

1/01
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Polytechnique



Département
GENIE CIVIL

Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention d'un Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Civil

Thème

**Etude Technico-Economique d'un
Ecran Acoustique**

Proposé par :
Mr SILHADI

Etudie par :
Abdelkader BEN MESSAOUD
Abdelkader GACEM

Dirigé par :
Mr SILHADI
Mme A. CHIKH

**Promotion
2001**

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

Dédicace

Je Dédie ce modeste travail :

*A mes très chers parents et
les encouragement consentis.*

A mes frères

*A tous mes amis de LA CITE BOUR
AOUI AMAR D'ELHARRACH*

*ÇACEM
ABDELKADER*

DÉDICACE

JE dédie tout d'abord ce modeste travail à
mes très chers parents

A mon cher frère et chères sœurs chacun
à son nom

A toute ma famille

A tous mes amis surtout de ma
promotion et à toutes les
personnes que j'aime et qui
m'aiment.

Ben messaoud
Abdelkader

Remerciements

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

On remercie dieu, tout puissant de nous avoir donné le courage et la capacité d'arriver à ce stade du savoir et de présenter ce modeste travail

Nous tenons à remercier vivement nos promoteurs : *Mr. SILHADI* et *Mme A. CHIKH*, pour ces conseils et orientations, ainsi que tous les enseignants qui ont contribué à notre formation

Nous remercions également tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de notre projet nous citons en particulier, *Mme KHEITAB*, *Mme. DEBICHE*, *Mr. LAKHAL* et *Mr. BIOUD*,

Nous ne manquerons pas d'exprimer aussi toute notre gratitude et reconnaissance à nos amis : *Mohamed, Lotfi, Ahmed Lamine* et *Amine*

NOTATIONS

- L** : niveau de pression acoustique moyenne,
d : distance entre le récepteur et le bord de la chaussée,
Q : nombre de véhicules par heure,
A₁ : l'atténuation due au sol,
A₂ : l'atténuation due à l'herbe,
M : distance entre la source et le récepteur,
h_r : hauteur de récepteur,
d₁ : distance horizontale entre la source et le récepteur,
A(e) : l'atténuation dû a l'écran,
δ : différence de parcours,
λ : longueur d'onde,
h_e : hauteur effective de l'écran,
D : distance entre l'écran et le récepteur,
R : distance entre l'écran et la source,
%PL : pourcentage des poids lourds et véhicule de transports en commun,
h_s : hauteur de la source,
d_h : distance horizontale ,
b' : distance horizontale entre l'écran et le récepteur,
a' : distance horizontale entre l'écran et la source,
H : hauteur totale de l'écran,
T : force de traînée,
l : dimension horizontale du mur,
C_t : coefficient global de traînée,
q_z : pression dynamique,
λ : l'élanement,
q_n : pression dynamique normale,
q_e : pression dynamique extrême,
Q : charge totale à la base du mur,
S : section du mur,
e : l'épaisseur du mur,
σ_{cal} : contrainte de compression calculée,
σ_n : contrainte nominale,
α : coefficient de réduction,
σ_c : contrainte,
σ_{adm} : contrainte admissible,
K_c : coefficient de sécurité,
σ_{max} : contrainte maximale dû au vent,
R_n : résistance normative de calcul
k_f : coefficient de sécurité (tableau 5 [6]),
R_{adm} : résistance admissible à la compression,
σ_m : résistance à la compression du mortier,
σ_b : résistance à la compression de maçonnerie,
R : résistance moyenne de rupture en compression
K_c : coefficient de sécurité (tableau 4 [6]),
v : coefficient de variation de la maçonnerie (chap4),
τ_{max} : contrainte de cisaillement maximale,
τ_n : résistance normative au cisaillement de maçonnerie,
σ_g : contrainte de compression de la maçonnerie,
τ_{lim} : contrainte de cisaillement limite,
τ_{adm} : contrainte admissible au cisaillement,
Q_u : charge de calcul à l'ELU,
Q_{ser} : charge de calcul à l'ELS,
M₀ : moment fléchissant de travée de comparaison,
M_w : moment fléchissant à gauche de l'appuis,
M_e : moment fléchissant à droite de l'appuis,
M_t : moment fléchissant en travée,
f_{c28} : résistance à la compression à 28 jours,
γ_b : coefficient de sécurité,
σ_b :
σ_s : contrainte de sol calculée
σ_{sol} : contrainte admissible de sol,
σ_d : contrainte calculée à droite de section d'encastrement,
s_t : espacement,
τ_u : contrainte de cisaillement à l'ELU,
τ_u : contrainte admissible de cisaillement à l'ELU,
f_e : limite élastique de l'acier,
E_s : module d'élasticité de l'acier,
f_{su} : contrainte de l'acier à l'ELU,
γ_s : coefficient de sécurité,
η : coefficient de fissuration,
z : bras de levier,
y : position de l'axe neutre,
d : hauteur utile,
d' : enrobage,
b : largeur,
h : hauteur total de la section du béton,
A_s : section d'armateur comprimée,
A_{smin} : section d'armateur minimale,
A_{st} : section d'armateur transversale,
∅_t : diamètre d'armateur transversale,
∅_l : diamètre d'armateur longitudinale,
I : l'inertie,
μ_b : moment réduit à l'ELU,
μ_{bl} : moment limite réduit à l'ELU,
P : poids,
S : section,
M_u : moment fléchissant à l'ELU,
M_{ser} : moment fléchissant à l'ELS,
V_u : effort tranchant à l'ELU,
A.N : application numérique,
B.T.S : béton de terre stabilisé,
τ₀ : contrainte de cisaillement à contrainte verticale nulle,

LISTE DES FIGURES.

N°	Titre	Page	N°	Titre	Page
1.1	Effet de diffraction	5	2.3	Définitions	13
1.2	Ecran compact en béton	6	2.4	Courbe de KURZE & ANDESON (s. linéaire)	14
1.3	Ecran compact en plastique	6	3.1	Localisation du projet	17
1.4	Ecran à structure porteuse non intégrée	6	3.2	plan de coupe	18
1.5	Ecran en verre soutenu par des profilés en aluminium	6	3.3	Représentation des voies	20
1.6	Ecran absorbant : les plaques d'absorbant sont posées sur un bardage acier	7	3.4	Représentation des chaussées	20
1.7	Ecran absorbant : les plaques sont glissées dans des profilés métalliques	7	3.5	Représentation de la source linéaire	21
1.8	Ecran absorbant : plaques perforées coté route, laine minérale et bardage arrière plein, glissées entre profilés métalliques porteurs	7	3.6	Définitions	22
1.9	Buttes de terre avec blocs autoporteur	8	4.1	Notations	39
2.1	Notations	12	4.2	Schéma de ferrailage	40
2.2	Isophones au voisinage d'une autoroute en rase compagne (terre labourée ou terrain vague) pour un trafic de 2000 V/heure.	12	4.3	Indication sur la nature du terrain	40
			4.4	Notations	41
			4.5	Diagramme des contraintes	42
			4.6	Schéma de ferrailage	48
			4.7	Schéma de ferrailage de la semelle	52
			4.8	Disposition des armatures	55
			4.9	Schéma de ferrailage du mur	58

LISTE DES TABLEAUX.

N°	Titre	Page
2.1	Source : législation française relative aux niveaux de bruit admissibles (1972)	10
2.2	Correction en fonction du pourcentage de poids lourds et de véhicules de transport en commun	11
2.3	Correction en fonction de la voie de circulation	11
3.1	Débit des véhicules et pourcentage de poids lourds et véhicules de transports en commun pour chaque voie	19
5.1	Evaluation des coûts pour le mur en terre Pisé	69
5.2	Evaluation des coûts pour le mur en BTS	70
5.3	Evaluation des coûts pour le mur en Parpaing	70
5.4	Evaluation des coûts pour le mur en béton armé	71
5.5	Evaluation des coûts pour le mur en terre Pisé 1.	71
5.6	Comparaison des coûts.	72

TABLE DES MATIERES

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

CHAPITRE 1

GENERALITES SUE LES ECRANS ACOUSTIQUES

1. Différents moyens de lutte contre le bruit routier.....	4
2. Ecrans acoustiques	4
3. Effets d'un écran sur la propagation sonore	5
4. Classement des principaux écrans actuels	5
4.1. Ecrans «en dur»	5
4.2. Buttes de terre	8
4.3. Ecrans de verdure	8

CHAPITRE 2

PRESENTATION DES METHODES DE DIMENSIONNEMENT UTILISEES

1. Evaluation du niveau de bruit routier.....	10
1.1. Source ponctuelle	10
1.2. Source linéaire	10
2. Calcul pratique de l'effet du sol	11
3. Atténuation due a un écran acoustique	12
3.1. Historique	12
3.2. Méthode de PARKIN et HUMPHREYS	13
3.3. Méthode de KURZE et ANDERSON	14

CHAPITRE 3

PRESENTATION ET DIMENSIONNEMENT DE LA HAUTEUR DE L'ECRAN ACOUSTIQUE

1. Présentation du projet	16
2. Détermination des niveaux de bruits	19
2.1. Trafic routier.....	19
2.2. Calcul des niveaux de bruits	20
2.3. Prise en compte des atténuations dues à la nature du sol	21
3. Calcul de la hauteur de l'écran.....	23
3.1. La démarche de calcul	23
3.2. Résultats	25
4. Détermination de la distance minimale entre l'écran acoustique et une habitation R+2	31

CHAPITRE 4

DIMENSIONNEMENT DETAILEDU MUR ENVISAGE

1. Mur en terre banchée « en Pisé »	34
1.1 Evaluation des charges	34
1.2. Vérification des maçonneries	35
1.3 Dimensionnement des poteaux	37
1.3.1 Armatures longitudinales.....	38



1.3.2 Armature transversale	38
1.4 Dimensionnement de la fondation	39
2. Mur en bloc du béton creux «Parpaing»	43
2.1 Evaluation des charges	43
2.2 Vérification des maçonneries.....	43
2.3 Dimensionnement de la poutre(longrine)	46
2.4 Dimensionnement des poteaux	49
2.5 Dimensionnement de fondation	50
3. Mur en béton de terre stabilisée «B.T.S»	53
3.1 Evaluation des charges	53
3.2 Vérification des maçonneries	53
3.3 Dimensionnement de la poutre(longrine)	55
3.4. Dimensionnement de la fondation	56
4. Mur en béton armé (voile)	56
4.1 Vérification des contraintes de compression à la base du mur	57
4.2 Vérification de la résistance vis à vis de l'effort tranchant	57
4.3 Ferrailage minimal du mur	57
4.4 Dimensionnement de la poutre(longrine)	58
4.5 Dimensionnement de la fondation	59
5. Mur en terre banchée « en Pisé » (avec semelle isolée)	59
5.1 dimensionnement de la poutre(longrine)	59
5.2 dimensionnement de la fondation	61
6. Récapitulation	63

CHAPITRE 5

ETUDE COMPARATIVE DES COÛTS

1. Introduction	66
2. Hypothèses retenues pour les calculs	66
2.1 Prix de revient d'un mètre carré réalisé en « B.T.S »	66
2.2 Terre banchée	67
2.3 Prix de revient d'un mètre carré réalisé en brique silico-calcaire	68
2.4 Prix de revient d'un mètre carré réalisé en Parpaing	69
3. Evaluation du coût du mur	69
4. Comparaison des coûts	71

CONCLUSION GENERALE	75
---------------------------	----

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE



Le but de ce projet est le dimensionnement d'un écran acoustique pour différents types de matériaux.

Les calculs faits par différentes méthodes, sont suivis d'une estimation économique et d'une étude technique comparative.

La consultation de la littérature spécialisée a été la première étape de notre travail.

Nous avons pu ainsi nous informer sur les différents types d'écrans utilisés, les plus intéressants sont présentés dans le chapitre 1

Le chapitre 2 est une brève synthèse des différentes méthodes de dimensionnement des écrans.

Le chapitre 3 regroupe les résultats obtenus pour le dimensionnement de l'écran projeté à l'aide des méthodes retenues.

Une évaluation technico-économique comparative permettant de mettre en relief les matériaux les plus performants du point de vue isolation et coût est présentée dans les chapitres 4 et 5.

La maîtrise des principales notions élémentaires d'acoustique a été nécessaire, avant d'aborder le sujet. L'essentiel est dans l'annexe 1.

Le choix des matériaux les plus appropriés pour la réalisation de l'écran a nécessité une prospection des performances acoustiques des matériaux les plus courants.

L'annexe 2 précise les caractéristiques acoustiques à en espérer.

Généralités sur les Ecrans Acoustiques

Chapitre 1

1. DIFFERENTS MOYENS DE LUTTE CONTRE LE BRUIT ROUTIER

La politique globale de lutte contre le bruit a deux modes d'intervention.

La première concerne des actions qui tendent à limiter la puissance des sources sonores. Ces actions sont :

La réduction du bruit des véhicules. Des progrès considérables ont été accomplis pour réduire le bruit des véhicules. Par exemple entre l'année 1967 et l'année 1992, les niveaux de bruit des véhicules neufs auront diminué de 8dB(A) pour les véhicules légers et de plus de 10dB(A) pour les véhicules lourds.

La gestion de la circulation et aménagement des voies : par la réduction des vitesses, la concentration du trafic poids lourds sur des axes de transit peu sensible, l'interdiction des poids lourds bruyants en centre ville et la réduction des besoins de transports individuels, il est possible de gagner jusqu'à 5dB(A).

L'utilisation des chaussées peu bruyantes. Il a été démontré, dans presque tous les pays d'EUROPE, que la mise en place de revêtements silencieux constitue un moyen efficace de lutte contre le bruit routier, pour les voies rapides urbaines. Un gain pouvant aller jusqu'à 4-5 dB(A) peut être obtenu avec un enrobé drainant acoustiquement optimisé.

La deuxième intervention concerne des actions qui tendent à atténuer les bruits extérieurs au bâtiment, en corrigeant le site, c'est à dire l'environnement du bâtiment. Ces actions sont :

La planification urbaine : dans la mesure du possible il faut éloigner les locaux d'habitation de la source émettrice du bruit. Mais l'éloignement, qui semble être l'isolement le moins coûteux, ne paraît vraiment intéressant qu'aux abords de la source sonore. En effet, doubler la distance entre la source de bruit et le bâtiment quand en est loin de cette source peut s'avérer aberrant. (il est possible d'aller jusqu'à 140m pour gagner 10dB(A)).

2. ECRANS ACOUSTIQUES

Les écrans antibruit constituent le mode de protection le plus largement employé. Nous disposons depuis longtemps de modèles opérationnels qui permettent de déterminer leurs caractéristiques et dimensions nécessaires pour atteindre les objectifs de bruit dans les zones à protéger. Grâce aux études théoriques (méthodes analytiques et numériques) et expérimentales, il a été possible d'étudier les performances de toutes les variantes possibles allant de l'écran simple, plan, réfléchissant jusqu'aux écrans inclinés, multiples, absorbants. Par ailleurs, grâce à des programmes informatiques (exemple : BAROP en Angleterre), l'optimisation efficacité_côût est devenue possible.

3. EFFETS D'UN ECRAN SUR LA PROPAGATION SONORE

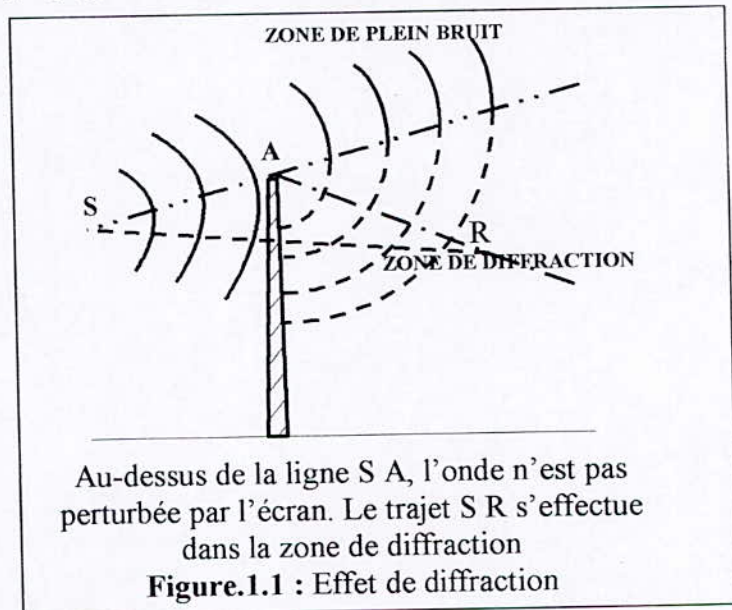
En présence d'un écran, l'onde sonore émise par une source (S) se répartit en plusieurs trajets élémentaires simples (voir annexe 2), [transmission, réflexion, diffraction]. Parmi ces trajets, la diffraction est la plus importante lors du dimensionnement de la hauteur ou de la longueur de l'écran.

La diffraction peut être sommairement décrite de la façon suivante : lors de la propagation d'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. Une autre partie, par contre, est réfléchiée ou 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 créée au voisinage de l'arête de diffraction. Cette source réémet 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 : $\delta = SA + AR - SR$



4. CLASSEMENT DES PRINCIPAUX ECRANS ACTUELS

4.1. Ecrans «en dur»

De nombreux types d'écrans existent à ce jour et sont proposés sur le marché par les fabricants. On peut les classer en plusieurs catégories.

□ Ecrans réfléchissants

On peut distinguer, pour ces écrans deux sous-ensembles : les écrans compacts et les écrans avec ossature porteuse distincte des plaques formant écran.

• Ecrans compacts

Ils peuvent être en béton armé, en métal, en plastic, en bois, etc... Ces écrans sont formés de murs auto porteurs, fondés sur semelles filantes ou sur pieux, selon la qualité des terrains.

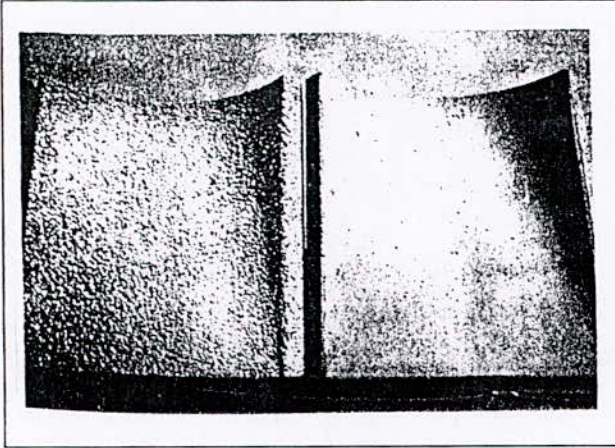


Figure. 1.2 : Ecran compact en béton.

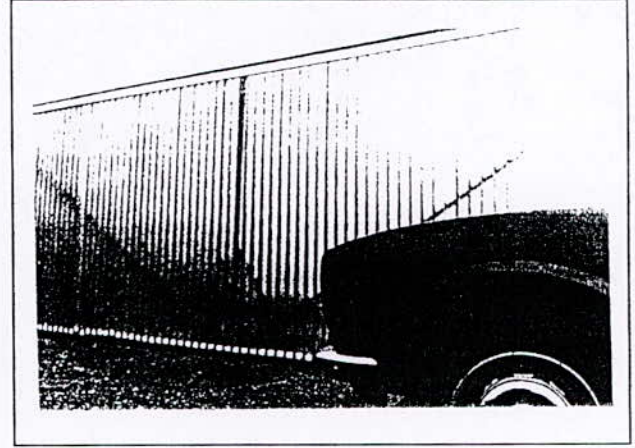


Figure. 1.3 : Ecran compact en plastique

- **Ecran comprenant une ossature porteuse distincte des plaques formant écran**

L'ossature porteuse est généralement constituée, pour ce type d'écran, de profilés métalliques (acier ou alliage d'aluminium) fichés en terre, fondés sur semelles ou ancrés sur ouvrages par l'intermédiaire de tiges filetées et boulons.

Les éléments formant écran sont des plaques préfabriquées glissées entre éléments porteurs. Ces plaques sont constituées de tous matériaux appropriés : béton, métal, verre, plastique, etc.....



Figure. 1.4 : Ecran à structure porteuse non intégrée.

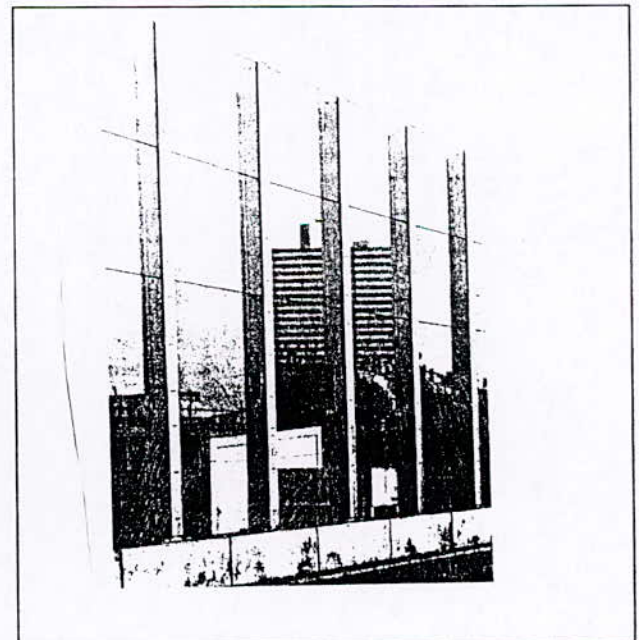


Figure. 1.5 : Ecran en verre soutenu par des profilés en aluminium.

□ Ecrans absorbants

Il en existe de nombreux modèles sur le marché. En fait, ils comprennent :

- Soit des écrans réfléchissants revêtus de matériaux absorbants,
- Soit des écrans dont la conception a pris en compte, dès l'origine, l'utilisation du matériau absorbant. Dans ce cas, on peut constater que leur ossature porteuse est généralement distincte des plaques formant écran, bien que ceci ne constitue en aucune façon une obligation, au regard de l'efficacité acoustique de ces écrans.

Les matériaux pouvant être utilisés, et donc l'aspect du mur, peuvent être très divers : bois enchevêtrés, mousse d'argile, plastique ou métal perforés, laines minérales, etc....

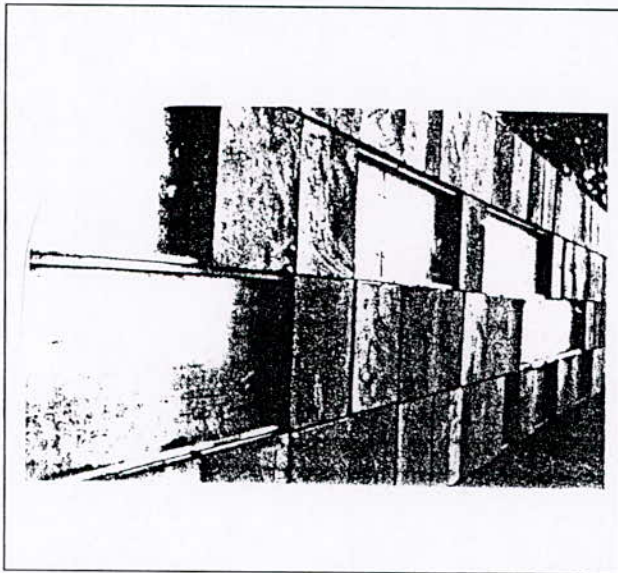


Figure. 1.6 : Ecran absorbant : les plaques d'absorbant sont posées sur un bardage acier.

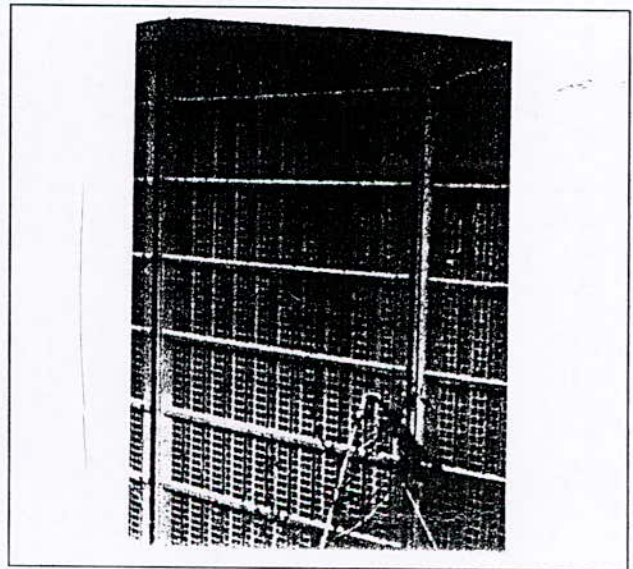


Figure. 1.7 : Ecran absorbant : les plaques sont glissées dans des profilés métalliques.

