.8)$$

Où :

K_c : coefficient de sécurité en fonction des caractéristiques géométriques, ou du processus de production de l'élément constitutif de maçonnerie. (Tableau 4 [8] p.35).

R_n est donnée par :

$$R_n = R (1 - 1.64v) \quad (4.9)$$

$$v = 0.15$$

$$R_n = 3.91 (1 - 1.64 \times 0.15) = 2.948 \text{ MPa}$$

R_n : Résistance normative définie en (4.5) et donnée à l'article (3.1.3 [8] p.35).

R : Résistance moyenne de rupture en compression définie en (4.1).

V : coefficient de variation de la maçonnerie donné à l'article (3.1.3 [8] p.35)

$$\text{Avec } K_c = 1.4 \text{ on aura} \quad (\text{Tableau 4 [8] p.35})$$

$$R_{adm} = \frac{2.948}{1.4} = 2.1 \text{ MPa}$$

2.1.3.2.4 Résistance admissible en flexion latérale

La résistance admissible de calcul de la maçonnerie à la flexion latérale est obtenue par :

$$R_{adm} = \frac{R_n}{K_f} \quad (4.10)$$

Où :

K_f : coefficient de sécurité donné au (Tableau 5 [8] p.36)

$$K_f = 1,5$$

$$R_{adm} = \frac{2.948}{1.5} = 1.965 \text{ MPa}$$

2.1.3.2.5 La résistance admissible au cisaillement

La résistance normative de la maçonnerie au cisaillement est déterminée par deux procédés :

- A partir d'un essai direct de cisaillement.
- A partir de la relation :

$$\tau_n = \text{Min}(\tau_o + 0.4 \times \tau_g, \tau_{lim}) \quad (4.11)$$

Où :

τ_g : contrainte de compression de la maçonnerie sous charge permanente au niveau considéré exprimé en MPa.

τ_o : contrainte de cisaillement à la contrainte verticale nulle exprimée en MPa..

τ_{lim} : contrainte de cisaillement limite exprimée en MPa.

Remarque : Les valeurs τ_o et τ_{lim} sont données dans le tableau (6[8] p.37) en fonction de la résistance à la compression du mortier et des éléments de la maçonnerie.

Avec : $\tau_o = 0,3 \text{ MPa}$ et $\tau_{lim} = 1 \text{ MPa}$ (Tableau 6 [8] p.37)

$$0,4 \tau_g = 2,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_n = \text{Min}(2.7, 1) = 1 \text{ MPa}$$

La résistance admissible au cisaillement est obtenue par la division de la résistance normative par le coefficient de sécurité K_f qui définit le cas de flexion et donné en (4.7).

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_n}{K_f} \quad (4.12)$$

τ_{adm} : résistance normative de la maçonnerie au cisaillement exprimée en MPa

$$K_f = 1,5$$

(Tableau 5 [8] p.36)

$$\tau_{adm} = \frac{1}{1,5} = 0,666 \text{ MPa}$$

2.1.4 Efforts sollicitant des parois de maçonnerie[8]

Les efforts pris en compte sont :

- les forces verticales (charges permanentes et surcharges)
- les forces horizontales (action du vent et du séisme).

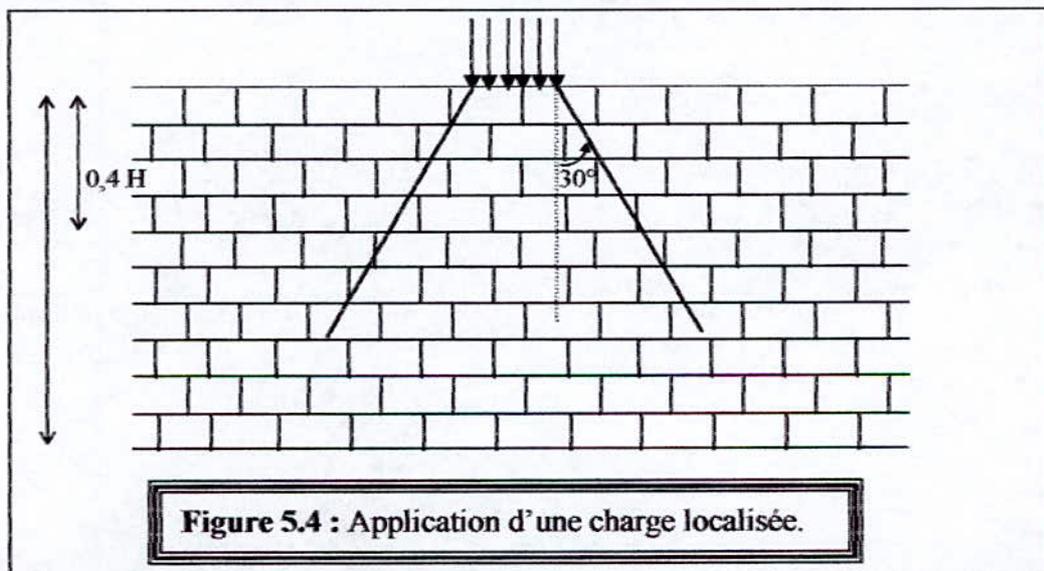
Les efforts dus aux charges horizontales (Vent) sont évalués conformément aux règlements Français(RNV 65).

Remarque : Les contraintes dues aux charges verticales sont supposées uniformément réparties en partie courante de l'excentrement des charges.

Cas particulier :[8]

Pour les forces ponctuelles verticales (appui d'une poutre par exemple), il est admis qu'elles se répartissent uniformément à l'intérieur de la zone délimitée par deux droites partant du point d'application de la charge et inclinées de 30° sur la verticale,(voir figure 4,1) .

Au niveau du point d'application de la charge localisée, la contrainte admissible est majorée de 25%, sans pour autant que la contrainte admissible soit dépassée au dessous du niveau délimité par 0,4 H à partir du point d'application de la charges (H étant la hauteur du mur).



2.1.5 Calculs

2.1.5.1 Calcul en compression

La contrainte de compression à la base du mur considéré (égale à l'effort vertical N divisé par la section d'appui effectif de N soit A_c) doit vérifier la relation suivante :

$$\sigma = \frac{N}{A_c} \leq m_{kt} \phi_i R_{adm} \omega \quad (4.13)$$

Où :

N : effort vertical

A_c : section effective d'appui

R_{adm} : résistance admissible de calcul en compression exprimée en MPa

M_{kt} : coefficient de fluage de longue durée

ϕ_i : coefficient de flambement

ω : coefficient de majoration sur A_c

avec :

$$N = 1.054 \cdot 10^{-2} \text{ MN/ml}$$

$$A_c = b \times 2 \left(\frac{d}{2} - e_0 \right) \quad (4.14)$$

Où :

b : largeur du mur

d : épaisseur du mur

$$e_0 = \frac{M}{N} + e_{acc} \quad (4.15)$$

$$e'_0 = \frac{M}{N} = 0 ; \text{ Compte tenu de l'importance de l'effort normal devant le}$$

moment fléchissant.

$$= 0 + 2\text{cm} = 0.02\text{m}$$

$$A_c = 4.91 \times 2 \left(\frac{0.15}{2} - 0.02 \right) = 0.5401\text{m}^2$$

Donc :

$$\sigma = \frac{1,054 \times 10^{-2}}{0.5401} = 1.9515 \times 10^{-2} \text{ MPa}$$

□ **Vérification en compression**

Il faut vérifier que la contrainte de compression appliquée reste toujours inférieure à :

$$\sigma \leq m_{ed} \phi_l R_{adm} \omega$$

avec :

$$R_{adm} = 2.1 \text{ Mpa} \quad (\text{partie IV 2.3})$$

Le coefficient de fluage m_{ed} est donné par :

$$m_{ed} = 1 - \eta \left(1 + \frac{1,2e}{d}\right) \quad \text{pour l'épaisseur du mur } d < 30 \text{ cm} \quad (4,16)$$

η : donné dans le tableau 8 [8])

Pour simplification, on peut prendre la valeur de m_{ed} directement de (Tableau 9[8] p.44)

$$m_{ed} = 0.76 \quad (\text{Tableau 9[8] p.44})$$

Le coefficient ω de majoration de contrainte sur A est donné par :

$$\omega = 1 + \frac{e_0}{1,5d} \quad (4,17)$$

$$\omega = 1 \quad (\text{Cas de béton creux}) \quad (\text{Article 3.3.1 [8] p.44})$$

calcul ϕ_l

$$\lambda_h = \frac{l_0}{d} \quad (4,18)$$

$$\text{avec : } l_0 = \rho \cdot H$$

Selon le graphe (fig.19 [8] p.43) $\rho = 0.59$ $\left(\frac{H}{L} = 0.896\right)$

d'où $l_0 = 0.59 \times 4.40 = 2.596 \text{ m}$

$$\lambda_h = \frac{2.596}{0.15} = 17.306$$

$$\lambda_h^f = \lambda_h \sqrt{\frac{1000}{\alpha}}, \text{ avec } \alpha = 750 \text{ on aura :} \quad (4,19)$$

α : constante élastique du matériau (tableau 3[8] p.34)

$$\lambda_h^f = 17.306 \sqrt{\frac{1000}{750}} = 19.983 \approx 20$$

d'où $\phi = 0.65$ (tableau 7[8] p.42)

$$\phi_l = \phi \left[1 - \frac{e_0}{d(0.06\lambda_h - 0.2)}\right] \quad (4,20)$$

$$\phi_l = 0.6345$$

Finalement :

$$\sigma_{adm} = 0.76 \times 0.6345 \times 2.1 \times 1 = 1.0126 \text{ MPa}$$

On vérifie bien que : $\sigma < \sigma_{adm}$ c'est à dire $0.019515 \text{ MPa} < 1.0126 \text{ MPa}$

2.1.5.2 Calcul en flexion

On se propose de calculer le mur soumis à la flexion latérale due au vent. Dans ce cas on peut envisager deux schémas différents de calcul :

- Poutre sur deux appuis ;
- Plaque appuyée sur un ou plusieurs cotés.

Il ne faut pas perdre de vue la nature du mode d'appui (appui simple, souple, élastique, encastrement...).[8]

Supposons qu'il s'agit du calcul d'un mur comme une plaque. [16]

Le schéma mécanique de mur est supposé être une plaque appuyée sur 3 cotés, d'où l'utilisation des abaques de PIGEAUD qui vont nous permettre de déterminer les moments de flexion dans la plaque. Dans ce cas :

$$\rho = \frac{l_x}{l_y} = \frac{4.4}{4.91} = 0.896 \text{ alors } M_1 = 0.042 ; M_2 = 0.032$$

q : chargement dû au vent.

$$q = 0.975 \times 10^{-3} \text{ MPa.}$$

suivant l_x on a :

$$M_x = q(M_1 + \nu M_2) = 0.975 \times 10^{-3} \times (0.042 + 0.15 \times 0.032) = 4.563 \times 10^{-5} \text{ MN.m}$$

suivant l_y :

$$M_y = q(M_2 + \nu M_1) = 0.975 \times 10^{-3} \times (0.032 + 0.15 \times 0.042) = 3.734 \times 10^{-5} \text{ MN.m}$$

$\gamma = 0.15$: coefficient de Poisson

M_1 et M_2 : moments unitaires

Le moment fléchissant extrême pour une plaque est :

$$M_x = 0.85 \times M_x = 3.878 \times 10^{-5} \text{ MN.m}$$

$$\text{et } M_y = 0.85 \times M_y = 3.174 \times 10^{-5} \text{ MN.m}$$

En l'absence de valeurs expérimentales, la résistance normative en flexion σ_n de la maçonnerie peut être prise égale à 0.5 MPa. (article 3.1.4 [8] P36)

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_n}{K_f} = \frac{0.5}{1.5} = 0.334 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = \frac{MV}{I} = \frac{3.878 \times 10^{-5} \times \frac{0.15}{2}}{\frac{4.91 \times 0.15^3}{12}} = 2.106 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

donc $\sigma_f < \sigma_{adm}$

2.1.5.3 Calcul au cisaillement

La contrainte de cisaillement est donnée par :

$$\tau = \frac{Q \cdot S_m}{I_m d} \quad (4.21)$$

où :

Q : effort tranchant dans le mur exprimé en MN

S_m : moment statique de la section transversale du mur exprimé en m^3

I_m : moment d'inertie de la section transversale exprimé en m^4

d : épaisseur du mur exprimée en m.

S_m et I_m sont déterminés pour la partie comprimée de la section transversale du mur en cas de fissuration de celui-ci.

$$\text{Avec : } \tau_{max} = 1,5 \frac{Q}{S}, \quad S = 4.91 \cdot 0.15 = 0.7365 \text{ m}^2 = \text{section du mur.} \quad (4.22)$$

Soit : S_f la surface exposée au vent.

$$S_f = l \cdot H$$

Où

H_f : hauteur totale du mur exposée au vent.

l : largeur de la face exposée au vent revenant au mur étudié.

On prend : $H = 4.40 \text{ m}$ et $l = 4.91 \text{ m}$

L'effort tranchant dû au vent à la base il est donné par :

$$Q = q \cdot l \cdot H, \text{ où } q = 0.975 \cdot 10^{-3} \text{ MPa} = \text{pression normale due au vent.}$$

D'où $Q = 0.975 \cdot 10^{-3} \cdot 4.91 \cdot 4.40 = 21.0639 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$.

L'effort maximal produit par le vent est :

$$\tau_{max} = 1.5 \times \frac{21.0639 \times 10^{-3}}{0.7365} = 0.0429 \text{ MPa}$$

On vérifie bien que : $\tau_{\max} < \tau_{\text{adm}}$ c'est à dire $0.0429 \text{ MPa} < 0.666 \text{ MPa}$.

2.1.6 Dimensionnement :

La charge totale revenant à la poutre g :

$$\begin{cases} g = 7.92 \times 10^{-3} + 1.1875 \times 10^{-3} + 2.64 \times 10^{-3} = 11.7475 \times 10^{-3} \text{ MN/ml} \\ q_u = 1.35 \times 11.7475 \times 10^{-3} = 15.86 \times 10^{-3} \text{ MN/ml} \end{cases}$$

On applique la méthode forfaitaire

2.1.6.1 Principe de la méthode forfaitaire[16]

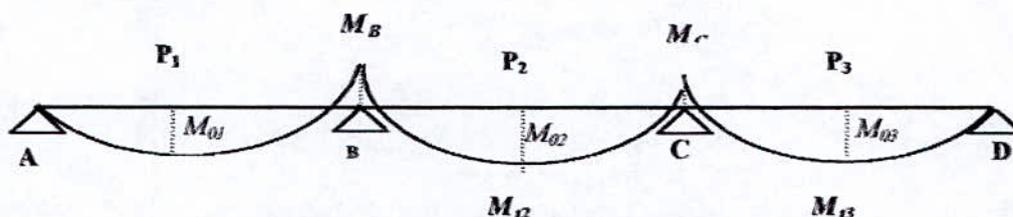


Figure 5.5 : Représentation des moments

$$\begin{cases} M_B = 0.5 \text{Max}(M_{01}, M_{02}) \\ M_C = 0.5 \text{Max}(M_{02}, M_{03}) \end{cases}$$

Calcul du coefficient α :

$$\alpha = \frac{Q_B}{Q_B + G} \quad (4.23)$$

$$\alpha = 0, \text{ (car } Q_B = 0)$$

Où : Q_B : charges d'exploitation.
 G : charges permanentes

La valeur de chaque moment

$$M_0 = \frac{Ql^2}{8} \quad (4.24)$$

Q est la charge totale

$$M_{01} = M_{02} = M_{03} = M_0 = \frac{11.7475 \times 10^{-3} \times 4.91^2}{8} = 0.0354 \text{ MN.m}$$

Dans le cas de trois travées

$$M_A = M_D = 0$$

$$\begin{cases} M_B = M_C = 0.5M_0 = 0.0177 \text{ MN.m} \\ M_R = M_C = 1.35 \times 0.5M_0 = 0.02389 \text{ MN.m} \end{cases}$$

a. Moments en travées[16]

$$M_i + \frac{M_w + M_e}{2} \geq \text{Max}[1.05M_0; (0.1 + 0.3\alpha)M_0] \Rightarrow M_i \geq 1.05M_0 - \frac{M_w + M_e}{2} \quad (4.25)$$

$$M_i \geq \frac{[(1.2 + 0.3\alpha)M_0]}{2} ; \text{ dans le cas d'une travée de rive.} \quad (4.26)$$

$$M_i \geq \frac{[(1 + 0.3\alpha)M_0]}{2} ; \text{ dans le cas d'une travée intermédiaire.} \quad (4.27)$$

$$\begin{cases} M_{i1} = M_{i3} \geq 0.0354 \times 1.05 - \frac{0.0177}{2} = 0.02832 \text{ MN.m} \\ M_{i1} = M_{i3} \geq \frac{0.0354 \times 1.2}{2} = 0.02124 \text{ MN.m} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_{i1(s)} \geq 0.02832 \text{ MN.m} \\ M_{i1(w)} \geq 0.03823 \text{ MN.m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{i2} \geq 0.0354 \times 1.05 - \frac{0.0177 + 0.0177}{2} = 0.01947 \text{ MN.m} \\ M_{i2} \geq \frac{0.0354}{2} = 0.0177 \text{ MN.m} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_{i2(s)} = 0.01947 \text{ MN.m} \\ M_{i2(w)} = 0.02628 \text{ MN.m} \end{cases}$$

b. Les efforts tranchants

Travée 1

$$\begin{cases} t_{1e} = 0.03244 \text{ MN} \\ t_{1w} = 0.02247 \text{ MN} \end{cases}$$

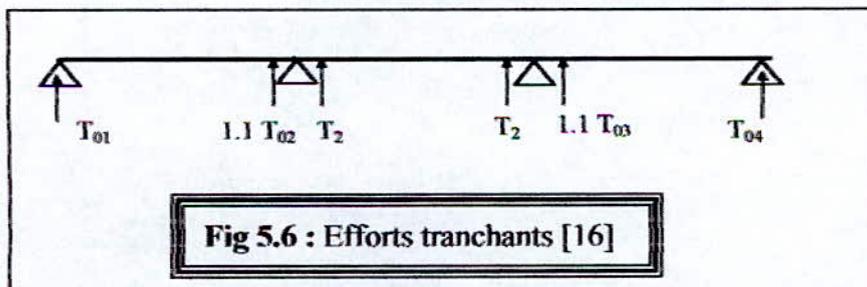
Travée 2

$$\begin{cases} t_{2e} = 0.02817 \text{ MN} \\ t_{2w} = 0.02817 \text{ MN} \end{cases}$$

Travée 3

$$\begin{cases} t_{3e} = 0.02247 \text{ MN} \\ t_{3w} = 0.03244 \text{ MN} \end{cases}$$

$$\text{Donc } T_B = T_A = 1.1 \times t_{1w} + t_{2e} = 0.024717 + 0.02817 = 0.05534 \text{ MN}$$



2.1.6.2 Les résultats de dimensionnement

2.1.6.2.1 Dimensionnement des poutres [P₁ et P₃]

Les dimensions de la poutre sont :

$$\begin{cases} L = 4.91m \\ b = 25cm \\ H = 30cm \\ d' = 4cm \\ d = 26cm \end{cases}$$

$$\mu_b = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}} \tag{4.28}$$

$$\alpha = 1.25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu}) \tag{4.29}$$

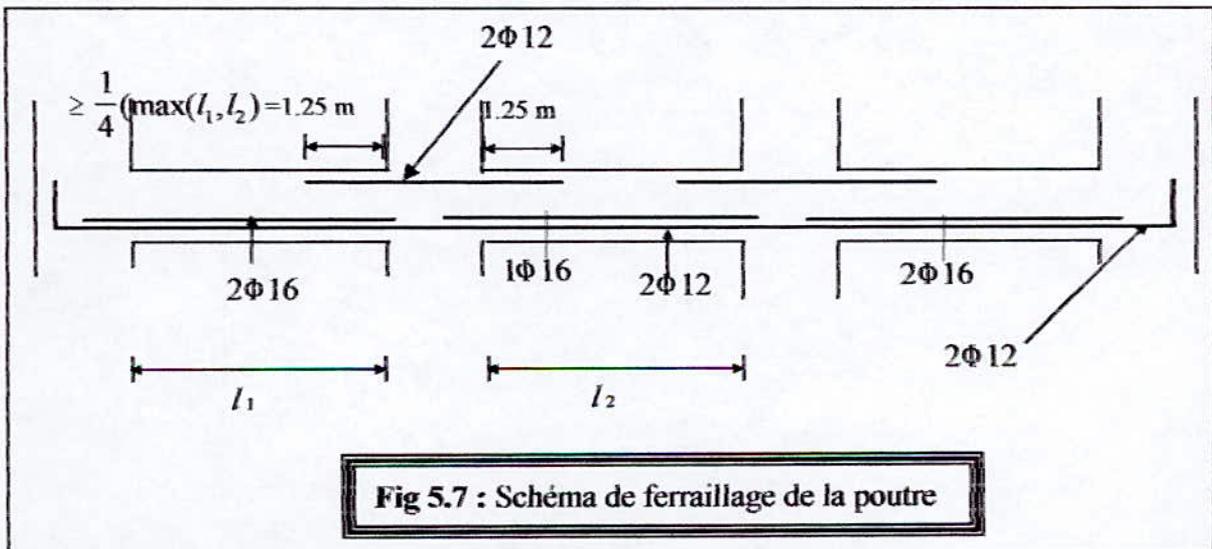
Donc on obtient les résultats suivants

$$\begin{cases} \mu = 0.159 < \mu_{lim} = 0.39 \\ \alpha = 0.218 < \alpha_{lim} = 0.668 \end{cases} \Rightarrow \text{Pivot B}$$

