

Le problème de l'acoustique dans la grande salle des Assemblées du palais de la S.D.N., à Genève

Autor(en): [s.n.]

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **53 (1927)**

Heft 18

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-41080>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

et, par conséquent,

$$(12) \int_0^\psi z y ds = \frac{r^3}{2} \left\{ \frac{4}{\pi} (1 - \cos \psi) + \left(1 + \frac{h^2}{3r^2}\right) \psi \cos \psi - \left(1 - \frac{h^2}{6r^2}\right) \sin \psi \right\}$$

et

$$(13) \Delta = \frac{pr^2}{Eh} \left\{ 1 - \cos \psi + \frac{1}{5} \left[\frac{4}{\pi} (1 - \cos \psi) + \left(1 + \frac{h^2}{3r^2}\right) \psi \cos \psi - \left(1 - \frac{h^2}{6r^2}\right) \sin \psi \right] \right\}$$

Les valeurs numériques donnent, dans notre cas,

$$(14) \Delta = 0,03015 \{ 1 - \cos \psi + 3,33992 [1,27324 (1 - \cos \psi) + 1,001179 \psi \cos \psi - 0,99941 \sin \psi] \} p$$

dont l'expression se réalise par le tableau suivant

Tableau XI.

ψ degrés	$\frac{\Delta}{p}$	$\frac{\Delta}{pe}$
18	0,00678	0,00698
45	0,03121	0,03215
72	0,05286	0,05445
90	0,05772	0,05945

Ceci prouve bien que les déformations observées à l'expérience diffèrent fortement de celles qu'on calcule pour un anneau de voûte sous pression hydrostatique uniforme; l'intensité des pressions effectives décroît de l'appui à la clef. Le mode de variation de cette intensité peut être déduit des lignes d'influence de la figure 12.

Des considérations théoriques nous ont conduit, dans la première édition de l'ouvrage cité, à supposer une variation parabolique, donnant à la clef une pression de $\frac{3}{4} p_e$ pour passer à la pression p_e complète aux naissances; les expériences présentes confirment cette présomption, et montrent qu'il convient d'augmenter la courbure et l'épaisseur en allant de la clef aux naissances, afin de mieux centrer la courbe de pression.

Pour la construction de cette ligne de pression, qui définit le régime statique de l'anneau de voûte, nous renvoyons à la page 91 de la seconde édition de l'ouvrage cité.

Influences thermiques. Une variation uniforme de t_0 de la température provoque un déplacement radial Δ_1 de la section inclinée de l'angle ψ sur la corde de l'arc; ce déplacement est obtenu simplement (voir opuscule cité, 2^e édition, p. 61) en multipliant le numéro correspondant de la colonne centrale du tableau XI par

$$\frac{Eh}{r} \alpha = \frac{150\,000 \times 16}{269} 0,00001 = 0,089219$$

d'où le tableau XII ci-après.

La différence Δt entre les variations t_e et t_i des températures à l'extrados et à l'intrados ne change pas la forme de l'arc (voir opuscule cité).

Le 3 avril, on a fait de nouvelles expériences pour véri-

Tableau XII.

ψ degrés	$\frac{\Delta_1}{t_0}$ cm
18	0,00060
45	0,00278
72	0,00472
90	0,00515

fier les déformations thermiques du tableau XII¹. On a chauffé l'eau du réservoir par des résistances électriques, en surélevant la température moyenne du barrage de 19^o,6, et on a mesuré les déformations correspondantes, qui sont restées de beaucoup inférieures à celles calculées. Ici encore, comme dans le cas de la pression hydrostatique, on remarque l'effet de l'encastrement à la fondation. Ainsi on peut conclure que les déformations et par conséquent aussi les efforts intérieurs provoqués par une variation de température dans les barrages arqués, près de la fondation, sont très inférieurs à ceux donnés par la théorie de l'arc encastré indépendant.

Le problème de l'acoustique dans la Grande Salle des Assemblées du Palais de la S. D. N., à Genève.