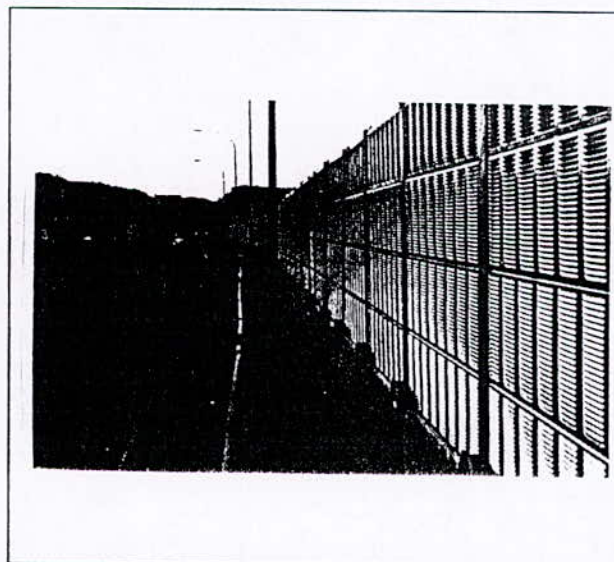


Figure. 1.8 : Ecran absorbant : plaques perforées coté route, laine minérale et bardage arrière plein, glissées entre profilés métalliques porteurs.

Remarques :

- La plupart des écrans courants ont une hauteur comprise entre 2 et 6 mètres,
- La hauteur de l'écran ne devrait jamais être inférieure à 1 mètre,
- La hauteur de l'écran peut être supérieure à 6 mètres.

4.2. Buttes de terre :

Ce type de protection acoustique de l'environnement, quand il s'avère réalisable, présente, outre son aspect esthétique, de nombreux avantages.

En effet, la butte de terre évite les réflexions vers les bâtiments situés de l'autre côté de la voie ; de plus, elle peut souvent être exécutée avec les terres excédentaires du terrassement et, de ce fait, contribuer à une importante économie.

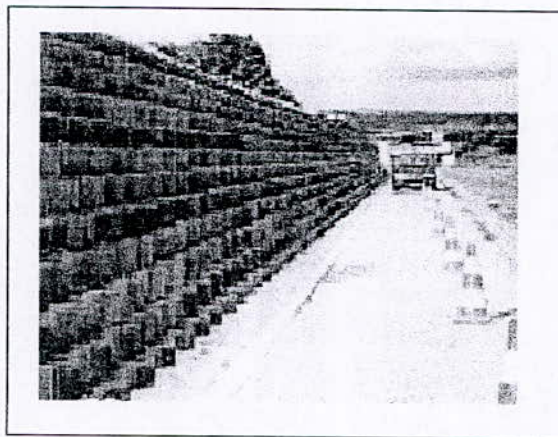


Figure. 1.9 : Buttes de terre avec blocs autoporteur

4.3. Ecrans de verdure :

Il est à noter que, contrairement à une opinion répandue, l'écran de verdure est peu efficace (diminution de 1 dB(A) pour 10 m d'épaisseur de végétation dense). Il a, cependant, et nous en connaissons l'importance, un effet psychologique. Par ailleurs, le bruit du vent dans les feuilles et le chant des oiseaux peuvent contribuer à masquer les bruits gênants.

Quand l'épaisseur de la végétation augmente, l'efficacité s'en trouve également augmentée à condition que les arbres soient à feuillage persistant.

P présentation des Méthodes de Dimensionnement Utilisées

Chapitre 2

1. EVALUATION DU NIVEAU DE BRUIT ROUTIER

Avec la distance, le niveau de bruit n'est plus constant mais il s'affaiblit. Cet affaiblissement dû à la distance est plus ou moins grand suivant que la source de bruit est ponctuelle ou linéaire.

1.1. Source ponctuelle

Une source ponctuelle est telle que la propagation du son se fait suivant des ondes sphériques centrées sur un point donné d'émission.

Le tableau 2.1 indique les limites correspondant au cas de véhicules isolés roulant sur une chaussée en bon état, le niveau de bruit étant mesuré dans des conditions bien déterminées :

- Véhicule en pleine accélération.
- Vitesse d'environ 50 km/h.
- Point d'observation à 7,5 m de l'axe du véhicule et à 1,2 m au-dessus du sol en terrain dégagé.

Catégories de véhicules	Niveau de bruit Admissible en dB(A)
Voitures particulières.	82
Véhicules utilitaires, de poids total en charge inférieur à 3,5 t	84
Autres véhicules, de poids total en charge compris entre 3,5 et 12 t, et de moins de 200 c v.	89
Autobus, d'au moins 200 c v, et camions, de plus de 12 t et d'au moins 200 c v.	91
Tracteurs et machines agricole de moins de 200 c v.	90
Tracteurs et machines agricole de plus de 200 c v.	91
Cyclomoteurs.	73
Véломoteurs (et véhicules assimilés).	81
Motocyclettes et motoculteurs.	84

Tableau 2.1 : Source : législation française relative aux niveaux de bruit admissibles (1972) [9]

Il faut espérer que les progrès de la technique permettront d'abaisser rapidement ces limites.

1.2. Source linéaire

Une source linéaire est telle que la propagation du son se fait suivant des ondes cylindriques centrées sur une ligne donnée, cette ligne étant composée de multiples sources sonores ponctuelles. C'est le cas du trafic routier en flot continu.

Le niveau de la pression acoustique moyenne est donnée par :

$$L = 52 + 10 \log \frac{Q}{d}, \quad \text{en dB(A)} \quad (2.1) \quad [17]$$

Avec : d : étant la distance au bord de la chaussée, exprimée en mètres.

Q : le nombre de véhicules par heure.

Cette équation est applicable dans le cas où le terrain serait plat et le débit a un pourcentage faible de poids lourds. [inférieur à 10 %]

Si le pourcentage de poids lourds devient important ou lorsque la voie est inclinée, circulant dans le sens de la montée, il y a lieu de majorer le niveau indiqué par l'équation (2.1) d'une certaine quantité. Les tableaux donnent les corrections à ajouter.

Pourcentage de poids lourds et 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 2.2 : Correction en fonction du pourcentage de poids lourds et de véhicules de transport en commun. [17]

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

Tableau 2.3 : Correction en fonction de la voie de circulation. [17]

Remarque :

Pour une source sonore ponctuelle, le niveau sonore L décroît de 6 dB chaque fois que la distance séparant le point de mesure de la source sonore est doublée (voir annexe 1), mais lorsque la source devient linéaire, L ne décroît que de 3 dB.

Cas particulier :

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 3 dB par doublement de la distance. On peut considérer que le niveau L est pratiquement constant sur la voie.

2. CALCUL PRATIQUE DE L'EFFET DU SOL [9]

Lors de la propagation du son au voisinage du sol, les observations qui on pu être faites ont montré que l'atténuation avec la distance est plus grande que celle indiquée par (2.1). Ceci résulte d'un affaiblissement supplémentaire dû au pouvoir absorbant ou réfléchissant du sol.

Pour les sources linéaires, l'effet de sol est donné par :

→ Si le sol est dur et réfléchissant :

$$A_1 = 10 \log \frac{M}{13,5} , \quad \text{en dB(A)} \quad (2.2)$$

→ Si le sol est recouvert d'herbe touffue :

$$A_2 = 5,2 \log \frac{3h_r}{d_1} , \quad \text{en dB(A)} \quad (2.3)$$

Telle que : d_1 , M et h_r sont décrits sur la figure (2.1).



Figure. 2.1 : Notations.

Cet effet de sol ne peut être pris en considération, qu'en dessous d'une droite limite issue de la ligne de source et d'équation : $h_r = d_1 / 3$, soit de pente 1 pour 3, au-dessus de cette droite, la propagation n'est atténuée que par la distance.

La figure(2.2) nous donne une idée suffisante pour les courbes isophones au voisinage d'une autoroute.

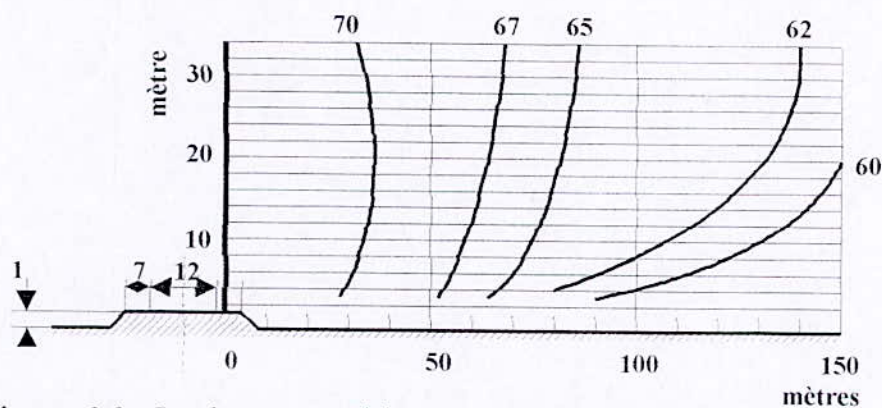


Figure. 2.2 : Isophones au voisinage d'une autoroute en rase campagne (terre labourée ou terrain vague) pour un trafic de 2000V/heure.

3. ATTENUATION DUE A UN ECRAN ACOUSTIQUE

3.1. Historique

La ressemblance des phénomènes acoustiques et optiques a permis de résoudre certains problèmes liés à la diffraction par les écrans acoustiques. Cette dernière qui est l'un des points communs les plus importants consiste, en fait, en ce que le bord d'un écran subissant une onde acoustique issue d'une source primaire se comporte comme une source sonore secondaire.

Le phénomène de diffraction doit être maîtrisé, surtout lorsqu'on souhaite confectionner un écran de protection au bord d'une autoroute : il s'avère nécessaire d'évaluer et de valoriser le rôle que joue ce dernier sur le niveau de bruit résultant.

Les premiers travaux traitant les effets de la diffraction acoustique ont été réalisés au 19^{ème} siècle, par FRESNEL, les résultats obtenus ont permis d'élaborer un coefficient "δ" dit : coefficient de FRESNEL qui permis d'évaluer l'atténuation apportée par l'écran, puis sont venus les travaux de HELMOLTZ et KIRCHHOFF, et enfin ceux de SOMMERFELD, qui

ont donné, en 1896, la solution exacte de la diffraction d'une onde électromagnétique plane par un écran semi-infini.

La première formulation relative aux calculs des barrières acoustiques a été développée en 1940 par REDFEARN, qui a étudié l'atténuation possible pour une longueur d'onde moyenne du bruit de la circulation.

3.2. Méthode de PARKIN et HUMPHREYS

L'efficacité de l'écran s'exprime dans le cas d'une source linéaire de bruit suivant la relation :

$$A(e) = 10 \log 20 X \quad (2.4)$$

Avec :

$$X = 2 \left(\frac{\sqrt{R^2 + h_e^2} - R + \sqrt{D^2 + h_e^2} - D}{\lambda (1 + h_e^2 / R^2)} \right) = \frac{2\delta}{\lambda + \lambda (h_e^2 / R^2)} \quad (2.5)$$

Où :

h_e : hauteur effective de l'écran.

D : distance entre l'écran et le récepteur.

R : distance entre la source et l'écran.

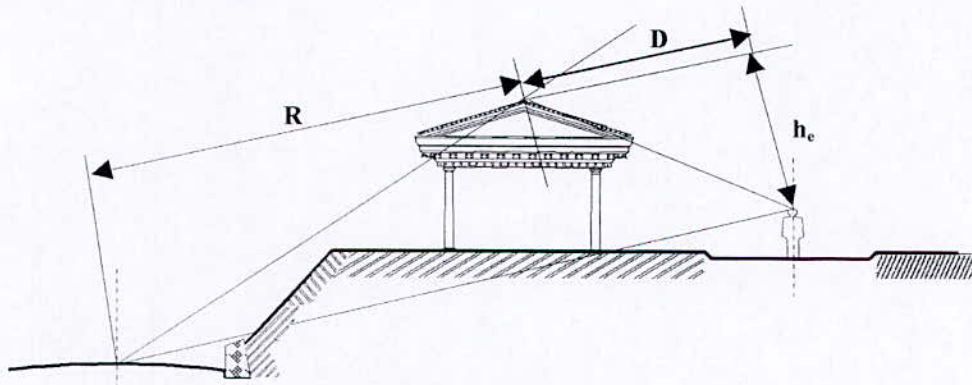


Figure.2.3 : Définitions

L'organisme GREATER.LONDON.COUNCIL a proposé en 1970 cette formule et a recommandé l'emploi d'une longueur d'onde λ de 0,56m (fréquence $f = 620\text{Hz}$). Pour des calculs directs de l'effet d'écran en dB(A) ceci à l'usage de protection phonique au voisinage des autoroutes. Mais comme nous allons utiliser dans notre étude une analyse par bande d'octave nous prenons $f = 500\text{Hz}$ ($\lambda = 0,68\text{m}$).

3.3. Méthode de KURZE et ANDERSON

Pour évaluer l'atténuation d'un écran, il est plus aisé d'utiliser des méthodes graphiques. KURZE et ANDERSON ont proposé une courbe qui nous donne directement en ordonnée l'atténuation en dB(A), comme le montre la figure(2.4)

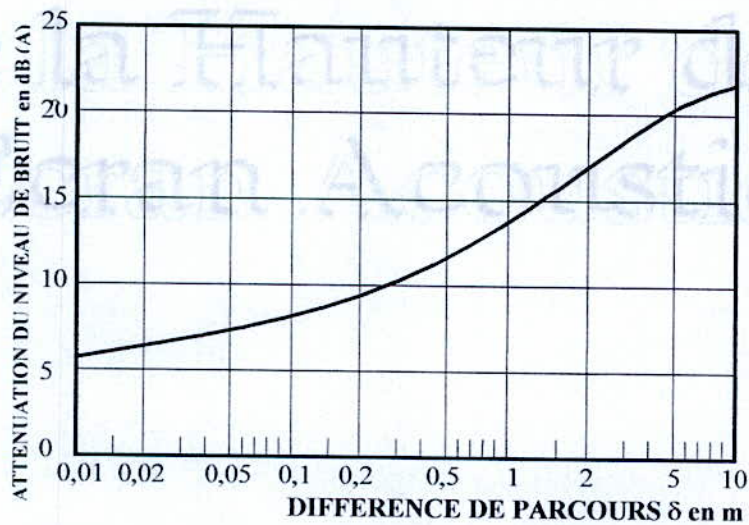


Figure. 24: Courbe de KURZE & ANDESON (S. linéaire)

1. PRESENTATION DU PROJET

Le but du présent travail est d'effectuer l'étude technico-économique, d'un écran acoustique prévu à être réalisé au cote nord de l'école nationale polytechnique et cela pour atténuer le bruit venant de l'autoroute(ALGER- AEROPORT) et l'amener par conséquent à un niveau de 60 dB(A).

La longueur de l'écran est fixée à 180,90m, l'étude se penchera donc sur la détermination de la hauteur appropriée capable de réduire le niveau de bruit à 60 dB(A).

Vu que l'autre coté de l'autoroute ne contient pas des bâtiments à usage d'habitation, le choix des matériaux de construction de l'écran est plus large et par conséquent, en plus des matériaux absorbants (béton banché, blocs de terre) on peut utiliser des matériaux réfléchissants tels que : le béton armé ou le parpaing.

L'étude se fera en considérant que la chaussée ne présente pas d'inclinaison par rapport au plan horizontal.

La disponibilité du plan de masse et du plan de la coupe perpendiculaire AA' de la chaussée permet d'avoir plus d'informations afin de mener à bien le dimensionnement de notre écran.

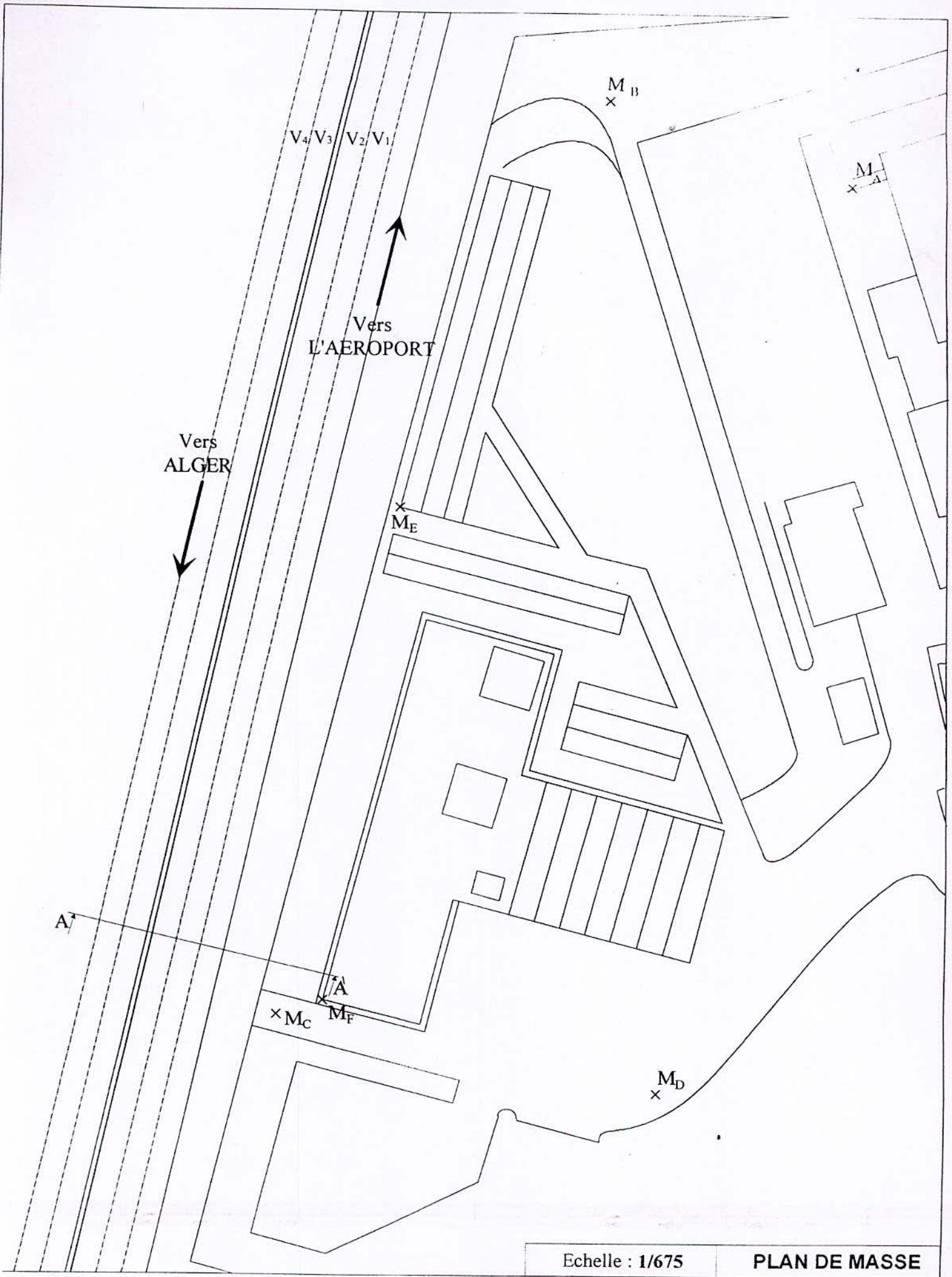


Figure. 1.3 : Localisation du projet (plan de masse)



Fig.3.2 Coupe A À

Echelle 1 / 2700

2. DETERMINATION DES NIVEAUX DE BRUITS

2.1 Trafic routier

Dans nos calculs de bruit, nous cherchons le débit qui nous donne, dans la mesure du possible, un niveau de bruit maximal. Pour choisir le débit on a calculé le niveau de bruit sonore en un point quelconque trois fois et à chaque fois en variant le débit, on a trouvé que le débit le plus défavorable est celui de dimanche. Nous retiendrons comme valeur de trafic les résultats relatifs à ce jour là.

On a compté le nombre de véhicules légers et lourds sur chaque voie par heure en matinée (9^h-13^h) pour les trois premiers jours de la semaine de 07/04/2001 au 09/04/2001.

Les résultats obtenus sont résumés au tableau 3.1
(Le détail du décompte pour chaque jour et par heure est donné en annexe 3)

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

Tableau 3.1 : Débit des véhicules et pourcentage de poids lourds et véhicules de transports en commun pour chaque voie

¹PL : poids lourds

- **Calcul en considérant une seule source linéaire** (on suppose ici que l'on a une seule source centrée sur l'axe de la route) (Fig.3.5)

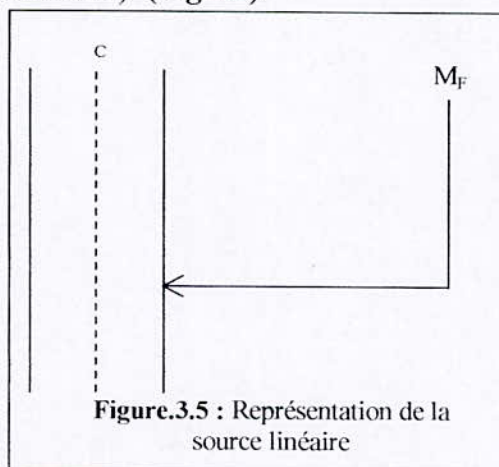


Figure.3.5 : Représentation de la source linéaire

Dans ce cas le débit est 2395 véhicules/heure et le pourcentage de poids lourd est 11,57.

La distance entre le même point M_F et le bord de chaussée est : 19,78m.

Le niveau de bruit est donc : 72,83dB(A).

D'après la correction le niveau total sera égal 73,83dB(A).

Conclusion :

On voit ici qu'entre la première hypothèse (la plus réaliste) de considérer chaque voie comme une source et la deuxième où l'on n'a que deux sources l'erreur n'est que de 0,73 dB(A).

De même entre la deuxième hypothèse et le cas où l'on se ramène à une seule source l'erreur n'est que de 0,69 dB(A). Par contre entre l'hypothèse la plus réaliste de quatre sources et la plus simplifiée d'une seule source l'erreur est de 1,42dB(A). On peut donc penser que pour une estimation rapide une seule source est une hypothèse valable.

Toutefois afin d'éviter de cumuler trop d'erreurs pour les calculs qui suivent nous nous en tiendrons à un calcul voie par voie, en particulier pour prendre en compte les atténuations du sol.

2.3. Prise en compte des atténuations dues à la nature du sol

- **Méthode de calcul et application au projet**

La relation qui exprime le niveau sonore est : [17]

$$L = 52 + 10\log(Q/d)$$

Avec :

$$d = \sqrt{h_i^2 + h_r^2}$$

La figure 3.4 définit tous les paramètres des formules.

