

De l'ubiquité poétique dans l'oeuvre de Iannis Xenakis — Espace, Temps, Musique, Architecture

Anne-Sylvie Barthel-Calvet

Volume 29, numéro 2, 2009

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1000038ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1000038ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Canadian University Music Society / Société de musique des universités
canadiennes

ISSN

1911-0146 (imprimé)

1918-512X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Barthel-Calvet, A.-S. (2009). De l'ubiquité poétique dans l'oeuvre de Iannis
Xenakis — Espace, Temps, Musique, Architecture. *Intersections*, 29(2), 9–51.
<https://doi.org/10.7202/1000038ar>

Résumé de l'article

Dans les deux domaines de l'activité créatrice de Iannis Xenakis que sont la musique et l'architecture, on peut constater parfois la présence de principes identiques. Se pose alors la question de la nature des liens entre les deux champs : s'agit-il d'une pure ubiquité poétique ou bien plutôt du transfert d'un concept propre à l'un des domaines vers un autre auquel il est extrinsèque et donc facteur d'innovation ? L'étude des rapports entre les deux oeuvres contemporaines que sont *Metastasis* et le *Couvent de la Tourette* permet d'y dégager deux principes y apparaissant de manière ubiquitaire : l'utilisation de permutations et l'élaboration d'un système d'organisation proportionnelle des durées et des dimensions spatiales. En revanche, les glissandi de *Metastasis* et les paraboloides hyperboliques du *Pavillon Philips* qui témoignent de l'intérêt de Xenakis pour les phénomènes de continuité, répondent à un principe de transfert qui induit des écarts perceptuels non négligeables d'un domaine à l'autre. Ultérieurement, Xenakis en viendra à travailler conjointement dans les dimensions spatiale et temporelle avec la « cinématique sonore » qu'il développa à la fois dans sa production électroacoustique et instrumentale des années soixante et soixante-dix. Dans *Persephassa* et *Windungen* qui en constituent des exemples emblématiques, la vitesse de déplacement du son dans l'espace apparaît comme un nouveau paramètre compositionnel.

DE L'UBIQUITÉ POÏÉTIQUE DANS L'ŒUVRE DE IANNIS XENAKIS — ESPACE, TEMPS, MUSIQUE, ARCHITECTURE

Anne-Sylvie Barthel-Calvet

Le double domaine d'activité de Iannis Xenakis en musique et en architecture lui a valu d'acquérir une stature singulière dans le paysage artistique de la seconde moitié du vingtième siècle. Suscitant tour à tour étonnement, admiration ou inimitié, cette ubiquité créatrice a parfois été source de malentendus, voire de dénis de la valeur de sa démarche¹. La publication assez récente de textes et documents relatifs à ses projets architecturaux, regroupés sous le titre de *Musique de l'architecture* par Sharon Kanach (2006), porte non seulement à la connaissance de tous des informations restées jusqu'alors assez confidentielles, mais met également en évidence les liens profonds qui unissent chez Xenakis un certain nombre de réalisations musicales et architecturales. Comme le rappelle Kanach dans le « Liminaire » de ce livre : « dès ses débuts, au sein de l'atelier de Le Corbusier, Xenakis travailla souvent sur un même concept qu'il réalisa ou appliqua simultanément, avec une virtuosité intellectuelle rare, tout à la fois pour résoudre un problème architectural ou dans la genèse d'une de ses œuvres musicales » (Kanach 2006, p. 10). La lecture d'un tel ouvrage s'avère très stimulante et incite à approfondir et affiner l'analyse de ces rapports entre musique et architecture². Se pose ainsi la question de la construction de ces liens et de leur interaction : s'agit-il d'une *ubiquité poïétique*, c'est-à-dire de la *polytopie* (pour employer un terme xenakien) d'une même idée créatrice ? et dans ce cas, connaît-elle une fécondité similaire, alors qu'elle est appliquée à des substrats fondamentalement différents ? L'incidence esthétique y est-elle du même ordre ? ou bien, se trouve-t-on en présence d'un *transfert poïétique* d'un principe propre à un domaine vers un autre auquel il est initialement extrinsèque ? et quelles sont alors les limites d'un tel transfert ? Autant de questions auxquelles un certain nombre d'exemples emblématiques de la pratique créatrice xenakienne apportent des éléments de réflexion. Ainsi, l'élaboration contemporaine du Couvent de la Tourette et de *Metastasis* met en évidence la présence de véritables *topoi*, comme les permutations ou l'instauration d'un

¹ Voir en particulier le pamphlet virulent de François Nicolas, 1988.

² Nos travaux sur ce sujet ont néanmoins commencé avant la publication de cet ouvrage : la première partie de cet article traitant des rapports entre *Metastasis* et le Couvent de la Tourette est issue d'une conférence restée inédite que nous avons prononcée le 7 avril 2003 au Couvent de la Tourette même, dans le cadre d'une semaine Xenakis organisée par le Centre Thomas More de cette institution et le Conservatoire National Supérieur de Musique de Lyon.

système proportionnel. Par ailleurs, la fascination éprouvée par Xenakis pour les phénomènes de continuité sonore et plastique se retrouve dans le jeu d'aller-retour entre modèles graphiques, aux incidences esthétiques inattendues. Cette réflexion sur le continu amène finalement Xenakis à dépasser ces notions d'ubiquité et de transfert pour élaborer une « cinématique sonore » où le sonore se spatialise.

LA CONJONCTION *METASTASIS*-COUVENT DE LA TOURETTE

Metastasis, œuvre orchestrale pour 61 instrumentistes, dont la création, un beau jour d'octobre 1955, au Festival de Donaueschingen, fit scandale dans les rangs de l'avant-garde sérielle³, s'avère riche de liens avec les projets architecturaux élaborés par Xenakis à la même époque. Nous reviendrons un peu plus loin sur la conjonction bien connue entre *Metastasis* et le Pavillon Philips, autour du paradigme du continu qui se manifeste tant dans les glissandi qui balaient toute la surface de l'orchestre que dans les surfaces réglées abolissant la dichotomie horizontal/vertical. Cette conjonction n'est cependant que conceptuelle et non temporelle, puisque le Pavillon Philips ne fut élaboré qu'en 1957-58. Un lien moins connu unit également *Metastasis* à un projet architectural du Couvent de la Tourette auquel Xenakis collaborait à la même époque au sein de l'Atelier Le Corbusier. La congrégation des Dominicains en avait passé commande au célèbre architecte en 1953⁴ et, dès le début, ce dernier y avait plus particulièrement associé Xenakis⁵, lui-même étant fréquemment en déplacement en Inde, pour la construction du Parlement de Chandigarh. Au-delà de cette