Les architectes qui ont pris part au concours pour l'étude d'un palais pour la Société des Nations se sont trouvés en face d'un problème tout à fait nouveau, notamment en ce qui concerne la Grande Salle des Assemblées dont les proportions dépassent de beaucoup tout ce qui a été construit jusqu'ici. Il est clair qu'un architecte considère en premier lieu le côté esthétique, tant de la façade que de l'intérieur. Et pourtant, pour une salle de 2700 places, la question de l'acoustique prédomine sur celle de l'architecture, si cette salle doit répondre aux exigences d'une assemblée de la S. d. N. Car, comment les délégués arriveraient-ils à s'entendre, s'il n'entendent qu'insuffisamment ou même pas du tout!

C'est à ce problème complexe de l'acoustique de la Grande Salle du Palais de la S. d. N. que M. F. M. Osswald, ingénieur à Winterthur, consacre un article fort bien documenté dans la *Schweizerische Bauzeitung* du 30 juillet. La place dont nous disposons ne nous permet malheureusement de n'en donner ici qu'un résumé succinct.

Le programme du concours prescrivait pour la Grande Salle un nombre de places atteignant 2700, dont plus d'un tiers avec pupitres. La répartition rationnelle de ces sièges, y compris les intervalles, nécessite une surface d'environ 3000 m². Et si l'on tient compte de ce que, pour des raisons d'organisation, plus de la moitié de

¹ Voir: Atti della R. Acc. delle Scienze di Torino, 1927.

ces places (celles du président, des délégués et des secrétaires) devront être situées au rez-de-chaussée, on arrive à une surface minimum de 1600 m². Les auditeurs, c'est-à-dire les personnes non actives, telles que les diplomates, les invités, les représentants de la presse et le public, pourront être placés sur des galeries, mais celles-ci devront leur permettre de suivre les délibérations sans tension de l'œil ni de l'oreille.

Si, en partant d'une surface minimum de 1600 m², l'architecte cherche à réaliser la construction en se tenant à un style architectural conventionnel, la hauteur de la salle sera déjà fixée par la surface prescrite, et, même avec une hauteur modérée, il arrivera à un volume de la salle de 30 000 à 40 000 m³. A cet égard, les partisans d'une architecture rationnelle avaient les mains plus libres ; et pourtant il y en a qui, précisément en cherchant à obtenir de bonnes qualités acoustiques, sont arrivés à un volume bien plus grand encore. Il était à prévoir, du reste, que le problème acoustique

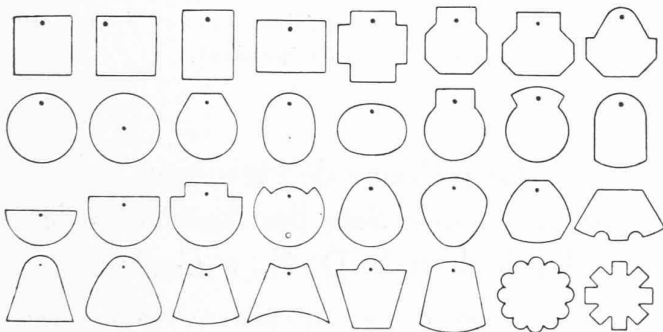


Fig. 1.

Différents types de plans proposés pour la Grande Salle.

Les points indiquent la place du Président.

ne serait pas facile à résoudre. Un grand nombre de concurrents ont été victimes de conclusions erronées, provenant de ce qu'ils ont considéré le problème comme purement géométrique. Et les autres, en bien petit nombre, qui, judicieusement, l'ont traité comme un cas de transformation d'énergie, c'est-à-dire comme un problème de physique, ne disposaient pas, pour la plupart, des connaissances spéciales indispensables, de sorte que leur solution, tout en étant bonne au point de vue qualitatif, ne l'était pas au point de vue quantitatif.

Nous ne croyons pas inutile de rappeler que les ondes sonores, de très faible énergie mécanique, qui sont émises soit par la voix humaine, soit par un instrument quelconque, sont perçues dans un espace clos jusqu'à ce qu'elles aient été suffisamment affaiblies par suite de déviations ou de réflexions sur les murs, le plafond, le plancher, dans les poches que forment les galeries, etc., c'est-à-dire jusqu'à ce qu'elles aient été absorbées. Il s'agit donc d'un phénomène d'absorption d'énergie, avec les unités physiques : longueur, masse et temps.

