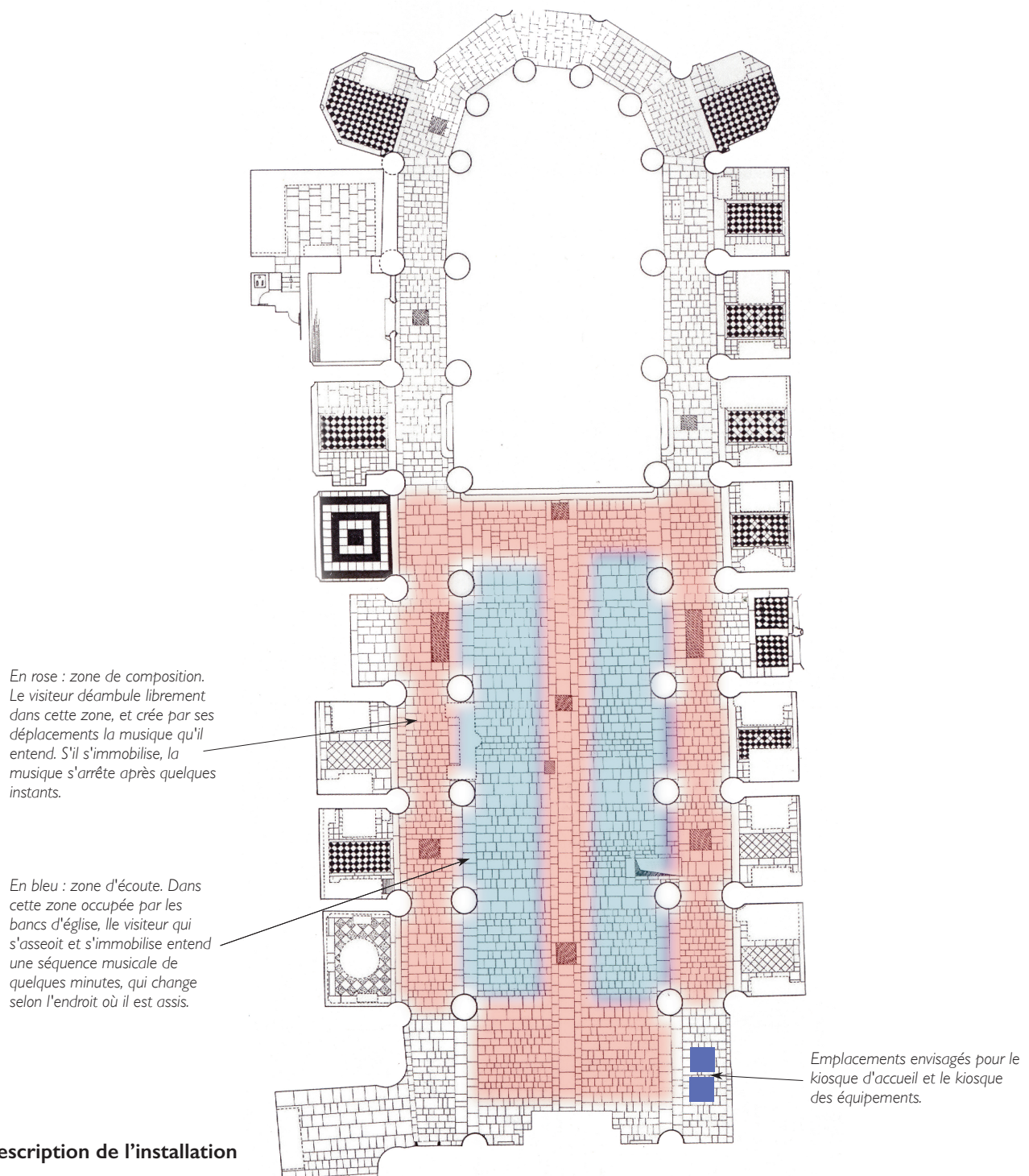


The background of the entire page is a light blue architectural floor plan of a cathedral. The plan shows a complex layout with a central nave, side aisles, and a large apse at the top. Numerous technical annotations are overlaid on the plan, including circles, lines, and dashed lines, indicating specific installation points or performance metrics. The text 'MENDE CATHÉDRALE' is superimposed over the upper left portion of the plan.