3 C'est avec cette œuvre que Xenakis se fit connaître du jour au lendemain. Elle vit le jour grâce à une succession de hasards heureux et de rebondissements. Présenté en 1954 à Hermann Scherchen lors des répétitions de *Déserts* de Varèse, Xenakis lui montre la partition du *Sacrifice*, une des sections de la trilogie des *Anastenaria*. À sa grande déception, l'éminent chef d'orchestre ne se déclare pas intéressé par cette œuvre, mais demande à voir la partition hors format qu'à tout hasard Xenakis a apportée : c'est *Metastasis* qu'il propose sur le champ de diriger. Le projet n'aboutit finalement pas, mais, sur les recommandations d'Olivier Messiaen et du critique Fred Goldbeck, Xenakis propose son œuvre à Heinrich Strobel, alors directeur du département de musique du Südwestfunk et organisateur du Festival de Donaueschingen. *Metastasis* y sera créée le 16 octobre 1955 par l'Orchestre du Südwestfunk sous la direction de Hans Rosbaud. Les autres créations de ce concert étaient : *Moments musicaux* de Giselher Klebe, *An Mathilde* de Luigi Dallapiccola, *Klavierkonzert* de Mordechai Sheinkman, auxquelles s'ajoutaient la *Konzertmusik für Streichorchester und Blechbläser* de Hindemith et *Drei Orchesterstücke* op. 6 de Schönberg.

4 Très précisément, la commande effective fut passée le 14 mars 1953 : voir Ferro *et al.* 1988, p. 26.

5 Comme Xenakis le dit de manière explicite dans son texte de 1984 : « ... un beau jour de 1953, en accompagnant Le Corbusier vers la rue de Sèvres, je lui demandais abruptement de travailler personnellement avec lui sur un projet. 'Oui, me dit-il sans hésitation, j'ai un projet qui vous conviendra parfaitement ; c'est de la géométrie pure—un couvent de dominicains.' » (Xenakis 2006, p. 105). La responsabilité architecturale du projet fut donc confiée à Xenakis, tandis que André Wogenscky, chef d'atelier, était en charge de la direction des travaux. Les choses se compliquèrent à partir de 1956 : en janvier, Wogenscky part s'installer à son compte, mais travaille toujours en relation avec l'Atelier Le Corbusier ; dans une lettre du 6 janvier au Père Belaud, il indique qu'en accord avec Le Corbusier, il se « charge de l'exécution en tant qu'architecte d'opération » (BnF, fonds Xenakis, dossier X(A) 2-9), mais le 21 mars, en réaction à un rapport de Xenakis daté du 12 mars 1956, il écrit une lettre à toutes les parties prenantes du projet, dans laquelle il déclare qu'il passe la main à Xenakis qui, de ce fait, reprend la direction du chantier (BnF, fonds Xenakis, même dossier).

fonction de « chef de chantier », Xenakis aura la possibilité, avec l'accord de son patron, de développer des projets entièrement personnels et très originaux, en particulier les vitrages, dont les fameux « pans de verre ondulatoires » et c'est précisément dans ces structures radicalement novatrices que se manifestent des éléments de conjonction poétique avec *Metastasis*. Il faut cependant noter que le travail de Xenakis sur le Couvent de la Tourette dura plus longtemps que celui sur *Metastasis* : le compositeur était donc encore impliqué dans ce projet architectural alors qu'il se plongeait dans la conception de *Pithoprakta* — ce qui viendrait corroborer l'hypothèse qui sera ici développée : la mise en œuvre de lois stochastiques dans la répartition des différents éléments des pans de verre ondulatoires.

Une combinatoire permutationnelle : les séries de *Metastasis* et les vitrages intérieurs du Couvent de la Tourette

En recourant à une combinatoire par permutations, Xenakis ne faisait en aucune manière acte d'originalité, mais s'inscrivait dans le paradigme de l'époque : il n'est que de rappeler les *Quatre études de rythme* (1949–50) ou le *Livre d'orgue* (1950) de Messiaen, suivi des explorations systématiques menées par les compositeurs sériels (voir Boulez 1995). L'originalité de sa démarche réside en revanche dans l'organisation et la formalisation de ces permutations. En 1966, il explique dans « Vers une philosophie de la musique » (Xenakis 1976) le principe mathématique de composition de groupes de permutations qu'il a appliqué dans *Nomos Alpha* pour violoncelle seul. L'enchaînement des permutations des différents éléments musicaux, dans le déroulement de l'œuvre, y est donc rationnellement organisé⁶.

Il s'avère en fait que ce même principe de formalisation était déjà mis en œuvre une dizaine d'années plus tôt, à la fois dans *Metastasis* et le Couvent de la Tourette, ce qui met en évidence la rémanence de certains concepts au sein de la poétique xenakienne et donc la cohérence de cette dernière.

Les permutations sérielles dans Metastasis

La partie centrale de *Metastasis* constitue la seule incursion de Xenakis dans le domaine sériel ; le compositeur en a détaillé l'organisation dans une analyse inédite jusqu'à une date assez récente⁷. D'une manière assez étonnante, il n'y présente pas d'emblée le matériau utilisé en termes de série, mais de permutations. Leur système d'organisation est développé de manière différente dans

Dans ses carnets, Le Corbusier va jusqu'à parler du « Couvent Xenakis », alors que, selon André Baltensperger (1996, p. 136), le nom de Xenakis n'apparaît pas une seule fois à propos de ce projet, dans ses *Œuvres complètes*. Comme le rappelle Sharon Kanach, « le long article de Xenakis, paru en 1984 en anglais dans les Garland Archives, nous éclaire sur la part exacte qu'il prit à ce monument. » (2006, p. 91).

⁶ Les permutations constituent un ensemble qui, muni d'une loi de composition interne notée $\circ$, vérifie les propriétés de groupe (associativité, présence d'un élément neutre et d'un inverse). Voir Vandenbogaerde 1968.

⁷ Voir Barthel-Calvet 2003. Voir également l'étude de l'organisation des permutations dans le sérialisme xenakien (p. 137–142).

trois des quatre sous-sections de cette grande partie centrale : dans deux d'entre elles, les permutations portent sur les notes constitutives de la série, dans la troisième, plus complexe, le travail de permutation s'opère sur les intervalles.

Pour la première section, il part d'un groupe de quatre notes dont il présente les 24 permutations « rigoureusement ordonnées » (Xenakis 2003, p. 162)⁸.