Les ondes sonores étant réfléchies par les murs et le plafond, l'auditeur perçoit simultanément des ondes

originales et des ondes ultérieures répercutées. Il est donc de grande importance que la réflexion ne dure pas trop longtemps, autrement dit que les ondes répercutées disparaissent au bout d'un certain temps, afin que la superposition d'ondes d'émissions différentes ne gêne pas l'audition. Il existe de nombreuses grandes salles, dans lesquelles un son bref et d'intensité modérée persiste durant 5 à 10 secondes et même davantage, en diminuant progressivement d'intensité. Un orateur qui parle à une vitesse modérée prononçant environ 4 à 5 syllabes à la seconde, ce sont donc continuellement 20 à 50 syllabes, d'intensité différente évidemment, qui résonnent simultanément dans la salle et rendent l'audition pénible et indistincte. Des essais poursuivis, dont les premiers ont été entrepris il y a une trentaine d'années par le physicien américain W. C. Sabine, ont démontré d'une manière concordante, que, pour chaque grandeur et chaque forme de salle, ainsi que pour chaque genre d'émission sonore (discours, musique, etc.), il existe des durées de réflexion optimum qui ne peuvent être modifiées qu'entre des limites très restreintes et dont dépend le « confort acoustique » de la salle. Pour des salles de délibérations parlementaires de 5000 à 15000 m³ de volume, la réverbération ne devra pas être supérieure à 2 secondes ; pour une salle de la grandeur de celle du Palais de la S. d. N., elle ne devra pas dépasser 2 1/4 secondes.

Dans la fig. 1, M. Osswald donne un aperçu des formes très variées que les différents participants au concours ont données à la Grande Salle. On reconnaît au premier coup d'œil, à côté des formes traditionnelles des salles de parlement, celles qui se basent sur des considérations acoustiques. La forme des plafonds est plus variée encore. Quant aux volumes, ils varient, pour une grande partie des projets, entre 28 000 et 50 000 m³ ; un assez grand nombre atteint 80 000 m³, et un nombre heureusement restreint 100 000 et 120 000 m³ ; il y en a même de 170 000 et de plus de 200 000 m³ ! A titre de comparaison, M. Osswald rappelle que le volume de la salle du Conseil National à Berne, mal fameée pour son acoustique déplorable, n'atteint pas 6000 m³, et que celui de la grande salle de la Tonhalle à Zurich est inférieur à 10 000 m³. La nouvelle église Saint-Antoine, à Bâle, a 20 000, la salle du Trocadéro à Paris 60 000, le Royal Albert Hall à Londres, sans les nombreuses loges et galeries, 80 000 m³. On sait que ces deux dernières salles ne conviennent pas pour des discours. En résumé, à partir de 15 000 m³, il est nécessaire de prévoir des dispositions acoustiques spéciales, et ce n'est que dans des cas exceptionnels que des salles d'un volume de 20 000 à 25 000 m³ pourront être conformées d'une façon satisfaisante. Pour des auditions musicales, l'aménagement d'une salle de 30 000 m³ sera déjà difficile à résoudre.

Les figures 2 à 7 montrent quelques projets dont les auteurs ont cherché à résoudre le problème acoustique. On en trouvera les commentaires dans les légendes

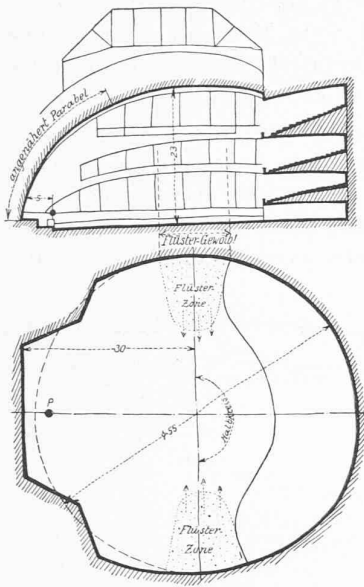


Fig. 2.

Paraboloïde affaissé, assez bien conçu en coupe longitudinale; l'axe horizontal de la parabole devrait toutefois être incliné vers le bas, ce qui améliorerait la répercussion du son et le volume de la salle. Surface du rez-de-chaussée environ $1800 \text{ m}^2 + 2000 \text{ m}^2$ sur les galeries: largement suffisante. Plan défectueux. Il y aura probablement un effet de voûte d'écoute discriminée (Flüstergewölbe). Sonorité générale insuffisante, par suite de la forte absorption de son par les nervures verticales apparemment nombreuses. Volume actif excédent $30\,000 \text{ m}^3$ + la part des galeries, au total au moins $40\,000 \text{ m}^3$.