# MENDE CATHÉDRALE

installation | performance



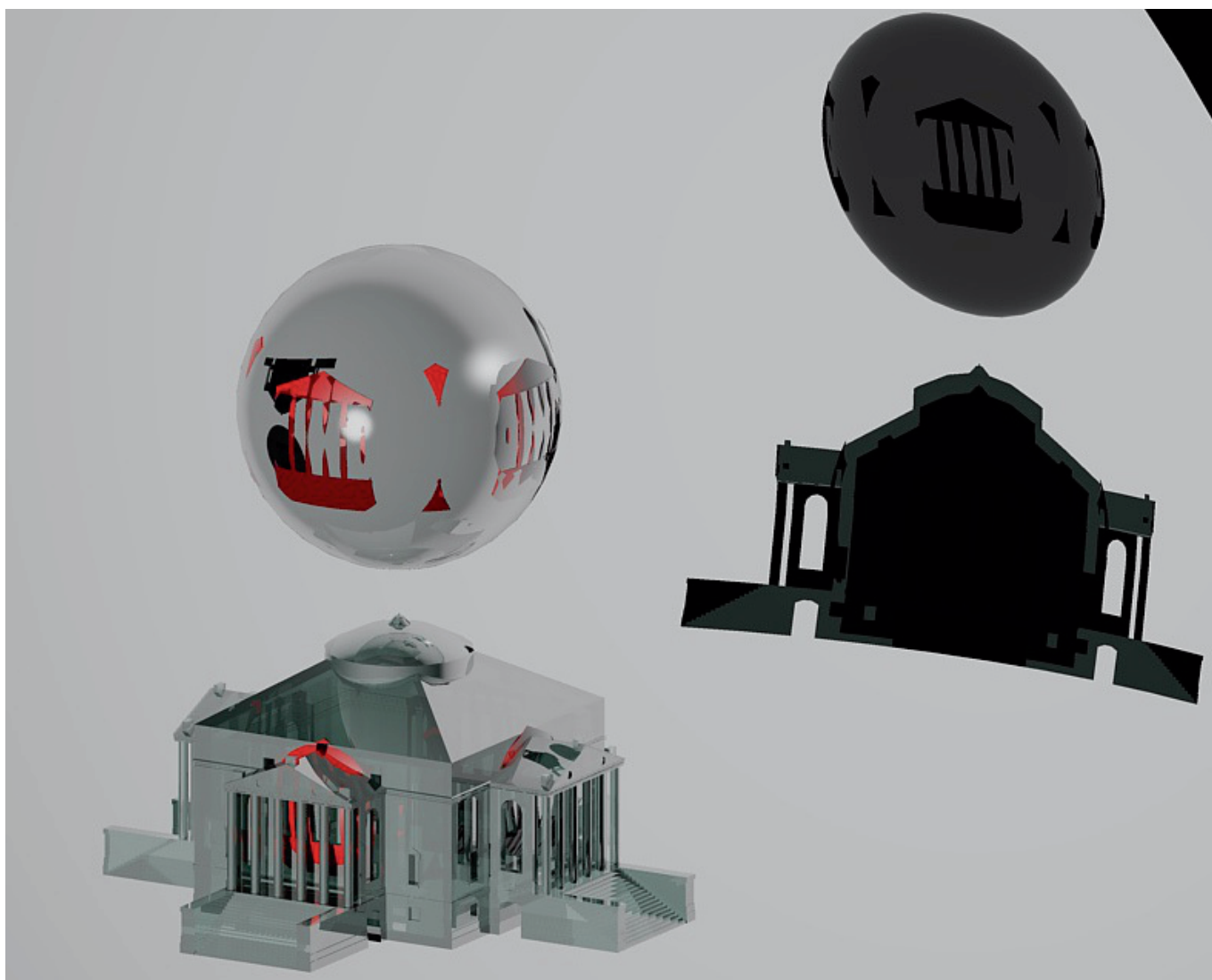
À l'intérieur de la cathédrale, l'espace de l'installation s'étend sur six travées de la nef et sur les bas-côtés. Rien n'indique ses limites, sinon de petites diodes lumineuses ponctuelles, autonomes et très discrètes. Le visiteur est convié à choisir un casque d'écoute sans fil et à s'aventurer dans cet espace. Dès qu'il y pénètre, il entend une musique faite de sons aux timbres très denses. S'il reste immobile, les sons, dont l'enveloppe évoque celui d'une cloche très riche en harmoniques, se prolongeront une trentaine de secondes avant de s'éteindre. S'il bouge et s'immobilise un peu plus loin, de nouveaux sons du même genre se feront entendre. Le même phénomène se produit s'il se baisse, ou s'il se met sur la pointe des pieds. Après quelques instants, il réalise qu'à chacune de ses positions dans l'espace correspond un son différent. Lorsqu'il se déplace à l'intérieur de l'espace, les harmoniques des différents sons se confondent entre elles pour produire une forme de mélodie continue. Chaque séquence de déplacements produira une composition différente, et chaque visiteur produira sa propre composition.

S'il s'aventure dans la zone occupée par les bancs, il n'entendra plus rien, à moins qu'il ne décide de s'asseoir. Une fois assis et immobile, il entendra une séquence musicale d'environ trois minutes, correspondant encore une fois à la transposition de l'architecture de la cathédrale considérée depuis l'endroit précis où il se trouve. S'il désire entendre une nouvelle séquence, il devra se déplacer et s'asseoir à un autre endroit.