	Travée 1 et 3		Travée 2	
	E.L.U	E.L.S	E.L.U	E.L.S
As(cm ²)	4.64	7.27	3.1	4.22
Φ _{As}	A _s = 2Φ 16 + 2Φ 12 = 6.283cm ²		A _s = 1Φ 16 + 2Φ 12 = 4.272cm ²	

• Chapeaux pour les appuis 2 et 3

	Appuis 1 et 2	
	E.L.U	E.L.S
Asc (cm ²)	2.8	2.8
Φ _{Asc}	A _s = 2Φ 12 = 4.021cm ²	



2.1.6.2.2 Dimensionnement du poteau : [17]

Les dimensions du poteau sont :

$$\begin{cases} H = 4.40m \\ b = 25cm \\ a = 25cm \\ d' = 3cm \\ d = 23cm \end{cases}$$

$$N_1 = 0.25 \times 0.25 \times 4.7 \times 25000 = 7343.75N = 7.34375 \times 10^{-3} MN$$

$$\begin{cases} M = \frac{q_n l H^2}{2} \\ M_u = 1.5 \times M \end{cases}$$

(4.30)

$$\begin{cases} M = \frac{0.975 \times 10^{-3} \times 4.91 \times 4.4^2}{2} = 46.34058 \times 10^{-3} MN.m \\ M_u = 1.5 \times 46.34058 \times 10^{-3} = 69.51087 \times 10^{-3} MN.m \end{cases}$$

Les armatures longitudinales: [17]

$$A_s = 4 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 4\Phi 12 = 4.523 \text{ cm}^2$$

(M_u a deux directions donc notre section devra être doublement armée)

Les armatures transversales [18]

Suivant les conditions suivantes

$$\begin{cases} \Phi_t > \frac{\Phi_e}{3} \\ \text{Si } \Phi_e \leq 20mm \Rightarrow \Phi_e = 6mm \end{cases}$$

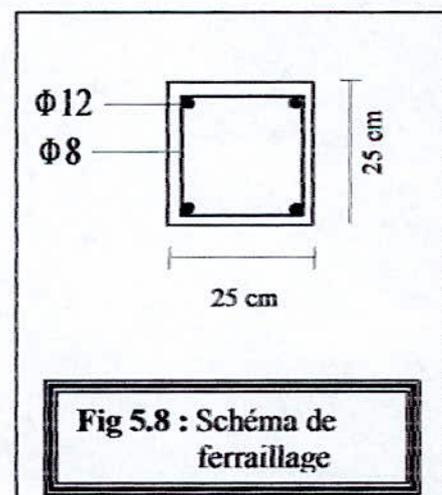
On prend $A_t = \Phi 6 = 0.282 \text{ cm}^2$

Espacement des armatures transversales [18]

$$S_t \leq \text{Min}[15\Phi_{t\text{min}} \text{ cm}, 40 \text{ cm}, a + 10 \text{ cm}]$$

$$S_t \leq \text{Min}[60 \text{ cm}, 40 \text{ cm}, 29 \text{ cm}]$$

donc $S_t \leq 29 \text{ cm}$ on prend $S_t = 25 \text{ cm}$



2.1.7 Fondations

Les fondations d'une construction sont constituées par les parties de cet ouvrage en contact avec le sol auquel elles transmettent les charges de la superstructure.

Il en découle de cette définition que la fondation d'un ouvrage est la partie essentielle, car c'est de sa bonne réalisation que résulte la tenue de l'ensemble.

Or les fondations superficielles, on désigne en général des fondations dont la profondeur n'excède pas 2 à 3 mètres.

Dans notre présent travail nous avons opté pour une fondation superficielle de semelles isolées.

Nous avons la contrainte admissible de notre sol qui a pour $\sigma'_s = 2 \text{ Kg} / \text{cm}^2$ à une profondeur de 1.2 m ;(Laboratoire de Travaux Publics du Centre (Unité :H.Dey).

2.1.7.1 Les charges revenant à la semelle

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{\text{Poteau}} = 0.25 \times 0.25 \times 5.6 \times 2.5 \times 10^{-2} = 8.75 \times 10^{-3} \text{ MN} \\ N_2 = T_B = 55.34 \times 10^{-3} \text{ MN} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow Q = N_{\text{Poteau}} + N_2 = 64.09 \times 10^{-3} \text{ MN}$$

$$T = 4.787 \times 10^{-3} \text{ MN/ml (l'effort tranchant dû au vent).}$$

$$M_T = T \times \frac{l^2}{2} \tag{4.31}$$

$$\text{Avec } l = 4.4$$

$$M_T = 46.3382 \times 10^{-3} \text{ MN.m}$$

2.1.7.2 Dimensionnement de la semelle[14]

$$\sigma'_s = 2 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

On écrit que les dimensions minima A et B sont telles que

$$\sigma\left(\frac{A}{4}\right) = \sigma'_s \tag{4.32}$$

on prendra A et B dans le même rapport que a et b

$$\text{Soit } \frac{a}{b} = \frac{25}{25} = 1 \Rightarrow \frac{A}{B} = 1.$$

$$S = A^2$$

$$\sigma'_s \geq \frac{Q}{S} + \frac{My}{I} ; \quad (4.33)$$

$$\text{Où } y = \frac{A}{4} \text{ et } I = \frac{B \times A^3}{12}.$$

$$0.2 \geq \frac{6.142 \times 10^{-2}}{A^2} + \frac{3 \times 46.3382 \times 10^{-3}}{A^3}$$

$$\text{Donc } A \geq 1.00 \text{ cm}$$

Hauteur de la semelle

On utilise la méthode des bielles

$$h \geq \left(\frac{A - a}{4} \right)$$

$$h \geq \left(\frac{1.00 - 25}{4} \right) = 18.75 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

$$h_t = h + d' = 25 \text{ cm}$$

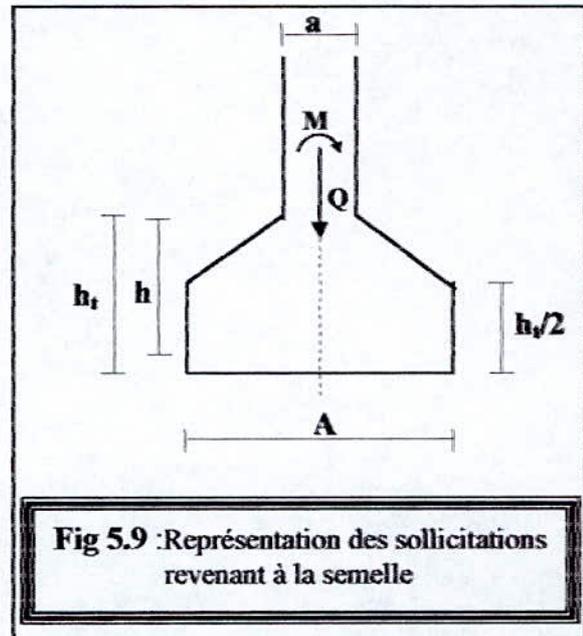


Fig 5.9 : Représentation des sollicitations revenant à la semelle

Vérification de la semelle de rive

L e moment dû à l'encastrement de la poutre de rive dans le poteau de rive est donné par :

$$M = 0.3 \times M_0 [16]$$

Tel que :

$$\begin{cases} M_0 = \frac{Ql^2}{8} \\ = \frac{11.7475 \times 10^{-3} \times 4.91^2}{8} = 0.0354 \text{ MN.m} \end{cases}$$

$$M = 0.01062 \text{ MP.m}$$

$$Q' = t_{le} + N_1 = 0.032445 + 7.34375 \times 10^{-3} = 39.78875 \times 10^{-3} \text{ MN}$$

$$\text{On vérifie que : } \sigma'_s \geq \frac{Q'}{S} + \frac{My}{I} ; \text{Où } y = \frac{A}{4} \text{ et } I = \frac{B \times A^3}{12} \quad (4.34)$$

$$0.2 \geq \frac{3.978875 \times 10^{-2}}{A'^2} + \frac{3 \times 10.62 \times 10^{-3}}{A'^3}$$

On trouve que :

$$A' = 67 \text{ cm} \leq A = 100 \text{ cm}$$

Donc la semelle de rive est en équilibre.

B', A' sont les dimensions de la semelle.

Calcul des armatures

La première étape de calcul consiste à déterminer le diagramme de contrainte sur le (σ_1, σ_2) :: On a :

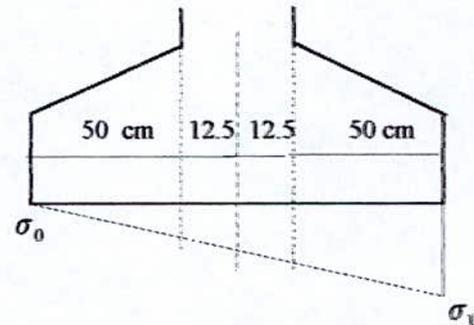
$$\sigma_s = \frac{Q}{S} \pm \frac{My}{I} \text{ avec } y = A/2 = 0.5m$$

$$S = A \times B = 1.00 \times 1.00 = 1.00m^2$$

$$I = B \times \frac{A^3}{12} = 1.00 \times \frac{1.00^3}{12} = 0.083m^4$$

$$\sigma_s = \frac{64.09 \times 10^{-3}}{1} \pm \frac{46.3382 \times 10^{-3} \times 0.5}{0.0833}$$

$$\begin{cases} \sigma_1 = 0.342 MPa \\ \sigma_2 = 0 MPa \end{cases}$$



Les armatures

$$\sigma_2(A/4) = \left(\frac{\sigma_2 + 3\sigma_1}{4} \right) \tag{4.35}$$

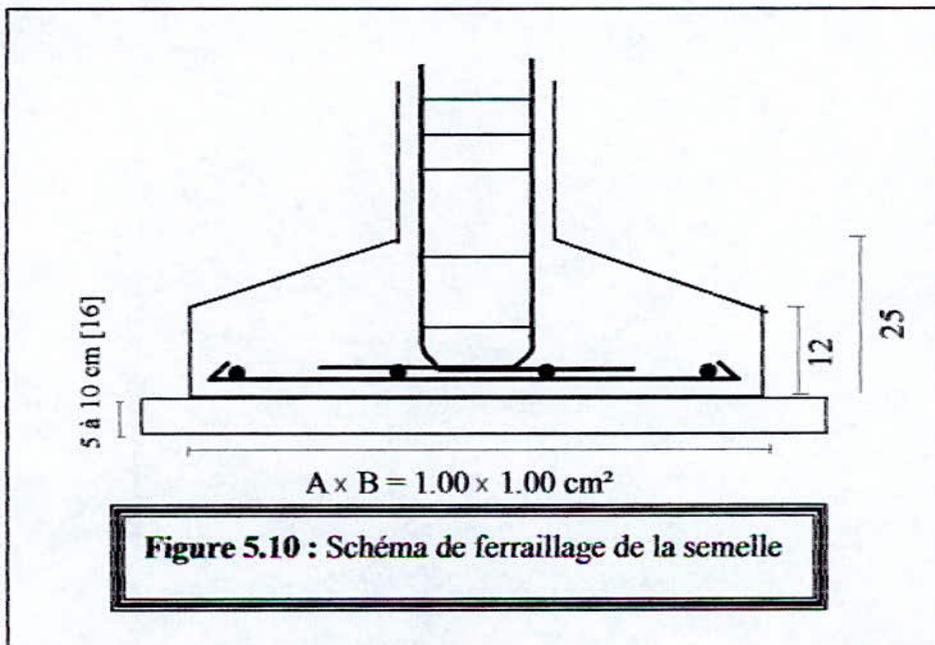
$$\sigma_2(A/4) = 0.25659 MPa$$

$$Q'' = 0.25659 \times 1^2 = 0.25659 MN$$

$$A'_y = \frac{Q'' \times (A - a)}{8h\sigma'_a} \tag{4.22}$$

$$A'_y = \frac{0.25659 \times (1.00 - 0.25)}{8 \times 0.2 \times 280} = 4.3cm^2$$

$$\begin{cases} A'_y = 4\Phi 12 = 4.52cm^2 \\ A'_x = 4\Phi 12 = 4.52cm^2 \end{cases} ; \text{ Avec } S = 22cm$$



2.2 Mur en Béton armé

Dans ce cas là on dimensionne le mur comme un voile,

Ce mur est proposé à Hydra

2.2.1 Evaluation des charges

2.2.1.1 Evaluation des charges horizontales « dues au vent »

Hauteur : $H = 4,91$ m

Largeur : $l = 5$ m.

La force de traînée T par unité de longueur est la force du vent dans la direction parallèle à ce dernier :

$$T = C_t \times q_z \times H \times l \quad ([9], P167)$$

$$\lambda = \frac{H}{l} = \frac{4,91}{5} = 0,982 \Rightarrow C_t = 1,643 \text{ (figure R-III-10[9] P 165)}$$

La pression dynamique q_z est :

$$q_z = 0,61 \times 10^{-3} \text{ MPa. (figure C 3.4 [9] p.54)}$$

La pression normale sera donc :

$$\begin{aligned} q_n &= C_t \times q_z \\ &= 1,66 \times 0,61 \times 10^{-3} \text{ MPa.} \\ &= 1,0126 \times 10^{-3} \text{ MPa.} \end{aligned}$$

La pression extrême du vent est :

$$\begin{aligned} q_e &= 1,75 \times C_t \times q_z \\ &= 1,77205 \times 10^{-3} \text{ MPa} \end{aligned}$$

donc : $T = 5,063 \times 10^{-3} \text{ MN/ml}$

2.2.1.2 Evaluation des charges verticales « poids propre »

L'épaisseur du mur est : $e = 0,15$ m

La masse volumique de béton armé: $25 \times 10^{-3} \text{ MN/m}^3$

Donc

$$\text{Poids mur} : 0,15 \times 4,91 \times 2,5 \times 10^{-2} = 1,84125 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$$

$$\text{Poids poutre} : 0,30 \times 0,25 \times 2,5 \times 10^{-2} = 0,1875 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$$

2.2.2 Vérification des contraintes de compression à la base du mur

a. Contrainte calculée

La charge totale « Q » à la base du mur en béton armé est :

$$Q = 1,84125 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$$

L'épaisseur à la base du mur :

$$S = 0,15 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{cal}} = \frac{Q}{e}$$

$$= \frac{1,84125 \times 10^{-2}}{0,15} = 12,275 \times 10^{-2} \text{ MPa.}$$

b. Contrainte admissible

La contrainte admissible du béton armé est :

$$f_{c28} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{donc } \sigma_{\text{cal}} < f_{c28}$$

2.2.3 Vérification à la flexion :

On suppose le mur comme une plaque encastree à la base

Le voile travaille à la flexion composée

$$N = 9,20625 \times 10^{-2} \text{ MN}$$

$$M = \left(\frac{q_n \times l \times H^2}{8} \right) = 11,0972 \times 10^{-2} \text{ MN.m} = 11,0972 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$V = 0,15/2 = 0,075 \text{ m}$$

$$\sigma_1 = \frac{N}{bl} + \frac{Mv}{I} = \frac{9,20625 \times 10^{-2}}{0,15 \times 5} + \frac{11,0972 \times 10^{-2} \times 0,075}{\frac{0,15 \times 5^3}{12}} = 12,8077 \times 10^{-2} \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{bl} - \frac{Mv}{I} = \frac{9,20625 \times 10^{-2}}{0,15 \times 5} - \frac{11,0972 \times 10^{-2} \times 0,075}{\frac{0,15 \times 5^3}{12}} = 11,7423 \times 10^{-2} \text{ MPa}$$

$$\text{donc } \begin{cases} \sigma_1 < \sigma_{\text{adm}} = 25 \text{ MPa} \\ \sigma_2 < \sigma_{\text{adm}} = 25 \text{ MPa} \end{cases}$$

Donc le béton peut reprendre la contrainte de flexion

2.2.4 Vérification de la résistance au cisaillement

On vérifie que : $\tau_b \leq \tau'_b = 0,2 \times f_{c28} = 5 \text{ MPa}$ [19]

Où : τ'_b : Contrainte de cisaillement admissible du béton ;

τ_b : Contrainte du béton ;

$$\tau_b = \frac{V}{e \times d} ; \quad V = 1,4 \times q_u \quad [19]$$

Où :

q_u : charge qui sollicite le mur (E.L.U) ;

e : épaisseur du mur ;

d : hauteur utile = $0.9h$;

h : hauteur totale de la section brute.

Application numérique :

$$q_u = 1.5 q_n$$

$$q_n = 1.0126 \times 10^{-3} \text{ MN / ml}$$

d'où :

q_n : pression normale due au vent

$$q_u = 1.5189 \times 10^{-3} \text{ MN / ml}$$

$$\tau_b = \frac{1.4 \times 1.51 \times 10^{-3}}{0.15 \times 0.9 \times 5} = 3.15 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

On trouve que $\tau_b < \tau'_b$

donc le béton peut reprendre la contrainte de cisaillement

2.2.5 Ferrailage minimal du mur

a. Armatures longitudinales

D'après les RPA 99 ; le pourcentage total minimum des aciers longitudinaux est de 5% en toute section.

$$(A_t, A'_t) = 0.005bh \quad (\text{Article 7.5.2[19]}) \times 4.$$

$$(A_t, A'_t) = 37.5 \text{ cm}^2 = 3.75 \text{ cm}^2/\text{ml}/\text{face}$$

$$\text{donc } A_t = A'_t = 5\Phi 10 = 3.926 \text{ cm}^2 / \text{ml} / \text{face}$$

L'espacement entre les barres est :

$$s \leq \text{Min} (1.5 e = 22.5 \text{ cm}, 30 \text{ cm}) \quad (7.7.4.2 [19])$$

$$s_t = \frac{100}{5} = 20 \text{ cm}$$

b. Armatures transversales [9]

$$\begin{cases} \text{pour } \tau_b \leq 0.025 \times f_{c28}: & A_t \geq 0.0015 \times b \times s \quad (0.15\%) \\ \text{pour } \tau_b \geq 0.025 \times f_{c28}: & A_t \geq 0.0015 \times b \times s \quad (0.25\%) \end{cases}$$

$$\text{Dans notre cas on a : } \tau_b = 3.15 \times 10^{-3} \text{ MPa} < 0.025 \times f_{c28} = 0.625 \text{ MPa}$$

$$\text{donc } A_{\min} \geq 10.17 \text{ cm}^2 = 1.125 \text{ cm}^2 / \text{ml} / \text{face}$$

$$A_{\min} = 4\Phi 6 / ml / \text{face} = 1,13\text{cm}^2 / ml / \text{face}$$

L'espace entre les barres est $s_t = \frac{100}{4} = 25\text{cm}$

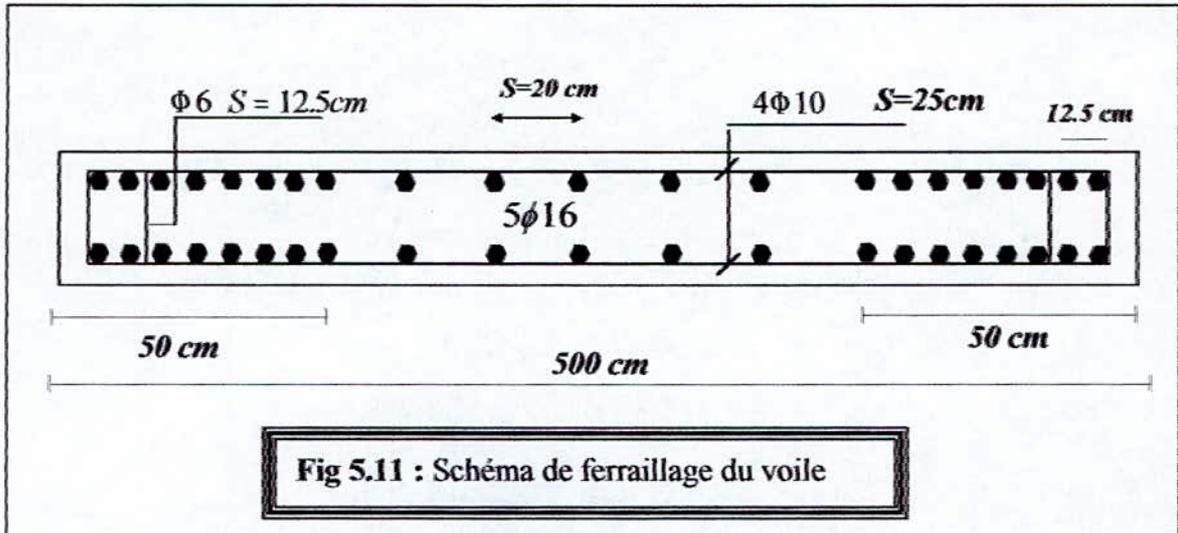


Photo 5.2 : Base d'écran acoustique en béton armé

2.2.6 Dimensionnement de la poutre:

Remarque : Les formules détaillées se trouvent dans la partie « dimensionnement de mur en parpaings ».