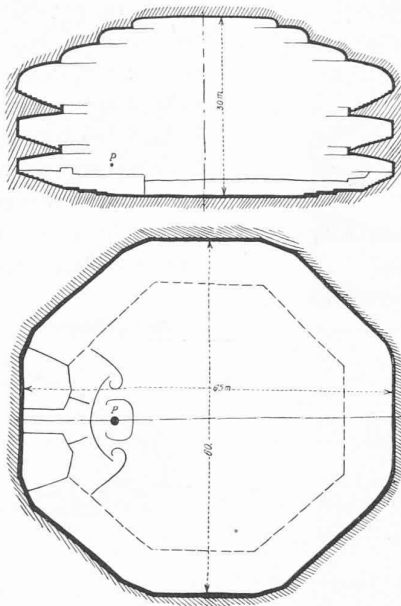


Fig. 3.

Octogone. Bonne disposition générale. Volume au moins $70\,000 \text{ m}^3 = 27 \text{ m}^3$ par tête: c'est beaucoup trop; il en est de même de la surface, qui est au minimum de 2500 m^2 au rez-de-chaussée + 2500 m^2 sur les galeries. Distances visuelles énormes. On rencontre ce type de salle dans de nombreux projets, avec les modifications les plus variées, et combiné avec les plans les plus divers. Au moins 6000 m^3 du plafond étagé sont uniquement pour l'œil. Acoustique déplorable. Le volume de la salle devrait être réduit considérablement, ce qui pourrait du reste se faire sans difficulté.

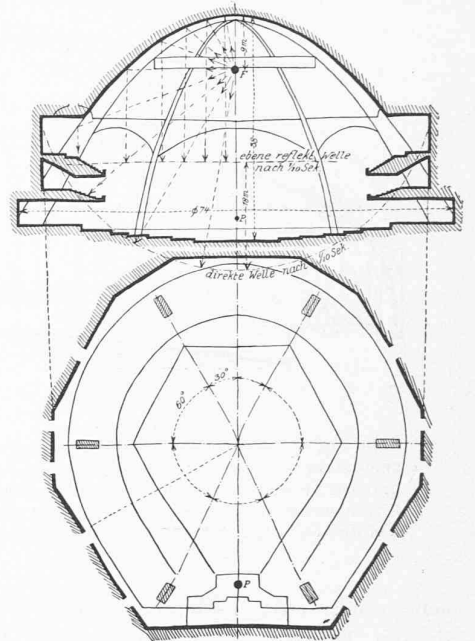


Fig. 4.

Dôme paraboloidique. Les ondes réfléchies partant du haut-parleur placé au foyer F n'étaient pas indiquées sur le plan original; elles se rapportent à notre texte (voir page 217) et montrent que la réflexion des ondes s'effectue suivant une surface plane horizontale, mais qu'elle présente, par suite du grand angle d'ouverture et de la grande distance focale, des écarts déjà inquiétants par rapport aux ondes originales. Si les proportions de la salle étaient réduites au tiers, cette forme paraboloidique serait envisageable.

accompagnant ces figures. Le projet représenté à la fig. 4 est un exemple typique d'une application erronée des propriétés des foyers acoustiques. La forme de la salle choisie serait utilisable si l'on plaçait l'orateur dans une cabine de verre, en face d'un microphone relié à un haut-parleur situé au foyer F du paraboloïde; tout l'auditoire recevrait alors, pour ainsi dire, une «douche acoustique» très bien répartie.

L'application de formes tendant à se conformer aux exigences de l'acoustique, c'est-à-dire de formes possédant de réels foyers ou zones focales, est du reste une épée à deux tranchants. Si ces formes ont des avantages indéniables au point de vue de la propagation du son de l'orateur à l'auditoire, ces avantages disparaissent immédiatement et peuvent même tourner en graves inconvénients dès que l'on écarte du foyer, soit dans le

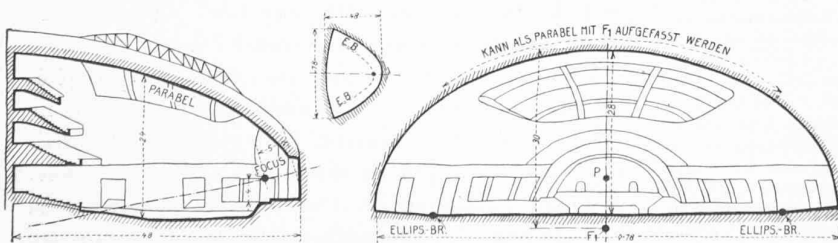


Fig. 5.