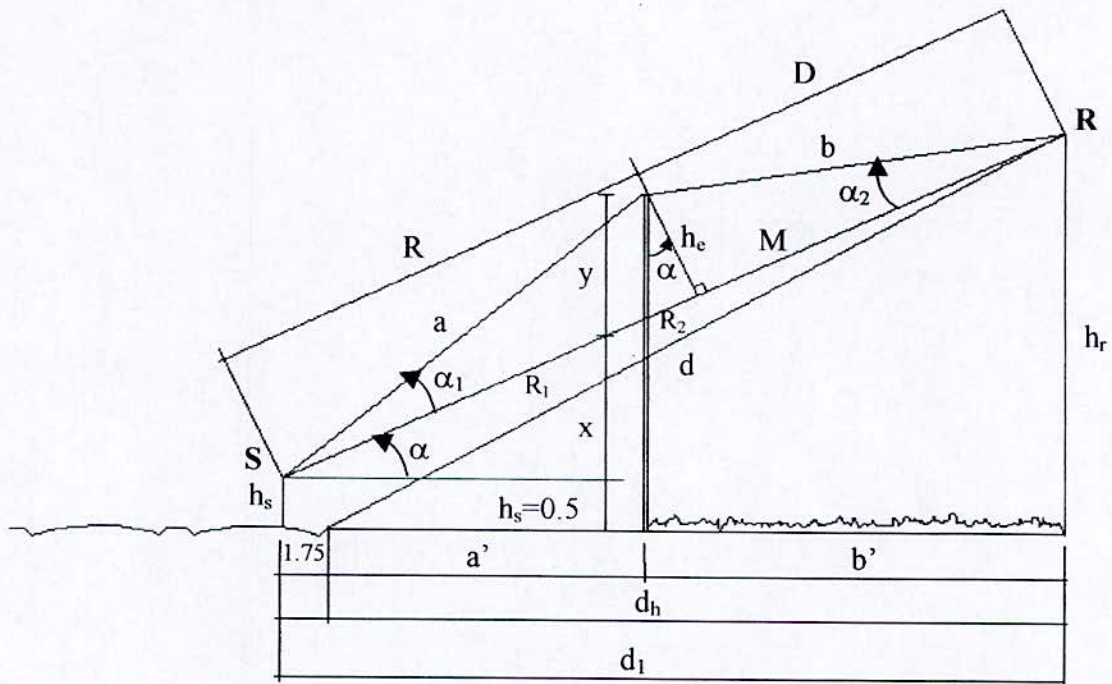


Figure. 3.6 : Définitions

L'atténuation du sol dur :

$$A_1 = 10 \log(M/13,5).$$

L'atténuation de l'herbe :

$$\text{Si : } h_r > d_1/3 \Rightarrow A_2 = 0$$

$$\text{Si non : } A_2 = 5,2 \log(3h_r/d_1).$$

Nous pouvons traiter notre problème (l'existence de sol dur et d'herbe) comme suite : (fig.3.5) :

En M_1 le niveau de bruit est :

$$L_1 = 52 + 10 \log \frac{Q}{\sqrt{(d_h - b')^2 + 0,5^2}} + A_1$$

$$\approx 52 + 10 \log \frac{Q}{d_h - b'} + A_1$$

et : $A_1 = 10 \log \frac{a'}{13,5}$

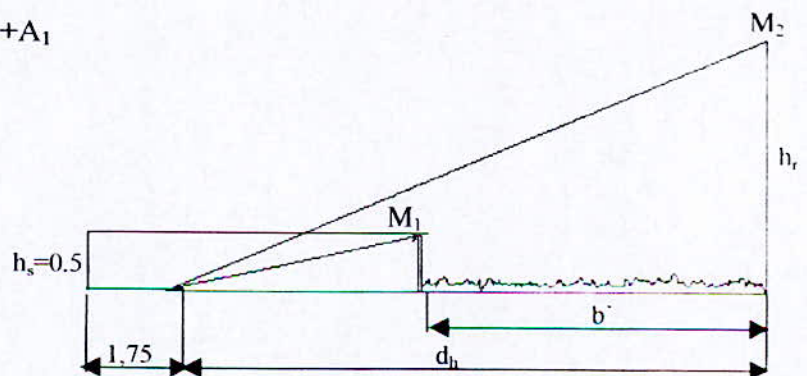


Figure. 3.7 : Notations

En M_2 le niveau de bruit est :

$$\begin{aligned} L_2 &= 52 + 10 \log \frac{Q}{\sqrt{h_r^2 - d_h^2}} + A = 52 + 10 \log \frac{Q}{\sqrt{h_r^2 - d_h^2}} \cdot \frac{d_h - b'}{d_h - b'} + A \\ &= 52 + 10 \log \frac{Q}{d_h - b'} + A_1 - 10 \log \frac{\sqrt{h_r^2 - d_h^2}}{d_h - b'} + A - A_1 \\ &= L_1 - 10 \log \frac{\sqrt{h_r^2 - d_h^2}}{d_h - b'} + A_2, \text{ tel que : } A_2 = A - A_1 = 5,2 \log \frac{3h_r}{b'} \end{aligned}$$

Ce calcul devra se répéter pour chacune des voies, puis on fait la sommation pour avoir le niveau de bruit total reçu à partir de toutes les voies.

□ **Comparaison entre les résultats obtenus par les techniciens de CNERIB et les résultats obtenus par le calcul**

Nous avons appliqué la démarche présentée puis nous avons fait procéder par une équipe du CNERIB à une mesure expérimentale dont les résultats sont comparés sur le tableau ci-dessous.

Point de mesure	Résultats obtenus par les techniciens de CNERIB	Calculs
M_A	62	67
M_B	70	68
M_C	72	75
M_D	59	75

On observe qu'une grande différence est enregistrée entre les valeurs calculées et mesurées aux points M_A et M_D . Ceci est dû au fait que le calcul n'a pas pris en compte la présence d'écrans partiels entre la voie routière et ces deux points.

On a considéré que le point de mesure est ouvert sur la longueur de l'autoroute.

Par contre les deux points M_B , M_C vérifient toutes les hypothèses de calcul, ce qui explique que les valeurs calculées soient proches des valeurs mesurées.

Dans la suite du projet nous appliquerons donc la démarche de calcul des atténuations dues aux sols telles que présentée ici

3. CALCUL DE LA HAUTEUR DE L'ECRAN

3.1. La démarche de calcul

On utilise toujours les mêmes variables et notations définies sur la figure 3.4

On a:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_r - h_s}{a' + b'} = \frac{x}{a'} \Rightarrow x = \frac{(h_r - h_s) \cdot a'}{a' + b'}$$

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

La hauteur totale de l'écran : $H = h_s + x + y = h_s + \frac{(h_r - h_s) \cdot a'}{a' + b'} + \frac{h_e}{\cos\alpha}$

Et on a :

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

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{R_2}{h_e} \Rightarrow R_2 = h_e \operatorname{tg}\alpha$$

$$\Rightarrow R = R_1 + R_2 = \frac{x}{\sin\alpha} + h_e \operatorname{tg}\alpha$$

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

et : $\sin\alpha_1 = \frac{h_e}{a} \Rightarrow a = \frac{h_e}{\sin\alpha_1}$

$$\sin\alpha_2 = \frac{h_e}{b} \Rightarrow b = \frac{h_e}{\sin\alpha_2}$$

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

A partir de la valeur de δ on peut calculer l'atténuation due à l'écran soit en utilisant la méthode de PARKIN et HYMPHREYS soit celle de KURZE et ANDERSON.

Donc pour démarrer le calcul on choisit une hauteur effective h_e quelconque (généralement entre 1m et 3m). Pour la première voie et on calcule l'atténuation de l'écran correspondante.

On procède de la même manière avec les autres voies, mais si on choisit des hauteurs effectives quelconques on obtient des hauteurs totales différentes. Pour régler ce problème on a :

$$H = c^{st} \Rightarrow x_{(V1)} + y_{(V1)} = x_{(V2)} + \frac{h_{e(V2)}}{\alpha_{(V2)}} = x_{(V3)} + \frac{h_{e(V3)}}{\alpha_{(V3)}} = x_{(V4)} + \frac{h_{e(V4)}}{\alpha_{(V4)}}$$

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

En fin on ajoute l'atténuation (en valeur algébrique) du niveau de bruit qui correspond et on fait la somme des niveaux. Si le niveau résultant est différent de 60 dB(A) on doit faire varier (augmenter si $L > 60\text{dB(A)}$, diminuer si $L < 60\text{dB(A)}$) le h_e de la première voie et on répète le calcul jusqu'à harmoniser les résultats.

Remarque :

Dans le calcul on prend en compte les points critiques.

Dans ce qui suit nous avons utilisé les deux méthodes de PARKIN et HYMPHREYS et celle de KURZE et ANDERSON et nous avons comparé les résultats pour les trois points M_F , M_E et M_A

3.2. Résultats

- **Le point M_F** : $h_r = 2,4\text{m}$ [niveau de RDC]
 $h_s = 0,5\text{m}$

On calcule dans un premier temps le niveau de bruit :

	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4
Q	636	518	560	681
d_h en mètre	19,78	23,28	27,58	31,08
d en mètre	19,93	23,40	27,68	31,17
L en dB(A) avant la correction	69,92	67,76	66,92	67,00
Correction % PL	1	0	0	1
L en dB(A) après la correction	70,92	67,76	66,92	68,00
a' en mètre	11,88	15,38	19,68	23,18
A_1 en dB(A)	-0,56	0,57	1,64	2,35
L_1 en dB(A)	70,36	68,33	68,56	70,35
b' en mètre	9,65	9,65	9,65	9,65
$-10\log(d/(d_h-b'))$ en dB(A)	-2,94	-2,35	-1,89	-1,63
A_2 en dB(A)	-0,66	-0,66	-0,66	-0,66
L_2 en dB(A)	66,76	65,32	66,01	68,06

On obtient L total: $72,68 \cong 73\text{dB(A)}$

Dans ce qui suit on calcule la hauteur nécessaire pour réduire le niveau de bruit à 60dB(A) . Cette hauteur devra être calculée par les deux méthodes citées dans le chapitre 2

a. Méthode de PARKIN et HUMPHREYS

h_e	2,184	2,07	1,96	1,90
δ	0,44	0,36	0,30	0,26
X	1,26	1,04	0,86	0,77
Atténuation en dB(A)	14,02	13,16	12,37	11,87
L en dB(A)	52,74	52,15	53,64	56,19

On obtient L total: $60,00\text{dB(A)}$
avec $H : 3,74\text{m}$

Remarque :

Dans ces conditions (h_e pour la première voie égal à 2,184m), la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	0,44	0,36	0,30	0,26
Atténuation en dB(A)	12	11,17	10,33	10
L en dB(A)	54,76	54,15	55,68	58,06

Ceci correspond à un niveau de $61,96 \cong 62$ dB(A) et donc avec cette méthode il faut une hauteur d'écran supérieure.

b. Méthode de KURZE et ANDERSON

h_e	2,60	2,48	2,38	2,31
δ	0,63	0,52	0,43	0,39
Atténuation en dB(A)	13,33	12,5	12	11,5
L en dB(A)	53,43	52,82	54,01	56,56

On obtient L total: $60,41 \cong 60$ dB(A)
avec H : 4,16m

Remarque :

Dans ces conditions (h_e pour la première voie égal à 2,60m), la méthode de PARKIN et HUMPHREYS nous donne les résultats suivants :

δ	0,63	0,52	0,43	0,39
X	1,76	1,48	1,26	1,14
Atténuation en dB(A)	15,47	14,71	14,01	13,57
L en dB(A)	51,30	50,60	52,00	54,49

Ceci correspond à un niveau de $58,38 \cong 58$ dB(A).

- **Le point M_E** : $h_r = 1,9\text{m}$ [niveau de RDC]
 $h_s = 0,5\text{m}$

On calcule dans un premier temps le niveau de bruit :

	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4
Q	636	518	560	681
d_h en mètre	13,05	16,55	20,85	24,35
d en mètre	13,19	16,66	20,94	24,42
L en dB(A) avant la correction	69,38	67,36	66,61	66,74
Correction % PL	1	0	0	1
L en dB(A) après la correction	70,38	67,36	66,61	67,74
a' en mètre	13,23	16,73	21,03	24,53
A_1 en dB(A)	-0,09	0,93	1,93	2,59
L_1 en dB(A)	70,30	68,29	68,54	70,34
b' en mètre	1,57	1,57	1,57	1,57
$-10\log(d/(d_h-b'))$ en dB(A)	-0,60	-0,46	-0,36	-0,30
A_2 en dB(A)	0,00	0,00	0,00	0,00
L_2 en dB(A)	69,69	67,83	68,18	70,03

On obtient L total: $75,06 \cong 75$ dB(A)

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

a. Méthode de PARKIN et HUMPHREYS

h_e	1,350	1,32	1,30	1,29
δ	0,60	0,56	0,53	0,51
X	1,74	1,63	1,55	1,50
Atténuation en dB(A)	15,43	15,14	14,91	14,77
L en dB(A)	54,27	52,68	53,27	55,26

On obtient L total $60,00 \cong 60,00$ dB(A)
avec $H = 3,11\text{m}$

Remarque :

Dans ces conditions (h_e pour la première voie égal à 1,350m), la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	0,60	0,56	0,53	0,51
Atténuation en dB(A)	13	12,83	12,5	12,33
L en dB(A)	56,69	55,00	55,68	57,70

Ceci correspond à un niveau de $62,41 \cong 62$ dB(A) et donc avec cette méthode il faut une hauteur d'écran supérieure.

b. Méthode de KURZE et ANDERSON

h_c	2,15	2,12	2,10	2,09
δ	1,35	1,27	1,21	1,18
Atténuation en dB(A)	15,33	15	14,83	14,66
L en dB(A)	54,36	52,83	53,35	55,37

On obtient L total: $60,11 \cong 60$ dB(A)
avec H: 3,91m

Remarque :

Dans ces conditions (h_e pour la première voie égal à 2,15m), la méthode de PARKIN et HUMPHREYS nous donne les résultats suivants :

δ	1,35	1,27	1,21	1,18
X	3,87	3,68	3,53	3,45
Atténuation en dB(A)	18,88	18,67	18,49	18,38
L en dB(A)	50,81	49,15	49,69	51,65

Ceci correspond à un niveau de $56,46 \cong 56$ dB(A).

- Le point M_A : $h_r = 4,35\text{m}$ [niveau de RDC]
 $h_s = 0,5\text{m}$

On calcule dans un premier temps le niveau de bruit :

	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4
Q	636	518	560	681
d_h en mètre	64,06	67,56	71,86	75,36
d en mètre	64,21	67,70	71,99	75,49
L en dB(A) avant la correction	68,95	67,01	66,34	66,51
Correction % PL	1	0	0	1
L en dB(A) après la correction	69,95	67,01	66,34	67,51
A' en mètre	14,44	17,94	22,24	25,74
A_1 en dB(A)	0,29	1,23	2,17	2,80
L_1 en dB(A)	70,24	68,25	68,51	70,31
b' en mètre	51,37	51,37	51,37	51,37
$-10\log(d/(d_h-b'))$ en dB(A)	-7,04	-6,21	-5,46	-4,98
A_2 en dB(A)	-3,09	-3,09	-3,09	-3,09
L_2 en dB(A)	60,11	58,94	59,95	62,24

On obtient L total: $66,51 \cong 67$ dB(A)

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

a. Méthode de PARKIN et HUMPHREYS

h_e	1,820	1,67	1,50	1,38
δ	0,15	0,10	0,07	0,06
X	0,42	0,30	0,21	0,16
Atténuation en dB(A)	9,26	7,83	6,28	5,12
L en dB(A)	50,85	51,11	53,68	57,12

On obtient L total: 60.00 dB(A)
avec H : 3,17m

Remarque :

Dans ces conditions (h_e pour la première voie égal à 1,820m), la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

δ	0,15	0,10	0,07	0,06
Atténuation en dB(A)	8,66	8	7,33	7,17
L en dB(A)	51,45	50,94	52,62	55,07

Ceci correspond à un niveau de $58,85 \cong 59$ dB(A) et donc avec cette méthode il faut une hauteur d'écran supérieure.

b. Méthode de KURZE et ANDERSON

h_e	1,30	1,15	0,98	0,86
δ	0,07	0,05	0,03	0,02
Atténuation en dB(A)	7,33	6,83	6,33	6
L en dB(A)	52,78	52,11	53,62	56,24

On obtient L total: $60,01 \cong 60$ dB(A)
avec H : 2,65m

Remarque :

Dans ces conditions (h_e pour la première voie égal à 1,3m), la méthode de PARKIN et HUMPHREYS nous donne les résultats suivants :

δ	0,07	0,05	0,03	0,02
X	0,22	0,14	0,09	0,06
Atténuation en dB(A)	6,38	4,61	2,60	1,03
L en dB(A)	53,73	54,33	57,35	61,21

Ceci correspond à un niveau de $63,75 \cong 64$ dB(A).

Conclusion :

A travers les calculs réalisés on s'aperçoit que la méthode de KURZE et ANDERSON donne des dimensions d'écrans toujours supérieures à celles obtenues avec PARKIN et HUMPHREYS. Ainsi par KURZE et ANDERSON on voit que pour couvrir les trois points il faut H égale à 4,16m et avec PARKIN et HUMPHREYS il suffit de H égale à 3,74m.

Pour assurer la sécurité on retient dans le dimensionnement la valeur H égale à 4,16m.

4. DETERMINATION DE LA DISTANCE MINIMALE ENTRE L'ÉCRAN ACOUSTIQUE ET UNE HABITATION R+2 (sachant que la hauteur de l'écran est de 4,16m)

Le but des calculs qui suivent est la détermination de la distance minimale séparant l'écran acoustique d'une habitation R+2 [$h_r = 7\text{m}$] afin que le niveau de bruit maximal qui pourra y apparaître au sommet de l'édifice ne dépasse pas 60 dB(A). Pour cela nous avons procédé à plusieurs itération en faisant varier la distance d_h entre le bâtiment et le bord de la chaussée.

On trouve finalement qu'il faut laisser une distance minimale d_h égale à 60m avec un écran de 4,16m pour pouvoir obtenir 60dB(A) en façade. Les résultats des calculs sont résumés sur les tableaux suivants :

	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4
Q	636	518	560	681
d_h en mètre	60,00	63,50	67,80	71,30
d en mètre	60,41	63,88	68,16	71,64
L en dB(A) avant la correction	69,28	67,28	66,55	66,69
Correction % PL	1	0	0	1
L en dB(A) après la correction	70,28	67,28	66,55	67,69
a' en mètre	13,23	16,73	21,03	24,53
A_1 en dB(A)	-0,09	0,93	1,93	2,59
L_1 en dB(A)	70,20	68,21	68,48	70,28
b' en mètre	48,52	48,52	48,52	48,52
$-10\log(d/(d_h-b'))$ en dB(A)	-7,21	-6,30	-5,48	-4,98
A_2 en dB(A)	-1,89	-1,89	-1,89	-1,89
L_2 en dB(A)	61,09	60,02	61,10	63,42

On obtient L total: $67,62 \cong 68$ dB(A)

On utilise la méthode de PARKIN et HUMPHREYS

h_e	2,255	1,98	1,69	1,47
δ	0,24	0,16	0,10	0,07
X	0,68	0,45	0,28	0,19
Atténuation en dB(A)	11,36	9,56	7,50	5,87
L en dB(A)	49,74	50,46	53,60	57,54

On obtient L total: $60,01 \cong 60$ dB(A)
avec H : 4,16m

Remarque :

Dans ces conditions (h_e pour la première voie égal à 2,255m), la méthode de KURZE et ANDERSON nous donne les résultats suivants :

h_e	2,26	1,98	1,69	1,47
δ	0,24	0,16	0,10	0,07
Atténuation en dB(A)	9,83	8,66	8	7,33
L en dB(A)	51,26	51,36	53,10	56,09

Ceci correspond à un niveau de 59,50 dB(A).

Dimensionnement

Détaillé du

Mur Envisagé

Chapitre 4

Il s'agit ici de matérialiser l'écran acoustique calculé au chapitre trois en utilisant un mur. Celui-ci sera envisagé suivant 5 variantes :

- Mur en terre banchée à semelle filante
- Mur en blocs de béton creux «Parpaing »
- Mur en béton de terre stabilisée B.T.S
- Mur en béton armé
- Mur en terre banchée (semelle isolée)

1. MUR EN TERRE BANCHEE «EN PISE »

Dans l'étude de dimensionnement du mur, on ne prend en compte que la charge due à son poids propre et la surcharge due au vent.

Pour l'évaluation de cette dernière, on a besoin de connaître les dimensions du mur. La longueur du mur est 180,90m. Un joint de dilatation est prévus tous les 25mètre.

1.1. Evaluation des charges

Le raisonnement sera fait sur une bande de 1 mètre linéaire.

□ Evaluation des charges horizontales "Calcul au vent"

L'étude est faite selon le règlement français (Neige et Vent 65)[7]

Les dimensions du mur sont :

- Hauteur du mur : $H = 4,16\text{m.}$
- Longueur du mur : $l = 4,62\text{m.}$

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

$$T = H \times l \times q = C_t \times q_z \times H \times l$$

Avec :

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 [7] p.161)

L'élanement λ est :

$$\lambda = \frac{H}{l} = \frac{4,16}{4,62} = 0,89 \quad \Rightarrow C_t = 1,656$$

La pression dynamique q_z est :

$$q_z = 0,602\text{MPa} \quad (\text{figure.c.3.4}[7]\text{p.54})$$

La pression normale sera donc :

$$q_n = C_1 \times q_z = 1,656 \times 0,602 \\ = 99,69 \times 10^{-4} \text{ MPa.}$$

La pression extrême du vent est :

$$q_e = 1,75 \times C_1 \times q_z = 1,75 \times 1,656 \times 0,602 \\ = 1,745 \times 10^{-3} \text{ MPa.}$$

□ Evaluation des charges verticales " poids propre "

On suppose que l'épaisseur du mur est : $e = 0,37\text{m}$.

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 :

Poids mur :	$0,37 \times 3,96 \times 2 \times 10^{-2} = 2,93 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$
Poids longrine :	$0,2 \times 0,37 \times 2,5 \times 10^{-2} = 0,185 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$
Poids brique silico-calcaire :	$1 \times 0,37 \times 2 \times 10^{-2} = 0,74 \times 10^{-2} \text{ MN/ml.}$

1.2. Vérification des maçonneries

□ Vérification des contraintes de compression à la base du mur de brique pleine silico-calcaire

a. Contrainte calculée

La charge totale «Q » à la base du mur en brique silico-calcaire est :

$$Q = (2,93 + 0,74) \times 10^{-2} = 3,67 \times 10^{-2} \text{ MN/ml.}$$

La section à la base de ce mur :

$$S = 0,37\text{m}^2 \quad , \text{ (l'épaisseur du mur est } 0,37\text{m)}$$

La contrainte de compression calculée est :

$$\sigma_{\text{cal}} = \frac{Q}{S} = \frac{3,67 \times 10^{-2}}{0,37} = 0,1 \text{ MPa.}$$

b. Contrainte admissible [5]

La résistance admissible de calcul en compression est obtenue par application de la formule :

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{\sigma_n}{k_c}$$

Avec :

k_c : Coefficient de sécurité fonction des caractéristiques géométriques, ou du processus de production de l'élément constitutif de maçonnerie donné au tableau 4 (p.35.[5]).

σ_n : Résistance normative de calcul définie comme étant la limite de résistance de la maçonnerie à 28 jours. Elle est donnée par :

$$\sigma_n = \sigma \times (1 - 1,64 \times v).$$

v : Coefficient de variation de la maçonnerie. Il est en général, pour une maçonnerie simple égal à 0,15.

σ : résistance moyenne de rupture donnée par la formule ci-dessous :

$$\sigma = 0,55 \times \sqrt[3]{\sigma_m \times \sigma_b^2}$$

Où : σ_m : résistance à la compression du mortier exprimée en MPa.

σ_b : résistance à la compression du bloc ou de la brique exprimée en MPa.

A.N : On suppose que :

$$\sigma_m = 10 \text{ MPa} \quad \text{et} \quad \sigma_b = 15 \text{ MPa}$$

Donc :

$$\sigma = 0,55 \times \sqrt[3]{10 \times 15^2} \Rightarrow \sigma = 7,2 \text{ MPa.}$$

On a :

$$v = 0,15$$

$$\Rightarrow \sigma_n = \sigma \times (1 - 1,64 \times v) = \sigma \times (1 - 1,64 \times 0,15) = 5,43 \text{ MPa.}$$

Et $k_c = 1,4$ (brique silico-calcaire)

$$\sigma_{adm} = 5,43 / 1,4 = 3,88 \text{ MPa.}$$

La contrainte σ_{cal} est inférieure à la contrainte admissible σ_{adm} du mur.

□ Vérification des contraintes de compression à la base du mur de terre banchée

a. Contrainte calculée

La charge totale «Q » à la base du mur égale au poids du mur.

$$Q = 2,93 \times 10^{-2} \text{ MN/ml.}$$

La section à la base du mur «S » égale :

$$S = 0,37 \text{ m}^2.$$

La charge totale Q rapportée à la section S du mur donne la contrainte de compression calculée :

$$\sigma_{cal} = \frac{Q}{S} = \frac{2,93 \times 10^{-2}}{0,37} = 0,0792 \text{ MPa}$$

b. Contrainte admissible

La contrainte nominale σ_n est donnée par la formule :

$$\sigma_n = \alpha \times \sigma_c$$

avec : α : coefficient de réduction.
 σ_c : contrainte caractéristique.