$\bar{A}_1$	$\alpha^1 \beta^5 \gamma^1 \delta$ $\alpha^1 \beta^4 \delta^{-1} \gamma$	$\bar{A}_3$	$\beta \alpha \delta \gamma$ $\beta \alpha \gamma \delta$	Groupe 1
$\bar{A}_2$	$\gamma^1 \delta^4 \beta^{-1} \alpha$ $\gamma \delta \alpha \beta$	$\bar{A}_4$	$\delta \gamma \alpha \beta$ $\delta \gamma \beta \alpha$	
$\bar{A}_5$	$\alpha \delta \gamma \beta$ $\alpha \delta \beta \gamma$	$\bar{A}_7$	$\delta \alpha \beta \gamma$ $\delta \alpha \gamma \beta$	Groupe 2
$\bar{A}_6$	$\gamma \beta \delta \alpha$ $\gamma \beta \alpha \delta$	$\bar{A}_8$	$\beta \gamma \alpha \delta$ $\beta \gamma \delta \alpha$	
$\bar{A}_9$	$\alpha \gamma \beta \delta$ $\alpha \gamma \delta \beta$	$\bar{A}_{11}$	$\gamma \alpha \delta \beta$ $\gamma \alpha \beta \delta$	Groupe 3
$\bar{A}_{10}$	$\beta \delta \gamma \alpha$ $\beta \delta \alpha \gamma$	$\bar{A}_{12}$	$\delta \beta \alpha \gamma$ $\delta \beta \gamma \alpha$	

prises deux à deux, font 12 couples de permutations $\bar{A}_1^1$, les $\bar{A}_i$.

On voit les lois des enchaînements.

On a 3 groupes.

Chaque groupe a 2 colonnes.

Chaque colonne a deux $\bar{A}_i$.

Dans chaque $\bar{A}_i$ la deuxième permutation change l'ordre des deux dernières notes. Mais de $\bar{A}_1$ à $\bar{A}_2$ on va en rétrogradant la deuxième permutation de $\bar{A}_1$.

De colonne à colonne : en rétrogradant la dernière permutation.

De groupe à groupe en choisissant les plus grands contrastes de permutations.

Résumé : Classification contrôlée des permutations par groupes de familles, les familles (colonnes) étant formées par des enchaînements de variantes secondaires. (Xenakis 2003, p. 162)

⁸ Les exposants chiffrés dans $\bar{A}_1$ et $\bar{A}_2$ correspondent au nombre de demi-tons séparant chaque note représentée par α , β , γ et δ .

Ce fragment de texte met en évidence le souci de Xenakis d'organiser la combinatoire des hauteurs et l'on s'aperçoit que ces explications détaillées correspondent en fait à la formalisation par groupes de permutations qu'il exposera dans « Vers une Philosophie de la musique », à propos de *Nomos Alpha*, et qui consiste à composer une structure (ici, une succession de quatre notes) par un élément de permutation. Dans le cas présent, la succession des 24 permutations peut être obtenue en faisant appel à une composition par les deux permutations suivantes :

$$x = 1 \ 2 \ 4 \ 3$$

$$y = 4 \ 3 \ 2 \ 1$$

$$\text{Ainsi : } \bar{A}_1^1 (\alpha \beta \gamma \delta)^0 x (1 \ 2 \ 3 \ 4) = \bar{A}_1^2 (\alpha \beta \delta \gamma)$$

$$\bar{A}_1^2 (\alpha \beta \delta \gamma)^0 y (4 \ 3 \ 2 \ 1) = \bar{A}_2^1 (\gamma \delta \beta \alpha)$$

$$\bar{A}_2^1 (\gamma \delta \beta \alpha)^0 x (1 \ 2 \ 3 \ 4) = \bar{A}_2^2 (\gamma \delta \alpha \beta)$$

$$\bar{A}_2^2 (\gamma \delta \alpha \beta)^0 y (4 \ 3 \ 2 \ 1) = \bar{A}_1^3 (\beta \alpha \delta \gamma)$$

$$\bar{A}_1^3 (\beta \alpha \delta \gamma)^0 x (1 \ 2 \ 3 \ 4) = \bar{A}_2^3 (\beta \alpha \gamma \delta)$$

etc.

Chaque groupe suit le même principe de composition, mais il y a rupture (« les plus grands contrastes de permutations ») lorsque l'on passe d'un groupe à l'autre. Les différents $\bar{A}i$ sont énoncés successivement, chacun dans une transposition particulière, par les trois premiers violons (soli), aux mesures 104 à 148 de la partition (exemple 1). Toutes les configurations présentées sont retenues et apparaissent dans la partition aux parties de violons 1, 2 et 3, mesures 104 à 149. On constate ainsi que *de facto* Xenakis utilise pour les permutations sérielles de *Metastasis* un principe de formalisation qu'il ne formulera explicitement qu'en 1966, avec *Nomos Alpha* (Xenakis 1976).

Dans la suite de l'analyse (Xenakis 2003, p. 163), il présente également un système de permutations plus rudimentaire pour six autres sons venant compléter la série, qui n'est en fait jamais énoncée dans l'intégralité de ces douze composantes. Il retiendra six configurations (sur les $6! = 720$ possibilités) qu'il énoncera aux trois violoncelles en contrepoint de ce premier groupe (cf. exemple 1). Ce fractionnement de la série répond à sa recherche d'une cohérence organisationnelle qui, dans son esprit, passe par un principe de permutations⁹. Il est d'ailleurs plausible de voir dans cette préoccupation de Xenakis un écho aux « interversions » de Messiaen dont le jeune compositeur suivait alors l'en-

9 Selon Xenakis, un principe de permutations doit s'appliquer, pour être fonctionnel, à un petit nombre d'éléments. Il reprendra cette idée à propos des pans de verre ondulatoires (cf. infra) quand il écrit en 1984 : « l'écueil de l'aridité de la variation permutationnelle était cette fois amplifié, à cause du plus grand nombre d'éléments que je voulais utiliser. Car si l'on peut encore « contrôler » les vingt-quatre permutations de quatre éléments, il est impossible de le faire avec une dizaine ($10! = 3\ 628\ 800$ permutations » (Xenakis 2006, p. 113).

seignement : on trouve ainsi dans ses carnets de l'époque des notes de structures permutées¹⁰ et ses carnets de cours montrent qu'il a suivi l'analyse de la *Messe de la Pentecôte*.

