

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur(s)	Greff (prêtre ; 18..-19..)
Adresse	Paris : P. Lethielleux, libraire-éditeur, [1905]
Collation	1 vol. (XII-163 p.) : ill. ; 23 cm
Nombre de vues	172
Cote	CNAM-BIB 8 La 97
Sujet(s)	Acoustique architecturale Églises
Thématique(s)	Construction
Typologie	Ouvrage
Note	Date d'après BnF
Langue	Français
Date de mise en ligne	11/06/2021
Date de génération du PDF	26/11/2021
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?8LA97

DE L'ACOUSTIQUE
DANS LES ÉGLISES
PAR RAPPORT A LA CHAIRE

8° La. 97

A. M. † D. G.

DE L'ACOUSTIQUE

DANS LES ÉGLISES

PAR RAPPORT A LA CHAIRE

OU

PROCÉDÉS RAISONNÉS ET INÉDITS

*Pour diriger les ondes sonores A SON GRÉ et augmenter
la puissance ET LA PORTÉE de la voix*

Ouvrage NÉCESSAIRE

A TOUS LES MEMBRES DU CLERGÉ ET A TOUS CEUX QUI S'INTÉRESSENT
A LA CONSTRUCTION DES ÉGLISES ET DES CHAIRES

Par le P. GREFF, Missionnaire, ancien curé

*Fides ex auditu, auditus autem
per Verbum Christi!*
Rom., 10, 17.
*Quomodo credent ei quem
non audierunt?*
Rom., 10, 14.



8° La. 97
septembre 1943

PARIS

P. LETHIELLEUX, LIBRAIRE-ÉDITEUR

10, RUE CASSETTE, 10

RÉSUMÉ-INDEX

L'ACOUSTIQUE DANS LES CHAIRES D'ÉGLISE

RÉSUMÉ-INDEX

Pourquoi?... — Comment?.....	5
PREMIÈRE PARTIE	
CONSEILS PRATIQUES	
ARTICLE I^{er}. — L'orateur.	
1,2 A. Parler lentement; 3. Problème....	13
4. B. Se tenir droit; parler toujours dans la même direction.....	17
5. C. Sans éclats de voix.....	18
ARTICLE II. — Emplacement de la chaire.	
6. Au milieu de l'auditoire.....	19
7. Objection. — Bancs à double-fin.....	20
ARTICLE III. — Corps de la chaire.	
8. Sa forme. — Son diamètre.....	21
9. Avis utiles.....	22
10. Hauteur du plancher.....	23
ARTICLE IV. — L'abat-voix.	
11. But et nécessité : rabattre la voix.....	25
12. Chaire à prêcher une fois l'an.....	27
13. Comparaison entre un petit et un grand abat-voix : le petit <i>diminue</i> la voix, le grand <i>la double</i>	28
14. La chaire placée entre deux piliers...	32
15. Hauteur de l'abat-voix par rapport au plancher.....	34
16. Sa dimension et sa forme intérieure...	35

ARTICLE V. — 17-18. Chaire à baldaquin nouveau modèle.....	36
18 <i>bis</i> . Boîte de résonance.....	39

DEUXIÈME PARTIE

THÉORIES

Observation préliminaire.....	43
ARTICLE I ^{er} . — Notions d'acoustique concernant cet opuscule.	
19. Son ; sa propagation, sa vitesse, sa direction.....	44
Rayon sonore.....	44
20. Diminution d'intensité : plusieurs causes.....	45
21. Réflexion du son : plan de mouvement.....	46
21 <i>bis</i> . Réflexion irrégulière, autre cause de diminution d'intensité.....	47
22. Echo ; voix <i>directe</i> , voix <i>réfléchie</i> , voix <i>utile</i>	48
23. Masse de sons produits par une seule émission de voix.....	51
ARTICLE II. — Division des ondes sonores.	
24. Plan de séparation horizontale. — Ondes inférieures. — Ondes supérieures.....	53
25. Parois inclinées ; déplacement de ce plan de séparation.....	54
26. Plan de séparation verticale. — Ondes de droite. — Ondes de gauche.....	54
27. Parois obliques ; déplacement de ce plan de séparation.....	55
ARTICLE III. — Marche des ondes sonores en général.	
28. Divers plans du mouvement possibles..	56
ARTICLE IV. — Marche des ondes inférieures.	
§ 1 ^{er} — <i>Réflexion sur les parois</i>	58
29. Champ nuisible inférieur.....	58
30. Sa limite supérieure.....	60
à limite inférieure.....	62

32. Tracé du champ nuisible sur tout le pourtour de l'église.....	62
33. Moyens de le diminuer et de l'annuler.	63
Inclinaisons.....	64
Division en bandes.....	65
Inclinaison curviligne.....	67
Remède plus parfait.....	68
34. Utilisation des rayons du champ nuisible.....	70
§ 2. — <i>Réflexion sur le pavé</i>	71
35. Souvent inoffensive, parfois nuisible...	71
ARTICLE V. — Marche des ondes supérieures.	
SECTION I ^{re} . — <i>Surfaces planes. Églises-granges</i> ...	73
36. Point <i>précis</i> de la paroi où doit frapper le dernier rayon qui frise l'abat-voix pour ces églises.....	73
37. Éléments de la solution, leurs rapports. — Solution.....	74
38. Remarque au sujet du point d'émission.	76
39. Tous les rayons montant sous le <i>même angle</i> sont interceptés en <i>même temps</i> par l'abat-voix.....	78
40. Détermination de l'abat-voix.....	80
SECTION II. — <i>Surfaces courbes</i> .	
§ 1 ^{er} . — 41. <i>Surfaces courbes en général</i>	80
1 ^{re} QUESTION.— 42. La <i>normale</i> et le <i>plan de séparation</i> sur les courbes.....	81
Surfaces convexes. — Surfaces concaves.....	82
2 ^e QUESTION.— 43. Comment réfléchissent-elles les rayons sonores?.....	83
3 ^e QUESTION.— 44. Quelle déviation produisent-elles?.....	84
Rayon sonore relancé par une courbe sur une surface plane.....	85
4 ^e QUESTION.— 45. Analogie entre les surfaces concaves et les surfaces convexes.....	86
46. Leur juxtaposition.....	87

5 ^e QUESTION. — 47. Phénomènes spéciaux aux surfaces concaves.....	87
48. Surfaces sphériques.....	87
— cylindriques.....	88
Discussion de plusieurs hypothèses....	88
§ 2. — <i>Colonnes et colonnettes.</i>	
49. Les colonnes dispersent les ondes; sons <i>en éventail</i> . — Sur toute l'église....	90
Chaque colonne relance toutes les ondes reçues sur <i>chacune</i> des autres colonnes.....	90
50. Multiplication des ondes qui en résultent, <i>a, b, c, d, e, f, g</i>	90
51. Colonnes à diamètre variable.....	94
52. Les colonnettes multiplient les réseaux d'ondes sonores.....	94
§ 3. — <i>Voûtes.</i>	
53. Notions.....	95
ARTICLE I ^{er} . — 54. Effets désastreux des voûtes par rapport à la prédication.....	96
ARTICLE II. — 55. Elles produisent une triple modification dangereuse.....	97
Parcours <i>montant</i> ; parcours <i>descendant</i> . — Différence. — Rapport 100 à	104
ARTICLE III. — 56. Moyen de nous garantir contre ces dangers : Le Minimum du parcours descendant. — Point culminant.	109
<i>Première solution</i> pour le plein-cintre et l'ogive.....	113
<i>Seconde solution</i> plus favorable pour l'ogive supérieure.....	114
ARTICLE IV. — 57. L'abat-voix dans les églises voûtées.	118
Construction <i>nouvelle</i> . — Position de l'origine des voûtes.....	118
Hauteur comparée des églises pour produire le même effet.....	122
58. Construction <i>ancienne</i> . — Aménager l'abat-voix.....	124

Point précis où doit frapper le dernier rayon inoffensif.....	125
59. Champ nuisible supérieur.....	127
60. Son annulation.....	129
Tableaux inclinés. — Croix grecque..	132
61. <i>Grand baldaquin, remède universel contre les voûtes</i>	132

TROISIÈME PARTIE

PROBLÈMES

DIRECTION DES RAYONS SONORES *ad libitum*.

ARTICLE 1 ^{er} . — Solution de quelques problèmes sur la direction des rayons sonores. Règle générale : modifier la surface réfléchissante.....	139
1 ^{er} PROBLÈME. — 62. Quelle <i>inclinaison</i> donner à la surface réfléchissante, pour diriger un rayon sur un point donné?.....	139
2 ^e PROBLÈME. — 63. A quel <i>point</i> d'une surface donnée le rayon sonore doit-il frapper pour être relancé de là sur un point déterminé?.....	142
63 <i>bis</i> . Deux corollaires par rapport aux <i>surfaces</i>	143
3 ^e PROBLÈME. — 64. Trouver le rayon d'une surface cylindrique convexe qui réfléchisse tous les rayons qu'elle reçoit, sur toute la largeur de l'auditoire.....	145
4 ^e PROBLÈME. — 65. Quel rayon faut-il donner à une surface courbe <i>concave</i> , pour qu'elle réfléchisse toutes ses ondes vers un même point?.....	147
A. Surface cylindrique.....	146
Emprisonner les rayons.....	147
66. B. Calotte sphérique.....	148
67. Allonger ou raccourcir, <i>ad libitum</i> , le parcours d'un rayon sonore.....	148

	68. Application au plafond <i>sous</i> une tribune.....	149
	69. Action sur <i>les rayons perdus et irréguliers</i>	151
ARTICLE II. —	70. Coup d'œil rétrospectif	153
	71. Questions à examiner quand il s'agit de <i>la construction d'une église</i> :	
	Observation générale.....	155
	Détails.....	156
	72. Appel aux hommes de bonne volonté..	157
APPENDICES I, II, III.....		161 162

L. D. S.

L'ACOUSTIQUE

DANS LES CHAIRES D'ÉGLISE

A. POURQUOI? B. COMMENT?

A. — Pourquoi cet opuscule ?

Pour supprimer, autant que possible, les échos nuisibles dans les églises ; pour augmenter la portée de la voix dans les chaires ; pour rendre matériellement la parole de Dieu plus facile à entendre, et soulager ainsi le prédicateur et les auditeurs.

En effet, de tous les édifices destinés aux grandes assemblées, et de toutes les tribunes d'où l'on parle dans ces réunions, il n'y en a guère qui soient aussi défavorables à la parole que la plupart de nos églises et des chaires qui s'y trouvent.

Aussi, de tous ceux qui parlent en public, c'est sans contredit la catégorie des prédicateurs qui fournit aux maladies de larynx le contingent le plus nombreux et le plus sérieusement atteint.

Les orateurs profanes parlent d'ordinaire dans un local restreint, généralement bien conditionné, pendant un temps peu considérable, devant un public peu nom-

breux, et par intervalles; le prédicateur au contraire est obligé de parler fréquemment, devant un grand auditoire, dans un vaste édifice, d'une voix soutenue, et, comme nous le montrerons, dans des conditions parfois déplorables.

Les premiers, dans leur tribune *peu élevée*, prennent aisément le ton de la conversation, qui repose; le prêtre, dans sa chaire, généralement *trop élevée*, se met moins facilement en communication avec son auditoire; de là vient souvent un ton trop solennel, qui fatigue à la fois le prédicateur et les auditeurs.

Et, pour peu qu'il y ait des échos dans l'église et que l'orateur ait la voix sonore (1), il s'engage entre celui-ci et les échos une lutte à outrance, dont le tympan de l'auditeur est à la fois le théâtre et la victime. On fait de vains efforts pour suivre la pensée de celui qui parle; la parole de Dieu se perd aux trois quarts, le prédicateur est exténué, et l'écho seul est vainqueur!

Voilà, sauf quelques différences locales, l'histoire de la prédication en mainte église. Ceux qui y sont intéressés feront donc bien de se rendre compte de ces phénomènes; ils ne tarderont pas à se convaincre qu'au point de vue de l'acoustique la plupart des chaires, surtout en France (2), sont, ou *mal construites* ou *mal placées*, ou réunissent ces deux inconvénients, et qu'au surplus, au moins dans nos églises modernes, on ne paraît pas s'être préoccupé de cette question dans la construction et l'aménagement de l'édifice.

(1) Nous parlons des voix fortes; les autres, si elles sont claires et perçantes, se font entendre plus facilement; elles donnent moins de prise à l'écho!

(2) Les chaires de Belgique et de Hollande sont mieux comprises.

Les anciens, dit-on, pensaient à ces choses ; les modernes n'y songent pas ! J'ignore jusqu'à quel point cela est vrai, mais il est certain qu'on devrait s'en préoccuper au triple point de vue du prédicateur, de l'auditeur et de la parole de Dieu, afin de remédier du moins aux inconvénients les plus notables.

C'est une étude de cette nature que nous essayons ici, désireux que d'autres en prennent occasion de mieux faire, et que l'on retrouve enfin, selon l'expression de certains pays, des chaires qui prêchent bien, c'est-à-dire qui contribuent pour leur part à rendre la parole de Dieu plus facile et plus attrayante.

Les auditeurs tireront eux-mêmes grand profit de ce petit travail. Non seulement, quand ils l'auront lu, ils s'intéresseront davantage à la construction ou aux réparations de leur église, mais encore ils distingueront à l'avenir les places plus ou moins favorables à leur oreille ; et si Dieu leur a donné la fortune, ils pourront doter leur église d'une chaire construite selon toutes les règles de l'art. (V. APPENDICE 3.)

Je n'ose pas parler des architectes ! Cependant, si quelqu'un d'entre eux voulait bien jeter un regard bienveillant sur cet essai d'*un profane*, il y trouverait peut-être de quoi intéresser son art et exercer son talent.

B. — Comment procéderons-nous ? Comment doivent procéder nos lecteurs ?

Nous étudierons les multiples échos d'une église, la manière de les combattre et de les dompter. Ici *l'écho, c'est l'ennemi !*

Et afin d'y mettre de l'ordre et de la clarté, nous diviserons notre étude en trois parties :

La première contiendra des conseils pratiques, sans grande démonstration;

La seconde donnera les théories correspondantes, à l'usage de ceux qui désirent aller plus au fond des choses;

La troisième indiquera par quelques problèmes la manière de diriger, à son gré, les ondes sonores, avec les conséquences qui en résultent pour la construction de l'édifice lui-même.

PRATIQUE; THÉORIES; PROBLÈMES;

Tel est le plan de l'ensemble.

En bonne logique on aurait pu mettre la *théorie* avant la *pratique*; mais les théories dont on ne voit pas l'application immédiate risquent d'être fastidieuses; nous avons donc préféré initier d'abord le lecteur à la pratique; le besoin de la théorie se fera bientôt sentir, on l'abordera *alors* avec plus de fruit et de goût.

Pour plus de facilité, nous faisons précéder chaque proposition ou explication d'un *numéro d'ordre*, que nous reproduisons ensuite dans le courant du texte aussi souvent que nous voulons renvoyer le lecteur à ce qui a été dit, *ou se dira plus tard*.

On pourra ainsi dès le commencement consulter la théorie afférente à chaque article de la pratique.

Nous n'employons pas *les figures dans l'espace* (1), parce qu'elles sont quelquefois compliquées et moins claires. Toutes nos figures sont donc planes; et faites, sauf

(1) Il y a une *seule* figure dans l'espace [page 89]: il était difficile de l'éviter.

avis contraire, à une échelle déterminée, c'est-à-dire avec une exactitude géométrique. Ces sortes de figures parlent aux yeux, *démontrent la vérité* et sont plus faciles à saisir. Remarquons que, dans ce mode de représentation, nos plans seront parfois figurés par une simple *ligne*, et nos lignes par un *point*.

Quelques-unes de nos explications peuvent paraître minutieuses et superflues pour des mathématiciens émérites, mais elles seront utiles à ceux qui n'auraient pas acquis ou qui auraient un peu oublié ce degré supérieur de *la science*.

Ceux au contraire qui y trouveraient (à tort) trop de science pourront se contenter des *conclusions* et *déductions pratiques*, et cela suffira.

S'il nous est permis de donner un conseil à nos honorables et bienveillants lecteurs, avant de leur livrer le présent opuscule, nous leur recommandons de ne pas se contenter d'une lecture rapide et superficielle.

Qu'ils lisent *lentement et attentivement* et surtout qu'ils se rendent compte de toutes les figures : ce doit être une *étude*, plutôt qu'une lecture.

S'il est quelqu'un qui désire profiter le plus possible de ce travail, qu'il prenne sa boîte de compas et son double décimètre, qu'il refasse *une à une*, et après les avoir étudiées, toutes les figures : il s'assimilera ainsi parfaitement la matière, et peut-être y fera de nouvelles et importantes découvertes. Du reste rien de plus instructif que ce travail personnel de reproduction sur une feuille de papier blanc.

En réponse à certaines objections déjà faites, nous ajoutons deux remarques :

1° Il semble dans quelques églises *que la voix ne rend pas*, comme on dit, et qu'on s'époumonne en pure perte. C'est très pénible en effet pour celui qui parle, et cela vient de ce qu'aucun rayon sonore, aucun écho ne revient à l'oreille du prédicateur; mais il n'en faut pas conclure qu'il en est de même des auditeurs, ni surtout qu'on ne peut y remédier. Qu'on étudie *nos* abat-voix et *notre* baldaquin, et si cela ne suffisait pas on trouverait, dans la 3^e partie, des moyens faciles de faire revenir quelques rayons sonores à l'oreille de l'orateur.

2° Certaines de nos déductions pourront étonner tout d'abord et même paraître inadmissibles; une réflexion plus approfondie et au besoin une figure réelle construite dans l'espace à l'aide de tiges rigides et de fils représentant la normale et les rayons sonores démontreront la légitimité de nos assertions. Qu'on ne se hâte donc pas de nous condamner trop vite!

En terminant cette préface, nous éprouvons le besoin de remercier de tout cœur nos savants licenciés et professeurs ès-sciences mathématiques qui nous ont aidé de leurs conseils et de leurs bienveillantes approbations. Que Dieu les en récompense!

Et maintenant, petit livre, en route! afin de travailler à ta manière à la gloire de Dieu et au salut des âmes!

L'AUTEUR.

Collège de Florennes (Belgique).

Fête de l'Immaculée Conception, 1904.

PREMIÈRE PARTIE

CONSEILS PRATIQUES POUR ÉVITER LES ÉCHOS

PREMIÈRE PARTIE

CONSEILS PRATIQUES POUR ÉVITER LES ÉCHOS

Ces conseils concernent : 1° le prédicateur; 2° l'emplacement de la chaire; 3° le corps de la chaire; 4° l'abat-voix; 5° la chaire à baldaquin (nouveau modèle).

ARTICLE PREMIER

Le prédicateur.

Le prédicateur doit : A. Parler lentement; B. Droit devant lui; C. Sans éclats de voix.

A.

1. — Il est banal de dire qu'un orateur doit parler lentement; il n'est peut-être pas banal de le démontrer, et d'en convaincre certains prédicateurs.

Supposons un homme qui puisse prononcer dix syllabes par seconde (c'est le maximum selon les physiiciens); supposons ensuite trois échos (1) qui, l'un après l'autre, répètent chacune de ses syllabes; l'auditeur dès la quatrième syllabe entendra, en même temps que la voix directe, trois autres syllabes différentes, jugez de l'effet!

(1) Nous ne parlons ici que de trois échos, parce que les suivants deviennent imperceptibles [5].

Le tableau suivant rend la chose évidente: les colonnes de haut en bas donnent la succession des syllabes, les lignes horizontales indiquent les syllabes qui se *superposent*, et arrivent ensemble à l'oreille. L'effet sera celui de quatre personnes parlant en même temps, mais chacune de choses différentes.

Voix	1 ^{er} Écho	2 ^e Écho	3 ^e Écho
Vous	—	—	—
ê-	Vous	—	—
tes	ê-	Vous	—
un	tes	ê-	Vous
grand	un	tes	ê-
o-	grand	un	tes
ra-	o-	grand	un
teur,	ra-	o-	grand
mais	teur,	ra-	o-
l'é-	mais	teur,	ra-
cho	l'é-	mais	teur,
est	cho	l'é-	mais
plus	est	cho	l'é-
fort	plus	est	cho
que	fort	plus	est
vous.	que	fort	plus

Sans doute les sons répercutés en échos ne reviennent qu'affaiblis par leur parcours; mais ils se multiplient tellement, dans une église, qu'ils peuvent se rencontrer en grand nombre, arriver simultanément à l'oreille de l'auditeur et même couvrir la voix directe (1).

Notons, en passant, que l'orateur en chaire ne peut guère s'en rendre compte, car il s'entend presque tou-

(1) M. Sturmbœffel, architecte à Berlin, fait l'observation suivante: Une corde sonore continue à vibrer lors même qu'on ne l'entend plus; mais rapprochez plusieurs de ces cordes muettes en apparence, et le son se fera entendre de nouveau!

jours; le trouble se produit sur le tympan de chaque auditeur [19, 22].

2. — Examinons maintenant le tableau suivant qui nous prouve la nécessité de parler *lentement*, en scandant pour ainsi dire les mots, laissant un intervalle entre les syllabes, et n'émettant une syllabe que lorsque tous les échos de la précédente ont à peu près disparu.

Voix	1 ^{er} Écho	2 ^e Écho	3 ^e Écho
Par	—	—	—
a	Par	—	—
—	a	Par	—
—	—	a	Par
lez	—	—	a
éz	lez	—	—
—	éz	lez	—
—	—	éz	lez
len	—	—	éz
en	len	—	—
—	en	len	—
—	—	en	len
te	—	—	en
e	te	—	—
—	e	te	—
—	—	e	te
ment	—	—	e
ent	ment	—	—
—	ent	ment	—
—	—	ent	ment

Ce tableau représente chaque syllabe de la voix directe *prolongée*; l'intervalle entre deux lignes correspondant à $1/10$ de seconde.

Nous supposons que l'émission de chaque syllabe dure $2/10$ de seconde, et qu'on la fasse suivre d'un *silence* de $2/10$ de seconde.

On voit que les échos, que nous supposons se produire

régulièrement de $1/10$ en $1/10$ de seconde, reproduisent, fortifient et continuent la voix directe pendant les $2/10$ de silence de celle-ci. Mais, pour le faire voir plus clairement, supposons que l'orateur ne mette à prononcer chaque syllabe que $1/10$ de seconde, suivi de $3/10$ de seconde de *silence*. Alors les trois échos rempliront exactement les $3/10$ de seconde de ce silence sans rien brouiller.

En effet, ils ne brouilleront pas la syllabe suivante, puisqu'ils auront disparu lorsqu'elle sera émise ; ils ne pourront brouiller la précédente, puisqu'ils n'apporteront à l'oreille que le son de cette même syllabe, en la prolongeant, comme nous avons dit, et couvrant ainsi, pour les auditeurs, le silence que l'orateur s'était ménagé.

Il s'écoulera $4/10$ de seconde d'une syllabe à l'autre ; soit 3 syllabes en $12/10$ de seconde ou, chiffre rond, par seconde. Ce n'est pas une lenteur exagérée. Ce serait plutôt trop vite pour un prédicateur.

Si l'orateur prolonge ses syllabes, l'écho sera prolongé de même ; cependant, on voit d'après le tableau que la plus grande partie de chaque syllabe est suffisamment dégagée, les sons provenant de syllabes différentes n'empiétant guère les uns sur les autres.

Les *échos* ne se succèdent pas, il est vrai, régulièrement comme sur notre tableau de $1/10$ en $1/10$ de seconde, après la formation du premier, il y en a à tous les instants ; toutefois, *tant que la syllabe suivante n'est pas prononcée*, tous ces échos et résonnances ne font que renforcer la syllabe qu'ils reproduisent.

Ajoutons que le 3^e écho est tellement affaibli par son long parcours [5] qu'il n'est plus guère à craindre, à

moins d'être très multiplié. Ces deux tableaux montrent que celui qui parlera vite éveillera des échos nombreux et nuisibles, celui qui parlera lentement les évitera et s'en fera même des auxiliaires.

3. — APPLICATION. Etant donné le nombre de pages d'un discours, la moyenne du nombre de syllabes d'une page, le nombre de syllabes à prononcer par seconde, on pourra calculer le temps nécessaire pour un débit normal.

Ou bien : Etant donné le temps dont on dispose et qu'il ne faut pas dépasser, on pourra calculer le nombre de pages auquel il faut se limiter.

Il ne faut compter que 3 ou 4 syllabes par seconde, et se réserver $\frac{1}{5}$ du temps pour les arrêts nécessaires, soit 6 secondes sur 30. Ainsi, l'on dira peut-être moins de paroles, mais on fera entrer incomparablement plus de choses dans *l'esprit* des fidèles.

B.

4. — a. L'ORATEUR DOIT SE TENIR DROIT, c'est-à-dire ne se pencher ni *en avant*, ni *en arrière*, ni *de côté*. Les deux dernières poses empruntées à certaines statues maniérées du xviii^e siècle n'étant que ridicules, nous n'en dirons rien de plus.

Quant à la première, plus l'orateur se penche en avant, plus il perd le bénéfice de l'abat-voix (1).

(1) Cependant s'il n'y avait pas d'abat-voix, il y aurait un avantage réel à se pencher en avant, afin de diminuer les échos des voûtes ou du plafond.

b. Parler toujours dans la même direction.

Cette direction sera, *en général*, la ligne idéale qui, partant de la bouche de l'orateur, divise l'auditoire en *deux parties égales*, ou toute autre ligne rapprochée de celle-là que l'expérience aura démontrée être la meilleure pour chaque église en *particulier*.

Cette direction une fois prise, il faudra s'attacher à la conserver. En effet, si l'orateur se tourne tantôt à *droite* et tantôt à *gauche*, l'intensité de la voix sera successivement plus ou moins grande, selon le côté vers lequel il parle [20]. Ce sera donc une alternative de voix forte et de voix faible, aussi fatigante pour l'oreille que serait pour les yeux une succession répétée de lumière et d'ombre; et d'aucun côté on n'entendra rien de complet.

Au contraire en parlant toujours dans la même direction, on fournira aux auditeurs latéraux une voix *uniforme*, qui leur permettra de suivre plus facilement, et on saisira soi-même plus vite le diapason convenable.

De plus, en parlant toujours dans la même direction, on n'enverra aux deux parois extrêmes du chevet et du portail que des ondes latérales, plus faibles par elles-mêmes, et n'évoquant que de faibles échos; tandis que si l'on se tourne de côté et d'autre, ces échos deviendront fort nuisibles [20].

c.

5. — Enfin l'orateur doit éviter ABSOLUMENT tout éclat de voix.

Il faut trouver le moyen de s'animer *sans crier*. Tout éclat de voix est un trait qui se retourne contre celui qui l'a lancé; loin d'être utile à la clarté de la parole, il

blesse le tympan des auditeurs, tout en les empêchant de rien distinguer.

Une voix ordinaire ne produit plus guère d'échos, n'est même presque plus entendue après un parcours de 100 mètres (1); un éclat de voix, au contraire, peut revenir au bout de six secondes, c'est-à-dire après un parcours de 2040 mètres; l'expérience en a été faite. *L'éclat de voix* est un ennemi irréconciliable, irréductible!

Il n'y a pas de prédicateur qui n'ait reçu ce compliment : « Monsieur, vous parlez très bien, mais quand vous élevez la voix, on ne vous comprend plus. » — « Bon, c'est précisément là que je voulais faire de l'effet! »

Ne déchainons donc pas mal à propos sur l'auditoire, comme un ennemi en pays conquis, les échos toujours aux aguets, et toujours prêts, les ingrats! à tuer la voix directe, leur mère [22]! — Nous n'avons pas parlé de l'articulation, il est évident que, quelle que soit la voix de l'orateur, il faut qu'il articule toujours de son mieux.

ARTICLE DEUXIÈME

Emplacement de la chaire.

Au milieu de l'auditoire, mais contre la paroi ou une colonne.

6. — L'orateur devant parler *toujours dans la même direction*, et avoir ses auditeurs par *parties égales de*

(1) M. *Sturmhæffel*, membre du conseil supérieur d'architecture à Berlin, dans une brochure éditée en 1897 sur les cordes sonores dans les nefs d'église, dit : que la voix humaine est entendue de 30 à 40 mètres à l'air libre; à 60 mètres sous bois; et encore plus loin dans les enceintes fermées, églises, etc. (Brochure sur l'acoustique.) Pour être *plus sûr*, et à cause *des éclats de voix*, nous mettons 100 mètres.

chaque côté [4], il faut que la chaire soit placée vers le milieu de l'auditoire, contre la paroi ou une colonne. Nous disons de l'auditoire, et non de l'église, pour le cas où le milieu de l'un différerait du milieu de l'autre.

Ajoutons qu'il ne faut jamais placer la chaire près du sanctuaire, sous le prétexte d'avoir tout son auditoire en face ! Encore moins faut-il parler de la balustrade du chœur. C'est tout ce qu'on peut imaginer de plus défavorable à la parole. Nous discuterons ces choses dans la seconde partie ; mais nous pouvons comprendre dès maintenant que ce serait faire de la nef comme un *immense porte-voix* qui relancerait sur la paroi du fond de l'église une foule d'ondes sonores répercutées par les parois latérales, le pavé, les plafonds, etc., pour, de là, les déverser sur tout l'auditoire sous forme d'échos nuisibles. Supposons que la distance entre le sanctuaire et le fond de l'église soit de 30 à 50 mètres ; nous aurions, aller et retour, des parcours variant entre 60 et 100 mètres, ce qui produirait une horrible cacophonie avec la voix directe [23, note ;] [61, 2^e remarque].

Objection. — La chaire placée au milieu de l'auditoire, les auditeurs qui sont du côté du sanctuaire tourneront le dos au prédicateur !

Réponse. — 1^o Cela ne les empêche pas d'entendre ; 2^o s'il y a des bancs on peut se tourner légèrement du côté du prédicateur ; 3^o s'il y a des chaises on peut se tourner tout à fait ; 4^o on peut établir un système de bancs qui permettra à tout le monde de se trouver en *face* du prédicateur. En voici la description tels qu'on les voit à la cathédrale de *Bâle* (aujourd'hui protestante).

Soit *lmnp* l'en-tête du banc ; *ao*, *ob*, banc double pour s'asseoir ; *of* un dossier mobile pivotant autour du

point *o*, et pouvant être porté à volonté de *f* en *g*, en glissant dans une rainure arquée (fig. 1). Veut-on s'asseoir sur *ao*, on porte le dossier en *og*; veut-on s'asseoir sur *ob*, on le porte en *of*. En mettant ce système de bancs entre la chaire et le sanctuaire, tous les auditeurs auront le plaisir de voir et de suivre les mouvements du prédicateur.

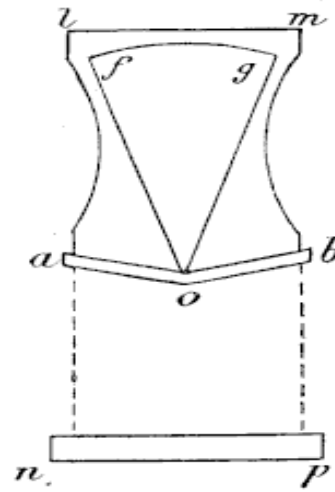


Fig. 1

7. — Faut-il placer la chaire contre un pilier ou entre deux colonnes?

Nous avons examiné et discuté avec soin les deux hypothèses, et nous n'avons découvert aucune raison péremptoire en faveur de l'une ou de l'autre. Contre un pilier, la dépense serait moindre; entre deux colonnes, la chaire pourrait être plus monumentale et se prêterait mieux à la disposition en baldaquin [17].

ARTICLE TROISIÈME

Corps de la chaire.

§ 1. LA FORME. — § 2. HAUTEUR DU PLANCHER.

§ 1.

8. — Il ne s'agit pas ici de l'ornementation de la chaire, mais de sa forme brute : sera-t-elle *ronde*, *carrée* ou *polygonale*?

Extérieurement, on pourra lui donner la forme qu'on

voudra ; mais à l'intérieur, il paraît préférable qu'elle soit *carrée*.

Elle se prêtera moins aux mouvements latéraux, et l'orateur se trouvera aidé à *parler* droit *devant lui*. Cette forme intérieure s'obtient facilement en disposant en *carré* certaines tablettes dont nous parlerons tout à l'heure.

Quel en sera le diamètre ? — Peu importe, quant à l'acoustique, pourvu que l'abat-voix puisse avoir un *rayon* au moins double. Mais, pour le coup d'œil, il faut que la chaire soit en rapport avec les dimensions de l'édifice. Il y a dans certaines églises petites et gracieuses des chaires n'ayant que 0^m80 de diamètre, attachées à une colonne comme un nid d'oiseau, et y produisant le meilleur effet. Il est au contraire fort disgracieux de voir en de petites églises d'amples chaires de cathédrale !

9. — Tout cela, comme on voit, n'a qu'un rapport indirect avec l'acoustique ; on me permettra cependant d'insister encore sur quelques détails, afin de rendre la chaire non seulement utile, mais *commode*. Il y a en effet des chaires qui, par leur seule construction, sont de véritables instruments de torture !

On aménagera à l'intérieur, et surtout à la hauteur de la corniche de la chaire, quelques tablettes, disposées en carré comme nous l'avons dit (fig. 2) ; elles auront, au point de leur plus grande largeur, un minimum de 0^m,15 à 0^m,20 ; et seront surmontées d'un rebord ou bourrelet extérieur, afin qu'on puisse y déposer sans crainte livre, montre, etc.

Cette tablette, ou appuie-mains supérieur, sera à la hauteur de la ceinture, et comme les tailles sont diffé-

rentes, il est désirable qu'il y ait un double fond, qu'on relèvera ou abaissera, de façon que la bouche du pré-

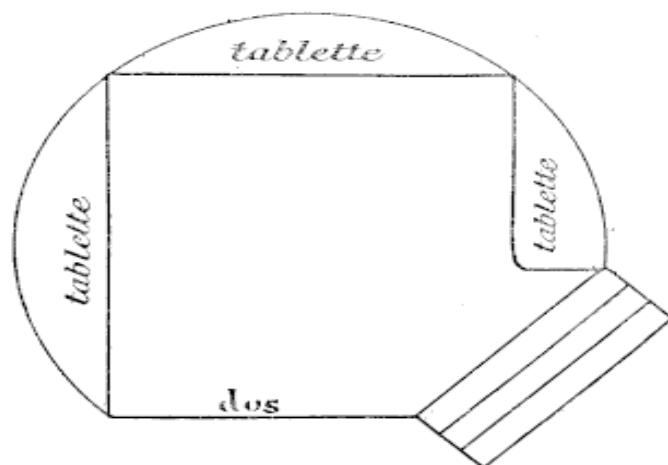


Fig. 2

dicateur ait toujours la même position relative par rapport à l'abat-voix.

Il faudrait, de plus, pour ceux qui veulent s'asseoir, *non un tabouret*, toujours gênant, mais une banquette mobile, montée sur charnière, et qu'on pourra abaisser ou remonter à son gré.

L'escalier doit avoir environ 0^m,60 de large.