La charge totale revenant à la poutre g :

$$\begin{cases} g = 2.02875 \times 10^{-2} \text{ MN / ml} \\ q_u = 1.35 \times 1.8825 \times 10^{-2} = 2.7388 \times 10^{-2} \text{ MN / ml} \end{cases}$$

On applique la méthode forfaitaire

$$M_B = 0.5 \text{Max}(M_{01}, M_{02})$$

$$M_C = 0.5 \text{Max}(M_{02}, M_{03})$$

Calcul du coefficient α :

$$\alpha = 0$$

La valeur de chaque moment est :

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

$$M_{01} = M_{02} = M_{03} = M_0 = \frac{2.02875 \times 10^{-2} \times 5^2}{8} = 6.3398 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

Dans le cas de trois travées :

$$M_A = M_D = 0$$

$$\begin{cases} M_B = M_C = 0.5M_0 = 0.0317 & \text{à L'E.L.S} \\ M_B = M_C = 1.35 \times 0.5M = 0.0428 \text{ MN.m} & \text{à L'E.L.U} \end{cases}$$

□ **Moments en travées[16]**

$$\begin{cases} M_{11} = M_{13} \geq 0.063398 \times 1.05 - \frac{0.0317}{2} = 0.05078 \text{ MN.m} \\ M_{11} = M_{13} \geq \frac{0.063398 \times 1.2}{2} = 0.03804 \text{ MN.m} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_{11(s)} \geq 0.05078 \text{ MN.m} \\ M_{11(u)} \geq 0.06847 \text{ MN.m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{12} \geq 0.063398 \times 1.05 - \frac{0.0317 + 0.0317}{2} = 0.034868 \text{ MN.m} \\ M_{12} \geq \frac{0.063398}{2} = 0.0317 \text{ MN.m} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_{12(s)} = 0.034868 \text{ MN.m} \\ M_{12(u)} = 0.04707 \text{ MN.m} \end{cases}$$

□ **Les efforts tranchants**

	Travée 1		Travée 2		Travée 3	
	L'E.L.S	L'E.L.U	L'E.L.S	L'E.L.U	L'E.L.S	L'E.L.U
t_e MN	0.05706	0.07703	0.05071	0.06848	0.04438	0.05991
t_w MN	0.04438	0.05991	0.05071	0.06848	0.05706	0.07703

Donc $T_{Bs} = T_{As} = 11 \times t_{1wu} + t_{2es} = 0.048818 + 0.05071 = 0.099528 \text{ MN}$

$$T_{Bu} = T_{Au} = 0.1343628 \text{ MN}$$

□ Les résultats des calculs

Donc on obtient sur les résultats suivants

$$\begin{cases} \mu = 0.252 < \mu_{lim} = 0.39 \\ \alpha = 0.39 < \alpha_{lim} = 0.668 \end{cases} \Rightarrow \text{Pivot B}$$

Les dimensions sont les mêmes pour la poutre précédente

	Travées 1 et 3		Travée 2	
	L'E.L.U	L'E.L.S	L'E.L.U	L'E.L.S
Asc (cm ²)	0	0	0	0
As(cm ²)	9,16	11.68	5,86	7,82
Φ_{A_s}	0		0	
Φ_{A_c}	6 Φ 16 = 12.06cm ²		4 Φ 16 = 8.04cm ²	

• Chapeaux pour les appuis 2 et 3

	Appuis 1 et 2	
	L'E.L.U	L'E.L.S
Asc (cm ²)	5,26	7,06
As(cm ²)	0	0
Φ_{A_s}	5 Φ 14 = 7.70cm ²	
Φ_{A_c}	0	

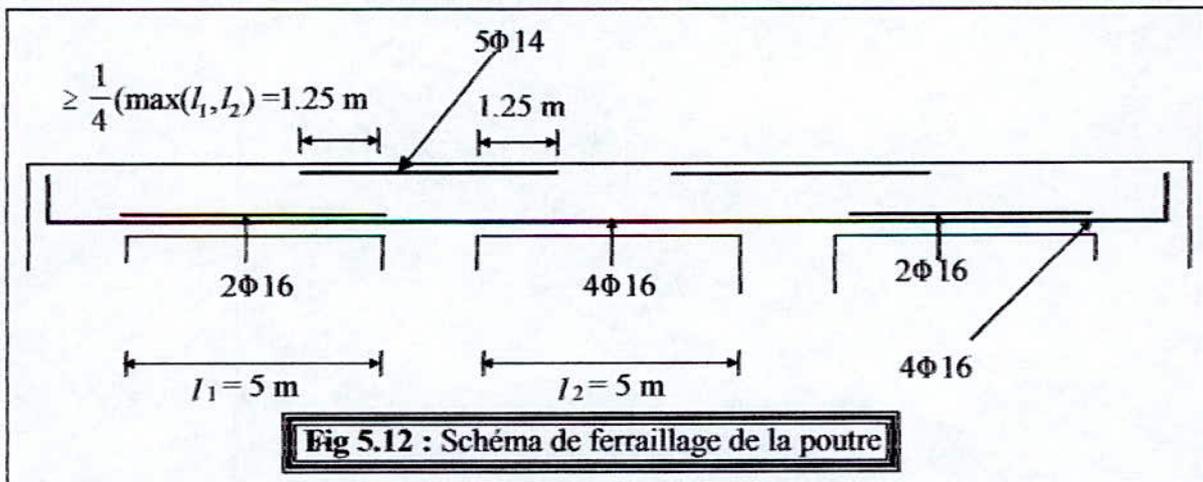


Fig 5.12 : Schéma de ferrailage de la poutre

2.2.7 Dimensionnement du poteau :

On a les dimensions du poteau :

$$\begin{cases} H = 4.91m \\ b = 25cm \\ a = 25cm \\ d' = 3cm \\ d = 33cm \end{cases}$$

$$\text{donc : } \begin{cases} N_1 = 0.25 \times 0.25 \times 4.91 \times 25000 = 7.672 \times 10^{-3} \text{ MN} \\ N_{1u} = 10.357 \times 10^{-3} \text{ MN} \end{cases}$$

$$M = \frac{q_u l H^2}{2}$$

$$\begin{cases} M = \frac{1.0126 \times 10^{-3} \times 4.91 \times 4.91^2}{2} = 60 \times 10^{-3} \text{ MN.m} \\ M_u = 81 \times 10^{-3} \text{ MN.m} \end{cases}$$

□ **Les armatures longitudinales:[17]**

$$\begin{cases} \mu = 0.399 > \mu_{\text{lim}} = 0.39 \\ \alpha = 0.69 > \alpha_{\text{lim}} = 0.668 \end{cases} \Rightarrow \text{on ajoute des armatures comprimées}$$

	E.L.U	E.L.S
Asc (cm ²)	1.89	6.49
As(cm ²)	15.77	16.16
$\Phi_{A_{sc}}$	6 Φ 12 = 6.78cm ²	
Φ_{A_s}	6 Φ 12 = 6.78cm ²	

□ **Armatures transversales [18]**

Selon les conditions suivantes

$$\begin{cases} \Phi_t > \frac{\Phi_e}{3} \\ \text{Si } \Phi_e \leq 20\text{mm} \Rightarrow \Phi_e = 6\text{mm} \end{cases}$$

On prend $A_t = \Phi 6 = 0.282\text{cm}^2$

• **Espacement des armatures transversales[18]**

$$\begin{cases} S_t \leq \text{Min}[15\Phi_{\text{min}}\text{cm}, 40\text{cm}, a + 10\text{cm}] \\ S_t \leq \text{Min}[18\text{cm}, 40\text{cm}, 35\text{cm}] \end{cases}$$

On prend $S_t = 15 \text{ cm}$

2.2.8 Fondations :

□ **Cas de L'E.L.S**

$$\begin{cases} N_1 = 0.25 \times 0.25 \times 6.11 \times 2.5 \times 10^{-2} = 9.546875 \times 10^{-3} \text{ MN} \\ N_2 = T_g = 99.528 \times 10^{-3} \text{ MN} \end{cases} \Rightarrow Q_s = N_1 + N_2 = 109.074875 \times 10^{-3} \text{ MN}$$

$T = 5.063 \cdot 10^{-3} \text{ MN/ml}$ (l'effort tranchant dû au vent).

$$M_T = T_{vent} \times \frac{H^2}{2}$$

$$M_T = 61.0296 \times 10^{-3} \text{ MN.m}$$

La fondation est une semelle superficielle isolée de section carrée.

- **Dimensionnement de la semelle[14]**

On :

$$\sigma'_s = 3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma'_s \geq \frac{Q}{S} + \frac{My}{I} \quad ;(4.19)$$

$$0.2 \geq \frac{109.07485 \times 10^{-3}}{A^2} + \frac{3 \times 61.0296 \times 10^{-3}}{A^3}$$

Donc $A \geq 116 \text{ cm} \approx 120 \text{ cm}$

- **Vérification de la semelle de rive**

Le moment dû à l'encastrement de la poutre de rive dans le poteau de rive est donné

par :

$$M = 0.3 \times M_0 \quad [16]$$

Tel que :

$$M_0 = 6.3398 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$M = 19.0194 \times 10^{-3} \text{ MN.m}$$

$$Q = t_{1s} + N_{1s} = 57.05875 \times 10^{-3} + 9.546875 \times 10^{-3} = 66.605625 \times 10^{-3} \text{ MN}$$

On vérifie que : $\sigma'_s \geq \frac{Q}{S} + \frac{My}{I}$; Où $y = \frac{A}{4}$ et $I = \frac{B \times A^3}{12}$.

$$0.2 \geq \frac{66.605625 \times 10^{-3}}{A'^2} + \frac{3 \times 19.0194 \times 10^{-3}}{A'^3}$$

On trouve que :

$$A' = 83 \text{ cm} \leq A = 120 \text{ cm}$$

Donc la semelle de rive est à l'état d'équilibre.

B' , A' sont les dimensions de la semelle

- **Hauteur de la semelle**

On utilise la méthode des bielles :

$$\begin{cases} h \geq \left(\frac{A-a}{4} \right) \\ h \geq \left(\frac{120-25}{4} \right) = 23.75 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm} \end{cases}$$

$$h_t = h + d' = 30 \text{ cm}$$

• **Calcul des armatures**

On va vérifier que :

$$\sigma'_s = \frac{Q}{S} \pm \frac{My}{I} \text{ avec } y = A/2$$

$$0.2 = \frac{109.07485 \times 10^{-3}}{12^2} + \frac{6 \times 61.0296 \times 10^{-3}}{12^3}$$

$$\begin{cases} \sigma'_1 = 0.2876 \text{ MPa} \\ \sigma'_2 = 0 \text{ MPa} \end{cases}$$

Armatures :

$$\sigma_2(A/4) = \left(\frac{\sigma_2 + 3\sigma_{12}}{4} \right)$$

$$\sigma_2(A/4) = 0.2157 \text{ MPa}$$

$$Q' = 0.2157 \times 12^2 = 0.31067 \text{ MN}$$

$$\begin{cases} A'_y = \frac{Q' \times (A-a)}{8h\sigma'_a} \\ A'_y = \frac{0.31067 \times (12-0.25)}{8 \times 0.2 \times 280} = 6.59 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A'_y = 6\Phi 14 = 6.78 \text{ cm}^2 \\ A'_x = 6\Phi 14 = 6.78 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

□ **Cas de L'E.L.U**

$$\begin{cases} N_1 = 135(0.25 \times 0.25 \times 6.11 \times 25000) = 12.8889 \times 10^{-3} \text{ MN} \\ N_2 = T_b = 134.3628 \times 10^{-3} \text{ MN} \end{cases}$$

$$\Rightarrow Q_u = N_1 + N_2 = 147.2511 \times 10^{-3} \text{ MN}$$

$$T = 5.063 \times 10^{-3} \text{ MN/ml (Effort tranchant dû au vent).}$$

$$M_T = (T_{ven} \times \frac{H^2}{2}) 1.5 \quad [20]$$

$$M_T = 915444 \times 10^{-3} \text{ MN.m}$$

La fondation est une semelle superficielle isolée de section carrée.

- **Dimensionnement de la semelle[14]**

On a :

$$\sigma'_s = 2 \text{ Kg / cm}^2$$

$$\sigma'_s \geq \frac{Q}{S} + \frac{My}{I} ;$$

$$0.2 \geq \frac{147.2511 \times 10^{-3}}{A^2} + \frac{3 \times 91.54444 \times 10^{-3}}{A^3}$$

$$\text{Donc } A \geq 133 \text{ cm} \approx 135 \text{ cm}$$

- **Vérification de la semelle de rive**

Le moment dû à l'encastrement de la poutre de rive dans le poteau de rive est donné par :

$$M = 0.3 \times M_0 \quad [16]$$

Tel que :

$$M_0 = 6.3398 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$M = 0.3 \times 135 \times 6.3398 \times 10^{-2} = 25.6762 \times 10^{-3} \text{ MN.m}$$

$$Q_u = 66.605625 \times 10^{-3} \times 135 = 89.9176 \times 10^{-3}$$

On vérifie que : $\sigma'_s \geq \frac{Q'}{S} + \frac{My}{I}$; Où $y = \frac{A}{4}$ et $I = \frac{B \times A^3}{12}$.

$$0.2 \geq \frac{89.9176 \times 10^{-3}}{A'^2} + \frac{3 \times 25.6762 \times 10^{-3}}{A'^3}$$

On trouve que :

$$A' = 93 \text{ cm} \leq A = 135 \text{ cm}$$

Donc la semelle de rive est à l'état d'équilibre.

B', A' sont les dimensions de la semelle

- **Hauteur de la semelle**

On utilise la méthode des bielles

$$\begin{cases} h \geq \left(\frac{A-a}{4} \right) \\ h \geq \left(\frac{135-25}{4} \right) = 27.5 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm} \\ h_t = h + d' = 35 \text{ cm} \end{cases}$$

- Calcul des armatures

On va vérifier que :

$$\sigma'_s = \frac{Q'}{S} \pm \frac{My}{I}$$

$$0.2 \geq \frac{147.2511 \times 10^{-3}}{135^2} + \frac{6 \times 91.5444 \times 10^{-3}}{135^3}$$

$$\begin{cases} \sigma'_1 = 0.304 \text{ MPa} \\ \sigma'_2 = 0 \text{ MPa} \end{cases}$$

Les armatures

$$\sigma_2(A/4) = \left(\frac{\sigma_2 + 3\sigma_{12}}{4} \right)$$

$$\sigma_2(A/4) = 0.228 \text{ MPa}$$

$$Q'' = 0.228 \times 135^2 = 0.41558 \text{ MN}$$

$$\begin{cases} A'_y = \frac{Q'' \times (A - a)}{8h\sigma'_a} \\ A'_y = \frac{0.41558 \times (135 - 0.25)}{8 \times 0.2 \times 280} = 10.21 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A'_y = 7\Phi 14 = 10.77 \text{ cm}^2 \\ A'_x = 7\Phi 14 = 10.77 \text{ cm}^2 \end{cases} \quad \text{Avec } S = 20 \text{ cm}$$

2.3. Mur en terre banchée « en pisé avec semelle filante »

2.3.1 Evaluation des charges

2.3.1.1 Evaluation des charges horizontales « dues au vent »

Les dimensions de mur sont :

$$\text{Hauteur : } H = 4,40 \text{ m}$$

$$\text{Largeur : } l = 4,62 \text{ m.}$$

La force de traînée T par unité de longueur est la force du vent dans la direction parallèle à ce dernier :

$$T = C_t \times q_z \times H \times l$$

A.N :

L'élanement est :

$$\lambda = \frac{H}{l} = \frac{4,40}{4,62} = 0,952 \Rightarrow C_t = 1,65 \text{ (figure R-III-10[9] P 165)}$$

La pression dynamique q_z est :

$$q_z = 0,6018 \times 10^{-3} \text{ MPa. (figure C 3.4 [9] p.54)}$$

La pression normale sera donc :

$$\begin{aligned} q_n &= C_t \times q_z = 1,65 \times 0,6018 \times 10^{-3} \text{ MPa.} \\ &= 0,99297 \times 10^{-3} \text{ MPa.} \end{aligned}$$

La pression extrême du vent est :

$$\begin{aligned} q_e &= 1,75 \times C_t \times q_z = 1,75 \times 0,99297 \times 10^{-3} \text{ MPa.} \\ &= 1,7377 \times 10^{-3} \text{ MPa.} \end{aligned}$$

$$\text{donc : } T = 4,5875 \times 10^{-3} \text{ MN/ml}$$

2.3.1.2 Evaluation des charges verticales « poids propres »

L'épaisseur de mur est : $e = 0,35 \text{ m}$

La masse volumique de la terre est : $2 \times 10^{-2} \text{ MN / m}^3$

La masse volumique de béton armé est : $2,5 \times 10^{-2} \text{ MN / m}^3$

La masse volumique de brique silico-calcaire est : $2 \times 10^{-2} \text{ MN / m}^3$

Donc :

$$\text{Poids mur : } 0,35 \times 4,20 \times 2 \times 10^{-2} = 2,94 \times 10^{-2} \text{ MN / ml}$$

$$\text{Poids poutre : } 0,35 \times 0,3 \times 2,5 \times 10^{-2} = 0,2625 \times 10^{-2} \text{ MN / ml}$$

$$\text{Poids brique silico-calcaire : } 1,1 \times 0,35 \times 2 \times 10^{-2} = 0,77 \times 10^{-2} \text{ MN / ml}$$

2.3.2 Vérifications des maçonneries

- Vérification des contraintes de compression à la base du mur

- Contrainte calculée

La charge totale « Q » à la base du mur en brique silico-calcaire est :

$$Q = 2.94 \times 10^{-2} + 0.77 \times 10^{-2} = 3.71 \times 10^{-2} \text{ MN / ml}$$

$$\sigma_{\text{cal}} = \frac{Q}{S} = \frac{3.71 \times 10^{-2}}{0.35} = 10.6 \times 10^{-2} \text{ MPa.}$$

2.3.3 Détermination des caractéristiques mécaniques des parois en maçonneries

2.3.3.1 Caractéristiques des matériaux

Résistance à la compression : $\sigma_b = 15 \text{ MPa}$

Résistance à la compression du mortier : $\sigma_m = 10 \text{ MPa}$

2.3.3.2 Caractéristiques du mur

2.3.3.2.1 Résistance moyenne de rupture

$$R = 0.55 \times \sqrt[3]{\sigma_m \times \sigma_b^2}$$

$$= 7.207 \text{ MPa}$$

2.3.3.2.2 Module de déformation longitudinale

$$E_0 = \alpha \times R$$

$$\alpha = 0.75$$

$$E_0 = 5.40525 \text{ MPa}$$

(Tableau 3 [8] p.34)

2.3.3.2.3 Résistance admissible de calcul en compression

$$R_{\text{adm}} = \frac{R_n}{K_c}$$

R_n est donnée par :

$$R_n = R (1 - 1.64v)$$

$$v = 0,15 \quad (3.1.3 [8] p.35)$$

$$R_n = 7.207 (1 - 1.64 \times 0.15) = 5.434 \text{ MPa}$$

Avec $K_c = 1,4$ on aura

(Tableau 4 [8] p.35)

$$R_{\text{adm}} = \frac{5.434}{1.4} = 3.88 \text{ MPa}$$

2.3.3.2.4 Résistance admissible en flexion latérale

La résistance admissible de calcul de la maçonnerie à la flexion latérale est obtenue

$$\text{par : } R_{adm} = \frac{R_n}{K_f}$$

$$R_n = 5.434 \text{ MPa}$$

$$K_f = 1,6 \text{ (Tableau 5 [8] p.36)}$$

$$R_{adm} = \frac{5.434}{1.6} = 3.396 \text{ MPa}$$

2.3.3.2.5 Résistance admissible au cisaillement

$$\tau_n = \text{Min}(\tau_0 + 0.4 \times \tau_g, \tau_{lim}) \quad (4.10)$$

Tous les paramètres sont définis à (IV1.3.7)

$$\text{Avec : } \tau_0 = 0,3 \text{ MPa et } \tau_{lim} = 1.2 \text{ MPa}$$

(Tableau 6 [8] p.37)

$$0,4 \tau_g = 0.4 \times 15 = 6 \text{ MPa}$$

$$\tau_n = \text{Min}(6.3, 1.2) = 1.2 \text{ MPa}$$

La résistance admissible au cisaillement est obtenue par la division de la résistance normative par le coefficient de sécurité K_f défini dans le cas de flexion et donné en (4.7).