Volume supérieur à $45\,000 \text{ m}^3 = 17 \text{ m}^3$ par tête. Surface du rez-de-chaussée au moins 3000 m^2 + trois galeries, au total au moins 5000 m^2 . Les coupes transversales sont probablement toutes elliptiques: les zones de concentration au niveau de l'horizon $E B$ sont accessibles aux bruits naissant dans la salle. La partie médiane du plafond peut être considérée comme arc de cercle ou comme parabole. La réflexion de la paroi du fond est largement amortie par la galerie à trois étages. Le plafond vitré est bien disposé au point de vue de l'acoustique.

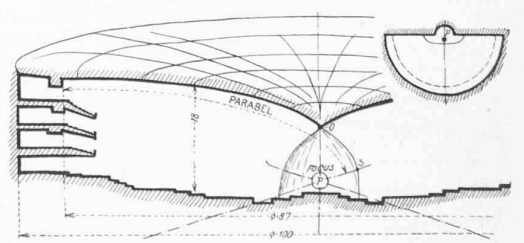


Fig. 6. — Proposition originale: révolution d'une parabole autour d'une sécante oblique passant par le foyer. La niche située derrière l'orateur est la continuation du fragment OS du paraboloïde. Tous les bruits de la salle se concentrent en P , pour être ensuite répercutés à tous les points de la salle. Malgré les dimensions horizontales gigantesques, le volume est relativement petit: environ $55\,000 \text{ m}^3 = 20 \text{ m}^3$ par tête; surface environ 3000 m^2 + trois galeries, c'est-à-dire plus que suffisante.

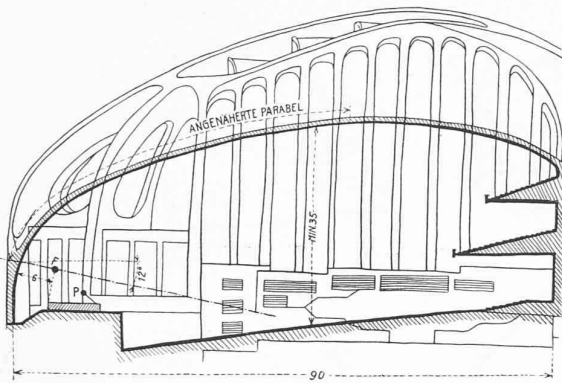


Fig. 7.

Salle énorme, apparemment bien conçue au point de vue géométrique, mais véritable « inflation » de volume. Les plans ne permettent pas de reconnaître suffisamment la conformation de la salle ; un contrôle n'est donc pas possible. Volume au moins 80 000 m³, peut-être même 100 000 m³.

sens axial, soit dans le sens latéral, le point d'émission du son. De plus il faut tenir compte du fait que toutes les surfaces courbes qui ont un foyer prononcé, agissent également, en sens inverse, comme *condenseurs de son*, ce qui a pour effet que l'orateur est constamment dérangé par tous les bruits naissant dans l'auditoire (froissement de papiers, conversations individuelles, etc.) qui se concentrent au foyer, et cela d'une façon d'autant plus intense, donc d'autant plus insupportable, que la construction du foyer acoustique de la salle avait été étudiée plus soigneusement. C'est ce qui serait le cas pour le projet représenté par la fig. 6.