Enfin, et par là nous revenons directement à l'acoustique, il faut un dossier en rapport avec le diamètre et l'emplacement de la chaire, dépassant la tête du prédicateur, ou rejoignant l'abat-voix par une surface courbe [65, 66]. Le dossier pourra également être courbe.

§ 2.

10. — Il faut que le plancher de la chaire soit bas par rapport au pavé, il suffit que le prédicateur domine un peu son auditoire.

LA PREMIÈRE RAISON, c'est que souvent c'est le seul moyen d'éviter une foule d'échos fort ennuyeux qui se forment sur tout le contour de l'église, à peu près à la hauteur de la chaire, et que nous appellerons dans nos théories *le champ nuisible inférieur* (29).

Soit en O (fig. 3) la bouche du prédicateur, S le point

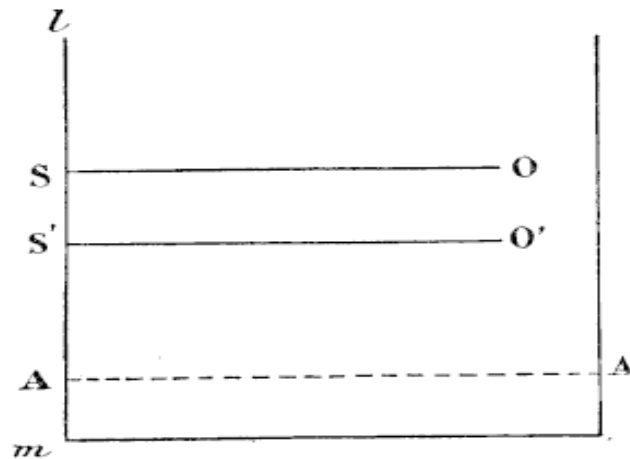


Fig. 3

de la paroi lm qui reçoit *perpendiculairement* la voix, et A le niveau de l'auditoire. Les échos nuisibles dont nous parlons se forment sur une portion considérable et déterminée de la paroi entre le point S et le point A . Il est évident que si la bouche du prédicateur est en O' , nous gagnons sur ce champ toute la hauteur SS' . Pour cela il faut descendre le plancher [29 sqq., 35].

DEUXIÈME RAISON. — Il faut baisser l'abat-voix autant que possible pour éviter les échos nuisibles qui reviendraient de la voûte [59].

Or, plus le plancher sera bas, plus on pourra baisser l'abat-voix.

EN TROISIÈME LIEU, le prédicateur doit prendre le ton communicatif de la conversation ou du dialogue; or,

plus il se rapproche de son auditoire, plus la chose sera facile. Donc...

Cependant, il faut ici comme en toutes choses éviter l'exagération. Dans une petite nef de 20 à 25 mètres de long, le plancher de la chaire pourra n'être élevé que de 0^m,50 à 0^m,60; il sera nécessairement plus haut dans une nef plus vaste; on pourrait adopter un maximum de 1 mètre à 1^m,10, à moins de raisons spéciales (1).

C'est à peu près la hauteur de certaines chaires anciennes; les chaires des églises modernes sont en général beaucoup *trop* élevées. Ne serait-ce pas une ruse du malin esprit d'exalter ainsi la parole de Dieu, pour qu'elle soit moins bien comprise; comme il a fait trop longtemps tellement respecter le Dieu du tabernacle, que personne n'osait plus en approcher?

ARTICLE QUATRIÈME

L'abat-voix.

11. — La plupart des abat-voix sont trop petits et placés trop haut; ce n'est parfois qu'un appendice minuscule et disgracieux, suspendu, on ne sait pourquoi, au-dessus de la tête du prédicateur; mais qui, au point de vue de l'acoustique, ne sert absolument à rien.

Et cependant, si la chaire est le meuble de l'église dont la construction est de plus de conséquence et réclame plus de soin dans les détails, l'abat-voix en est

(1) En comptant 1^m,10 du sol au plancher de la chaire, puis 1^m,40 du plancher à la bouche du prédicateur *O*, on aura 2^m,50 depuis le sol jusqu'au point d'émission *O*, ce sera notre mesure, sauf avis contraire.

sans contredit la partie la plus importante et la plus délicate.

Qu'on nous permette d'insister sur ce point.

L'abat-voix doit avoir les dimensions suffisantes pour pouvoir intercepter et *rabattre toutes* les ondes nuisibles qui, sans cela, iraient à la voûte ou au plafond, et redescendraient sur l'auditoire.

Cela pourra choquer à première vue; on trouvera que c'est disgracieux; on dira que l'œil n'y est pas accoutumé, qu'on a bien prêché sans cela jusqu'ici : donc pas d'innovation !

On n'est malheureusement pas accoutumé à voir et à avoir des chaires d'où l'on soit entendu convenablement; on a bien prêché jusqu'ici, oui ! mais s'est-on fait comprendre de *tout* son auditoire ? C'est souvent plus que douteux. Si les hommes qui sont au fond de l'église sortent parfois pendant le sermon, ce n'est pas toujours la faute du prédicateur, mais de la chaire : ces hommes n'entendent pas assez !

Les prédicateurs eux-mêmes ne se font-ils pas quelque peu illusion ? S'ils voulaient se rendre mutuellement un service important, ce serait de se mêler à l'assistance, d'écouter le sermon d'un confrère en différents points de l'église : ils se convaincraient peut-être qu'au delà de *telle limite* on n'est plus entendu avec fruit !

Un grand prédicateur donnait un sermon excellent, dans une église fort ingrate (V. APPENDICE 2), devant l'auditoire distingué d'une grande ville. J'étais à 7 m. de la chaire et j'avais peine à le suivre. Après le sermon, un monsieur et sa dame me dirent : « Quel dommage, mon Père, nous voyions bien que c'était beau, mais nous n'avons presque rien entendu ! » Ce qui n'a pas empêché

ces deux mêmes personnes de complimenter le lendemain le prédicateur, *en ma présence*, en lui disant combien ils étaient heureux de l'avoir si bien compris ! Fiez-vous aux compliments ! C'est que la chaire était mal placée, par la volonté même du grand orateur.

N'y a-t-il pas là comme un cas de conscience pour le prêtre ? Le salut de telle âme ne peut-il pas dépendre du fruit retiré de tel sermon bien compris ? Mais comment comprendre ce que l'on n'entend pas, et comment entendre, si l'on n'adapte pas la chaire et l'abat-voix aux lois de l'acoustique ? « *Fides ex auditu ! Quomodo credent ei quem non audierunt ?* » (Rom., 10, 14 et 17.)

Media ad finem ! la chaire et l'abat-voix peuvent être ornés, afin de satisfaire l'œil ; mais ils doivent avant tout être faits pour l'oreille ; pour faire ressortir la parole de Dieu et non pour l'annuler ; pour soutenir le zèle du prédicateur et seconder l'attention de l'auditoire, et non pour imposer à l'un et à l'autre un surcroît inutile d'efforts et de fatigue (V. APPENDICE I).

Donc, quand il faudrait sacrifier et les habitudes acquises, et le coup d'œil, il n'y aurait pas à hésiter. Heureusement, un architecte habile trouvera mille petits moyens d'arranger les lignes et de ménager si bien le coup d'œil qu'il fera disparaître tout ce qu'il y a de choquant. *Media ad finem !* — Prenons les moyens, si nous voulons atteindre la fin : tel doit être notre dernier mot.

12. — L'abat-voix, avons-nous dit, doit empêcher les échos de se former sur les voûtes ou plafond. Ces sortes d'échos doivent être bien nuisibles, puisque M. *Violle*, maître de conférences à l'École normale de Paris, cite,

dans son *Traité d'acoustique* une église où le prédicateur n'est entendu *qu'une fois par an*, le jour de Noël, parce que ce jour *les voûtes sont couvertes de tentures flottantes*. Si la chaire de cette église était bien conditionnée, il pourrait y avoir quelque profit pour les paroissiens! (1)

13. — La figure suivante (fig. 4) rend compte de la chose; il importe de bien l'examiner (2).

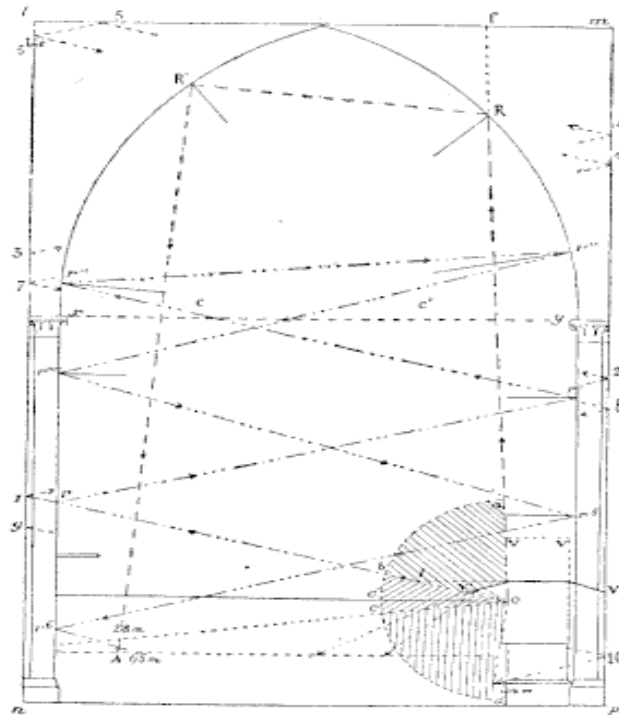


Fig. 4 Echelle $\frac{5}{1000}$

Elle représente la coupe *transversale et verticale*

(1) On dit que la basilique de Montmartre est assez ingrate, jusqu'ici, sous ce rapport.

(2) Nous avons cherché à construire exactement les *angles*, les *normales* et à mettre le tout à une échelle indiquée, afin qu'avec le double décimètre on pût suivre nos figures avec plus de profit.

d'une église de 15 mètres de haut sur 10 mètres de large entre parois, et 9 mètres de large entre colonnes.

A droite, en bas, se trouve une chaire avec deux abat-voix, l'un VV , petit et placé trop haut, l'autre $V'V'$, plus bas et plus large.

C'est la comparaison de l'effet produit par ces deux abat-voix qu'il s'agit de faire ici. Elle ne manquera pas de produire la conviction dans l'esprit.

Soit O la bouche du prédicateur, OR le rayon sonore qui frise le bord du *petit* abat-voix; Or le rayon sonore qui frise le *grand* abat-voix et A le niveau de l'auditoire assis, à 1^m,10 du sol.

Le rayon sonore OR se réfléchira sur la voûte en R' , et retombera en A sur l'auditoire après un parcours d'environ 28 mètres (1).

Le rayon sonore Or , frisant le bord du grand abat-voix, se répercutera en r, r', r'', r''', r'''' , et reviendra sur la ligne de l'auditoire après un parcours de 65 mètres.

Tous les rayons sonores intermédiaires ont un parcours variant entre 28 et 65 mètres; et comme il faut un parcours de 34 mètres [22] pour produire l'écho d'une syllabe, il est clair que, avec le petit abat-voix, chacun de ces rayons produira un ou deux échos, c'est-à-dire reproduira *mal à propos* une ou deux syllabes dans l'oreille de l'auditeur.

Il est tout aussi clair qu'avec le grand abat-voix aucun de ces échos ne se produit, puisque toutes les ondes qui les produiraient sont interceptées, *rabattues sur*

(1) Le parcours de 28 mètres ne produira pas encore un franc écho, mais une résonnance déjà nuisible.

l'auditoire, et y arrivent en même temps que la voix directe [voir la fig. 4].

Montrons la chose d'une façon plus palpable.

Si du point O comme centre nous décrivons l'arc $abcd$, nous voyons se dessiner trois secteurs : *en haut* sect. aob (supérieur); *en bas* sect. cod (inférieur), et *entre les deux* sect. boc (moyen).

Le sect. cob (inférieur) représente les ondes sonores qui vont *directement* à l'oreille des auditeurs; le sect. cod (moyen) renferme des ondes perfides, mais sur lesquelles l'abat-voix n'a aucune influence, nous en parlerons plus tard; le sect. aob (supérieur) représente le champ des ondes *non interceptées* par le petit abat-voix, mais *interceptées* par le grand : c'est là toute la différence entre les deux abat-voix.

Chaque auditeur, placé dans la sphère d'influence du grand abat-voix, recevra une certaine quantité de rayons sonores provenant de la voix directe, *plus* une quantité *égale* de rayons réfléchis provenant du sect. supérieur aob . Ces derniers lui arrivent en *même temps* avec la *même netteté*, et ainsi s'ajouteront aux premiers et renforceront, *doubleront* la voix du prédicateur.

Avec le petit abat-voix on aura la *perception* de la voix directe non pas augmentée, mais *brouillée, diminuée* par les multiples échos que les rayons du sect. aob auront formés en se répercutant contre les voûtes et autres accidents de la construction.

Si l'on veut représenter par P la perception de la voix directe, par P' celle des rayons réfléchis par le grand abat-voix, et par P'' celle des échos qui se forment avec le petit abat-voix, on aura pour le grand abat-voix : $P + P'$ et pour le petit abat-voix $P - P''$. P' sera toujours égal

à P , quelquefois supérieur par construction spéciale [65]. P'' , au contraire, quoique provenant du même secteur aob , ne peut pas être comparé avec P' , car bien que ces rayons s'affaiblissent beaucoup par leur parcours très diversifié, ils peuvent toutefois se multiplier indéfiniment selon les accidents de construction et arriver simultanément à l'oreille en assez grand nombre pour égaler la puissance de la voix directe et même la dépasser. Dès lors il n'y a plus de perception distincte possible [50 et la note].

Dans ce qui précède nous avons pris notre grand abat-voix sans dimensions préconçues, afin de montrer tout d'abord et *en général* la différence qu'il y a pour le prédicateur entre un petit et un grand abat-voix à l'avantage de ce dernier.

Mais tel qu'il est sur la fig. 4, il n'intercepte que les rayons sonores de 28 à 65 mètres de parcours; ce qui, malgré son utilité incontestable, est insuffisant.

Afin de compléter notre explication, élargissons-le par la pensée jusqu'à ce qu'il intercepte *tous* les rayons ascendants nuisibles, c'est-à-dire tous ceux qui n'auraient pas 100 mètres de parcours [5] avant de revenir à l'oreille de l'auditeur [36, fig. 5 et fig. 29].

En ce cas avec le petit abat-voix le champ du sect. aob sera plus grand; les rayons sonores qui partent de là seront plus nombreux, et formeront des échos de 1, 2, 3 syllables plus multipliés et plus nuisibles.

Le grand abat-voix élargi par supposition répercutera immédiatement *tous* ces rayons sur l'auditoire. Mettons des chiffres à notre formule $P + P'$, $P - P''$.

Supposons que P ait une valeur de 10 d'intensité; P' aura exactement la même valeur, et $P + P'$ deviendra

$10 + 10 = 20$; la voix-directe aura envoyé une intensité de 10 , l'auditeur, à cause de l'abat-voix, en percevra une de 20 .

Supposons maintenant que P'' ait assez de force pour diminuer de moitié la voix directe, alors (avec le petit abat-voix) $P - P''$ devient $10 - 5 = 5$; et l'auditeur entendra un son équivalant seulement à une intensité de 5 . 5 à 20 ou 1 à 4 , voilà l'effet comparé des deux abat-voix pour le cas supposé. Mais *en tout cas* P est diminué, brouillé par P'' .

Nous avons été généreux en supposant que la *voix directe* n'est diminuée que de moitié par P'' ; car souvent les échos figurés par P'' la couvrent entièrement, et alors on a $P - P'' = 0$; c'est-à-dire que toute perception nette est devenue impossible (1).

14. — Supposons maintenant que la chaire soit placée entre deux colonnes, ou contre la paroi latérale (église-grange). En ce cas le plan vertical transversal sera un simple rectangle, $lmnp$ (fig. 4), terminé en haut par un axe transversal pour les églises voûtées, et par le plafond pour les autres.

Le rayon OR ira se réfléchir en ρ , et reviendra pres-

(1) Les missionnaires rencontrent parfois de ces chaires ingrates ; pour y remédier, quelques-uns alors établissent une petite chaire provisoire : le dossier et l'abat-voix sont formés par quelques liteaux sur lequel on a collé du papier sur de la toile tendue, le tout est orné de fleurs et de draperies. — Si cela n'est pas possible, il faut se placer vers le fond de la chaire, parler lentement et d'une voix modérée ; alors on sera compris par *une partie* de l'auditoire. Ou vaudrait-il mieux ajourner la mission, jusqu'à ce que la chaire ou l'abat-voix soient convenablement modifiés ??? La mesure de l'abat-voix est celle du succès, humainement parlant.

que par le même chemin sur l'assistance après un parcours d'environ $26^m,50$; le rayon *Or* se réfléchira sur les parois et le plafond aux points marqués pour les chiffres 1, 2, 3..... 10 (1), et reviendra sur l'auditoire près de la chaire après avoir parcouru 104 mètres.

Tous les rayons sonores intermédiaires auront des parcours variant entre 26 mètres et 104 mètres, c'est-à-dire que dans cette hypothèse le petit abat-voix aura un effet encore plus désastreux, puisqu'il permet la formation de beaucoup d'échos d'une, de deux et même de trois syllabes.

De quelque côté qu'on examine la question, l'on voit : qu'avec le petit abat-voix *toutes* les ondes du secteur *aob* (fig. 4) sont nuisibles, et qu'avec le grand ces mêmes ondes deviennent *toutes* très utiles ; dans le premier cas, elles *troublent* la perception de la voix directe ; dans le second, elles *la doublent*.

Concluons donc qu'il faut un grand abat-voix qui intercepte toutes ces ondes nuisibles, et si cela ne se peut, au moins qu'on le fasse aussi grand que possible.

Remarquons toutefois que la perception n'est *doublée* que pour les auditeurs qui se trouvent dans la sphère d'influence du grand abat-voix ; quant aux autres (l'abat-voix toujours supposé), ils n'entendront que la voix directe, mais nette, claire et nullement brouillée. Il y a donc bénéfice réel pour tout le monde en toute hypothèse.

Pour ce qui est de répartir les sons réfléchis par l'abat-voix sur *tout* ou *partie* de l'auditoire, il faut se

(1) Nous n'avons pas tracé ce parcours en détail, mais on peut le vérifier au moyen du double décimètre.

reporter à la troisième partie : *Problèmes*, 1^{er} problème, n° 62.

Note importante. — Remarquons encore que tout ce que nous venons de dire se passe dans le plan *vertical perpendiculaire* à la paroi. Plus tard [39] nous verrons que l'abat-voix rend les mêmes services dans les autres plans ou directions.

15. — A quelle hauteur le plafond de l'abat-voix doit-il être placé au-dessus du plancher de la chaire?

En règle générale plus l'abat-voix *est élevé* par rapport au plancher de la chaire plus aussi il doit être vaste, pour produire le même effet. — D'un autre côté, plus

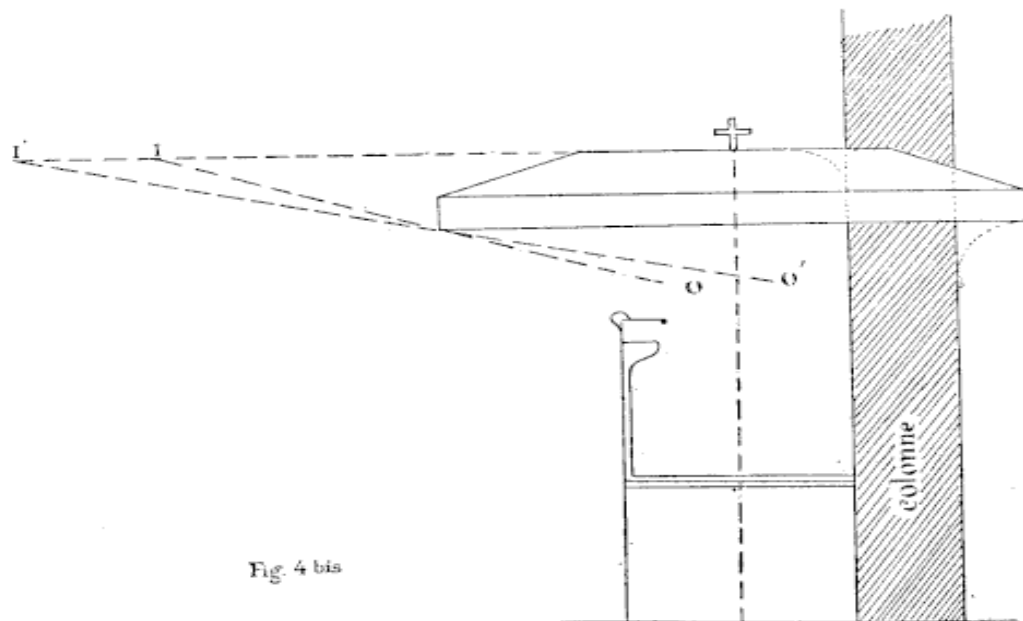


Fig. 4 bis

l'abat-voix se rapprochera du *point d'émission* en s'abaissant, plus le prédicateur en sentira le bénéfice (et cela d'autant plus qu'il se rapprochera lui-même du *dossier* de la chaire) (fig. 4 bis O et O').

Pour concilier toutes choses, il nous semble qu'on pourrait réduire la hauteur verticale entre le plancher de la chaire et le plafond de l'abat-voix à 2 mètres ou 2^m,10. — Ceux dont la taille est trop grande profiteront d'un siège. On pourrait encore avoir un double plancher [9].

En outre il faut que le centre de l'abat-voix soit sur la même verticale que le centre de la chaire (fig. 4 bis), alors l'abat-voix dépassera la chaire d'une manière égale de tous côtés, il englobera le pilier contre lequel il est fixé, et le tout prêtera mieux à l'ornementation. La chaire sera comme la partie inférieure d'un grand et beau chapiteau dont l'abat-voix serait le tailloir. Enfin, le chapiteau dépassant ainsi la chaire même par derrière, les ondes sonores se déverseront jusque sur les auditeurs qui se trouvent de ce côté.

16. — Quelles dimensions et quelle forme faut-il lui donner ?

Tous les rayons d'un parcours inférieur à 100 mètres étant réputés nuisibles, il faudrait que l'abat-voix fût *assez vaste* pour intercepter toutes les ondes ascendantes, qui n'auraient pas 100 mètres de parcours [36].

Si on lui laissait la forme plane unie, il devrait s'étendre (fig. 4 bis) jusqu'au point I, et serait trop large ; plus on abaisse les bords, plus aussi l'on rejoindra vite le rayon OI (fig. 4 bis). Il faut donc donner *au-dessous* de l'abat-voix une forme brisée ou courbe. — Le milieu de ce plafond d'abat-voix demanderait un diamètre double de celui de la chaire *elle-même*, sans cela le prédicateur serait comme étouffé.

Il est parfois difficile, surtout dans les églises voûtées, d'établir un abat-voix assez large pour intercepter *toutes*

les ondes ascendantes nuisibles. Pour les supprimer radicalement, il faudrait recourir à une modification dans la construction de l'église [59 et 60], ou mieux encore au *grand baldaquin* dont nous allons parler.

ARTICLE CINQUIÈME

La chaire à baldaquin, nouveau modèle.

17. — (Nous distinguons ici le *badalquin*, de l'*abat-voix* ordinaire même suffisant.) Voilà qui couperait court à toutes les difficultés et réunirait tous les avantages. Avec le grand baldaquin, *plus* d'ondes nuisibles *ascendantes*. Nous soumettons humblement cette idée à nos vénérables confrères, en les priant de bien l'examiner.

On a des baldaquins au-dessus des baptistères, au-dessus des stalles de chanoines, au-dessus des bancs d'œuvre : pourquoi pas au-dessus de la chaire ? D'autant plus qu'ici ce ne serait pas seulement un ornement, un petit monument, si vous voulez, mais une œuvre d'une utilité, parfois même d'une nécessité incontestables.

Si la chaire est adossée à une colonne, il suffit de deux colonnettes avancées ou latérales pour soutenir le baldaquin ; si elle est placée entre deux colonnes, on peut le faire supporter par deux ou quatre colonnettes, ou l'appuyer sur les grandes colonnes elles-mêmes, en se servant de consoles au besoin.

Le dossier de la chaire peut facilement être indépendant de l'abat-voix, ce qui favoriserait beaucoup les auditeurs placés par derrière.

18. — Nous donnons ici le croquis d'une pareille

chaire, espérant qu'il se trouvera une âme généreuse pour en réaliser l'exécution. *Fig. 5 a* nous la montre de

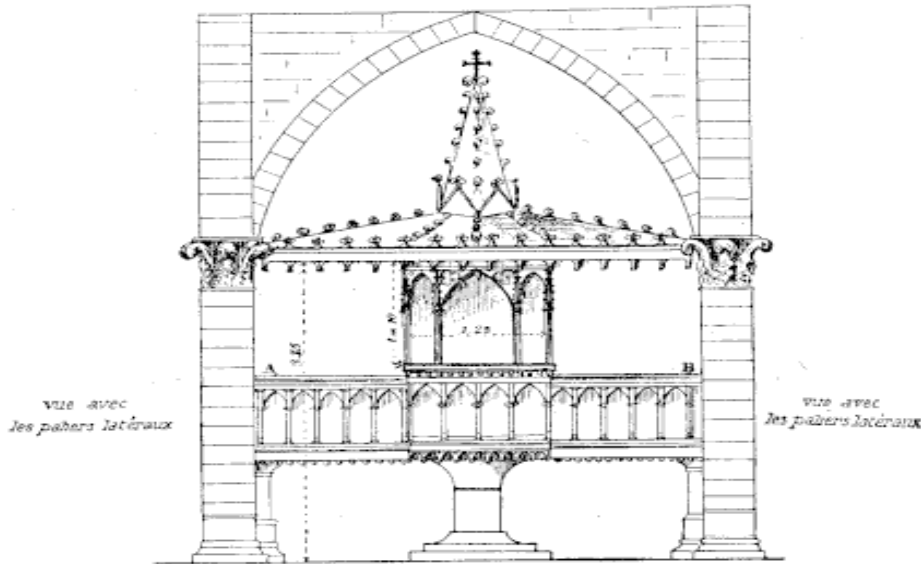


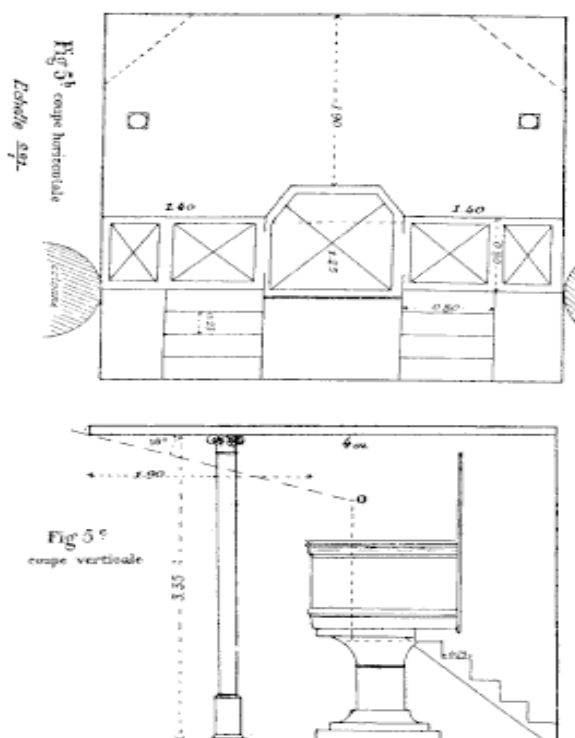
Fig. 5^a — Vue de face Echelle $\frac{0,01}{1}$

face; *5 b* en donne la coupe horizontale à la hauteur du plancher; *5 c* un profil vertical.

Le devant présente l'aspect d'une tribune sur laquelle la chaire se trouve en relief (fig. *5 b* et *5 c*). Dans le cas où la chaire serait entre deux colonnes, de chaque côté du corps de la chaire, se trouvent des paliers qui se prolongent jusqu'aux grandes colonnes, et s'y appuient solidement. Ces paliers ou tribunes latérales recevraient à l'occasion les clercs de chapelle, ou même les hauts dignitaires qui accompagnent l'évêque orateur, et qui se trouveraient là bien mieux qu'échelonnés debout sur l'escalier de la chaire!

Le plancher selon la figure *5 a* est à $1^m,30$ du sol (c'est beaucoup, $1^m,10$ suffirait, même pour une chaire monumentale comme celle-ci). On peut mettre 7 mar-

38 L'ACOUSTIQUE DANS LES CHAIRES D'ÉGLISE
 ches ou seulement 6, selon la place dont on dispose.



Le baldaquin lui-même porte par ses côtés antérieurs sur deux colonnettes, et vers le fond sur les deux grandes colonnes.

Notre baldaquin a 4^m en tous sens; le centre se trouve verticalement au-dessus du point *O*; ici le coup d'œil ne semble pas exiger qu'il soit verticalement au-dessus du *centre* de la chaire.

Ces explications données, il est évident qu'on peut modifier bien des choses dans notre figure. On peut supprimer les paliers latéraux; n'avoir qu'un seul escalier; remplacer les colonnettes par des statues soutenant le dôme; abaisser ou relever les bords de façon à relancer les ondes sonores spécialement sur l'extrémité de l'auditoire, orner le dessus du dôme, etc...

L'essentiel est que le baldaquin soit assez vaste pour

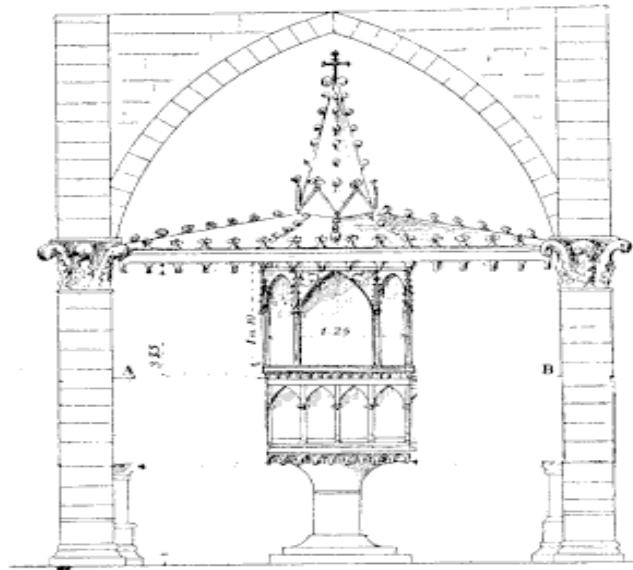


Fig. 5^{bis} — Vue de face
Sans paliers latéraux.
Echelle
0.03-1

intercepter absolument *toute* onde ascendante nuisible ou même douteuse.

On dit que, lorsque dans les grandes églises de certains pays, il faut parler à des auditoires compacts du haut de la chaire principale, on établit, au-dessus de l'orateur et assez au loin, une toile *fortement tendue*, en guise de ciel-de-dais ! S'il en est ainsi, on met là en pratique ce que nous venons de dire du baldaquin. Pourquoi, ce qui se fait ailleurs provisoirement, ne serait-il pas bon chez nous et d'une manière plus durable ?

18 *bis*. — Nous terminons cette première partie par une dernière recommandation qu'on trouve dans certains traités d'acoustique. Ce serait de faire l'abat-voix, le baldaquin, le dossier de la chaire et même les boiseries situées vis-à-vis, en forme de *boîte de résonance* ; c'est-

à-dire de les faire en deux parties minces, entre lesquelles on laisserait un intervalle de 8 à 9 centim. et qu'on *tendrait* fortement sur une petite charpente intérieure. Grâce à cette industrie, qui ne présente aucun inconvénient, on renforcerait encore la voix (1).

(1) M. Sturmhæffel, déjà cité [5], recommande également ces planches de résonance.

DEUXIÈME PARTIE
THÉORIES

DEUXIÈME PARTIE

THÉORIES

OBSERVATION PRÉLIMINAIRE

Cette partie nous présente une série de *procédés raisonnés et inédits* pour connaître à fond les rayons sonores, leur marche, *leurs perfidies*, etc.; pour apprendre à les diriger à son gré, les écarter d'un point et les porter sur un autre, en un mot les maîtriser complètement et au besoin les mettre aux oubliettes.

La science n'en est pas exclue ; bien au contraire, avec des procédés raisonnés, la science vient *corroborer, démontrer et justifier* toutes nos théories, afin d'en donner une conviction entière aux esprits sérieux.

L'essentiel est qu'on n'y cherche pas la profondeur de la science, mais seulement l'exactitude des détails.

En effet, après quelques *notions élémentaire de physique*, presque tout se borne à de multiples applications du seul principe : *pour tout rayon réfléchi l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.*

Le lecteur bienveillant comprendra facilement par ces applications raisonnées la légitimité de tous les conseils pratiques renfermés dans la première partie, et de tout

ce que nous dirons par la suite et quand il en sera fortement convaincu, il le mettra en pratique.

Et ainsi l'on verra, une fois de plus, que les choses les plus simples et que *tout le monde sait*, ont des applications très utiles *auxquelles personne ne pense*.

ARTICLE PREMIER

Quelques notions d'acoustique nécessaires pour ce petit traité.

19. — Toute émission de voix produit dans l'air des vibrations perceptibles à l'oreille, des *sons*.

Propagation et vitesse du son. — Du point d'émission comme centre, les ondes sonores *se propagent*, ou se développent sous forme de surface sphérique, avec une vitesse fort *variable* selon le milieu et la température, mais constante pour une température et un milieu déterminés.

Pour notre présent travail, nous prendrons toujours la vitesse à l'air libre et à la température de 15° environ. Dans ces conditions, qui sont, à peu près, celles de nos églises, le son parcourt 340 mètres par seconde; si l'on émet 10 syllabes par seconde, chaque syllabe aura $1/10$ de seconde pour se propager, et par conséquent effectuer un parcours de 34 mètres avant l'émission de la syllabe suivante [1, 2].

Direction du son. — Du point d'émission à un point quelconque de la surface sphérique ondulatoire, les vibrations se propagent en *ligne droite*, et c'est cette ligne droite (direction du son) qu'on appelle *rayon sonore*.

La figure 6 représente une coupe de sphères *concentriques* où les ondes sonores se succèdent en se déve-

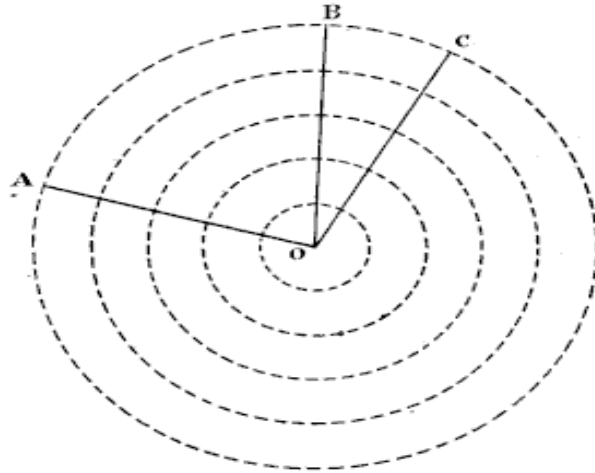


Fig. 6

loppant en tous sens, à partir du centre O. — OA, OB, OC sont des rayons sonores. A chaque point de chacune des surfaces sphérique, correspond un rayon sonore.

