

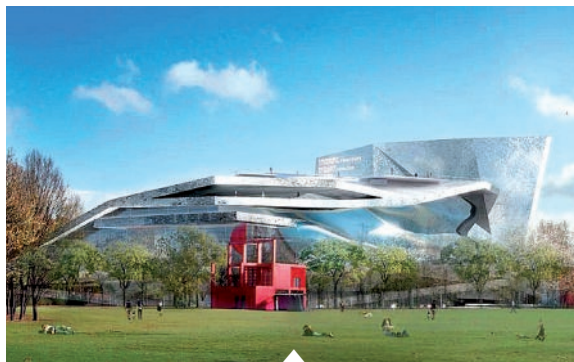
Philharmonie de Paris, le défi du son parfait

Cette salle de concerts ambitionne de devenir le temple international de la musique : balcons suspendus, nuages de réflecteurs... Visite d'un bâtiment hors normes, qui ouvrira en janvier.

Par Franck Daninos @fdaninos

AU NORD-EST DE LA CAPITALE, près de la Porte de Pantin, ouvriers et chefs d'équipe forcent la cadence pour achever dans les temps la Philharmonie de Paris. Huit ans après le lancement officiel du projet, un mélange d'excitation et de stress est palpable sur tout le chantier. Car le bruit assourdissant des foreuses, des marteaux et des scies doit faire place, en janvier, aux mélodies des plus grandes formations musicales françaises et internationales.

Il aura fallu 60 000 tonnes de béton, 9500 tonnes de charpente et d'armatures en acier, 1000 ouvriers (au pic d'activité) ainsi que 386 millions d'euros pour ériger ce nouveau temple de la musique dessiné par l'architecte star Jean Nouvel. Le complexe s'étendra sur 11 niveaux et 70 000 mètres carrés. La forme flottante et sinueuse de la façade évoquera celle d'une onde sonore. Elle habillera une salle de concerts d'un genre nouveau, pouvant accueillir entre 2400 et 3650 spectateurs. « *Nous disposerons enfin, en France, d'une salle symphonique de rang international, se réjouit Laurent Bayle, président de la Philharmonie de Paris. Mais la nouveauté résidera surtout dans sa polyvalence, et donc sa modularité.* » Les ensembles symphoniques ne représenteront en effet que 60 %



La façade dessinée par Jean Nouvel, dans le parc de la Villette.

Comme tout espace clos, une salle de concerts confine les ondes sonores et les distribue de façon singulière, de par son volume, sa géométrie et ses matériaux, jusqu'à ses moindres reliefs. Elle peut donc être considérée comme un instrument en soi, qu'il est possible de « régler ». Les acousticiens jouent, pour cela, sur la propagation des ondes qui se déplacent à la vitesse de 340 mètres par seconde dans l'air ambiant, perdant 6 décibels à chaque doublement de distance. Lorsqu'elles rencontrent une paroi plane et non absorbante, elles conservent la majeure partie de leur énergie et sont réfléchies, comme une balle de squash qui rebondit contre un mur. On parle de réflexions « spéculaires ». Si ces réflexions parviennent à l'oreille des auditeurs avec un retard inférieur à 40 millisecondes par rapport au son direct des instruments de l'orchestre, ils l'associent aussitôt à ceux-ci, ce qui renforce la puissance et la clarté du son perçu. Ce que les acousticiens nomment la présence de la source.

Des études ont montré que notre système auditif préférerait recevoir une part importante des réflexions sonores de façon latérale plutôt que dans l'axe du son direct, chacune de nos deux oreilles recevant alors un message différent que le cerveau interprète comme

32 m

L'éloignement maximal du public de la scène.

2,3 secondes

Le temps de réverbération du son.

30 500 m³

Le volume acoustique.

386 millions d'euros

Le coût global du projet.

de la programmation. Le reste sera dévolu au jazz, aux musiques du monde et aux musiques amplifiées, du rap à l'électro-pop. « *Notre objectif est d'attirer des publics plus jeunes et moins élitaires vers le classique, et de créer des passerelles entre différents modes d'appropriation de la musique* », souligne Laurent Bayle. C'est pour cette raison que la Philharmonie de Paris abritera aussi des salles de conférence et d'exposition ainsi que des ateliers pédagogiques, une médiathèque, deux restaurants et huit bars. Ce bâtiment a posé un double défi aux architectes et aux acousticiens. Comment offrir des conditions visuelles et d'écoute optimales dans une salle symphonique d'une telle capacité ? Et comment réunir, dans un même lieu, des genres musicaux aux exigences si variées ?