Les permutations des vitrages intérieurs du Couvent de la Tourette

À la même époque, Xenakis développe un projet de combinatoire architecturale pour les pans de verre de la cour intérieure¹¹ du Couvent de la Tourette. Ce projet ne verra finalement pas le jour, Le Corbusier ayant préféré une structure répétée à l'identique d'un panneau à l'autre. Dans l'article « Le monastère de la Tourette » publié en anglais en 1984¹², Xenakis le rattache explicitement à la combinatoire mise en œuvre dans *Metastasis* :

En juin 1954, j'étudiais les ouvertures vitrées du niveau des salles communes et des classes, hautes de 366 cm. Je découvrais le vertige de la combinatoire d'éléments architecturaux après l'avoir expérimentée en musique. En effet, dans *Metastasis* pour orchestre que je terminais à peu près à la même époque (1953–1954), la partie médiane était bâtie sur une combinatoire d'intervalles mélodiques ± 1 , ± 2 , ± 3 , ± 4 , ± 5 , ± 6 [exprimés en demitons]. [...] Je fis donc plusieurs études sur les trois façades, mais qui ne me satisfaisaient pas. J'avais choisi quatre éléments, a, b, c, d en section d'Or et leur vingt-quatre permutations, que je disposais sur le déroulement des façades, comme une variation d'un même thème, dans le temps.

Mais le jeu était trop subtil pour qu'il saute aux yeux. C'est seulement en novembre 1954 que Le Corbusier fit une sorte de synthèse de mes tentatives, et créa les pans de verre qui sont aujourd'hui les façades intérieures du monastère. (Xenakis 2006, p. 112)

Bien qu'il n'ait pas été retenu, le projet de Xenakis s'avère fort intéressant en ce qu'il traduit les mêmes préoccupations poétiques dans le domaine architectural. Deux documents¹³ conservés aux archives de la Fondation Le Corbusier en présentent la teneur. Il s'agit respectivement d'une feuille présentant divers enchaînements de permutations, et du plan des successions de vitrages des trois côtés de la cour intérieure du monastère¹⁴, ces dispositions de vitrages correspondant à l'une des configurations de permutations.

¹⁰ Cf. le carnet 8 (BnF-Département de la musique-Fonds Xenakis-Ms 24357(8)) qui contient des notes datant d'avril à décembre 1952 et dont les pages 1, 2 et 3 présentent des esquisses de permutations. Nous développons l'étude des rapports entre Messiaen et Xenakis dans le chapitre à paraître « The Messiaen-Xenakis conjunction ».

¹¹ Précisons que la structure de ces pans de verre est radicalement distincte de celle des fameux « pans de verre ondulatoires » dont l'étude sera abordée un peu plus loin.

¹² Ce texte, « Le Monastère de la Tourette », inédit en français, était initialement paru en anglais (Xenakis 1984). Cet ouvrage connaîtra deux rééditions, en 1987 et 1989. La version française originale est reprise avec quelques ajouts de la version américaine dans Xenakis 2006, p. 105–119.

¹³ Ces documents sont enregistrés sous les cotes respectives 2551 et 2552 et ce dernier porte la date manuscrite du 3 juin 1954. Le document 2551 est reproduit dans Xenakis 2006, p. 72.

¹⁴ Les trois côtés comprennent respectivement : sept vitrages pour le côté est ; huit pour le côté sud et neuf pour l'ouest.

Comme dans *Metastasis*, il s'agit de vingt-quatre permutations de quatre éléments, en l'occurrence des vitrages de même hauteur, mais de largeurs différentes, et dont les proportions sont en rapport de Section d'Or¹⁵. Par déduction, à l'examen du plan du document 2552 et de quelques données numériques lacunaires figurant sur le document 2551, il semble que ces différents éléments prennent les valeurs suivantes : a = 53 centimètres ; b = 140 ; c = 33 ; d = 86, valeurs qui appartiennent à la « série bleue » du Modulor, dont relève également la valeur de 366 centimètres de la hauteur de ces vitrages. Le document 2551 présente cinq configurations d'enchaînements possibles ; la seule finalement retenue est matérialisée sur le plan 2552 où est dessinée la succession de vitrages proposées pour trois côtés de la cour (sept vitrages à l'est, huit au sud, neuf à l'ouest). L'examen de ces différentes tentatives s'avère néanmoins riche d'enseignement quant au processus créateur de Xenakis, en ce qu'il met en évidence sa recherche d'une organisation rationnelle du matériau. Par la disposition des notes sur cette esquisse, on suit presque visuellement son cheminement intellectuel au travers des différentes solutions envisagées.

Pour l'un des enchaînements, le principe de permutations n'est pas maintenu jusqu'au bout, pour un autre, il est très (trop) complexe. Dans une troisième configuration envisagée (exemple 2), on observe une périodicité interne qui « télescope » en quelque sorte la périodicité générale. La structure n'est donc pas satisfaisante sur le plan intellectuel. Les deux dernières solutions proposées, en revanche, s'avèrent particulièrement intéressantes, l'une parce qu'elle est très proche du principe retenu dans *Metastasis*, l'autre, parce qu'elle correspond au plan des vitrages n° 2552.

L'exemple 3 présente six configurations commençant par a, réparties sur trois colonnes, dans lesquelles on peut observer l'application du même principe de permutation. Elles définissent ainsi six groupes de permutations, sans établir cependant de structures cycliques — comme ce sera le cas pour *Nomos Alpha*. Au contraire, le passage d'un groupe à l'autre correspond à un contraste maximal (tous les éléments sont déplacés, sans qu'il y ait permutation deux à deux), comme c'était le cas pour les groupes des A i dans *Metastasis*.

Dans le dispositif correspondant enfin au plan dessiné (exemple 4), Xenakis renonce délibérément à un jalonnement systématique de l'espace qui serait déterminé par une répétition du processus de structuration. Au contraire, il introduit des ruptures au sein de processus réguliers, comme par exemple entre la sixième et la septième ligne du premier groupe de permutations (correspondant au dispositif de la façade est). On retrouve là un des traits récurrents de la poétique xenakienne qui consiste, après avoir défini un système, à y introduire des irrégularités¹⁶.

Ce projet de répartition des vitrages de la cour intérieure du monastère restera finalement dans les cartons, la solution retenue par Le Corbusier pri-

¹⁵ Plus précisément, leurs valeurs correspondent à celles, proches de la série canonique de Fibonacci, employées par Xenakis pour les durées différentielles de *Metastasis* (par exemple, 33 à la place de 34), comme nous le verrons un peu plus loin.

¹⁶ On peut faire le même constat d'écarts entre valeurs théoriques et observées dans le système des durées différentielles de *Metastasis*, dans des distributions stochastiques ou des cribles.

vilégiant justement répétition et régularité. L'argument fut sans doute celui répercuté par Xenakis : « le jeu était trop subtil pour qu'il saute aux yeux » (Xenakis 2006, p. 112). La perception de ce jeu de permutations s'inscrivait, en effet, dans une lecture horizontale, temporelle de la structure ; or, dans le cas de cette cour intérieure, cette lecture pouvait difficilement être opérée d'un point fixe, nécessaire pour comparer et prendre conscience des différences de dimension des vitrages.