20. — *Intensité du son.* — *Diminution d'intensité.* — Il ne s'agit pas ici de l'ampleur d'une voix en elle-même, ou comparée avec d'autres voix, il s'agit de la diminution que différentes causes font éprouver à la *même* voix.

1° *La distance.* — L'intensité de tout son diminue en raison directe du carré de la distance, c'est-à-dire qu'un homme placé à 2 mètres, 4 mètres, 10 mètres, entendra 4 fois, 16 fois, 100 fois moins que s'il était à 1 mètre du point d'émission.

2° *La place relative de l'auditeur.* — L'expérience nous apprend que la voix, à distance égale, atteint son maximum d'intensité dans la direction de l'émission; qu'elle est moins bien entendue sur les côtés; moins

encore derrière l'orateur; ce qui revient à dire que, pour entendre *aussi bien* de tous les côtés qu'en un point *a*,

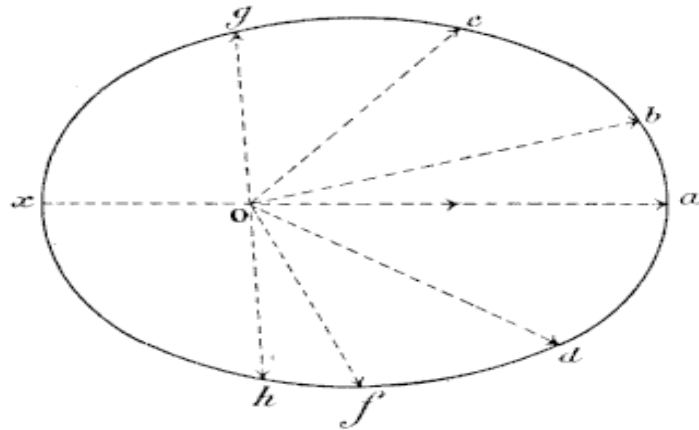


Fig. 7

par exemple (fig. 7),² situé en face de l'orateur, il faudrait se rapprocher du point d'émission à peu près selon la figure 7 (à laquelle, du reste, nous ne prétendons pas attribuer ici une rigueur mathématique).

3° *La réflexion* est une troisième cause de diminution d'intensité. Et d'abord quelques mots sur la réflexion en général.

21. — *Réflexion du son.* — Lorsqu'un rayon sonore rencontre un obstacle résistant, tel que paroi, colonne, voûtes, etc., il en est relancé, répercuté, réfléchi selon la loi connue : *l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence*; loi qui fait le fond de ce traité, comme nous l'avons dit.

Soit *OR* (fig. 8, page 48), un rayon sonore qui rencontre la paroi *ab*, soit *Rc*, la normale ou perpendiculaire à cette paroi; le rayon *OR*, sera réfléchi selon *Rd*, en faisant l'angle de réflexion $cRd =$ à l'angle d'incidence *ORc*.

N. B. — *Le rayon incident, la normale et le rayon réfléchi, restent toujours dans le même plan, que, pour abrégé, nous appellerons dans ce travail plan de mouvement du rayon sonore.*

Pour en revenir à notre proposition, la *réflexion* sur un corps plus ou moins absorbant est une cause de diminution d'intensité dans le son (1).

21 bis. — Les réflexions dont nous venons de parler s'appellent régulières, parce qu'on peut facilement en suivre la marche et faire le tracé du rayon réfléchi. Mais toute surface a des aspérités (le crépi), des irrégularités invisibles parfois à l'œil nu, et qui présentent des facettes minuscules, nullement parallèles à l'ensemble apparent de la paroi.

(1) Le tableau suivant contient quelques indications, obtenues par M. Wallace Sabine, et publiées récemment par *l'American Architect*, sur le pouvoir absorbant de certains corps.

Une fenêtre ouverte, laissant perdre au dehors la totalité de l'onde qui l'atteint, constitue une unité très rationnelle, pour évaluer les absorptions produites par différents corps.

<i>Pouvoirs absorbants.</i> — Fenêtre ouverte.....	1,000
— Revêtement en pin dur.....	0,061
— Verre simple épaisseur.....	0,033
— Plâtre sur tuile.....	0,025
— Briques réunies par du ciment Portland.....	0,025
— Peintures à l'huile avec leurs cadres.....	0,280
— Tapis orientaux extra-lourds...	0,290
— Rideaux.....	0,230
— Linoléum, posé sur le sol.....	0,120
— Sièges rembourrés crins et cuir par place.....	0,280
— Auditoire par mètre carré.....	0,960
— Auditoire par personne.....	0,440
— Homme isolé.....	0,480
— Femme isolée.....	0,540

Les rayons sonores qui se réfléchissent sur ces facettes, ces *irrégularités*, s'y réfléchissent selon les lois

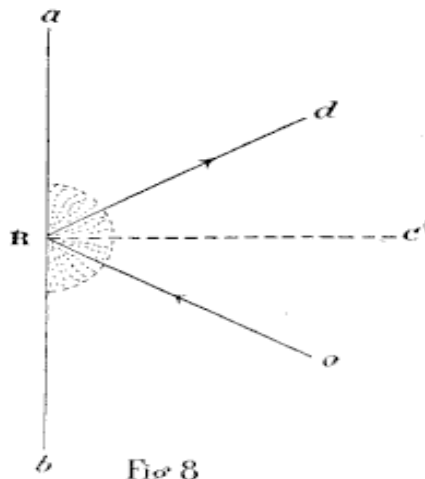


Fig 8

de la physique; mais nous appelons ces réflexions *irrégulières* parce qu'il n'est pas facile de s'en rendre compte.— Elles peuvent se produire *tout autour* du point d'incidence *R* (fig. 8), et alors elles donnent lieu aux sons *diffus*, et diminuent *d'autant l'intensité* du rayon *régulièrement* réfléchi. Lorsque cette diminution s'ajoute à celle qui provient de la distance, surtout

quand il y a plusieurs réflexions successives, on comprend que le rayon sonore soit considérablement affaibli.

Les sons diffus peuvent néanmoins beaucoup gêner l'orateur et l'auditeur; nous verrons [69] si nous pouvons quelque chose contre eux (1).

22. — L'Echo. — *L'écho*, c'est la voix relancée après une ou plusieurs réflexions, et perçue distinctement par l'auditeur, à part de la voix directe.

(1) Nous ne parlons pas du phénomène de la *réfraction* (ou déviation du rayon sonore produite par la différence de densité des couches qu'il traverse). Nous ne disons rien non plus des *interférences acoustiques* qui résultent de deux vibrations se rencontrant de façon à s'annuler. Ces deux phénomènes, tout en pouvant se produire assez fréquemment, n'influent pas d'une façon sensible sur l'acoustique générale d'une église: d'ailleurs ils ne peuvent guère être atteints en pratique, et par conséquent doivent rester en dehors de notre travail. — Nous en faisons cette simple mention pour ne pas faire croire à un oubli.

Il y a ici une double *diminution* : 1° une *diminution d'intensité* dans l'écho lui-même, par suite de la distance parcourue; 2° une *diminution de perception* de la voix directe, si l'écho lui apporte une syllabe différente [1,2].

Nous l'avons déjà dit : pour qu'il y ait un franc écho, il faut au moins une différence de $1/10$ de seconde entre la première et la seconde perception du même son, et de

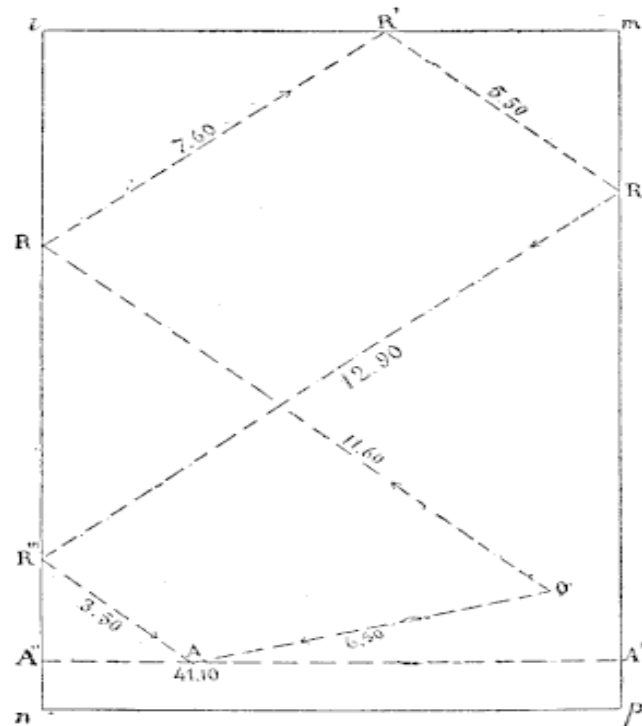


Fig. 9.

$$\frac{0.005}{1}$$

34 mètres entre le parcours de la voix directe et celui de l'écho. La figure 9 nous montrera la chose.

Soit $lmnp$ la coupe transversale et verticale d'une église-grange de $15/10$ à l'échelle d'un $1/2$ centimètre pour 1 mètre, en O la bouche de l'orateur, et en $A'A''$ la ligne de l'auditeur assis.

L'ACOUSTIQUE. — 4

Le rayon sonore OA arrivera à l'auditeur sans obstacle; mais le rayon OR ne lui arrivera qu'après quatre réflexions en R, R', R'', R''' . OA mesure ici $6^m 50$; $ORR' \dots A$ mesure $40^m, 10$. Il y a donc entre les deux parcours $41^m, 10 - 6^m, 50$ une différence de $34^m, 60$, par suite écho bien caractérisé.

Si la différence entre les deux parcours est supérieure à 34 mètres l'écho sera plus dégagé; si elle atteint 68 mètres, il y aura écho de deux syllabes, et de 3 syllabes si cette différence monte à 102 mètres. Si au contraire la différence parcourue n'est que de $32, 30, 26$ mètres, l'écho ne sera pas nettement formé; il le sera de moins en moins, à mesure que le parcours réfléchi diminue; en ce cas, nous aurons de simples *résonances* (1).

Il faut qu'on se rende bien compte de cette théorie, puisque c'est le fondement de tout ce que nous avons dit ou dirons encore.

Nous appellerons *voix utile* la voix directe renforcée ou diminuée par l'écho, la voix telle qu'elle est saisie par l'auditeur.

En effet, si l'écho d'une syllabe arrive à l'oreille avant que la syllabe suivante soit émise, il y aura prolongement ou renforcement de cette syllabe; mais si cet écho arrive à l'oreille en *même temps* que le son direct d'une ou plusieurs syllabes suivantes, il y aura confusion sur le tympan: de là, difficulté de percevoir ces sons divers, diminution de perception distincte qui peut aller jusqu'à l'annulation pratique de la voix directe [1, 2, 12].

(1) M. Sturmhœffel déjà cité [5, note] dit qu'une différence de 8 mètres entre les deux parcours n'est pas appréciable (*l. c.*); nous allons jusqu'à 10 mètres.

23.— Masse de sons produits par une seule émission.
— Nous avons dit [5] qu'il fallait éviter tout éclat de voix, car un éclat de voix réveille des échos très multiples.

En effet, de la surface sphérique ondulatoire [19] produite par une émission de voix, chaque auditeur ne perçoit directement qu'une *minime* partie, et chacun une *portion différente*, à savoir : celle qui vient s'abattre sur ses deux pavillons auriculaires.

Un pavillon auriculaire mesure généralement $0^m,04/0^m,05$ ou $0^m,05/0^m,06$, ce qui donne, pour une oreille, 20 ou 30 centimètres carrés de surface et pour les deux 40 à 60 centimètres carrés.

Supposons l'auditeur placé à 10 mètres de l'orateur : la surface sphérique, à cette distance, mesure 1256 mq., 64. En divisant ce chiffre par $0mq. 0060$, surface des deux pavillons auriculaires, on trouve 209,440, c'est-à-dire que la surface des pavillons auriculaires est renfermée 209,440 fois dans la surface sphérique totale d'un rayon de 10 mètres, ou encore que la surface sphérique totale est 209,440 fois plus grande que celle des pavillons, et que celui qui percevrait toutes ces ondes sonores entendrait une voix 209,440 plus forte que celle qu'il entend en effet. Le tympan pourrait-il supporter cette intensité de sons (1) ?!

(1) Pour la satisfaction du lecteur, faisons ce calcul, du reste très facile. Toute surface sphérique est représentée par la formule $4\pi R^2$; $\pi = 3,1416$; $R = 10$ selon l'hypothèse, donc $R^2 = 100$; la formule devient donc $4 \times 3,1416 \times 100 = 1256,64$. = Ensuite $\frac{1256,64}{0,0060} = 209,440$ ($0,0060 =$ la surface des pavillons auriculaires). Nous avons, au début, comparé la nef d'une église à un *porte-voix* [6]. Sans vouloir entrer aucunement dans la discussion des savants au sujet du porte-voix, nous devons constater, pour

Or, toute cette masse de vibrations se répand par tout l'édifice, sur les parois, colonnes, voûtes, pavé, ornements, ciselures, jusque sur la moindre aspérité du crépi, et se réfléchit en chaque point de ces obstacles.

Que de rayons réfléchis sur un seul millimètre carré !
Que de millimètres carrés sur toutes ces surfaces !

Sans doute, et heureusement, ces vibrations réfléchies ne reviennent pas toutes aux oreilles de l'auditeur ; mais qu'il lui en revienne $1/100$, $1/1000$ et même $1/100.000$ en même temps, ce qui arrive surtout par les *éclats de voix*, la parole du prédicateur en sera bien compromise. On comprend dès lors les précautions minutieuses qu'il faut prendre contre cette masse d'ennemis. Nous le comprendrons encore mieux en étudiant la marche des différentes ondes [50].

RÉSUMÉ. — Le *parcours* des ondes sonores, leur *vitesse*, leurs *réflexions*, nous prouvent que l'orateur doit parler *lentement*. La *diminution d'intensité* selon la *position relative* montre que la chaire doit se trouver vers le *milieu de l'auditoire* ; la *masse* des ondes produites par une seule émission, et réfléchies de toute part, rappelle qu'il faut éviter les *éclats de voix*.

Nous allons étudier maintenant les différentes applications que trouve dans une église notre principe : *l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence*, et d'abord :

1° Nous établirons la *division des ondes sonores* selon la direction que prendra le rayon *réfléchi* ;

justifier notre comparaison : 1° que, dans le porte-voix, *toute la masse des sons* produits sur la surface sphérique est réunie et dirigée *du même côté* ; et 2° que la force de la voix en est *singulièrement* augmentée.

2° Ensuite, nous étudierons *la marche* des rayons sonores selon les différentes surfaces sur lesquelles ils se répercutent ; ou, si l'on préfère, l'influence que les diverses surfaces réfléchissantes d'une église exercent sur la marche des rayons sonores réfléchis.

ARTICLE DEUXIÈME

Division des ondes sonores.

24. — Pour l'ordre et la clarté nous diviserons les ondes sonores réfléchies suivant la direction de leur réflexion en ondes *inférieures* et ondes *supérieures* ; puis en ondes de *droite* et ondes de *gauche* ; le tout par rapport au prédicateur, parlant *droit* devant lui, c'est-à-dire *perpendiculairement* à la paroi ou l'obstacle opposé.

A. — Ondes inférieures et ondes supérieures. — *Plan de séparation horizontale.*

Soit $lmnp$ la partie inférieure de la coupe transversale d'une nef ; ln la paroi opposée au prédicateur ; OS la perpendiculaire allant du point d'émission à cette paroi.

Menons par la pensée, selon la ligne OS , un plan horizontal, ce sera LE PLAN DE SÉPARATION HORIZONTALE ; il sépare les ondes *inférieures* des ondes *supérieures*. En effet, il est clair que tout rayon qui frappera la paroi au-dessous du point S se réfléchira vers *le sol* ; et tout

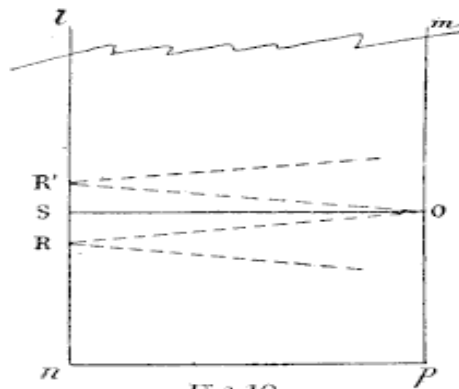


Fig. 10
sans échelle.

rayon qui frappera au-dessus, sera relancé vers *le haut*. Le rayon qui frapperait directement en S reviendrait tout droit sur O .

25. — Cela suppose la paroi rigoureusement verticale. Mais si cette paroi est *inclinée* en avant ou en arrière, de manière, par exemple, que Sn devienne Sn' , ou que Sl devienne Sl' (fig. 11), la perpendiculaire à cette paroi

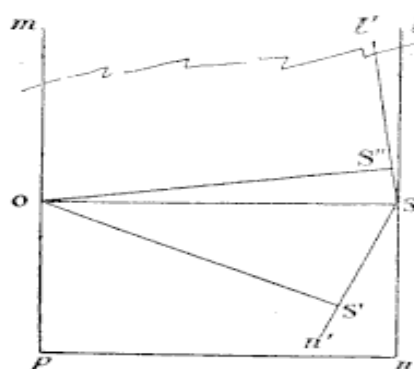


Fig. 11
sans échelle

inclinée deviendrait OS' ou OS'' , et le *plan de séparation* des ondes supérieures et inférieures ne serait plus et ne pourrait plus strictement être dit horizontal.

Nous lui conservons cependant, même dans ce cas, le nom de *plan de séparation horizontale*, parce que la droite suivant laquelle ce plan rencontre la paroi opposée est

toujours parallèle au pavé, c'est-à-dire *horizontale*.

Il est à peine nécessaire de faire remarquer que toutes les ondes au-dessous de ce nouveau plan seront inférieures, et celles qui sont au-dessus supérieures.

Sans doute on ne trouvera jamais toute une paroi avec cette inclinaison ; mais on pourra, de propos délibéré, incliner une portion de cette paroi, afin de changer sur cette portion les ondes inférieures ou supérieures, et réciproquement selon le besoin. Nous verrons bientôt combien cette indication est utile et précieuse.

26. — Ondes de droite, ondes de gauche. — *Plan de*

séparation verticale. — De même qu'il y a un plan de séparation horizontale, il y a aussi un plan de *séparation verticale*, qui divise les ondes sonores en *ondes de droite* et *ondes de gauche*, par rapport à l'orateur parlant droit devant lui.

Ce plan de *séparation verticale* mené par le point d'émission est *vertical*, et *perpendiculaire* à la paroi ou à l'obstacle opposé à l'orateur (1).

Soit (fig. 12) $lmnp$ la coupe *horizontale* d'une église;

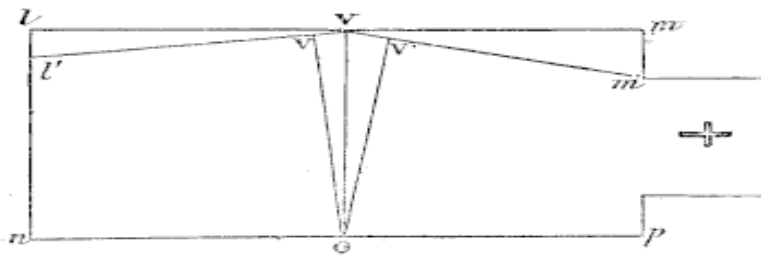


Fig. 12 (sans échelle)

O le point d'émission; lm la paroi opposée au prédicateur; OV , perpendiculaire à cette paroi, nous représente le *plan de séparation verticale*. Les rayons sonores qui frapperont en V et sur toute la hauteur de la verticale dont le point V fait partie resteront dans ce plan de séparation qui est leur *plan de mouvement* [21]; les ondes qui frapperont à droite de cette ligne seront des *ondes de droite*, et celles qui frapperont à gauche seront [des *ondes de gauche*. Nous supposons que la paroi lm est *parallèle* à l'axe de l'église.

27. — Mais si cette paroi, en tout ou en partie, était

(1) Il est clair qu'il y a un tel plan par rapport à chacune des autres parois et obstacles, même derrière l'orateur.

oblique par rapport à l'axe de l'église, si Vm , par exemple, prenait la direction Vm' ou Vl , la direction Vl' , le plan de séparation verticale, devant rester perpendiculaire à la paroi, deviendrait en projection OV' ou OV'' , et une partie des ondes qui étaient tout à l'heure *ondes de droite* se changeraient en *ondes de gauche*, ou réciproquement.

Si l'orateur se tournait de côté, il changerait bien la direction de l'émission, mais il ne changerait rien au plan de séparation verticale qui reste toujours *perpendiculaire à la paroi* ou à l'obstacle.

Nous voyons ici un second moyen de détourner les ondes sonores d'un endroit où elles seraient nuisibles, pour les diriger ailleurs. La chose est surtout facile pour les parois à pilastres, ou encadrements quelconques, qui forment des surfaces assez indépendantes pour qu'on puisse modifier leur obliquité sans qu'un œil non prévenu s'en aperçoive.

On trouve quelquefois de ces irrégularités même apparentes dans les anciennes églises ; sont-elles voulues ? En tout cas il serait curieux de les étudier à notre point de vue, une légère obliquité pouvant produire un déplacement notable dans les ondes réfléchies.

Ces divisions étant établies, nous pouvons aborder la marche des ondes.

ARTICLE TROISIÈME

Marche des ondes sonores en général ou différents plans, de mouvement possibles.

28. — Si l'on se proposait d'étudier la marche des rayons sonores dans toutes les directions possibles, il

faudrait s'occuper de trois sortes de plans du mouvement [21].

1° Les plans de mouvement verticaux et perpendiculaires aux parois (pour les rayons qui se meuvent dans les plans de séparation verticale);

2° Les plans de mouvement perpendiculaires aux parois verticales, et obliques par rapport au pavé (pour les rayons qui se réfléchissent sur les parois verticales, en dehors des plans de séparation verticale);

3° Les plans de mouvement verticaux et obliques par rapport aux parois (pour les rayons qui se réfléchissent sur les surfaces horizontales : pavé, plafond, etc.).

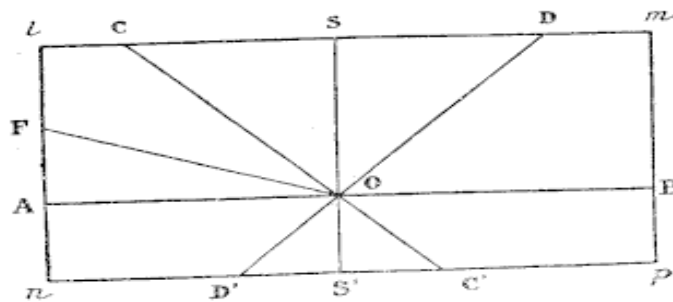


Fig. 13. (sans échelle)

Expliquons-nous par la *fig. 13*. — Soit *lmnp* le plan de séparation horizontale; *O* le point d'émission; *OS*, *OA*, *OB*, *OS'*, seront les traces de deux groupes de plans :

a) Des plans à la fois verticaux, et perpendiculaires aux quatre parois (1^{re} catégorie plus haut);

b) De plans non verticaux et néanmoins perpendiculaires aux parois, le long desquelles ils s'élèvent obliquement par rapport au pavé (2^e catégorie).

c) *OC*, *OD*, *OC'*, *OD'*, *OF*, seront les traces d'un autre groupe de plans verticaux, mais obliques par rapport aux parois (3^e catégorie).

Pratiquement, nous n'étudierons en détail la marche des rayons sonores que dans la première catégorie de ces plans; nous verrons en effet [39] que cela suffit pour les *ondes supérieures*. Quant aux ondes inférieures, les choses se passent encore plus simplement [32].

ARTICLE QUATRIÈME

Marche des ondes inférieures.

De ces ondes, les unes se réfléchissent sur les *parois latérales*, les autres *sur le pavé*; la marche des unes et des autres nous démontrera la nécessité d'abaisser le plancher de la chaire [10]. De là deux paragraphes.

§ 1. — ONDES INFÉRIEURES RÉFLÉCHIES SUR LA PAROI.

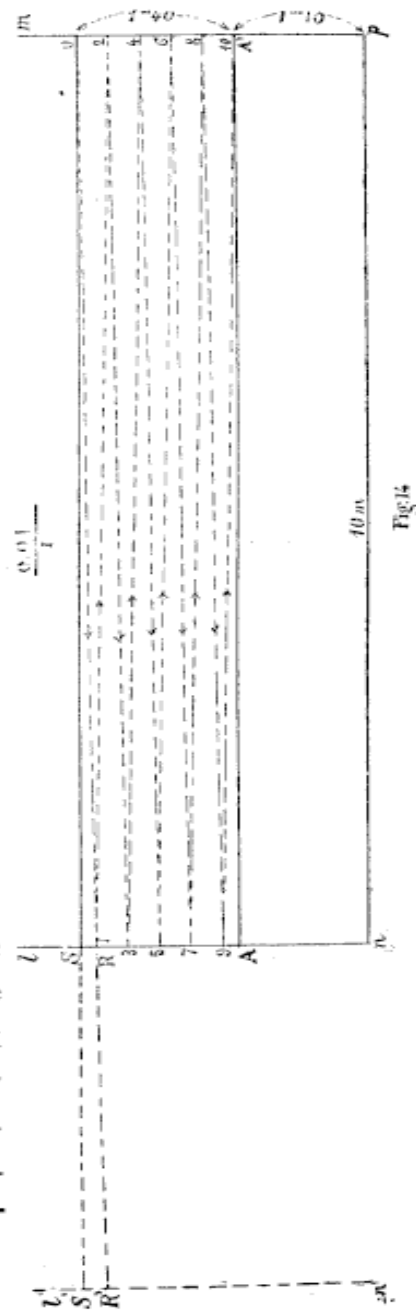
29. — Les ondes inférieures qui vont se répercuter sur la paroi opposée ne sont pas *toutes* nuisibles. Celles-là seulement le sont qui arrivent à l'oreille avec une intensité et un parcours suffisants pour faire un ou plusieurs échos. C'est la *portion de la paroi* qui reçoit et répercuté les ondes *seules nuisibles* que nous appelons : *Champ nuisible inférieur*.

a) Nous allons étudier d'abord en général la *marche* des rayons sur cette paroi; — b) puis nous y *délimiterons* le champ nuisible.

a) Soit $lmnp$ (fig. 14) la partie inférieure et la coupe transversale d'une nef de 10 mètres de large; soit O le point d'émission, à 2^m50 au-dessus du sol et à 1^m40 de A ; soit AA le niveau de l'auditoire assis et OS le plan de séparation horizontale.

Les rayons qui touchent la paroi *au-dessous* du point S ont un parcours d'autant plus long, pour arriver jusqu'en A , que leur point d'incidence est plus rapproché du point S , car alors leur angle d'incidence est plus petit et le nombre de réflexions sur paroi est plus grand; au contraire, le parcours total de O en A diminue à mesure que l'angle d'incidence s'éloigne de S , augmente, et que le nombre de réflexions diminue.

Par exemple, le rayon sonore qui frappe à 0^m001 au-dessous de S ira, en faisant des angles de réflexion toujours égaux aux angles d'incidence, se répercuter de paroi en paroi et de millimètre en millimètre de hauteur, jusqu'en A . — Chaque millimètre sur les parois correspond à un trajet de la nef, c'est-à-dire à 10 mètres environ de parcours.



Or de O en A , il y a 1^m40 de hauteur verticale, et dans ces 1^m40 il y a 1400 millimètres; le parcours total sera donc 1400 fois la largeur de la nef, c'est-à-dire $1400 \times 10 = 14.000$ mètres (14 kilomètres!) Evidemment il n'aura pas la force d'arriver.

Augmentons la distance de S au point de réflexion.— Le rayon qui frappera à 0^m01 au-dessous du point S fera autant de fois le trajet de la nef qu'il y a de *centimètres* dans $1^m,40$, c'est-à-dire 140 fois, et aura un parcours de 1400 mètres.

Celui qui frappe à $0,1$ au-dessous de S aura un parcours de 140 mètres.

Le rayon qui va directement de O en A ne fait qu'un trajet de la nef, c'est-à-dire (à cause de l'obliquité) environ $10^m,20$. *Donc le parcours diminue à mesure que l'angle d'incidence augmente.*

De tous ces rayons, ceux qui font un parcours de 100 mètres avant d'arriver à l'auditeur sont *inoffensifs* [5]; ceux qui ont un parcours moindre sont *nuisibles*.

Quant aux rayons qui frappent en A (ou à peu près), ils sont inoffensifs par une autre raison : c'est qu'ils retombent sur les vêtements de l'auditoire et s'y émousent.

30. — *b. Délimitation du champ nuisible inférieur.* — Nous allons étudier cette délimitation dans le plan le plus simple, c'est-à-dire le plan vertical perpendiculaire à la paroi opposée. Nous verrons ensuite que cela nous permettra de le délimiter sur tout le pourtour de l'église.

Déterminons d'abord la limite supérieure. — Ce sera le *point de première incidence* du rayon, qui fait 100 mètres avant d'arriver à l'auditoire. Pour connaître

ce point il faut chercher le *nombre de réflexions* que fera ce rayon de 100 mètres; puis *diviser* la distance $SA = 1^m,40$, par ce nombre: le quotient de cette dernière division sera le nombre que nous cherchons.

Le nombre de réflexions. — Il y aura autant de réflexions que le rayon de 100 mètres fera *de trajets isolés* d'une paroi à l'autre, c'est-à-dire autant de fois qu'il traversera la largeur de la nef qui est de 10 mètres, donc $\frac{100}{10} = 10$ réflexions. (En réalité, le trajet isolé, étant *oblique*, est un peu plus grand que 10 mètres, mais ce surplus est ici négligeable.)

Or, 10 réflexions contenues dans la hauteur de $1^m,40$ (de S en A) donne pour chaque réflexion $\frac{1^m,40}{10} = 0^m,14$, de haut, d'une réflexion à l'autre. La limite supérieure du champ nuisible est donc à 0,14 au-dessous du point S .

Si l'on représente par P le parcours de 100 mètres, par H la hauteur verticale correspondante à P , par p le trajet isolé de la nef, et par h la petite hauteur verticale correspondant à ce trajet, on aura: $\frac{H}{h} = \frac{P}{p}$ et $h = \frac{pH}{P}$, c'est-à-dire $h = \frac{10 \times 1^m,40}{100} = 0^m,14$.

Donc pour obtenir la limite supérieure de ce champ nuisible il faut : 1° diviser 100 par le trajet isolé de la nef, on aura ainsi le nombre de réflexions; 2° diviser par ce nombre (de réflexions) la hauteur depuis la ligne OS jusqu'à l'auditoire, et l'on aura la petite hauteur relative à chaque réflexion; c'est le chiffre

demandé (ou plus simplement employer la formule plus haut).

31. — La limite *inférieure* de ce champ nuisible, c'est, par rapport à chaque auditeur, le point précis où les rayons inférieurs cessent d'être nuisibles pour lui, c'est-à-dire le point où la différence entre le parcours direct du son et le parcours réfléchi est assez faible pour qu'il ne puisse plus y avoir ni écho, ni même résonnance nuisible [22] ce qui arrive quand cette différence n'est que de 8 à 10 mètres.

On pourrait calculer ce point d'une manière rigoureuse pour un auditeur quelconque, en s'aidant du problème [63] à la fin de ce traité.

Mais nous avons une solution plus simple et plus *radicale*, c'est de prendre comme limite inférieure le niveau même de l'auditoire AA ; car alors toutes les ondes nuisibles retomberont sur les vêtements des assistants.

32. — Son tracé. — En examinant les fig. 14 et 16, on voit sans peine que si le rayon OR ou Om allait jusqu'à la paroi ln' , la distance $S'R'$ du point d'incidence à la ligne horizontale OS' augmenterait dans la même proportion que le rayon OR (triangles ORS , $OR'S'$ semblables).

En sorte que si la distance OS' était de 20 mètres ($OS = 10$ mètres), la hauteur $S'R'$ serait de 0^m,28, au lieu de 0^m,14.

Cette remarque est vraie aussi pour les rayons dont la longueur augmente, non plus à cause du recul de la paroi opposée, mais parce qu'ils s'écartent latéralement de la ligne OS . Autrement dit, les deux limites du champ

nuisible s'abaissent à mesure qu'augmente la distance du point d'émission au point d'arrivée sur la paroi. La limite exacte de ce champ nuisible serait donc donnée par deux lignes s'inclinant vers le sol à mesure qu'elles s'éloignent du point opposé à la chaire.

Pour avoir une figure régulière, il faudra donc prendre comme limite supérieure *le niveau horizontal du point le plus élevé* dans ce champ nuisible, c'est-à-dire *R* (fig. 14), et comme limite inférieure *le niveau le plus bas*, c'est-à-dire pratiquement *le niveau de l'auditoire*.

Or le niveau de l'auditoire étant à 1^m,40 au-dessous du point *S* [30] et l'incidence la plus élevée étant à 0^m,14 au-dessous du même point, le champ nuisible mesurera (dans notre nef) $1^m,40 - 0^m,14 = 1^m,26$ de hauteur verticale.

Voilà pour la paroi qui est vis-à-vis du prédicateur. On comprend sans peine que les différentes autres parois de tout le pourtour étant à des distances diverses il faut *graphiquement* déterminer l'inclinaison de chacune selon la distance respective du point d'émission *O*. — La limite supérieure pourra éventuellement être différente, pourvu que cela ne soit point choquant pour l'œil.

33. — Annulation du champ nuisible. — Il est clair maintenant qu'en *abaissant* la plancher de la chaire [10] on diminue le champ nuisible. Mais ce moyen n'annule qu'une petite portion de ce champ.

On pourra y remédier *en partie* en couvrant le pourtour en question de *tentes flottantes* (1) qui absorbent plus ou moins les ondes sonores.

(1) On trouve cette disposition dans d'anciennes églises, par exemple : la cathédrale de Reims. Que ce soit voulu ou non, le but est atteint [v. la note 21 bis].

Mais le moyen *radical, scientifique*, c'est, en modifiant l'*inclinaison de la surface réfléchissante*, de *changer la direction* des rayons sonores afin de les empêcher de nuire à l'auditoire [25, 26].

Comme ce point est un des plus importants de ce traité nous le développerons cette première fois avec plus de détails en allant graduellement de la solution la plus *simple* à la plus *parfaite*.