Pour notre cas : $\alpha = 0,75$ tableau 3 (p.34). [5]

$$\sigma_c = 4 \text{ MPa}$$

La contrainte admissible est :

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_n}{K_c}$$

Où :

K_c : est pris égal à 8.

D'où :

$$\sigma_{adm} = \frac{0,75 \times 4}{8} = 0,375 \text{ MPa.}$$

La contrainte σ_{cal} est inférieure à la contrainte admissible σ_{adm} du mur.

1.3. Dimensionnement des poteaux

On néglige le poids propre du poteau et on dimensionne en flexion simple.

La section de poteau est : 0,20×0,19.

On a :

$$\begin{aligned} l &= 4,62 \text{ m} \\ H &= 3,96 \text{ m (hauteur des poteaux)} \\ b &= 0,20 \text{ m} \\ d &= 0,18 \text{ m} \\ d' &= 0,01 \text{ m} \end{aligned}$$

Les caractéristiques mécaniques du béton et de l'acier sont :

$$\begin{aligned} \text{Pour le béton : } f_{c28} &= 25 \text{ MPa} \\ \gamma_b &= 1,5 \\ f_{bu} &= 14,17 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pour l'acier : } \text{type} &: \text{feE400} \\ \gamma_s &= 1,15 \\ f_{su} &= 348 \text{ MPa} \end{aligned}$$

1.3.1. Armatures longitudinales

Le dimensionnement sera fait à l'E.L.U

Le moment dû aux charges horizontales seules est :

$$M_u = \frac{1,5 \times q_n \times l \times H^2}{2}$$

A.N :

$$M_u = \frac{1,5 \times 9,969 \times 10^{-4} \times 4,62 \times 3,96^2}{2} = 5,41 \times 10^{-2} \text{ MN.m.}$$

$$\Rightarrow \mu_b = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{5,41 \times 10^{-2}}{0,20 \times 0,18^2 \times 14,17} = 0,589 > \mu_{bl} = 0,39$$

$$\Rightarrow A_{sc} \neq 0$$

On pose :

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{sel} \Rightarrow \alpha = \alpha_l = \frac{3,5}{3,5 + 1,74} = 0,668$$

$$y_l = d \times \alpha_l = 0,12 \text{ m}$$

$$F_{bl} = 0,8 \times b \times y_l \times f_{bu} = 0,27206 \text{ MN}$$

$$M_{bl} = F_{bl} \times (d - 0,4 \times y_l) = 3,59 \times 10^{-2} \text{ MNm} > 0,6 \times M_u = 3,24 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$F_{sc} = \frac{M_u - M_{bl}}{d - d'} = 0,11 \text{ MN}$$

$$A_{sc} = \frac{F_{sc}}{f_{su}} = 3,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = \frac{F_{bl} + F_{sc}}{f_{su}} = 10,89 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Soit : $A_s = 3\emptyset 14 + 3\emptyset 16$, (M_u a deux directions donc notre section devra être doublement armée).

1.3.2. Armature transversale [15]

Les vérifications concernant l'effort tranchant selon les BAEL sont demandées uniquement à l'état limite ultime. Le cas de l'état limite de service est traité indirectement par des considérations particulières à respecter.

- L'effort tranchant est donné par la formule suivante :

$$V_u = 1,5 \times q_n \times l \times H \Rightarrow V_u = 2,74 \times 10^{-1} \text{ MN.}$$

- La contrainte tangentielle maximale du béton est :

$$\tau_{\text{umax}} = \frac{V_u}{b \times d} \Rightarrow \tau_{\text{umax}} = 7,6 \text{ MPa.}$$

- L'espace minimal :

Selon les règles BAEL, l'espace minimal doit être compris entre les deux valeurs suivantes : $S_{\text{min}} = 7\text{cm}$ ou 8cm .

- Pour les armatures droites, la justification vis à vis l'E.L.U s'exprime par la relation :

$$\frac{A_{\text{st}}}{S_t \times b} \geq \frac{\tau_u - 0,3 \times f_{tj} \times k}{0,9 \times f_{su}}$$

Avec :

S_t : l'espace entre deux nappes d'armatures transversales.

f_{tj} : la résistance du béton à la traction à 28 jours.

$k = 1$ en flexion simple

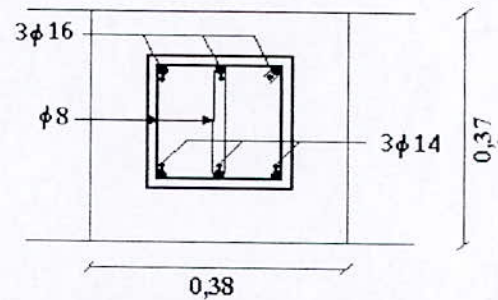


Figure.4.1 schéma de ferrailage

On choisit $S_t = 7\text{cm}$. On trouve que $A_{\text{st}} = 3,12\text{cm}^2$, soit 1 cadre $\emptyset 8 + 1$ étrier $\emptyset 8$.

1.4. Dimensionnement de la fondation

Une semelle est par définition un organe de transmission des charges de la superstructure au sol, elle ne peut être calculée que si l'on connaît la superstructure et ses charges, c'est à dire la descente de charges, d'une part, et les caractéristiques du sol d'autre part.

a. La contrainte admissible du sol

Avant d'entreprendre un projet de fondation, il est nécessaire de connaître la valeur de la contrainte du sol à introduire dans les calculs.

En pratique, elle est donnée par l'expérience en raison de la connaissance que l'on peut avoir du terrain sur lequel des ouvrages ont déjà été réalisés ou à partir des résultats d'investigations effectuées, en général par un laboratoire de mécanique des sols.

Nous avons connu la contrainte admissible de notre sol qui a pour valeur 2 bars à une profondeur de 1,2m (fig.4.2). A partir du laboratoire des travaux Publics du centre (Unité : H.Dey).

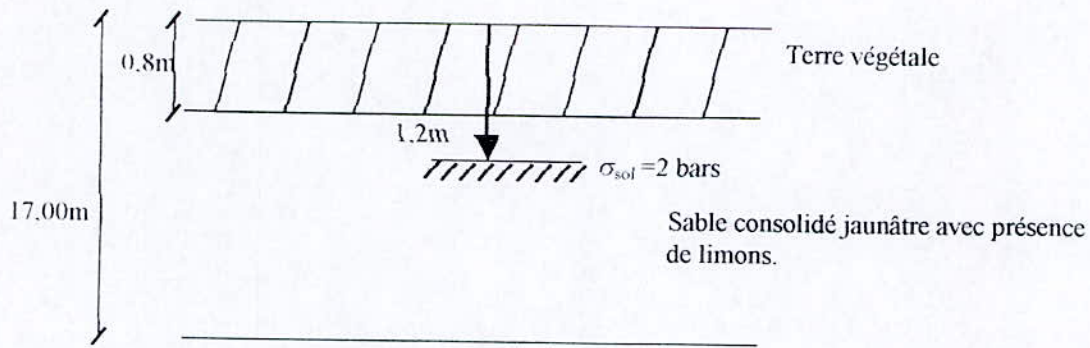


Figure.4.2 : Indications sur la nature du terrain

b. Charges et surcharges transmises à la fondation

Le massif de fondation est une semelle filante de section rectangulaire.

Dans ce cas de figure, les charges verticales (dues au poids de mur, du poids du mur en brique pleine "silico-calcaire", et du poids de la longrine) sont transmises directement à la semelle.

Par contre, les charges horizontales (dues au vent) sont transmises à la semelle par les poteaux ; qu'on suppose encastrés dans la semelle.

c. Dimensionnement de la semelle

- La charge verticale totale «F» est :

$$F = 2,93 \times 10^{-2} + 0,740 \times 10^{-2} + 0,185 \times 10^{-2}$$

$$= 3,855 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$$

On considère que la semelle pèse 10% de l'effort «F» qu'elle doit transmettre[1]

$$Q_{\text{ser}} = 1,1 \times F = 1,1 \times 3,855 \times 10^{-2}$$

$$= 4,24 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$$

- Le moment de flexion M dû au vent (moment rapporté au centre de gravité du béton seul de la section située à la base du mur) est :

$$M_{\text{ser}} = \frac{q_n \times H^2}{2} = \frac{9,969 \times 10^{-4} \times 4,16^2}{2} = 8,63 \times 10^{-3} \text{ MN/ml}$$

- L'excentricité e_0 :

$$e_0 = \frac{M_{\text{ser}}}{Q_{\text{ser}}} = 0,2035 \text{ m}$$

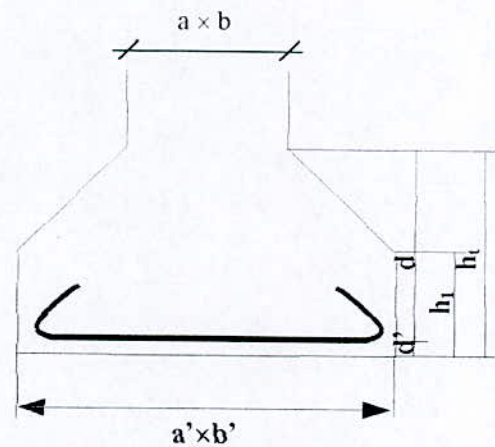


Figure.4.3 : Notations

➤ On suppose une variation triangulaire des contraintes, c'est à dire on prend $b' < 6e_0$; pour cela on utilise la relation de vérification des contraintes dans le sol [11]:

$$\sigma_s = \frac{2 \times Q_{\text{ser}}}{3 \left(\frac{b'}{2} - e_0 \right)} \leq 1,33 \times \sigma_{\text{sol}} \Rightarrow b' \geq 2 \left(e_0 + \frac{2 \times Q_{\text{ser}}}{1,33 \times 3 \times \sigma_{\text{sol}}} \right)$$

$$\Rightarrow b'_{\text{min}} = 2 \times \left(0,2035 + \frac{2 \times 4,24 \times 10^{-2}}{3 \times 0,2 \times 1,33} \right) \approx 0,63 \text{m}$$

On prend $b' = 0,7 \text{m}$.

Pour avoir à éviter la vérification au cisaillement, on a intérêt à choisir d assez grand :

$$d \geq \frac{0,7 - 0,37}{4} = 0,08 \text{m}$$

La hauteur h_t est toujours supérieur a $0,15 \text{m}$, l'enrobage minimal des armatures doit être de 3cm donc on choisit $d = 0,12 \text{m}$.

d. Calcul des armatures

On utilise la méthode des consoles qui consiste à considérer la semelle comme une double console encastree au mur.

Les armatures parallèles au coté principal sont déterminées pour équilibrer le moment M_d agissant dans la section d'encastrement de la console, dans ce cas là, on ne considère pas l'influence du poteau [11].

On a :

$$\sigma_s = \frac{2 \times 4,24 \times 10^{-2}}{3 \times \left(\frac{0,7}{2} - 0,2035 \right)} = 0,1929 \text{MPa}$$

et :

$$X = 3 \times \left(\frac{b'}{2} - e_0 \right) = 3 \times \left(\frac{0,7}{2} - 0,2035 \right) = 0,4395 \text{m}$$

$$\frac{\sigma_s}{X} = \frac{\sigma_d}{X - \frac{b'-b}{2}}$$

$$\Rightarrow \sigma_d = \frac{\left[X - \frac{b'-b}{2} \right] \sigma_s}{X} = 0,12 \text{MPa}$$

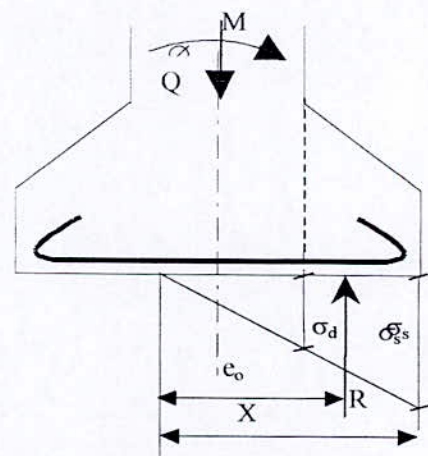


Figure. 4.4: Diagramme des contraintes

Le moment M_d est la résultante de la surface à droite de la section d'encastrement, multipliée par son bras de levier.

$$M_d = \frac{\sigma_d}{2} \left(\frac{b'-b}{2} \right) + \left(\frac{\sigma_s - \sigma_d}{3} \right) \left(\frac{b'-b}{2} \right)^2 = 10,56 \times 10^{-3} \text{ MN.m}$$

On calcule l'armature A_s par la relation : $A_s = \frac{M_d}{z \times \sigma_s}$

Tel que :

Fissuration préjudiciable

Aciers HA $\rightarrow \eta = 1,6$

$$\bar{\sigma}_s = \min\left(\frac{2}{3} f_e, 150\eta \right)$$

$$= 240 \text{ MPa}$$

et : $z = \frac{7}{8} d = 0,105 \text{ m}$

$$A_s = 4,19 \text{ cm}^4 > A_{s \text{ min}} = 3,4 \text{ cm}^4 [11]$$

Soit : $A_s = 4\text{Ø}12$

L'armature de répartition :

$$A_{s \text{ min}} = 3,4 \text{ cm}^2 \text{ soit } 5\text{Ø}10$$

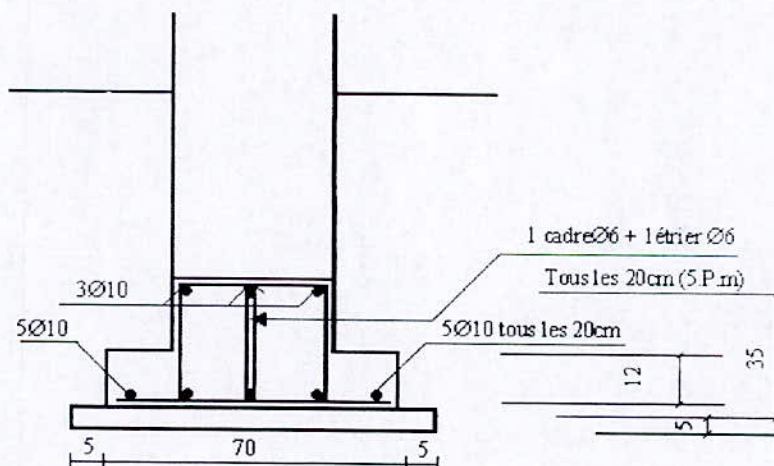


Figure 4.5 : Schéma de ferrailage

2. MUR EN BLOCS DE BETON CREUX «PARPAING»

Dans le cas des murs en Parpaing, en B.T.S, et en voiles de béton on n'est pas obligé d'admettre une longueur donnée à cause du coffrage, un joint de dilatation est prévu tous les 26m.

2.1. Evaluation des charges

□ Evaluation des charges horizontales "Calcul au vent"

Les dimensions du mur sont :

$$\text{Hauteur : } H = 4,16\text{m.}$$

$$\text{Longueur : } l = 4,91\text{m.}$$

L'élanement λ est :

$$\lambda = \frac{H}{l} = 0,85 \Rightarrow C_t = 1,672$$

La pression dynamique q_z est :

$$q_z = 0,602 \times 10^{-3} \text{MPa}$$

La pression normale sera donc :

$$q_n = 1,007 \times 10^{-3} \text{MPa}$$

La pression extrême du vent est :

$$q_e = 1,762 \times 10^{-3} \text{MPa.}$$

□ Evaluation des charges verticales " poids propre"

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

La masse volumique des Parpaings est : $1,2 \times 10^{-2} \text{MPa}$

Donc :

$$\text{Poids mur : } 0,15 \times 4,16 \times 1,2 \times 10^{-2} = 0,75 \times 10^{-2} \text{MN/ml}$$

$$\text{Poids poutre : } 0,35 \times 0,25 \times 2,5 \times 10^{-2} = 2,19 \times 10^{-3} \text{MN/ml}$$

$$\text{Enduit : } 0,015 \times 2 \times 4,16 \times 2 \times 10^{-2} = 2,5 \times 10^{-3} \text{MN/ml}$$

2.2. Vérification des maçonneries

□ Vérification des contraintes de compression à la base du mur

a. Contrainte calculée

La charge totale :

$$Q = 0,75 \times 10^{-2} \text{MN/ml.}$$

La section à la base du mur :

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

qui donne $\sigma_{cal} = 0,05\text{MPa}$.

b. Contrainte admissible

La démarche pour le calcul sera la même que celle dans la vérification des contraintes de compression à la base du mur en briques silico-calcaires.

On a :

$$\sigma_b = 6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = 10 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 3,91 \text{ MPa}$$

$$v = 0,15$$

$$\sigma_n = 2,95\text{MPa}$$

$$K_c = 1,2$$

La contrainte admissible est : $\sigma_{adm} = 2,46 \text{ MPa}$.

La contrainte σ_{cal} est inférieure à la contrainte admissible σ_{adm} du mur.

□ Vérification de la contrainte de traction due à la flexion latérale

a. Contrainte calculée

Le mur est appuyé à sa base et sur ses cotés, et il est soumis à la flexion latérale due au vent.

La charge qui le sollicite est : $q_n = 1,007 \times 10^{-3} \text{ MPa}$.

Le moment fléchissant maximal est :

$$M = \frac{1}{8} \times q_n \times l^2 \times k \quad [19]$$

D'après le tableau V [19] on trouve :

$$\frac{H}{l} = \frac{4,16}{4,91} = 0,85 \Rightarrow k = 0,895599$$

D'où :

$$M = 2,7 \times q_n \quad \text{en MN.m}$$

La contrainte de calcul est obtenue par :

$$\begin{aligned} \text{On a : } I &= \frac{l \times e^3}{12} \Rightarrow \sigma_{cal} = \frac{M}{I} \times V = \frac{M}{I} \times \frac{e}{2} = \frac{6 \times M}{l \times e^2} \\ \sigma_{cal} &= \frac{6 \times M}{l \times e^2} = \frac{6 \times 2,7 \times 1,007 \times 10^{-3}}{4,91 \times 0,15^2} \\ &= 0,15\text{MPa.} \end{aligned}$$

b. Contrainte admissible

En l'absence de valeurs expérimentales, la résistance normative en flexion σ_n de la maçonnerie peut être prise égale à 0,5MPa.

$$\text{D'où : } \sigma_{adm} = \frac{\sigma_n}{k_f}$$

Avec :

k_f : coefficient de sécurité donné au tableau 5 (p.36. [5])

$$k_f = 1,5$$

$$\text{D'où : } \sigma_{adm} = \frac{0,5}{1,5} = 0,33\text{MPa.}$$

La contrainte σ_{cal} est inférieure à la contrainte admissible σ_{adm} en flexion du mur.

□ Vérification de la contrainte de cisaillement à la base du mur en blocs de béton creux

a. Contrainte calculée

L'effort tranchant dû au vent est :

$$T = q_n \times l \times H = 2,08 \times 10^{-2} \text{ MN}$$

La contrainte maximale de cisaillement appliquée au mur est donnée par la formule :

$$\tau_{max} = 1,5 \times \frac{T}{S} \quad , S = 4,96 \times 0,15 = 0,744\text{m}^2.$$

$$\tau_{max} = 1,5 \times \frac{2,08 \times 10^{-2}}{0,6944} = 0,045\text{MPa}$$

b. Contrainte admissible

La résistance normative de la maçonnerie au cisaillement est déterminée par la formule ci-dessous :

$$\tau_n = \min(\tau_0 + 0,4\sigma_g, \tau_{lim})$$

avec :

σ_g : contrainte de compression de la maçonnerie sous charge permanente au niveau considéré exprimée en MPa.

τ_0 : contrainte de cisaillement à contrainte verticale nulle exprimée en MPa.

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

Les valeurs de τ_0 et τ_{lim} sont données dans le tableau 6 (p.37. [5]) en fonction de la résistance à la compression du mortier et des limites de la maçonnerie :

$$\tau_0 = 0,3 \text{ MPa} \quad , \quad \tau_{lim} = 1 \text{ MPa}$$

Et $\sigma_g = 0,05\text{MPa}$ (la contrainte de calcul à la base du mur).

$$\Rightarrow \tau_n = \min(0,3 + 0,4 \times 0,05 ; 1) = 0,32 \text{ MPa.}$$

La résistance admissible au cisaillement est obtenue par la formule :

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_n}{k_f} = \frac{0,32}{1,5} = 0,213 \text{ MPa.}$$

La contrainte τ_{max} est inférieure à la contrainte admissible τ_{adm} en flexion du mur.

2.3. Dimensionnement de la poutre(longrine)

□ Prédimensionnement

D'après [11], la hauteur de la poutre : $h_t \geq \frac{l}{15}$

Avec : l longueur entre nus d'appuis.

$$\rightarrow h_t = \frac{4,91}{15} = 0,33 \text{ m}$$

On prend $h_t = 0,35 \text{ m}$, et la largeur de la section b égale à : $b = 0,25 \text{ m}$.

□ Calcul de la poutre par la méthode dite «FORFAITAIRE »

Cette méthode consiste à évaluer les moments sur chaque appuis (M_w , M_e) et les moments en travée M_t d'une poutre continue grâce à des fractions fixées forfaitaires de la valeur maximale du moment fléchissant M_0 d'une travée indépendante de même portée libre que les travées de la poutre continue et soumise au même charge. Cette travée est appelée «travée de comparaison ».

Les conditions d'application de la méthode sont :

- La charge d'exploitation est : $Q_B \leq [2 \times G, 5000 \text{ N/m}^2]$
- Les moments quadratiques des sections transversales sont les même dans les différentes travées en continuité.
- Le rapport entre les portées successives est compris entre 0,8 et 1,25
- La fissuration considérée est non préjudiciable.

Les moments sur chaque appuis (M_w , M_e) et les moments en travées M_t sont calculés de la manière suivante :

• Calcul du coefficient α :

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

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

- La valeur de chaque moment sur appuis intermédiaires est égale

- Poutre à deux travées :
 $M_B = 0,6 \max(M_{01}, M_{02})$
- Poutre à trois travées :
 $M_B = 0,5 \max(M_{01}, M_{02})$
 $M_C = 0,5 \max(M_{02}, M_{03})$
- Poutre à quatre travées :
 $M_B = 0,5 \max(M_{01}, M_{02})$
 $M_D = 0,5 \max(M_{03}, M_{04})$
 $M_C = 0,4 \max(M_{02}, M_{03})$

- La valeur des moments en travées doit satisfaire aux inégalités suivantes

$$M_t + \frac{M_w + M_c}{2} \geq \text{Max}[1,05M_0; (1 + 0,3\alpha)M_0] \quad (1)$$

Dans le cas d'une travée intermédiaire :

$$M_t \geq \frac{(1 + 0,3\alpha)M_0}{2} \quad (2)$$

Dans le cas d'une travée de rive :

$$M_t \geq \frac{(1,2 + 0,3\alpha)M_0}{2} \quad (3)$$

A.N : la poutre vérifie les conditions de la méthode forfaitaire, donc :

La charge totale «g» est :

$$g = 0,75 \times 10^{-2} + 0,22 \times 10^{-2} + 2,5 \times 10^{-3} \\ = 1,22 \times 10^{-2} \text{ MN/ml.}$$

On calcule les moments à l'état limite ultime on considérant la poutre comme isostatique :

$$Q_u = 1,35 \times g = 1,65 \times 10^{-2} \text{ MN/ml.}$$

$$M_0 = \frac{Q_u \times l^2}{8} \\ = 4,97 \times 10^{-2} \text{ MN/ml.}$$

On calcule les moments sur appuis :

$$M_A = M_F = 0 \\ M_{\max} = M_B = M_E = 2,485 \times 10^{-2} \text{ MN.m} \\ M_C = M_D = 1,988 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

On calcule les moments à l'état limite ultime on considérant la poutre comme hyperstatique :

- Travée 1 :

$$(1) \Rightarrow M_{t1} \geq 3,98 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$(3) \Rightarrow M_{t1} \geq 2,982 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$\text{On prend } M_{t1} = 3,98 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

- **Travée 2 :**

$$(1) \Rightarrow M_{t2} \geq 2,983 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$(2) \Rightarrow M_{t2} \geq 2,485 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$\text{On prend : } M_{t2} = 2,983 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

- **Travée 3 :**

$$(1) \Rightarrow M_{t3} \geq 3,232 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$(2) \Rightarrow M_{t3} \geq 2,485 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$\text{On prend : } M_{t3} = 3,232 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

Les valeurs des moments trouvées pour les travées 1 et 2 sont les mêmes pour les travées 4 et 5.