## II - Générer la musique

La musique entendue par le visiteur correspond à la transposition directe de l'architecture de la cathédrale, élaborée à partir de sa position précise dans la nef. L'idée de faire correspondre une musique à une architecture, qui peut sembler a priori étrange, date de plus de vingt-cinq siècles. Les liens entre les deux domaines datent de l'Antiquité grecque, où musique et architecture étaient vues à la fois comme des échos du cosmos, et comme des passages vers des mondes divins et surnaturels. Jusqu'à la fin de la Renaissance, l'harmonie musicale et l'harmonie architecturale se voulaient analogues, et l'on retrouve plusieurs œuvres et traités dans lesquels elles font appel aux mêmes échelles de proportion. La transposition mise en œuvre dans la présente installation est le résultat d'une recherche qui propose une relecture des liens architecture-musique à la lumière de ce que nous connaissons aujourd'hui du cosmos et de la musique, et plus précisément des modèles que la science contemporaine en propose. Elle se déroule en trois phases : la décomposition de l'édifice en une série de sphères, centrée sur la position du visiteur, et l'extraction de ces sphères ; leur description au moyen d'ondes sphériques ; la conversion de ces ondes sphériques en ondes sonores. La décomposition se base sur un modèle virtuel préalablement élaboré.

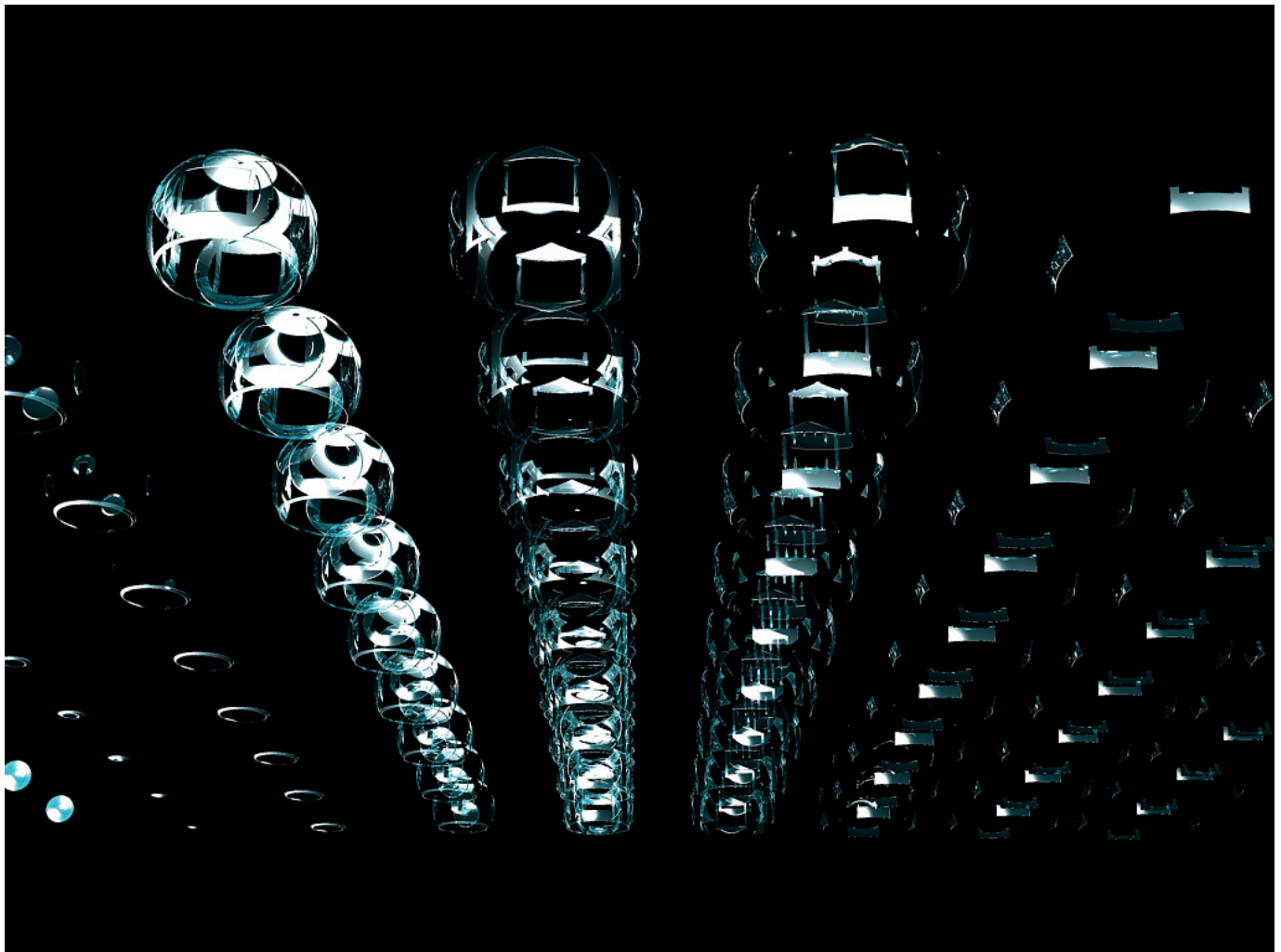
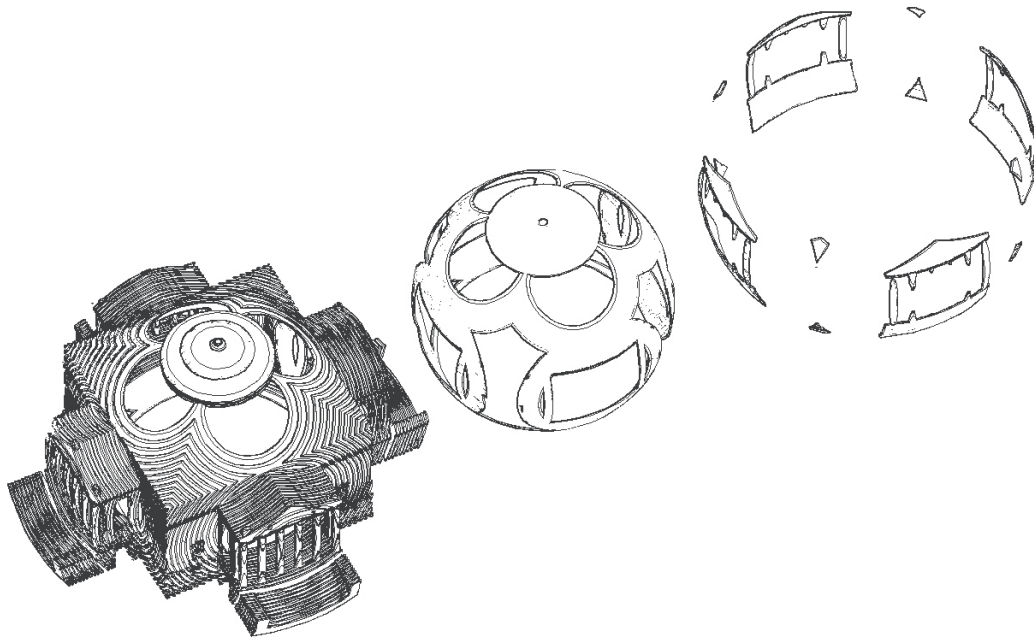
Les paragraphes suivants détaillent et illustrent ces différentes phases en prenant pour exemple un édifice emblématique de la Renaissance, soit la Villa Rotonda, de l'architecte Andrea Palladio.