Nous pouvons *changer la direction des rayons* sonores :

A. En rendant *supérieurs* tous ces rayons qui par position sont *inférieurs* ;

B. En les empêchant de tomber sur l'auditoire tout en restant inférieurs ; ce procédé est plus parfait que l'autre.

A. — *Changer en ondes supérieures les ondes inférieures du champ nuisible.*

Nous donnerons trois manières d'opérer ce changement de direction :

a) Par le moyen d'une surface *incliné*e plane et *unique* ;

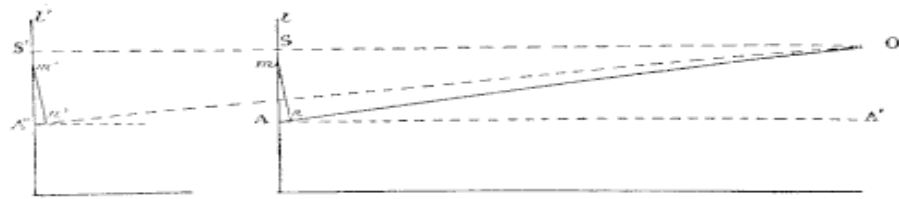


Fig. 16 Echelle 2000

b) Par le moyen de plusieurs surfaces inclinées, juxtaposées et parallèles ;

c) Par le moyen d'une surface curviligne.

a) *Surface plane et unique.* — Soit (fig. 16) mA le champ nuisible sur la paroi opposée au prédicateur, AA le niveau de l'auditoire, O le point d'émission.

Joignons OA ; puis du point m , limite supérieure de notre champ, abaissons sur OA la perpendiculaire mn .

Cette dernière ligne nous donne l'*inclinaison* que nous cherchons. — En effet, On représente, pour cette portion de la paroi, le plan de séparation horizontale [25], et toutes les ondes sonores qui se réfléchissent depuis m jusqu'en n seront nécessairement réfléchies au-dessus de la ligne On , c'est-à-dire seront *supérieures*.

En faisant la figure en grand, nous avons trouvé $0^m,07$ d'écartement de n en A .

Pour dissimuler cet écartement, on pourrait en ménager la moitié, c'est-à-dire $0^m,035$ en haut et en profondeur, et l'autre moitié en bas, et en saillie.

En ayant soin de border ces deux limites par une moulure l'inclinaison serait peu sensible, au moins elle ne serait pas choquante (fig. 17, page 66).

b) Annulation par plusieurs surfaces planes juxtaposées.

— Mais on peut diminuer cet écartement et rendre l'inclinaison moins sensible, en divisant le champ nuisible en bandes horizontales parallèles. Ces bandes, conservant chacune la même inclinaison que ci-dessus, produiront le même effet de déviation (fig. 17 bis).

En divisant le champ nuisible en *cinq* bandes, chacune n'aurait que $\frac{0^m,07}{5} = 0^m,014$ d'écartement avec la verticale; avec 10 bandes l'écartement ne serait que de $0,007$.

On pourrait pousser la division plus loin, de manière à n'avoir plus que des bandes de quelques centimètres de largeur; alors cela ferait l'effet d'une *légère gaufrure*; mais à cause de la difficulté de réaliser *exacte-*

ment ces petites saillies, il serait bon de les réserver pour les endroits où l'inclinaison doit passer inaperçue, par exemple le bas des colonnes, s'il y a lieu (1).

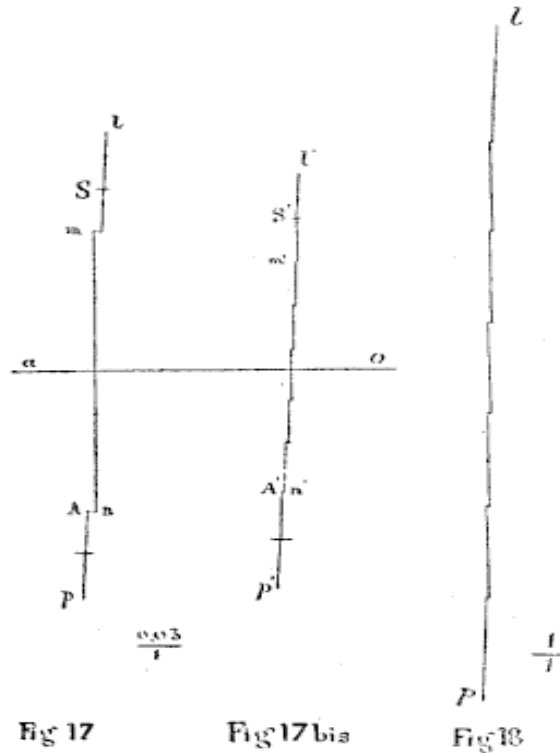


Fig 17

Fig 17 bis

Fig 18

Pour être durable, cet ouvrage devra être exécuté en *bois dur*, en *tôle* ou *marbre*, ou encore mieux en *carreaux céramiques* fabriqués exprès avec l'*inclinaison voulue*.

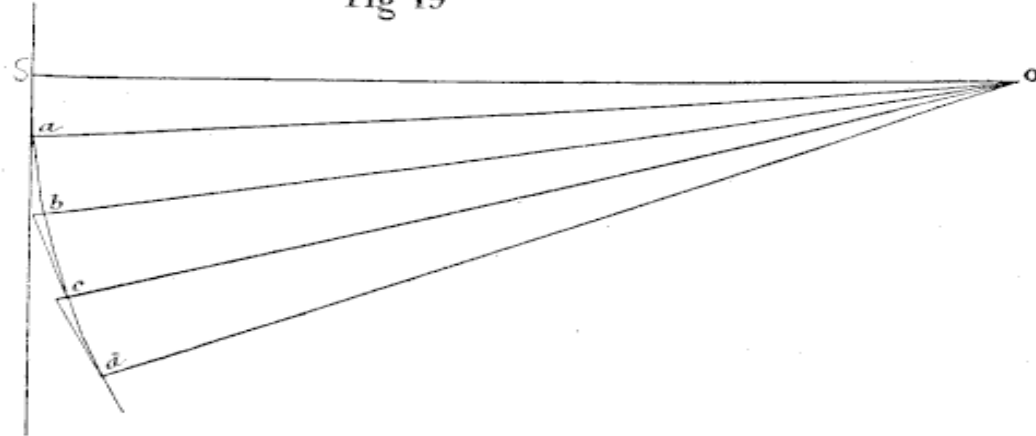
La fig. 18 représente en *grandeur naturelle* des ban-

(1) Il peut se faire que le bas des colonnes ait déjà cette même inclinaison, alors tout est dit. Si au contraire la colonne diminuait vers le bas, elle relancerait avantageusement les rayons sonores sur l'auditoire environnant.

des de $0^m,01$ de hauteur. Tout cela peut s'adapter facilement aux églises déjà existantes.

c) *Annulation par une surface curviligne* (fig. 19). —

Fig 19



Du point O comme centre, et avec la distance de O jusqu'au haut du champ nuisible comme rayon, traçons l'arc de cercle $abcd$. Si on donne au champ nuisible sur la paroi la courbure ainsi obtenue, on aura une surface cylindrique dont l'axe mené par O parallèlement à la paroi est l'horizontale. Tous les rayons sonores partis de O et réfléchis sur cette surface seront directement relancés en O , ou bien viendront couper l'axe du cylindre.

En effet, il est évident, tout d'abord, que les rayons sonores émis dans le plan *vertical* perpendiculaire à la paroi reviennent directement sur O .

Pour tous les autres rayons partant de O et se réfléchissant obliquement sur la surface cylindrique, les normales au point d'incidence vont toutes couper l'axe, et par suite les rayons réfléchis reviendront également sur cette droite; car le *rayon incident*, la *normale* et le *rayon réfléchi* sont toujours dans le même plan.

On peut diviser cette surface cylindrique en bandes, comme dans l'article précédent, ou en tirer parti si elle existe déjà quelque part (1).

B. — *Annulation par un procédé encore plus parfait.*

Jusqu'ici nous avons rendu *supérieures* les ondes qui se réfléchissent sur le champ nuisible, et montré par là qu'on peut absolument les empêcher de retomber sur l'auditoire. Pourtant, il faut se garder d'accentuer outre mesure l'inclinaison ou la courbure de la paroi, de peur d'envoyer quelques-uns de ces rayons trop vite à la voûte ou sur quelque accident de construction d'où il reviendrait en écho nuisible. — Ce danger existerait surtout pour les églises basses et étroites.

Voici un dernier moyen qui obvie à tous les dangers; c'est de laisser ces rayons *inférieurs* de telle façon qu'ils ne puissent cependant *jamais* toucher l'auditoire.

Soit $OSAA'$, fig. 19 *bis*, une portion de la coupe transversale de notre église, comprenant le point d'émission O , le champ nuisible mn et le niveau de l'auditoire AA' .

Soit Ax une ligne qui passe *au-dessus* de l'auditoire sous un angle très petit, et OA le dernier rayon tombant en bas sur le champ nuisible; menons Ab , bissectrice de l'angle OAx , et du point m abaissons sur cette

(1) Pour plus de clarté nous avons exagéré la courbe de la figure 19 en lui donnant environ 16° d'ouverture, tandis que le champ nuisible n'en offrira jamais que 5° ou 6° .

Il est encore bon de remarquer que, si des points d, c, b (fig. 19), on mène des tangentes vers le haut, ces tangentes donnent l'inclinaison d'autant de bandes planes (art. précédent) et l'on voit que cette inclinaison se rapproche de la verticale à mesure qu'elle s'approche de la limite supérieure du champ nuisible. On pourrait réaliser cela en pratique. Pour les bandes (v. plus haut).

bissectrice la perpendiculaire mn ; puis du point O me-

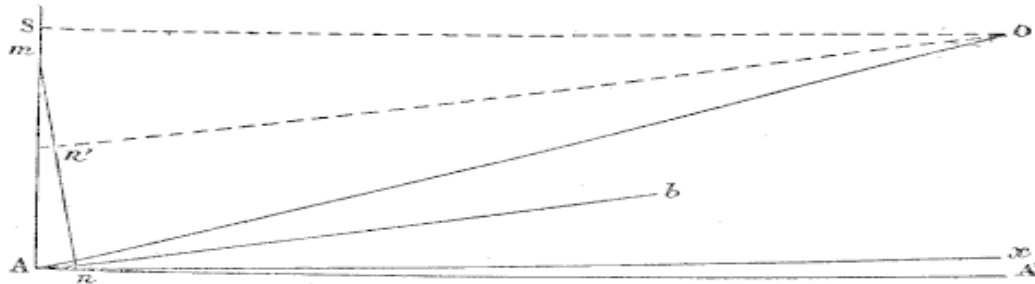


Fig. 19 bis

nons sur mn la perpendiculaire On' (application du problème 62).

On' sera, pour le champ nuisible mn , le plan de séparation horizontale.

Les rayons qui frappent entre n et n' seront tous *inférieurs* [24, 25] par rapport à ce dernier plan, et cependant tous passeront *au-dessus* de la ligne Ax , et ainsi ne pourront jamais incommoder l'auditoire (la différence d'incidence en A d'avec celle qui se fait en n est négligeable). Si la surface mn n'est pas divisée en bandes, les rayons réfléchis au-dessus du point n' deviendront supérieurs; mais sous un *angle si petit* qu'ils ne pourront jamais arriver à la voûte ni retomber sur l'auditoire.

Que si l'on veut les rendre *inférieures* dans les mêmes conditions que les autres, il suffira de diviser la surface mn' en bandes [33] et de calculer l'inclinaison de ces bandes de façon que pour chacune d'elles le plan de séparation horizontale arrive à la limite supérieure. Alors tous les rayons seront *rigoureusement inférieurs* par rapport à leur bande respective, sans pourtant *jamais nuire* aux auditeurs.

Chacune de ces quatre solutions : A (a, b, c) B peut être employée selon les circonstances ou les goûts ; mais la 2^e et la 4^e sont incontestablement les meilleures. Elles réduisent la saillie des bandes *autant qu'on le voudra*, pourvu qu'on en diminue dans *la même proportion* la largeur. La quatrième solution augmente encore ces avantages, en réduisant encore la saillie pour une même bande, ou, ce qui revient au même, en permettant d'avoir des bandes *plus larges* pour une *même saillie*.

La figure 19 bis a été exagérée, afin de mieux en faire distinguer la construction. — Que si on voulait se rendre compte de l'avantage que procure cette quatrième solution par la diminution de la saillie, il faudrait comparer cette figure avec la figure 16, en les mettant toutes deux à la même échelle. On trouverait alors que la saillie serait diminuée de moitié environ *pour une même bande*. — La raison en est que la perpendiculaire bn est plus rapprochée de l'horizontale que la perpendiculaire On .

34. — Utilisation du champ nuisible inférieur. — Par la forme curviligne, on peut facilement envoyer les rayons dont nous parlons sur une de ces tribunes établies à la naissance de la voûte des bas côtés.

Selon le problème [63, coroll. 2, à la fin) on pourrait envoyer les ondes réfléchies par une ou plusieurs bandes sur telle partie de l'auditoire qui ne recevrait pas déjà la voix directe. Il faut cependant observer deux choses : 1^o que les rayons ainsi envoyés ne viennent pas faire écho à d'autres rayons ; 2^o que la nouvelle modification des parois réfléchissantes ne devienne pas désagréable à la vue.

Nous avons voulu mentionner le fait de cette *utilisa-*

tion, pour montrer qu'on peut diriger à sa guise les ondes réfléchies par le champ nuisible.

Du reste, jusqu'ici nous avons dans tout cet *article quatrième* remporté une victoire signalée sur toutes les *ondes inférieures* réfléchies par les parois.

Attaquons maintenant celles qui tombent sur le pavé.

§ 2. — ONDES INFÉRIEURES RÉFLÉCHIES PAR LE PAVÉ

35. — Si l'auditoire remplit les allées et touche aux parois de l'église, il n'y aura point de réflexion sur le pavé ; mais s'il reste du vide, soit dans les allées, soit derrière l'assistance, il pourra y avoir des rayons relancés par le pavé sur les parois, puis vers le haut de l'église, les voûtes, les dessous d'une tribune ou le dessus d'une chapelle ou nef latérales et delà sur les auditeurs. D'où écho nuisible.

D'une façon générale, *ces réflexions seront d'autant plus à craindre que la chaire sera plus élevée, ou que le point de réflexion en sera plus rapproché.*

En effet, l'angle d'incidence (1) sur le pavé sera d'autant *plus petit*, pour un *même point*, que la chaire sera plus élevée, ou, pour *des points différents*, que le point de réflexion sera plus rapproché de la chaire.

Or, plus l'angle d'incidence est petit, plus le rayon sonore s'élancera vite vers la voûte, et plus vite aussi il en sera relancé sur l'auditoire. Si au contraire l'angle d'incidence augmente, le parcours du rayon sonore s'accroît et les chances de le voir revenir sur l'auditeur diminuent.

Cette remarque a une application plus immédiate et

(1) L'angle d'incidence est l'angle formé par le rayon incident avec la normale.

plus impérieuse, si les rayons ainsi réfléchis par le pavé rencontrent le dessous d'une tribune ou le dessous d'une chapelle ou nef latérales, d'où ils reviendront plus rapidement sur l'assistance.

Qu'on en juge par la figure 20, en comparant le trajet $ORR'.....A$, avec le trajet $O'Rrr'.....A'$. Le premier, retombant sur l'auditoire après un parcours de 200 mètres environ, sera inoffensif; le second, revenant après un parcours de 38 mètres, donnera un magnifique écho!

On peut encore voir facilement sur cette figure que si le rayon $O'Rr$ ne rencontrait pas la tribune tt' , il aurait un parcours de $10\frac{1}{4}$ mètres environ avant de revenir sur l'assistance.

Pour la nef (fig. 20) qui mesure $37^m,50$ de longueur sur $16^m,50$ de hauteur, nous concluons :

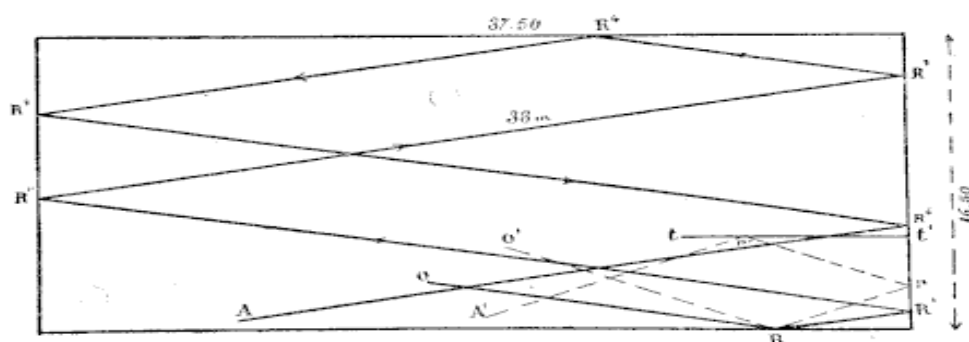


Fig 20 . Echelle $\frac{0002}{1}$

Que les rayons réfléchis sur le pavé *au fond de l'église* ne sont nuisibles que si, en remontant, ils rencontrent un dessous de tribune, ou le haut d'une chapelle ou nef latérales ;

Que les rayons réfléchis par le pavé, *plus près de la chaire*, sont nuisibles.

Quant aux enceintes différentes il faut nécessairement

se rendre compte graphiquement de ces différents parcours.

Les remèdes, s'il en est besoin, seraient : 1° les tapis ou paillassons étendus par terre, aux endroits dangereux ; 2° une légère *inclinaison du pavé* lui-même vers le fond de l'église ; l'étude d'une solution semblable à la quatrième (B) donnée plus haut pour l'annulation du champ nuisible inférieur.

Quant au dessous de tribune, nous en reparlerons dans la troisième partie [68].

ARTICLE CINQUIÈME

Marche des ondes supérieures.

Nous arrivons ici à la théorie de l'*abat-voix*, sa position, ses dimensions précises : c'est la question la plus importante dans la *construction* d'une chaire.

Il faut la traiter d'abord pour les *églises-granges* ; et ensuite pour les *églises voûtées*.

SECTION PREMIÈRE

Surfaces planes. Églises-granges.

Nous avons vu [12, sqq.] que l'*abat-voix* doit intercepter toutes les ondes nuisibles *ascendantes* ; nous avons déjà admis plusieurs fois qu'un rayon sonore *isolé* n'a plus guère de force après un parcours de 100 mètres ; et qu'un rayon d'un parcours moindre doit être évité [5].

36. — Ce que nous avons dit dans la première partie prouve assez la nécessité de l'*abat-voix* et même d'un *abat-voix* d'une grande dimension. Ici il faudra rechercher *avec*

précision quelles seront ces dimensions. Pour cela, nous déterminerons sur la paroi opposée le *point précis* où frappera le rayon sonore de *100 mètres* de parcours, le dernier qui soit inoffensif; ce point trouvé nous ferons arriver *le bord* de l'abat-voix jusqu'à ce rayon, et la question sera résolue, car ce rayon de 100 mètres de parcours étant le dernier qui passera, tous les autres d'*un parcours moindre* seront interceptés.

37. — **Éléments de solution.** — Avant tout, rendons-nous bien compte des éléments de solution (fig. 21, p. 77). Cette figure *lmnp* représente la coupe verticale de notre nef-type; 15 mètres de haut, 10 mètres de large.

O, point d'émission, est $2^{\text{m}},50$ du sol, et *AA*, ligne de l'auditoire, à $1^{\text{m}},10$;

OS, largeur de la nef, sera représenté par $L = 10$ mètres.

RS, distance verticale dont s'élève le rayon sonore entre deux réflexions latérales consécutives; nous l'appellerons *petite hauteur*, *h* (inconnue);

OR, *trajet isolé* de la nef, entre deux réflexions latérales consécutives; appelons-le *petit parcours*, *p* (inconnu).

$Om + mA$, distance *comptée verticalement* depuis la bouche de l'orateur jusqu'au plafond, et du plafond jusqu'à l'auditeur. Nous la désignerons par *H*. Dans le problème actuel, $H = 12^{\text{m}},50 + 13^{\text{m}},90 = 26^{\text{m}},40$.

Ensuite le *parcours total*, de *O* en *A*, du rayon sonore allant toucher le plafond et se réfléchissant alternativement sur les deux parois latérales. Nommons-le ici *P*, *grand parcours*, ou *parcours total*.

Ici c'est le rayon qui doit friser l'abat-voix, et parcourir 100 mètres.

Rapports de ces éléments entre eux. — Nous avons entre les longueurs H, h, P, p , la proportion $\frac{H}{h} = \frac{P}{p}$. La preuve de cette proposition est basée sur le principe géométrique suivant : lorsqu'un rayon sonore se propage dans un local rectangulaire (parallélépipède, rectangle, église-grange) le rapport de deux fractions quelconques de son trajet est toujours égal au rapport des hauteurs verticales correspondantes.

D'un autre côté, le triangle ORS nous donne : $RS^2 = OR^2 - OS^2$, c'est-à-dire $h^2 = p^2 - L^2$, et puisque h et p sont ici nos deux inconnues on aura $x^2 = y^2 - L^2$; ou $y^2 - x^2 = L^2$.

Cela posé, voici la formule algébrique qui donne la valeur de h ou x et de p ou y ; on n'a qu'à remplacer les lettres par leur valeur numérique :

FORMULE :

$$h = \frac{HL}{\sqrt{(P+H)(P-H)}} \text{ et } p = \frac{PL}{\sqrt{(P+H)(P-H)}}$$

Dans le cas actuel :

$$h = \frac{26,40 \times 10}{\sqrt{(100+26,40)(100-26,40)}} = \frac{264}{96,45} = 2^m,737$$

soit $2^m,73$.

$$p = \frac{100 \times 10}{\sqrt{(100+26,40)(100-26,40)}} = \frac{1000}{96,45} = 10,347$$

Donc, dans *notre nef*, le rayon de 100 mètres frappera à $2^m,73$ au-dessus du point S , et l'abat-voix devra friser

ce rayon, pour intercepter tous les rayons nuisibles ascendants (1).

38. — Nous avons supposé (fig. 21) le point d'émission *contre la paroi*, afin de trouver la valeur de h .

Mais ordinairement il n'en est pas ainsi. Dans ce cas, l'angle d'incidence devant toujours rester le même, il faudra rapprocher R de S , selon la proportion $OS : O'S :: RS : R'S$.

Si par exemple (fig. 21) c'est à 1 mètre de la paroi, on aura $10 : 9 :: 2,73 : x$, x ou $R'S = 2^m,45$.

Ce chiffre exprime la hauteur au-dessus de S du premier point de réflexion, mais toutes les autres réflexions

(1) Voici, pour ceux que cela intéresserait, la suite des opérations pour trouver notre formule :

Nous avons les 2 équations :

$$\frac{H}{h} = \frac{P}{p} \text{ ou } \frac{h}{H} = \frac{p}{P} \text{ soit } \frac{x}{H} = \frac{y}{P} \quad (1).$$

A cause du triangle rect. ORS , nous avons :

$$y^2 - x^2 = L^2 \quad (2);$$

d'après un théorème connu sur les rapports égaux on a :

$$\frac{y}{P} = \frac{x}{H} = \frac{\sqrt{y^2 - x^2}}{\sqrt{P^2 - H^2}} \quad (3);$$

ou d'après l'équation (2) :

$$\frac{y}{P} = \frac{x}{H} = \frac{\sqrt{L^2}}{\sqrt{P^2 - H^2}} \quad (4);$$

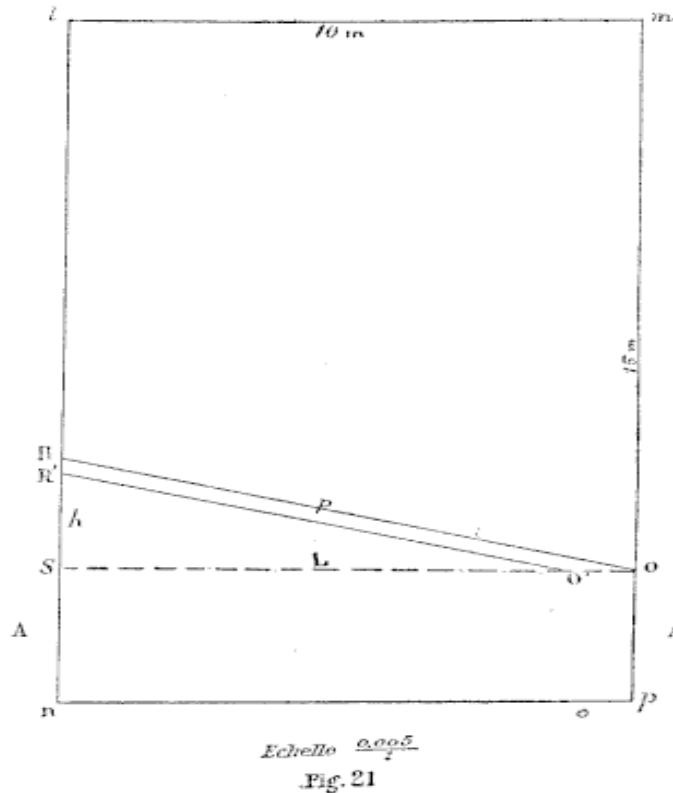
ou plus simplement :

$$\frac{y}{P} = \frac{x}{H} = \frac{L}{\sqrt{(P+H)(P-H)}} \quad (5)$$

d'où :

$$x = \frac{L H}{\sqrt{(P+H)(P-H)}} \quad (6); \text{ et } y = \frac{L P}{\sqrt{(P+H)(P-H)}} \quad (7)$$

se succéderont régulièrement sur les parois de $2^m,73$ en $2^m,73$.



REMARQUE. — Ce qui précède annulera tous les rayons réfléchis *régulièrement* vers le plafond de l'église, mais, à moins qu'on n'en ait besoin pour se faire entendre dans les tribunes, il est inutile de laisser vis-à-vis du prédicateur un champ de $2^m,73$ de haut, lequel pourrait donner lieu à quelques réflexions irrégulières sur les accidents de la paroi. Mieux vaudrait donc baisser et élargir un peu les bords de l'abat-voix, jusqu'à ce que le point R ne soit plus qu'à 2 mètres, et le point R' à $1^m,80$ au-dessus du point S , [38] (*v. fig. 28*, page 98).

De cette façon on diminuerait le danger des réflexions

irrégulières, et l'on augmenterait la somme des ondes sonores rabattues sur l'auditoire ($h = \text{donc } 2 \text{ mètres et } p = 10^{\text{m}}, 20$). C'est ce chiffre de 2 mètres que nous adoptons dans toutes nos opérations futures, à moins d'indication contraire.

39. — *Tous les rayons sonores, émanant d'un même point d'émission et montant sous le même angle, ont, dans une église-grange quelconque, à quelque moment qu'on les compare, un parcours égal, à même hauteur, indépendamment du nombre de leurs réflexions.*

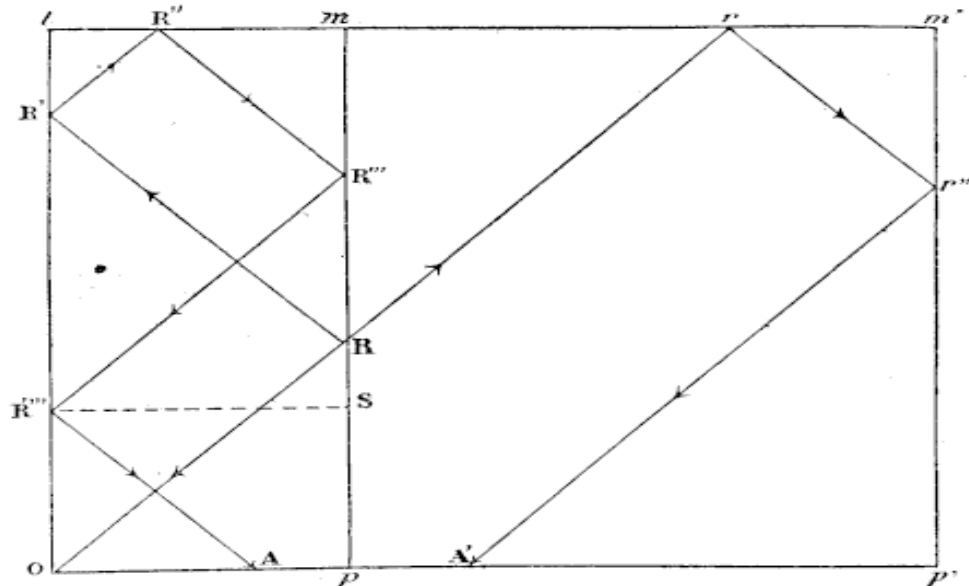


Fig. 22

Cette propriété subsiste même si l'on modifie la longueur et la largeur de tout ou partie de l'édifice (pourvu qu'on n'en change pas la *hauteur*).

Par exemple : fig. 22, le rayon sonore $OR \dots R'A$,

est toujours égal, à même hauteur, au rayon sonore $Or r''A'$.

Si donc, en supposant l'abat-voix circulaire et son centre sur la verticale du point d'émission, il intercepte dans une certaine direction un rayon sonore d'un parcours donné, il interceptera par le fait même les rayons sonores de même inclinaison et même longueur dans toutes les autres directions.

Il suffira donc de calculer les dimensions de l'abat-voix, de façon à ce qu'il intercepte le rayon de 100 mètres dans le plan *vertical perpendiculaire* à la paroi opposée à la chaire, et, par le fait, on est sûr qu'il interceptera le même rayon sur tout le pourtour.

Ce que nous venons de dire suppose évidemment que les obstacles réfléchissants : parois, plafonds, voûtes, etc., soient partout à la *même hauteur* par rapport à l'abat-voix et de même structure; sans cela, il y aurait lieu d'étudier à fond les cas particuliers, se rendre compte de la *marche*, du *plan de mouvement*, du parcours, etc., d'un rayon douteux, afin d'y apporter le remède convenable... Ce remède serait, soit de modifier légèrement la surface réfléchissante afin de faire dévier le rayon, ou mieux encore d'élargir latéralement l'abat-voix, afin d'empêcher le rayon nuisible d'y monter.

Si le point d'émission ne correspond pas exactement au centre de l'abat-voix, mais est en avant, comme cela arrive parfois, l'abat-voix est alors *relativement* plus large sur les côtés et par derrière.

Donc si le *devant* est garanti, le reste du pourtour le sera *a fortiori*, et dans l'établissement de l'abat-voix on n'aura pas à s'en inquiéter, sous les réserves que nous venons de faire.

40. — Etablissement de l'abat-voix (V. fig. 4 bis, page 34). — Prenez une hauteur de 2 mètres à 2^m,10 au-dessus du plancher de la chaire; établissez à cette hauteur un plan parallèle au plancher : ce sera le plafond de l'abat-voix. Il faut le prolonger jusqu'à sa rencontre avec le rayon sonore $O'R'$ (fig. 21) et en abaisser les bords (1) pour que cette rencontre se fasse au plus vite. Prenant alors la mesure depuis le centre de l'abat-voix jusqu'à son bord extérieur et antérieur, vous en aurez le rayon.

Si l'abat-voix était polygonal au lieu d'être circulaire, ce rayon serait celui de la circonférence *inscrite* et non *circonscrite*. Pour le reste consulter 1^{re} Partie, 16. — V. aussi la fig. 4 bis, p. 34, et la fig. 28, p. 98.

SECTION DEUXIÈME.

Surfaces courbes.

41. — Outre les voûtes, il y a dans les églises beaucoup de surfaces courbes : colonnes, tores, boudins, corniches, etc..., qui toutes exercent une influence très grande et désastreuse sur la marche des ondes sonores.

Comme ici tout se passe autrement qu'avec les surfaces planes, et que ces théories nous seront fort utiles, nous parlerons des courbes en général, puis des colonnes et des voûtes en particulier. L'application pratique apparaîtra d'elle-même, nous ne l'indiquerons plus que rarement.

(1) On trouve parfois de ces bords abaissés, munis en plus d'appendices verticaux (fig. 4 bis), mais sculptés en draperies ou autres ornements, en sorte qu'ils disparaissent aux yeux (Nord et Belgique).

§ 1^{er}. — SURFACES COURBES EN GÉNÉRAL

Pour notre petit travail, nous nous préoccupons des questions suivantes :

1^{re} QUESTION. — Qu'est-ce que la *normale* au point de réflexion sur les surfaces courbes, et qu'est-ce que le *plan de séparation* ?

2^e QUESTION. — Comment les surfaces courbes réfléchissent-elles les rayons sonores ?

3^e QUESTION. — Quelle déviation produisent-elles dans la direction des rayons ?

4^e QUESTION. — Quels rapports y a-t-il entre les surfaces courbes convexes et les surfaces courbes concaves, par rapport aux réflexions acoustiques ?

5^e QUESTION. — Quels phénomènes spéciaux produisent les surfaces courbes concaves ?

1^{re} QUESTION.

Normale et plan de séparation.

42. — Le rayon sonore se réfléchit sur une surface courbe comme il se réfléchirait sur *le plan tangent* au point d'incidence. Il suffit donc, pour suivre sa marche, de construire la tangente à la surface au point touché et de faire un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence dans le plan formé par la normale et le rayon d'incidence.

Les surfaces courbes que nous trouvons dans les églises sont généralement des surfaces cylindriques. La *normale* pour ces surfaces se trace facilement. Elle se confond avec le rayon de la section droite du cercle, menée au point d'incidence, ou plus simplement encore c'est la droite obtenue en menant de ce même point une perpendiculaire sur l'axe du cylindre.

Soit par exemple (fig. 23) ABD la section droite d'une surface cylindrique convexe, C le centre, m un point

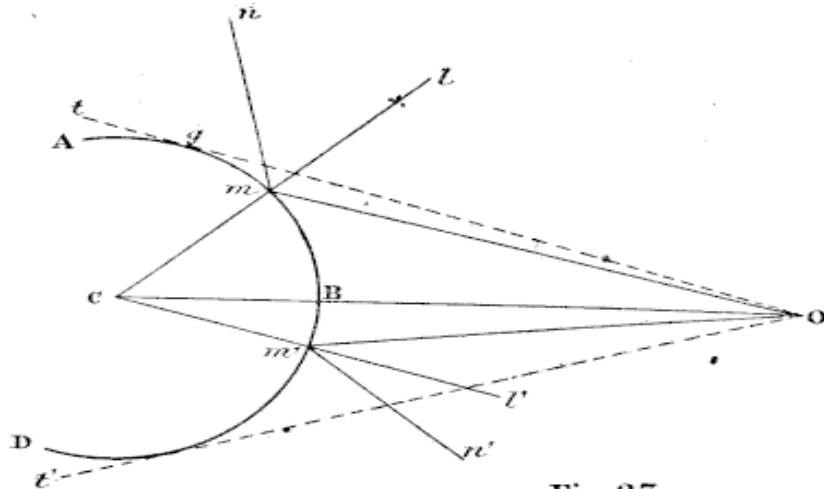


Fig. 25

d'incidence et Cm le rayon prolongé du côté de l . Cl sera la normale pour tout rayon sonore tombant en m ; le rayon Om sera donc relancé suivant mn ; l'angle $Oml = \text{angle } lmn$. De même Om' sera réfléchi suivant $m'n'$.

Le plan de séparation [24-26] est déterminé par l'axe du cylindre passant par C et par le point d'émission.

OC nous représente ici le plan de séparation. Toutes les ondes qui frapperont entre B et A seront des ondes de droite ou supérieures, et toutes les ondes qui frapperont entre B et D seront des ondes de gauche, ou inférieures, selon que la surface cylindrique sera verticale ou horizontale.