Donc les moments qui nous utilisons pour le dimensionnement de la poutre sont :

$$M_t = 3,98 \times 10^{-2} \text{ MN.m} \text{ et } M_{app} = M_a = 2,485 \times 10^{-2} \text{ MN.m.}$$

- **Calcul des armatures**

a- $M_t = 3,98 \times 10^{-2} \text{ MN.m} :$

$$d = 0,33 \text{ m}$$

$$d' = 0,02 \text{ m}$$

$$b = 0,25 \text{ m}$$

$$\mu_b = 0,103$$

$$\alpha_b = 0,136 \Rightarrow \text{pivot A}$$

Donc :

$$A_s = 3,67 \text{ cm}^2 = 3\text{Ø}14$$

b- $M_a = 2,485 \times 10^{-2} \text{ MN.m} :$

$$\mu_b = 0,064$$

$$\alpha_b = 0,083 \Rightarrow \text{pivot A}$$

Donc :

$$A_s = 2,24 \text{ cm}^2 = 3\text{Ø}10$$

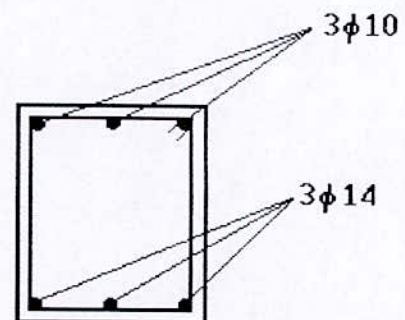


Figure. 4.6: Disposition des armatures

- **Vérification de la résistance vis à vis de l'effort tranchant**

- L'effort tranchant est donné par la formule suivante :

$$V_u = \frac{Q_u \times l}{2} \Rightarrow V_u = 4,05 \times 10^{-2} \text{ MN}$$

- La contrainte tangentielle maximale du béton est :

$$\tau_{u\max} = \frac{V_u}{b \times d} \Rightarrow \tau_{u\max} = 0,5 \text{ MPa}$$

- L'espace maximal est donné par :

$$S_{t\max} \leq \min [0,9 \times d, 40\text{cm}] \Rightarrow S_{t\max} \leq \min [0,9 \times 33, 40\text{cm}]$$

$$S_{t\max} \leq 30\text{cm}$$

- L'espace minimal :

Selon les règles BAEL, l'espace minimal est compris entre les deux valeurs suivantes : $S_{t\min} = 7\text{cm}$ ou 8cm .

- Vérification du béton :

On doit vérifier $\tau_u \leq \bar{\tau} = \min [0,13 \times f_{c28}, 4\text{MPa}]$
 $\bar{\tau} = \min [0,13 \times 25, 4\text{MPa}] = 3,25\text{MPa}$

Alors :

$$\tau_u = 0,5 \text{ MPa} < \bar{\tau} = 3,25\text{MPa}, \text{ la condition est vérifiée.}$$

- Pour les armatures droites d'âme A_{st} , on prend le minimum soit :

$$\frac{A_{st}}{S_t} \times \frac{f_c}{b} \geq \max \left(\frac{\tau_u}{2}; 0,4\text{MPa} \right) \Rightarrow \frac{A_{st}}{S_t} \times \frac{f_c}{b} \geq \max \left(\frac{0,5}{2}; 0,4\text{MPa} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{A_{st}}{S_t} \geq \frac{0,4 \times b}{f_c}$$

Avec :

S_t : l'espace entre deux nappes d'armatures transversales.

On prend : $A_{st} \text{ (cadre de } \varnothing 6) = 0,57 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow S_t \leq 22\text{cm}$

On choisit : $S_t = 22\text{cm}$

2.4. Dimensionnement des poteaux

On néglige le poids propre du poteau et on dimensionne en flexion simple.

- **Armatures longitudinales**

On a :

$$M_u = \frac{1,5 \times q_n \times l \times H^2}{2}$$

et :

$$\begin{aligned} b &= 0,25\text{m} \\ d &= 0,24\text{m} \\ d' &= 0,01\text{m} \\ \Rightarrow M_u &= 6,37 \times 10^{-2} \text{MN.m} \end{aligned}$$

Avec le même calcul que dans le cas de terre Pisé on obtient :

$$A_{sc} = 4\text{Ø}16 + 1\text{Ø}12$$

Cette section est aussi admise dans les autres procédés (mur en briques de terre stabilisée, voiles de béton armé).

• Armatures transversales [15]

On a :

$$\begin{aligned} q_n &= 1,007 \times 10^{-3} \text{MPa} \\ l &= 4,91\text{m} \\ H &= 3,96\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow V_u &= 2,94 \times 10^{-2} \text{MPa} \\ \Rightarrow \tau_{\text{umax}} &= 0,49 \text{MPa} \end{aligned}$$

$$\text{On choisit : } S_t = 20\text{cm} \Rightarrow A_{st} = 0,57\text{cm}^2 = 1 \text{ cadre } \text{Ø}6$$

2.5. Dimensionnement de la fondation

Le massif de fondation est une semelle isolée de section carrée.

a- Charges et surcharges

➤ La charge verticale « F_{scr} » est la somme de :

— Mur :	$0,15 \times 4,16 \times 2 \times 2,46 \times 1,2 \times 10^{-2} = 3,68 \times 10^{-2} \text{MN}$
— Enduit :	$0,015 \times 2 \times 4,16 \times 2 \times 2,46 \times 2 \times 10^{-2} = 1,23 \times 10^{-2} \text{MN}$
— Longrine :	$0,25 \times 0,35 \times 5,16 \times 2,5 \times 10^{-2} = 1,13 \times 10^{-2} \text{MN}$
— Poteau :	$0,25 \times 0,25 \times 5,16 \times 2,5 \times 10^{-2} = 0,81 \times 10^{-2} \text{MN}$

$$F_{\text{scr}} = 6,85 \times 10^{-2} \text{MN} \Rightarrow Q_{\text{scr}} = 1,1 \times F_{\text{scr}} = 7,54 \times 10^{-2} \text{MN}$$

➤ La charge horizontale (vent) :

$$q_n = 10^{-3} \text{MPa} \quad \text{avec : } M_{\text{scr}} = \frac{q_n \times l \times H^2}{2} = 4,248 \times 10^{-2} \text{MN.m}$$

b- Dimensionnement de la semelle

$$\text{L'excentricité : } e_0 = \frac{M_{\text{scr}}}{Q_{\text{scr}}} = 0,5634\text{m}$$

On fait intervenir l'effet du vent : $\sigma_s \leq 1,33 \sigma_{sol}$

Tel que :
$$\sigma_s = \frac{2 \times Q_{ser}}{3 \times \left(\frac{b'}{2} - e_0 \right) \times b'}$$
, a' , b' sont les dimensions de la semelle.

D'après cette condition on trouve que : $b' = b'_{min} = 1,4m$

$$d \geq (1,4 - 0,25)/4 \Rightarrow d = 0,3m$$

c- vérification de la semelle de rive

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

$$M = 0,3 \times M_0$$

Tel que :

$$M_0 = 3,67 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$M = 1,1 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$Q = 1,1 \times \left(\frac{3,68 + 1,23 + 1,13}{2} \times 10^{-2} + 0,81 \times 10^{-2} + 0,35 \times 0,25^2 \times 2,5 \times 10^{-2} \right)$$

$$= 4,27 \times 10^{-2} \text{ MN}$$

L'excentricité : $e = \frac{M}{Q} = 0,26m$

Ce qui donne $a' = 0,79m$

Donc ce moment est déjà équilibré par la semelle.

d- Calcul des armatures

On utilise la même méthode que dans le cas de semelle filante.

$$\sigma_s = \frac{2 \times 7,54 \times 10^{-2}}{3 \times \left(\frac{1,4}{2} - 0,5634 \right) \times 1,4} = 0,2628 \text{ MPa}$$

$$X = 3 \times \left(\frac{1,4}{2} - 0,5634 \right) = 0,4098m$$

$$M_d = \frac{\sigma_s \times b'}{2} \times \left(\frac{b'-b}{2} - \frac{X}{3} \right) = 3,305 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$z = \frac{7}{8} d = 0,2625m$$

$$A_s = \frac{M_d}{z \times \sigma_s} = 5,25 \text{ cm}^2 \text{ , soit : } 7\text{Ø}10$$

$$h_1 = 6 + 6 \times \text{Ø} = 12 \text{ cm}$$

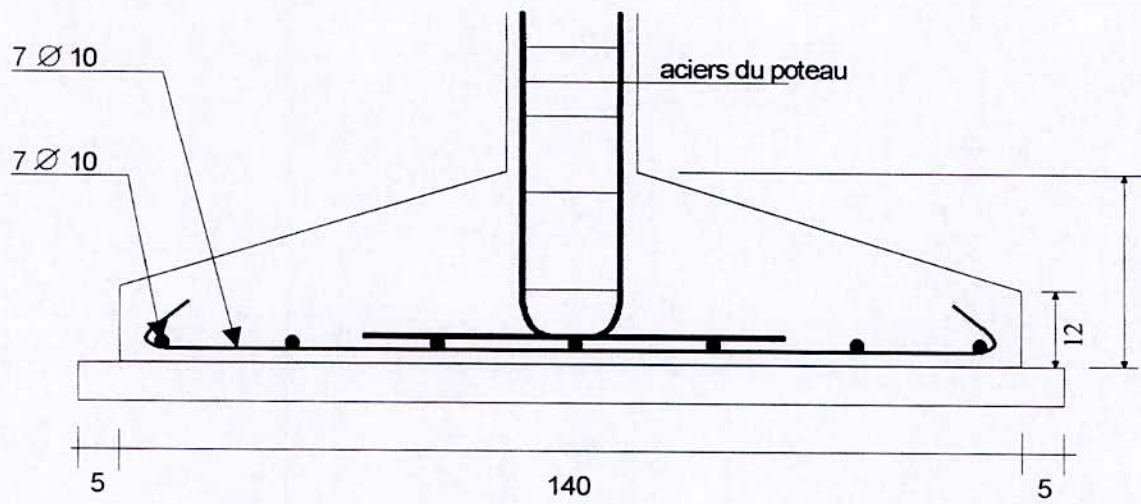


Figure. 4.7 : Schéma de ferrailage de la semelle.

3. MUR EN BETON DE TERRE STABILISEE «B.T.S»

3.1. Evaluation des charges

La charge due au vent est la même que la précédente.

Expression de charge par mètre linéaire de mur.

Les dimensions d'un élément de béton de terre stabilisé «B.T.S » sont : $29,5 \times 14 \times 9$

L'épaisseur du mur est : $e = 0,14\text{m}$

- Poids mur : $0,14 \times 4,16 \times 2 = 1,165 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$
- Poids poutre : $0,35 \times 0,25 \times 2,5 = 2,19 \times 10^{-3} \text{ MN/ml}$
- Poids brique silico-calcaire : $1,2 \times 0,37 \times 2 = 0,89 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$

3.2. Vérification des maçonneries

□ Vérification des contraintes de compression à la base du mur

a. Contrainte calculée

La charge totale :

$$Q = 1,165 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$$

La section à la base du mur :

$$S = 0,14 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow \sigma_{cal} = 0,08 \text{ MPa}$$

b. Contrainte admissible

La démarche pour le calcul sera la même que celle dans la vérification des contraintes de compression à la base du mur en brique silico-calcaire.

On a :

$$\begin{aligned} \sigma_b &= 30 \text{ MPa} \\ \sigma_m &= 10 \text{ MPa} \\ \sigma &= 11,44 \text{ MPa} \\ \nu &= 0,15 \\ \sigma_n &= 8,63 \text{ MPa} \\ K_c &= 1,2 \end{aligned}$$

La contrainte admissible est : $\sigma_{adm} = 7,19 \text{ MPa}$

La contrainte σ_{cal} est inférieure à la contrainte admissible σ_{adm} du mur.

□ **Vérification de la contrainte de traction due à la flexion latérale**

La démarche pour le calcul sera la même que celle dans la vérification des contraintes de traction due à la flexion latérale à la base du mur en Parpaing.

a. Contrainte calculée

- La charge qui sollicite le mur est : $q_n = 1,007 \times 10^{-3}$ MPa
- Le moment fléchissant maximal est : $M = 2,7 \times 10^{-3}$ MN.m
- La contrainte maximale est : $\sigma_{\max} = 0,17$ MPa

b. Contrainte admissible

On a : $\sigma_n = 0,5$ MPa
 $k_f = 1,5$ (B.T.S)

donc :

$$\sigma_{\text{adm}} = 0,33 \text{ MPa}$$

La contrainte σ_{cal} est inférieure à la contrainte admissible σ_{adm} du mur.

□ **Vérification de la contrainte de cisaillement à la base du mur**

a. Contrainte calculée :

L'effort tranchant est :

$$T = 2,06 \times 10^{-2} \text{ MN}$$

La contrainte maximale de cisaillement est :

$$\tau_{\max} = 0,045 \text{ MPa}$$

b. Contrainte admissible

Comme le cas de la vérification de Parpaing, les résultats sont les suivantes :

$$\tau_0 = 0,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{lim}} = 1,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_g = 0,08 \text{ MPa (la contrainte de calcul à la base du mur).}$$

$$\Rightarrow \tau_n = \text{Min}(0,3 + 0,4 \times 0,08; 1,2) \Rightarrow \tau_n = 0,332 \text{ MPa}$$

$$k_f = 1,5$$

La résistance admissible au cisaillement est :

$$\tau_{\text{adm}} = 0,22 \text{ MPa}$$

La contrainte τ_{\max} est inférieure à la contrainte admissible τ_{adm} du mur.

3.3. Dimensionnement de la poutre(longrine)

On suit la même démarche de calcul que pour le mur en Parpaing.

La charge totale «g » est :

$$g = 1,39 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$$

$$Q_u = 1,35 \times g = 1,88 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$$

On calcule les moments à l'état limite ultime en considérant la poutre comme hyperstatique, on trouve que :

$$M_t = 4,53 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$\text{et : } M_a = 2,83 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

□ Calcul des armatures

a- $M_t = 4,53 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$:

$$d = 0,33 \text{ m}$$

$$d' = 0,02 \text{ m}$$

$$b = 0,25 \text{ m}$$

$$\mu_b = 0,12$$

$$\alpha_b = 0,16 \Rightarrow \text{pivot A}$$

Donc :

$$A_s = 4,2 \text{ cm}^2 = 3\text{Ø}14$$

b- $M_a = 2,83 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$:

$$\mu_b = 0,073$$

$$\alpha_b = 0,095 \Rightarrow \text{pivot A}$$

Donc :

$$A_s = 2,56 \text{ cm}^2 = 3\text{Ø}10$$

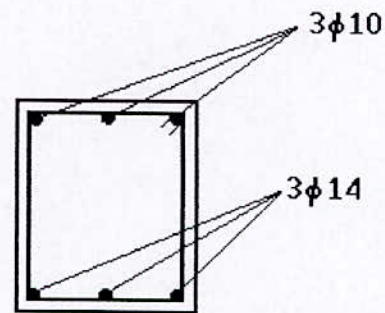


Figure. 4.8 : Disposition des armatures

□ Vérification de la résistance vis à vis de l'effort tranchant

- L'effort tranchant est :

$$V_u = 4,62 \times 10^{-2} \text{ MN}$$

- La contrainte tangentielle maximale du béton est :

$$\tau_{\text{umax}} = 0,56 \text{ MPa}$$

- L'espace maximal :

$$S_{\text{umax}} \leq 30 \text{ cm}$$

- L'espace minimal :

$$S_{\min} = 7\text{cm ou } 8\text{cm.}$$

- Vérification du béton :

$$\tau_u = 0,56 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau} = 3,25 \text{ MPa}$$

La condition : $\tau_u < \bar{\tau}$, est vérifiée.

- Pour les armatures droites d'âme A_{st} , on prend le minimum tel que :

$$A_{st} = 0,57 \times 10^{-4} \text{ m}^2, \text{ soit un cadre } \varnothing 6 \Rightarrow S_t \leq 22\text{cm}$$

$$\text{On choisit } S_t = 22\text{cm}$$

3.4. Dimensionnement de la fondation

Le massif de fondation est une semelle isolée de section carrée.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Charges verticales (MN)	Mur	$5,73 \times 10^{-2}$
	Longrine	$1,13 \times 10^{-2}$
	Poteau	$0,81 \times 10^{-2}$
	La somme F	$7,67 \times 10^{-2}$
	$Q_{ser} = 1,1 \times F$	$8,44 \times 10^{-2}$
Charges horizontales (vent) MN.m	$4,248 \times 10^{-2}$	
b'(m)	1,35	
d (m)	0,3	
A_s (cm ²)	3,50 soit : 7Ø8	
h_1 (m)	0,11	

4. MUR EN BETON ARME (VOILE)

Pour prédimensionner notre mur, on l'assimile à un voile porteur et son épaisseur minimale doit être égale à 15cm.

L'expression de la charge pour 1 mètre linéaire de mur :

$$- \text{ Poids mur : } 0,15 \times 4,16 \times 2,5 \times 10^{-2} = 1,56 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$$

$$- \text{ Poids longrine : } 0,25 \times 0,35 \times 2,5 \times 10^{-2} = 2,19 \times 10^{-3} \text{ MN/ml}$$

4.1. Vérification des contraintes de compression à la base du mur

a- Contrainte calculée

La charge totale Q est :

$$Q = 1,56 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$$

La section à la base du mur S est :

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

Ce qui donne $\sigma_{\text{cal}} = 1,04 \times 10^{-1} \text{ MPa}$

b- contrainte admissible

La contrainte admissible du béton armé est :

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

La contrainte σ_{cal} est inférieure à la contrainte admissible f_{c28} .

4.2. Vérification de la résistance vis à vis de l'effort tranchant

La contrainte de cisaillement dans le béton est limitée comme suit :

$$\tau_b \leq \overline{\tau_b} = 0,2 \times f_{c28}$$

Où :

$$\tau_b = \frac{1,4 \times q_u}{e \times 0,9 \times h}$$

Tel que :

q_u : Charge qui sollicite le mur calculée à l'état limite ultime (L'E.L.U)

e : Epaisseur du mur.

h : Hauteur totale de la section brute.

$\overline{\tau_b}$: Contrainte de cisaillement admissible du béton

A.N:

$$q_u = 1,5 q_n$$

$$= 1,51 \times 10^{-3} \text{ MN/ml}$$

$$\tau_b = 3,035 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

$$\overline{\tau_b} = 0,2 \times f_{c28} = 5 \text{ MPa}$$

La contrainte τ_b est inférieure à la contrainte admissible $\overline{\tau_b}$.

4.3. Ferrailage minimal du mur

a. Armatures longitudinales

Le minimum imposé par RPA 99 est de 0,5%

$$A_l = A_{l'} = 0,5 \times \frac{15}{2} = 3,75 \text{ cm}^2 / 1 \text{ ml} / 1 \text{ face}$$

$$A_l = A_{l'} = 5 \text{ } \varnothing 10 / 1 \text{ ml} / 1 \text{ face}$$

L'espacement entre les barres longitudinales : $s_t = \frac{100}{5} = 20 \text{ cm}$

b. Armatures transversales

Le pourcentage d'armatures transversales A_H doit être supérieur ou égal au pourcentage minimum suivant :

- $A_{H\min} = 0,15\%$ si $\tau_b \leq 0,025 f_{c28}$
- $A_{H\min} = 0,25\%$ si $\tau_b > 0,025 f_{c28}$.

On a : $\tau_b = 3,035 \times 10^{-3} \text{ MPa} < 0,025 f_{c28} = 0,625 \text{ MPa}$
D'où :

$$A_{H\min} = \frac{0,15 \times 15}{2} = 1,125 \text{ cm}^2 / 1 \text{ ml} / 1 \text{ face}$$

$$= 5 \text{ } \varnothing 6 / 1 \text{ ml} / 1 \text{ face.}$$

L'espacement entre les barres transversales est : $s_t' = \frac{100}{5} = 20 \text{ cm}$

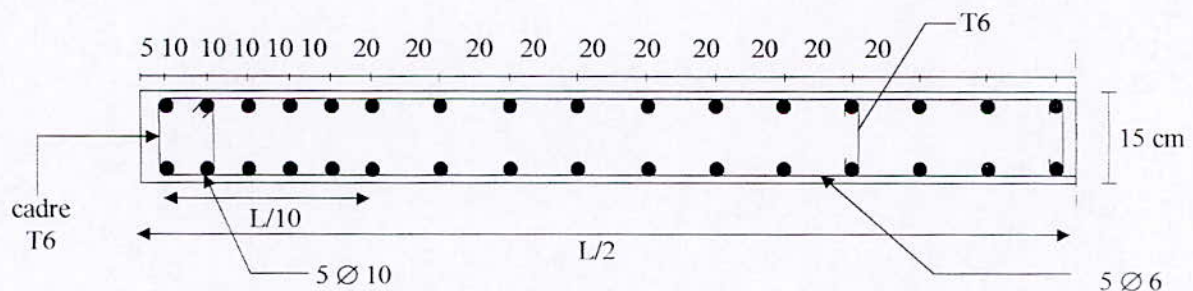


Figure. 4.9 : Schéma de ferrailage du mur.

4.4. Dimensionnement de la poutre(longrine)

Dans ce cas là, le dimensionnement à la flexion est inutile, par ce que tous le corps du mur va travailler en flexion. La même chose pour la vérification de la résistance vis à vis de l'effort tranchant.

4.5. Dimensionnement de la fondation

Le massif de fondation est une semelle isolée de section carrée.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Charges verticales (MN)	Mur	$7,68 \times 10^{-2}$
	Longrine	$1,13 \times 10^{-2}$
	Poteau	$0,81 \times 10^{-2}$
	La somme F	$9,62 \times 10^{-2}$
	$Q_{ser} = 1,1 \times F$	$10,58 \times 10^{-2}$
Charges horizontales (vent) MN.m	$4,248 \times 10^{-2}$	
b'(m)	1,25	
d (m)	0,25	
A_s (cm ²)	3,11 cm ² soit $A_s = A_{smin} = 3,4 \text{ cm}^2 = 7\text{Ø}8$	
h_1 (m)	0,11	

5. Mur en terre banchée "en Pisé" (avec semelles isolées)

L'évaluation des charges, la vérification des contraintes de compression à la base du mur, le dimensionnement des poteaux sont faits dans les paragraphes (1.1, 1.2 et 1.3).

5.1 Dimensionnement de la poutre (longrine)

Les dimensions de la poutre sont : $0,37 \times 0,45$

Avec la même démarche de calcul que pour le mur en Parpaing on a :

La charge totale :

$$g = 3,49 \times 10^{-2} \text{ MN/ml}$$

On calcule les moments à l'état limite ultime en considérant la poutre comme hyperstatique, on trouve que :

$$M_t = 7,14 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$\text{et : } M_a = 4,646 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

□ Calcul des armatures

a. $M_t = 7,14 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$

$$d = 0,43 \text{ m}$$

$$d' = 0,02 \text{ m}$$

$$b' = 0,37 \text{ m}$$

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c28} = 2,1 \text{ MPa}$$

$$\mu_b = 0,074$$

$$\alpha_b = 0,096 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

Donc :

$$A_s = 4,96\text{cm}^2, \text{ soit : } 2\varnothing 14 + 1\varnothing 16 = 5,09\text{cm}^2$$

b. $M_a = 4,646 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$

$$\mu_b = 0,046$$

$$\alpha_b = 0,096 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

Donc :

$$A_s = 3,05\text{cm}^2, \text{ soit : } 3\varnothing 12 = 3,39\text{cm}^2$$

Condition de non-fragilité

$$A_s + A_{sc} \geq S \times \frac{f_{t28}}{f_c}$$

A.N:

$$(3,39 + 5,09) \times 10^{-2} = 8,48 \times 10^{-4} < 0,37 \times 0,45 \times (2,1/348) = 10,04\text{cm}^2$$

Donc on augmente la section des armatures trouvées.

$$\text{Soit: } A_s = 3\varnothing 16 \quad \text{et : } A_{sc} = 3\varnothing 14$$

□ Vérification de la résistance vis à vis de l'effort tranchant

- L'effort tranchant est :

$$V_u = 0,11 \text{ MN}$$

- La contrainte tangentielle maximale du béton est :

$$\tau_{u\max} = 0,69 \text{ MPa}$$

- L'espacement maximal :

$$S_{\max} \leq 38,7\text{cm}$$

- L'espacement minimal :

$$S_{\min} = 7\text{cm ou } 8\text{cm}$$

- Vérification du béton :

$$\tau_u = 0,69 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau} = 3,25\text{MPa}$$

La condition : $\tau_u < \bar{\tau}$, est vérifiée

- Pour les armatures droites d'âme A_{s1} , on prend le minimum tel que :

$A_{st} = 1,13 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, soit un cadre de $\emptyset 6$ + un étrier de $\emptyset 6 \Rightarrow S_t \leq 30,5 \text{ cm}$.
On choisit $S_t = 30 \text{ cm}$.