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_n}{K_f}$$

τ_{adm} : résistance normative de la maçonnerie au cisaillement exprimée en MPa

$$K_f = 1,6$$

(Tableau 5 [8] p.36)

$$\tau_{adm} = \frac{1.2}{1.6} = 0.75 \text{ MPa}$$

2.3.5 Calculs

2.3.5.1.1 Calcul en compression

$$\sigma = \frac{N}{A_c} \leq m_{rd} \phi_i R_{adm} \omega$$

$$A_c = b \times 2 \left(\frac{d}{2} - e_0 \right)$$

$$e_0 = \frac{M}{N} + e_{acc} = 0 + 2cm = 0.02m$$

$$A_c = 4.62 \times 2 \left(\frac{0.35}{2} - 0.02 \right) = 1.4322m^2$$

$$\text{Donc : } N = l \times Q = 4.62 \times 3.71 \times 10^{-2} = 17.1402 \times 10^{-2} \text{ MN / ml}$$

$$\sigma = \frac{17.1402 \times 10^{-2}}{1.4322} = 11.9677 \times 10^{-2} \text{ MPa}$$

2.3.5.1.2 Vérification en compression

Il faut vérifier que la contrainte de compression appliquée reste toujours inférieure à :

$$\sigma \leq m_{ld} \phi_l R_{adm} \omega$$

avec : $R_{adm} = 3.396 \text{ Mpa}$ (partie 2.3.3.2.3)

Le coefficient de fluage m_{ld} est donné par :

$$m_{ld} = 0.76 \quad (\text{Tableau 9[8] p.44})$$

Le coefficient ω de majoration de contrainte sur A est donné par :

$$\omega = 1 \quad (\text{Article 3.3.1 [8] p.44})$$

calcul ϕ_l

$$\lambda_h = \frac{l_0}{d} \quad \text{avec : } l_0 = \rho.H$$

Selon le graphe (fig.19 [8] p.43) $\rho = 0.45$. ($\frac{H}{L} = 1.147$)

d'où $l_0 = 0.45 \times 5.3 = 2.385$

$$\lambda_h = \frac{2.385}{0.35} = 6.814$$

$$\lambda_h^f = \lambda_h \sqrt{\frac{1000}{\alpha}}, \quad \text{avec } \alpha = 750 \text{ on aura :}$$

$$\lambda_h^f = 6.814 \sqrt{\frac{1000}{750}} = 7.868$$

$$\text{d'où } \phi = 0.92 \quad (\text{Tableau 7[8] p.42})$$

$$\phi_l = \phi \left[1 - \frac{e_0}{d(0.06\lambda_h - 0.2)} \right]$$

$$\phi_l = 0.92$$

Finalemment :

$$\sigma_{adm} = 0.92 \times 0.76 \times 3.88 \times 1 = 2.712896 \text{ MPa}$$

On vérifie bien que : $\sigma < \sigma_{adm}$ c'est à dire $0.119677 \text{ MPa} < 2.343 \text{ MPa}$

2.3.5.2 Calcul en flexion [16]

Le schéma mécanique du mur est supposé être une plaque appuyée sur 3 cotés, d'où l'utilisation des abaques de PIGEAUD qui nous permet de déterminer les moments de flexion dans la plaque, dans ce cas :

$$\rho = \frac{I_x}{I_y} = \frac{4.40}{4.62} = 0.95 \text{ alors } M_1 = 0.042 ; M_2 = 0.032$$

q : chargement dû au vent.

$$q = 0.99297 \times 10^{-3} \text{ MPa.}$$

suivant I_x on a :

$$M_x = q(M_1 + \nu M_2) = 0.99297 \times 10^{-3} \times (0.042 + 0.15 \times 0.032) = 4.647 \times 10^{-5} \text{ MN.m}$$

suivant I_y :

$$M_y = q(M_2 + \nu M_1) = 0.975 \times 10^{-3} \times (0.032 + 0.15 \times 0.042) = 9.433 \times 10^{-5} \text{ MN.m}$$

Le moment fléchissant extrême pour une plaque est :

$$M_x = 0.85 \times M_x = 3.95 \times 10^{-5} \text{ MN.m}$$

$$\text{et } M_y = 0.85 \times M_y = 8.018 \times 10^{-5} \text{ MN.m}$$

En l'absence des valeurs expérimentales, la résistance normative en flexion σ_n de la maçonnerie peut être prise égale à 0.5 Mpa. (article 3.1.4 [8] P36)

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_n}{K_f} = \frac{0.5}{1.6} = 0.3125 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = \frac{M_f}{I} = \frac{8.018 \times 10^{-5} \times \frac{0.35}{2}}{4.62 \times 0.35^3} = 0.411 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

$$\text{donc } \sigma_f < \sigma_{adm}$$

2.3.5.3 Calcul au cisaillement

La contrainte de cisaillement est donnée par :

$$\tau = \frac{Q \cdot S_m}{I_m d}$$

S_m et I_m sont déterminés pour la partie comprimée de la section transversale du mur en cas de fissuration de celui-ci.

$$\text{Avec : } \tau_{\max} = 1.5 \frac{Q}{S}, \quad S = 4.62 \times 0.35 = 1.617 \text{ m}^2.$$

Soit : S_f la surface exposée au vent.

$$S_f = l.H$$

On prend : $H = 4.40 \text{ m}$ et $l = 4.62 \text{ m}$

L'effort tranchant dû au vent à la base est donc :

$$Q = q.l.H \quad ; \text{Où } q = 0.99297 \cdot 10^{-3} \text{ MPa} = \text{pression normale due au vent.}$$

$$\text{D'où } Q = 0.99297 \cdot 10^{-3} \cdot 4.62 \cdot 4.40 = 20.185 \cdot 10^{-3} \text{ MPa.}$$

L'effort maximal produit par le vent est :

$$\tau_{\max} = 1.5 \times \frac{20.185 \times 10^{-3}}{1.617} = 12.483 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

On vérifie bien que : $\tau_{\max} < \tau_{adm}$, ($0.0429 \text{ MPa} < 0.666 \text{ MPa}$).

On plus τ_{adm} est quinze fois plus grand que τ_{Max} .

2.3.6 Dimensionnement

2.3.6.1 Dimensionnement du poteau [17]

Les dimensions du poteau sont :

$$\begin{cases} b = 25 \text{ cm} \\ a = 35 \text{ cm} \\ d' = 3 \text{ cm} \\ d = 33 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\text{donc : } \begin{cases} N_1 = 0.25 \times 0.35 \times 4.4 \times 25000 = 9.625 \times 10^{-3} \text{ MN} \\ N_{1u} = 1.35 \times 9.625 \times 10^{-3} = 13 \times 10^{-3} \text{ MN} \end{cases}$$

$$M = \frac{q_u l H^2}{2}$$

$$\begin{cases} M = \frac{0.99297 \times 10^{-3} \times 4.62 \times 4.4^2}{2} = 44.4072 \times 10^{-3} \text{ MN.m} \\ M_u = 1.35 \times 44.4072 \times 10^{-3} = 60 \times 10^{-3} \text{ MN.m} \end{cases}$$

• Armatures longitudinales [17]

	<i>E.L.U</i>	<i>E.L.S</i>
Asc (cm ²)	5.93	8
As (cm ²)	0	0
Φ_{A_u}	4 Φ 16 = 8.04 cm ²	
Φ_{A_s}	0	

- **Armatures transversales [18]**

Selon les conditions suivantes

$$\begin{cases} \Phi_t > \frac{\Phi_e}{3} \\ \text{Si } \Phi_e \leq 20\text{mm} \Rightarrow \Phi_e = 6\text{mm} \end{cases}$$

On prend $A_t = \Phi 6 = 0.282\text{cm}^2$

- **Espacement des armatures transversales [18]**

$$S_t \leq \text{Min}[15\Phi_{\text{min}}\text{cm}, 40\text{cm}, a + 10\text{cm}]$$

$$S_t \leq \text{Min}[24\text{cm}, 40\text{cm}, 35\text{cm}]$$

donc $S_t \leq 24\text{cm}$ on prend $S_t = 20\text{cm}$

2.3.7 Fondations

2.3.7.1 Charges revenant à la semelle

$$Q = 4 \times 10^{-2} \text{MN} / \text{ml}$$

$$M_T = 10.03 \times 10^{-3} \text{MN.m} / \text{ml}$$

2.3.7.2 Dimensionnement de la semelle

Semelle filante (Semelle armée sous mur) [14]

La méthode la plus utilisée pour ce genre de calcul est la méthode des bielles, qui date de 1934 suite à des essais effectués pour le compte du bureau de contrôle SECURITAS et exploités par LEBELLE pour concevoir cette théorie.

Cette méthode de calcul s'applique pour des semelles assez rigides où :

$$h \geq \left(\frac{A - a}{4} \right)$$

On a : $\sigma'_s = 2\text{Kg} / \text{cm}^2$

$$A \geq 65.4 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm}$$

$$\text{Hauteur : } h \geq \left(\frac{A - a}{4} = \frac{70 - 35}{4} = 8.75 \approx 10\text{cm} \right)$$

On prend $h_t = h + d' = 15\text{cm}$

- **Calcul des armatures**

Méthode des bielles

$$F_0 = \frac{N \times (A - a)}{8h\sigma'} \quad (4.36)$$

$$F_0 = \frac{4 \times 10^{-2} \times (0.7 - 0.35)}{8 \times 0.1} = 5 \times 10^{-2} \text{ MN}$$

$$A' = \frac{F_0}{\sigma'_a} = \frac{5 \times 10^{-2}}{2.8 \times 10^{-2}} = 1.79 \text{ cm}^2 < A_{s_{\min}} = 3.4 \text{ cm}^2 \quad (4.37)$$

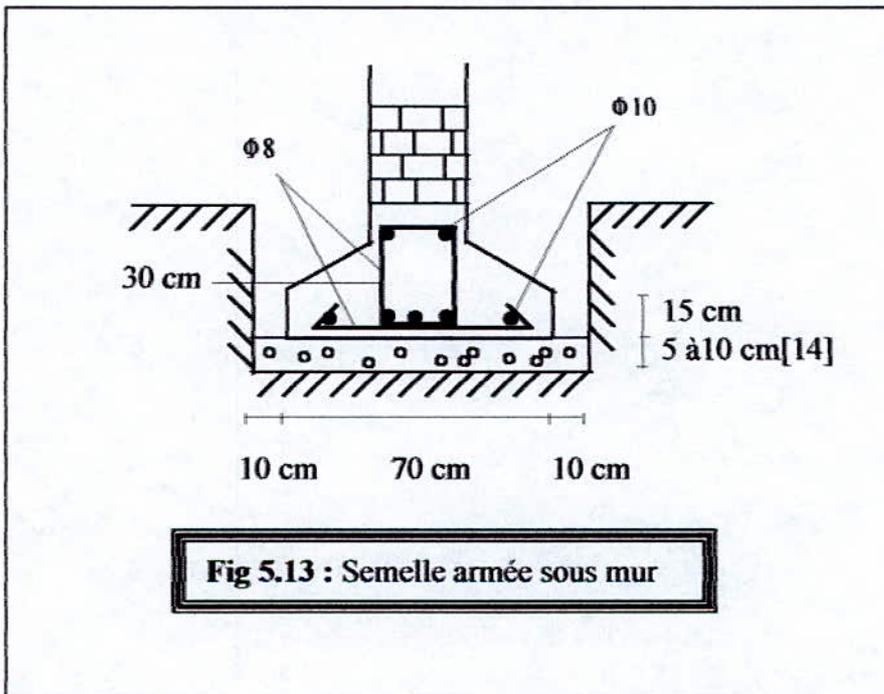
Donc on prend $A_s = 3.4 \text{ cm}^2$

On prend $A' = 5\Phi 10 = 3.93 \text{ cm}^2$; Avec $S = \frac{70}{5} = 14 \text{ cm}$.

Aciers de répartition :

$$A'_r = \frac{A'}{4} = 0.85$$

On prend $A'_r = 4\Phi 6 = 1.13 \text{ cm}^2$; Avec $S_r = \frac{100}{4} = 25 \text{ cm}$.



2.4 Mur en terre banchée « en pisé » avec semelle isolée

2.4.1 Evaluation des charges

$$q_e = 1.7377 \times 10^{-3} \text{ MPa. (Paragraphes 2.3.1)}$$

$$T = 4.5875 \times 10^{-3} \text{ MN/ml}$$

□ Evaluation des charges verticales « poids propres »

L'épaisseur du mur est : $e = 0,35 \text{ m}$

La masse volumique de la terre est : $2 \times 10^{-2} \text{ MN / m}^3$

La masse volumique du béton armé est : $2.5 \times 10^{-2} \text{ MN / m}^3$

La masse volumique de brique silico-calcaire est : $2 \times 10^{-2} \text{ MN / m}^3$

Donc :

$$\text{Poids mur} \quad : 0.35 \times 4 \times 2 \times 10^{-2} = 2.8 \times 10^{-2} \text{ MN / ml}$$

$$\text{Poids poutre} \quad : 0.35 \times 0.4 \times 2.5 \times 10^{-2} = 0.35 \times 10^{-2} \text{ MN / ml}$$

2.4.2 Vérifications des maçonneries

La vérification se fait dans la partie de terre banchée avec semelle filante

2.4.3 Dimensionnement

a. Moments en travées[16]

La charge totale g :

$$\begin{cases} g = 2.8 \times 10^{-2} + 0.35 \times 10^{-2} = 3.15 \times 10^{-2} \text{ MN / ml} \\ q_u = 1.35 \times 3.15 \times 10^{-2} = 4.2525 \times 10^{-2} \text{ MN / ml} \end{cases}$$

On applique la méthode forfaitaire

Calcul du coefficient α

$$\alpha = 0$$

La valeur de chaque moment

$$\begin{cases} M_0 = \frac{Ql^2}{8} \\ M_{01} = M_{02} = M_{03} = M_0 = \frac{3.15 \times 10^{-2} \times 4.62^2}{8} = 8.404 \times 10^{-2} \text{ MN.m} \end{cases}$$

Dans le cas de trois travées

$$M_A = M_D = 0$$

$$\begin{cases} M_B = M_C = 0.5M_0 = 0.04202 \text{ MN.m} & \text{à L'E.L.S} \\ M_B = M_C = 1.35 \times 0.5M = 0.056729 \text{ MN.m} & \text{à L'E.L.U} \end{cases}$$

□ **Moments en travées[16]**

$$\begin{cases} M_{t1} = M_{t3} \geq 8.404 \times 10^{-2} \times 1.05 - \frac{0.04202}{2} = 6.7232 \times 10^{-2} MN.m \\ M_{t1} = M_{t3} \geq \frac{8.404 \times 10^{-2} \times 1.2}{2} = 5.0424 \times 10^{-2} MN.m \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} M_{t1(s)} \geq 6.7232 \times 10^{-2} MN.m \\ M_{t1(u)} \geq 9.07632 \times 10^{-2} MN.m \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{t2} \geq 8.404 \times 10^{-2} \times 1.05 - \frac{0.06737 + 0.04202}{2} = 4.6222 \times 10^{-2} MN.m \\ M_{t2} \geq \frac{8.404 \times 10^{-2}}{2} = 4.202 \times 10^{-2} MN.m \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} M_{t2(s)} = 4.6222 \times 10^{-2} MN.m \\ M_{t2(u)} = 6.23997 \times 10^{-2} MN.m \end{cases}$$

b. Les efforts tranchants

	<i>Travée 1</i>		<i>Travée 2</i>		<i>Travée 3</i>	
	<i>E.L.S</i>	<i>E.L.U</i>	<i>E.L.S</i>	<i>E.L.U</i>	<i>E.L.S</i>	<i>E.L.U</i>
t_e MN	0.1073	0.1448	0.0982	0.13257	0.0891	0.1203
t_w MN	0.0891	0.1203	0.0982	0.13257	0.1073	0.1448

Donc $\begin{cases} T_{Bs} = T_{As} = 0.19621 MN \\ T_{Bu} = T_{Au} = 0.26488 MN \end{cases}$

2.4.3.1 Dimensionnement de la poutre

Les dimensions de la poutre sont :

$$\begin{cases} L = 4.62m \\ b = 35cm \\ H = 40cm \\ d' = 4cm \\ d = 36cm \end{cases}$$

□ **Les armatures en travée**

$$\begin{cases} \alpha = 0.417 < \alpha_{lim} = 0.668 \Rightarrow \text{Pivot B (travée 1et3)} \\ \alpha = 0.36 < \alpha_{lim} = 0.668 \Rightarrow \text{Pivot B (travée 2)} \end{cases}$$

	Travée 1 et 3		Travée 2	
	L'E.L.U	L'E.L.S	L'E.L.U	L'E.L.S
Asc (cm ²)	0	0	0	0
As(cm ²)	7.97	10.76	5.31	7.24
Φ _{A_u}	0		0	
Φ _{A_s}	6Φ 16 = 12.06cm ²		4Φ 16 = 8.042cm ²	

□ **Chapeau pour les appuis 2 et 3**

$$\alpha = 0.34 < \alpha_{lim} = 0.668 \Rightarrow \text{Pivot B}$$

	Appuis 1 et 2	
	L'E.L.U	L'E.L.S
Asc (cm ²)	4.80	6.55
As(cm ²)	0	0
Φ _{A_u}	3Φ 14 + 2Φ 12 = 6.88cm ²	
Φ _{A_s}	0	

2.4.3.2 Dimensionnement du poteau

On les dimensions du poteau :

$$\begin{cases} H = 4.00m \\ b = 25cm \\ a = 35cm \\ d' = 3cm \\ d = 32cm \end{cases}$$

$$\text{donc : } \begin{cases} N_l = 0.25 \times 0.35 \times 4 \times 2.5 \times 10^{-2} = 8.75 \times 10^{-3} MN \\ N_{lu} = 1.35 \times 8.75 \times 10^{-3} = 11.8125 \times 10^{-3} MN \end{cases}$$

$$M = \frac{q_u l H^2}{2}$$

$$\begin{cases} M = \frac{0.99297 \times 10^{-3} \times 4.62 \times 4^2}{2} = 39.5043 \times 10^{-3} MN.m \\ M_u = 1.35 \times 44.4072 \times 10^{-3} = 53.3308 \times 10^{-3} MN.m \end{cases}$$

□ **Les armatures longitudinales [17]**

	L'E.L.U	L'E.L.S
Asc (cm ²)	5.21	7.07
As(cm ²)	0	0
Φ_{A_s}	5 Φ 14 = 7.7cm ²	
Φ_{A_s}	5 Φ 14 = 7.7cm ²	

□ **Les armatures transversales [18]**

Selon les conditions suivantes

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_t > \frac{\Phi_e}{3} \\ \text{Si } \Phi_e \leq 20\text{mm} \Rightarrow \Phi_e = 6\text{mm} \end{array} \right.$$

On prend $A_t = \Phi 6 = 0.282\text{cm}^2$

□ **Espacement des armatures transversales [18]**

$$\left\{ \begin{array}{l} S_t \leq \text{Min}[15\Phi_{t\text{min}}\text{cm}, 40\text{cm}, a + 10\text{cm}] \\ S_t \leq \text{Min}[21\text{cm}, 40\text{cm}, 35\text{cm}] \end{array} \right.$$

donc $S_t \leq 21\text{cm}$ on prend $S_t = 20\text{cm}$

2.4.4 Fondations

2.4.4.1 Les charges revenant à la semelle

$$Q = 20.496 \times 10^{-2} \text{ MN/m}$$

$$M_T = 46.3382 \times 10^{-3} \text{ MN.m}$$

2.4.4.2 Dimensionnement de la semelle [14]

Semelle isolée

Donc $A \geq 124.1 \text{ cm} \approx 125 \text{ cm}$ et $B = (25/35) A = 89.28 \approx 90 \text{ cm}$

□ **La hauteur de la semelle**

On utilise la méthode des bielles

$$h \geq \left(\frac{125 - 35}{4} \right) = 22.5\text{cm} \approx 25 \text{ cm}$$

On prend $h_t = h + d' = 30\text{cm}$

□ **Vérification de la semelle de rive**

$$M_0 = 8.404 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$M = 2.5212 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$Q'' = t_{le} + N_1 = 0.1073 + 0.00875 = 11.605 \times 10^{-2} \text{ MN}$$

$$A' = 110.7 \text{ cm} < 125 \text{ cm}$$

On remarque que la semelle de rive sera stable avec les dimensions de la semelle précédente.