Le projet le plus intéressant qui ait été présenté, qui surpasse de beaucoup tous les autres au point de vue de la conception générale du problème, est celui des architectes *Le Corbusier et Jeanneret*, dont les principales planches ont été reproduites dans le *Bulletin Tech-*

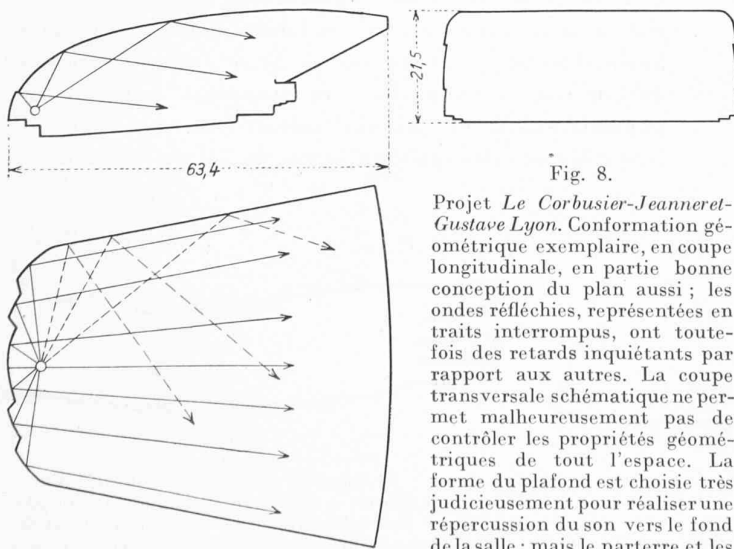


Fig. 8.

Projet *Le Corbusier-Jeanneret-Gustave Lyon*. Conformation géométrique exemplaire, en coupe longitudinale, en partie bonne conception du plan aussi ; les ondes réfléchies, représentées en traits interrompus, ont toutefois des retards inquiétants par rapport aux autres. La coupe transversale schématique ne permet malheureusement pas de contrôler les propriétés géométriques de tout l'espace. La forme du plafond est choisie très judicieusement pour réaliser une répercussion du son vers le fond de la salle ; mais le parterre et les galeries devront exercer une

action fortement amortissante, ce qui sera difficile à obtenir d'une façon suffisante, à cause des places très larges des 400 délégués. Volume environ 40 000 m³, surface environ 3000 m² ; parois latérales et plafond en verre. (Pour les détails de construction, voir « Bull. Techn. » du 30 juillet 1927. Voir aussi la fig. 9).

rique du 30 juillet dernier et dont la figure 8 représente les contours de la Grande Salle. M. Osswald s'est donné la peine d'analyser les propriétés acoustiques de cette salle d'après les plans originaux. Ainsi qu'il ressort de la fig. 9, le plafond se compose de quatre parties distinctes. La courbe A peut être considérée comme un arc de cercle ou comme une parabole ayant une distance focale de 4 m et l'axe horizontal. Les parties B et C sont approximativement des paraboles avec des distances focales

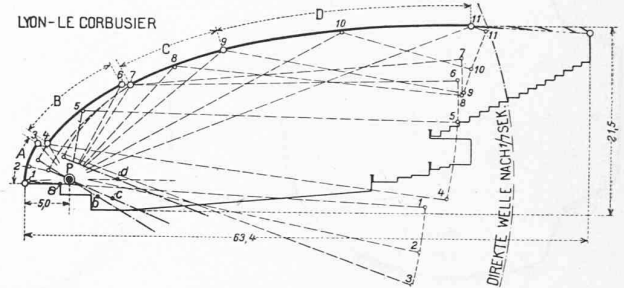


Fig. 9.

Comparaison des ondes sonores 1 à 11 réfléchies avec les ondes originales au bout de 1/7 de sec., dans le plan vertical axial de la salle, pour le projet *Le Corbusier-Jeanneret-Lyon*.

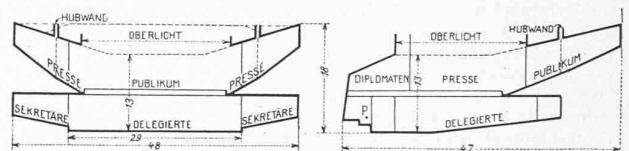


Fig. 10.

Propositions (hors concours) de M. Osswald pour une salle optimum au point de vue de l'acoustique, avec un volume minimum pour les 2700 places exigées.

de 8 m environ et des axes de différente inclinaison. Pour la partie D, la distance focale n'est que de 6 1/2 m environ. Ce qui est particulièrement intéressant, c'est l'inclinaison différente des axes qui a pour but de compenser le manque d'intensité dans le fond de la salle, puis le fait que les différents foyers ne coïncident pas avec la tribune de l'orateur.