ATELIER JEANNOUVEL



La nouvelle salle parisienne a été conçue pour accueillir 2400 à 3650 spectateurs dans des conditions optimales d'écoute et de visibilité (image virtuelle).

une impression d'enveloppement sonore. Mais cette présence de la salle, comme on l'appelle, doit également être nourrie par les réflexions tardives (au-delà de 40 millisecondes) qui, en atteignant les auditeurs après de multiples rebonds, prolongent le son direct, selon un certain temps de réverbération (lire l'encadré p. 80). Or la persistance des sons n'est plaisante que si elle décroît de manière douce et homogène. Pour obtenir cet effet, un autre type de réflexions est mis à profit. Elles se produisent quand les ondes sonores rencontrent un relief d'une taille équivalente à leur longueur d'onde. Leur énergie est alors éclatée dans toutes les directions. Ces réflexions « diffuses » favorisent l'atténuation et le mixage des sons et, ce faisant, leur décroissance progres-

sive. « C'est le mélange produit par ces différents types de réflexions qui va donner à la salle son identité », explique Geoffroy Vauthier, responsable technique et acoustique de la Philharmonie de Paris. Car la richesse acoustique d'une salle est comme la lumière du couchant : elle se charge de tout ce qu'elle rencontre. »

Un mixte entre deux types de salles existants

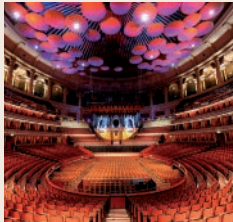
La géométrie de la salle joue donc un rôle primordial. Pour optimiser celle de la Philharmonie de Paris, son architecte a tiré parti des deux grandes formes existantes (lire l'encadré p. 80). Celle en « boîte à chaussures », tout d'abord. De forme parallépipédique et possédant des balcons, elle est très bien adaptée aux orchestres symphoniques, mais

pas aux grandes dimensions. Dans l'autre modèle, en « vignoble », le public entoure l'orchestre sur des terrasses situées à des niveaux différents.

De forme ovoïde, la Philharmonie de Paris reprend certaines caractéristiques des salles en vignoble, mais elle possédera de grands balcons suspendus et projetés vers la scène, qui permettront de diminuer l'éloignement maximal à 32 mètres. Un record pour une salle symphonique de 2400 sièges. Mais, comme dans une « boîte à chaussures », les nez de balcon et les surfaces situées en dessous produiront des réflexions précoces et latérales magnifiant la « présence » de la salle. La clarté des sons sera accentuée par des « nuages » de réflecteurs sous le plafond. Et une plate-forme située au-dessus de la scène — appelée ▶

LES DIFFÉRENTS TYPES DE SALLES

À la recherche de l'architecture optimale



C. CHRISTODOULOU/RAH

EN ARÈNE Inspirées des amphithéâtres antiques, les salles en arène, à l'exemple du Royal Albert Hall de Londres, portent très bien les voix, mais pas la musique symphonique. Pour homogénéiser les sons et empêcher leur focalisation, il faut installer des surfaces réfléchissantes au plafond et « casser » la forme concave des parois.



PITAMITZ/SIPA

À L'ITALIENNE Idéales pour le théâtre et l'opéra, les salles à l'italienne, tel l'opéra Garnier à Paris, produisent un son trop « sec » pour les grands orchestres. Il se projette mal, car le temps de réverbération est trop court. La visibilité de la scène est néanmoins excellente, sauf au niveau des loges.



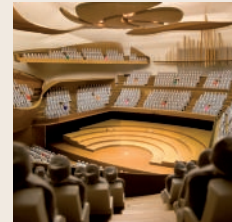
H. FUNZ/EPAINAX/PPP

EN BOÎTE À CHAUSSURES Ces salles, comme le Musikverein de Vienne (Autriche), sont parfaitement adaptées à la musique classique. Grâce aux réflexions créées par les balcons latéraux, le son est clair, fort et enveloppant. Mais l'acoustique se dégrade si l'on veut augmenter leur largeur ou leur longueur pour accueillir plus de 2000 personnes.



STIFTUNG BERLINER PHILHARMONIKER

EN VIGNOBLE La disposition du public autour de la scène permet d'admettre de nombreux auditeurs, comme à la Philharmonie de Berlin. Le son direct est renforcé par les fronts de terrasses et la géométrie du plafond, même s'il n'est pas toujours bien réparti. Mais la réverbération et la proximité avec le public sont très appréciées.



NICOLAS BOREL

DE FORME OVOÏDE Ce type d'auditorium choisi à la Philharmonie de Paris produira un fort sentiment d'intimité visuelle et d'enveloppement sonore grâce aux balcons suspendus et projetés vers le centre de la salle. Une transformation physique et acoustique de la salle permettra aussi d'accueillir une grande variété de formations musicales.