5.2. Dimensionnement de la fondation

Le massif de fondation est une semelle isolée de section carrée.

a. Charges et surcharges

➤ La charge verticale « F_{ser} » est la somme de :

- Mur : $13,54 \times 10^{-2} \text{ MN}$
- Longrine : $2,08 \times 10^{-2} \text{ MN}$
- Poteau : $1,38 \times 10^{-2} \text{ MN}$

$$F_{ser} = 17 \times 10^{-2} \text{ MN} \Rightarrow Q_{ser} = 1,1 \times F_{ser} = 18,7 \times 10^{-2} \text{ MN}$$

➤ La charge horizontale (vent) :

$$M_{ser} = 8,63 \times 10^{-3} \text{ MN.m}$$

b. Dimensionnement de la semelle

$$\text{L'excentricité : } e_0 = \frac{M_{ser}}{Q_{ser}} = 0,046 \text{ m}$$

On fait intervenir l'effet du vent : $\sigma_s \leq 1,33 \sigma_{sol}$

$$\text{Tel que : } \sigma_s = \frac{2 \times Q_{ser}}{3 \times \left(\frac{b'}{2} - e_0 \right) \times b'}$$

D'après cette condition on trouve que : $b' = b'_{min} = 1 \text{ m}$

$$d \geq (1 - 0,37)/4 \Rightarrow d = 0,17 \text{ m}$$

c. vérification de la semelle de rive

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

$$M = 0,3 \times M_0$$

Tel que :

$$M_0 = 8,93 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$M = 2,679 \times 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$Q = 1,1 \times \left(\frac{13,54 + 2,08}{2} \times 10^{-2} + 1,38 \times 10^{-2} + 0,45 \times 0,37^2 \times 2,5 \times 10^{-2} \right) \\ = 10,29 \times 10^{-2} \text{ MN}$$

$$\text{L'excentricité : } e = \frac{M}{Q} = 0,2603 \text{ m}$$

Ce qui donne $a' = 1\text{ m}$

Donc ce moment est déjà équilibré par la semelle.

d. Calcul des armatures

Dans ce qui suit on utilise la méthode des bielles qui consiste à supposer que les charges appliquées aux semelles par les points d'appuis (mur ou poteau) sont transmises au sol par les bielles obliques, l'obliquité des ces bielles détermine à la base des semelles des efforts de traction qui doivent être équilibrés par des armatures.

Lorsque le pilier et la semelle sont entièrement comprimés à leurs bases et que la différence entre la contrainte maximale et la contrainte minimale est inférieure à la moitié de la contrainte moyenne σ_{moy} on peut utiliser la méthode des bielles, en remplaçant la charge réelle Q_{ser} par une charge fictive Q'_{ser} , c'est à dire la charge qui correspond à la contrainte σ_{moy} supposée uniformément répartie sur toute la surface de la semelle.

Avec :

$$\sigma_{\text{moy}} = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4}, \text{ et : } \sigma_1 = \frac{Q_{\text{ser}}}{b'^2} \left(1 + 6 \frac{e_0}{b'}\right)$$

$$\sigma_2 = \frac{Q_{\text{ser}}}{b'^2} \left(1 - 6 \frac{e_0}{b'}\right)$$

$$Q'_{\text{ser}} = b'^2 \times \sigma_{\text{moy}}$$

A.N :

$$\sigma_1 = 2,386 \times 10^{-1} \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 1,354 \times 10^{-1} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{moy}} = 2,128 \times 10^{-1} \text{ MPa}$$

La condition précédente est remplie, donc on peut appliquer cette méthode.

$$Q'_{\text{ser}} = 21,28 \times 10^{-2} \text{ MN}$$

$$\text{L'armature : } A_s = \frac{Q'_{\text{ser}} (b'-b)}{8 \times d \times \sigma_s} \quad [2]$$

$$= 4,11 \text{ cm}^2, \text{ soit } 6\text{Ø}10$$

$$h_1 = 12 \text{ cm}$$

6. Récapitulation

On donne les dimensions retenues pour chaque variante

□ Mur en terre banchée (semelle filante)

Epaisseur : 0,37m

Entre axe : 5m

Poteau :

$$\text{Section} = 0,2 \times 0,19 \text{ m}^2$$

$$A_s = A_{sc} = 10,65 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 2,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$S_t = 0,07 \text{ m}$$

Longrine :

$$\text{Section} = 0,37 \times 0,20 \text{ m}^2$$

$$A_s = A_{sc} = 2,36 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 1,13 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$S_t = 0,20 \text{ m}$$

Semelle :

$$b' = 0,70 \text{ m}$$

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

$$A_s = 4,52 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Armature de répartition} = 3,93 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

□ Mur en blocs de béton creux «Parpaing»

Epaisseur : 0,15m

Entre axe : 5,16m

Poteau :

$$\text{Section} = 0,25 \times 0,25 \text{ m}^2$$

$$A_s = 9,17 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 0,57 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$S_t = 0,20 \text{ m}$$

Poutre :

$$\text{Section} = 0,25 \times 0,35 \text{ m}^2$$

$$A_s = 4,62 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sc} = 2,36 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 0,57 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$S_t = 0,22 \text{ m}$$

Semelle :

$$b' = a' = 1,40 \text{ m}$$

$$h_t = 0,33 \text{ m}$$

$$A_s = 5,50 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$h_l = 0,12 \text{ m}$$

$$\text{Armature de répartition} = 5,50 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

□ **Mur en béton de terre stabilisée B.T.S**

Epaisseur : 0,14m

Entre axe : 5,16m

Les dimensions de la poutre et du poteau sont les mêmes que dans le cas de la maçonnerie en Parpaing.

Semelle :

$$b' = a' = 1,35\text{m}$$

$$h_t = 0,33\text{m}$$

$$A_s = 3,52 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$h_1 = 0,11\text{m}$$

$$\text{Armature de répartition} = 3,52 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

□ **Mur en béton armé**

Epaisseur : 0,15m

Entre axe : 5,16m

Les dimensions du poteau sont les mêmes que dans le cas de la maçonnerie en Parpaing.

Ferraillage du voile :

$$A_l = A_l' = 5\emptyset 10 / 1\text{ml}/\text{face} = 3,93 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{H\text{min}} = 5\emptyset 6 = 1,41 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / 1\text{ml}/\text{face}$$

Semelle :

$$b' = a' = 1,25\text{m}$$

$$h_t = 0,29\text{m}$$

$$A_s = 3,52 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$h_1 = 0,11\text{m}$$

$$\text{Armature de répartition} = 3,52 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

□ **Mur en terre banchée (semelle isolée)**

Epaisseur : 0,37m

Poutre :

$$\text{Section} = 0,37 \times 0,45 \text{ m}^2$$

$$A_s = 6,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sc} = 4,62 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 1,13 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$S_t = 0,30\text{m}$$

Semelle :

$$b' = a' = 1\text{m}$$


$$h_t = 0,20\text{m}$$

$$A_s = 4,71 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$h_1 = 0,10\text{m}$$

$$\text{Armature de répartition} = 4,71 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

E



tude

Comparative
des Coûts

Chapitre 5

1. INTRODUCTION

Ce chapitre présente une étude comparative des coûts de réalisation entre les différents systèmes que l'on a proposé. Cette comparaison portera uniquement sur les corps d'états spécifique à chaque système. Il s'agit des corps suivants :

- Terrassement,
- Infrastructure : béton armé,
- Superstructure : béton armé, mur de maçonnerie.

Pour ce faire, un devis quantitatif et estimatif sera établi pour chacun des quatre procédés.

Particulièrement pour le «Pisé » on procédera par 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.

Cette étude sera basée sur le rendement optimal obtenu au CNERIB lors de la réalisation d'un prototype en pisé.

2. HYPOTHESES RETENUES POUR LES CALCULS

2.1. Prix de revient d'un mètre carré réalisé en « B.T.S »

➤ Prix d'un bloc : $P_{\text{bloc}} = P_{\text{usine}} + P_{\text{trans}} = 5,57 + 1,43 = 7,00\text{DA}$

➤ Nombre de blocs dans un 1m^2 : 36 blocs (bloc $29,5 \times 14 \times 9$, mur de 14cm d'épaisseur).

En partant du prix unitaire du bloc(7,00DA) on aura le prix total des blocs dans 1m^2 de mur soit : $36 \times 7 = 252\text{DA}$.

➤ Moyen humain :

1maçon + 1ouvrier à raison de 700DA/Homme/Jour.
D'où : le coût de la main d'œuvre pour 1journée = 1400DA/j.

➤ Rendement journalier : 10m^2 pour un mur simple d'épaisseur 15cm.
Le prix unitaire de main d'œuvre : $140\text{DA}/\text{m}^2$.

➤ Prix du mortier nécessaire à la réalisation d'un mètre carré de mur :

- Le dosage du mortier d'hourdage est de : $250\text{kg CPA}/\text{m}^3$ de sable.
- Le volume total du mortier dans 1m^2 de mur est : $7 \times 10^{-3} \text{m}^3$.

Sachant que le mortier occupe environ 5% de volume dans 1m^2 de mur d'épaisseur14cm.

□ La quantité de ciment et de sable nécessaire à la préparation de $6,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ de mortier est de :

- Pour le ciment : $7 \times 10^{-3} \times 250 = 1,75 \text{ kg}$, (soit $\frac{3,5}{100}$ sac de ciment).
- Pour le sable : $7 \times 10^{-3} \times 1600 = 11,2 \text{ kg}$ de sable.

D'où le prix du mortier (somme du prix du sable et du ciment) est :

$$0,26 \times 11,2 + 280 \times 3,5 \times 10^{-2} = 13 \text{ DA} .$$

Prix de revient du m^2 de mur réalisé (main d'œuvre, matière première, frais divers non compris) :

$$140 + 252 + 13 = 405 \text{ DA} .$$

En ajoutant 10% de frais divers on aura :

$$405 + 40,5 = 445,5 \approx \mathbf{446 \text{ DA/m}^2} .$$

2.2. Terre banchée

Les hypothèses de calcul considérées dans notre cas sont :

□ Rendement de production :

Le rendement de production considéré est celui constaté lors de la réalisation du prototype CNERIB¹ soit : $0,84 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le temps comptabilisé, pour la réalisation d'une banche :

- Temps de malaxage₁ (fait par deux ouvriers à l'aide des pelles et pioches).
- Temps de mise en place de la banche (réglage et surcharge)
- Temps de remplissage et damage de la terre.
- Temps de desserrage et déplacement de la banche.

□ Coût terre :

La carrière de terre doit être située dans un rayon ne dépassant pas 30km. Le prix du m^3 de terre prélevée du site et chargée sur camion (y compris son transport) revient à : 104DA/ m^3 .

□ Coût main d'œuvre :

Une équipe de travail de 5 personnes réparties comme suit :

- * Poste de malaxage : 02 ouvriers non qualifiés.
- * Poste de banchage : 02 ouvriers non qualifiés et 01 maçon.

¹ La réalisation du prototype CNERIB est faite par un pisé stabilisé à raison de 70kg par m^3 de terre foisonnée soit 5% par rapport au poids pondéral de la terre.

L'ouvrier est rémunéré à raison de 700DA/jour.

Un jour de travail équivaut à 7 heures de travail.

Soit : 595DA/m³.

□ Coût matériel :

Un prix forfaitaire de 20DA/m³ (coffrage et dames)

Soit un total de : $104 + 595 + 20 = 719\text{DA/m}^3$.

➤ Frais divers :

En prenant 10% du coût total, soit : 72DA/m³.

Soit un ratio final de **791DA/m³**.

2.3. 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 0,37m.

On calcule le prix de revient d'un mètre carré réalisé en brique silico-calcaire 24×11,5×11,3 :

a. Mur de 11,5cm :

- Nombre de blocs dans 1m² : 33 blocs.
- Prix d'un bloc : 8DA
- Mortier : 172DA/m²
- Main d'œuvre : 175 DA/m²
- Frais divers : 10%

Soit un ratio de : 672,1DA/m².

b. Mur de 24cm :

- Nombre de blocs dans 1m² : 65 blocs.
- Mortier : 297DA/m²
- Main d'œuvre : 350 DA/m²
- Frais divers : 10%

Soit un ratio de : 1284DA/m².

Donc pour une épaisseur de 37cm : **1956,10 DA/m²**.

Pour le coffrage des poteaux :

* Coût bloc de terre (y compris sa mise en œuvre).

* Partant d'un prix d'achat de 7DA l'unité et d'une équipe constituée d'un (01)ouvrier non qualifié et d'un (01) maçon, et réalisant (un poteau/jour)

On obtient : **482 DA/m²** (mur de 9cm d'épaisseur).

2.4. Prix de revient d'un mètre carré réalisé en Parpaing de 40×20×15

Soit : **781 DA/m²**

3. EVALUATION DU COUT DU MUR

Dans les tableaux 1,2,3,4 et 5 ceux ci-dessous sont donnés, par poste de travail, les quantités, le prix unitaire de chaque tâche et en fin l'estimation globale de notre mur en terre banchée(semelle filante), en B.T.S, en Parpaing, en béton armé, en terre banchée 1(semelles isolées).

Désignation	U	Quantités	P.U	Montant (DA)
I. Terrassements :				
Fouilles en tranchée pour les semelles filantes.	m ³	173,66	125	21707,50
Remblais des fouilles	m ³	59,70	142	8477,40
Transport à la décharge publique	m ³	113,96	283	32250,68
II. Infrastructure :				
Béton de propreté sous semelle filante dosé à 250kg/m ³	m ³	7,24	4677	33861,48
Béton armé pour longrine et demi poteaux dosés à 350 kg/m ³	m ³	37,45	16013	599686,85
Maçonnerie en bloc de B.S.C (épaisseur 0,37m)	m ²	61,73	1956,1	120750,05
III. Superstructure :				
Béton armé pour poteaux	m ³	5,57	22318	124311,26
Maçonnerie en blocs B.T.S pour le coffrage des poteaux (épaisseur 0,09m)	m ²	167,03	482	80508,46
Maçonnerie en Pisé	M ³	251,06	791	198588,46

Tableau.5.1. : Evaluation des coûts pour le mur en terre Pisé.

Désignation	U	Quantités	P.U	Montant (DA)
I. Terrassements :				
Fouilles en puits 1,45×1,45.	m ³	90,83	233	21163,39
Remblais des fouilles	m ³	69,66	142	9891,72
Transport à la décharge publique	m ³	21,17	283	5991,11
II. Infrastructure :				
Béton de propreté.	m ³	3,78	4677	17679,06
Béton armé pour semelle isolée dosé à 350 kg/m ³	m ³	12,91	11840	152854,40
III. Superstructure :				
Béton armé pour poteaux	m ³	10,42	22318	232553,56
Béton armé pour poutre et chaînages horizontaux	m ³	15,83	22318	353293,94
Mur simple en BTS de 0,14m d'épaisseur.	m ²	715,10	446	318934,60

Tableau. 5.2 : Evaluation des coûts pour le mur en BTS.

Désignation	U	Quantités	P.U	Montant (DA)
I. Terrassements :				
Fouilles en puits 1,50×1,50.	m ³	97,20	233	22647,60
Remblais des fouilles	m ³	72,91	142	10353,22
Transport à la décharge publique	m ³	24,29	283	6874,07
II. Infrastructure :				
Béton de propreté.	m ³	4,05	4677	18941,85
Béton armé pour semelle isolée dosé à 350 kg/m ³	m ³	14,55	11480	172272,00
III. Superstructure :				
Béton armé pour poteaux	m ³	10,42	22318	232553,56
Béton armé pour poutres et chaînages horizontaux	m ³	15,83	22318	353293,94
Mur simple en Parpaing de 15cm	m ²	715,10	781	558493,10
Enduit en ciment.	m ²	715,10	380	271738,00

Tableau.5.3. : Evaluation des coûts pour le mur en Parpaing.

Désignation	U	Quantités	P.U	Montant (DA)
I. Terrassements :				
Fouilles en puits 1,35×1,35	m ³	78,73	233	18344,09
Remblais des fouilles	m ³	60,11	142	8535,62
Transport à la décharge publique	m ³	18,62	283	5269,46
II. Infrastructure :				
Béton de propreté	m ³	3,28	4677	15340,56
Béton armé pour semelle isolée dosé à 350 kg/m ³	m ³	10,08	11840	119347,20
III. Superstructure :				
Béton armé pour poteaux	m ³	10,53	22318	235008,54
Béton armé pour longrine	m ³	15,83	16013	253485,79
Béton armé pour voiles	m ³	107,27	22318	2394051,86

Tableau.5.4 : Evaluation des coûts pour le mur en béton armé.

Désignation	U	Quantités	P.U	Montant (DA)
I. Terrassements :				
Fouilles en puits 1,1×1,1	m ³	53,72	233	12516,76
Remblais des fouilles	m ³	38,65	142	5488,3
Transport à la décharge publique	m ³	15,07	283	4264,81
II. Infrastructure :				
Béton de propreté.	m ³	2,24	4677	10476,48
Béton armé pour semelle isolée dosé à 350 kg/m ³	m ²	9,07	11840	107388,8
III. Superstructure :				
Béton armé pour poteaux	m ³	5,57	22318	124311,26
Maçonnerie en blocs B.T.S pour le coffrage des poteaux (épaisseur 0,09m)	m ²	167,03	482	80508,46
Béton armé pour poutre	m ³	30,11	22318	671994,98
Maçonnerie en pisé	m ²	251,06	791	198588,46

Tableau. 5.5 : Evaluation des coûts pour le mur en terre Pisé 1.

4. COMPARAISON DES COÛTS

Le tableau.5.6 donne les comparaisons en coûts des différents procédés étudiés. Cette comparaison est faite par rapport au procédé traditionnel (Parpaing).

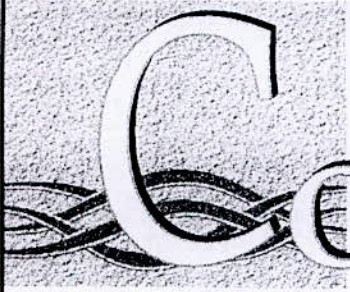
Désignation des ouvrages	coûts						Différence DA						%			
	Mur en Pisé	Mur en parpaing	Mur en BTS	Mur en béton armé	Mur en terre Pisé	Mur en terre Pisé	Mur en BTS	Mur en B.A	Mur en terre Pisé	Mur en terre Pisé	Mur en terre Pisé	Mur en BTS	Mur en B.A	Mur en terre Pisé	Mur en terre Pisé	
Terrassement	62435,6	39874,9	37046,2	32149,2	22269,9	+22560,7	-2828,7	-7725,7	-17605,0	+57	-7	-19	-44			
Infrastructure	754298,4	191213,9	170533,5	134687,8	117865,3	+563084,1	-20680,4	-56526,1	-73348,6	+294	-11	-30	-38			
Superstructure	403408,2	1416078,6	904782,1	2882546,2	1075403,2	-1012670,4	-511296,5	+14664667,6	-340675,4	-72	-36	+104	-24			
Total	1220142,1	1647167,3	1112361,8	3049383,1	1215538,3	-427025,2	-534805,6	+1402215,8	-431629,0	-26	-32	+85	-26			

Tableau.5.6 : Comparaison des coûts.


Après examen du tableau comparatif ci-dessous, il ressort qu'une économie globale maximale de 32% a été enregistrée dans le cas d'un mur en B.T.S par rapport au procédé traditionnel (mur en Parpaing).

Ce gain se répartit comme suit :

- Une économie importante d'environ 36% à été réalisée sur la partie de superstructure.
 - La maçonnerie en B.T.S nécessite peu de mortier d'hourdage par rapport à la construction traditionnelle (maçonnerie en Parpaing).
 - Au contraire de la maçonnerie en Parpaing, la maçonnerie en B.T.S n'est pas revêtue.
- Une économie de 11% à été réalisée au niveau de fondation.
 - Dans le dimensionnement des fondations on a tenu compte de l'effet du vent qui est apparu très grand par rapport au poids propre du mur. Le poids propre du mur en Parpaing est plus petit que celui du mur en B.T.S.
- D'après les même motifs, une économie de l'ordre de 7% peut être largement réalisée au niveau du terrassement.



Conclusion Générale



CONCLUSION GENERALE.

Le dimensionnement de l'écran projeté a été effectué en utilisant deux méthodes :

La méthode de PARKIN et HUMPHREYS, qui est analytique et programmable et donne des hauteurs d'écrans assez économiques, mais qui n'assure pas une sécurité totale.

La méthode de KURZE et ANDERSON qui est graphique et qui assure une très bonne sécurité mais au détriment de l'économie, c'est cette méthode qui a été retenue dans notre étude.

Une étude technico-économique faite sur les matériaux de construction, nous a montré que les écrans en terre banchée et en blocs de terre stabilisée sont les plus économiques, et ils possèdent de bonnes performances fonctionnelles. Il est important de souligner que le mur en terre banchée est plus lourd donc nécessite une infrastructure plus importante du point de vue dimensionnel.

Des études ultérieures utilisant différentes techniques de mesure du bruit et d'évaluation du débit routier seraient très intéressantes.

Les résultats obtenus qui sont tout à fait utiles néanmoins pourraient s'en trouver modifiés.

Néanmoins, un premier constat permet d'affirmer qu'en l'absence d'une réglementation technique algérienne vis à vis de l'isolation acoustique des constructions, et d'un vide juridique qui l'accompagne, il est nécessaire d'attirer l'attention des responsables sur le phénomène du bruit et ses dangers, de susciter l'intérêt de la communauté universitaire pour ce type de travaux et de sensibiliser l'opinion publique sur cette pollution impalpable.

Une isolation efficace et au moindre coût nécessite la connaissance des matériaux disponibles c'est à dire locaux, d'où l'intérêt de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.CHIKH, notes de cours, «**les Fondations** »
E.N.P. 1999
- [2] A.FUENTES, «**Calcul Pratique des Ossatures de Bâtiments en Béton Armé** »
Editions Eyrolles 1983.
- [3] BULLETIN DES LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSEE
-182- novembre, décembre 1992-.3691. Page94.
- [4] C.ROUGERON, «**L'isolation Acoustique et Thermique dans le Bâtiment** »
Editions Eyrolles 1979.
- [5] DTR, «**Conception et Calcul des Maçonneries** »
CNERIB 1998
- [6] ENCYCLOPEDIE DU BATIMENT, «**Acoustique** »
Cahier 20, Edition WEKA. Paris 1995
- [7] Groupe de Coordination des Textes Techniques, «**Règles Neige et Vent 65** »
Editions Eyrolles NV65.
- [8] H.DUTHU, «**La Technique du Bâtiment "Tous Corps D'état"** »
D.MONTHARRY Editions le Moniteur. Paris 1999.
M.PLATZER
- [9] J.G.MIGNERON, «**Acoustique Urbaine** »
Editions MASSON1980.
- [10] L.HAMAYON, «**Guide D'acoustique pour la Conception des Bâtiments D'habitation** » Editions Moniteur1982.
- [11] M.BELAZOUGUI, «**Calcul des Ouvrages en Béton Armé** »
Alger OPU 1986.
- [12] M.MEISSER, «**La Pratique de L'acoustique dans le Bâtiment** »
Editions Eyrolles 1974.
- [13] P.CHARON, «**Calcul des Ouvrages en Béton Armé Suivant les Règles B.A.E.L83** »
Editions Eyrolles 1986.
- [14] P.LIENARD, «**Acoustique Industrielle et Environnement 1** »
P.FRANCOIS Editions Eyrolles 1983.
- [15] R.BOUTEMEUR, notes de cours, «**Béton Armé** »
E.N.P 2000.
- [16] RECOMENDATION TECHNIQUE POUR LES OUVRAGES DE PROTECTION
CONTRE LE BRUIT France 1978
- [17] R.JOSSE, «**Notions D'acoustique à L'usage des Architectes, Ingénieurs,
Urbanistes** » Editions Eyrolles 1977.
- [18] R.VEDEILHIE, «**L'acoustique Elémentaire dans le bâtiment** »
DUNOD 1967.
- [19] TECHNIQUES DE L'INGENIEUR, «**Plaques minces élastiques** »
A 310.