□ **Calcul des armatures**

Méthode des bielles

Sens de A

$$\sigma_s = \frac{Q}{S} \pm \frac{My}{I} \quad \text{avec } y = A/2$$

$$\begin{cases} \sigma_1 = 0.372 \text{ MPa} \\ \sigma_2 = 0 \text{ MPa} \end{cases}$$

Les armatures

$$\sigma_2(A/4) = \left(\frac{\sigma_2 + 3\sigma_1}{4} \right)$$

$$\sigma_2(A/4) = 0.279 \text{ MPa}$$

$$Q' = 0.279 \times 125 \times 0.9 = 0.3138 \text{ MN}$$

$$\begin{cases} A'_y = \frac{Q' \times (A - a)}{8h\sigma'_a} \\ A'_y = \frac{0.3138 \times (125 - 0.35)}{8 \times 0.2 \times 280} = 6.31 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

$$A'_y = 6\Phi 12 = 6.78 \text{ cm}^2 ; \text{ avec } S = 21 \text{ cm}$$

Sens B

$$A'_x = \frac{Q' \times (0.9 - 25)}{8h\sigma'_a} = 4.56 \text{ cm}^2$$

$$A'_x = 5\Phi 12 = 5.65 \text{ cm}^2 \text{ avec } S = 18 \text{ cm}$$

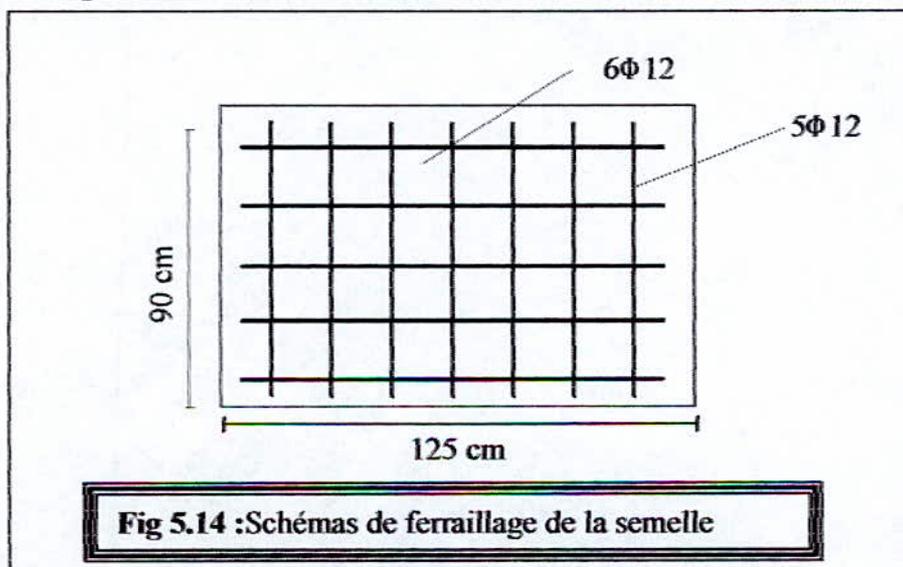
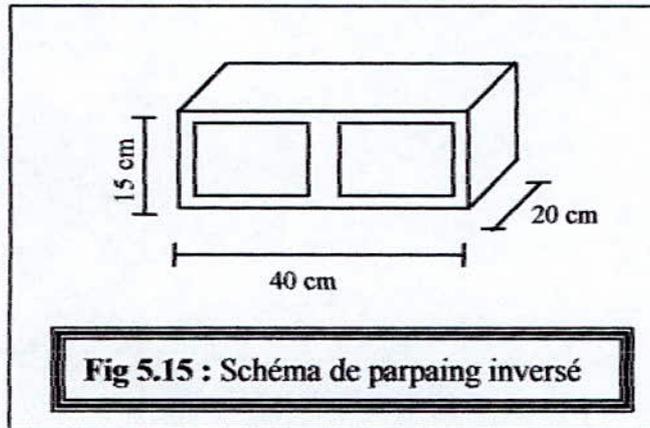


Fig 5.14 : Schémas de ferrailage de la semelle

2.5 Mur en blocs de béton creux « parpaing inversé »

(Note : Le parpaing inversé est le parpaing disposé selon le schéma)



2.5.1 Evaluation des charges

□ Evaluation des charges horizontales « dues au vent »

Hauteur : $H = 9.91 \text{ m}$

Largeur : $l = 4.91 \text{ m}$. C'est la longueur de la maçonnerie qui correspond à un nombre entier de blocs

La force de traînée T par unité de longueur est la force du vent dans la direction parallèle à ce dernier :

$$T = C_1 \times q_z \times H \times l \quad ([8], P167) (4.1)$$

$$\lambda = \frac{H}{l} = \frac{4.91}{5} = 0.982 \Rightarrow C_1 = 1.643 \text{ (figure R-III-10 [8] P 165)}$$

La pression dynamique q_z est :

$$q_z = 0.61 \times 10^{-3} \text{ MPa. (figure C 3.4 [8] p.54)}$$

La pression normale sera donc :

$$\begin{aligned} q_n &= C_1 \times q_z = 1.66 \times 0.61 \times 10^{-3} \text{ MPa.} \\ &= 1.0126 \times 10^{-3} \text{ MPa.} \end{aligned}$$

$$\text{donc : } T = 4.97 \times 10^{-3} \text{ MN/ml}$$

□ Evaluation des charges verticales « poids propres »

Les dimensions d'un élément de bloc en béton « parpaing » sont $40 \times 20 \times 15$ et L'épaisseur du mur est : $e = 0,20 \text{ m}$

La masse volumique des parpaings est : $1,2 \times 10^{-2} \text{ kg / m}^3$

$$\text{Donc } \begin{cases} \text{Poids du mur} & : 0.20 \times 4.91 \times 1.2 \times 10^{-2} = 11,784 \times 10^{-3} \text{ MN / ml} \\ \text{Poids de la poutre} & : 0.015 \times 1 \times 4.91 \times 2 \times 10^{-2} = 1,473 \times 10^{-3} \text{ MN / ml} \\ \text{Enduit} & : 0.30 \times 0.25 \times 2.5 \times 10^{-2} = 1,1875 \times 10^{-3} \text{ MN / ml} \end{cases}$$

2.5.2 Vérifications des maçonneries

- Vérification des contraintes de compression à la base du mur
 - Contrainte calculée

La charge totale « Q » à la base du mur en blocs de béton creux 'parpaing' est :

$$Q = 13,257 \times 10^{-3} \text{ MN / ml}$$

$$S = 0,20 \text{ m}^2/\text{ml}$$

$$\sigma_{\text{cal}} = \frac{Q}{S} = \frac{13,257 \times 10^{-3}}{0,20} = 66,285 \times 10^{-3} \text{ MPa.}$$

2.5.3 Détermination des caractéristiques mécaniques des parois en maçonneries

2.5.3.1 Caractéristiques des matériaux

Résistance à la compression du mortier : $\sigma_m = 10 \text{ MPa}$

Résistance à la compression du bloc :

$$\begin{cases} (15 \times 15) \times 3 + (15 \times 20) \times 4 = 187,5 \text{ cm}^2 \rightarrow \sigma_b = \frac{F}{S} = \frac{F}{187,5 \times 10^{-2}} \Rightarrow F = 0,1125 \text{ MN} \\ (15 \times 20) \times 3 = 90 \text{ cm}^2 \rightarrow \sigma_b = \frac{F}{0,9 \times 10^{-2}} = 12,5 \text{ MPa} \end{cases}$$

2.5.3.2 Caractéristiques du mur

2.5.3.3 Résistance moyenne de rupture

$$R = 0,55 \times \sqrt[3]{\sigma_m \times \sigma_b^2} = 6,38 \text{ MPa}$$

Module de déformation longitudinale

$$E_0 = \alpha \times R$$

$$\alpha = 750$$

[8] (Tableau 3 p.34)

$$E_0 = 4786,638 \text{ MPa}$$

2.5.3.4 Résistance admissible de calcul en compression

$$R_{\text{adm}} = \frac{R_u}{K_c}$$

Où : K_c : Coefficient de sécurité en fonction des caractéristiques géométriques, ou du processus de production de l'élément constitutif de maçonnerie. [8] (Tableau 4 p.35).

R_n : Résistance normative .

R_n est donnée par :

$$R_n = R (1 - 1.64v)$$

$$v = 0,15$$

$$R_n = 6.38 (1 - 1.64 \times 0.15) = 4.81 \text{ MPa}$$

Avec $K_c=1,4$ on aura [8] (Tableau 4 p.35)

$$R_{adm} = \frac{4.81}{1.4} = 3.436 \text{ MPa}$$

2.5.3.5 Résistance admissible en flexion latérale

La résistance admissible de calcul de la maçonnerie à la flexion latérale est obtenue

par :
$$R_{adm} = \frac{R_n}{K_f}$$

Où : K_f : coefficient de sécurité donné au [8] (Tableau 5 p.36)

$$K_f = 1,5$$

$$R_{adm} = \frac{4.81}{1.5} = 3.207 \text{ MPa}$$

2.5.3.6 La résistance admissible au cisaillement

$$\tau_n = \text{Min}(\tau_o + 0.4 \times \tau_g, \tau_{lim})$$

Remarque : Les valeurs τ_o et τ_{lim} sont données dans le tableau [8] (6 p.37) en fonction de la résistance à la compression du mortier et des éléments de la maçonnerie.

Avec : $\tau_o = 0,3 \text{ MPa}$ et $\tau_{lim} = 1 \text{ MPa}$ [8] (Tableau 6 p.37)

$$0,4 \tau_g = 2,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_n = \text{Min}(2.7, 1) = 1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_n}{K_f}$$

τ_{adm} : résistance normative de la maçonnerie au cisaillement exprimée en MPa

$$K_f = 1,5 \span style="float: right;">[8] (Tableau 5 p.36)$$

$$\tau_{adm} = \frac{1}{1.5} = 0.666 \text{ MPa}$$

2.5.4 Calculs

2.5.4.1 Calcul en compression

La contrainte de compression à la base du mur considérée doit vérifier la relation suivante :

$$\sigma = \frac{N}{A_c} \leq m_{kd} \phi_i R_{adm} \omega$$

avec :

$$N = 13.257 \cdot 10^{-3} \text{ MN/ml (Paragraphe 2.5.3.1)}$$

$$A_c = b \times 2 \left(\frac{d}{2} - e_0 \right)$$

$$A_c = 4.91 \times 2 \left(\frac{0.2}{2} - 0.02 \right) = 0.3928 \text{ m}^2$$

On trouve :

$$\sigma = \frac{13.257 \times 10^{-3}}{0.3928} = 3.375 \times 10^{-2} \text{ MPa}$$

□ Vérification en compression

Il faut vérifier que la contrainte de compression appliquée reste toujours inférieure à :

$$\sigma \leq m_{kd} \phi_i R_{adm} \omega$$

avec :

$$R_{adm} = 3.207 \text{ Mpa (Paragraphe 2.5.3.5)}$$

$$m_{kd} = 0.87 \quad [8] (\text{Tableau 9 p.44})$$

Le coefficient ω de majoration de contrainte sur A est donné par :

$$\omega = 1 \quad [8] (\text{Article 3.3.1 p.44})$$

avec : $l_0 = \rho \cdot H$:

Selon le graphe (fig.19 [8] p.43) $\rho = 0.51$ ($\frac{H}{L} = 1$)

$$\text{d'où } l_0 = 0.51 \times 4.91 = 2.041$$

$$\lambda_u = \frac{2.596}{0.2} = 12.52$$

$$\text{d'où } \phi = 0.79 \quad [8] (\text{tableau 7p.42})$$

$$\phi_i = \phi \left[1 - \frac{e_0}{d(0.06\lambda_u - 0.2)} \right]$$

$$\phi_i = 0.6716$$

Finalement $\sigma_{adm} = 0.87 \times 0.6716 \times 3.207 \times 1 = 1.8738 \text{ MPa}$

On vérifie bien que : $\sigma < \sigma_{adm}$ c'est à dire $0.03375 \text{ MPa} < 1.8738 \text{ MPa}$

2.5.4.2 Calcul en flexion

a : Supposons qu'il s'agit du calcul d'un mur comme une plaque [16]

$$\rho = \frac{l_x}{l_y} = \frac{4.91}{4.91} = 1 \text{ alors } M_1 = 0.03 ; M_2 = 0.03$$

q : chargement dû au vent.

$$q = 1.0126 \times 10^{-3} \text{ MPa.}$$

suivant l_x on a :

$$M_x = M_y = q(M_1 + \nu M_2) = 1.0126 \times 10^{-3} \times (0.03 + 0.15 \times 0.03) = 3.4935 \times 10^{-5} \text{ MN.m}$$

$$\nu = 0.15 \text{ :coefficient de Poisson}$$

M_1 et M_2 : moments unitaires

Le moment fléchissant extrême pour une plaque est :

$$M_x = M_y = 0.85 \times M_x = 2.97 \times 10^{-5} \text{ MN.m}$$

En l'absence des valeurs expérimentales, la résistance normative en flexion σ_n de la maçonnerie peut être prise égale à 0.5 Mpa. (article 3.1.4 [8] P36)

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_n}{K_f} = \frac{0.5}{1.5} = 0.334 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = \frac{MV}{I} = \frac{2.97 \times 10^{-5} \times \frac{0.2}{2}}{\frac{4.91 \times 0.2^3}{12}} = 0.907 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

$$\text{donc } \sigma_f < \sigma_{adm} ; (0.907 \text{ MPa} < 1.127 \text{ MPa})$$

b : Supposons qu'il s'agit du calcul d'un mur appuyé sur deux bords horizontaux [8]

$$M = \frac{q_n \times l \times H^2}{8} = 14.9827 \text{ MN.m}$$

$$\text{L'inertie } I = \frac{l \times d^3}{12} = 3.2734 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\sigma_{Max} = \frac{M}{I} V = \frac{14.9827 \times 10^{-3}}{3.2734 \times 10^{-3}} \left(\frac{0.2}{2}\right) = 0.4577 \times 10^{-5} \text{ MPa}$$

Nous remarquons que cette contrainte est inférieure à la contrainte admissible en flexion du mur égale à 1.117 MPa

2.5.4.3 Calcul au cisaillement

La contrainte de cisaillement est donnée par :

$$\tau = \frac{Q.S_m}{I_m d}$$

Avec : $\tau_{\max} = 1,5 \frac{Q}{S}$, $S = 4.91 \times 0.2 = 0.982 m^2 =$ section du mur.

Soit : S_f la surface exposée au vent.

$$S_f = l.H$$

Où

$Q = q.l.H$, où $q = 10126 \times 10^{-3} MPa$: pression normale due au vent.

D'où $Q = 24.41 \times 10^{-3} MPa$

L'effort maximal produit par le vent est :

$$\tau_{\max} = 1.5 \times \frac{24.41 \times 10^{-3}}{0.982} = 0.0373 MPa$$

On vérifie bien que : $\tau_{\max} < \tau_{adm}$ c'est à dire $0.0373 MPa < 0.666 MPa$.

2.5.5 Dimensionnement

a. Moments en travées[16]

La charge totale g :

$$\begin{cases} g = 11.784 \times 10^{-3} + 1.1875 \times 10^{-3} + 1.473 \times 10^{-3} = 14.4445 \times 10^{-3} MN / ml \\ q_u = 19.5 \times 10^{-3} MN / ml \end{cases}$$

En appliquant la méthode forfaitaire

$\alpha = 0$,(il n'a pas de charge d'exploitation)

La valeur de chaque moment

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

Q : charge totale

$$M_0 = M_{01} = M_{02} = M_{03} = \frac{14.4445 \times 10^{-3} \times 4.91^2}{8} = 0.04353 MN.m$$

Dans le cas de trois travées

$$M_A = M_D = 0$$

$$\begin{cases} M_{B_s} = M_C = 0.5M_0 = 0.02176 MN.m \\ M_{B_u} = M_C = 1.35 \times 0.5M_0 = 0.02938 MN.m \end{cases}$$

□ **Moments en travées[16]**

$$M_i + \frac{M_w + M_e}{2} \geq \text{Max}[1.05M_0; (0.1 + 0.3\alpha)M_0] \Rightarrow M_i \geq 1.05M_0 - \frac{M_w + M_e}{2}$$

$$\begin{cases} M_i \geq \frac{[(1.2 + 0.3\alpha)M_0]}{2}, \text{ dans le cas d'une travée de rive} \\ M_i \geq \frac{[(1 + 0.3\alpha)M_0]}{2}, \text{ dans le cas d'une travée intermédiaire} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{r1} = M_{r3} \geq 0.04353 \times 1.05 - \frac{0.02176}{2} = 0.034826 MN.m \\ M_{r1} = M_{r3} \geq \frac{0.04353 \times 1.2}{2} = 0.02612 MN.m \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_{r1(s)} \geq 0.034826 MN.m \\ M_{r1(u)} \geq 0.047 MN.m \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{r2} \geq 0.04353 \times 1.05 - \frac{0.02176 + 0.02176}{2} = 0.02395 MN.m \\ M_{r2} \geq \frac{0.04353}{2} = 0.023508 MN.m \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_{r2(s)} = 0.02395 MN.m \\ M_{r2(u)} = 0.03233 MN.m \end{cases}$$

b. Les efforts tranchants

	<i>Travée 1</i>	<i>Travée 2</i>	<i>Travée 3</i>
t_e MN	0.03989	0.03546	0.03103
t_w MN	0.03103	0.03546	0.03989

Donc $\begin{cases} T_B = T_A = 1.1 \times t_{1w} + t_{2e} = 0.034133 + 0.03546 = 0.069593 MN \\ T_{B_u} = 0.09395055 MN \end{cases}$

2.5.5.1 Dimensionnement de la poutre

Les dimensions de la poutre sont :

$$\begin{cases} L = 4.91m \\ b = 25cm \\ H = 30cm \\ d' = 4cm \\ d = 26cm \end{cases}$$

□ **Les armatures en travée**

	<i>Travée 1 et 3</i>		<i>Travée 2</i>	
	<i>L'E.L.U</i>	<i>L'E.L.S</i>	<i>L'E.L.U</i>	<i>L'E.L.S</i>
Asc (cm ²)	0	0	0	0
As(cm ²)	5.85	7.81	3.86	5.25
Φ_{A_s}	0		0	
Φ_{A_s}	4 Φ 16 = 8.04cm ²		3 Φ 16 = 6.03cm ²	

□ **Chapeau pour les appuis 2 et 3**

	<i>Appuis 1 et 2</i>	
	<i>L'E.L.U</i>	<i>L'E.L.S</i>
Asc (cm ²)	2.52	4.74
As(cm ²)	0	0
Φ_{A_s}	2 Φ 14 + 2 Φ 12 = 5.34cm ²	
Φ_{A_s}	0	