### **Phase 1 - Décomposer en sphères la géométrie de l'édifice.**

Depuis la position du visiteur, on peut tracer dans l'espace une sphère imaginaire, de n'importe quel rayon, puis l'extraire de l'édifice. Sur l'illustration ci-dessus, on imagine un visiteur qui se trouve exactement au centre de la Villa. Une sphère imaginaire d'une quinzaine de mètres de rayon est tracée dans l'espace, puis extraite du corps du bâtiment, comme une bulle qui s'élève. Sur ses flancs apparaissent des motifs : ce sont les régions où la sphère rencontre le volume de l'édifice.

Si le rayon de la sphère change, les motifs vont évidemment se transformer. Le dessin ci-dessous montre la Villa Rotonda, décomposée en une série de sphères ; deux sont extraites du modèle pour révéler les motifs à leur surface. Le dessin du bas montre une décomposition en 81 sphères, mises côte à côte pour permettre de distinguer la variation des motifs selon le rayon. Ce sont ces sphères qui produisent la musique : chacune d'entre elles sera ensuite analysée et transposée au moyen d'un outil mathématique appelé "harmonique sphérique".



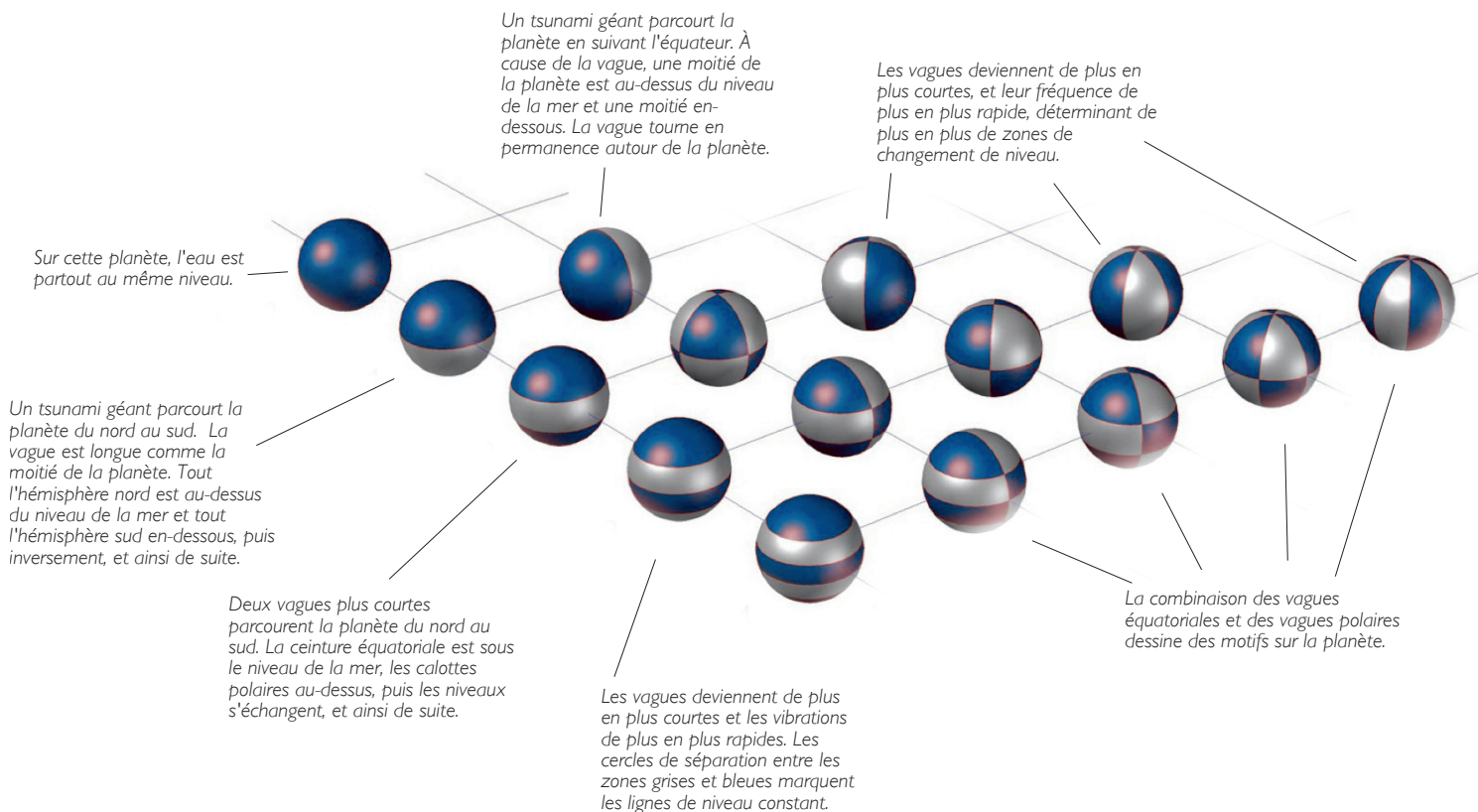
## Phase 2 - Extraire de chaque sphère les harmoniques sphériques qui la constituent.

La transposition se base sur le fait que tout motif sur une sphère peut être décomposé en un ensemble d'ondes par un processus intuitivement assez simple, qu'une analogie géographique aidera à comprendre.

Imaginons que chaque sphère soit une planète, un peu comme la Terre, mais entièrement recouverte d'eau. Sur cette planète, on lance deux familles de tsunamis qui ne s'arrêtent jamais. Les premiers parcourent la planète d'est en ouest, dans le sens de l'équateur. Les seconds la parcourent d'un pôle à l'autre, dans la direction des méridiens. Ces deux familles de vagues géantes se croisent toujours à angle droit.

On peut choisir la hauteur totale des tsunamis, la longueur de leurs vagues, ainsi que leur hauteur au moment où ils s'élancent - au creux de la vague, à son sommet, ou entre les deux - aussi appelée "phase initiale". La seule contrainte, c'est que la longueur des vagues doit correspondre à un sous-multiple de la circonférence de la planète : la plus longue, comme il se doit, est aussi longue que l'équateur. La seconde est moitié plus courte que la première, la troisième trois fois plus courte, et ainsi de suite. On lance progressivement des vagues de plus en plus courtes.

Dans le dessin ci-dessus, les régions bleues représentent les endroits où la vague est haute, les régions grises les régions où elle est basse. Ces niveaux oscillent et alternent constamment, comme il se doit pour une vague. La séparation entre les deux zones reste au niveau zéro - au niveau de la mer. On constate que le croisement des deux types de vagues crée à la surface de la planète des motifs géométriques en damier, d'autant plus denses que les vagues deviennent plus courtes.