Néanmoins, ces deux exemples — l'un musical, l'autre architectural — attestent que Xenakis avait conçu et utilisait dès 1954 un mode d'organisation de la combinatoire permutationnelle dont on croyait qu'il avait été mis en œuvre quelque vingt ans plus tard seulement. Ce faisant, ils prouvent également la cohérence et l'homogénéité de la poétique xenakienne, parfois jugée disparate.

Deux systèmes de structuration proportionnelle : les « pans de verre ondulatoires » du Couvent de la Tourette et l'organisation des durées dans Metastasis

Xenakis fait également appel, de manière presque concomitante¹⁷, à un principe de structuration proportionnelle dans les domaines de l'architecture et de la musique, avec les fameux « pans de verre ondulatoires » du Couvent de la Tourette et, dans la section sérielle de *Metastasis*, avec une structuration des intervalles de durée proportionnellement aux intervalles de hauteur. Dans les deux cas et pour des raisons différentes, la combinatoire ne s'avérant plus un outil efficace, Xenakis a dû recourir à de nouveaux modes de structuration.

Dans le cas des « pans de verre ondulatoires », c'est la multiplicité des éléments qui exclut la pertinence d'une logique combinatoire. Comme l'écrit Xenakis en 1984 :

l'écueil de l'aridité de la variation permutationnelle était cette fois amplifié, à cause du plus grand nombre d'éléments que je voulais utiliser. Car si l'on peut encore « contrôler » les vingt-quatre permutations de quatre éléments, il est impossible de le faire avec une dizaine ($10! = 3\,628\,800$ permutations). Il faut donc choisir un autre critère, sur un niveau plus général, situé au-dessus des permutations. (Xenakis 2006, p. 113).

Dans *Metastasis*, il tenait à établir un lien intrinsèque entre *intervalles* de hauteur et de durée et à ne pas superposer aux permutations des hauteurs une combinatoire indépendante pour les durées.

Les pans de verre ondulatoires du Couvent de la Tourette

La verrière principale (exemple 5) présente une superposition de trois niveaux¹⁸ de cases de vitrage de différentes largeurs. À l'intérieur de ces cases sont em-

¹⁷ En fait, la composition de *Metastasis* est achevée dès l'automne 1954, tandis que ce projet de pans de verre ondulatoires va être élaboré à partir du printemps 1955, c'est-à-dire à l'époque où Xenakis travaille à *Pithoprakta*.

¹⁸ Le projet initial (figurant dans les Archives Le Corbusier sous la cote FLC 2557 où il est daté du 4/2/1955 et donné également dans Xenakis 1976, p. 166) prévoyait une superposition sur 4 niveaux. Nota bene : ne pas confondre les ouvrages *Musique-Architecture* réunissant des textes sur la musique

pilées des vitres blanches de différentes hauteurs (exemple 6). L'ensemble développe ainsi un double aspect contrapuntique, avec, d'une part, le décalage des « mouvements ondulatoires » et, d'autre part, celui des hauteurs des vitrages d'une case à l'autre, ce dernier étant surtout visible de l'intérieur du couvent¹⁹. Ce procédé sera réutilisé par les Ateliers Le Corbusier dans d'autres réalisations architecturales comme l'Assemblée de Chandigarh, la Maison de la culture et de la jeunesse à Firminy, le Carpenter Center de Harvard, et le projet — non retenu — du Palais des Congrès de Strasbourg.

L'élaboration de cette structure est assez largement postérieure à celle des vitrages de la cour intérieure : dans son texte sur *La Tourette* publié en 1984 en anglais, Xenakis indique que Le Corbusier lui a confié ce projet au printemps 1955²⁰. En fait, le premier élément daté (plan d'un premier projet sur quatre étages) indique le 4 février 1955²¹, inscrit de la main de Xenakis avec la mention : « bon » et le plan du dispositif finalement retenu porte la date du 20 novembre 1956²².

Par rapport à l'idée initiale présentée par Le Corbusier, l'idée déterminante de Xenakis va être d'introduire des variations en largeur et non plus seulement en hauteur. Ces variations de largeur vont d'ailleurs devenir l'élément prédominant, puisque le plus visible, surtout de loin. Ce n'est que de l'intérieur des bâtiments du couvent que l'on perçoit le contrepoint vertical des panneaux de verre — et à ce moment-là, on ne voit plus le contrepoint des différents étages d'ondulations. Comme Xenakis l'explique dans le texte précédemment cité, il a choisi, pour les largeurs de ces cases de vitrages, différentes mesures tirées du Modulor²³, et ce sont les variations, progressives ou brutales de ces mesures qui vont donner aux pans de verre leur structure ondulatoire.

et sur l'architecture en deux parties séparées et publié par Xenakis en 1971 (puis réédité en 1976) et *Musique de l'architecture* consacré à des projets architecturaux de Xenakis édités par Sharon Kanach en 2006. La proximité des deux titres peut prêter à confusion.

¹⁹ À l'intérieur, par exemple, dans le réfectoire, les reflets de ces différentes structures, projetés sur le sol, se combinent avec la structure du dallage, en une organisation extrêmement complexe qui change selon le cours du soleil durant la journée.

²⁰ « Au printemps de 1955, Le Corbusier en revenant de Chandigarh, m'appela dans son bureau et me remit un croquis, je crois de Pierre Jeanneret, d'un vitrage fait de montants verticaux espacés régulièrement, et contenant des vitres de hauteurs variables mais de largeurs identiques, empilés l'une sur l'autre sur toute la hauteur de l'étage. Idée pour économiser les chutes de verre. Le Corbusier me demanda de travailler dessus pour les vitrages de l'Assemblée de Chandigarh. La hantise de la combinatoire ne m'avait pas abandonné, mais d'emblée je choisis plusieurs distances en sections d'Or tirées du Modulor. » (Xenakis 2006, p. 112–113). Ces propos attestent que Xenakis élabore alors son projet de « pans de verre ondulatoires » à la fois pour les chantiers de Chandigarh et la Tourette. C'est la raison pour laquelle certains documents d'archives qui leur sont relatifs sont rattachés à l'un ou l'autre projet (cf. infra).

²¹ FLC n° 2557 ; cf. note supra.

²² Xenakis 2006, p. 74–75.

²³ Le Modulor est un double système de mesures correspondant—avec quelques approximations—à des séries de Fibonacci (l'une d'elle renvoie assez exactement à la série canonique du mathématicien pisan). Dans le but de concevoir un habitat à la mesure de l'homme, Le Corbusier élabore deux séries de mesures, la « série rouge » et la « série bleue », dont les valeurs, en rapport de Section d'Or (1,618) s'organisent respectivement à partir de la taille d'un homme debout (1,83 m) et « debout-la-main-levée » (2,26 m). Ces mesures s'avèrent alors correspondre à des positions quotidiennes de l'être humain dans son habitat (assis à table, debout en appui sur les coudes, etc.). Le but de Le Cor-

Ayant renoncé, pour des raisons d'efficacité, à un principe permutational, Xenakis dresse un « Tableau analytique des structures d'ondes élémentaires »²⁴ (exemple 7) pour organiser les variations de ces mesures. Ce tableau présente différentes configurations de ces valeurs sous forme de « structures d'ondes élémentaires » dont les combinaisons vont permettre l'élaboration des pans de verre.