► « canopée » — assurera, en partie, le retour du son aux musiciens. Autre innovation : les balcons seront décollés des parois, ce qui dégagera derrière le public un volume supplémentaire où le son circulera librement, favorisant les réflexions tardives et une réverbération ample (2,3 secondes). Celle-ci s'ajoutera à la proximité de l'orchestre pour créer un sentiment d'intimité et d'immersion sonore sans précédent. Mais comment adapter cette configuration symphonique à d'autres répertoires comme le jazz et les musiques amplifiées,

qui nécessitent, entre autres, un temps de réverbération moins long (d'une seconde environ) ? Lorsque celui-ci est trop important, il masque en effet le son direct et l'intelligibilité du discours musical, noyés dans une sorte de brouhaha. Pour résoudre le problème, les concepteurs ont imaginé une transformation physique et acoustique de la salle. Le niveau bas (parterre et scène symphonique) sera ainsi totalement modulable grâce à des mécanismes motorisés. Des gradins télescopiques pourront aussi s'effacer pour dégager une scène

frontale. Une partie du public se tiendra alors debout, portant la capacité à 3650 spectateurs. Enfin, des rideaux amovibles et absorbants permettront d'abaisser le temps de réverbération.

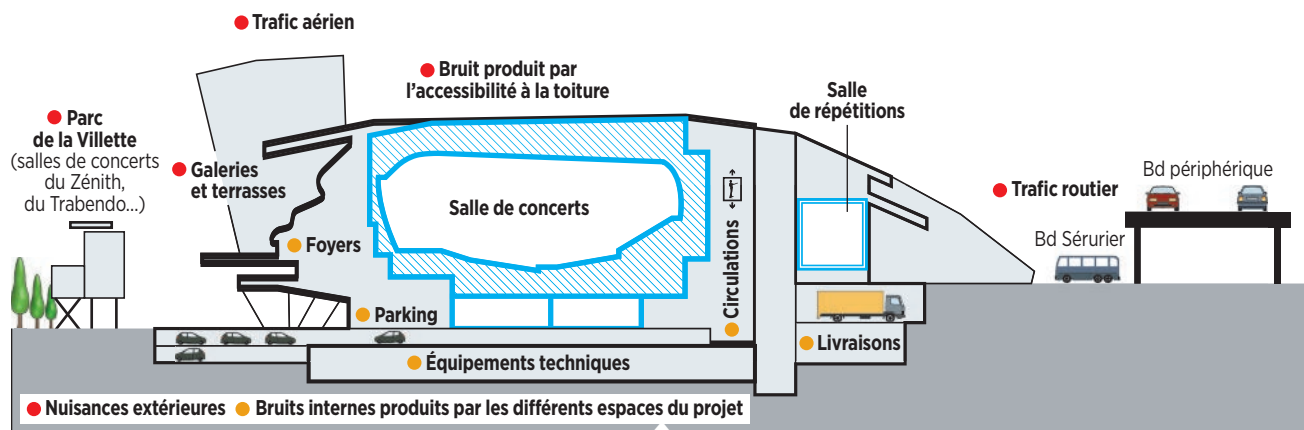
Parvenir à supprimer les bruits environnants

Un autre défi acoustique et architectural, et non des moindres, a consisté à isoler l'auditorium principal des salles de répétitions et des bruits environnants, en particulier de la méga-salle de concerts du Zénith (à environ 200 mètres) et du boulevard périphérique voisin. Le concept retenu a été celui de la « boîte dans la boîte », désolidarisée de la structure du bâtiment au moyen de plots anti-vibratiles et d'une double peau. Entre les parois de celle-ci, de 6 à 15 centimètres de vide d'air jouent un rôle de ressort. La « qualité du silence » devra en outre être irréprochable. L'air provenant des 34 centrales de ventilation sera donc pulsé très lentement, dans des gaines équi-