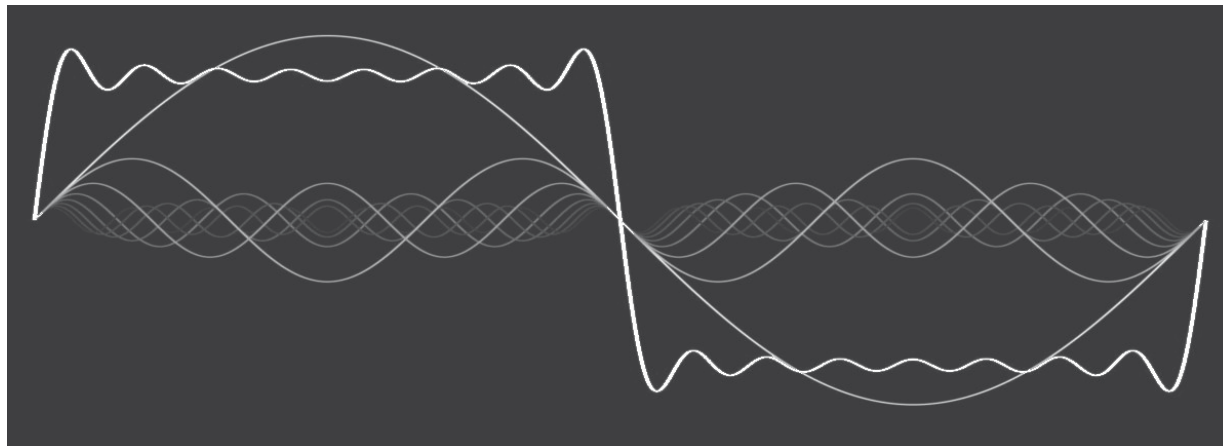


Le point central du processus de transposition, c'est qu'en choisissant adéquatement les vagues, on peut dessiner sur la planète n'importe quel motif, géométrique ou pas, régulier ou pas. Tout motif sur une sphère, comme les motifs d'intersection issus de la décomposition sphérique de la cathédrale, peut être représenté par une triple liste de nombres, qui énumère la longueur, la hauteur et la phase de toutes les vagues requises pour le reproduire. Cette liste devient littéralement la signature du motif.

En mathématiques, de telles vagues sur une surface sphérique sont appelées "harmoniques sphériques", et la liste des harmoniques sphériques est appelée "spectre" du motif. Les vagues peuvent être aussi courtes qu'on le désire, mais on démontre, et c'est là un point important, que la plus petite vague utilisée détermine la dimension du plus petit détail qui sera pris en compte : c'est elle qui détermine la résolution de la méthode.

### Phase 3 – La création de la musique.

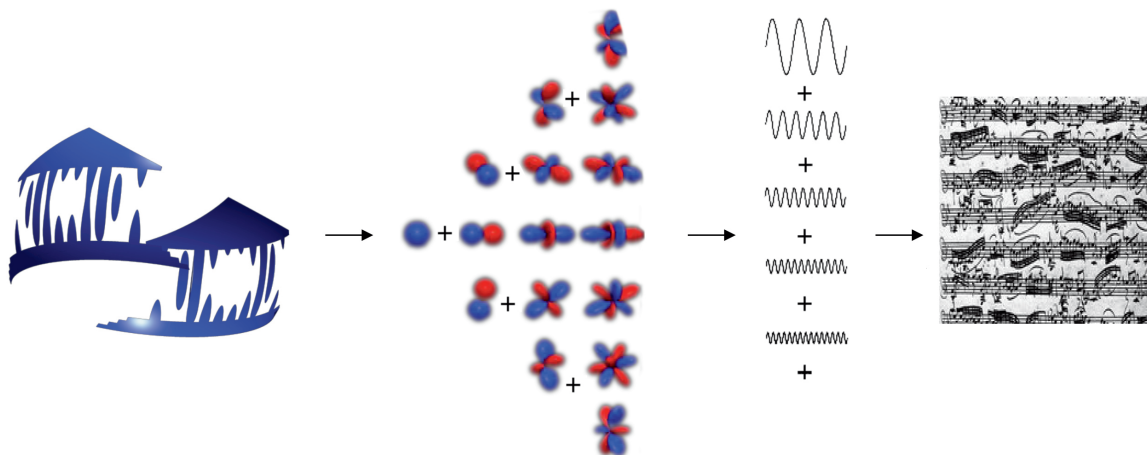
Le terme "harmonique" évoque immédiatement la musique. Ce n'est pas un hasard : de la même façon que l'on peut reconstruire un motif complexe sur une sphère par addition d'harmoniques sphériques simples, on peut reproduire n'importe quel son ou timbre complexe à l'aide d'ondes sonores simples qui en constituent les harmoniques sonores. Ce principe, élaboré au XVIII<sup>e</sup> siècle par le mathématicien Joseph Fourier, est bien connu des musiciens contemporains, et est utilisé sous le nom de "synthèse additive" pour créer des sons complexes.



**Synthèse additive.** L'onde sonore complexe (ligne blanche) résulte de l'addition d'ondes sinusoïdales simples, appelées "harmoniques" (lignes gris clair). Chaque harmonique possède sa propre longueur d'onde et sa propre amplitude. La seule contrainte est que la longueur d'onde des harmoniques doit être un sous-multiple entier de celle du signal. Toute onde sonore peut être générée par un ensemble d'harmoniques dont on choisit la longueur d'onde, l'amplitude et la phase.

Pour créer un son à partir des sphères d'intersection de la cathédrale, il suffira de prendre la liste triple correspondant au spectre des harmoniques sphériques de chaque sphère, puis de l'associer, en utilisant exactement les mêmes longueurs d'ondes, les mêmes hauteurs et les mêmes phases initiales, à une liste d'harmoniques sonores. Les "ondes" sphériques requises pour créer le motif seront ainsi directement converties en ondes sonores, et chaque sphère d'intersection produira un timbre ou un son unique.