Xenakis part de trois structures de base :

- la première (en haut à gauche du tableau) repose sur des valeurs issues de la série rouge du Modulor : 17, 27, 43, 70, 113.
- la deuxième (en haut à droite) sur des valeurs tirées de la série bleue : 13, 20, 33, 53, 86, 140.
- La troisième, mixte (au milieu), combine les valeurs précédentes : 10, 13, 17, 27, 33, 43, 53, 70, 86, 113, 140.

À partir de ces séries de base, Xenakis élabore des « formes d'ondes » symétriques ou asymétriques (qu'il dénomme respectivement A et B)²⁵ ; puis il opère ce qu'il appelle, en empruntant un terme musical, des « transpositions », en décalant ces mesures vers des valeurs supérieures. Cependant, il ne décale pas toute la structure et les valeurs extrêmes demeurent 113 (série rouge) et 140 (série bleue) ; ces « formes d'onde » transposées sont donc plus courtes que les fondamentales. Xenakis n'emploie d'ailleurs que certaines transpositions : pour la série rouge, la première (A_0^I) pour la forme d'onde symétrique et la deuxième (B_0^{II}) pour la forme asymétrique ; pour la série bleue, la troisième (A_1^{III}) et la deuxième (B_1^{II}) pour les configurations respectivement symétrique et asymétrique. À noter : A_1^{III} ne compte que quatre éléments. Pour la série mixte, Xenakis fait appel aux première, quatrième et sixième transpositions pour les deux répartitions.

Pour organiser de manière cohérente l'ensemble des pans de verre, Xenakis va ensuite combiner ces différentes formes d'ondes élémentaires en les faisant se succéder. Il définit également une alternance entre des zones de forte et de faible densité, qu'il appelle respectivement γ et δ (cf. « oppositions de structures » dans le coin inférieur gauche du tableau). Il élabore ainsi trois projets

busier était de les intégrer aux mesures de l'habitat et de promouvoir le Modulor comme système universel (voir Le Corbusier 1983). [suite...]

Fait moins connu, les hauteurs des vitrages empilés entre ces montants de béton correspondaient aussi à des valeurs tirées des séries du Modulor, comme le montrent les détails du plan CHAND LC 5390 (cote FLC 06029) des « volets d'aération ondulatoires du Secrétariat » qui indiquent des valeurs de 43, 70, 86, 113, etc. pour les hauteurs.

²⁴ Conservé à la Fondation Le Corbusier sous la cote 6030. Daté du 23 juin 1955, il s'agit en fait vraisemblablement d'une mise au propre, car on retrouve ces mêmes « formes d'ondes » notées sur le plan des verrières sur quatre étages, datant de février 1955. Xenakis y renvoie d'ailleurs « pour détails de construction » au « plan 5290 » qui est d'ailleurs un plan de la Haute Cour de Chandigarh (cote FLC 04687).

²⁵ Dans les séries symétriques, la « longueur d'onde » présente des valeurs successivement et régulièrement croissantes et décroissantes (par exemple, pour la série rouge : 17, 27, 43, 70, 113, 70, 43, 27, 17) ; dans les séries asymétriques, on n'observe qu'une série de valeurs croissantes par longueur d'onde. Les longueurs d'onde des séries mixtes qui comprennent des valeurs empruntées aux deux séries de base sont donc beaucoup plus étendues. À noter également qu'avec le procédé de transposition vers des valeurs supérieures, l'étendue de la longueur d'onde se trouve nécessairement réduite.

successifs avant de trouver une configuration qui le satisfasse pleinement²⁶. L'analyse de ces différents essais met en évidence ce que cherche Xenakis et apporte des renseignements fructueux sur sa démarche.

Dans le premier projet, daté du 4/2/55 (exemple 8), apparaît d'emblée une alternance de structures répertoriées et de zones γ présentant une succession de petites valeurs, hors structure ondulatoire. Les transpositions présentées dans le tableau analytique n'apparaissent pas toutes et les différentes séries commencent le plus souvent aux valeurs inférieures. On note la présence de structures rétrogrades ne figurant pas dans le tableau. Les formes d'onde sont également assez fréquemment lacunaires, ce qui introduit des ruptures et de « fausses symétries ». Par exemple, au quatrième étage à droite, la forme d'onde mixte symétrique présente des lacunes irrégulièrement réparties : il manque 33, 43, 86 dans les valeurs croissantes, puis 113 et 70 lorsqu'elles décroissent ; ce qui est présent à gauche de la symétrie est absent à droite, ce qui a pour effet de briser la symétrie mais aussi de dynamiser la structure par cette irrégularité. On note également des enchaînements de formes d'onde relevant de différentes séries : au troisième étage à gauche, l'enchaînement de B_2^0 (série bleue) et du rétrograde de B_2^0 (série mixte) induit un déséquilibre de part et d'autre de la valeur maximale de 140 centimètres.

Dans ce premier projet, l'aspect ondulatoire est très présent, peut-être trop, et ce pourrait être la raison pour laquelle il n'a finalement pas été retenu.

Le deuxième projet, établi deux semaines plus tard (21/2/55) est resté inachevé et barré (exemple 9) : sa disposition est très rapidement apparue inadéquate à Xenakis, très vraisemblablement en raison de l'alternance trop brutale de petites et grandes valeurs qui faisait disparaître la structure ondulatoire et également à cause de la juxtaposition assez maladroite de panneaux larges, à l'étage intermédiaire.

Le projet définitif²⁷ (exemple 10) reprend, pour l'étage supérieur, le rythme global du premier projet, en introduisant néanmoins des ruptures dans la structure ondulatoire : les formes d'onde croissantes ne sont pas suivies de symétries plus ou moins exactes, mais d'éléments de faible largeur, qui créent une zone de forte densité et s'opposent au mouvement d'accroissement des valeurs. À gauche, sur un tiers de la longueur de la verrière, les trois étages suivent la même disposition des panneaux et sont en « homorythmie » pour employer une métaphore musicale ; ensuite, un décalage progressif se met en place. L'éta-

²⁶ Il y a trois projets successifs pour les pans de verre ondulatoires de la façade ouest : le premier, précédemment cité, conçu pour un déploiement des structures de verre sur quatre niveaux ; le deuxième (conservé à la Fondation Le Corbusier sous la cote FLC 2553), daté du 21/5/55, inachevé et barré ; le projet définitif dont le plan est conservé à la Fondation Le Corbusier, mais aussi au Couvent de la Tourette (réf. ETO LC EN 34). Que soient d'ailleurs remerciés le Père Renaud Escande et Véronique Péguy qui ont mis ce plan à notre disposition. Celui-ci est reproduit, avec la signature de Xenakis (2006, p. 74–75). Rappelons que les premiers projets pour cette façade ne comportaient pas de pans de verre ondulatoires, mais quatre étages de vitrages permutés, comme il est montré dans l'ouvrage *Le Corbusier, le Couvent de la Tourette*, (Ferro et al. 1988, p. 34).