Annexes

NOTIONS ELEMENTAIRES D'ACOUSTIQUE

A. DEFINITION [8], [6]

Le son est une sensation auditive engendrée par une onde acoustique. Tout corps vibrant dans l'air émet un son. Cette vibration se propageant dans les milieux matériels et excitant l'organe de l'ouïe.

Le terme son se rapporte à deux événements liés :

- * La vibration d'un milieu élastique, l'air ; vibration qui se propage jusqu'à l'oreille.
- * La sensation auditive qui résulte de cette vibration.

Dans un fluide ou un gaz, cette vibration mécanique se traduit en tout point par une vibration de pression (figure.1) autour de la pression qui correspond à l'équilibre mécanique de milieu.

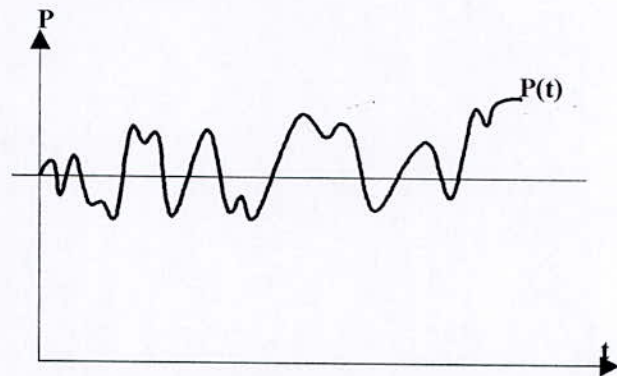


Figure.1 : Pression en un point en présence d'une source sonore

B. ASPECT PHYSIQUE

1. Pression acoustique [8], [6],[17]

La pression acoustique est la différence entre la pression atmosphérique et la pression de l'air en présence d'onde sonore. Cette pression varie d'un instant à l'autre, c'est une fonction de temps t .

P_0 : pression atmosphérique, de l'ordre de 10^5Pa (1bar)

Bien souvent la connaissance exacte de la fonction $P(t)$ est superflue et l'on se contente alors de la connaissance de la valeur quadratique moyenne.

$$* \overline{p^2}(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} p^2(x,t) dt = \frac{A^2}{2}, \text{ Onde plane.}$$

$$* \overline{p^2}(x) = \frac{A^2}{2r^2}, \text{ Onde sphérique.}$$

Où A est l'amplitude maximale.

2. Fréquence [8]

En un point, sous l'action d'une onde, la pression de l'air fluctue autour d'une pression d'équilibre : la pression atmosphérique.

Le nombre de fluctuations par seconde est la «fréquence», elle s'exprime en hertz (HZ) et se note F . la fréquence d'un son est la même que la fréquence de vibration de la source émettrice.

3. Célérité du son [17], [6]

C'est la vitesse avec laquelle les ondes acoustiques se propagent. Elle exprime le rapport entre la distance séparant deux points de l'espace et le temps nécessaire pour que la vibration mécanique se propage d'un point à l'autre.

- Dans les milieux solides cette célérité dépend du module d'élasticité E et de la masse volumique ρ du milieu de propagation : $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$.

Mais dans les fluides cette célérité ne dépend que la pression atmosphérique, P_0 et de la masse volumique ρ_0 de l'air : $c = \sqrt{\frac{1,4P_0}{\rho_0}}$, (formule de Laplace).

- Les variations de la température ont une nette influence sur ρ_0 et par suite sur c :
 $c = 20\sqrt{T}$, T : étant la température.

4. Intensité acoustique [17], [6]

C'est la quantité d'énergie sonore traversant à chaque seconde et en un point quelconque, une surface élémentaire perpendiculaire à la direction de propagation. Elle est égale au produit de la pression acoustique instantanée par la vitesse acoustique instantanée des particules :

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T P \times V \times dt$$

Elle est exprimée en watts par mètre carré (w/m^2).

- Dans le cas d'une onde plane : $I = \frac{P^2}{\rho \times c}$

- Dans le cas d'une onde sphérique : I converge vers $\frac{P^2}{\rho \times c}$ quand r devient très grand.

Et l'intensité totale traversant une surface sphérique entourant la source à la distance r est : $I = \frac{P}{4\pi r^2}$.

Où P est la quantité d'énergie libérée par la source sonore, rapporté à l'unité du temps. Elle est dénommée Puissance acoustique de la source exprimée en watts.

5. Les niveaux sonores [6]

Il est plus pratique d'utiliser, pour exprimer la grandeur d'une pression et d'une intensité acoustique, des valeurs logarithmiques plutôt que les grandeurs physiques (pascal, w/m^2).

5.1. Niveau de pression acoustique

Le niveau de pression acoustique d'un son ou d'un bruit est :

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2}$$

Il s'exprime en décibels dB.

Dans laquelle :

p : pression acoustique due à l'onde sonore.

p_0 : pression acoustique de référence, par convention $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Les niveaux de pression de la plupart des sons se situent dans les limites de 20 à 120 décibels environs (tableau .1)

• 20 à 30 dB	Correspondent à une ambiance très silencieuse
• 30 à 50 dB	Appartement calme
• 50 à 70 dB	Appartement ou bureau avec conversation et music
• 70 à 90 dB	Trafic automobile dans les rues
• 90 à 110 dB	Usine bruyante
• 110 à 120 dB	Moteurs très puissants, avions proctes

5.2. Niveau d'intensité acoustique

Le niveau de l'intensité acoustique d'un son ou d'un bruit, dans une direction donnée, est défini par :

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Où : I : est l'intensité acoustique du son ou du bruit, suivant la direction considérée.
 I_0 : est une intensité de référence égale à 10^{-12} w/m².

REMARQUE :

Dans certaines conditions particulières [températures très éloignées de 20°C], en admettant que $\frac{I}{I_0} \cong \frac{P^2}{P_0^2}$ pour faciliter le calcul, L_I devient égal d'après ces conditions à L_p .

5.3. Niveau de puissance

Le niveau de puissance acoustique d'une source sonore, en décibels est :

$$L_w = 10 \log \frac{P}{P_0}$$

Dans laquelle : P : la puissance acoustique de la source exprimée en watts
 P_0 : la puissance acoustique d'une source de référence égale à 10^{-12} watts

REMARQUE :

Le niveau d'intensité acoustique L_I est lié au niveau de puissance L_W de cette source sonore et à la distance qui la sépare du point de mesure par la relation :

$$L_P \cong L_I = L_W + 10 \log \frac{1}{4\pi r^2}$$

6. Addition des niveaux sonores [8]

Lorsque deux ou plusieurs sources fonctionnent simultanément, le calcul mental de la somme de ces niveaux sonores n'est pas aisé.

En effet, ce sont les intensités acoustiques (ou les carrés de pressions) qui s'ajoutent arithmétiquement, et non pas les niveaux en décibels.

Soient L_{P1} et L_{P2} les niveaux de pression acoustique de deux sources sonores.

Par définition : $L_{P1} = 10 \log \frac{P_1^2}{P_0^2}$, $L_{P2} = 10 \log \frac{P_2^2}{P_0^2}$

Le niveau L_P résultant du fonctionnement des deux sources est tel que :

$$L_P = 10 \log \frac{P_1^2 + P_2^2}{P_0^2}$$

Il est plus commode d'utiliser l'abaque (figure-2) qui donne la valeur à ajouter au niveau sonore le plus élevé en fonction de la différence des niveaux sonores initiaux

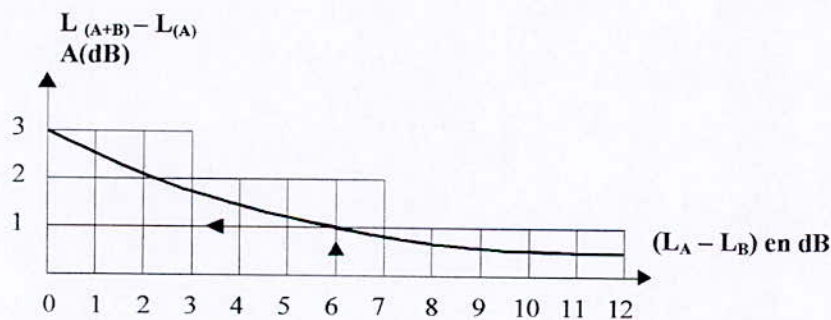


Figure.2 : Diagramme pour la composition des niveaux de bruit.

C. ASPET PHYSIOLOGIQUE [8]

Le décibel est une unité trop objective, et la mesure du niveau sonore ne correspond pas tout à fait à la sensation auditive de l'oreille humaine.

L'oreille transforme les pressions acoustiques reçues en sensation auditives par l'intermédiaire d'un mécanisme très complexe dont la sensibilité est limitée. Elle ne perçoit pas de la même façon toutes les fréquences.

L'oreille humaine normale ne peut entendre les sons de fréquences inférieures à 20HZ (infrasons) et supérieures à 15000HZ (ultrasons). Entre ces deux fréquences (zone d'audibilité), la sensation varie en fonction de la fréquence.

Seuil d'audibilité et seuil de douleur

-Le seuil d'audibilité est la valeur minimale du niveau de pression acoustique susceptible de provoquer une sensation auditive (elle correspond à une pression acoustique de 2×10^{-5} Pa).

-Le seuil de la douleur est la valeur du niveau de pression acoustique au-delà de laquelle apparaît la sensation de la douleur (elle correspond à une pression acoustique de 20pa).

La différence de sensibilité de l'oreille en fonction des fréquences varie selon les niveaux sonores. Elle est maximale pour les niveaux faibles et s'atténue pour les niveaux moyens et forts.

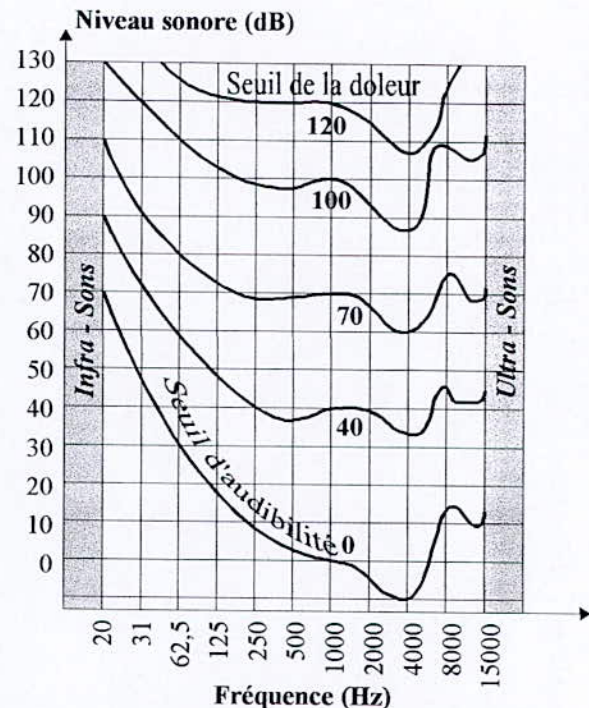


Figure. 3 : Courbes schématisant la sensibilité d'une oreille humaine

Le phone [9]

Les impressions subjectives de l'oreille à la fréquence de 1000Hz sont bien traduites par le décibel. Car les niveaux physiques et les niveaux physiologiques coïncident à cette fréquence.

Le niveau auditif d'un son de fréquence quelconque, mesuré en phones, étant égal au niveau de pression acoustique, exprimé en décibels, d'un son de 1000Hz qui donnerait la même impression d'intensité à l'auditeur.

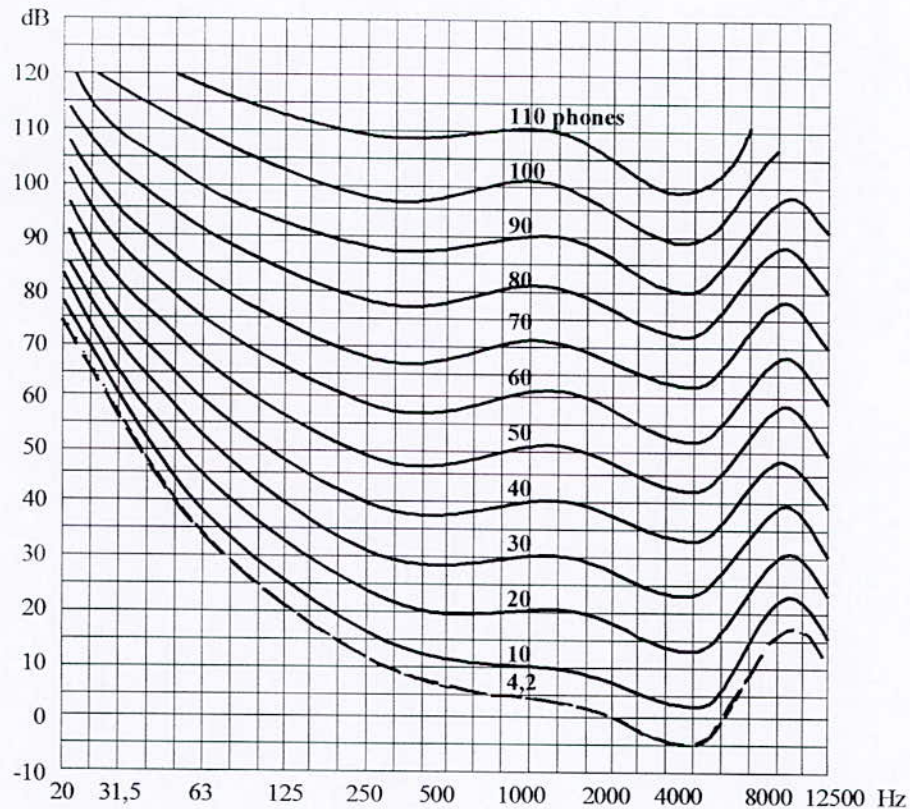


Figure. 4 : Lignes isoniques normales.

Niveau de pression acoustique pondéré [6]

Le sonomètre muni d'un microphone est de sensibilité constante, quelle que soit la fréquence. Et le niveau sonore or, nous l'avons vu précédemment, il n'en est pas de même pour la sensibilité de l'oreille. Pour obtenir ; à l'aide d'un sonomètre une valeur représentative du niveau physiologique, il faut introduire des filtres qui reproduisent sensiblement les courbes d'égales sensation de l'oreille. Les courbes représentant les corrections apportées par les filtres, en fonction des fréquences sont appelées «*courbes de pondération*». Nous ne retiendrons que les trois principales

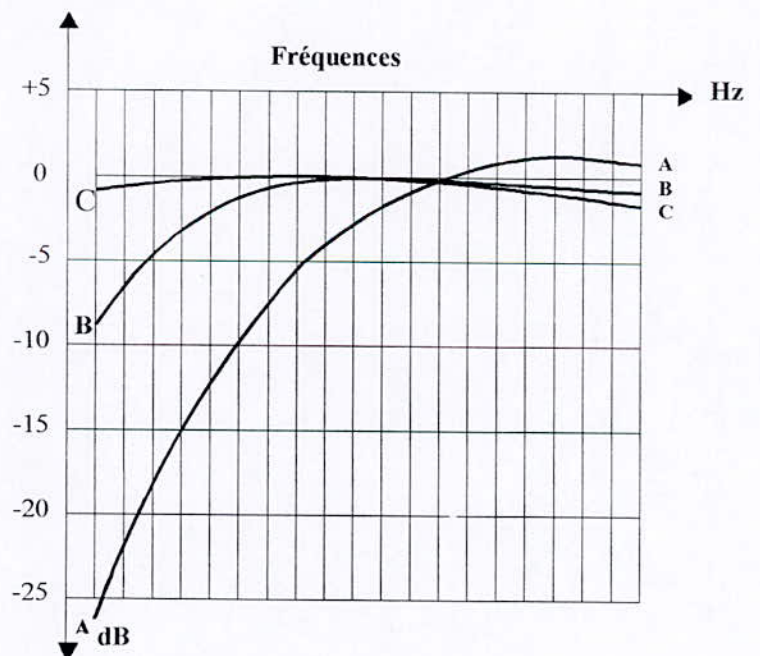


Figure.5 : Courbes de pondération des filtres A, B, et C.

Filtre A : Correspond au comportement de l'oreille pour les niveaux sonores compris Entre 0 et 55 dB

Filtre B : Correspond au comportement de l'oreille pour les niveaux sonores compris entre 55 et 85 dB

Filtre C : Correspond au comportement de l'oreille pour les niveaux sonores supérieurs à 85dB

L'utilisation de ces filtres conduit à la définition de niveaux de pression acoustiques pondérés, exprimé en décibel A, décibel B ou décibel C. qui peuvent pour un même bruit présenter de grandes différences, spécialement dans les composantes graves. Dans la pratique, seule décibel A est maintenant utilisé.

D. Analyse des bruits

1. **Son pur** lorsque la variation de pression acoustique est une fonction sinusoïdale du temps, le bruit coïncide avec un son pur.

2. **Son composé** un son composé est constitué de son pur isolés.

3. **Bruit** est le mélange complexe de son de fréquences différentes.

4. **Spectre** l'outil le plus important utilisé pour analyser les bruits est le »spectre« qui est la courbe de variation du niveau de pression acoustique en fonction de la fréquence. (figure.6)

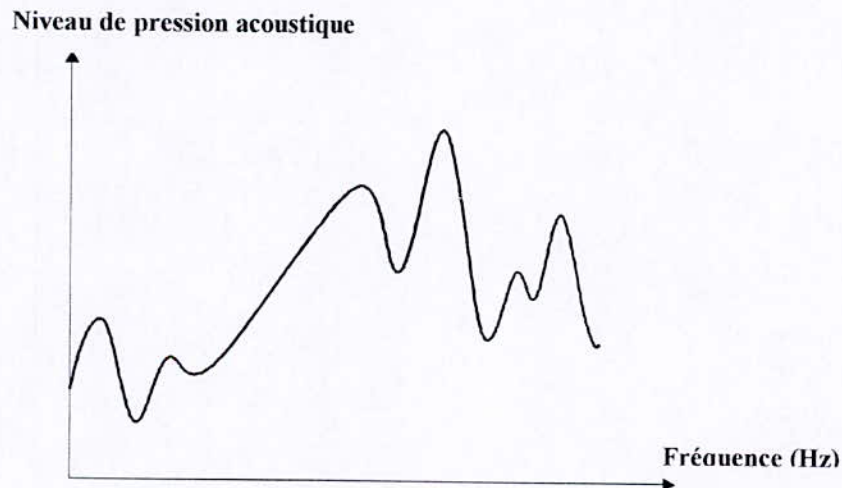


Figure.6 : spectre sonore

6. Bandes de fréquences [8]

Une analyse du niveau de pression acoustique serait trop longue à faire à toutes les fréquences. Dans la pratique, on utilise des filtres qui permettent la mesure par bande de fréquence. Généralement, on retiendra les largeurs de bandes d'une octave ou d'un tiers d'octave.

L'octave est l'intervalle entre deux fréquences telles que l'une est la double de l'autre ; par exemple, l'intervalle 200 – 400 Hz. Une bande d'octave peut se diviser en trois bandes de tiers d'octave.

Les bandes d'analyses ont été normalisées, dans le bâtiment, on s'intéresse généralement aux fréquences comprises entre la bande d'octave centrée sur 125 Hz et celle centrée sur 4000 Hz.

6. Spectres normalisés Pour traiter les problèmes d'isolation acoustique, on utilise des spectres normalisés appelés également spectres de références.

- **Bruit blanc** $L_p = \text{constante}$ dans chaque bande d'octave, en filtrant en largeur constante ($\Delta f = \text{constant}$)
- **Bruit rose** $L_p = \text{constant}$ dans chaque bande d'octave, en filtrant en largeur relative constante ($\frac{\Delta f}{f} = \text{constante}$).
- **Bruit route** bruit de circulation (figure.8).

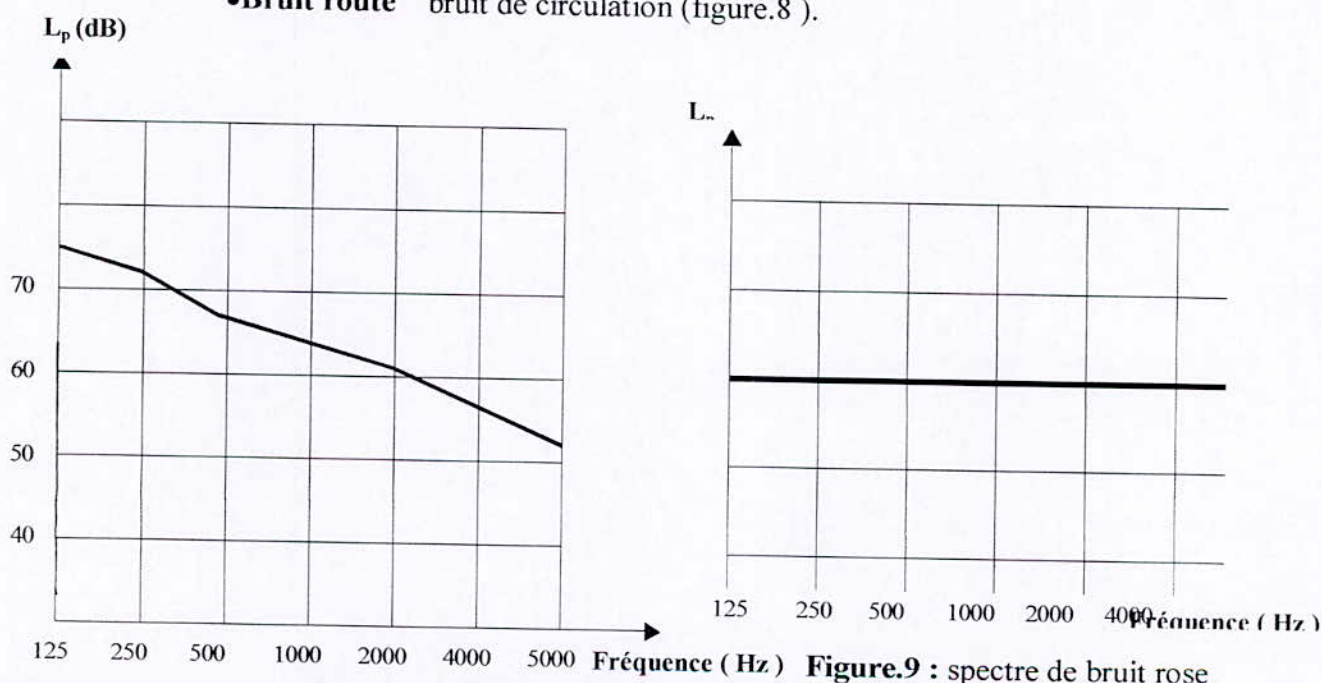


Figure. 8 : spectre de bruit de circulation automobile analysé par bandes d'octave.

Figure.9 : spectre de bruit rose

Remarque:

Dans le domaine du bâtiment on s'intéresse à deux types de bruit : le bruit rose et le bruit routier ; le bruit rose concerne principalement l'intérieur du bâtiment et le bruit routier simule les bruits émis par le trafic routier.

7-Spectre son et niveau global en dB(A)

On a vu que pour identifier un bruit, il fallait l'analyser en mesurant le niveau de pression acoustique en dB dans chacune des bandes de fréquence considérées. Or pour caractériser une gêne, il suffit de connaître le niveau sonore global en dB(A) du bruit perturbateur. L'analyse spectrale permet de présenter le bruit étudié en fonction de

la fréquence, alors que la mesure en dB(A) ne définit le bruit que par un seul chiffre tenant compte de toutes les fréquences et représentatif de la sensibilité de l'oreille.