Ainsi, le visiteur qui s'arrête dans l'espace d'installation, ou celui qui s'assoit sur les bancs de l'église, entendra, à la manière d'un arpège, une succession rapprochée de timbres qui correspondent à toutes les sphères qui partent de l'endroit précis où se trouve sa tête et s'agrandissent jusqu'à englober toute la cathédrale. S'il se déplace et s'arrête à nouveau, il entendra une nouvelle séquence. S'il se déplace lentement dans l'espace, les harmoniques correspondant à ses positions successives se fondront les unes dans les autres pour créer une séquence sonore continue : il deviendra, par des déplacements dans la cathédrale, le compositeur de sa propre musique.

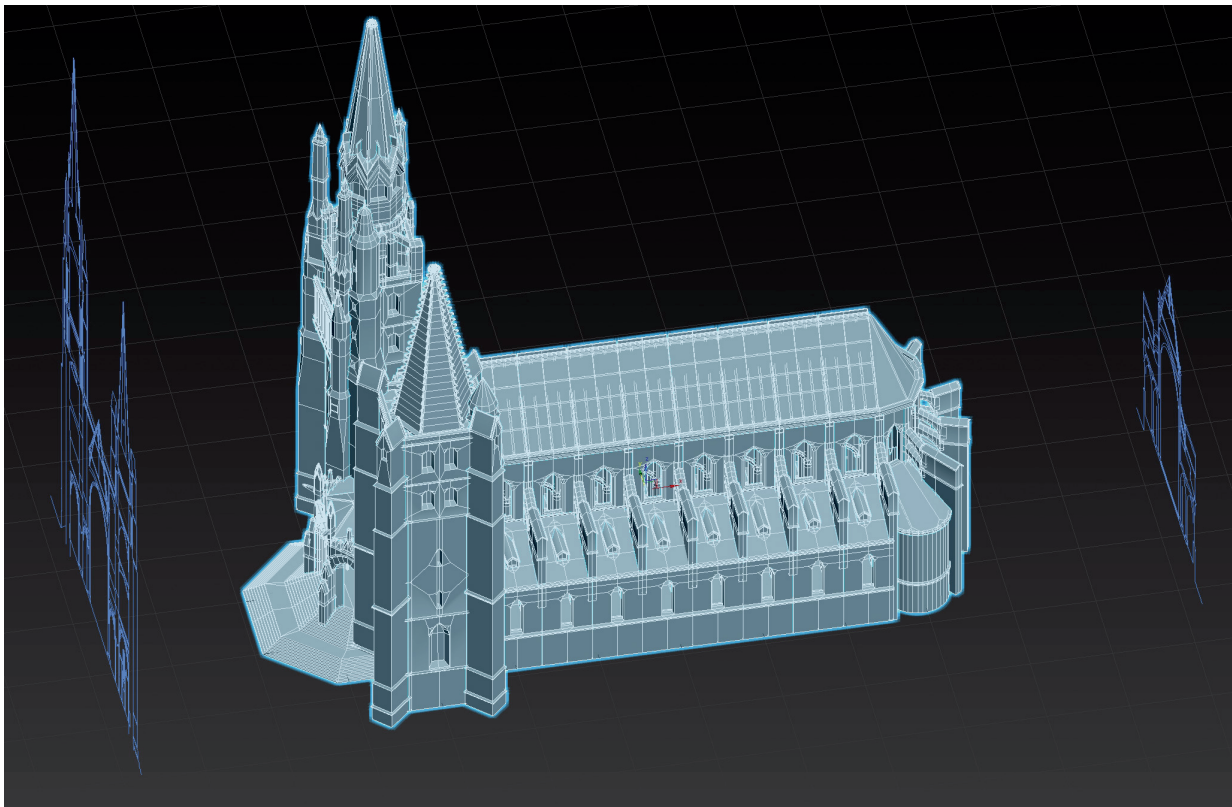


**Schéma de la transposition.** Chaque sphère d'intersection est décomposée en harmoniques sphériques dont on détermine la longueur d'onde, l'amplitude et la phase. Ces trois nombres sont ensuite utilisés pour déterminer les harmoniques sonores qui composeront le timbre correspondant à la sphère. Les sphères d'intersection correspondant à une position donnée pourront être jouées successivement, comme un arpège, simultanément, comme un accord, ou fondues les unes dans les autres pour produire un timbre unique.

### III – Les aspects techniques

La transposition en musique de la Cathédrale de Mende fait appel au même mécanisme de transposition que celui que nous avons utilisé dans l'exemple de la Villa Rotonda. Son architecture étant nettement plus complexe toutefois, l'élaboration des timbres sonores par cette méthode exige de grandes quantités de calcul. Elle peut difficilement être réalisée en direct, sauf à imaginer un dispositif de transposition irréaliste au niveau des ressources et du lieu. Tous les sons correspondant aux différentes positions possibles des visiteurs devront donc être calculés à l'avance à partir d'un modèle numérique de la cathédrale, en utilisant une résolution spatiale d'environ trente centimètres : tout déplacement de trente centimètres générera un nouveau son.