²⁷ Au vu des documents actuellement accessibles, la date précise de son élaboration reste non établie, dans la mesure où le plan disponible (ETO LC 34) daté du 20 novembre 1956 est une mise au propre définitive, susceptible d'être assez largement postérieure.

ge médian présente une structure largement remaniée : à droite, en particulier, la longue période de valeurs brèves est remplacée par une succession de formes d'onde élargies. Par rapport au premier projet, on note ici des lacunes et des interversions de valeurs plus fréquentes au sein des formes d'onde ; de manière générale, le phénomène ondulatoire s'y manifeste plus brièvement.

En définitive, l'examen de ces trois projets révèle ce que recherche Xenakis dans ces tentatives successives, c'est-à-dire un équilibre entre l'aspect ondulatoire de la « texture » et la surprise des ruptures : dans le premier projet, la disposition privilégiait cette continuité ondulatoire, tandis que le deuxième mettait plutôt en avant un principe de rupture, rapidement jugé inadéquat. Le troisième, finalement, conjugue de manière heureuse ces deux aspects.

Dans l'étude de l'organisation de ces pans de verre ondulatoires, il semble que l'on puisse formuler une hypothèse quant à l'emploi d'un autre principe, en l'occurrence d'une distribution stochastique. Rappelons que l'élaboration du projet du Couvent de la Tourette a duré longtemps et que, outre *Metastasis*, elle est également contemporaine de la composition de *Pithoprakta*, dans laquelle Xenakis fait appel à des lois stochastiques²⁸. Autre argument venant étayer cette hypothèse : le compositeur donne à ce sujet des indices dans son texte de 1984. En effet, s'il évoque rétrospectivement la possibilité d'avoir procédé à une distribution stochastique des distances séparant les montants des vitrages, tout en reconnaissant qu'il ne l'a pas fait parce qu'à cette époque il n'avait pas encore abordé ce principe poïétique²⁹, il déclare que, concernant la densité de répartition de ces montants :

Le problème donc au niveau de la densité est plus simple, puisqu'en le situant sur un plan plus général, elle contient moins d'éléments que les distances entre montants. Le contrôle est plus aisé. Donc la solution est de juxtaposer des parties denses (beaucoup de montants en béton armé) à des raréfiées. (Xenakis 2006, p. 113)

On peut donc émettre l'hypothèse que, s'il n'y a pas de répartition stochastique de détail pour ces pans de verre, au niveau plus global de la densité, en revanche, Xenakis est susceptible d'y avoir fait appel. L'irrégularité de la répartition des zones de forte et faible densité corroborerait d'ailleurs une telle hypothèse.

On sait que la loi stochastique utilisée par Xenakis pour les densités d'événements (Xenakis 1983, p. 34–38) est la loi de Poisson répondant à la formule suivante :

$$P_k = \left(\frac{d^k}{k!} \right) * e^{-d}$$

²⁸ Comme l'explique Xenakis (1981, p. 26–33).

²⁹ « Mon problème était : comment distribuer ces montants de béton [...] sur les façades. Autrement dit, comment distribuer des points sur une droite. Ce problème peut recevoir une infinie quantité de réponses. Mais deux sont les pôles extrêmes des réponses. L'une est de choisir des points sans périodicité aucune, c'est-à-dire en suivant une distribution stochastique (de probabilité). L'autre, c'est en suivant une périodicité stricte. Mais, à l'époque, je ne faisais qu'entrevoir une musique stochastique [que j'allais inventer l'année suivante] et par conséquent je passais à côté de cette solution en architecture. » (Xenakis 2006, p. 113).

avec d = densité moyenne,
 k = valeur de densité recherchée
 la constante $e = 2,71827$, base des logarithmes népériens.

Pour évaluer l'évolution des densités, j'ai balisé l'espace par des repères réguliers correspondant au nombre de montants des cellules des moines situées au-dessus des pans de verre (voir exemple 5). Une grille de 46 cases régulières est ainsi appliquée à la succession des pans de verre sur les trois étages, qui, elle, présente un total de 190 encadrements de béton, ce dont on peut déduire une densité moyenne d de

$$\frac{190}{46} = 4,13$$

encadrements par « case ». La question de la répartition se pose alors dans les termes suivants : à partir de ces données, quelle est la probabilité d'avoir 1, 2, 3, 4, etc. encadrements par case ? Les calculs donnent les résultats exposés dans le tableau de l'exemple 11 ; remarquons que les résultats, inférieurs à 1 car nous sommes dans le domaine des probabilités, doivent être multipliés par 46 pour obtenir des valeurs de fréquence de distribution qui, pour être exploitables, sont arrondies au nombre entier approchant. On observe ainsi qu'il devrait y avoir 3 cases avec un seul encadrement, 7 cases avec 2 encadrements, 10 cases avec 3 encadrements, etc. À partir de ces valeurs, le compositeur a pu répartir les cases répondant à ces données comme il le souhaitait, dans la mesure où la loi de distribution ne lie pas la succession des valeurs de répartition. Il est néanmoins soumis à une contrainte par la structure des formes d'onde.

Afin de vérifier l'hypothèse initiale, les résultats observés ont été comparés aux valeurs prédictives et synthétisés dans l'histogramme de l'exemple 12³⁰. On y observe un décrochage de la courbe pour les valeurs maximales, mais le reste de la courbe reste assez proche de la répartition théorique. Ces divergences sont d'ailleurs peut-être dues aux contraintes induites par les gammes de valeurs des formes d'onde. Le résultat apparaît mitigé : les valeurs discordantes tendraient à invalider l'hypothèse de la présence d'une distribution stochastique des densités ; cependant, on observe des écarts comparables dans des cas ultérieurs où Xenakis fait ouvertement appel à l'outil des probabilités (Barthel-Calvet 2000, p. 306–311 et 364–369). La découverte d'un document d'archive (notes, brouillons, etc.) permettrait de statuer de manière indubitable sur cette question, mais à ce jour, aucun élément dans les archives du Couvent de la Tourette (conservées à la Fondation Le Corbusier, au Département de la Musique de la Bibliothèque Nationale de France et au Couvent de la Tourette) ne vient confirmer cette hypothèse.