2.5.5.2 Dimensionnement du poteau :

On les dimensions du poteau :

$$\begin{cases} H = 4.91m \\ b = 25cm \\ a = 25cm \\ d' = 3cm \\ d = 33cm \end{cases}$$

$$\text{donc : } \begin{cases} N_1 = 0.25 \times 0.25 \times 4.91 \times 25000 = 7.672 \times 10^{-3} MN \\ N_{1u} = 10.357 \times 10^{-3} MN \end{cases}$$

$$M = \frac{q_n l H^2}{2}$$

$$\begin{cases} M = \frac{1.0126 \times 10^{-3} \times 4.91 \times 4.91^2}{2} = 60 \times 10^{-3} MN.m \\ M_u = 81 \times 10^{-3} MN.m \end{cases}$$

□ **Les armatures longitudinales:[17]**

	E.L.U	E.L.S
Asc (cm ²)	1.89	6.49
As(cm ²)	15.77	16.16
Φ_{A_x}	6 Φ 12 = 6.78cm ²	
Φ_{A_s}	6 Φ 19 + 1 Φ 12 = 16.4cm ²	

Remarque :

Comme le vent est à direction variable on dimensionnera la section symétriquement.
Donc on prend :

$$\begin{cases} A_x = 6\Phi 19 + 1\Phi 12 = 16.4\text{cm}^2 \\ A_s = 6\Phi 19 + 1\Phi 12 = 16.4\text{cm}^2 \end{cases}$$

□ **Les armatures transversales [18]**

Suivants les conditions suivantes

$$\begin{cases} \Phi_t > \frac{\Phi_e}{3} \\ \text{Si } \Phi_e \leq 20\text{mm} \Rightarrow \Phi_e = 6\text{mm} \end{cases}$$

On prend $A_t = \Phi 6 = 0.282\text{cm}^2$

□ **Espacement des armatures transversales[18]**

$$S_t \leq \text{Min}[15\Phi_{\text{min}}\text{cm}, 40\text{cm}, a + 10\text{cm}]$$

$$S_t \leq \text{Min}[18\text{cm}, 40\text{cm}, 35\text{cm}]$$

On prend $S_t = 15\text{ cm}$

2.5.6 Fondations

2.5.6.1 Charges revenant à la semelle

$$\begin{cases} N_1 = 8.75 \times 10^{-3} \text{ MN} \\ N_2 = T_B = 69.593 \times 10^{-3} \text{ MN} \end{cases} \Rightarrow Q = N_1 + N_2 = 78.343 \times 10^{-3} \text{ MN}$$

$$M_T = 60 \times 10^{-3} \text{ MN.m}$$

2.5.6.2 Dimensionnement de la semelle[14]

On a :

$$\sigma'_s = 2\text{Kg/cm}^2$$

$$\sigma'_s \geq \frac{Q}{S} + \frac{My}{I} ;$$

$$\text{Où } y = \frac{A}{4} \text{ et } I = \frac{B \times A^3}{12}.$$

Donc $A \geq 109.9 \text{ cm} \approx 110 \text{ cm}$

□ **Hauteur de la semelle**

On utilise la méthode des bielles

$$\begin{cases} h \geq \left(\frac{110 - 25}{4} \right) = 21.25 \text{ cm} \approx 22 \text{ cm} \\ h_t = h + d' = 27 \text{ cm} \end{cases}$$

□ **Vérification de la semelle de rive**

Le moment dû à l'encastrement de la poutre de rive dans le poteau de rive est donné par :

$$\begin{cases} M = 0.04353 \text{ MN.m} \\ Q' = t_{1e} + N_1 = 0.03989 + 7.672 \times 10^{-3} = 47.562 \times 10^{-3} \text{ MN} \end{cases}$$

On trouve que :

$$A' = 95.8 \text{ cm} \leq A = 110 \text{ cm}$$

Donc la semelle de rive est stable.

□ **Calcul des armatures**

$$\begin{cases} \sigma_1 = 0.335 \\ \sigma_2 = 0 \end{cases}$$

$$\sigma_2(A/4) = \left(\frac{\sigma_2 + 3\sigma_1}{4} \right)$$

$$\sigma_2(A/4) = 0.252 \text{ MPa}$$

$$Q'' = 0.252 \times 1.1^2 = 0.304 \text{ MN}$$

$$\begin{cases} A'_y = \frac{Q'' \times (A - a)}{8h\sigma'_a} \\ A'_y = \frac{0.304 \times (1.1 - 0.25)}{8 \times 0.2 \times 280} = 5.78 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A'_y = 4\Phi 12 = 6.15 \text{ cm}^2 \\ A'_x = 4\Phi 12 = 6.15 \text{ cm}^2 \end{cases} ; \text{ Avec } S = 27.5 \text{ cm}$$

2.6 Récapitulation

2.6.1 Mur en blocs de béton creux « PARPAING »

$$\begin{cases} \text{Épaisseur} : 0.15m \\ \text{Entre axes} : 5.16 m \end{cases}$$

$$\text{Poteau : } \begin{cases} S_{\text{Section}} = 0.25 \times 0.25m^2 \\ A_s = 4 \times 10^{-4}m^2 \\ A_{sc} = 4 \times 10^{-4}m^2 \\ A_{st} = 0.282 \times 10^{-4}m^2 \\ S_t = 0.25m \end{cases}$$

$$\text{Poutre : } \begin{cases} S_{\text{Section}} = 0.25 \times 0.30m^2 \\ A_{s_{r1}} = 6.282 \times 10^{-4}m^2 \\ A_{s_{c_{r2}}} = 6.282 \times 10^{-4}m^2 \\ A_{s_{r2}} = 4.272 \times 10^{-4}m^2 \\ A_{s_{c_{r2}}} = 4.272 \times 10^{-4}m^2 \\ A_{s_{\text{chapeaux}}} = 4.021 \times 10^{-4}m^2 \\ A_{st} = 0.282 \times 10^{-4}m^2 \\ S_t = 0.15m \end{cases}$$

$$\text{Semelle : } \begin{cases} S_{\text{Section}} = 1.00 \times 1.00m^2 \\ h_t = 0.25m \\ h_b = 0.12m \\ A'_x = 4.3 \times 10^{-4}m^2 \\ A'_y = 4.3 \times 10^{-4}m^2 \\ S_t = 0.2m \end{cases}$$

2.6.2 Mur en Béton armé

$$\begin{cases} \text{Épaisseur} : 0.15m \\ \text{Entre axes} : 5.25 m \end{cases}$$

$$\text{Voile : } \begin{cases} (A_t, A'_t) = 3.926 \times 10^{-4}m^2 \\ A_H = 1.13 \times 10^{-4}m^2 \\ S_t = 0.20m \\ S_{t_n} = 0.25m \end{cases}$$

$$\text{Poutre : } \begin{cases} S_{Section} = 0.25 \times 0.30 m^2 \\ A_{s_{T1}} = 12.06 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{s_{c_{T2}}} = 8.804 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{s_{shapeon}} = 7.7 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{st} = 0.282 \times 10^{-4} m^2 \\ S_t = 0.24 m \end{cases}$$

$$\text{Poteau : } \begin{cases} S_{Section} = 0.25 \times 0.25 m^2 \\ A_s = 16.4 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{sc} = 6.78 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{st} = 0.282 \times 10^{-4} m^2 \\ S_t = 0.15 m \end{cases}$$

$$\text{Semelle : } \begin{cases} S_{Section} = 1.35 \times 1.35 m^2 \\ h_t = 0.35 m \\ h_b = 0.15 m \\ A'_x = 10.77 \times 10^{-4} m^2 \\ A'_y = 10.77 \times 10^{-4} m^2 \\ S_t = 0.20 m \end{cases}$$

2.6.3 Mur en terre banchée « en pise »

$$\begin{cases} \text{Epaisseur : } 0.35 m \\ \text{Entre axes : } 4.87 m \end{cases}$$

$$\text{Poteau : } \begin{cases} S_{Section} = 0.35 \times 0.25 m^2 \\ A_s = 8.04 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{sc} = 8.04 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{st} = 0.282 \times 10^{-4} m^2 \\ S_t = 0.20 m \end{cases}$$

$$\text{Poutre : } \begin{cases} S_{Section} = 0.35 \times 0.30 m^2 \\ A_{s_{T1}} = 2.26 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{s_{c_{T2}}} = 2.26 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{st} = 0.282 \times 10^{-4} m^2 \\ S_t = 0.15 m \end{cases}$$

$$\text{Semelle : } \begin{cases} S_{\text{Section}} = 0.7 \times 1 \text{ m}^2 / \text{ml} \\ h_t = 0.15 \text{ m} \\ h_b = 0.7 \text{ m} \\ A'_L = 3.93 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ S_L = 0.14 \text{ m} \\ A'_r = 1.13 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ S_r = 0.25 \text{ m} \end{cases}$$

2.6.4 Mur en terre banchée « en pise avec semelle isolée »

$$\begin{cases} \text{Epaisseur : } 0.35 \text{ m} \\ \text{Entre axes : } 4.87 \text{ m} \end{cases}$$

$$\text{Poteau : } \begin{cases} S_{\text{Section}} = 0.25 \times 0.35 \text{ m}^2 \\ A_s = 7.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ A_{sc} = 7.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ A_{st} = 0.282 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ S_t = 0.20 \text{ m} \end{cases}$$

$$\text{Poutre : } \begin{cases} S_{\text{Section}} = 0.35 \times 0.40 \text{ m}^2 \\ A_{s_{r1}} = 12.06 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ A_{s_{r2}} = 8.042 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ A_{st} = 0.282 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ A_{\text{Chapeau}} = 6.88 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ S_t = 0.25 \text{ m} \end{cases}$$

$$\text{Semelle : } \begin{cases} S_{\text{Section}} = 1.25 \times 0.9 \text{ m}^2 / \text{ml} \\ h_t = 0.30 \text{ m} \\ h_b = 0.15 \text{ m} \\ A'_x = 6.78 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ S_L = 0.21 \text{ m} \\ A'_r = 5.65 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ S_r = 0.18 \text{ m} \end{cases}$$

2.6.5 Mur en blocs de béton creux « parpaing inversé »

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Epaisseur} : 0.15m \\ \text{Entre axes} : 5.16 m \end{array} \right.$$

$$\text{Poteau : } \left\{ \begin{array}{l} S_{\text{Section}} = 0.25 \times 0.25m^2 \\ A_x = 16.4 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{sc} = 6.78 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{st} = 0.282 \times 10^{-4} m^2 \\ S_t = 0.15m \end{array} \right.$$

$$\text{Poutre : } \left\{ \begin{array}{l} S_{\text{Section}} = 0.25 \times 0.30m^2 \\ A_{sr1} = 8.04 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{sr2} = 6.03 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{s_{\text{trapez}}} = 5.34 \times 10^{-4} m^2 \\ A_{st} = 0.282 \times 10^{-4} m^2 \\ S_t = 0.24m \end{array} \right.$$

$$\text{Semelle : } \left\{ \begin{array}{l} S_{\text{Section}} = 1.00 \times 1.00m^2 \\ h_t = 0.25m \\ h_b = 0.12m \\ A'_x = 8.42 \times 10^{-4} m^2 \\ A'_y = 8.42 \times 10^{-4} m^2 \\ S_t = 0.25m \end{array} \right.$$

CHAPITRE VI

Etude comparative des coûts

1. Introduction

Ce chapitre présente une étude comparative des coûts de réalisation des différents systèmes déjà énumérés dans les chapitres précédents. Cette comparaison portera uniquement sur les corps d'états spécifiques à chaque système, qui sont :

- Terrassement
- Infrastructure : béton armé
- Superstructure : béton armé, mur de maçonnerie.

Pour le cas de « pisé » on procédera à une étude de sensibilité de son coût en fonction de certains paramètres de production tel que : le rendement journalier de production, salaire de l'ouvrier non qualifié etc.

2. Hypothèses retenues pour les calculs

2.1 Terre banchée

Les hypothèses de calcul sont :

- **Rendement de production**

Le rendement de production considéré est celui constaté lors de la réalisation prototype CNERIB¹

Soit : $0.84\text{m}^3/\text{h}$.

Le temps comptabilisé pour la réalisation d'une banche :

1. Temps de malaxage t_1 (fait par deux ouvriers à l'aide des pelles et pioches).
2. Temps de mise en place et banchée (règle et surcharge).
3. Temps de remplissage et damage de terre.
4. Temps de desserrage et déplacement de la banche.

- **Coût de terre**

La carrière de terre doit être située dans un rayon ne dépassant pas 30 Km.

Le prix du m^3 de terre prélevée du site et chargée sur un camion (y compris son transport) revient à : $600 \text{ DA}/\text{m}^3$

- **Coût de main d'œuvre**

Le coût journalier de la main d'œuvre s'élève à 2300 DA, celui-ci est réparti comme suit :

- 800 DA/jour pour le poste de malaxage qui comprend deux ouvriers non qualifiés rémunérés à raison de 400 DA/Jour chacun.
- 1500 DA/Jour pour le poste de banchage : Celui ci comporte deux ouvriers non qualifiés rémunérés à raison de 400 DA/Jour, et un maçon dont son coût s'élève à 700 DA/Jour.

Un jour de travail équivalant 7 heures de travail.

Soit : **595 DA/m³**

□ **Coût du matériel**

Un prix forfaitaire de 20 DA/ m³

soit un total de : $600 + 595 + 20 = 1215$ DA/ m³.

○ **Frais divers**

En prenant 10% du coût total, soit : 121.5 DA/ m³

Soit un ratio final de : **1336.5 DA/ m³**

2.2 Prix de revient d'un mètre carré réalisé en brique silico-calcaire

Notre mur en terre banchée s'appuie sur un autre mur en brique silico-calcaire d'épaisseur de 0.35 m.

On calcule le prix de revient d'un mètre carré réalisé en brique silico-calcaire :

$24 \times 11.5 \times 11.3$

a. Mur de 11.5 cm :

- Nombre de blocs dans 1 m² = 33 blocs.
- Prix d'un bloc : 30 DA
- Main d'œuvre : 250 DA/m²
- Mortier : 174.73 DA/m²
- Mortier : 174.73 DA/m²
- Frais divers : 10 %.

Soit un ratio de : 1556.2 DA/m²

b. Mur de 24 cm

- Nombre de blocs dans 1m² = 65 blocs.
- Mortier : 297 DA/m²
- Main d'œuvre : 350 DA/m²
- Frais divers : 10%.

Soit un ratio de : 2856.7 DA/m²

Donc pour une épaisseur de 35 cm : **4412.9 DA/m²**

Pour le coffrage des poteaux

constituée d'un (01) ouvrier non qualifié et d'un (01) maçon, et réalisant un poteau/jour.

On obtient : **600 DA/m²** (Mur de 9 cm d'épaisseur).

2.3 Prix de revient d'un mètre carré réalisé en Parpaing

$$\text{Longueur} \times \text{Largeur} \times \text{Hauteur} = 40 \times 15 \times 20 \text{ cm}^3$$

Soit : 781 DA/m²

2.4 Prix de revient d'un mètre carré réalisé en Parpaing inversé

$$\text{Longueur} \times \text{Largeur} \times \text{Hauteur} = 40 \times 20 \times 15 \text{ cm}^3$$

Soit : 1043 DA/m²

3. Evaluation du coût du mur

L' étude comparative des coûts sera faite en prenant des dimensions égales pour les différents cas de figure soit par exemple une surface de (4.4 × 5) m² , Le coût total sera obtenu en multipliant par la longueur de l'écran à réaliser.

3.1 Evaluation des coûts pour le mur en parpaing

Tableau 6.1 : Evaluation des coûts pour le mur en parpaing

Désignation	Unité	Quantités	Prix de l'unité	Montant(DA)
I. Terrassement				
Fouilles en puits 1.10 × 1.10	m ³	3,237	233	754,221
Remblais des fouilles	m ³	2,784	142	395,328
Transport à la décharge publique	m ³	0,4536	600	272,16
II. Infrastructure				
Béton de propreté Sous semelle dosé à 250Kg/m ³	m ³	0.121	4677	565,917
Béton armé pour semelle isolée 350 Kg /m ³	m ³	0.30375	12500	3796,875
III. Superstructure				
Béton armé pour les poteaux	m ³	0.5875	18000	10575
Béton armé pour les Poutres	m ³	0.35625	18000	6412,5
Mur simple en parpaing de 0.15 m	m ²	20.9	781	16322,9
Enduit	m ²	41.8	380	15884

3.2 Evaluation des coûts pour le mur en béton armé

Tableau 6.2 : Evaluation des coûts pour le mur béton armé

Désignation	Unité	Quantités	P. de l'unité	Montant(DA)
I. Terrassement				
Fouilles en puits 1,45 × 1,45	m ³	5,357	233	1248,181
Remblais des fouilles	m ³	4,253	142	603,926
Transport à la décharge publique	m ³	1,104	600	662,4
II. Infrastructure				
Béton de propreté	m ³	0.21	4677	982,17
Béton armé pour semelle isolée 350 Kg /m ³	m ³	0.3	12500	3750
III. Superstructure				
Béton armé pour les poteaux	m ³	0.5875	18000	10575
Béton armé pour les poutres	m ³	0.35625	18000	6412,5
Béton armé pour voile	m ³	3.135	18000	56430

3.3 Evaluation des coûts pour terre banchée (Semelle filante)

Tableau 6.3 : Evaluation des coûts pour le mur en terre banchée (Semelle filante)

Désignation	Unité	Quantités	P. de l'unité	Montant(DA)
I. Terrassement				
Fouilles en puits	m ³	3,692	125	461,5
Remblais des fouilles	m ³	3,424	142	486,208
Transport à la décharge publique	m ³	0,2678	600	160,68
II. Infrastructure				
Béton de propreté	m ³	0.1848	4677	864,3096
Béton armé pour semelle filante 350 Kg /m ³	m ³	2.925	16013	46838,025
Maçonnerie en B.S.C (épaisseur 0.35cm)	m ²	1.75	4895	8566,25
III. Superstructure				
Béton armé pour les poteaux	m ³	0.4025	18000	7245
Maçonnerie en B.S.C pour coffrage des poteaux (épaisseur 0.09m)	m ²	4.7	600	2820
Maçonnerie en Pisé	m ²	20.7	791	16373,7

3.4 Evaluation des coûts pour terre banchée (Semelle isolée)

Tableau 6.4 :Evaluation des coûts pour le mur en terre banchée (Semelle isolée)

Désignation	Unité	Quantités	P. de l'unité	Montant(DA)
I. Terrassement				
Fouilles en puits 1,35 × 1.00	m ³	3,24	233	754,92
Remblais des fouilles	m ³	2.73375	142	388,1925
Transport à la décharge publique	m ³	0.50625	600	303,75
II. Infrastructure				
Béton de propreté	m ³	0.135	4677	631,395
Béton armé pour semelle isolée 350 Kg /m ³	m ³	0.3665	12500	4581,25
III. Superstructure				
Béton armé pour les poteaux	m ³	0.42	18000	7560
Maçonnerie en B.S.C pour coffrage des poteaux (épaisseur 0.09m)	m ²	4.8	600	2880
Béton armé pour les poutres	m ³	0.665	18000	11970
Maçonnerie en Pisé	m ²	20.7	791	16373,7

3.5 Evaluation des coûts pour le mur en parpaing inversé.

Tableau 6.5 :Evaluation des coûts pour le mur en parpaing inversé.

Désignation	Unité	Quantités	P. de l'unité	Montant(DA)
I. Terrassement				
Fouilles en puits 1.20 × 1.20	m ³	3,78	233	880,74
Remblais des fouilles	m ³	2,614	142	371,188
Transport à la décharge publique	m ³	1,1664	600	699,84
II. Infrastructure				
Béton de propreté	m ³	0.144	4677	673,488
Béton armé pour semelle isolée 350 Kg /m ³	m ³	0.375	12500	4687,5
III. Superstructure				
Béton armé pour les poteaux	m ³	0.5875	18000	10575
Béton armé pour les poutres	m ³	0.35625	18000	6412,5
Mur simple en parpaing de 0.15 m	m ²	20.9	1043	21798,7
Enduit	m ²	20.9	380	7942

4. Comparaison des coûts

Le tableau suivant représente une comparaison des coûts entre les différents systèmes de murs précédents :

Tableau 6.6 : Les coûts

Désignation des coûts	Coûts				
	Mur en Parpaing	Mur en béton armé	Mur en pisé (filante)	Mur en pisé (s, isolée)	Mur en parpaing 2
Terrassement	1422	2515	1108	1447	1952
Infrastructure	3797	4732	56269	5213	5361
Superstructure	49194	73418	26439	38784	46728
Total	54413	80664	83816	45443	54041

Tableau 6.7 : Comparaison des coûts

Désignation des couts	Différence DA			
	Mur en béton armé	Mur en pisé (filante)	Mur en pisé (s, isolé)	Mur en parpaing 2
Terrassement	1093	-313	25	530
Infrastructure	935	52472	1416	1564
Superstructure	24223	-22756	-10411	-2466
Total	26251	29403	-8970	-372

Remarque : D'après le premier tableau (celui de comparaison des coûts), nous remarquons que le prix de revient du mur réalisé en terre banchée (pisé) avec semelle isolée est le moins cher.