Soit maintenant [fig. 24 ABD] la section droite d'une surface cylindrique concave, m et m' deux points d'incidence, les rayons ou normales cm cm' correspondants. Le rayon sonore Om sera relancé selon mn , et Om' selon $m'n'$.

OB représente le plan de séparation; mais, particularité spéciale aux surfaces concaves, les rayons qui frap-

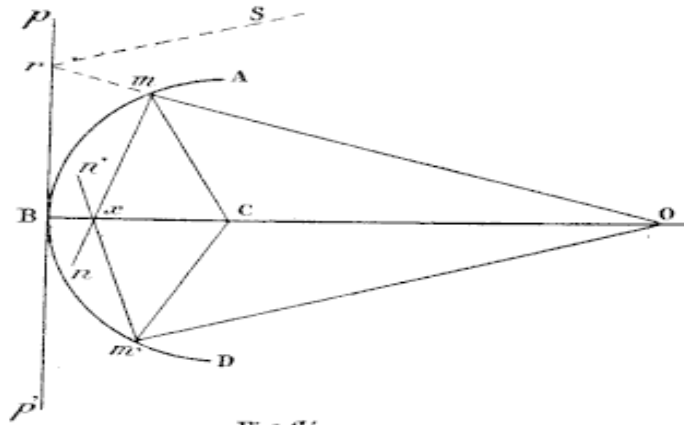


Fig. 24

peront à droite entre A et B seront relancés à gauche du plan de séparation, et ceux qui frapperont entre B et D seront relancés à droite, si la surface est verticale; ou seront inférieurs ou supérieurs si la surface est horizontale: les rayons se croiseront donc dans leur parcours.

2^o QUESTION.

Comment les surfaces courbes réfléchissent-elles les rayons sonores?

43. — En examinant les deux figures 23 et 24, on remarquera que le rayon qui va de O en B se confond avec la normale CB : par conséquent, il reviendra par le même chemin vers O .

S'il s'agit d'une surface convexe (fig. 23), les rayons qui frapperont tout près du point B feront un angle d'incidence très petit, et reviendront du côté de O , sans toutefois se confondre avec OB . L'angle d'incidence augmentant à mesure que le point d'incidence s'éloigne de

B, le rayon réfléchi s'éloignera de plus en plus de O ; les rayons se disperseront ainsi autour de la surface cylindrique jusqu'aux rayons extrêmes Ot Ot' (fig. 23), qui, étant tangents à la surface, se propageront en ligne droite.

S'il s'agit d'une surface *concave* (fig. 24), on verrait de même que les rayons se croisent après réflexion [42], puis se dispersent en éventail en avant de la surface réfléchissante.

Donc les surfaces courbes réfléchissent les rayons sonores en éventail, autour du corps rond, convexe ou concave, excepté dans l'intervalle intercepté par le corps rond lui-même.

3^e QUESTION.

Quelle déviation les surfaces courbes produisent-elles sur les rayons sonores?

44. — Une très considérable. Prenons (fig. 24) le rayon Om réfléchi selon mn .

Si, au lieu de la surface *concave*, ce rayon eût rencontré la paroi pp' perpendiculaire à OB , il se serait réfléchi selon rs .

On peut faire la même démonstration sur une surface convexe.

(Notons ce nouveau et puissant moyen de faire dévier des rayons sonores qui nous gêneraient!)

N. B. — Si, après une première réflexion sur une surface courbe, le rayon sonore est relancé sur une ou plusieurs autres surfaces courbes, il éprouvera chaque fois une nouvelle déviation en rapport avec le rayon de courbure de chaque nouvelle surface.

Nous avons ici le moyen d'emprisonner des rayons rebelles (V. 3^e Partie, Problème 4).

Au contraire, si le rayon sonore est relancé de la surface courbe sur une ou plusieurs *surfaces planes*, on *peut*, en aménageant convenablement ces surfaces planes [25], lui procurer un parcours très long, pourvu qu'il y arrive avec une incidence à peu près perpendiculaire.

Supposons les rayons OR , $O'R$ (fig. 24 bis) montant

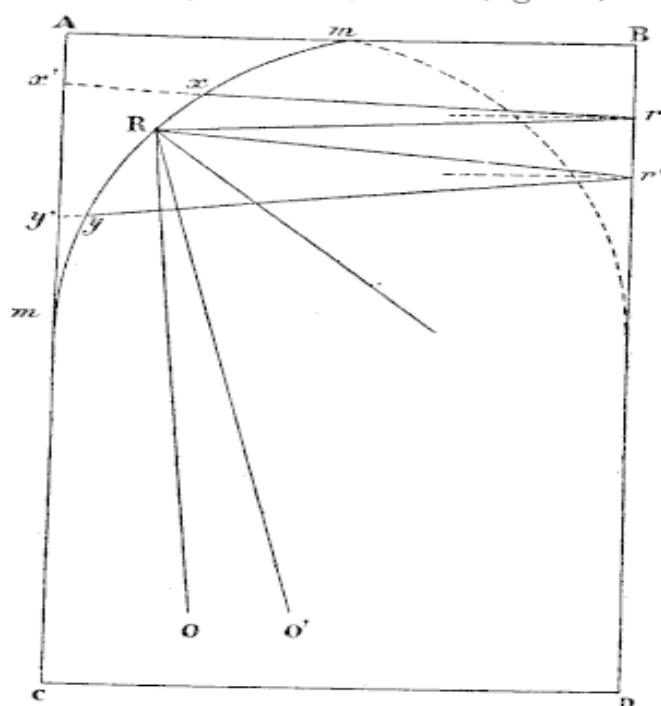


Fig. 24 bis
sans échelle

directement à la voûte, et relancés de là sur la paroi BD , puis sur la paroi AC , ils se réfléchiront en r, r' , puis en x', y', \dots et si on leur a ménagé un angle d'incidence petit en r et r' , ils pourront faire des centaines de mètres avant de revenir au sol : ou même n'y reviendront jamais, nouveau moyen de se débarrasser de rayons gênants.

4^e QUESTION.

Quels rapports y a-t-il entre les surfaces concaves et les surfaces convexes, quant à la réflexion acoustique?

45. — Ces surfaces donnent aux rayons sonores correspondants la même direction relative, et peuvent être employées l'une pour l'autre à l'occasion, selon les besoins de l'ornementation.

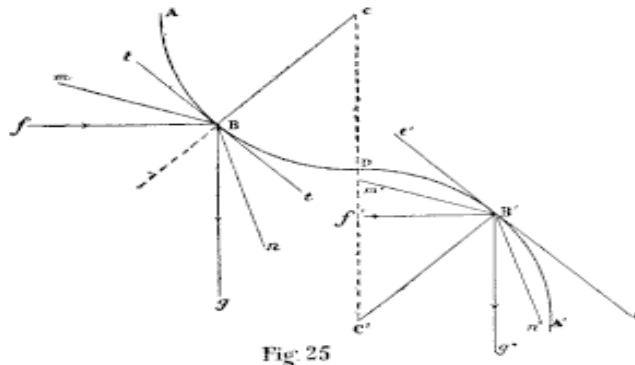


Fig. 25

En examinant les deux coupes ABD , $A'B'D$, de deux surfaces cylindriques, tangentes en D , l'une convexe, l'autre et concave ayant même rayon, on voit que les rayons fB et fB' , mB et $m'B'$, venant deux à deux de la même direction, sont relancés, selon Bg , $B'g'$, Bn , $B'n'$ dans la même direction. Donc ces surfaces pourront être remplacées l'une par l'autre sans préjudice de la direction des rayons (1).

(1) Répétons qu'il est nécessaire que les deux arcs aient un rayon égal; de plus remarquons que chaque point des arcs AB, BC , a un point correspondant sur les arcs $A'B, B'D$, tel que la tangente à ce point sur l'un des arcs soit parallèle à la tangente au point correspondant sur l'autre arc. Alors il est facile de comprendre que les rayons incidents sur des plans parallèles soient réfléchis parallèlement.

46. — De plus, en les combinant par juxtaposition, on obtiendra une surface composée, plus étendue, qu'on trouve parfois dans les corniches. On pourra en calculer le rayon et la position, de façon à faire dévier certains rayons dans une direction déterminée d'avance. Nous en ferons l'application [68] *au dessous* de tribune.

5^e QUESTION.

Quels phénomènes spéciaux produisent les surfaces concaves?

47. — Des phénomènes de *renforcement* et d'*accumulation* de sons, sur une ligne ou un point donnés : c'est ce qu'il faut expliquer rapidement.

D'une façon générale, nous avons déjà remarqué que, pour les surfaces concaves, les rayons se croisent après réflexion. Par conséquent, aux points de croisement, les sons s'ajoutent les uns aux autres : il y a renforcement.

Pour les surfaces concaves usuelles (sphériques, cylindriques ; circulaires), on peut préciser le lieu d'accumulation pour un point d'émission donné.

48. — 1^o Surfaces sphériques (*calotte, zone sphériques*). — La physique nous enseigne que tous les rayons émanant d'un même point vont, après réflexion sur une telle surface, converger sensiblement au même point, pour une surface réfléchissante de faible ouverture, c'est-à-dire d'un petit nombre de degrés d'angle.

Soit ADB (fig. 26) la section d'une surface concave *sphérique* par un plan passant par le diamètre.

Tous les rayons partant de O , point d'émission, iront se croiser et converger en x .

Si O se rapproche de C , centre de courbure, le point x s'en rapprochera également jusqu'à se confondre avec lui en même temps que O .

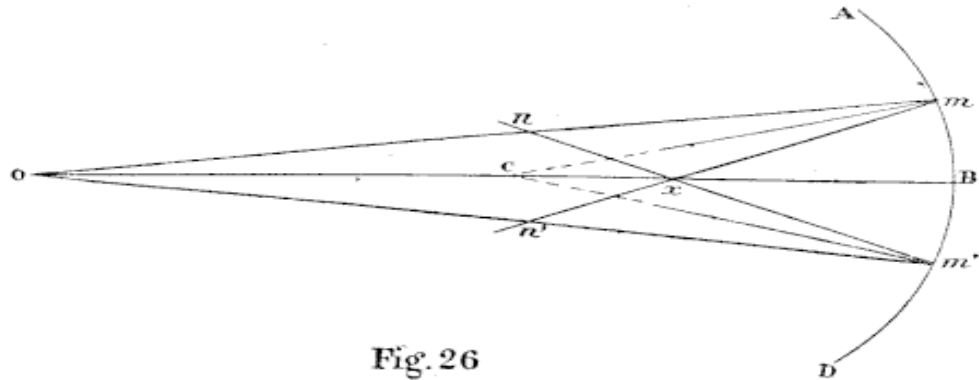


Fig. 26

Si O se trouvait entre C et B , le point x serait de l'autre côté de C et s'éloignerait de ce point en même temps que O .

Si O est à mi-chemin entre C et B , les rayons réfléchis deviennent parallèles.

Enfin si O se trouve plus près de B que de C , les rayons réfléchis cessent de se croiser et se dispersent en éventail (sans se croiser).

2° Surfaces cylindriques circulaires. — Si le point d'émission O était sur l'axe même du cylindre, tout rayon viendrait, après réflexion, couper cet axe [33, c.], qui serait dès lors axe d'accumulation.

Mais, en général, le point O n'est pas sur l'axe du cylindre. La *figure 26* peut nous représenter dans ce cas la section droite de la surface cylindrique, menée par le point O .

Dans ce plan de mouvement, les rayons émanant de O

vont après réflexion converger en x comme pour les surfaces sphériques (1). [Comparer 33, c.].

Dans les autres plans de mouvement, qui ne sont pas perpendiculaires à l'axe du cylindre, tous les rayons émanant du point O iront, après réflexion, pour une surface réfléchissante de faible ouverture, couper la parallèle à l'axe menée par le point x (1); cette parallèle sera donc un axe d'accumulation [33, c.]

(1) Remarquons que, pour les surfaces *sphériques*, tous les rayons convergent vers x , tandis que pour les surfaces *cylindriques*, ce sont les seuls rayons de la courbe ABD , déterminée par le plan *perpendiculaire* à l'axe du cylindre.

(1) En voici la démonstration :

Soit $BB'CC'$ une portion du cylindre circulaire vertical.

CAC' la section horizontale passant par le point d'émission E ; O' le centre de courbure et F le foyer des rayons réfléchis sur cette section.

Soit maintenant M un point quelconque du cylindre, m sa projection sur le plan de base; EM le rayon sonore aboutissant au point M .

La normale en ce point sera MH , qui est parallèle au plan de base et qui a pour projection sur ce plan la droite mO .

Le rayon réfléchi reste dans le plan EMH ; je vais prouver que c'est la droite ME' , E étant le point d'intersection de EH avec la verticale FF' .

En effet la normale MH est parallèle au plan de base; or, elle est bissectrice de l'angle des rayons incident et réfléchi; sa projection sur le plan de base sera donc la bissectrice de cet angle projeté; j'en conclus que la projection du rayon réfléchi est mF et par suite que ce rayon est ME' .

Donc tout rayon émanant de E coupe, après réflexion, la droite

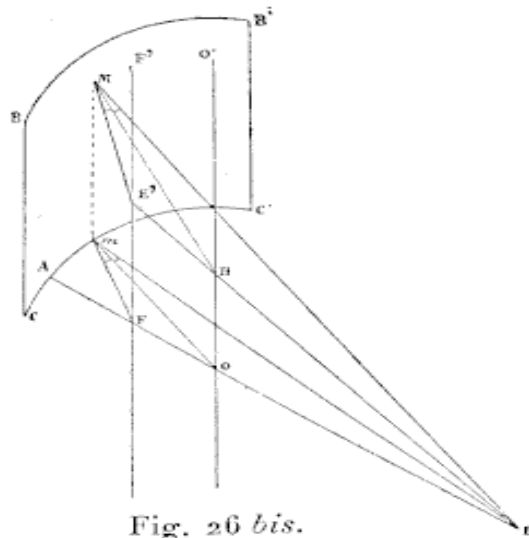


Fig. 26 bis.

Tout cela est pratique pour déterminer la courbure à donner au plafond de l'abat-voix, et surtout à la jonction de l'abat-voix avec le dossier de la chaire. Ce sera encore pratique quand il s'agira d'emprisonner un rayon dans une *chapelle* ou *travée* latérale.

§ 2. — COLONNES ET COLONNETTES

Nous ne parlerons ici que des colonnes rondes, les plus usuelles, les autres (*carrées*, *polygonales*) sont comprises dans les surfaces planes.

49. — 1) Les colonnes *rondes*, étant des surfaces convexes, dispersent les rayons sonores en éventail [43] sur tout le pourtour de la colonne, excepté dans la partie interceptée par la colonne elle-même.

2) Ainsi les colonnes du fond de l'église enverront des ondes sonores jusqu'au fond du sanctuaire, et celles qui sont près du sanctuaire en enverront jusqu'au fond ; chaque colonne aura son plan de séparation verticale et ses ondes de droite et de gauche. Il est facile de s'en rendre compte au besoin par une figure (fig. 27).

3) *Chaque* colonne enverra des ondes en éventail sur *chacune* des colonnes de la rangée opposée, et *chaque* colonne de *chaque* rangée renverra de même *toutes* les ondes reçues, et ainsi de suite. Toutes les ondes sonores feront donc la navette en se multipliant, jusqu'à ce que les vibrations aient perdu toute leur intensité.

50. — a) Supposons la chaire du côté de la II^e rangée ;

FF', parallèle à l'axe du cylindre et menée par le foyer des rayons réfléchis sur la section *CAG'*.

la voix du reste ira frapper les 8 colonnes de la I^{re} rangée (fig. 27) (1) et en sera relancée par chacune de ces colonnes sur les colonnes de la II^e rangée. — Ainsi la colonne 1, II^e rangée, recevra 8 faisceaux(2) différents, provenant de la première réflexion de la voix sur les 8 colonnes de la première rangée ; la colonne 2, en recevra autant, et ainsi de suite... donc les 8 colonnes II^e rangée auront reçu $8 \times 8 = 64$ faisceaux, différents ; ces 64 faisceaux relancés sur *chaque* des colonnes de la première rangée, y produiront la 3^e réflexion, soit $64 \times 8 = 512$ faisceaux... Ces 512 faisceaux produiront sur la 2^e rangée $512 \times 8 = 4096$ faisceaux et ainsi de suite. En continuant le calcul jusqu'à la 10^e réflexion, c'est-à-dire jusqu'à ce que tous les rayons dans une nef de 10 mètres aient atteint au moins 100 mètres, on arrive

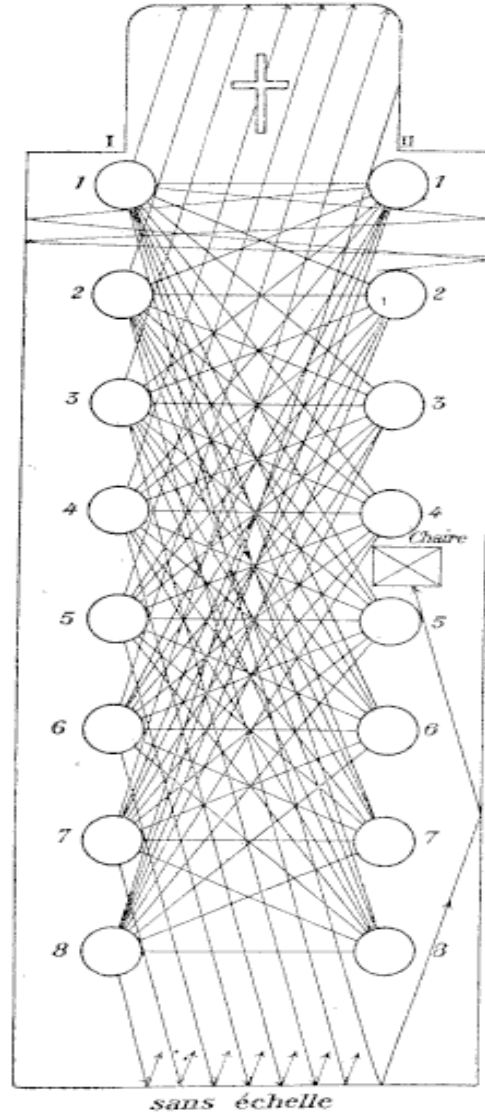


Fig. 27

(1) Cette première réflexion n'est pas marquée sur la figure, mais il faut la supposer.

(2) Pour abrégé, nous appelons *faisceau* l'ensemble des rayons

à des chiffres fabuleux. Le lecteur pourra continuer lui-même ces calculs. (Notre figure ne reproduit que la 1^{re} de toutes ces réflexions.)

b) Voilà l'effet de la première rangée sur la seconde. Mais la *seconde* rangée a également reçu les 8 faisceaux de la *voix directe*, et les a renvoyés sur la première rangée, etc... Donc le nombre trouvé tout à l'heure doit être doublé ; disons cependant que des ondes (latérales) sont moins fortes que les premières.

Et remarquons bien qu'il ne s'agit pas de *rayons isolés*, mais d'*ondes* se propageant *en surfaces non interrompues!*

c) Jusqu'ici nous n'avons considéré que le nombre des faisceaux. Nous n'avons rien dit de la valeur et de l'étendue de chacun d'eux en particulier. Or il est évident que les réflexions ont lieu sur toute la hauteur des colonnes, et que par conséquent chaque faisceau inonde de rayons sonores chacune des colonnes du haut en bas.

Si l'on veut bien nous laisser continuer notre démonstration par chiffres, admettons qu'il n'y ait sur toute la hauteur des colonnes que 3 mètres qui relancent des rayons nuisibles, et, pour plus de précision, prenons pour faisceau type (ou unité) un faisceau de 0^m,001 de hauteur sur le pourtour de la colonne ; chacun des faisceaux considérés jusqu'ici contiendra 3.000 des nouveaux ainsi définis. Le nombre trouvé précédemment devra donc être multiplié par 3000.

reçus sur une même surface et provenant, soit directement du point d'émission et de la même émission, soit, par réflexion, d'une même surface réfléchissante et d'une même réflexion sur cette surface.

d) Mais les 4 parois reçoivent de leur côté et relancent toutes celles de ces ondes qui passent et repassent entre les colonnes, jusqu'à extinction de toute sonorité; contentons-nous de ce chef de multiplier le résultat par 4.

Nous trouverons jusqu'ici, en supposant 10 réflexions, plus de 25000 milliards de faisceaux se croisant en tous sens!!!

Si chaque rayon sonore était un fil de soie, le plus fin possible, que deviendrait l'auditoire sous cet amas de réseaux!

e) Et nous n'avons pas compté les segments des voûtes, ni la *première* réflexion de la voix sur les parois, ni les mille accidents de construction, qui déterminent autant de réseaux nouveaux; ni la multiplication par les *colonnettes*, ni même la réflexion de chaque colonne sur les colonnes voisines de la même rangée!!!

f) De plus, nous avons supposé l'émission d'une seule syllabe, mais tous ces faisceaux de rayons se rencontreront avec ceux qui résultent de deux ou trois syllabes consécutives et font le même trajet!

g) Sans doute les rayons sonores tombant sur la surface des pavillons auriculaires sont seuls nuisibles en fait; sans doute encore, les rayons de 100 mètres de parcours et au delà sont négligeables, *pris isolément*; mais qui oserait dire que, sur ces milliards de rayons sonores qui s'entrecroisent dans une nef, il ne s'en accumule pas sur les pavillons auriculaires une assez grande quantité pour gêner le prédicateur et l'auditeur?

Il n'y a qu'un seul moyen de préservation, c'est d'anéantir d'un seul coup tous ces ennemis, toutes ces ondes nuisibles, et le remède c'est un ABAT-VOIX OU BALDAQUIN assez vaste pour les atteindre tous.

Nous pensons qu'on est à présent suffisamment édifié sur la question (1).

51. — Les colonnes qui s'amincissent en montant (grecques et toscanes) sont plus dangereuses que les autres; car à cause de leur inclinaison elles *abrègent* le parcours jusqu'aux voûtes; donc elles exigent un *abat-voix* plus large que les autres colonnes. (V. Voûtes.)

COLONNETTES

52. — Chaque colonnette, qu'elle soit isolée ou fasse partie d'un faisceau de colonnettes autour d'une colonne principale, disperse les ondes sonores en éventail, *pour*

(1) En lisant ces choses, on est tout d'abord saisi de stupéfaction, et tenté de crier à l'exagération ! Mais qu'on veuille bien raisonner et contrôler ce qui a été dit.

Nous pouvons nous rendre compte approximativement de l'effet désastreux de ces résonances. L'intensité d'un son étant, toutes choses égales d'ailleurs, en raison inverse du carré de la distance, l'intensité sera, pour un même rayon sonore, après 100 mètres de parcours, la 10,000^e partie de ce qu'elle était à 1 mètre de distance du point d'émission. — Comme il y a des rayons de tous les parcours de 1 mètre à 100 mètres, prenons une moyenne et supposons que l'intensité pour tous les rayons soit réduite à la 5,000^e partie de ce qu'elle était à 1 mètre; c'est-à-dire qu'il faudrait en moyenne 5000 de ces rayons superposés, pour égaler la *voix directe* entendue à un mètre de distance. Admettons qu'un seul rayon sur un milliard parvienne à l'oreille de l'auditeur; en comptant 25.000 milliards [50, d] on aurait encore 5 fois l'intensité de son de la voix directe : $\frac{25000}{5000} = 5$.

Qu'on s'étonne encore de la voûte de M. M. Vialle [12] !! Comme *confirmatur* de ce qui précède nous répéterons l'expérience rapportée par M. *Sturmhœffel* [5, note]. Une corde sonore continue à vibrer, lors même qu'on ne l'entend plus; mais réunissez plusieurs de ces cordes, et le son sera de nouveau perçu ! Et quand il y a des millions de rayons qui se superposent !

son propre compte. Elle devient ainsi la source d'une foule de faisceaux *distincts*, plus ou moins considérables selon le diamètre des colonnettes, et *multiplie* les chances d'accumulation des rayons nuisibles.

Il nous reste à faire connaître une dernière catégorie d'ennemis, ce sont ceux qui nous guettent du haut des voûtes; si nous parvenons à leur couper les vivres, nous serons vainqueurs sur toute la ligne!

D'ailleurs beaucoup des rayons dont nous parlons depuis le n° 49 (tous ceux qui correspondent au champ nuisible supérieur) [59] ne sont nuisibles qu'autant qu'ils vont *aux voûtes* et en sont relancés sur l'auditoire. Interceptez-les par un bon abat-voix, ils deviendront utiles [22].

§ 3. — VOÛTES.

53. — Notions. — Il y a différentes espèces de voûtes : la voûte *ogivale*, ordinaire ou mauresque, la voûte en *plein-cintre*, et la voûte *surbaissée*; et chacune de ces espèces peut être en *berceau* ou à *quatre valves*. Dans ces dernières, la voûte longitudinale est coupée par des voûtes transversales dont l'axe est perpendiculaire en l'axe longitudinal; et chaque travée renferme 8 segments triangulaires, qui sont ou des segments cylindriques ou des segments sphériques plus ou moins réguliers. La ligne du sommet de toutes les travées s'appelle *l'axe de la voûte* (axe longitudinal, axe transversal).

Dans les voûtes ogivales, les axes sont bien marqués; dans les autres, ils forment une ligne idéale, mais qui a une influence réelle sur la répartition des ondes sonores.

Les sections verticales passant par ces axes sont des

rectangles (ou à peu près), dans lesquels les rayons sonores se comportent selon ce qui a été dit pour les églises-granges.

Il en est tout autrement pour les réflexions qui se font sur les parties cintrées; toutefois comme les choses diffèrent selon les dimensions de chaque voûte, nous nous bornerons à donner des indications générales. L'inspection de nos figures montrera la manière d'opérer graphiquement pour étudier la solution de chaque cas particulier.

Nous n'avons en vue ici que la nef principale ou trois nefs d'égale hauteur; les nefs latérales bien plus basses ont déjà eu et auront encore leur mot à part.

Voci les points sur lesquels il nous a paru utile d'attirer l'attention :

Effets désastreux des voûtes par rapport à la prédication;

Les voûtes produisent sur les ondes sonores une triple modification dangereuse pour la chaire;

Un moyen pour nous assurer contre ces dangers;

L'abat-voix dans les églises voûtées;

Champ nuisible supérieur et son annulation.

ARTICLE PREMIER

54. — L'effet désastreux des voûtes par rapport à la prédication. — En effet, les voûtes sont des segments de surfaces courbes, qui dispersent les ondes sonores en éventail sur l'auditoire, si les rayons nuisibles qui y montent ne sont pas interceptés [n° 43].

Ajoutons quelques remarques. — Dans une voûte de huit travées, il y a 32 segments longitudinaux, et autant

de transversaux. Total : 64 s'il n'y a qu'une nef, et 3×64 , c'est-à-dire 192, s'il y a trois nefs de même hauteur ou à peu près. — Admettons que par suite de leur position relative la moitié seulement de ces segments (32 ou 96) versent des ondes sonores sur l'auditoire. Quelle multiplication à ajouter à celle que nous avons constatée au n° 50 !! Et quels effets désastreux si ces ondes parviennent aux oreilles!

Pour les voûtes en berceau, il n'y a que deux segments longitudinaux séparés par l'axe de la voûte, mais leur surface égale celle de la somme d'une nef coupée par des valves transversales. Or les ondes répercutées par ces deux segments longitudinaux tombent *toutes* sur toute la largeur de l'auditoire.

Les voûtes sont certainement belles, majestueuses, élevant l'âme, conservons-les donc *à la vue*; mais elles sont aussi certainement désastreuses pour la *prédication*, empêchons-les donc de nous renvoyer des *ondes nuisibles*, et fortifions une fois de plus notre résolution d'avoir un abat-voix *suffisant* pour intercepter celles-ci: *toutes, toutes!*

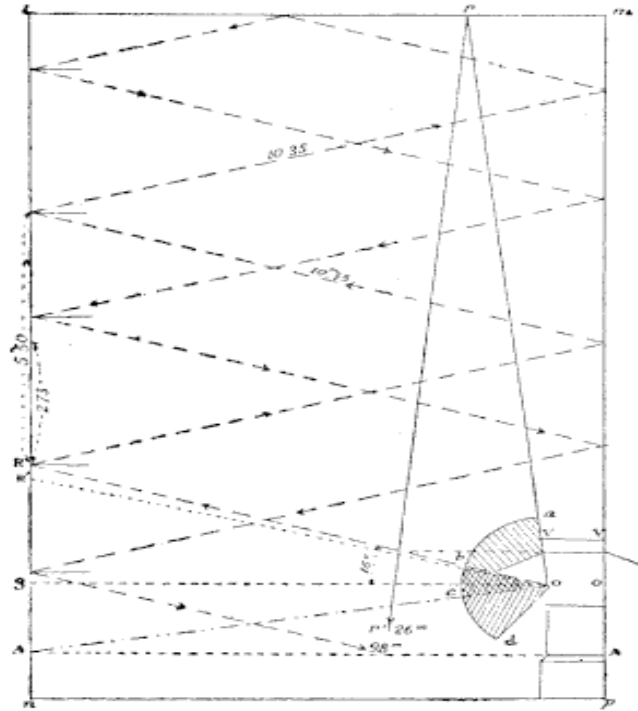
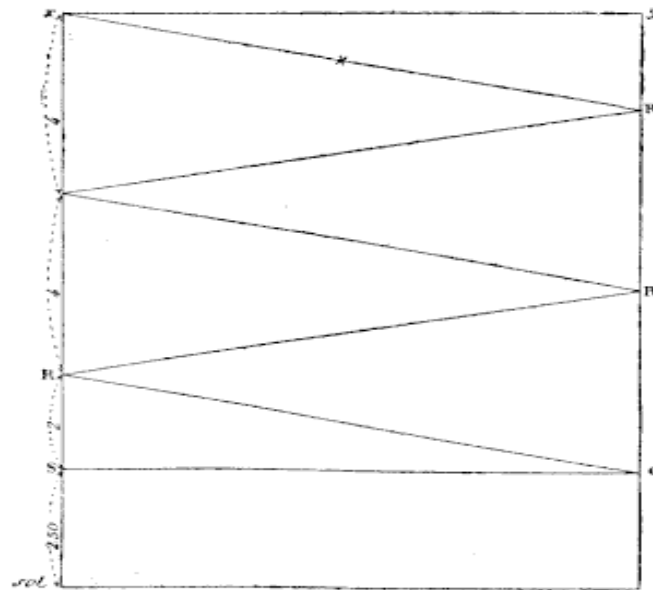
ARTICLE DEUXIÈME

55. — Les voûtes produisent sur le parcours des ondes sonores une triple modification dangereuse pour la chaire.

I. — Elles *changent la direction* des rayons sonores.

II. — Elles *abrègent* considérablement le parcours des rayons sonores qui y montent indirectement.

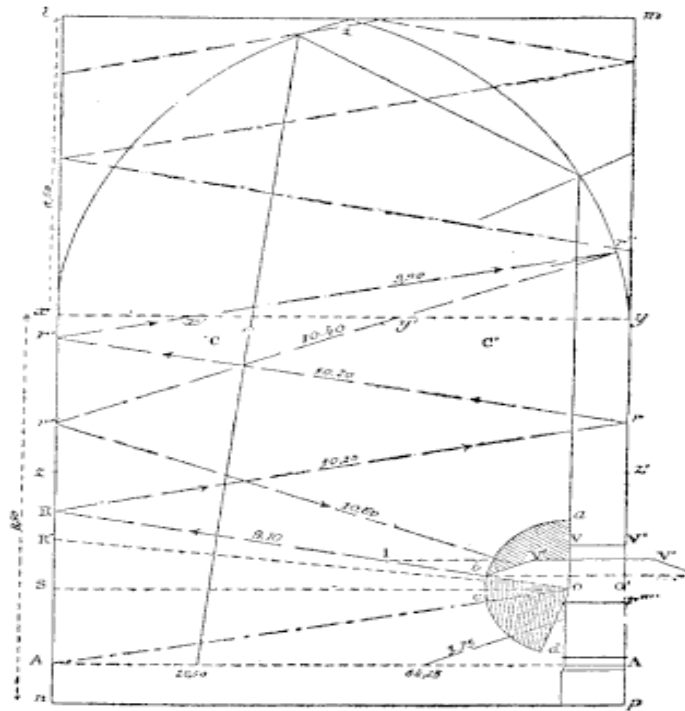
III. — Elles produisent une différence de longueur entre le parcours montant et le parcours descendant d'un même rayon.

Fig. 28. — Echelle $\frac{5}{1000}$ Fig. 28 bis $\frac{0,005}{1}$

I. — Pour le premier point nous renvoyons à ce qui a été dit au n° 44.

II. — *Les voûtes ABRÈGENT considérablement le parcours des rayons sonores QUI Y MONTENT INDIRECTEMENT.*

Nous comparons ici l'effet de la réflexion sur voûte



qu'en A , 64 mètres seulement; tandis que s'il s'était mu librement dans le parallélogramme $lmnp$, il aurait fait 66 mètres pour monter au plafond lm , et autant pour en redescendre, c'est-à-dire 132 mètres, chiffre rond. Il est facile de constater la même chose sur nos autres figures (37, etc.) et sur toutes celles qu'on ferait soi-même à cet effet.

III. — *Les voûtes produisent une différence de longueur entre le parcours montant et le parcours descendant d'un même rayon.*

Nous sommes ici en présence de la plus grande difficulté que nous trouvions dans les voûtes; c'est pourquoi nous devons l'étudier avec soin, quoique aussi sommairement que possible.

Dans un premier article, nous donnerons : 1° la définition du parcours montant (P) et du parcours descendant P'; 2° les *différences* remarquables entre ces deux parcours d'un même rayon; 3° le *rapport* qui existe entre eux.

1. — Définition de ces deux parcours.

Le parcours *ascendant* commence au point d'émission et va, par une succession de réflexions régulières, jusqu'à la voûte; là, il s'arrête.

Le parcours *descendant* commence au point où l'autre s'est arrêté, et descend par une succession de réflexions régulières jusque sur la ligne d'émission OS (fig. 30).

S'il fait une seconde réflexion sur la voûte, le *trajet* entre ces deux réflexions fait partie du parcours *descendant*, quelle que soit la direction ou l'obliquité de ce trajet.