Calcul du niveau global en dB(A)

Considérons le spectre de bruit par bandes d'octaves suivant :

Fréquences médianes des bandes d'octaves en Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau de pression acoustique en Hz	87	86	82	81	79	73
Pondération du filtre A	-15,5	-8,5	-3	0	+1	+1

Pour obtenir le niveau global en dB(A), il faut faire la «somme» des niveaux pondérés A c'est à dire calculer :

$$(87-15,5)+(86-8,5)+(82-3)+(81+0)+(79+1)+(73+1)$$

$$=71,5+77,5+81+74$$

On utilise le diagramme de la figure (2)

$$71,5+77,5=77,5+0,9=78,4 \text{ dB}$$

$$78,4+79 =79+2,7 =81,7 \text{ dB}$$

$$81,7+80 =81,7+2,2 =83,9 \text{ dB}$$

$$83,9+81 =83,9+1,9 =85,8 \text{ dB}$$

$$85,8+74 =85,8+0,4 =86,2 \text{ dB(A)}.$$

Les mesures acoustiques ne faisant pas au décibel près, le résultat est arrondi 86 dB(A).

Remarque :

Les niveaux de pression acoustique obtenus par l'analyse en tiers d'octave sont toujours plus fiables que le niveau de pression acoustique par bandes d'octave.

LES PHENOMENES DE TRANSMISSION DU SON PAR LES PAROIS.

Le son se propage et occupe l'espace. Il se transmet d'un milieu à un autre, jusqu'au point d'écoute où se trouve l'observateur. Au cours de sa propagation, le son se transforme et se déforme. Ces deux aspects impliquent d'évidence deux modes d'intervention : éliminer ou atténuer les bruits gênants et les sons parasites, restituer la qualité des sons utilisés.

I-TRANSMISSION DE BRUIT

I-1-BRUIT AERIEN

L'énergie vibratoire que la source cède au milieu aérien ambiant est en partie dissipée sous forme de chaleur, en partie transportée jusqu'au point d'écoute ou jusqu'au milieu limitant paroi, plancher, etc... On appelle bruit aérien le bruit produit par une source sonore dont toute l'énergie acoustique est transmise uniquement à l'air qui l'entoure.

I-2-BRUIT SOLIDIEN

On appelle bruit solidien un bruit qui résulte de la transmission d'énergie acoustique par une source sonore à un matériau solide - une paroi, par exemple- avec laquelle elle est en contact. Les bruits solidiens constituent des sources d'émission aérienne, mais ils se propagent également sous forme vibratoire, à d'autres milieux solides dont cette paroi est solidaire.

II-LE BRUIT AERIEN ET LES PAROIS

L'interposition d'un écran entre une source sonore et un lieu de réception modifie la propagation de l'onde sonore. Une partie de l'onde est réfléchi par l'écran, une autre absorbée.

Par ce même écran, une autre transmise vers le lieu de réception, une dernière enfin est diffractée. Parfois l'onde réfléchi perturbe le voisinage, on peut pour cela renvoyer l'onde réfléchi vers des zones non sensibles (vers le ciel par exemple) ou bien encore créer des écrans très absorbants.

II-1- ISOLATION ACOUSTIQUE

L'isolation est l'ensemble des techniques et procédés mis en œuvre pour obtenir l'isolement acoustique recherché.

□ **Réflexion et transmission**

Lorsqu'une onde sonore rencontre une paroi séparant deux milieux non absorbants :

- une partie de l'énergie se réfléchit.
- une partie pénètre dans le second milieu (onde transmise).

Par principe de conservation de l'énergie, en affectant l'indice 1 au milieu de l'onde incidente et l'indice 2 au milieu de l'onde transmise, on a :

$$\frac{p_r^2}{\rho_1 c_1} + \frac{p_t^2}{\rho_2 c_2} = \frac{p_i^2}{\rho_1 c_1}$$

On définit deux rapports qui seront essentiels dans l'isolation acoustique :

$$\text{Coefficient de réflexion : } r = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$$

$$\text{Coefficient de transmission : } \tau = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4n}{(n+1)^2}$$

$$\text{Avec } n = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2}$$

Important :

En réalité l'énergie de l'onde sonore transmise est très faible. Mais pratiquement les obstacles étanches placés sur les chemins de propagation du son ne peuvent pas en général l'arrêter complètement. Ceci est dû à l'influence des variations de pression à sa surface. La paroi peut se déplacer et se déformer dans son ensemble. Elle transmet son mouvement à l'air qui l'entoure.

□ **Isolement acoustique**

C'est le résultat de l'isolation. Pour un mur ou une cloison il est défini comme la différence entre le niveau de bruit du côté de l'émission et du côté de la réception devant être protégé du bruit. Il s'exprime en décibels.

L'isolement acoustique ne dépend pas seulement de l'aptitude d'une paroi séparatrice à isoler un milieu (émission) d'un autre (réception) mais aussi des diverses techniques de mise en œuvre.

Dans ce qui suit on ne prend pas en compte les transmissions latérales.

* **L'indice d'affaiblissement acoustique " R " [6]**

La capacité isolante intrinsèque d'une paroi est appelée indice d'affaiblissement acoustique. Il est mesuré uniquement en laboratoire et ne prend en compte que la transmission directe. On le calcule par la relation :

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad , \quad R \text{ s'exprime en dB(A).}$$

* **L'effet de masse, fréquence, étanchéité**

Pour ce qui suit on suppose que notre paroi est simple et étanche :

• **La théorie de la loi de masse et de fréquence**

Le niveau sonore ainsi rayonné est d'autant plus faible que la paroi est lourde. L'indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi lourde est donc plus élevé que celui d'une paroi légère ; c'est la loi de masse.

Le niveau sonore rayonné est d'autant plus faible que la fréquence est élevée. Donc l'indice d'affaiblissement d'une paroi augmente avec la fréquence ; c'est la loi de fréquence.[8]

Les calculs théoriques montrent que lorsqu'une paroi simple est soumise à des ondes planes arrivant en incidence normale, l'indice d'affaiblissement acoustique est donné par :

$$R=20 \log \frac{\omega m_s}{2 \rho c}$$

Avec : ω pulsation du mouvement oscillant.
 m_s masse spécifique de la paroi.

La théorie montre que l'indice d'affaiblissement R croît de 6 dB par doublement de la masse surfacique d'une paroi donnée ou par doublement de la fréquence. la représentation graphique de cet indice théorique est donc une droite ayant une pente de 6 dB par octave (figure.10).

• Fréquence critique

Dans la réalité, une paroi est attaquée par une infinité d'ondes planes arrivant sous différents angles d'incidence. Elles donnent naissance dans la paroi à des ondes libres, appelées ondes de flexion.

À une certaine fréquence, le mouvement vibratoire de la paroi suit celui de l'onde incidente ; se produit alors un phénomène de résonance qui accentue considérablement la transmission de l'énergie sonore par la paroi. À cette fréquence, dite fréquence critique, l'indice d'affaiblissement acoustique diminue considérablement.

Quand l'onde sonore arrive sous l'angle d'incidence θ , la coïncidence se produit à la fréquence :

$$f_c = \frac{c^2}{1.9 \cdot e \cdot C_L \cdot \sin^2(\theta)}$$

tel que :

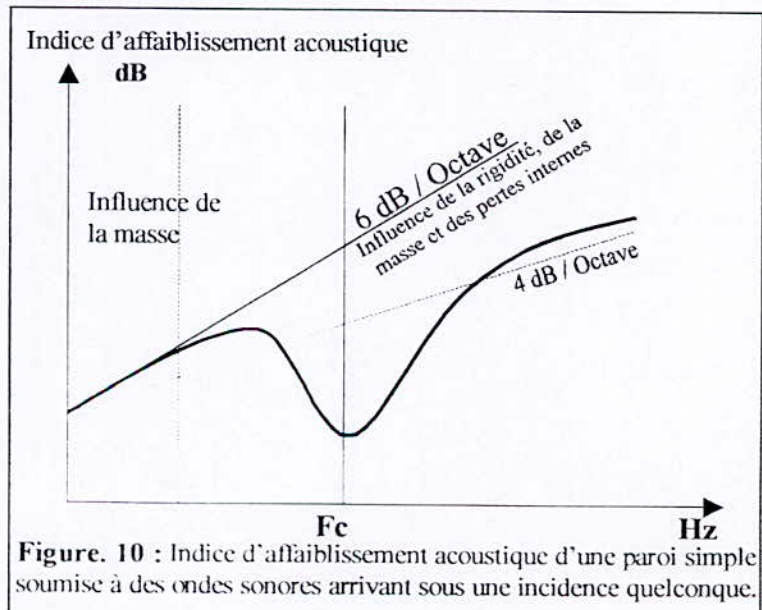
$$C_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

est la célérité longitudinale des ondes sonores dans le matériau.

c : la célérité longitudinale des ondes sonores dans l'air.

e : l'épaisseur de la paroi.

Il est important de choisir le matériau ou l'épaisseur de telle sorte que la première fréquence de coïncidence (pour $\theta = 90^\circ$) soit en dehors de la zone sensible. Cela peut être obtenu en diminuant par exemple l'épaisseur de la paroi ou en choisissant un matériau plus rigide. En dessous de la fréquence critique, la paroi suit la loi de fréquence théorique, soit une pente de 6 dB par octave. (Figure.10).



• Loi de masse expérimentale

De nombreuses mesures, réalisées en champ diffus, ont montré que l'indice R augmente seulement de 4 dB quand on double la masse surfacique de la paroi ou quand on double la fréquence. On peut retrouver approximativement cette pente en traçant la droite moyenne de l'indice d'affaiblissement R en fonction de la fréquence (droite en pointillé sur la figure.10).

Pour globaliser en une seule valeur l'isolement d'une paroi, il convient de tenir compte de la sensibilité différentielle de l'oreille humaine. C'est pourquoi on mesure et on calcule un isolement global pondéré en l'appliquant l'affaiblissement de filtre A.

Pour une source de bruit rose (ou route) à l'émission et à partir de la variation de l'indice R en fonction de la fréquence, on peut calculer l'indice d'affaiblissement global pondéré R_g . Deux droites, donnent R en dB (A) en fonction de la masse surfacique de la paroi (figure.11). C'est la loi de masse expérimentale.

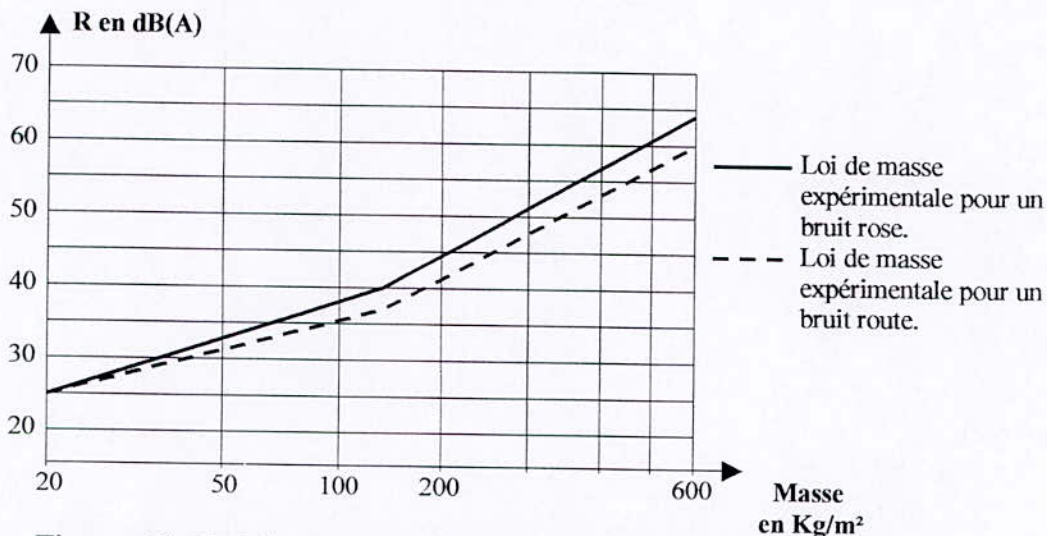


Figure. 11 : Loi de masse expérimentale pour R en dB(A)

• L'effet de l'étanchéité

Nous avons supposé précédemment que les parois n'étaient pas poreuses. Or, lorsqu'une paroi est poreuse, les ondes sonores frappent la paroi et agitent l'air contenu dans les pores et les canaux qui les relient. Cette agitation se transmet de proche en proche et traverse la paroi. Une quantité d'énergie est alors transmise par la paroi, plus au moins importante suivant le diamètre des pores.

Exemples :

Parpaing creux de 20 cm sans enduit :

$$R_{\text{rose}} = 42 \text{ dB(A)}.$$

Parpaing creux de 20 cm avec enduit :

$$R_{\text{rose}} = 52 \text{ dB(A)}.$$

Ce n'est pas le faible apport de masse par l'enduit qui a fait augmenter l'indice R rose de 10 dB(A) mais c'est l'étanchéité à l'air que confère cet enduit à la paroi qui la rend plus isolante au bruit.

II-2-MATERIAUX ABSORBANTS : [1]

Ce sont les matériaux qui, au lieu de réfléchir l'onde sonore qui les frappe ils absorbent une grande part de son énergie qu'ils transforment en chaleur.

□ Le coefficient d'absorption α Sabine

C'est le rapport entre l'énergie sonore absorbée et l'énergie sonore incidente. Il se mesure en laboratoire dans des salles spécialement réverbérantes.

Si α Sabine égal à 1 ou tend vers 1 cela signifie que la paroi a absorbée la totalité de l'énergie et que rien n'est réfléchi : le matériau est absorbant

Si α Sabine égal à 0 ou tend vers 0 cela signifie que la paroi a réfléchi la totalité de l'énergie et que rien n'est absorbé : le matériau est réverbérant.

□ Absorption et Fréquence

Les mesures de α sont faites en laboratoire, par tiers d'octave entre 100 et 5000 Hz. En effet, les matériaux ne réfléchissent pas uniformément toutes les fréquences et, si certains absorbent préférentiellement l'aigu, d'autres absorbent mieux le grave ou le médium. On distingue donc plusieurs catégories de matériaux absorbant.

MATERIAUX	FREQUENCES		
	GRAVES	MEDIUMS	AIGUES
Mur lisse en marbre	0	0	0
Fenêtre ouverte	1	1	1
Béton lisse	0,01	0,01	0,02
Moquette Matériau fibreux	0,05 à 0,10	0,40 à 0,60	0,70 à 0,80
Polystyrène expansé	0,10	0,20	0,40
Plaque perforée avec à l'arrière un matelas de laine minérale	0,40 à 0,60	0,70 à 0,80	0,80 à 0,90

Tableau 3 : Coefficients d'absorption de quelques matériaux.

□ Les principaux procédés d'absorption

On peut distinguer 3 grandes catégories de matériaux absorbants :

- Les matériaux poreux.
- Les matériaux fléchissants.
- Les résonateurs.

• Les matériaux poreux

Ils sont utilisés essentiellement pour absorber les fréquences élevées, grâce à leur porosité ils laissent pénétrer et piègent les ondes sonores ; l'air contenu dans les cellules entre en vibration et une partie de l'énergie acoustique incidente est transformée en chaleur par effet de viscosité et de résistance par friction.

Tels sont les matériaux fibreux à base de fibres minérales (laine de verre, de roche), végétales (fibragglo, panneau de fibres de bois), animales ou synthétiques et les matériaux rigides ou souples à cellules ouvertes (béton cellulaire, mousse d'argile).

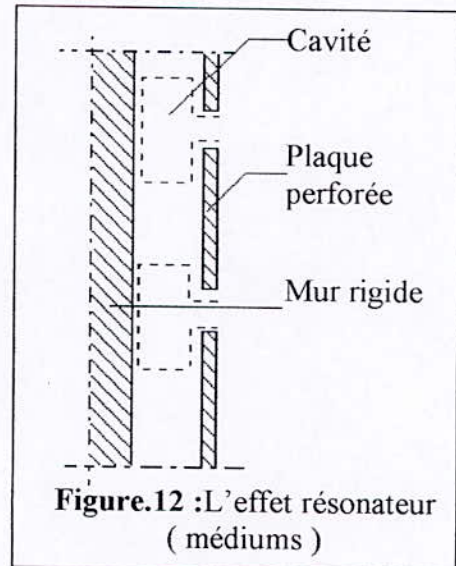


Figure.12 :L'effet résonateur (médiums)

• Les résonateurs

Ils existent dans la pratique sous forme de plaques perforées servant à l'absorption des fréquences moyennes. Leurs perforations (5 à 30% de la surface) leur permettent de fonctionner comme des résonateurs, ceux-ci contiennent des cavités résonantes dont l'air situé joue le rôle de piston. Une partie de l'énergie incidente s'absorbe sous forme cinétique et une autre se perd en chaleur par frottement.

Ces matériaux sont constitués de plaques ou de panneaux rigides d'origines diverses : plaques de plâtre, de métal, panneaux de dérivés du bois,.. etc

• Les matériaux fléchissants

Ils absorbent les basses fréquences. Ils travaillent en membranes, en se déformant sous l'effet des surpressions successives dues à l'onde sonore : autrement dit, une partie de l'énergie acoustique est transformée en énergie mécanique, puis dissipée en chaleur.

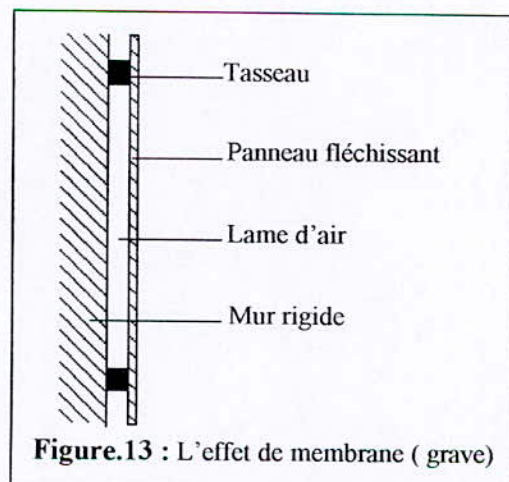


Figure.13 : L'effet de membrane (grave)

La déformation – et l'absorption – sont maximales lorsque la fréquence de l'onde est égale à la fréquence propre du panneau ; en champ diffus¹ on a :

$$f_r = 840 \sqrt{\frac{1}{m \cdot d}}$$

avec : m : masse surfacique du panneau en kg/m².

d : distance en cm de la lame d'air créée sous le panneau.

On peut augmenter la plage d'absorption d'un panneau fléchissant en plaçant derrière lui un matelas fibreux ou poreux, collé au panneau ou non.

Pratiquement ces matériaux sont constitués par des panneaux minces : tôle, contre-plaqué, tissu,...

• Exemple sur les trois procédés

La figure.14 donne la courbe d'absorption :

- D'une moquette sur thibaude (matériau poreux).
- D'une plaque de plâtre (résonateur).
- D'un contre-plaqué de 5 mm sur tasseaux [avec laine minérale dans la lame d'air] (matériau fléchissant).

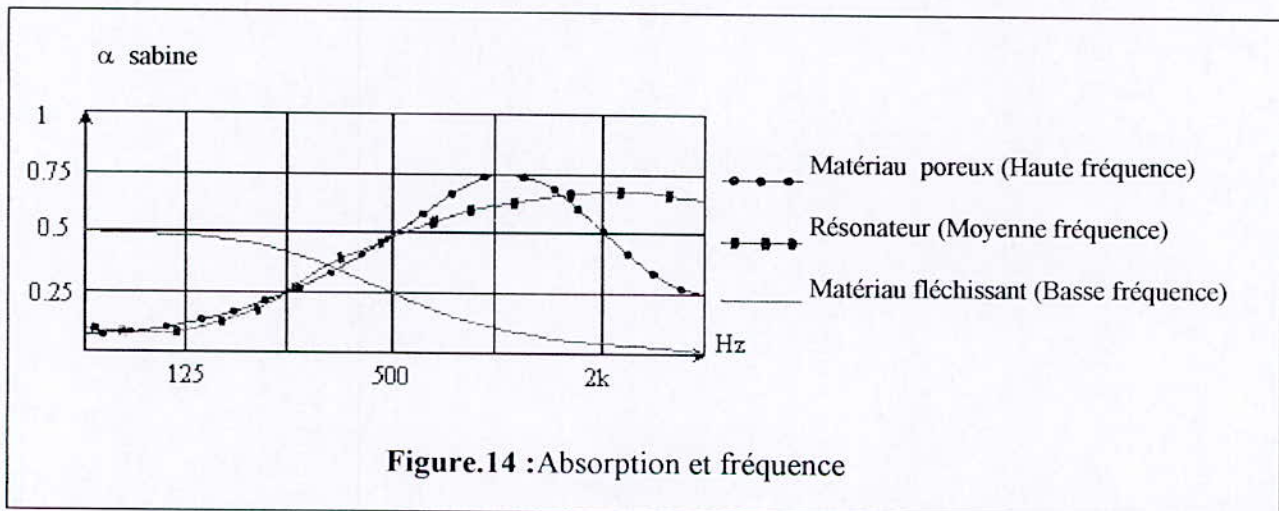


Figure.14 : Absorption et fréquence

¹ Un champ acoustique diffus résulte de la superposition d'ondes planes de même amplitude provenant de toutes les directions.

**LE DEBIT DU COMPTE DES VEHICULES LOURDS ET LEGRS
POUR CHAQUE JOUR ET PAR HEURE**

		CHAUSSEE 1				CHAUSSEE 2			
		Voie 1		Voie 2		Voie 3		Voie 4	
		Poids légers	PL	Poids légers	PL	Poids légers	PL	Poids légers	PL
SAMEDI	8 ^h - 9 ^h	391	104	509	34	680	44	507	135
	9 ^h - 10 ^h	392	113	521	32	582	44	520	123
	10 ^h - 11 ^h	574	122	394	15	711	30	536	115
	11 ^h - 12 ^h	489	113	468	18	487	27	608	116
	12 ^h - 13 ^h	535	116	501	23	482	24	710	111
DIMANCHE	8 ^h - 9 ^h	600	107	523	28	732	43	526	133
	9 ^h - 10 ^h	538	112	487	30	575	24	546	95
	10 ^h - 11 ^h	525	115	452	27	491	21	555	99
	11 ^h - 12 ^h	504	95	510	29	521	23	540	122
	12 ^h - 13 ^h	477	105	463	40	351	19	673	115
LUNDI	8 ^h - 9 ^h	505	116	499	21	455	31	788	137
	9 ^h - 10 ^h	515	96	537	26	504	24	703	138
	10 ^h - 11 ^h	513	128	521	19	442	22	876	127
	11 ^h - 12 ^h	400	96	449	29	343	34	672	96
	12 ^h - 13 ^h	439	97	443	30	380	28	691	120

Tableau : Le débit du compte des véhicules lourds et légers pour chaque jour et par heure.

LES RESULTATS OBTENUS PAR LES
TECHNICIENS DE CNERIB

Le matériel fourni par les techniciens du CNERIB a permis d'effectuer une série de mesures indicatives.

Chaque mesure indicative a duré 7minute tout en utilisant un sonomètre non intégratif.

Le temps choisi pour la réalisation de la série de mesures était de 10^h35 –11^h15 ou le trafic atteignait son sommet.

Point de mesure	Niveau de bruit en dB(A)
M _A	62
M _B	70
M _C	72
M _D	59

Tableau : Mesure du niveau de bruit
avec le sonomètre.

ملخص:

هذا العمل يقدم طرق حساب ابعاد الشاشات الصوتية. متبوع بدراسة حالة واقية. هنا نعمل على حساب الارتفاع الكافي لضمان عزل صوتي جيد، كما نعالج مختلف الحلول التقنية من اجل انجاز هذه الشاشة. كما نقوم بدراسة تكنواقتصادية لنستخرج فائدة استعمال التراب كمادة بناء.

ABSTRACT:

This work presents two different calculation methods of an acoustic screen, and a study of real cas.

We calculate the necessary hight to obtain a good acoustic insulation.

A technico-economic comparaisn is presented and she being out the interest of using the soil incontruction.

RESUME :

Ce projet présente les méthodes de dimensionnement d'un écran acoustique suivi d'une étude d'un cas concret.

On procède au calcul de la hauteur nécessaire pour assurer une gamme d'isolation acoustique. Puis on envisage différentes solutions techniques de mesure pour réaliser cet écran.

Une comparaison technico-économique est présentée et fait ressortir l'intérêt d'utiliser la terre comme matériau.

Mots clés : Ecrans acoustiques – Bruit routier – Isolation acoustique – Dimensionnement

– Mur en terre – Mur en blocs de maçonnerie – Béton armé – Coût