Et d'après le deuxième tableau qui représente une comparaison des coûts du mur en béton armé, mur en pisé avec semelle filante, mur en pisé avec semelle isolée et mur en parpaing inversé, nous constatons que le mur en parpaing, revient plus cher que les murs réalisés en pisé avec semelle isolée, ou en parpaing inversé

Conclusion :

Nous avons pu constater que :

- Le mur en pisé avec semelle isolée revient moins cher que le mur en parpaing inversé
- Grâce aux capacités absorbantes de ses trous, le mur en parpaing inversé présente, une meilleure isolation acoustique.

En ce qui concerne la réalisation des écrans acoustiques, nous opterons pour les murs en parpaing inversé.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Le dimensionnement des écrans acoustiques fait appel à des notions d'acoustiques et de calculs d'ouvrage. Ce dimensionnement consiste à choisir une hauteur d'écran de telle manière à conserver un niveau de bruit admissible et supportable (inférieur à 60 dB(A)).

La hauteur d'écran suffisante pour protéger du bruit, dû au débit de circulation, a été déterminer de deux manières différentes : en premier lieu la méthode de Parkin et Humpheys plus simple à exploiter mais qui a donné de faibles hauteurs, la deuxième de Kurz et Anderson, quant à elle plus précise et qui donne des résultats plus sécuritaires, c'est de ce fait que cette méthode a été maintenue dans le dimensionnement.

Un programme informatique a été établi afin de simplifier la méthode de Kurz et Anderson, sa rapidité d'exécution le rend plus commode relativement à la méthode graphique. La hauteur d'écran ainsi déterminée, nous avons dimensionné les écrans en utilisant plusieurs types de matériaux qui différent par leur coefficient d'absorption acoustique.

Une analyse des coûts des différentes variantes permet de mettre en évidence que les écrans en terre banchée sont les plus économiques, suivis de la variante du mur en parpaing inversé, qui présente d'ailleurs de meilleurs performances acoustiques .

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Norme française NF S 31-085 octobre 1991**
- [2] **JEAN PUJOLLE « La pratique de l'acoustique des bâtiments »**
Editions Eyrolles 1978
- [3] **R. JOSSE « Notions d'acoustique à l'usage des architectes ingénieurs
urbanistes » Editions Eyrolles 1977**
- [4] **MATHIAS MEISSER « La pratique de l'acoustique dans le bâtiment »**
Editions Eyrolles 1978
- [5] **PIERRE LIENARD « Acoustique industrielle et environnement »**
Edition Eyrolles juillet 1983.
- [6] **J.G.MIGNERON « Acoustique urbaine » Editions MASSON 1980**
- [7] **CLAUDE ROUGERON « L'isolation acoustique et thermique dans le bâtiment »**
Editions Eyrolles 1979
- [8] **DOCUMENT TECHNIQUE REGLEMENTAIRE (D.T.R. C2-45) « Règles de
conception et de calcul des maçonneries » CNERIB 1997**
- [9] **DOCUMENT TECHNIQUE UNIFIE « Règles définissant les effets de la neige et
du vent sur les constructions –Règles NV 65- » Editions Eyrolles1987**
- [10] **P.CHARON «calcul des ouvrages en béton armé BAEL83 » Editions Eyrolles 1986**
- [11] **G. ESPITALLIER « Notions sur la construction des bâtiments » Editions Eyrolles 1983**
- [12] **R.VEDEILHIE « L'acoustique élémentaire dans le bâtiment » Editions Eyrolles 1967**
- [13] **ENCYCLOPEDIE DU BATIMENT.(Murs et cloisons).**
Editions Techniques Editions Eyrolles
- [14] **M. BELAZOUGUI «Calcul des ouvrages en béton armé » ; Deuxième édition OPU 1986**
- [16] **N. BAUCHE « Notes de cours d'ouvrages et structures » E.N.P 2002**
- [18] **R. BOUTEMEUR « Notes de cours de béton armé » E.N.P 2001**
- [19] **DOCUMENT TECHNIQUE REGLEMENTAIRE (D.T.R. –B.C2-48) « Règles
parasismiques algériennes R.P.A 99 » C.G.S 2000**
- [20] **DOCUMENT TECHNIQUE REGLEMENTAIRE (D.T.R. –B.C2-41) « Règles de
conception et de calcul des structures en béton armé C.B.A.93 »**
C.G.S 1994

Annexes

NOTIONS D'ACOUSTIQUE ET APPAREILS DE MESURE DE BRUIT

1. Le son [3]

1.1 Définition du son

Le son est défini par 3 facteurs :

- **L'intensité** : Elle est définie d'une manière relative en comparant la sensation causée par un son (ou un bruit) à celle provoquée par un son (ou bruit) de référence.
- **La fréquence**
- **Le timbre** : c'est plutôt un facteur sinusoïdal.

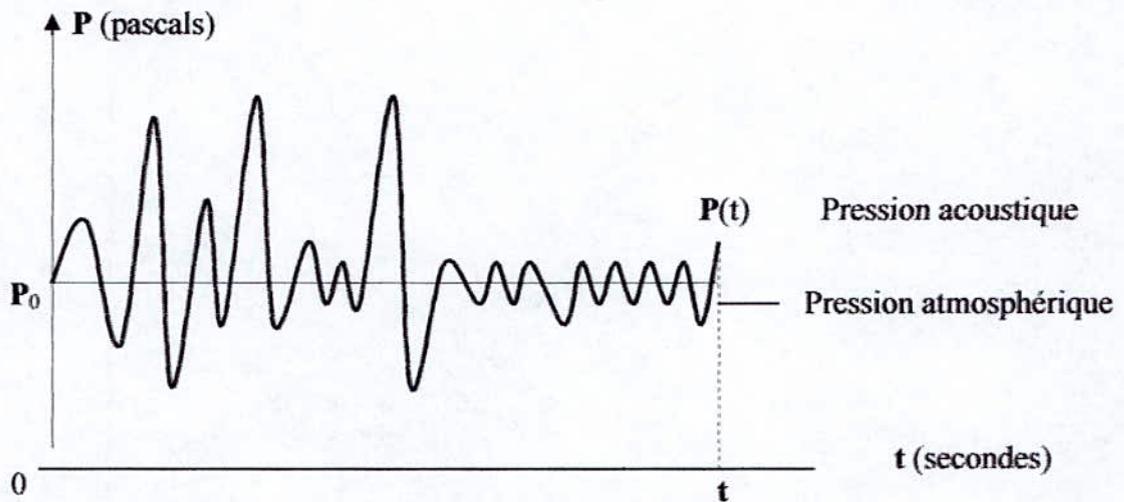


Fig 1.1 : Représentation graphique d'un son sinusoïdal

Remarque : Un son pur n'existe pas dans la réalité

1.2 Vitesse du son

La vitesse d'un son dans un milieu matériel dépend

- de la pression P
- de la densité du milieu $V = \sqrt{\frac{P}{D}}$ m/s

La valeur est par exemple

- de 50 m/s dans le caoutchouc
- de 330 m/s dans l'air
- de 1500 m/s dans l'eau

Annexe 01 : Notions d'acoustique et appareils de mesure de bruit

- de 4000 m/s dans le béton
- de 5000 m/s dans l'acier

2. Bruit :

C'est un ensemble de sons complexes superposés sans harmonie.

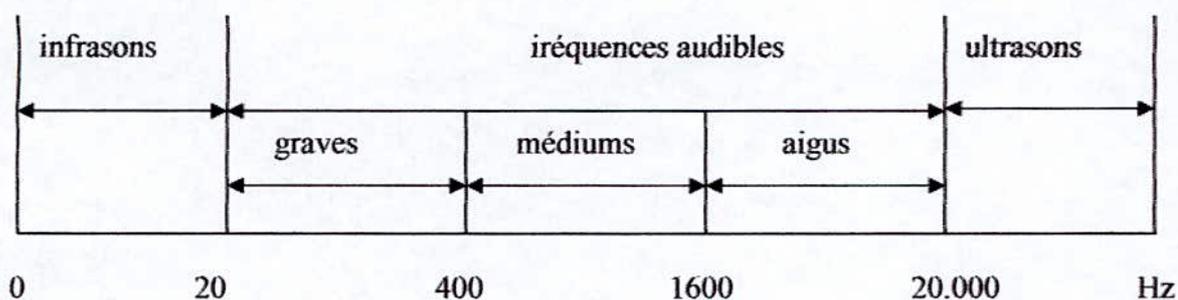
2.1 Fréquences audibles :

L'oreille humaine perçoit les bruits dont les fréquences sont de 20 à 20.000 Hz.

2.2 Classement des bruits :

On distingue 3 types de bruits

- graves, médiums et aigus ce qui est indiqué sur le schéma suivant :



On appelle *infrasons* les vibrations de fréquences trop basses pour éveiller une sensation sonore (20 Hz), et *ultrasons* les vibrations de fréquences trop élevées pour éveiller une sensation sonore (20 000 Hz).

1.3 Les catégories de bruit

Toujours dans un souci de normalisation, trois catégories de bruit ont été définies:

1.3.1 Le bruit blanc : Il est tel que la densité spectrale d'énergie est constante sur toute la gamme de fréquences audibles (de 20 à 20 000 Hz), ce qui signifie que toutes les fréquences sont présentes avec la même intensité. Ce bruit ressemble à celui qui est produit par une chute d'eau à fort débit.

1.3.2 Le bruit rose : Il est caractérisé par une densité égale sur chaque bande de une octave (plus généralement pour Df/f constant);

1.3.3 Le bruit routier En France, il est décrit d'une manière précise par l'arrêté du 6 octobre 1978 relatif à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation contre les bruits de l'espace extérieur

Cette définition tient compte de la prédominance des sons graves par rapport aux sons aigus. Les normes et règlements traitant du bruit et de la manière de lutter contre la gêne qu'il peut provoquer se réfèrent à ces définitions. En revanche, les bruits agréables ne posent pas de problèmes généraux. Le traitement qu'on peut leur affecter se limite généralement à améliorer leur répartition (notamment dans une salle de spectacle: c'est le domaine de l'acoustique des salles) ou à réaliser des appareils permettant leur reproduction la plus fidèle possible ou même leur création (acoustique musicale ou électroacoustique).

2.4 L'Octave :

C'est l'intervalle entre deux sons purs dont les fréquences sont dans un rapport du simple au double.

2.5 La bande d'octave :

Elle peut également être caractérisée ou séparée par sa fréquence médiane, exemple : 100, 125, 160, 250.

3. La fréquence :

C'est le nombre de périodes d'un mouvement vibratoire en une seconde, elle est donnée

par la relation : $f = \frac{v}{\lambda}$

$$\begin{cases} \lambda : \text{longueur d'onde en mètre} \\ v : \text{vitesse du son dans le milieu en m/s} \\ f : \text{fréquence en hertz.} \end{cases}$$

4. Propagation des bruits

4.1 A l'air libre :

Les ondes sources rayonnent selon des sphères concentriques appelées propagation non directionnelle ou selon les hémisphères, lorsque la source est au niveau du sol, d'où une propagation directionnelle.

- la pression acoustique est proportionnelle à $1/D$
- l'intensité acoustique est proportionnelle à $1/D^2$

Le niveau de pression acoustique est diminué de 6 dB, chaque fois que la distance à la source double.

La propagation du bruit à l'air libre est influencée par la température, l'état hygrométrique, la pression atmosphérique et la pression de vent.

- Les temps couverts facilitent la propagation du bruit
- Au voisinage du sol, les fréquences basses se propagent moins vite que les fréquences aiguës.
- Selon la direction du vent, la propagation du bruit est contrariée.

4.2 Dans les locaux :

Les ondes sonores sont influencées par :

- La distance de la source à la hauteur.
- La valeur du local.
- La nature des parois, la présence des meubles, de personnes

Lorsqu'une onde sonore rencontre un obstacle ou une paroi, une fonction plus ou moins grande est réfléchi.

C'est pourquoi, selon les dimensions du local, une partie de l'énergie sonore réfléchi s'ajoute à l'énergie de la source, provoquant une augmentation du niveau sonore, donc les caractéristiques acoustiques des parois jouent un rôle très important.

5. Réglementation.[7]

Le règlement fixe un niveau sonore global en dB (A) à la réception à ne pas dépasser lorsque le niveau sonore à l'extérieur est défini par son spectre.

6. L'unité de mesure du bruit :

Son unité de mesure est le décibel dB(A). Elle mesure l'amplitude moyenne des ondes sonores.

L'échelle est logarithmique: chaque unité correspond au double de l'unité juste inférieure. Passer de 30 dB(A) à 31 correspond en fait à doubler le volume du bruit. L'émission du bruit n'étant pas constante, on définit le niveau acoustique équivalent L_{eq} qui correspond à une émission sonore en continu, qui aurait la même intensité que la source. Pour mesurer le bruit dans l'immeuble, la mesure se fait en façade. Le L_{eq} est la norme retenue pour mesurer l'exposition au bruit et définir le risque de traumatisme auditif.

6.1 Le décibel dB(A)

Le décibel est une unité de mesure de l'intensité sonore, notamment utilisée en acoustique, de symbole dB. Le décibel est une division décimale du bel¹. Le niveau le plus bas de l'audibilité de l'oreille humaine est fixé à 0 dB, ce qui correspond à une énergie de son de 10^{-16} watt/cm² (soit 16 Hz).

6.2 Le bel¹:

Le bel est une unité utilisée notamment en acoustique. Le bel est une unité sans dimension qui est en fait la différence logarithmique des énergies de deux sons, calculées en mettant

en rapport leur puissance (exprimée en watts) et la surface sur laquelle ils s'appliquent (exprimée en cm²).

On utilise plutôt le décibel, unité plus petite et plus adaptée.

7. Analyse du bruit

L'analyse des impacts de bruit du trafic prévus par la construction d'une route implique un certain nombre d'étapes techniques. L'analyse de bruit du trafic inclut pour chaque alternative une étude détaillée dans les étapes sont :

1. Identification des activités existantes, des terres développées, et des terres peu développées pour lesquelles le développement est projeté, conçu et programmé, qui peut être affecté par le bruit du trafic de la route;
2. Détermination des niveaux de bruit existants;
3. Prévision des niveaux de bruit du trafic;
4. La détermination du bruit du trafic effectue
5. Examen et évaluation des mesures alternatives de réduction de bruit pour réduire ou éliminer les impacts de bruit du trafic.

Si des impacts potentiels de bruit du trafic sont identifiés, la réduction de bruit est considérée et mise en application, si elle s'avère raisonnable et faisable. Les vues des résidents effectués sont une considération importante en prenant une décision sur le caractère raisonnable des mesures de réduction à fournir. Quand des mesures de réduction de bruit sont considérées, chaque effort raisonnable est fait pour obtenir des réductions de bruit substantielles. Des réductions de bruit substantielles ont été définies par des agences de route.

8. Appareils de mesure

Les premiers instruments de mesures acoustiques, fabriqués dans les années 1930, utilisaient les tubes à vide. Par la suite, les progrès technologiques ont permis d'améliorer considérablement les performances; les grandes étapes correspondent à l'avènement du transistor vers 1950, des circuits intégrés vers 1960 et, depuis 1970, à celui des mémoires à semi-conducteurs, des circuits L.S.I. et des microprocesseurs. À ces derniers développements des composants et circuits électroniques sont associés d'importants progrès sur les algorithmes de calculs, qui sont devenus d'usage très

répandu, dès les années 1980, le filtrage digital, le calcul des transformées de Fourier rapides.

8.1 Le microphone :

C'est un transducteur qui transforme la pression acoustique en signal électronique équivalent convenablement amplifié. Ce signal peut être mesuré, enregistré, analysé

Il repose sur les deux principes :

- Sa sensibilisation
- Sa directivité

8.2 Le sonomètre : (C'est l'appareil que nous avons utilisé dans nos mesures)

Il est destiné à donner en lecture directe les niveaux de pression d'intensité des bruits.



Schéma 1.1 : Sonomètre ancien modèle

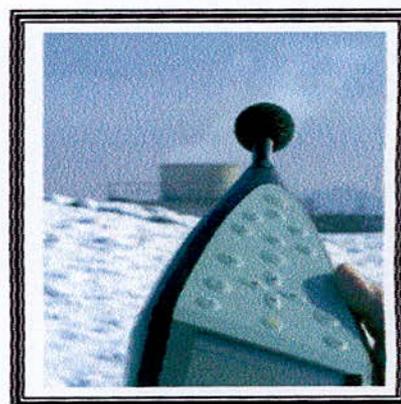


Schéma 1.2 : Sonomètre nouveau modèle

8.3 Les spectromètres :

La connaissance de la pression acoustique globale telle qu'elle résulte de la lecture d'un sonomètre est souvent insuffisante, surtout lorsque l'on procède à l'étude de phénomènes physiques.

8.4 Les enregistreurs :

Ces sont des instruments de travail pour enregistrer les phénomènes acoustiques pour les études en laboratoire. Les qualités requises sont :

- Haute fidélité
- Faible bruit propre
- Grande maniabilité et pratique.

MESURE DU BRUIT

1. La façon de mesurer le bruit :

Avant d'agir sur l'émission ou la propagation du bruit, il est nécessaire de le mesurer. On doit alors non seulement connaître son niveau en divers points considérés, mais également son spectre. Les mesures destinées à contrôler la conformité des appareils ou des isolations sont en général effectuées en décibels A [dB(A)] ou en un tiers d'octave.

Une étude d'amélioration des conditions acoustiques fait appel à un analyseur de spectre qui permet d'établir un spectre en bandes de fréquences constantes, appelées aussi bandes fines.

Son unité de mesure est le décibel **dB(A)**. Elle mesure l'amplitude moyenne des ondes sonores.

L'émission du bruit n'étant pas constante, on définit le niveau acoustique équivalent **Leq** qui correspond à une émission sonore en continu, qui aurait la même intensité que la source

1.1 Les décibels dB(A):

L'échelle est logarithmique: chaque unité correspond au double de l'unité juste inférieure. Passer de 30 dB(A) à 31 correspond en fait à doubler le volume du bruit.

dB(A)	Nature du bruit	Gène
10	Laboratoire d'acoustique	Aucun gène
20	Vent léger	Aucun gène
30	Chambre à coucher	Sensation de calme
40	Bibliothèque, rue calme au milieu de la nuit	Sensation de calme
50	Chambre à coucher	Sensation de calme
60	Conversation	Supportable
70	Rue animée	Fatigant
80	A l'intérieur d'une voiture	Fatigant
90	Avenue à fort trafic	Difficilement supportable
100	Marteau piqueur	Insupportable
110	Bruit d'usine	Risques irrémediables de
120	Décollage d'un avion à réaction à plus de	Sensation de douleur
140	Décollage d'un avion à réaction à 50 m.	Sensation de douleur

Tableau 2.1: Quelques niveaux de bruit

1.2 Niveaux de bruit maximaux (optimaux) acceptables pour diverses activités

Le tableau suivant nous donne une idée plus exacte sur le niveau sonore (dB(A)).

Niveaux maximaux (dBA)	Activité	Exemples
85 ou 90	Limite de bruit au travail (par jour de 8 heures)	Usines et installations industrielles
75	Avertissement crié audible à 3 ou 4 mètres	Locaux industriels
65	Communication face à face acceptable	Ateliers, garages, salles de commande d'usine
55	Discours non critique pour les auditeurs proches	Lieux publics dans les bâtiments, vestibules, restaurants
48	Niveau sonore masquant maximum acceptable	Bureaux en espace ouvert
40	Bonne qualité de discours pour des groupes d'auditeurs proches, tâches demandant de la concentration	Bureaux privés, bibliothèques
35	Discours de grande qualité pour des groupes d'auditeurs (décroît avec le volume de la pièce)	Salles de classe salles de réunion
30	Sommeil, discours de haute qualité pour des groupes particulièrement sensibles	Chambres à coucher, salles de classe pour de très jeunes enfants ou pour des élèves ayant des problèmes d'audition

Tableau 2.2: Niveaux de bruit maximaux (optimaux) acceptables pour diverses activités

2. Principe de mesure [1]

La présente norme permet la détermination du niveau de la moyenne de long terme de la pression acoustique pour un site à partir :

- d'un mesurage acoustique pendant l'intervalle de mesurage,
- de la connaissance des principaux facteurs d'influences pendant ce même intervalle de mesurage,
- de l'estimation de l'état moyen représentatif de ces facteurs d'influence sur l'intervalle de référence.