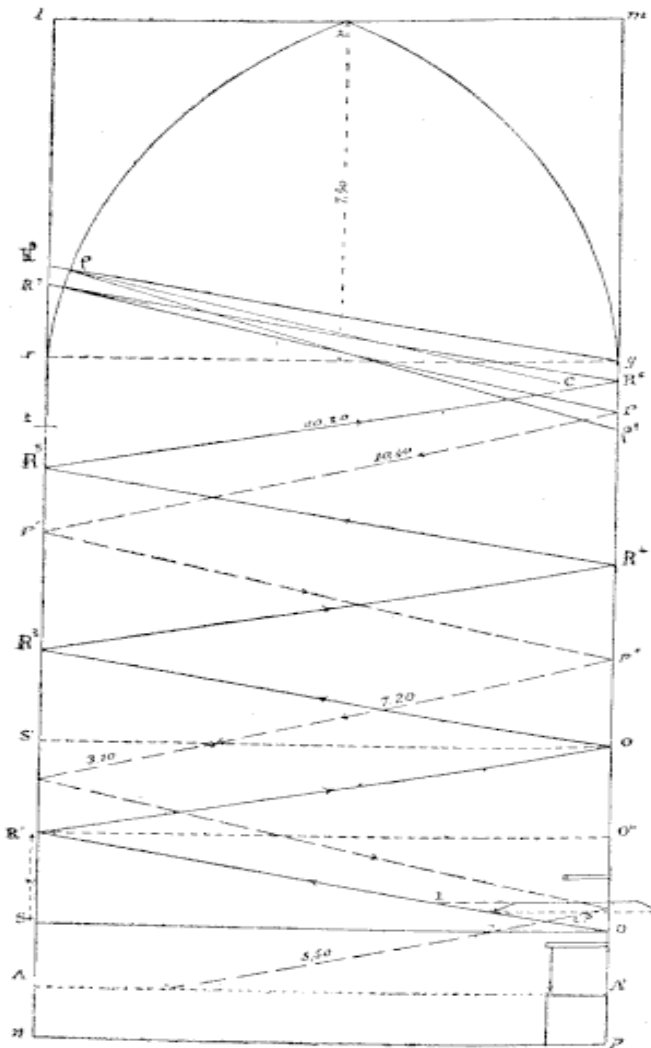


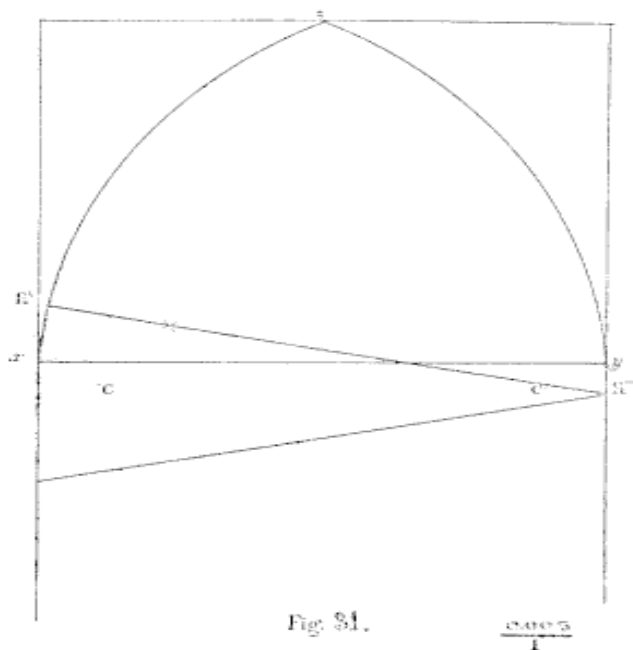
Fig. 30.

$$\frac{0,005}{1}$$

2. — Différences remarquables entre ces deux parcours d'un même rayon sonore.

Dans les églises-granges, le parcours montant et le parcours descendant d'un même rayon sont rigoureusement égaux s'ils correspondent à une même hauteur verticale.

Dans les églises voûtées, ces deux parcours ne sont égaux que dans un *seul* cas : c'est lorsque le rayon *montant* se confond avec la *normale* pour arriver à la voûte, car alors le rayon en descendant prend forcément le même chemin qu'il a suivi en montant (fig. 31).



Dans tous les autres cas ces deux parcours sont *inégaux*. Alors si la *ligne d'origine des voûtes* (1) est telle que le *rayon sonore* se trouve, en arrivant sur la voûte, *au-dessus* de la normale (2), il se réfléchira nécessairement en *dessous* de cette ligne, fera donc sur les parois des angles de réflexion plus grands qu'il n'y en

(1) Cette ligne est *idéale*, mais exerce une grande influence, c'est pourquoi nous la marquons dans nos figures.

(2) La normale est la ligne qui va du *centre de courbure* de la voûte *au point d'incidence* du rayon sonore ; autrement dit : c'est le *rayon de courbure de la voûte*.

avait fait en montant; d'où *moins* de réflexions, et un parcours *diminué*.

Mais si l'origine des voûtes est plus élevée, de façon que le rayon sonore *montant* arrive sur la voûte *au-des-*

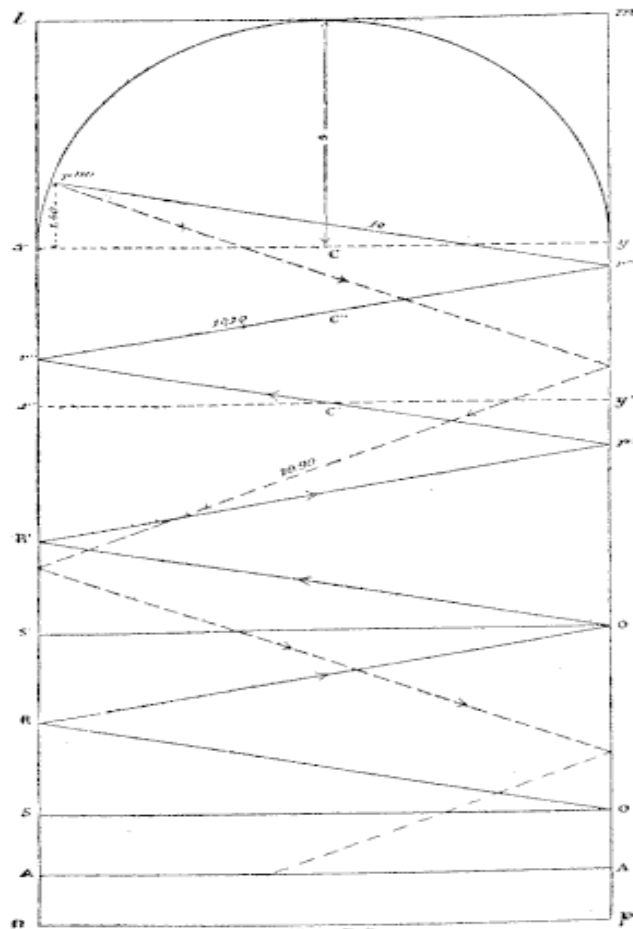


Fig. 32

$$\frac{0.005}{\lambda}$$

sous de la normale, il se réfléchira *au-dessus* d'elle, fera sur les parois des incidences d'un angle *plus petit* et *plus nombreuses*, par conséquent aura un parcours *descendant plus long* que n'était son parcours montant

Il est facile de voir la chose sur nos figures 30, 32 et 34, et de s'en convaincre soi-même en faisant quelques figures *ad hoc*.

AUTRE DIFFÉRENCE. — Le *parcours montant*, étant achevé quand il touche la voûte, reste à peu près *invariable*, quelle que soit la situation relative de la ligne d'origine des voûtes; il n'est influencé par rien.

Le *parcours descendant* au contraire est très variable, selon chaque incidence différente que produit la position relative de la ligne des voûtes.

(C'est du *minimum* du *parcours descendant* que dépend la solution de nos futures opérations, comme nous le verrons bientôt.)

3. — Rapport entre ces deux parcours.

Malgré les différences que nous venons de signaler, il y a un rapport entre ces deux parcours, de manière qu'en connaissant l'un on puisse déterminer l'autre.

Ce rapport peut s'établir par le procédé *graphique* ou par le calcul ou formule mathématique.

PROCÉDÉ GRAPHIQUE. — D'après une note ajoutée au n° 38, nous adoptons 2 mètres comme hauteur verticale d'une réflexion à l'autre, dans notre nef de 10 mètres de large. Cela posé, dans toutes nos figures $SR = 2$ mètres, ce qui donne pour le trajet sonore OR une valeur de 10,20 (exactement 10,198) (fig. 30, 32, 34).

Partons du point O de la ligne d'émission OS , et suivons le *parcours montant*, jusqu'à son point culminant, puis de même le *parcours descendant* jusqu'à ce qu'il soit revenu sur la ligne d'émission OS ; mesurons chacun

des deux parcours à part et nous aurons le *rapport* de l'un à l'autre (1).

PROCÉDÉ THÉORIQUE. — Expliquons d'abord nos termes, puis nous établirons nos équations :

P = le parcours montant ;

p = le trajet de la nef, d'une réflexion à l'autre, en montant ;

h = la petite hauteur verticale correspondant à p ;

P' = le parcours descendant ;

p' = le trajet isolé descendant (entre deux réflexions) ;

h' = la petite hauteur verticale correspondant à p' ;

H = la hauteur verticale depuis la ligne d'émission OS jusqu'au point culminant de la réflexion sur la voûte ;

L = la largeur de la nef [37].

Voici maintenant nos équations :

$$\frac{H}{h} = \frac{P}{p}; \text{ et } \frac{H}{h'} = \frac{P'}{p'} \quad (1).$$

D'où :

$$H = \frac{Ph}{p};$$

$$\text{et encore } H = \frac{P'h'}{p'} \quad (2).$$

D'où en éliminant H , on tire

$$\frac{Ph}{p} = \frac{P'h'}{p'} \quad (3).$$

(1) Si l'on veut faire la figure soi-même, il est *essentiel* que les angles d'incidence et de réflexion soient *parfaitement égaux*, surtout ceux du *point culminant*, afin que le *trajet isolé de la nef en descendant soit déterminé exactement*.

Donc

$$P' = \frac{Php'}{ph'} \quad (4).$$

Dans cette formule p' et h' restent à déterminer l'un *ou* l'autre *graphiquement*; alors elle ne peut servir que de *vérification*, car il est d'ordinaire plus facile d'achever la figure que de faire les calculs.

Mais voici trois formules qui nous donnent ces *inconnues* par le calcul, et pour le cas spécial de la *figure 34*, qui surtout *nous importe*:

$$p' = \frac{p^3}{L^2 - 3h^2}$$

$$h' = \frac{h(3L^2 - h^2)}{L^2 - 3h^2}$$

$$P' = \frac{P(L^2 + h^2)}{3L^2 - h^2} = 25 \text{ mètres.}$$

Donnons ici la suite des opérations pour arriver à ces dernières formules. Nous considérons : *A. les angles*; *B. leurs rapports avec nos éléments*; *C. les calculs*.

A. — Angles.

Fig. 34, pag. 111. Au point d'émission O , nous avons l'angle $ROS =$ l'angle $R^7yx =$ angle α .

Au point d'incidence r' , nous avons l'angle $Jr'R^7 = xIR^7 =$ angle $\delta =$ angle β .

Or angle $\delta = 2\alpha + \alpha = 3\alpha$; donc angle $\beta =$ angle 3α , le triangle ycR^7 étant isocèle et R^7c bissectrice. De plus, nous négligeons la petite distance R^7R^8 .

B. — Rapports de ces angles avec nos éléments.

h' (opposé à l'angle $\beta = L \tan \beta = L \tan 3\alpha$ [1];

$$L = p' \cos 3\alpha; \quad \text{d'où : } p' = \frac{L}{\cos 3\alpha} [2].$$

On a de même en considérant le triangle OSR (point d'émission) :

$$h = L \tan \alpha; \quad \text{d'où : } \tan \alpha = \frac{h}{L} [3]$$

$$\text{et } h = p \sin \alpha; \quad \text{d'où : } \sin \alpha = \frac{h}{p} [4]$$

$$L = p \cos \alpha; \quad \text{d'où : } \cos \alpha = \frac{L}{p} [5]$$

c. — *Calculs.*

1° Calcul de $\tan 3\alpha$.

$$\tan 3\alpha = \frac{3 \tan \alpha - \tan^3 \alpha}{1 - 3 \tan^2 \alpha}$$

En substituant [3]

$$= \frac{\frac{3h}{L} - \frac{h^3}{L^3}}{1 - \frac{3h^2}{L^2}} = \frac{h(3L^2 - h^2)}{L(L^2 - 3h^2)} [6]$$

Donc

$$\begin{aligned} h' &= \frac{L \times h(3L^2 - h^2)}{L \times (L^2 - 3h^2)} \\ &= \frac{h(3L^2 - h^2)}{L^2 - 3h^2} [7]. \end{aligned}$$

2° Calcul de $\cos 3\alpha$.

$$\cos 3\alpha = \cos^3 \alpha - 3 \sin^2 \alpha \times \cos \alpha$$

En substituant [4] et [5]

$$= \frac{L^3}{p^3} - \frac{3h^2}{p^2} \times \frac{L}{p} = \frac{L(L^2 - 3h^2)}{p^3} [8].$$

$$\text{Donc [2] } p' = \frac{L}{\cos 3\alpha} = \frac{Lp^3}{L(L^2 - 3h^2)}$$

$$= \frac{p^3}{L^2 - 3h^2} \quad [9].$$

Alors notre formule [4] $P' = \frac{Php'}{ph^2}$
devient

$$P' = \frac{Ph}{p} \times \frac{\frac{p^3}{L^2 - 3h^2}}{\frac{h(3L^2 - h^2)}{L^2 - 3h^2}}$$

$$= \frac{Pp^2}{3L^2 - h^2} \quad [10] \text{ en fonction de } P, p, L, h.$$

Ou, puisque $p^2 = L^2 + h^2$,

$$P' = \frac{P(L^2 + h^2)}{3L^2 - h^2} \quad [11] \text{ en fonction de } P, L, h,$$

Ou encore

$$P' = \frac{Pp^2}{4L^2 - p^2} \quad [12] \text{ en fonction de } P, p, L.$$

Ajoutons quelques formules pour faciliter les calculs sans procédé graphique.

$p = \sqrt{L^2 + h^2}$ trajet isolé de la nef, par le parcours ascendant.

$\frac{P}{p} = \frac{H}{h}$ donnent chacun le nombre des réflexions depuis le point d'émission jusqu'au point culminant.

d'où $P = \frac{Hp}{h}$ c'est le parcours montant.

et $H = \frac{Ph}{p}$ c'est la hauteur verticale.

P, L, h, p , étant ainsi connus, P' sera déterminé par la formule sus-énoncée [10, 11, 12].

Nous voyons par ces formules qu'il y a un *rapport* entre le parcours montant et le parcours descendant d'un même rayon.

La formule donnée plus haut nous fournit en outre le *minimum* de parcours descendant pour le plein cintre, ce dont nous aurons besoin au prochain article.

Enfin il faut remarquer que, en cherchant le rayon de 100 mètres, le dernier inoffensif, nous avons à nous occuper des seuls rayons qui montent à la voûte *au-dessus* de la normale, ce sont les seuls qui puissent devenir dangereux, car, comme nous l'avons dit, tous les autres rayons sonores ont un parcours descendant *fort long*, et par conséquent sont *inoffensifs*.

ARTICLE TROISIÈME

56. — **Moyen de nous garantir contre les dangers des voûtes : le minimum du parcours descendant.**

En général, il faut trouver un rayon qui fasse un parcours total de 100 mètres avant de retomber sur l'auditoire [36]. Mais, pour les voûtes, il faut de plus, pour avoir une conclusion certaine, que ce rayon ait le parcours descendant *minimum*, c'est-à-dire qu'il ne puisse y en avoir de plus petit.

Quand nous serons garantis contre ce parcours *minimum*, nous le serons *à fortiori* contre tous les autres (nécessairement plus longs).

Nous discuterons donc ce parcours *minimum* d'abord pour le *plein-cintre*, ensuite *pour l'ogive* et *l'ellipse*.

1. — **Minimum de parcours pour le plein cintre.**

Ce *minimum* de parcours est produit par l'angle de

réflexion maximum sur la voûte, lequel correspond à l'angle *d'incidence maximum*.

Cet incidence est en outre le point *culminant* que notre rayon puisse atteindre sur la voûte (*fig. 34*).

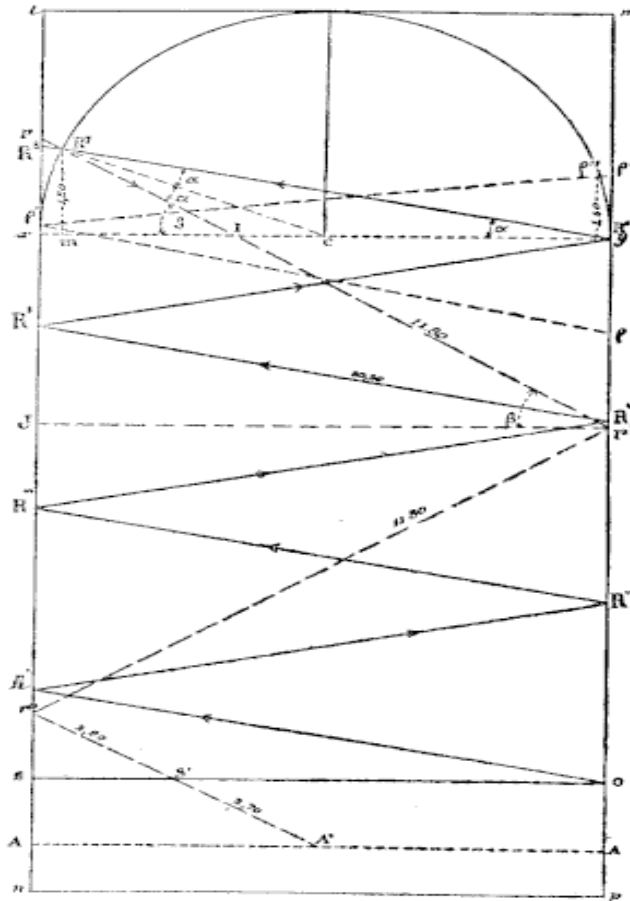


Fig. 34

$$\frac{0,005}{1}$$

a) Quelle sera la valeur de ce *minimum* et celle du parcours montant qui y correspond?

Nos expériences nous ont démontré que le parcours descendant oscille (dans la limite de nos opérations) entre le $1/3$ et le $1/4$ du *parcours total*, et le parcours total

étant de 100 mètres, le minimum descendant est évidemment de $\frac{100}{4} = 25$ mètres (pour notre nef).

Notre formule [11] de l'article précédent nous donne le même chiffre en $P' = \frac{P(L^2 + h^2)}{3L^2 - h^2} = 25^m,10$ pour notre *fig. 34*, c'est-à-dire pour une hauteur verticale de 14 mètres ou 7 réflexions.

Il faut y ajouter 2^m,70, trajet du rayon descendant depuis *OS* jusqu'à *AA*, soit 25^m,10 + 2^m,70 = 27^m,80 de parcours descendant complet.

Le reste 72^m,20 devra être fourni par le parcours montant.

b) Quel est le point *culminant* de ce rayon sonore sur la voûte, c'est-à-dire le point d'incidence où l'angle sera *maximum*?

Ce sera l'intersection sur la voûte du rayon sonore qui, de l'origine de la voûte *y*, s'élève à 2 mètres sur la paroi opposée. — Ce sera le rayon sonore *yR⁸*, qui, partant du point *y*, coupe la voûte au point *R⁷*, et la paroi en *R⁸*.

S'il partait d'un point situé *au-dessus* de *y*, il n'arriverait pas au point *R⁷*, car il serait déjà *incliné* par une première réflexion sur le bas de la voûte (*fig. 34*, rayon *pp'p''*), et s'il partait *au-dessous* du point *y*, il frapperait nécessairement *au-dessous* du point culminant.

Donc *R⁷* est réellement l'unique point culminant auquel puisse atteindre notre rayon montant ayant 71,40 de long (1).

(1) Nous lui avons supposé 7 réflexions, donc il y aura 6 réflexions.

Ce point culminant ainsi déterminé a son importance; car vers le sommet de la voûte la réflexion se complique; mais, *dans ces limites*, nous restons dans les lois ordinaires; et un même rayon sonore touchant à la voûte est plus ou moins dévié, *selon l'inclinaison* de la normale sur l'horizontale xy ; cette normale elle-même est d'autant plus *inclivée* que le rayon de courbure de la voûte est plus *grand*. Ainsi l'*ogive* déviara *moins* le rayon descendant que le *plein cintre*, et celui-ci *moins* que l'ellipse, car un même rayon sonore se trouvera toujours (1) dans la même position par rapport à la normale, c'est-à-dire, *ici, au-dessus* de cette ligne.

Si maintenant nous établissons graphiquement (fig. 34) le parcours descendant minimum correspondant à 71,40, nous trouvons 26,40 en mesurant *jusqu'à la paroi*. En nous servant de la formule donnée précédemment, nous trouvons 25,10, *jusqu'à R⁷* sur la voûte. C'est sensiblement *égal*, nous aurions donc :

$$\begin{array}{l} P \quad \text{montant} : 71,40 \\ P' \text{ descendant} : 25,00 \text{ (jusqu'en } O \text{).} \end{array}$$

xions depuis le point d'émission jusqu'à y , origine des voûtes, plus une réflexion sous voûte, c'est-à-dire :

$$\begin{array}{r} 6 \times 10,20 = 61,20 \\ \quad \quad \quad 10,20 = \underline{10,20} \end{array}$$

Total 71,40, chiffre donné plus haut.

(1) Il n'y a qu'une exception à cette *position*, c'est lorsque le *rayon* de l'*ogive* est plus grand que la largeur de la nef. Alors les centres sont au *dehors* de l'*ogive*; le rayon sonore montant sera *sous* la normale et se réfléchira *au-dessus*; il aura donc le parcours descendant *plus long* que son parcours montant; mais il *descendra* après avoir touché la voûte *sans monter plus haut*, et en somme confirmera la règle : que l'*ogive diminue* moins le parcours du rayon sonore que toute autre voûte.

Mais ce cas est si *extraordinaire* que nous doutons de sa réalisation. C'est plutôt pour mémoire que nous en parlons.

Trajet de P' depuis la ligne OS

jusqu'à l'auditoire A : $\frac{2,70}{99,10}$

Total :

En mettant $26,10$ au lieu de 25 , on aura $100,50$.

2. — Minimum pour l'ogive.

L'ogive est composée de deux arcs de rayons égaux, mais appartenant à deux circonférences différentes et qui se coupent. Il y a donc *deux* centres qui se trouvent sur la même *horizontale*, mais à l'opposé de leur arc respectif par rapport au milieu de la nef.

De plus, ces deux centres peuvent se trouver sur la *ligne xy* (origine des voûtes) ou *au-dessus* ou *au-dessous* de cette ligne, de même qu'ils peuvent dans ces différentes positions être à l'intérieur ou à l'extérieur de l'ogive.

On peut donc construire un très grand nombre d'ogives différentes sur une même base, et chacune exigerait une solution spéciale.

PREMIÈRE SOLUTION *qui convient à tous les cas d'ogives de même base.*

C'est moyennant le minimum que nous avons trouvé pour le plein-centre. En effet, l'ogive est d'autant plus élancée que ses deux centres sont plus écartés, et par conséquent ses rayons de courbure plus grands; elle est d'autant plus basse (arrondie) que ses deux centres sont plus rapprochés. Il est facile de s'en convaincre par une figure.

Si les deux centres se rapprochent jusqu'à se *confondre*, l'ogive n'aura plus qu'un rayon, et se sera fondue dans le plein-cintre.

Donc le *minimum* trouvé pour le plein-cintre est le seul qui garantisse *tous les cas* d'ogive et le plein-cintre est la limite de toute ogive de même base.

Voilà la solution radicale, mais on peut l'adoucir pour l'ogive tant soit peu élancée (1) (ogives supérieures). Par exemple, *fig. 30*, le rayon qui va au point culminant est yp ; il fait en descendant *42 mètres*, ce qui fait :

Rayon ascendant	71,40
Minimum descendant	42
	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>
	113,40.

SECONDE SOLUTION. — En donnant seulement 6 réflexions au *rayon ascendant*, c'est-à-dire $6 \times 10^m,20 = 61^m,20$, jusqu'au point culminant, on aurait :

Parcours montant.....	61 ^m ,20
Parcours descendant ($h' = 3,50$).....	36
(au lieu de 42 ci-dessus) (2).....	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>
Total.	97,20

En ajoutant le parcours de *OS* jusqu'en *AA*, environ 4 m. on aura le total de $101^m,20$.

(1) Nous nommerons *ogives supérieures* celles qui auront au moins 7^m50 de flèche sur une largeur de *10 mètres*; les autres sont *inférieures* (ceci est seulement pour nous).

(2) En descendant la ligne *xy* de 2 mètres on aura une diminution de parcours descendant égale à 6 mètres, car, *fig. 30*, paroi *ln*, on a: $R^st = h' = 3,50$ (*t* étant sur la même horizontale que *q'*); de plus, $R^sp' = p' = 10,50$; or, $3,50 : 10,50 :: 2 : x$,

donc $x = \frac{10,50 \times 2}{3,50} = 6$.

Mais en même temps on diminuerait le parcours montant de $10^m,20$ (trajet isolé montant), ce qui ferait une diminution totale de 16^m20 . En effet plus haut $113,40 - 97,20 = 16,20$. Il est donc facile de voir la diminution totale de parcours qu'on obtiendrait en baissant *xy* de 1 mètre, $0^m,50, 0^m,10$ (v. plus bas, fin 57, note).

Cela nous montre qu'on pourrait mettre xy à 2 mètres (c'est-à-dire une hauteur de h) plus bas, et gagner ainsi cette élévation de maçonnerie sur tout le pourtour et les contreforts, ce qui, certes, n'est pas à dédaigner.

La hauteur du point culminant serait alors de 12 mètres au-dessus de OS ($6 \times h$). (Remarquons que plus haut, quand nous avons parlé du *minimum* de parcours descendant pour le plein-cintre, nous avons trouvé 2^m,70, comme trajet entre la ligne OS et l'auditoire (fig. 34); mais ici, pour l'ogive, le rayon descendant étant beaucoup plus incliné, ce trajet de OS en AA est de 4 à 5 mètres au moins.)

On pourrait de même calculer le minimum pour chaque *ogive en particulier*; et cela n'infirme nullement ce que nous avons dit plus haut du *minimum* absolu pour tous les cas, et pour toute ogive élevée sur une même base.

3. — Minimum pour la voûte elliptique.

La voûte elliptique est certainement la plus gracieuse, si elle se trouve sur une nef de moyenne élévation; mais elle est aussi, en *tout cas*, la plus désavantageuse à notre point de vue.

L'ellipse a 2 centres (foyers), mais chacun d'eux est du côté de son arc respectif. C'est pourquoi les 2 arcs de côté sont fortement courbés, les normales fortement abaissées, et le rayon sonore réfléchi au point culminant *directement* relancé sur l'auditoire.

Pour donner au parcours total qui se réfléchit au point culminant (fig. 36) la valeur de 100 mètres, il faudrait

un parcours montant de $81^m,60$
 Alors le minimum descendant serait $16,50$
 De plus, pour arriver jusqu'à AA $\frac{1,50}{99^m,10}$
 Total $99^m,10$

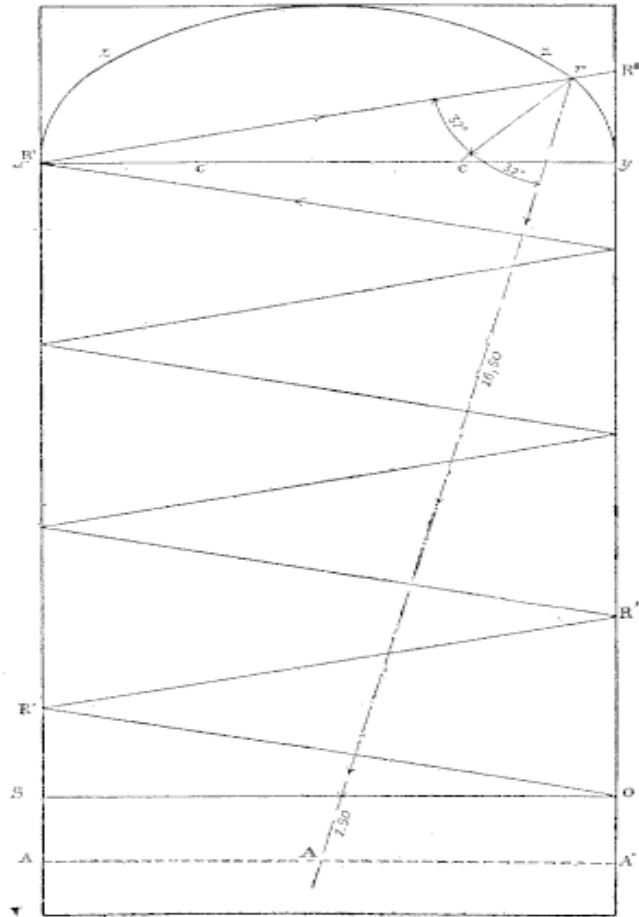


Fig. 36 $\frac{0,005}{1}$

Mais ainsi la hauteur serait tout à fait disproportionnée et désagréable à l'œil, et nous conseillons absolument d'employer d'autres moyens pour se garantir contre les rayons réfléchis par cette voûte.

Toutefois, nous avons voulu en parler pour mémoire et pour être complet (1). (V. note en bas.)

REMARQUE. — On pourrait formuler *brèvement* et *approximativement* le rapport du parcours descendant avec le parcours montant.

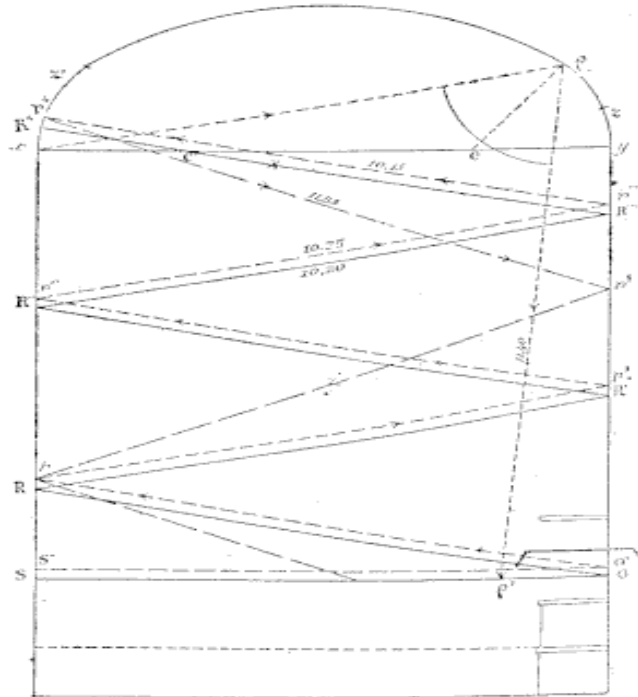


Fig. 35.

$$\frac{0.005}{1}$$

(1) Il est vrai que pour l'ellipse (*fig. 35*) on obtiendrait deux parcours égaux (c'est-à-dire $2 \times 51-10 = 102-20$) en faisant passer le rayon sonore montant par C' , le centre de l'arc qui réfléchira le rayon; il est encore vrai que tous les rayons qui frapperaient *au-dessus* du point R (SR) seraient interceptés par l'abat-voix (v. rayon $O'r$); il est enfin vrai que tous les rayons qui monteraient au-dessous du rayon OR auraient un parcours montant plus long; mais parmi ces derniers il y en *aurait beaucoup* dont le *parcours descendant* serait *insuffisant* pour leur assurer un total de 100 mètres, et ainsi *beaucoup de rayons nuisibles* échapperaient à l'abat-voix et retomberaient directement sur l'auditoire (caveant consules). Cette

Pour l'ogive *supérieure* (c'est-à-dire 7 à 7^m,50 de flèche environ sur 10 de large) ce serait plus de la moitié; pour le plein-cintre le 1/3; pour l'ellipse 1/5; et par rapport au *parcours total*, ce serait 1/3 fort, 1/4, 1/6).

57. — L'abat-voix dans les églises voûtées. — (*Cet article, ayant été longuement préparé par tout ce qui précède, sera notablement plus court.*) — Deux hypothèses se présentent : une construction nouvelle à faire, où nous sommes maîtres de la hauteur de l'édifice, ou une église toute faite, dont la hauteur ne peut pas être modifiée.

Dans la première, il faut accommoder la hauteur de l'édifice aux dimensions de l'abat-voix, *connues et déterminées* d'avance; dans la seconde, il faut accommoder l'abat-voix aux dimensions de l'édifice. — Dans les deux cas, il faut arriver à ce que le rayon de 100 mètres soit le dernier qui frise l'abat-voix, le dernier qui puisse retomber sur l'auditoire [36].

PREMIÈRE HYPOTHÈSE

Construction nouvelle.

1° *Déterminer avant tout les dimensions de l'abat-voix.*

Dans notre nef de 10/15 avec $h=2$ mètres, le rayon sonore qui part du point d'émission O doit (fig. 30-34)

note peut également s'appliquer aux autres espèces de voûtes, et nous démontré une fois de plus que le *parcours ascendant doit être tel*, qu'avec le *parcours minimum descendant* il assure un total de 100 mètres. — Pourquoi aussi les voûtes produisent-elles cette déconcertante *inégalité* de parcours !!

frapper sur la paroi opposée, en R , c'est-à-dire à 2 mètres au-dessus du point S , extrémité de la ligne d'émission OS , et l'abat-voix doit friser ce rayon. Il est donc facile à déterminer [24, 40].

2° Déterminer la hauteur de l'origine des voûtes, c'est-à-dire de la ligne xy .

a) EN GÉNÉRAL. — Cette ligne peut être placée depuis la dernière (fig. 34) réflexion sur la paroi R^6 , jusqu'au point culminant R^7 ; et dans toutes ces positions notre rayon de 100 mètres est garanti. (V. art. précédent : le *minimum*, etc.) Mais à mesure qu'on l'éloigne de la dernière réflexion R^6 , en la plaçant plus haut, le parcours *minimum* augmente. Il y a donc des positions plus avantageuses que d'autres et nous allons les indiquer.

b) D'abord pour le *plein cintre* (fig. 34).

En effet, plus xy se rapprochera du point culminant du rayon, plus aussi celui-ci (en soi immobile) sera plus proche de l'origine des voûtes, c'est-à-dire que l'angle d'incidence en ce point deviendra de plus en plus petit, et par conséquent le parcours descendant de plus en plus grand. (V. plus haut, 55, III, 2.)

On arrivera ainsi petit à petit à ce que le rayon sonore $R^6 R^7$ se confonde avec la normale, en passant par le centre de courbure; alors les deux parcours *sont égaux*, et ils feront ensemble $2 \times 71,40 = 142$ mètres au lieu de 100 mètres.

A partir de là, si l'on continue à élever xy , le rayon sonore ascendant $R^6 R^7$ se trouvera *sous* la normale, et son parcours descendant, *pivotant* pour ainsi dire autour du point culminant, sera *plus long* que son parcours montant. Il continuera à s'allonger, jusqu'à ce que, faisant deux réflexions sous voûtes, la seconde soit *plus*

élevée que la première. Alors il diminuera de nouveau, sans pourtant descendre jusqu'à son *premier minimum*. La raison de cette dernière assertion est qu'à cause de sa *double réflexion* sur la voûte, il ne pourra jamais s'élever verticalement aussi haut que le point culminant du rayon $R^6 R^7$ par rapport à xy . (V. plus haut, 56, 1, b.)