Un autre argument qui se présente encore contre l'application de formes acoustiques dérivées exclusivement de considérations géométriques ressort du fait que la salle, une fois construite, ne peut plus être modifiée sans transformation radicale. Or, qui saurait dire si plus tard le nombre de délégués prenant part aux assemblées de la S. d. N. ne sera pas réduit, si l'intérêt du public pour les délibérations n'ira pas en diminuant ? Il serait donc prudent, remarque M. Osswald, de construire la Grande Salle des Assemblées de manière à permettre plus tard de réduire ses proportions si le besoin s'en fait sentir.

A la fin de son étude, M. Osswald montre un projet schématique de la Grande Salle, conçu par lui (dès la publication du programme, mais hors concours) uniquement en vue d'obtenir la meilleure acoustique possible tout en tenant compte des prescriptions du

programme. Nous reproduisons ce projet à la fig. 10, dont l'échelle est la même que celle des figures 2 à 8. Un premier calcul sommaire donna un volume nécessaire de 20 000 m³, ce qui était déjà inquiétant, tout en étant bien modeste par rapport au volume double, triple et quadruple de bien des projets présentés à Genève. Le rez-de-chaussée, avec ses 825 places, a une surface de 1600 m², tandis que pour les 1850 places disposées sur les galeries, la surface nécessaire est de 1270 m². Le plafond vitré de la salle est à 13 m au-dessus du plancher, ce qui correspond à la hauteur de la grande salle de la Tonhalle, à Zurich. On remarquera sur la figure des pans mobiles qui ont pour but de réduire la profondeur des galeries quand celles-ci ne sont pas occupées jusqu'au fond ; le volume de la salle est alors réduit à 17 000 m³, le nombre de places de 2675 à 1550. Nous ajouterons que c'est avec intention que l'auteur ne fait pas usage de surfaces courbes qui restreindraient les possibilités d'utilisation de la salle.

Les temps sont passés, conclue M. Osswald, où l'on construisait uniquement pour l'œil. Les délibérations auxquelles doit servir la Grande Salle du Palais de la S. d. N. sont trop importantes et de trop grande portée, pour que l'on ose sacrifier des questions vitales primordiales à des considérations purement représentatives. Les difficultés que présente le problème de l'acoustique dans cette salle ne pourront être surmontées qu'en réduisant le volume au strict nécessaire. Les avis peuvent diverger en ce qui concerne les exigences esthétiques, mais les phénomènes physiques et physiologiques du centre d'émission (l'organe vocal), de la transmission (l'espace de la salle) et du récepteur (l'oreille) sont soumis aux lois inévitables de la nature.

G. Z.

(Clichés de la « Schweizerische Bauzeitung »).

L'aménagement hydro-électrique de Villalba.

Cet aménagement, exécuté par la *Electrica de Castilla, S. A.*¹, pour desservir la ville de Madrid, est d'une puissance assez modique (15 000 ch), mais il présente quelques particularités intéressantes.

¹ Madrid, Avenida del Conde de Penalver, 25.