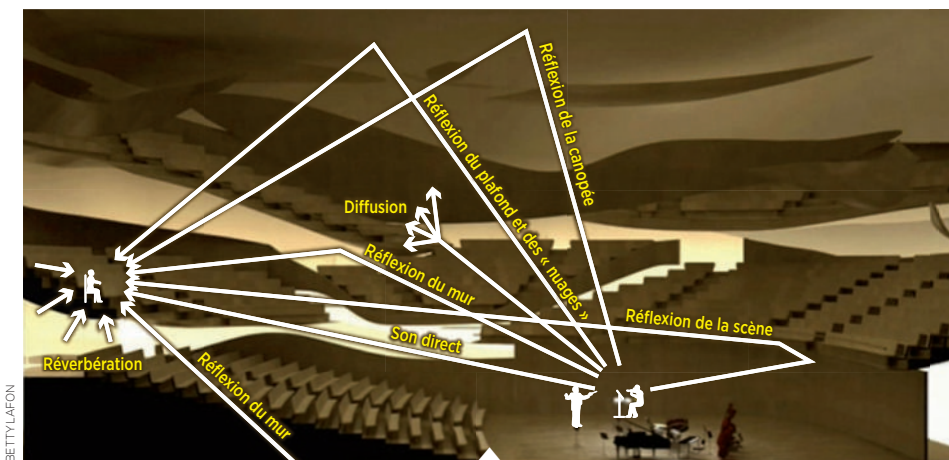
RÉVERBÉRATION

La formule de Sabine

Au début du xx^e siècle, le physicien américain Wallace Sabine a mis en équations les propriétés architecturales d'une salle de concerts, en particulier son « temps de réverbération » : la durée nécessaire pour que l'intensité d'un son atteigne un millième de sa valeur initiale, soit une décroissance de 60 décibels. Une durée d'autant plus longue que le volume est important, et inversement proportionnelle à l'aire de la salle multipliée par un coefficient global d'absorption, calculé à partir de celui de chacun des matériaux offrant une surface de contact aux ondes sonores (parois, réflecteurs, rideaux, spectateurs, etc.). Le temps de réverbération d'un studio d'enregistrement est de 0,3 seconde, de 1,5 s à l'Opéra Bastille, d'environ 10 s dans une cathédrale, et de 2,3 s à la Philharmonie de Paris.



L'isolation de la salle de son environnement très bruyant, en vue d'obtenir un silence parfait, est rendue possible grâce au principe de la « boîte dans la boîte » : la salle est désolidarisée du reste du bâtiment et est enveloppée dans une double peau (en bleu).



La propagation du son a été modélisée puis testée au moyen d'une maquette — reproduisant les propriétés réfléchissantes de la salle —, afin de déterminer comment celui-ci allait être perçu par chaque spectateur.

pées de structures anti-vibratiles. Si l'ensemble du dispositif fonctionne bien, le bruit de fond dans la salle ne dépassera pas 15 décibels. Pas plus qu'un bruissement de feuille.

Avant de donner le premier coup de pioche, l'ensemble de l'acoustique architecturale a été testé et validé. Pour cela, la distribution et les angles d'incidence des rayons sonores ont été simulés numériquement. C'est de cette façon que les paramètres acoustiques (temps de réverbération, clarté et force sonores) ont été calibrés, et que la surface des nuages de réflecteurs a été calculée. Mais la complexité et le nombre de réflexions étant trop importants pour que tous les

effets sonores soit pris en compte par les logiciels, les ingénieurs ont recouru à une modélisation physique. Une maquette au 1/10^e a reproduit les propriétés réfléchissantes des moindres contours de la salle, jusqu'aux sièges et aux futurs spectateurs représentés par des poupées de feutrine. Plusieurs dizaines d'entre elles étaient munies de capteurs afin de déterminer comment les sons émis dans la maquette seraient perçus à divers endroits. Tout comme les dimensions de la salle, les longueurs d'onde de ces sons devaient, elles aussi, être réduites au dixième.

Elles correspondaient alors aux ultrasons, qui sont davantage

absorbés (et donc atténués) que les ondes sonores classiques dans l'air ambiant. Pour que le modèle physique reproduise la bonne absorption à une échelle réduite, la composition chimique de l'air à l'intérieur de la maquette a donc été saturée à 98 % d'azote. « Les tests réalisés nous ont permis d'identifier des échos auxquels les ordinateurs étaient restés sourds », précise Geoffroy Vauthier. Ces échos résultaient d'une réflexion spéculaire nette et tardive — au-delà de 100 millisecondes — et isolée spatialement. Les spectateurs auraient ainsi entendu deux fois le même son en décalé, avec l'impression qu'il provenait de deux endroits différents ! Des surfaces diffusantes ont donc été ajoutées, et les angles de certains réflecteurs modifiés, pour éliminer l'ensemble des échos.

Est-ce à dire, au vu de l'excellence acoustique visée et des innovations choisies, que la Philharmonie de Paris sera la « salle idéale » ? « La salle parfaite n'existe pas, tout comme il n'y a pas de voix idéale, rétorque Olivier Warusfel, de l'Ircam. Trop de facteurs subjectifs entrent en compte. Seuls le public et les musiciens diront si elle est à la hauteur de ses ambitions. » Rendez-vous est donc pris le 14 janvier, à 20 h 30, pour le gala inaugural donné par l'Orchestre de Paris. ■