D'après cela on pourra se convaincre facilement que la *position la plus favorable de xy , quant au plein-cintre, est entre $0^m,25$ et $0^m,75$ au-dessus du point R^6 , dernière réflexion sur la paroi* (le rayon montant se trouvant alors *tout près*, ou même *au-dessous* de la normale).

c) L'ogive supérieure (celle qui aurait environ $7^m,50$ de flèche sur 10 de large) nous fait des conditions encore meilleures. Nous avons vu plus haut [56, 2] que le parcours descendant (fig. 30) de notre ogive (rayon yp) était de *42 mètres* en laissant xy à la 6^e réflexion R^6 , et de *36 mètres* en mettant xy à la 5^e réflexion R^5 . On peut facilement augmenter ce parcours descendant, en haussant l'origine des voûtes par rapport à la dernière réflexion sur paroi, comme nous l'avons expliqué pour le plein-cintre.

Seulement l'ogive *supérieure* offre de plus l'avantage que le centre de courbure (étant sur les côtés) sera rencontré *plus tôt* par xy ; par conséquent aussi le rayon ascendant se trouvera *plus tôt* confondu avec la normale ou au-dessous d'elle; et le parcours descendant commence *plus tôt* à *égaler*, puis à *dépasser* le parcours ascendant.

On peut donc sans hésiter mettre en ce cas l'origine des voûtes *depuis $0^m,25$ jusqu'à $1^m,50$ au-dessus du dernier point de réflexion que fera le rayon ascendant*

sur la paroi. La raison est la même que pour le plein-cintre.

d) Pour l'ellipse, nous n'ajouterons rien à ce qui en a déjà été dit, et il faut employer résolument d'autres moyens pour se garantir contre elle [56-3].

Terminons cet article par une double recommandation pratique :

1° En faisant les figures pour se rendre compte des différentes positions de xy par rapport au rayon ascendant, il faut avec le *plus grand soin* conserver le parallélisme du rayon avec lui-même, sans cela il n'aurait plus sa véritable inclinaison, et l'on ferait erreur sur erreur (55, III, 3, note).

2° Se rendre bien compte que les hauteurs verticales et les *trajets isolés* correspondants de la nef sont partout proportionnels :

Ainsi h correspond à p	et h' à p' .
$\frac{h}{2}$ — $\frac{p}{2}$	et $\frac{h'}{2}$ à $\frac{p'}{2}$
$\frac{h}{4}$ — $\frac{p}{4}$	et $\frac{h'}{4}$ à $\frac{p'}{4}$
H — P	et — à P'

En sorte qu'on peut facilement voir quelle différence de parcours montant, descendant ou total on produit en augmentant ou diminuant la hauteur d'un édifice — et spécialement de la ligne d'origine des voûtes (1).

(1) Pour trouver la portion de parcours *montant* ou *descendant* correspondant à 1 mètre de hauteur verticale, il suffit de diviser le parcours complet en question par la hauteur totale H . Si nous prenons

e) *Hauteur comparée des différents édifices, pour procurer la même immunité acoustique.*

N. B. — *OS* est la ligne d'émission ;
xy est l'origine des voûtes.

DÉNOMINATION des édifices	Depuis le sol jusqu'en <i>OS</i>	Depuis <i>OS</i> jusqu'à <i>xy</i>	Flèche	Hauteur totale	
				Minima	Maxima
<i>Eglises granges</i>	2.50	10	0	12.50 (fig. 28 bis)	
<i>Eglises ogivales</i>	2.50	10 à 12 ^m	7.50	20	22
<i>Plein cintre</i>	2.50	12 à 14 ^m	5	19.50	21.50
<i>Voûte elliptique</i>	2.50	14 à 16 ^m	3.50	20	22

(Voir fig. 28 bis, page 98.)

pour exemple le parcours *minimum absolu* [56, N.B.] où $P = 71,40$,
 $P' = 26,40$ et $H = 14$

$$\text{Pour } 1 \text{ mètre de hauteur verticale} \left\{ \begin{array}{l} \text{en parcours montant} \quad \frac{71,40}{14} = 5,10 \\ \text{en parcours descendant} \quad \frac{26,40}{14} = 1,17 \end{array} \right\}$$

et en parcours total, la somme: $\frac{\quad}{\quad} = 6,27$

Si nous prenons [56, 2] le calcul spécial à *l'ogive supérieure*, nous aurons pour 1 mètre de hauteur verticale

En parcours montant $\frac{71,40}{14} = 5,10$

En parcours descendant $\frac{42}{14} = 3$

Et en parcours total la somme
des deux..... = 8,10

En élevant ou descendant la ligne *xy* de 0,1, on allongera ou diminuera le parcours total de 0,81.

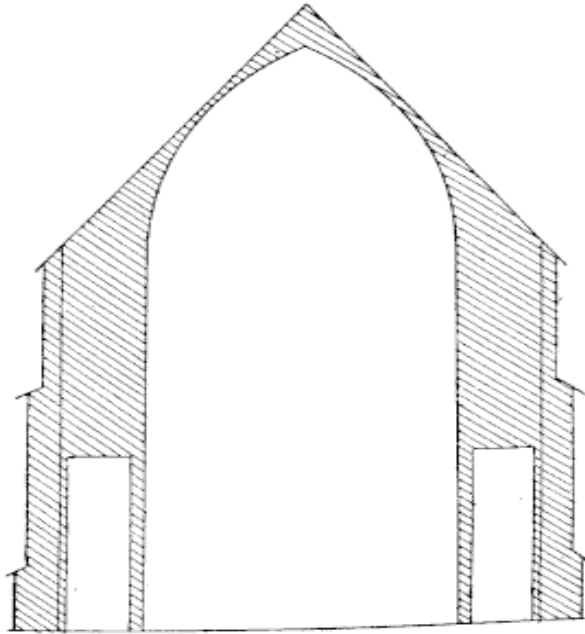
Si c'est 0,20, on aura 1,62, etc...

Ces chiffres *variant* selon le cas proposé.

Quand le point d'émission *O* est *en avant* de la paroi [38], toutes les réflexions sur les parois se font plus bas, *xy* *descendrait* autant (fig. 34) et le parcours total en serait diminué.

Pour éviter cette diminution, il suffit de laisser *xy* à 10 ou 12 mètres *exactement* au-dessus de *OS*, *comme si O* était sur la paroi *même*. On regagnera ainsi la portion de parcours en question.

Remarquons que la hauteur totale jusqu'à la voûte diffère peu d'une voûte à l'autre; mais que la flèche de l'ogive est $1/3$, tandis que celle du plein-cintre est $1/4$, et celle de l'ellipse le $1/6$ de la hauteur totale. C'est précisément ce manque de proportion qui rend l'ellipse, et même le plein-cintre désagréables à la vue dans les dimensions que nous leur avons dû donner, afin de rendre notre étude plus complète. Que si quelqu'un trouvait ces proportions exagérées, il faudrait *résolûment* les abandonner, et recourir aux autres moyens que nous indiquerons pour se garantir contre les effets désastreux des voûtes elliptiques.



F.33.

En somme, si, pour avoir la même immunité acoustique, on regarde à la dépense, les églises-granges l'emportent de beaucoup; de plus, elles permettent de loger

beaucoup plus de monde dans un même espace de terrain, et ménagent à toute l'assistance la vue sur l'autel. (Il est particulièrement nécessaire que les enfants voient l'autel.)

On pourrait d'ailleurs faire des églises voûtées où toute l'assistance serait dans la grande nef; les bas côtés serviraient de passage aux fidèles; les contreforts des voûtes seraient à l'intérieur et percés en bas pour fournir ce passage. (V. figure 33.)

DEUXIÈME HYPOTHÈSE

La construction est faite et la hauteur ne peut plus être modifiée.

58. — En ce cas, il faut accommoder l'abat-voix à cette hauteur, c'est-à-dire faire un abat-voix qui *intercepte* tout rayon revenant sur l'auditoire sans avoir un parcours de 100 mètres.

Pour cela il faut déterminer, sur la paroi opposée au prédicateur, le *point précis* où frappera le rayon de 100 mètres, le dernier qui soit inoffensif; supposons que ce point soit R' (*fig. 29, p. 99*), on trace le rayon OR' , et l'on fait arriver l'abat-voix sur cette ligne, c'est la solution.

C'est le même problème que nous avons déjà résolu pour les églises-granges [38] et nous nous servons de la

même formule $h = \frac{HL}{\sqrt{(P+H)(P-H)}}$ h étant la hau-

teur verticale du point R' au-dessus de la ligne OS ; c'est donc h que nous cherchons.

Seulement, à cause des difficultés que nous rencontrons dans les voûtes, nous sommes obligés d'employer de nouvelles ressources pour la solution de ce problème.

Ainsi nous divisons notre rayon de 100 mètres en trois parties : celle qui est *au-dessus* de la ligne xy , celle qui est au-dessous de la ligne OS et celle qui se trouve entre ces deux lignes.

A. Pour l'ogive supérieure. — Au-dessus de la ligne xy (entre-voûtes) il y a (*fig. 29, p. 99*) environ 12 mètres de parcours, et au-dessous de la ligne OS , le rayon descendant parcourra encore 3 à 5 mètres avant d'arriver à l'auditoire, soit en somme $12 + 3 = 15$ mètres. Reste à loger 85 mètres entre la ligne d'émission et la ligne d'origine des voûtes. — Ces 85 mètres représentent ici le *parcours total*, et se décomposent encore en parcours montant et en parcours descendant.

Or [56, 2, fin] nous avons vu que pour l'ogive *supérieure* le parcours descendant est plus du $1/3$ du *parcours total*, soit au moins $\frac{85}{3} = 28$ chiffre rond ; le parcours montant aurait donc 57 mètres ($57 + 28 = 85$).

Nous prenons ces chiffres sur notre *figure 29*, représentant une église ancienne, et nous calculons quelles dimensions il faut y donner à l'abat-voix, en d'autres termes à quel point précis doit frapper le dernier rayon inoffensif. Ce point est de la hauteur h au-dessus de S . — D'après la *figure 29*, H , la hauteur depuis OS jusqu'à xy est de 6 mètres. — Ainsi : $P = 57$, $L = 10$ mètres, $H = 6$ mètres. — Alors notre formule ci-dessus

$$h = \frac{HL}{\sqrt{(P+H)(P-H)}}, \text{ devient } h = \frac{6 \times 10}{\sqrt{(57+6)(57-6)}}$$

$$= \frac{60}{\sqrt{63 \times 51}} = \frac{60}{56,65} = 1^m,06.$$

Le rayon qui frise l'abat-voix devra donc frapper à $1^{\text{m}},06$ au-dessus du point S .

B. Pour le plein cintre et l'ogive inférieure. — Ici les chiffres deviennent moins favorables. En examinant la *figure 34* [110] on trouve au-dessus de la ligne des voûtes xy $13^{\text{m}},50$, et au-dessous de la ligne OS $2^{\text{m}},70$, soit en chiffre rond 16 mètres. Il reste donc $100 - 16 = 84$ mètres à diviser en parcours montant et parcours descendant entre OS et xy .

Mais ici le parcours descendant n'est plus que le quart du parcours total, c'est-à-dire $\frac{84}{4} = 21$ mètres, et le parcours montant sera de 63 mètres. En effet

$$\left. \begin{array}{r} 16 \\ 21 \\ 63 \end{array} \right\} = 100 \text{ m.}$$

En ce cas h , calculé selon la formule ci-dessus, devient $\frac{6 \times 10}{\sqrt{(63+6)(63-6)}} = 0^{\text{m}},95$, c'est-à-dire que l'abat-voix doit friser le rayon sonore qui frappera à $0^{\text{m}},95$ au-dessus du point S , si O est contre la paroi; ou à $0^{\text{m}},85$, si O en est éloigné de 1 mètre [38].

Ainsi l'abat-voix ou le baldaquin est déterminé [40].

Remarquons que le *plafond de l'abat-voix* reste toujours à la même hauteur [15 et 16] et que les bords seuls s'abaissent ou se relèvent [62, application]. Plus ces bords s'abaissent brusquement, plus l'abat-voix paraîtra lourd et étouffant; moins les bords s'inclinent vite, plus l'abat-voix paraîtra léger, quoique le diamètre de bord à bord en soit plus grand.

La formule est la même pour déterminer l'abat-voix dans toutes les autres églises voûtées (*positis ponendis*).

Nous avons exposé les conditions auxquelles on peut remédier aux difficultés que les voûtes créent à la prédication.

Il se peut qu'en soi, ou par suite de circonstances locales, ces conditions paraissent difficiles à réaliser; c'est pourquoi nous allons indiquer encore deux moyens puissants : l'*annulation du champ nuisible supérieur* et le *grand baldaquin* dont nous avons déjà parlé [17 et 18].

59. — **Champ nuisible supérieur.** — De même que nous avons signalé et déterminé [30] un *champ nuisible inférieur*, de même nous signalons ici un *champ nuisible supérieur*, avec cette différence que le champ nuisible inférieur existe *nécessairement* et doit *toujours* être combattu, tandis que le champ nuisible supérieur n'existe qu'en cas d'insuffisance de l'abat-voix.

Remarquons que ces deux champs nuisibles se trouvent dans le secteur *boc* (fig. 28 et 29), secteur perfide, et dont les ondes semblent vouloir échapper à toute réglementation.

QUAND CE CHAMP SE PRODUIT-IL?

1° Lorsqu'une nef, comme celle fig. 29, n'a pas assez de hauteur droite pour fournir le parcours ascendant de 57 mètres à 63 mètres dont nous avons parlé au n° 58 et que, 2° on ne veuille, ou qu'on ne puisse pas établir d'abat-voix ou baldaquin *suffisant* pour intercepter *toutes* les ondes ascendantes nuisibles. Car alors il restera un certain nombre d'ondes nuisibles non interceptées; la partie de la paroi sur laquelle se réfléchiront ces ondes sera le *champ nuisible supérieur*.

SA DÉLIMITATION

Ce *champ nuisible* est donc limité en haut par le rayon qui frise l'abat-voix, et en bas par le rayon qui a 100 mètres de parcours, et qui est le *dernier* rayon inoffensif [36].

Dans notre figure 29, avec l'abat-voix insuffisant qui s'y trouve, le dernier rayon intercepté touche la paroi opposée en R à $1^{\text{m}},71$ au-dessus de S ; d'ailleurs, nous avons trouvé plus haut [58], que le dernier rayon nuisible vient frapper la paroi en R' à $1^{\text{m}},06$ ou $0^{\text{m}},95$ (1) au-dessus de S , selon la position du point d'émission par rapport à la paroi. Le *champ nuisible supérieur* se trouve donc entre les points R et R' ; or le point d'émission O se trouvant, dans notre figure, à 1 mètre de la paroi, $R'S = 0,95$; donc notre champ nuisible aura

$$1,71 - 0,95 = 0,76$$

de hauteur verticale *vis-à-vis de la chaire*. Mais les points R , R' montent sur la paroi, à mesure qu'ils s'éloignent du point d'émission; il faudra pour chaque nef différente prendre la hauteur *minima de R'* (qui est celle vis-à-vis de la chaire) et la hauteur *maxima de R* (qui est celle du point le plus éloigné de la chaire), et en traçant des horizontales par ces deux points on aura une bande régulière uniforme sur tout le pourtour de l'église. Quant à nos calculs, nous ne considérons que le point R , car les rayons qui frapperaient plus haut sont tous interceptés par l'abat-voix.

(1) Pour l'ogive inférieure [58] et pour le plein cintre ce rayon frapperait à 0,95 au-dessus de S , si O se trouve sur la paroi, et à 0,85 si O est avancé d'un mètre.

60. — Son annulation. — Il faut recourir aux moyens indiqués pour le *champ nuisible* inférieur, parmi lesquels nous devons discuter, pour le cas actuel, l'hypothèse de l'*inclinaison* de ce champ nuisible supérieur, qu'on pourra ensuite diviser en bandes horizontales et parallèles (V. 33) (1).

Cette inclinaison devra être en sens inverse de celle du champ nuisible inférieur; là il s'agissait de diriger les rayons de bas en haut, ici il s'agit de les incliner de haut en bas vers l'horizontale: c'est le seul moyen de prolonger leurs parcours entre parois pour les rendre inoffensifs.

Tout d'abord il faut rendre inoffensif le rayon sonore *OR* qui est le rayon supérieur de ce champ nuisible, c'est celui qui a le parcours le moins long et pour cela le plus dangereux. Celui-là étant réduit à l'impuissance, tous les autres qui frappent plus bas le seront nécessairement par le même moyen. Car le rayon *OR*... fait *64 mètres* de parcours entre le point d'émission *O* et l'auditoire *A*; le rayon *OR'* en fait *100*, tous les rayons intermédiaires varient entre *64* et *100 mètres*.

Or, pour rendre inoffensif le rayon *OR*, il faut incliner la paroi du champ nuisible de façon que ce rayon *OR* fasse lui aussi *100 mètres* avant de revenir sur l'auditoire.

Nous allons faire l'opération selon les données de la nef ogivale (*figure 29, page 99*); la marche à suivre sera la

(1) Il est clair qu'il serait plus facile, plus décoratif et plus économique d'établir un *baldaquin* [17, 18] pour annuler d'un coup tout ce champ nuisible, que de construire à grands frais des plans inclinés sur tout le pourtour de l'église! Ce qui suit dans le texte suppose donc l'impossibilité de ce *baldaquin*.

même pour tous les autres cas, sauf les changements dans la *valeur des termes*.

D'abord allégeons le parcours de *100 mètres* des quantités dont nous n'avons pas besoin ici :

1° De la partie du trajet au-dessus de <i>xy</i> et au-dessous de <i>OS</i> [58], ensemble environ	15 mètres.
2° Du parcours descendant (supposé $\frac{1}{3}$ du parcours montant) [56 à la fin]	28 —
3° De la partie <i>OR</i> du rayon sonore (qui reste la même) (1)	9 —
Total . . .	52 mètres.

En retranchant ces *52* de *100*, reste *48 mètres*; ce sont les seuls dont nous avons à nous occuper ici, afin de les loger entre le point *R* et la ligne *xy*, c'est-à-dire dans le quadrilatère *ORxy*.

Pour plus de clarté, nous subdivisons le reste de l'opération en trois points :

1° Déterminer *h* ou la hauteur verticale d'une réflexion à l'autre, pour que notre rayon fasse *48 mètres* dans l'espace assigné;

2° Déterminer à cet effet le point où le rayon *OR* devra frapper sur la paroi opposée, après s'être réfléchi en *R*;

3° Déterminer l'inclinaison du champ nuisible supérieur, pour que le rayon *OR* fasse réellement *100 mètres* avant de retomber sur l'auditoire.

1^{er} Point. — Déterminer *h*, etc...

Nous avons [37] la formule $\frac{h}{H} = \frac{p}{P}$; donc $h = \frac{pH}{P}$

(1) Toujours dans l'hypothèse que *O* soit à *1* mètre de la paroi.

P ici est 48 mètres.

H est la hauteur verticale correspondant à P ; c'est ici la hauteur Rx , c'est-à-dire $Sx - SR$ ou [6 mètres — 1^m,71] = 4^m,30 (chiffre rond).

p trajet isolé de la nef, sensiblement 10^m,05.

Alors notre formule devient :

$$h = \frac{10,05 \times 4^m,30}{48} = 0^m,90.$$

2° *Point.* — Déterminer le point où le rayon OR doit frapper après s'être réfléchi en R .

(Fig. 29) (1). — De R , limite supérieure de ce champ nuisible, je marque le point ε , à 0^m,90 de hauteur verticale, $R\varepsilon = h$; de ε , je mène jusqu'à la paroi opposée une horizontale $\varepsilon\varepsilon'$.

ε' sera le point où devra frapper le rayon OR , après sa première réflexion en R .

3° *Point.* — Déterminer l'inclinaison de ce champ nuisible, pour que le rayon OR fasse 48 mètres entre le point R et la ligne xy , et 100 mètres entre le point d'émission et son retour sur l'auditoire.

Joignons (par la pensée) $R\varepsilon'$, et nous aurons l'angle $OR\varepsilon'$.

Prenons la bissectrice de cet angle, Rb , et sur cette bissectrice menons, à partir du point R' , une *perpendiculaire*. Cette perpendiculaire donne de haut en bas l'inclinaison de notre champ nuisible. (Voir 3° Partie, n° 62, problème.)

En effet, le rayon OR ira de R en ε' , car les deux

(1) Pour ne pas compliquer la figure, nous ne marquons que les points ε , ε' , le bienveillant lecteur suppléera facilement le reste par la pensée, ou mieux par une *figure*.

angles ORb et bRz' sont égaux. (Nous négligeons la petite distance qui au point R sépare le champ nuisible *incliné* de la paroi verticale.) — Il est facile de se convaincre théoriquement ou pratiquement que le rayon sonore montant depuis z' jusqu'en xy , de $0^m,90$ en $0^m,90$, fera *48 mètres*, et qu'en y ajoutant les différentes quantités dont nous avons allégé nos opérations au commencement, le rayon OR fera *100 mètres* depuis O jusqu'en A (*c. q. f. d.*). Il fera même plus de 100 mètres parce que le rayon descendant sera allongé par suite des angles d'incidence devenus *plus petits*. Il faut en dire autant de tous les rayons qui frappent entre R' et R .

N. B. — Au lieu de diviser ce champ nuisible *en bandes inclinées*, on pourrait y établir des *peintures murales* à l'huile et sur enduits absorbants (*21 bis*), et avec l'inclinaison voulue. Des *toiles peintes* feraient le même effet. Personne alors ne se douterait que ces peintures, édifiantes par les *yeux*; ont été faites pour les *oreilles*?

61. — Nous ajoutons ici deux remarques :

I. — Malgré tout, le meilleur moyen d'annuler le *champ nuisible supérieur* sera toujours le *grand baldaquin* [17, 18]. — Résumons-en les avantages.

1° *Sécurité complète* (en lui donnant les dimensions voulues) contre toutes les ondes supérieures et ennemies;

2° *Possibilité de donner* à l'édifice des proportions plus convenables, par exemple $15/20$ au lieu de $21/20$, $22/10$ [57, e], et par suite *économie considérable* dans la construction. En effet un bâtiment de *30 mètres* de long sur *10 mètres* de large donne *80 mètres* de pourtour. Si l'on était obligé de donner par exemple *22 mètres*, au lieu de *15* de hauteur, on aurait à construire 7×80

= 560 mq. en plus, de murs, contreforts, arcs-boutants, piliers, en majeure partie en pierre de taille, ce qui ferait à cette hauteur une dépense énorme. On économiserait en outre toute la dépense à faire pour annuler tout le champ nuisible, puisqu'il n'existerait plus.

Donc : sécurité complète, proportions meilleures,

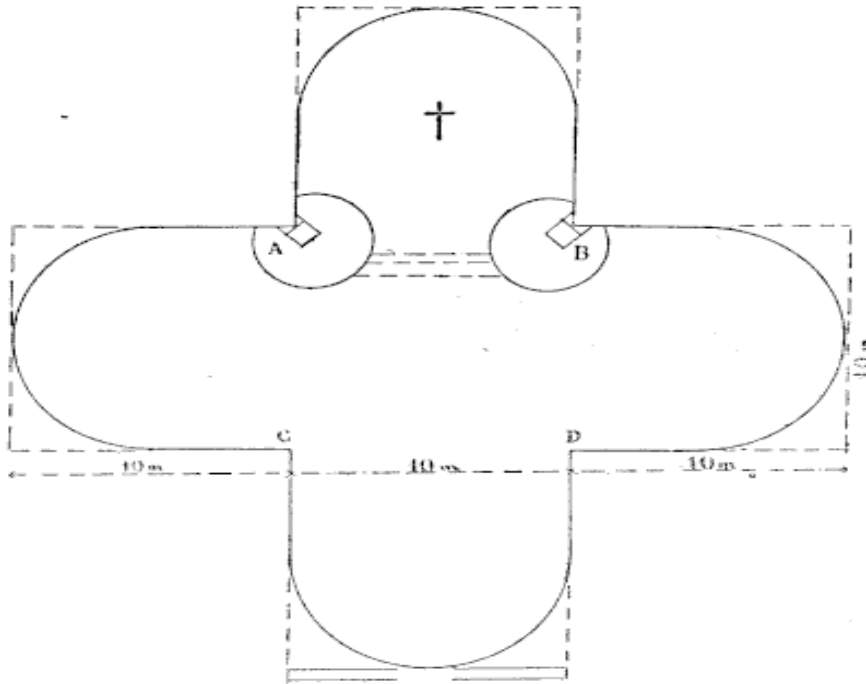


Fig 37 $\frac{0.0025}{1}$

économies considérables, voilà ce qui recommande le grand baldaquin et celui-ci ne coûte pas beaucoup plus cher que l'abat-voix qu'il remplacerait.

II. — *Le baldaquin* se recommande encore dans les églises bâties en *croix grecque* (fig. 37). Dans ces églises il y a quatre nefes (bras de la croix) d'égale grandeur et qui fournissent une quadruple source de *vacarme* quand l'abat-voix y est insuffisant.

Alors, si l'autel est dans le *chœur*, la *place* de la chaire sera à l'un des deux angles *A* ou *B* de l'*entrée du chœur*; mais si l'autel s'avance jusque dans les transepts (sous la coupole), alors la *place* de la chaire serait à l'un des angles *C*, *D*, entre la nef d'entrée et les transepts.

Il n'y a pas en cela de contradiction avec la recommandation [6] et [23], car là il s'agissait d'une *seule* et *longue* nef, ici il s'agit de quatre nefs égales et plus importantes, qui se coupent à angle droit et où le prédicateur est réellement placé au *milieu* et en *face* de tout son auditoire.

Déterminer ce baldaquin. — Nous avons [38, fin] adopté 2 mètres comme hauteur verticale à laquelle s'élève le rayon sonore entre deux réflexions consécutives dans une nef de 10 mètres de largeur, et nous l'avons désigné par *h*; mais pour le *baldaquin* surtout dans une église déjà construite ce chiffre (2 mètres = *h*) devra souvent être diminué, et (fig. 30) la distance *h* entre *S* et *R* réduite à 1^m,80, ou même à 1 mètre environ. Plus on pourra baisser les bord du baldaquin, plus on en bénéficiera. Et puisque la largeur des nefs ne change rien à la longueur du rayon qui garde la même inclinaison et à hauteur égale [39], on pourra facilement déterminer *h* par la formule $\frac{h}{H} = \frac{p}{P}$, et la manière d'opérer énoncée [58, 60), puis déterminer le bord du baldaquin selon [40].

Ornementation. — Un architecte habile saura rendre *légers* ces baldaquins un peu larges en les agrémentant de tourelles et flèches élancées, etc. (1).

(1) Là où on ne craint pas la dépense, on pourrait établir *près du*

Si l'autel s'avancant dans les transepts était placé sur une terrasse (ambon), et qu'on voulût prêcher de là, il faudrait un baldaquin mobile en forme de ciel de dais, et qui *dépassât* en tous sens cette terrasse autant que le baldaquin dépasserait la chaire.

Mais il ne produirait pas tous les bons effets d'une chaire à baldaquin fixe placé à l'entrée des transepts aux points *C* ou *D*.

sanctuaire deux chaires (fig. 37), dont les abat-voix ou baldaquins seraient (ou non) réunis par un arceau et formeraient ainsi une espèce de *jubé*. Non seulement cette disposition se prêterait beaucoup à la *décoration*, mais servirait à un *usage alternatif* selon le côté où se porterait la masse de l'auditoire, et surtout aux conférences dialoguées, si utiles de nos jours quand elles sont bien préparées ! A titre d'ornementation, ces chaires pourraient faire corps avec les bancs d'œuvre établis dans le chœur ; comme aussi les baldaquins se continuer par un couronnement (moins large) au-dessus de ces bancs.

TROISIÈME PARTIE

TROISIÈME PARTIE

Cette partie renferme deux articles :

1° La *solution* de quelques *problèmes*, qui montreront qu'on peut diriger les rayons sonores à volonté ;

2° Un coup d'œil rétrospectif et un *aperçu* de questions à examiner, ou de *problèmes à résoudre* au point de vue de l'acoustique, quand il s'agit de construire une église ou une chaire.

ARTICLE PREMIER

Problèmes.

Nous avons déjà résolu quelques problèmes quand la chose nous a paru utile dans le courant de la seconde partie. Ici nous en réunissons un certain nombre afin de prouver qu'on peut *diriger à son gré* les rayons sonores.

RÈGLE GÉNÉRALE. — Pour modifier la direction d'un rayon sonore, il suffit de modifier *la surface réfléchissante* [25, 26], en l'inclinant si elle est plane, ou en changeant le rayon si elle est courbe.

62. — 1^{er} Problème. — Etant donnés le point d'émission et le point de réflexion, *quelle inclinaison* donner à la surface réfléchissante pour diriger le rayon sonore sur un autre point déterminé ?

1^o Soit O (fig. 38) le point d'émission, R le point de réflexion, et z le point sur lequel on veut diriger le rayon sonore. Joignons OR , Rz , menons la bissectrice

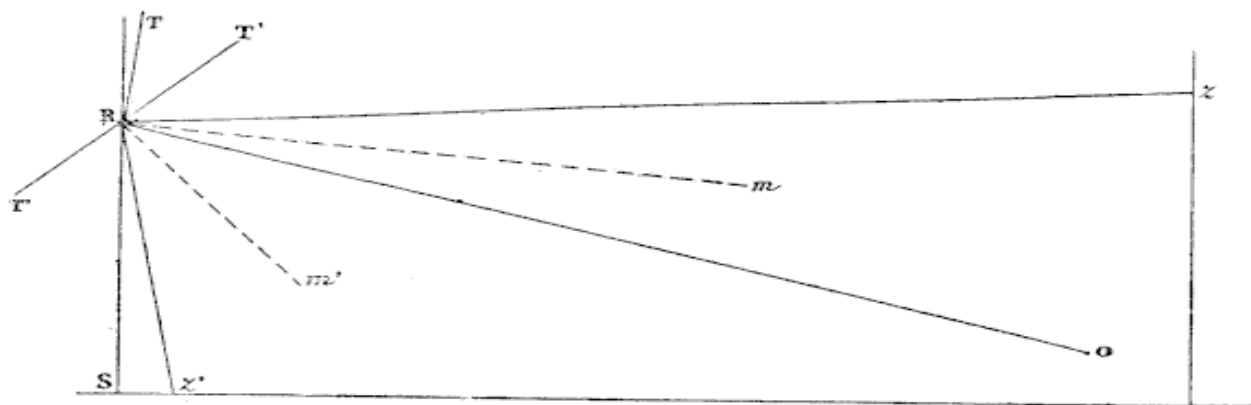


Fig. 38.

Rm ; et RT perpendiculaire à cette bissectrice; RT sera l'inclinaison demandée. — En effet, Rm sera la normale à la surface RT , et le rayon OR se réfléchira nécessairement selon Rz .

2^o Si l'on voulait précipiter le rayon OR sur le sol, on ferait la construction OR , Rz' , la bissectrice Rm' et la surface RT' , perpendiculaire à Rm' ; OR réfléchi sur RT' ira en z' .

APPLICATION. — *Quelle inclinaison donner au plafond d'un abat-voix, par rapport à l'horizontale, pour qu'il réfléchisse toutes ses ondes sur tout l'auditoire [14], c'est-à-dire à 30 mètres de chaque côté?*

Supposons un auditoire de 60 mètres d'étendue, soit 30 mètres de chaque côté de la chaire.

Soit (fig. 39) AA' la ligne horizontale marquant le niveau de l'auditoire, et sur cette ligne pp' désignant le plancher de la chaire.

Supposons VV' un abat-voix large, et sur son bord latéral le point R à 2^m20 verticalement au-dessus de l'horizontale AA ; — Du point d'émission O menons la ligne OR ; puis du point R , traçons RR' de façon à ce que cette

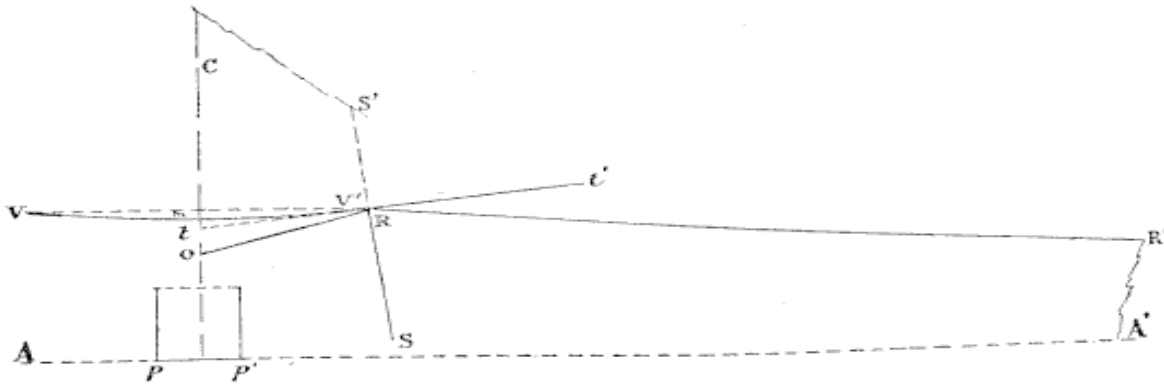


Fig. 39.

ligne continuée rejoigne AA' à l'extrémité de l'auditoire, c'est-à-dire à 30 mètres.

Menons RS , bissectrice de l'angle ORR' , et au point R , t' perpendiculaire à cette bissectrice. La ligne t' est l'inclinaison cherchée.

En effet le rayon OR , réfléchi en R par ce plan incliné, ira au bout de l'auditoire et tous les rayons réfléchis entre le centre de l'abat-voix et le bord seront répercutés sur les auditeurs depuis la chaire jusqu'à l'extrémité.

Remarquons que le plafond de cet abat-voix est un cône renversé, ayant pour base la largeur de cet appareil et comme hauteur $0^m,20$ environ en ce cas particulier, et qu'il se relève en dehors.

On peut remplacer ce cône renversé par une calotte sphérique convexe, dont le centre serait l'intersection des lignes SRS' et OC , continuées, et le rayon la distance

de cette intersection jusqu'à R . — tt' sera tangente à l'arc VmV tracé ainsi, et les rayons sonores seront tous relancés comme ils le seraient par la tangente aux points de réflexion. Le rayon de la courbe est ici de 16 mètres, et cette calotte sphérique *doublant* ainsi la voix directe est peu apparente.

Comme l'auditoire vis-à-vis de la chaire n'a pas une étendue de 30 mètres, il faut, pour ne pas perdre le bénéfice de beaucoup de rayons réfléchis de ce côté, que l'inclinaison soit plus accentuée sur le devant de l'abatt-voix (c'est-à-dire se relève moins).

(Ces remarques et mesures ont été faites et prises pour la basilique de Saint-Nicolas-du-Port, près de Nancy.)