Comme il n'existe pas actuellement de modèle avec une telle résolution, la première étape consistera à le créer à partir des plans et des relevés existants, fournis par différents organismes. Comme on peut s'en douter, la modélisation d'une cathédrale gothique n'est pas une tâche simple ; cette étape, l'une des plus importantes du projet, sera réalisée par une équipe composée d'un spécialiste de la modélisation et de deux assistants. Une version préliminaire simplifiée est actuellement en cours de complétion.



**Cathédrale numérique.** La première étape du projet consiste à réaliser un modèle numérique aussi fidèle que possible de la cathédrale. Comme toutes les cathédrales gothiques, celle de Mende ne peut se rapporter à une géométrie répétitive ou symétrique : le modèle doit tenir compte de toutes les variations et de tous les détails. L'image illustre un premier modèle simplifié, d'ores et déjà en cours de réalisation par notre équipe. Il permettra d'effectuer de premiers tests et de fixer plusieurs paramètres, tels que le nombre de positions à considérer et la position des caméras dans l'espace.

Le modèle final, à haute résolution, tiendra compte de toutes les irrégularités et asymétries de l'édifice. Il sera soumis au processus de décomposition sphérique : les sphères correspondant à chacune des positions possibles des visiteurs seront calculées. Le nombre exact de sphères correspondant à chaque position, ainsi que la résolution des sphères, seront déterminés lors de ce travail. Nos hypothèses actuelles supposent le calcul d'environ neuf cent mille sphères, correspondant à une dizaine de milliers de positions possibles pour le visiteur. Ces calculs seront bien entendus programmés pour être réalisés de façon automatique.

En une troisième étape, le motif apparaissant sur chaque sphère sera analysé, de façon à en extraire le spectre des harmoniques sphériques. Il se trouve que le nombre d'harmoniques requises augmente très rapidement avec la résolution souhaitée, et donc en fonction du plus petit détail que l'on souhaite représenter par le son : là encore, la plus haute harmonique calculée devra être déterminée expérimentalement, en fonction de la précision du modèle numérique et de la puissance des ordinateurs utilisés. Une fois déterminée la liste des coefficients des harmoniques sphériques, ces mêmes coefficients seront utilisés pour déterminer les harmoniques sonores. Nos premiers essais de transposition, effectués sur des modèles simples à basse résolution, révèlent des timbres extrêmement riches, qui deviennent dans certains cas extrêmes difficiles à distinguer les uns des autres. Un travail de composition sonore s'avère nécessaire pour produire des sons aussi variés que possible.



#### IV - Le cahier des charges

Au niveau des contraintes techniques, l'installation est conçue pour limiter au maximum l'impact et les contraintes sur le lieu d'installation et affecter le moins possible l'ambiance de la cathédrale. Tous les équipements seront de petites dimensions et pourront être installés de façon peu visible.

La détection de la position des visiteurs se fera par le biais de caméras de petite taille, qui pourront être suspendues ou posées sur de grands trépieds selon la configuration du lieu. Des caméras de type GoPro à très haute définition, dont l'encombrement ne dépasse pas quelques centimètres cubes, sont adéquates pour le projet.

La taille et la configuration des espaces couverts par l'installation dépendent du nombre de caméras qui pourront être installées : deux caméras permettent de couvrir une zone approximativement rectangulaire. Les zones définies sur l'illustration de la page 2 demanderont de six à huit caméras. Toute zone supplémentaire, telles que les chapelles latérales accessibles au public ou le déambulatoire, demandera des caméras supplémentaires.

Afin d'éviter d'installer des clôtures ou des marques au sol, la délimitation dans l'espace des zones de détection se fera par de petites diodes lumineuses colorées formant balises. Chaque zone rectangulaire sera délimitée par un maximum de six balises d'une couleur donnée. Le visiteur saura qu'il est dans une zone de détection lorsqu'il pourra voir simultanément quatre ou six balises de même couleur.

Toutes les communications se feront par réseau sans fil. Les images seront transmises au serveur principal par le biais d'un réseau Wifi.

Les visiteurs seront équipés de casques d'écoute qui recevront les séquences musicales par un réseau de type Bluetooth, de façon à assurer une qualité sonore maximale.

Les casques et les feuillets décrivant l'installation seront distribués à l'entrée par un/e préposé/e installée dans un kiosque d'accueil temporaire, d'une dimension d'environ 1,5 x 1,5 mètres.

Le serveur et ses accessoires devront être placés dans un local inaccessible au public, avec vue sur la nef et l'espace d'installation.

Si aucun espace présentant ces caractéristiques n'est disponible, ils devront être positionnés dans un second kiosque attenant au premier, de dimensions comparables mais complètement fermé, qui hébergera un poste de travail avec une table et deux chaises, ainsi que les équipements technologiques fixes.

L'alimentation électrique ne demande pas d'aménagements particuliers ; l'installation fonctionne sur le courant secteur. Des rallonges électriques seront à prévoir.