Dans ce but, la présente norme donne les spécification pour les mesurages suivants :

- niveau de pression acoustique,
- condition météorologique,
- caractéristique du trafic,
- tests de validation des résultats.

Pour le traitement ultérieur des données acoustiques, l'intervalle de mesurage doit être échantillonné en intervalles de base en synchronisation avec le comptage des véhicules.

3. Mesurages acoustiques

3.1 Appareil de mesure

L'appareillage de mesurage doit être de type intégrateur et conforme à la classe 1 des normes NF S 31-009 et NF S 31.109.

La photo ci-dessous représente le type de sonomètre utilisé. (Voire annexe 1 (Photo 1.2))

3.2 Emplacements de mesurage

3.2.1 Zone urbaine

Une zone urbaine est une zone construite

3.2.2 Zone dégagée

Au sens de la norme FN S 31-110, une zone dégagée est une zone non construite dans un rayon d'au moins 50 m autour du point de mesurage.

3.3 Intervalle de mesurage

La durée de l'intervalle de mesurage dépend de l'objet du mesurage ainsi que du trafic(volume).

La date des mesurages doit être choisie pour correspondre aux conditions usuelles d'exploitation de la voie. D'une façon générale, les dimanches et mardi correspondent aux meilleures conditions de représentativité du trafic.

Dans le même esprit, les plages horaires privilégiées sont les suivantes : 10 h 00 – 11 h 30 et 14 h 30 – 16 h 00 pour la période diurne.

3.4 Conditions météorologiques

L'influence des conditions météorologiques pendant l'intervalle de mesurage est particulièrement important en matière d'évaluation du trafic. En effet, elle dépend essentiellement de la forme des rayons acoustiques, laquelle est due à l'interaction du gradient de température et du produit entre le gradient de vitesse du vent et le vecteur direction du vent.

Le tableau suivant permet d'identifier et de répertorier les différents cas afin que leur description soit univoque.

Classe	Gradient de température	Vitesse et direction du vent	Correspondance météorologique	Forme des rayons sonores	Condition des mesures
a	>0	Portant	-lever, coucher du soleil, ciel dégagé -nuit avec ciel couvert -fort ensoleillement -ciel totalement dégagé	Incurvée vers le sol	tolérées
b	>0	Contraire		Incertitude	à éviter
c	<0	Faible et portant		Incertitude	tolérées
d	<0	Contraire		Incurvée vers le ciel	à proscrire
e	= 0	Faible et portant	-couverture nuageuse importante ou totale -ensoleillement faible	Incurvée vers le sol	favorables
f	= 0	Faible et portant		Faiblement incurvée vers le sol	tolérées

Tableau 2.3 : Les différents cas météorologiques. [1]

Remarque : Les classes sont bien détaillées dans la norme NF S 31-085

3.5 Vitesse et direction du vent

La mesure de la direction et de la vitesse moyenne du vent doit être réalisée en dehors de tout obstacle réfléchissant

Cette mesure est réalisée pour vérifier que les conditions de propagation ne sont pas particulières.

Le tableau ci-dessous est proposé à titre indicatif. Il donne les valeurs de vitesse maximale du vent admise à proximité du microphone en fonction de la valeur des niveaux de bruit mesurés.

Niveau $L_{Aeq, T}$ mesuré en dB(A)	Vitesse maximale du vent admise en m/s
< 60	3
60 - 70	5
> 70	7

Tableau 2.4: Vitesse du vent en fonction de $L_{Aeq, T}$

$L_{Aeq,T}$: Valeur du niveau de pression acoustique pondéré A d'un son continu stable qui, au cours d'une période spécifiée T, a la pression acoustique quadratique moyenne qu'un son considéré dont le niveau varie en fonction du temps. Il est défini par la formule :

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right]$$

où :

$L_{Aeq,T}$: Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, en décibels, déterminé pour un intervalle de temps T qui commence à t_1 et se termine à t_2

P_A : Pression acoustique efficace pondéré A du signal,

$P_0 = 20 \mu\text{Pa}$: pression acoustique de référence.

3.6 Validations des résultats

Il s'agit d'associer aux résultats (énergétiques) différents tests de validation statistique simples. En effet les anomalies (piétons, animaux, avions, claquements,...) de bruit « non routier » doivent être éliminées.

4. Les résultats des mesures

On a fait les mesures de bruit pendant plus d'un mois (presque chaque semaine) dans différents points à l'aide d'un sonomètre intégré. On a trouvé les résultats ci-dessous

□ LE 16 avril 2002

Le point C

La vitesse du vent : $\begin{cases} Pic = 1.50 \text{ km/h} \\ moyenne = 0.9 \text{ km/h} \end{cases}$

Le sens du vent : Nord Ouest

La durée de la mesure = 30 mn.

La température = 16°

L'humidité = 64 %

On a commencé à 11.54 h jusqu'à 12.24 (30 mn)

Les événements :

Le passage des avions

	Début	Fin
Avion 1	11.57.54	11.58
Avion 2	12.01.58	12.02.20
Avion 3	12.04.40	12.05.13
Avion 4	12.23.10	12.23.26

Le résultat final de mesure = 65.2 dB(A)

□ **LE 23 avril 2002**

Les points C, D, A

La vitesse du vent : $\begin{cases} Pic = 2.72 km/h \\ moyenne = 0.53 km/h \end{cases}$

Le sens du vent : Nord Ouest

La température = 20°

L'humidité = 59 %

Point	C	D		A
Durée (min)	23,49	15,33	17,48	15,09
Bruit (dB(A))	64.3	59.3	56.3	61.9

□ **LE 30 avril 02**

Le point B

La vitesse du vent : $\begin{cases} Pic = 4 m/s \\ moyenne = 2 m/s \end{cases}$

Le sens du vent : Ouest - Nord Ouest

La température = 21°

L'humidité = 66%

Point	B	
Durée (min)	13	30
Bruit (dB(A))	67.4	66.8

□ **LE 07 mai 2002**

Le point A

Sens de circulation : de HYDRA vers CITE MALKI

La mesure se fait de : 09 h 56 à 10 h 26

La vitesse du vent : $\begin{cases} pic = 5 m/s \\ moyenne = 2.5 m/s \end{cases}$

Le sens du vent : Nord Ouest

La température = 18°

L'humidité = 83%

La vitesse moyenne des véhicules est : 80 Km/h

Durée (min)	30,01
Bruit (dB(A))	81.3

□ Le 21 mai 2002

Sens de circulation : de HYDRA vers CITE MALKI, sur une hauteur de R+1

La mesure se fait de : 10 h 03 à 10 h 45

La vitesse du vent : $\begin{cases} pic = 4.85 \text{ m/s} \\ moyenne = 2.44 \text{ m/s} \end{cases}$

Le sens du vent : Nord Ouest

La température = 21°

L'humidité = 60%

La vitesse moyenne des véhicules est : 80 Km/h

Durée (min)	30
Bruit (dB(A))	72.5

Avec les mêmes conditions météorologiques on a fait les mesures de bruit suivantes

1) Sens de circulation : de HYDRA vers CITE MALKI, à une distance de 7 m.

La mesure se fait : de 10 h 52 à 10 h 45

Durée (min)	15,19
Bruit (dB(A))	75.6

2) à côté de l'autoroute de Alger vers Dar EL-Beida

La mesure se fait de 11 h 42 à 11 h 57

Durée (min)	15,31
Bruit (dB(A))	75.3

3) à ENP dans le point A

La mesure se fait de : 12 h 11 à 12 h 29

Durée (min)	17
Bruit (dB(A))	61.5

Résumé final des résultats de la mesure

- **Les résultats des mesures (Autoroute Alger – Dar EL-Beida)**

Point de mesure	Niveau de bruit mesuré dB(A)
M_A	61.9
M_B	67.4
M_C	65.2
M_D	59.3

Tableau 2.5: Les résultats des mesures (Autoroute Alger – Dar EL-Beida) en dB(A)

- **Les résultats des mesures (Autoroute Hydra- CITE MALKI)**

Point de mesure	Niveau de bruit mesuré dB(A)
M_A	81,3
M_B	72,5

Tableau 2.6: Les résultats des mesures (Autoroute Hydra- CITE MALKI) en dB(A)

TRAFIC ROUTIER

1. Autoroute Alger – Dar El-beida

		CHAUSSEE 1			
		Voie 1		Voie 2	
		Poids légers	Poids lourds	Poids légers	Poids lourds
Mercredi soir	de 13.30 à 14.30	578	81	530	69
	de 14.30 à 15.30	563	93	606	109
	de 15.30 à 16.30	585	98	656	74
	La somme	1726	272	1792	252
	La moyenne/heure	576	91	598	84
	Nombre total des véhicules	667		673	
	Pourcentage de poids lourds	13.64		11.15	

Tableau 3.1 : Débit des véhicules et pourcentage de poids lourds et véhicules de transports pour les voies 1 et 2 avec période de temps de ½ heure. Le 03.04.2002. Sachant que dans la voie 2 une chaîne de 30 véhicules militaires de type poids lourd sont passés.

		CHAUSSEE 1			
		Voie 1		Voie 2	
		Poids légers	Poids lourds	Poids légers	Poids lourds
Mercredi matin	de 10.00 à 10.30	262	48	253	27
	de 10.30 à 11.00	338	60	263	30
	de 11.00 à 11.30	304	58	265	29
	La somme	904	166	781	86
	La moyenne (véh/heure)	604	112	522	58
	Nombre total des véhicules	639		616	
	Pourcentage de poids lourds	9.24		20.13	

Tableau 3.2 : Débit des véhicules et pourcentage de poids lourds et véhicules de transports pour les voies 1 et 2 avec période de temps de une heure. Le 10.04.2002.

		CHAUSSEE 2			
		Voie 3		Voie 4	
		Poids légers	Poids lourds	Poids légers	Poids lourds
Dimanche soir	de 13.30 à 14.30	665	47	468	119
	de 14.30 à 15.30	553	67	517	129
	de 15.30 à 16.30	522	62	490	124
	La somme	1740	176	1475	372
	La moyenne/heure	580	59	492	124
	Nombre total des véhicules	1916		1847	
	Pourcentage de poids lourds	9.19		25.22	

Tableau 3. 3 : Débit des véhicules et pourcentage de poids lourds et véhicules de transports en commun pour les voies 3 et 4 avec période de temps de une heure. Le 28.04.2002.

2. Autoroute de Hydra

□ **Date : 06 avril 2002**

Sens de circulation : de Hydra vers CITE MALKI

Heure	Véhicules légers (VL)	Bus	Poids lourds
8 h – 9 h	5197	499	224
9 h – 10 h	4747	540	307
10 h – 11 h	4511	495	331
11 h – 12h	4761	522	353
12 h – 13h	3774	356	196
13 h – 14h	4945	460	287
14 h – 15h	5435	474	253
15 h – 16h	5452	586	200
16 h – 17h	5799	544	866
17 h – 18h	44531	4426	3018

Tableau 3. 4 : Débit des véhicules (Poids léger, Poids lourds et BUS), sens Hydra -CITE MALKI

□ **Date : 07 avril 2002**

Sens de circulation : de Hydra vers CITE MALKI

Heure	Véhicules légers (VL)	Bus	Poids lourds
8 h – 9 h	5424	526	258
9 h – 10 h	4975	565	341
10 h – 11 h	4738	520	365
11 h – 12h	4988	549	256
12 h – 13h	4001	383	220
13 h – 14h	5186	487	258
14 h – 15h	5662	501	277
15 h – 16h	5579	596	234
16 h – 17h	6026	568	363
17 h – 18h	46579	4695	2572

Tableau 3. 5 : Débit des véhicules (Poids léger, Poids lourds et BUS), sens Hydra CITE MALKI_ Hydra

PROGRAMMES INFORMATIQUES

// 1. Programme informatique de la méthode de PARKIN et HUMPHREYS en C++

// Ce programme a été testé sans problème avec TURBO C++ BORLAND v3.0

```
#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include<stdlib.h>
#include<conio.h>

FILE *out;
FILE *in;
FILE *out1;
char *chemin3;
char *chemin;
char *chemin2;
double f(int n,double hs,double db,double *x,double *alfa,double *a_,double b_,
double *L2,double lemnda,double h,int q)
{
double L[20],he[20],delta[20],s,l,A[20],X[20],R[20],D[20];
he[1]=h;
s=0;
l=0;
for(int i=1;i<=n;i++)
{
if (i>1) he[i]=(x[1]+he[1]/cos(alfa[1])-x[i])*cos(alfa[i]);
R[i]=(x[i]/sin(alfa[i]))+he[i]*tan(alfa[i]);
D[i]=((a_[i]+b_)/cos(alfa[i]))-R[i];
delta[i]=sqrt(R[i]*R[i]+he[i]*he[i])-R[i]+sqrt(D[i]*D[i]+he[i]*he[i])-D[i];
X[i]=2*delta[i]/(lemnda*(1+he[i]*he[i]/(R[i]*R[i])));
A[i]=10*log10(20*X[i]);
L[i]=L2[i]-A[i];
s=s+pow(10,L[i]/10);
if(q==1)
{
fprintf(out,"he[%d]=%lf\n",i,he[i]);
fprintf(out,"D[%d]=%lf\n",i,D[i]);
fprintf(out,"R[%d]=%lf\n",i,R[i]);
fprintf(out,"delta[%d]=%lf\n",i,delta[i]);
fprintf(out,"X[%d]=%lf\n",i,X[i]);
fprintf(out,"A[%d]=%lf\n",i,A[i]);
fprintf(out,"L[%d]=%lf\n",i,L[i]);
fprintf(out,"H[%d]=%lf\n\n\n",i,hs+x[i]+he[i]/cos(alfa[i]));
fprintf(out1,"%lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf\n",
he[i],R[i],D[i],delta[i],X[i],A[i],L[i],hs+x[i]+he[i]/cos(alfa[i]));
}
}
l=10*log10(s);
return(l-db);
}

double lire()
{
char *temp;
```

```
double y;
fscanf(in, "%s", temp);
y=atof(temp);
fprintf(out, " %s \n", temp);
return(y);
}
int lire_entier()
{
char *temp;
int y;
fscanf(in, "%s", temp);
y=atoi(temp);
fprintf(out, " %s \n", temp);
return(y);
}

int main()
{
double f(int n,double hs,double db,double *x,double *alfa,double *a_,double
b_
,double *L2,double lemda,double h,int q);
double lire();
int lire_entier();
double hh,L2[20],a_[20],x[20],alfa[20],hr,hs,lemda,b_;
double db,a0,b0,y,ya,yb,epsilon;
int n;
// ouvrir les fichiers
clrscr();
printf("Donner le chemin du fichier des donn,es\n");
scanf("%s",chemin);
in = fopen(chemin, "rt");
printf("Donner le chemin du fichier des r,sultats\n");
scanf("%s",chemin2);
out = fopen(chemin2, "wt");
printf("Donner le chemin du fichier des r,sultats 2\n");
scanf("%s",chemin3);
out1 = fopen(chemin3, "wt");
// Les donn,es
n=lire_entier();
for(int i=1;i<=n;i++)
{
a_[i]=lire();
}
b_=lire();
hs=lire();
for(i=1;i<=n;i++)
{
L2[i]=lire();
}
lemda=lire();
hr=lire();
a0=lire();
b0=lire();
epsilon=lire();
db=lire();
```

```
for(i=1;i<=n;i++)
{
  x[i]=(hr-hs)*a_[i]/(a_[i]+b_);
  alfa[i]=atan(x[i]/a_[i]);
}

ya=f(n,hs,db,x,alfa,a_,b_,L2,lemda,a0,0);
yb=f(n,hs,db,x,alfa,a_,b_,L2,lemda,b0,0);
if(ya*yb>0)
{
  fprintf(out,"Interval faux\n");
  fclose(in);
  fclose(out);
  exit(-1);
}
printf("SERCHING....(Appuier une touche) \n");
getch();

do
{
  ya=f(n,hs,db,x,alfa,a_,b_,L2,lemda,a0,0);
  hh=(a0+b0)/2;
  y=f(n,hs,db,x,alfa,a_,b_,L2,lemda,hh,0);
  if(y*ya<=0) b0=hh;
  else a0=hh;

} while(fabs(y)>=epsilone);

printf("he=%lf\n",hh);
ya=f(n,hs,db,x,alfa,a_,b_,L2,lemda,hh,1);
getch();

fclose(in);
fclose(out);
fclose(out1);
return 0;
}

//2.Programme informatique de la méthode de KURZE et ANDERSON en C++

// Ce programme aussi a été testé sans problème avec TURBO C++ BORLAND v3.0

#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include<stdlib.h>
#include<conio.h>

FILE *out;
FILE *out1;
FILE *in;
char *chemin;
char *chemin2;
char *chemin3;

double f(int n,double hs,double db,double *x,double *alfa,double *a_,double b_,double *L2,double h,int q)
{
```



```
}

double lire()
{
    char *temp;
    double y;
    fscanf(in, "%s", temp);
    y=atof(temp);
    fprintf(out, " %s \n", temp);
    return(y);
}
int lire_entier()
{
    char *temp;
    int y;
    fscanf(in, "%s", temp);
    y=atoi(temp);
    fprintf(out, " %s \n", temp);
    return(y);
}

int main()
{
    double f(int n, double hs, double db, double *x, double *alfa, double *a_, double
b_
, double *L2, double h, int q);
    double lire();
    int lire_entier();
    double hh, L2[20], a_[20], x[20], alfa[20], hr, hs, lemnda, b_;
    double db, a0, b0, y, ya, yb, epsilon;
    int n;

    // ouvrir les fichiers
    clrscr();
    printf("Donner le chemin du fichier des donn,es\n");
    scanf("%s", chemin);
    in = fopen(chemin, "rt");
    printf("Donner le chemin du fichier des r,sultats 1\n");
    scanf("%s", chemin2);
    out = fopen(chemin2, "wt");
    printf("Donner le chemin du fichier des r,sultats 2\n");
    scanf("%s", chemin3);
    out1 = fopen(chemin3, "wt");

    // Les donn,es
    n=lire_entier();
    for(int i=1;i<=n;i++)
    {
        a_[i]=lire();
    }
    b_=lire();
    hs=lire();
    for(i=1;i<=n;i++)
    {
        L2[i]=lire();
    }
}
```

```
lemda=lire();
hr=lire();
a0=lire();
b0=lire();
epsilon=lire();
db=lire();

// Fin des donn,es
for(i=1;i<=n;i++)
{
  x[i]=(hr-hs)*a_[i]/(a_[i]+b_);
  alfa[i]=atan(x[i]/a_[i]);
}

ya=f(n,hs,db,x,alfa,a_,b_,L2,a0,0);
yb=f(n,hs,db,x,alfa,a_,b_,L2,b0,0);
if(ya*yb>0)
{
  fprintf(out,"Interval faux\n");
  fclose(in);
  fclose(out);
  exit(-1);
}
printf("SERCHING....(Appuier une touche) \n");
getch();

do
{
  ya=f(n,hs,db,x,alfa,a_,b_,L2,a0,0);
  hh=(a0+b0)/2;
  y=f(n,hs,db,x,alfa,a_,b_,L2,hh,0);
  if(y*ya<=0) b0=hh;
  else a0=hh;
} while(fabs(y)>=epsilon);

printf("he=%lf\n",hh);
ya=f(n,hs,db,x,alfa,a_,b_,L2,hh,1);
getch();

fclose(in);
fclose(out);
fclose(out1);
return 0;
}
```

ملخص

الغرض من هذه الدراسة هو قياس أبعاد الشاشات الصوتية و هذا باستعمال عدة أنواع من مواد البناء مع الأخذ بعين الإعتبار معامل الإمتصاص الصوتي لهذه المواد

كما قمنا بدراسة إقتصادية لأجل تحديد مواد البناء الملائمة من الناحية التقنية و الإقتصادية

Résumé :

Le but de ce travail est de dimensionner des écrans acoustiques, en utilisant différents matériaux, en tenant compte des coefficients d'absorption. Nous avons aussi procédé à une étude économique afin de déterminer le matériau le plus convenable du point de vue technique et économique.

Abstract :

The aim of this work is to dimension acoustic baffles, by using various materials, with taking account of the absorption coefficients. We also made an economic survey in order to determine the most suitable material on the technical and economical view point.

Mots clefs :

Ecran acoustique, bruit routier, coefficient d'absorption, matériaux isolants, isolation acoustique.