63. — 2^e Problème. — *La surface réfléchissante étant connue, à quel point de cette surface le rayon so-*

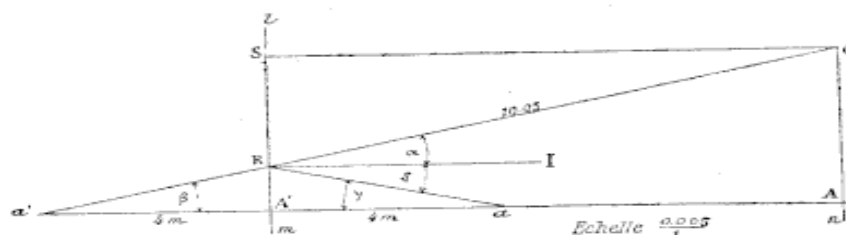


Fig 40

nore doit-il frapper, pour être relancé de là sur un autre point déterminé?

Soit O (fig. 40) le point d'émission, a le point sur lequel je veux diriger un rayon sonore après sa réflexion sur la surface lm . A quel point de cette surface devra frapper ce rayon? Voilà le problème.

De a , menons une perpendiculaire sur la paroi lm , et prolongeons-la jusqu'en a' de manière que $a'A'$ soit égal

à $A'a$; joignons Oa' . — Le point d'intersection R sera le point demandé.

En effet, joignons Ra , et menons en R la perpendiculaire RI . Nous aurons: *angle* $\alpha = \text{angle } \beta$ (angles corresp.), *angle* $\beta = \text{angle } \gamma$ (triangle isoc.), *angle* $\gamma = \text{angle } \delta$ (alt. int.), donc *angl.* $\alpha = \text{angle } \delta$; donc RI est bissectrice, et le rayon OR sera relancé selon Ra . Cela est vrai pour tous les plans de mouvements, *verticaux ou non*; mais, dans ce dernier cas, *la ligne d'intersection du plan de mouvement et de la paroi réfléchissante ne sera pas verticale*. Quant à la figure et à la construction à faire, elles ne changent pas.

N. B. — Si l'on voulait par ce problème calculer la limite inférieure du champ nuisible inférieur [31, 32], il faudrait prendre a assez rapproché de la paroi pour que la différence entre la voix directe et la voix réfléchie n'excédât pas dix mètres.

63 bis. — Dans les deux problèmes précédents, il ne

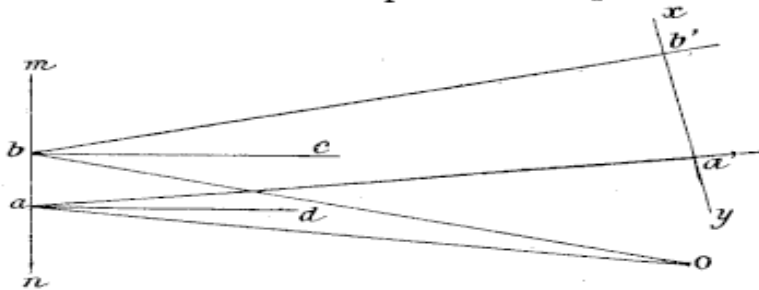


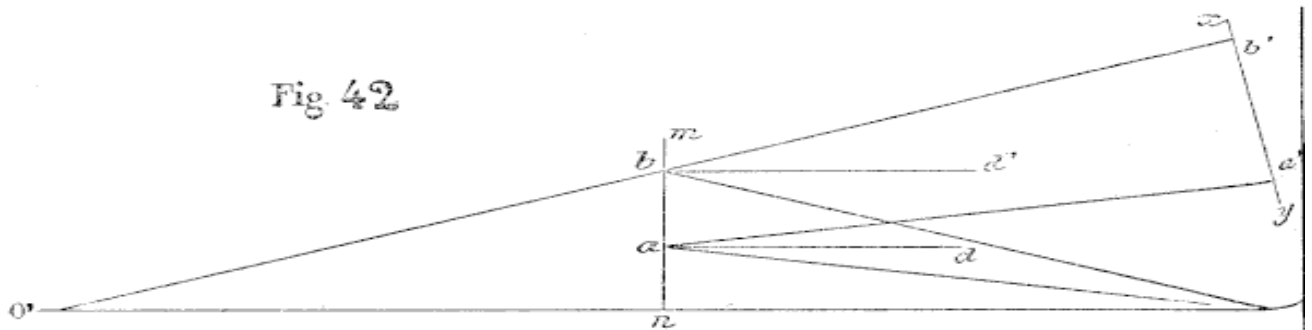
Fig. 41

s'agit que d'un point, mais on peut les appliquer à des surfaces entières, de là *deux corollaires*.

PREMIER COROLLAIRE. — Déterminer sur une surface xy la hauteur du faisceau sonore réfléchi par une autre surface donnée ab (fig. 41). Menons aux deux extrémités de

la surface ab les perpendiculaires ad , bc . Les rayons Oa et Ob se réfléchissent sur a' et b' de la surface $a'b'$ sera donc la hauteur du faisceau sonore sur cette surface xy ; les rayons intermédiaires se réfléchiront entre a' et b' .

SECOND COROLLAIRE. — La seconde surface $a'b'$ étant donnée, déterminer à partir d'un point a la hauteur et l'inclinaison d'une première surface, réfléchissant exactement toutes ses ondes sur la surface connue $a'b'$ (fig. 42).



Joignons le point d'émission O au point a , puis a au point a' et, sur la bissectrice ad de l'angle ainsi formé, élevons en a la perpendiculaire am . Elle nous donnera l'inclinaison de la surface demandée. Pour en déterminer la hauteur, du point O menons sur la droite ma prolongée la perpendiculaire OO' ; prenons $O'n = On$, et joignons $O'b$; ab sera la surface cherchée. (Voir problème 2, 3^e partie.)

D'après cela il serait facile de construire au-dessus d'un banc-d'œuvre, par exemple, un plan incliné qui renverrait les rayons réfléchis sur ceux qui occuperaient ces places, les faisant bénéficier de ce chef d'un renforcement de sons.

64. — 3^e Problème. — Trouver une surface cylindrique convexe qui réfléchisse, sur toute la largeur de l'auditoire, tous les rayons qu'elle reçoit.

Nous supposons cette surface courbe régnant horizontalement sur tout le pourtour de la nef, à partir de la limite *inférieure* du champ nuisible supérieur [39,59]. De cette façon le problème est pratique.

Soit (fig. 43) lm la paroi verticale vis-à-vis de la chai-

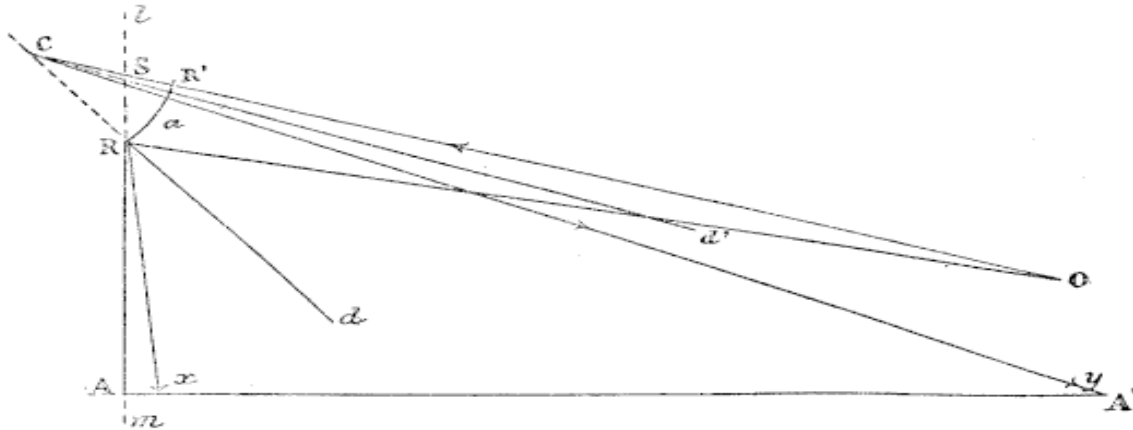
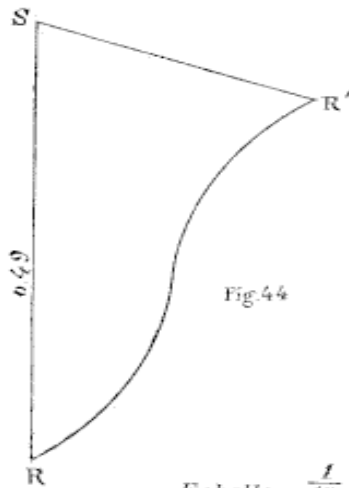


Fig 43.

re, O le point d'émission, RS une portion ou la totalité du champ nuisible supérieur, R le point de réflexion du rayon inférieur qui doit retomber en x , le long de la paroi, et S le point de réflexion du rayon supérieur que notre courbe devra atteindre et envoyer en y , près de la paroi opposée. — Menons les rayons OR, Rx , et la bissectrice Rd prolongée au delà de R ; puis les rayons OS, Sy , ainsi que leur bissectrice Sd' prolongée jusqu'en C , intersection des deux bissectrices. — Avec CR comme rayon, menons l'arc de cercle RaR' : c'est la courbe demandée. — Les deux rayons extrêmes OR et OR' se réfléchiront en x et y , et tous les rayons intermédiaires entre A et A' .

N. B. — On pourrait donner à cette courbe une forme plus gracieuse : combiner par exemple : la courbe concave avec la courbe convexe (fig. 44).



4^e Problème. — Quel rayon faut-il donner à une surface courbe concave, pour qu'elle réfléchisse tous les rayons sonores sensiblement en un point ou sur une ligne donnés?

Nous ne disons pas : *tous les rayons exactement*, car pour renvoyer exactement tous les rayons d'une surface concave en un seul point ou sur une seule ligne, il faudrait nécessairement une surface elliptique ou parabolique. Mais cela

dépasserait le but que nous nous proposons, et donnerait un volume de voix intolérable.

Nous avons vu [48] que les rayons sonores, réfléchis par une surface cylindrique concave, se croisaient sensiblement sur une ligne parallèle à l'axe du cylindre ; et que ceux qui sont réfléchis par une surface concave *sphérique* convergeaient sensiblement au même point.

Nous traiterons d'abord des surfaces cylindriques, ensuite des surfaces sphériques.

A. *Surface cylindrique.* — Soit $lmnp$ la coupe horizontale d'une travée de nef ou chapelle latérales (fig. 45), l , m , n , p , les quatre angles de cette travée et O le point d'émission. Je veux *concentrer* dans l'angle n les rayons qui frappent sur la paroi du fond depuis I jusqu'en m ; de même concentrer dans l'angle p tous les rayons qui frappent depuis i jusqu'en l ; enfin, essayer d'emprisonner les rayons réfléchis dans ce petit local afin de les rendre inoffensifs : *tel est le problème.*

Il faudrait une construction différente pour chaque côté; mais la marche à suivre étant la même, nous n'en ferons la figure que pour la demi-paroi im .

Joignons Oi , puis in . Soit ic la bissectrice de l'angle ainsi formé [62]; menons la ligne Ox , passant par n et soit c l'intersection de la bissectrice ic avec Ox , de c comme centre, avec ic comme rayon, je mène l'arc de cercle ib . Ce sera la courbe cherchée.

En effet, tous les rayons, émanant de O dans le plan $lmnp$, iront converger sensiblement au point n ; tous les autres se croiseront sur la verticale du point n [48].

Nous supposons dans tout ce qui précède qu'il s'agit d'une surface réfléchissante de faible ouverture [48].

Il faudra encore ici consulter les nos 25 et 60, pour éviter les réflexions nuisibles sur le pavé ou la voûte.

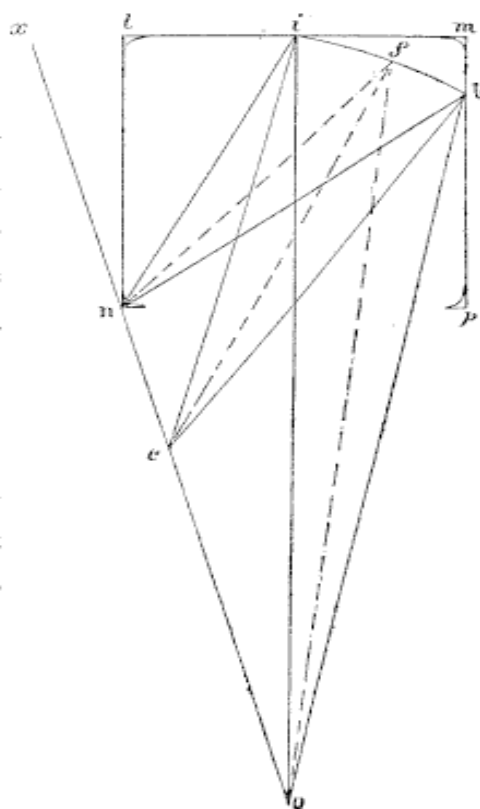
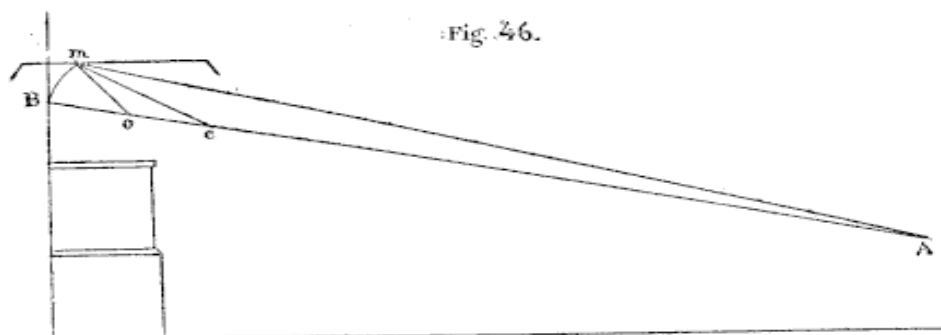


Fig. 45

65.— EMPRISONNEMENT DES RAYONS. — Veut-on empêcher ces rayons de sortir du petit local $lmnp$? On n'a qu'à ménager dans les angles n, p, b, b' , et de haut en bas, une petite surface plane ou courbe qui renvoie sensiblement tous les rayons reçus dans l'angle voisin ou dans l'angle opposé [64]; les rayons feront ainsi une

course sans fin, jusqu'à ce qu'ils tombent d'épuisement.

66. — B. *Surface sphérique.* — Ce problème s'applique encore à la courbe qu'on voudrait établir entre



l'abat-voix et le dossier de la chaire. Avec une portion de surface *cylindrique*, les rayons sonores pourront être relancés sur toute la longueur de l'auditoire ; mais si l'on veut concentrer une grande masse de sons sur un seul point, c'est la *calotte sphérique* qu'il faut employer.

RAYON DE COURBURE. — *Mais comment trouver le rayon de courbure de cette calotte sphérique, ou surface cylindrique ?*

Soit O (fig. 46) le point d'émission, m un point quelconque de la courbe supposée d'où l'on veut diriger le rayon sonore réfléchi vers A . Joignons Am , OA , Om , et dans l'angle OmA , menons la bissectrice mc , c sera le centre de courbure de la courbe Bm . Le rayon sonore Om ira sur A .

Et, comme l'arc mB a une faible ouverture, les rayons sonores qui s'y répercutent iront sensiblement sur A . (V. appendice 3.)

67. — 5^e Problème. — Allonger ou raccourcir, *ad libitum*, le parcours d'un rayon sonore ?

On peut avoir besoin d'allonger le parcours d'un rayon sonore nuisible afin de l'affaiblir, de l'annuler, avant qu'il revienne sur l'auditoire. On peut au contraire vouloir le raccourcir, afin de le précipiter sur l'assistance, avant qu'il ait eu le temps de devenir nuisible [60].

L'un et l'autre effets s'obtiennent par des surfaces inclinées ou courbes. — Supposons (fig. 24 bis, p. 85) l'émission en O ou O' : les deux rayons OR , $O'R'$ seront relancés presque horizontalement dans la direction de r et r' ; et si la paroi BD est assez éloignée ou si les surfaces successives sur lesquelles ils se réfléchissent sont planes, ces rayons ne sauraient devenir nuisibles.

Supposons au contraire le point d'émission au loin dans la direction de Rr , Rr' ; on voit que ces rayons seraient immédiatement précipités sur le sol.

Pour calculer le rayon de courbure, ou l'inclinaison voulus, il faut s'en tenir à ce que nous avons dit [62, 65, 66].

68. — APPLICATION AU DESSOUS DE TRIBUNE, ETC. — Faisons-en une application aux *dessous de tribune, plafonds ou voûtes de nef ou chapelles latérales*, sous lesquelles viennent s'engouffrer les ondes sonores. Nous en avons déjà plusieurs fois signalé le danger, il faut enfin les combattre efficacement.

Les ondes qui s'engouffrent sous une tribune sont en partie *inférieures* et en partie *supérieures*.

1° Les ondes inférieures se répercutent, ou sur la paroi et de là sur l'auditoire, ou sur le pavé qui les relance sur la paroi, puis sous le plafond de la tribune ; il faut leur appliquer ce qui a été déjà dit [30, 35, et sqq.], et ce que nous allons dire.

2° Les *ondes supérieures* (sous tribune) sont également de deux sortes : celles qui frappent d'abord la paroi avant de frapper (fig. 47) le *dessous* de la tribune

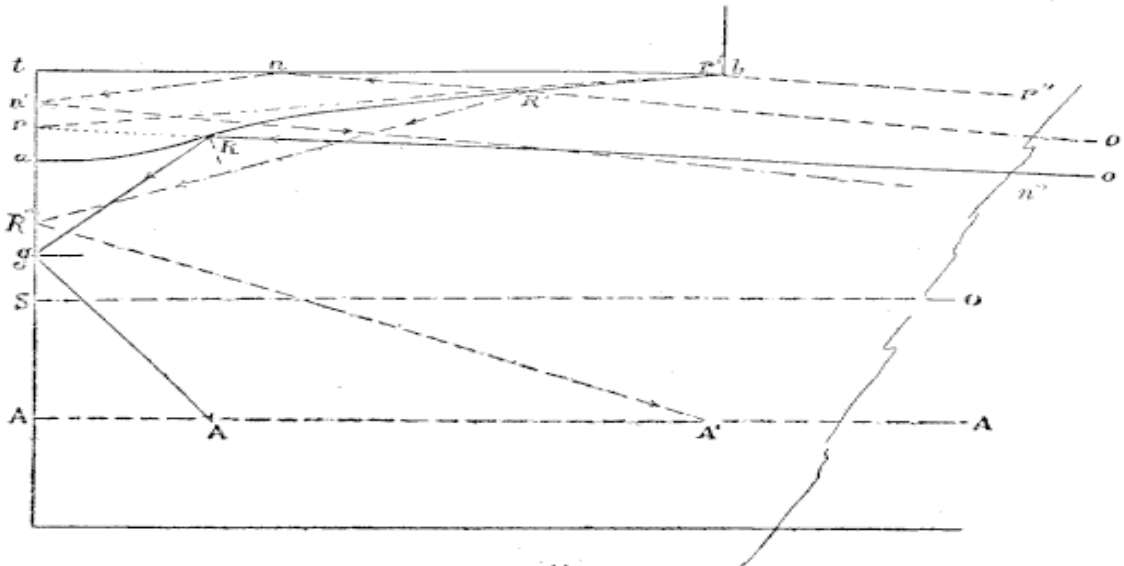


Fig. 47.

ou nef Orr' , et celles qui frappent le dessous de la tribune d'abord, avant de toucher la paroi Onn' . Les premières sont relancées par le dessous de la tribune sur l'auditoire ou passent *au-dessus* du point d'émission $Orr'r''$ (dans l'hypothèse d'un plafond de tribune plat et horizontal), les autres allant du plafond tb sur la paroi selon $Onn'n''$ reviendront sur l'auditoire en passant *au-dessous* du point d'émission. Les unes et les autres sont relancées parallèlement à leur incidence, et d'une manière fort nuisible [35].

Pour les combattre, il faut que le *plafond* sous la tribune soit *arqué et incliné*. Soit tb , une tribune à 5 mètres du sol, aRb un plafond arqué et incliné, OR, OR' , des rayons sonores venant du même point d'émission O , situé sur la ligne SO à 30 mètres environ de distance.—

Il est facile de voir que si le dessous de tribune est plat et horizontal, ces rayons deviennent nuisibles, comme nous venons de le dire. Il est tout aussi clair qu'avec le plafond *incliné* et *arqué*, selon notre figure, le rayon OR viendra en g et A , et le rayon OR' viendra en R'' et de là sur la ligne AA ; le premier aura avec la voix directe une différence de 6 mètres environ; le second 12 à 13 mètres. Ils ne seront donc plus guère nuisibles.

Quant aux rayons supérieurs qui frapperont la paroi entre S et a , ils seront tout à fait inoffensifs, comme montant vers le haut sous un angle très petit, et fournissant par conséquent un parcours *très long*, sans revenir sur l'auditoire [36, 59].

69. — RAYONS PERDUS ET IRRÉGULIERS. — Action sur les rayons perdus et ceux qui proviennent des réflexions irrégulières [21].

Nous avons dit ce qu'on entend par réflexions *irrégulières*; nous appelons *rayons perdus* ceux qui sont réfléchis par les mille accidents et détails de construction et d'ornementation de mobiliers, autels, statues... et qui ne sont atteints par aucun des moyens proposés jusqu'ici.

Essayons cependant de les atteindre; quoique notre action sur eux ne puisse être que très limitée, il est bon de ne pas la négliger.

REMÈDES. — On diminuera les réflexions *irrégulières* [21] et les sons *diffus* qui en résultent, en rendant les obstacles réfléchissants aussi lisses que possible. Si ces

(1) Il faut supposer que les O^1 , O^2 viennent d'un même point O , situé assez loin sur la ligne OS .

obstacles réfléchissants étaient d'un poli *mathématiquement* parfait et continu, il n'y aurait pas de réflexions irrégulières, mais un tel poli étant impossible à réaliser, il faut au moins s'en rapprocher autant qu'on peut.

Tout d'abord il faut proscrire le crépi au sable, toujours rugueux et présentant partout une infinité de facettes perfides à notre point de vue. La même raison oblige à bannir la pierre de taille ordinaire.

La pierre de taille *polie*, le marbre et le stuc *polis*, l'enduit au plâtre fin et aluné, les carreaux en céramique, mais bien *jointés*, méritent la préférence.



sans échelle

Fig. 48.

Le bois peint peut être accepté à condition qu'on n'aperçoive pas le *coup de pinceau* ni dans la couleur, ni dans le vernis.

Voilà pour le plus grand nombre des rayons irréguliers. Pour les autres, et surtout pour les rayons perdus, on peut recommander les *parois inclinées* [33, 60].

Ces parois inclinées, distribuées en *bandes régulières* plus ou moins larges (fig. 48), pourraient commencer à 3^m,50 du sol; elles rap-

procheront les rayons sonores de l'horizontale et ainsi en *prolongeront* le parcours. Leur saillie vue d'en bas serait inappréciable à l'œil nu, et moyennant quelques peintures on pourrait les rendre imperceptibles (1).

Il faudrait prendre garde de ne pas trop accentuer

(1) Pour les ondes inférieures irrégulières, on a déjà l'inclinaison du champ nuisible inférieur; on appliquera avantageusement ici ce que nous avons dit là [33 B].

[33] l'inclinaison de peur de faire descendre *trop vite* les rayons qu'on veut allonger, surtout ceux du champ nuisible [60] supérieur.

Remarquons encore que ces parois sont inclinés en sens *contraire* de l'inclinaison du champ nuisible inférieur; alors il fallait faire *monter* les rayons sonores, maintenant il s'agit de les *baisser*. — Ici encore l'étude sur le papier s'impose pour chaque cas particulier [60, note finale].

Nous croyons avoir montré suffisamment par la solution de ces quelques problèmes qu'en opérant graphiquement on trouvera le moyen de diriger à son gré la plupart des rayons sonores nuisibles, et d'en triompher en *modifiant* les surfaces réfléchissantes.

Il nous en échappera toujours quelques-uns, mais les résultats conquis sont immenses !

ARTICLE DEUXIÈME

Coup d'œil rétrospectif.

§ 1

70. — Lorsqu'après avoir gravi péniblement la montée à travers les rochers, les buissons et par des sentiers malaisés, le voyageur se voit sur le plateau, instinctivement il se retourne tant pour respirer que pour se rendre compte du paysage et des sites pittoresques qu'il n'avait pu qu'entrevoir pendant son ascension fatigante.

Nous venons de traverser une région bien aride, hérissée de propositions, de procédés, de problèmes et de chiffres, et dans une première course nous n'avons peut-être pas tout apprécié à sa valeur.

Une chose cependant doit nous rester : c'est la *conviction* inébranlable que nous pouvons désormais nous rendre maîtres de tous les obstacles de construction et de tous les rayons sonores qui voudraient troubler notre prédication et en diminuer le fruit.

Les conseils pratiques contenus dans la première partie sur la parole et la tenue de l'orateur, sur l'aménagement de la chaire, son emplacement, la disposition relative de ses différentes parties, sur l'abat-voix et enfin sur la nouvelle chaire à BALDAQUIN, tout cela n'avait pas d'autre but.

Dans la seconde partie, nous avons étudié davantage nos ennemis, leurs habitudes, leur nombre, *leurs marches* et *contre-marches*, leurs *perfidies* (voûtes) et nous leur avons opposé à chaque pas une stratégie plus *savante*, quoique fort simple, à laquelle ils n'ont pas pu résister. S'il en reste, ce ne sont que quelques fuyards *irréguliers* qui, dans leur isolement, ne sauraient faire grand mal.

Faut-il rappeler en particulier les deux *champs nuisibles détruits* par les *plans inclinés*, les dimensions de l'abat-voix mathématiquement déterminées, etc.?

Enfin la troisième partie nous offre le moyen de dresser certaines batteries, d'en calculer les effets, ce qui peut nous guider pour d'autres cas semblables.

Et maintenant, quel est le cœur de prêtre qui ne tressaille à la vue du but poursuivi et du résultat obtenu jusqu'ici! — La parole de Dieu rendue plus facile aux prédicateurs et plus agréable aux auditeurs !

Quel est le prêtre qui ne voudra faire une *étude approfondie* de ce petit traité pour se le rendre familier, le préconiser et l'appliquer ?

A quoi nous sert l'étude de la théologie, si la chaire est un obstacle pour faire valoir notre théologie ?

Vous avez oublié vos mathématiques, direz-vous ! Vous vous calomniez, vénérable confrère ; du reste il y a peu de mathématiques en ce traité et des choses très faciles. — Au besoin recourez à vos confrères plus jeunes qui n'ont pas encore eu le temps d'oublier leurs mathématiques ; et qui seront heureux de recevoir en retour les leçons de notre vieille expérience qu'ils n'ont pas encore eu le temps d'acquérir pour leur ministère.

C'est un vieux religieux, missionnaire, ancien curé, et tout dévoué à ses confrères du clergé séculier, qui leur offre ce traité et ces conseils.

§ 2.

Questions à examiner quand on fait le plan d'une église à construire.

71. — Nous avons la plus grande déférence pour MM. les architectes, et nous savons combien il leur est difficile parfois de satisfaire à toutes les exigences. Nous leur demandons donc humblement pardon de leur proposer un surcroît de travail. Mais, afin de ménager toutes les susceptibilités nous ne prétendons nous adresser qu'à ceux qui se sentent la bonne volonté de faire un pas en avant, et nous n'hésitons pas à déclarer que ce surcroît de travail mérite sa récompense. C'est justice, et ceux qui la leur offriront n'y perdront rien.

L'architecte (le curé) se trouve donc avoir une église à construire.

Le plan est étudié, l'ébauche en est faite, *la place de la chaire, sa hauteur, celle de l'abat-voix*, ainsi que les

dimensions de celui-ci, sont déterminées, selon que nous avons dit (1^{re} partie).

ALORS, ET AVANT D'ALLER PLUS LOIN, commence le travail le plus difficile, au sujet de l'acoustique.

Il faut *étudier, point par point, et sur le plan*, les différentes répercussions horizontales, verticales, obliques des rayons sonores, et chercher à neutraliser, autant que possible, par la construction elle-même, celles qui seraient nuisibles.

On trouvera ainsi des lignes et des surfaces à modifier légèrement, des droites à changer en courbes, ou en lignes brisées... Quand tout aura été bien étudié, et que *les difficultés auront été résolues graphiquement* ou par le calcul, on reprendra son ébauche et, sans blesser l'œil, on y introduira les changements exigés par l'acoustique.

Après cela seulement on mettra la dernière main à son *plan* ; non sans consigner tous ces détails par écrit.

71 bis.— Voici maintenant un aperçu rapide des questions à examiner, on en trouvera soi-même encore d'autres.

1° Quelle sera la hauteur de la nef, et quelle forme de nef ou de voûte sera plus favorable à l'acoustique dans le cas particulier ? [58].

2° A quelle hauteur, les nefs latérales et leurs voûtes cessent-elles d'envoyer des ondes nuisibles sur l'auditoire ? [68].

3° Déterminer l'*obliquité, l'inclinaison* ou la *courbe* à donner aux différents éléments afin de diriger à son gré les ondes qui s'y répercutent, et de les annuler au besoin (3^e partie).

4° Examiner la forme à donner aux voûtes, surtout des nefs basses. Seront-elles en segments *cylindriques*

ou légèrement sphériques ? Se rendre compte des effets de réflexions produits par les unes et les autres.

5° Examiner si la coupe horizontale de la voûte devra présenter aux arêtes des 4 valves des angles *droits*, *aigus* ou *obtus* ? [62, 63].

6° Quel parti on pourrait tirer de la taille en biseau (ou autre) des voussoirs, arcs doubleaux, nervures, etc. ? [62, 63].

7° De quel secours seraient un ou plusieurs bandeaux inclinés, courant, dans la nef principale, au-dessus des ogives des nefs latérales, et, en général, quels avantages on tirera des parois inclinées pour prolonger le parcours de certains rayons ?

8° Entre plusieurs ornements de même style, lequel préférer au point de vue de la réflexion des rayons nuisibles ?

9° Quelle sera la hauteur de la tribune, et par quels moyens neutraliser les échos nuisibles auxquels elle donne naissance ?

10° Quelle sera la forme des colonnes ? [49, 51].

12° Comment neutraliser les champs nuisibles *inférieur* et *supérieur*, sur les parois, *colonnes*, piédestaux ?

13° Quelle sera la hauteur droite jusqu'à la naissance des voûtes nécessaire et suffisante pour éviter tout rayon nuisible de ce côté ? [58].

14° Quels moyens prendre pour avoir des surfaces aussi lisses ou polies que possible ? [21].

72. — Toutes ces questions, personne n'en doute, sont très importantes et très pratiques au point de vue de l'acoustique, et le constructeur d'églises qui en aura tenu compte, fera un édifice non moins beau que les autres,

mais bien supérieur aux autres sous le rapport qui nous occupe.

Sans doute, et nous l'avons déjà dit, c'est une étude à ajouter à toutes celles exigées pour la confection d'un plan !

Mais qui donc hésiterait en présence des résultats à obtenir ? Les sermons devenus agréables à entendre ! Tant d'âmes mieux instruites et sauvées ! Tant de prédicateurs ménagés dans leurs forces physiques et secondés par les éléments dans l'action de leur zèle.

Et enfin quelle réputation et même quelle gloire pour l'architecte qui aura réussi à faire une église modèle à ce point de vue !!

Les anciens, dit-on, pensaient à ces choses et les appliquaient. Pourquoi donc n'y réfléchissons-nous pas ?

APPENDICES

APPENDICES

I

Un bon doyen venait d'achever la construction d'une magnifique église-grange de *40 mètres* environ de long, sur *18 mètres* de large, et *12* de haut. Il fit placer la chaire ornée d'un *minuscule* abat-voix *non loin du sanctuaire*, et à une hauteur démesurée afin de faire coïncider le bas de la chaire avec la ligne inférieure des fenêtres, à *4* mètres environ du sol. Aussi les prédicateurs s'époumonnent et les fidèles n'entendent pas assez ! Pour celui-là la chaire était faite pour le *plaisir des yeux* ; elle a fourni la première idée de notre opusculé.

II

Un autre prêtre, chef d'établissement et grand orateur, avait dans son église une chaire assez basse, mais surmontée à une grande hauteur d'un soupçon d'abat-voix et placée vers le milieu de l'auditoire. L'église, garnie de colonnes, pleine de coins et de recoins, était déjà par elle-même défavorable à l'acoustique ; aussi ni le grand homme ni aucun prédicateur ne parvinrent jamais à s'y faire entendre.

Un de ses collaborateurs obtint à force d'instances un abat-voix passable ; mais alors le grand orateur fit placer

la chaire près du sanctuaire, pour avoir l'auditoire en face.

Cet emplacement rendait l'amélioration de l'abat-voix complètement inutile. On se hâta d'enlever le nouvel abat-voix, de remettre l'ancien, *le petit*, et d'exhausser la chaire de 0^m,60 environ, ce qui augmentait de 0^m,60 la hauteur du champ *nuisible inférieur*. Puis on la remplaça vers le milieu de l'auditoire.

En sorte que on eut d'abord : *chaire convenable, emplacement convenable, mais mauvais abat-voix*.

Ensuite on eut : *abat-voix convenable, chaire convenable, mais emplacement mauvais* ;

Enfin *bon emplacement, mais mauvais abat-voix et chaire beaucoup trop élevée*.

Voilà comme on traite les choses, quand on n'y regarde pas de près ! Réussir en pareil cas ce serait le renversement de toutes les lois de la nature.

Ce fut là la seconde occasion qui donna naissance à cet opuscule. Notre figure 4, page 28, est la fidèle reproduction en coupe verticale de cette église et de sa chaire avec le soupçon d'abat-voix *VV*.

III

Voici qui est plus consolant (morale en paraboles) :

Un homme riche, généreux et bon chrétien, aimait à entendre la parole de Dieu ; mais il avait l'oreille un tant soit peu dure.

Il proposa au curé de lui faire cadeau d'une chaire neuve, à la condition qu'il eût son mot à dire pour la construction, et qu'ensuite le plan en fût soumis à qui de

droit. Enfin il demandait à s'arranger à sa guise une place sa vie durant vis-à-vis de la chaire.

Les conditions ayant été acceptées avec empressement, il exposa à un homme de l'art ses idées et ses désirs. Celui-ci construisit une chaire assez basse avec un large abat-voix. Moyennant une *calotte sphérique* placée à la jonction de l'abat-voix et du dossier, *il concentra* les rayons réfléchis sur la place choisie par le généreux donateur. Cette place se trouvait à *côté d'une colonne*, c'était une stalle à dossier légèrement *arrondi* et dépassant la tête de l'auditeur assis.

La chaire du reste fut bien ornementée; tout le monde était content: on entendait mieux, le curé trouvait qu'il se fatiguait moins, et le bienfaiteur désormais pouvait suivre toutes les instructions à son aise.

On dit même que les hommes qui étaient au fond de l'église ne sortaient plus au commencement du prône.

Nous ne pouvons pas livrer au public le nom de cet homme *généreux et intelligent*, mais il ne nous est pas défendu de lui souhaiter beaucoup d'imitateurs!