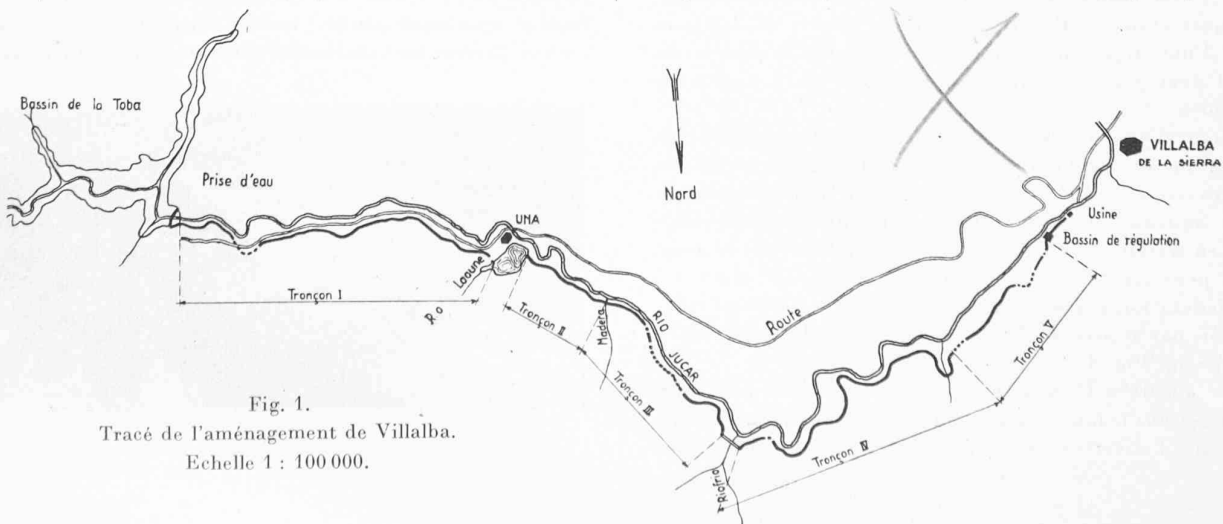


Fig. 1.
Tracé de l'aménagement de Villalba.
Echelle 1 : 100 000.

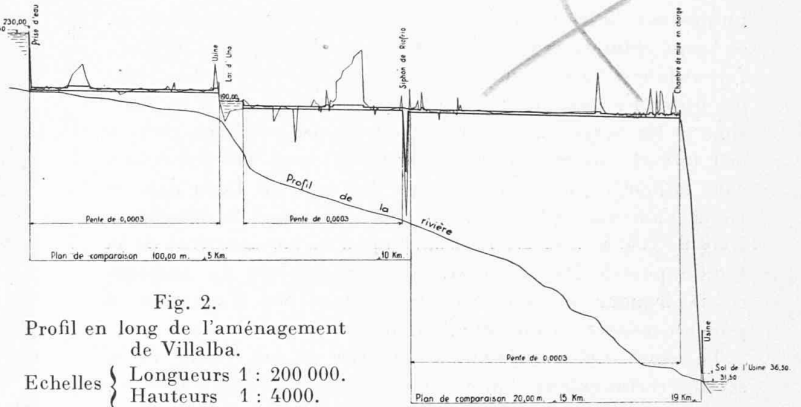


Fig. 2.
Profil en long de l'aménagement de Villalba.
Echelles } Longueurs 1 : 200 000.
 } Hauteurs 1 : 4000.

Il utilise un gradin long de 20 km. du rio Jucar, bassin versant, 500 km², à quelque 140 km. à l'est de Madrid. Un barrage sur rivière, qui sera transformé prochainement en un barrage-réservoir de 35 millions de m³, dérive l'eau du Jucar par un canal long de 5,4 km. en partie souterrain, en partie à ciel ouvert, dans la « Laguna de Una » aménagée, au moyen d'une digue en terre, en un réservoir « journalier » et « hebdomadaire », d'une capacité de 500 000 m³. Du lac d'Una part le canal d'amenée « industriel », long de 12,4 km., qui aboutit à une chambre de mise en charge d'une capacité de 15 000 m³, destinée à faire face aux pointes instantanées (notamment les pointes de traction des tramways de Madrid), et à laquelle font suite deux conduites forcées. L'usine, située au débouché d'un défilé, voir (fig. 6) est moins exposée aux inondations.

La seule industrie de cette région étant l'exploitation forestière et le flottage sur le rio Jucar constituant à peu près l'unique moyen de transport des bois, ces circonstances ont imposé à l'entreprise une lourde sujétion qui s'est traduite par la nécessité de certains ouvrages coûteux, notamment le siphon-aqueduc de Ríofrio sur lequel nous reviendrons, au cours des quelques notes suivantes. Le flottage des bois s'effectue sur les canaux d'amenée jusqu'à la chambre de mise en charge d'où ils regagnent la rivière par un plan incliné.

Le barrage sur rivière n'étant que provisoire puisque, nous l'avons dit, il sera remplacé prochainement par un barrage-réservoir, le constructeur a pris les dispositions nécessaires pour qu'il puisse être utilisé comme barrage de dérivation amont pour la mise à sec de la fouille du barrage d'accumulation.

Mais, le barrage en rivière n'étant distant que de 50 m. du barrage-réservoir, il fallut, pour parer au danger d'infiltrations trop abondantes, le fonder sur la roche compacte, à 18 m.