³⁰ On observe ainsi : pour un encadrement, une fréquence de 5 fois ; pour 2, 8 fois ; pour 3, 8 fois ; pour 4 encadrements, 5 fois ; pour 5, 5 fois ; pour 6, 5 fois ; pour 7, 4 fois ; pour 8, 2 fois ; pour 9, 2 fois ; pour 10, aucune.

L'organisation des durées différentielles dans Metastasis

La présence du rapport de Section d'Or dans la macro-structure de *Metastasis* a déjà été étudiée en détail³¹ et confirmée par *Metastasis-Analyse*, texte inédit de Xenakis publié en 2003 et précédemment mentionné³². Il est néanmoins un autre domaine dans lequel on retrouve cette même volonté d'organisation proportionnelle : celui des durées, avec en particulier, le concept entièrement inédit de « durée différentielle », défini par Xenakis dans le même texte. Bien que peu connu, cet aspect de la poïétique xenakienne en est un des plus originaux et restera pertinent au travers des différents principes de formalisation auxquels ce compositeur fera appel³³.

Dans les différents textes écrits par Xenakis en 1954–55 à propos de *Metastasis*³⁴, ce dernier revient fréquemment sur l'idée que la progression des durées y est liée à celle des intervalles de hauteurs. Dans le contexte du sérialisme intégral qui prônait une autonomie totale des différents paramètres du son³⁵, une telle déclaration avait pour le moins de quoi surprendre. Xenakis dénonce en des termes finalement plus précis que dans « La Crise de la musique sérielle » cet aspect du sérialisme :

... la durée est liée d'une façon arbitraire aux variations du facteur fréquence.

La durée en particulier, est prise comme une variable indépendante à laquelle on donne des valeurs réglées mais a priori et en porte-à-faux.

Pourtant l'essence même du fait sonore nous guide à trouver la relation. (Xenakis 2003, p. 185)

Xenakis établit cette relation dans les termes suivants :

... dans les *Métastasis* la *variation* de la fréquence est liée à la durée d'une façon intrinsèque. L'intervalle a une durée propre.

³¹ Voir l'étude très approfondie de Baltensperger 1996, p. 245–257.

³² Voir Xenakis 2003, dans Barthel-Calvet 2003, p. 183–184 : pour la première partie (mes. 1–104), Xenakis donne les points de segmentations à des distances de : 34, 13, 8, 3, 1, 8, 0,5 et 8 mesures, correspondant à des valeurs de la série canonique de Fibonacci.

³³ Voir pour cette notion très importante de l'écriture rythmique de Xenakis : Barthel-Calvet 2000, p. 328–384 ; 2001, p. 163 ; 2003, p. 133–136 et 2007, p. 184–186.

³⁴ Outre Xenakis 2003, il existe trois autres textes écrits par Xenakis à la même époque sur *Metastasis*, mais ils sont beaucoup plus brefs : *Les Métastasis*, texte dactylographié qui existe en 2 versions, l'une de 4 pages, s.d., contenue dans le carnet 13 de Xenakis (BnF–Fonds Xenakis–Ms 24357[13]), l'autre de 5 pages, s.d., conservé au Musikinstitut de Darmstadt, et un texte publié dans Le Corbusier 1983, p. 341 et 344, repris dans Xenakis 2006, p. 79–80 et qui reprend en fait une demie page du précédent.

³⁵ Voir Boulez 1995, p. 263–295. Boulez y parle de « désolidariser les séries rythmiques des séries de hauteurs qui leur ont donné naissance et, somme toute, créer un contrepoint de structure entre les hauteurs et les rythmes. » (p. 274).

Comme dans la musique dodécaphonique il n'y a que six intervalles distincts³⁶, on aura une gamme de six durées. L'intervalle le plus grand (6 demis-tons) aura la plus longue durée. Le demi-ton aura la plus courte.

La progression sera géométrique.

La progression géométrique est dans la nature de la perception des fréquences qui suit une loi logarithmique.³⁷

La raison de la progression des durées est le de la section d'or (= 0,618)³⁸. Ce qui permet une constante dans la proportion. (Xenakis 2003, p. 185)

Dans son texte publié à la fin de *Modulor 2* de Le Corbusier, Xenakis précise l'intérêt que présente cette progression pour lui compositeur : « Parmi toutes les progressions géométriques, il n'y a qu'une seule dont les termes jouissent de la propriété additive. C'est la progression de la Section d'Or. » (Xenakis 1955, dans Le Corbusier, 1983, p.344³⁹)

Elle vérifie en effet les équations suivantes :

$$un+2 = un+1+un$$

$$un+2 = a. un+1$$

et peut donc permettre de construire des valeurs de durées à partir d'unités minimales.

C'est ainsi que dans son analyse de 1954 (Xenakis 2003, p. 164), Xenakis présente un « tableau des durées » qui définit une série de valeurs de fractions de la noire (exprimées sous forme décimale) :

0,05 ; 0,08 ; 0,13 ; 0,21 ; 0,34 ; 0,55 ; 0,89 ; 1,44 ; 2,33.

Ces différentes valeurs sont mises chacune en relation avec un intervalle de hauteurs défini par sa composition en demi-tons⁴⁰ (exemple 13). La question demeure néanmoins de déterminer la notion exacte que recouvre ce terme de « durée » : comment, à moins d'une très grande complexité de l'écriture rythmique, de telles valeurs peuvent-elles correspondre à des durées propres de sons ? Quelle valeur musicale pourrait exprimer une durée égale à 0,05 ou 0,08 noire ?

³⁶ Avec le jeu des redoublements et renversements, Xenakis ramène tous les intervalles aux six intervalles compris entre la seconde mineure et le triton.

³⁷ Cette phrase est ambiguë dans la mesure où les progressions logarithmique et géométrique sont très différentes. En fait, c'est la progression des fréquences par demi-tons exprimés en Hertz, qui augmente *géométriquement*, mais Xenakis ne travaille pas sur cette échelle, mais sur celle de l'accroissement des intervalles (de 1 à 6 demi-tons). Pour plus de détails, voir (Barthel-Calvet 2003, p. 132).

³⁸ En fait, la valeur exacte du Nombre d'Or est : $\frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1,618$. 0,618 correspond au coefficient décroissant.

³⁹ Le texte est de Xenakis, cité dans Le Corbusier 1955, rééd. en 1983, p. 341-344 et encore dans Xenakis 2006, p.79-80.

⁴⁰ Dans le tableau apparaissent quatre classes de durées : au fur et à mesure de cette section (mes 104-150), Xenakis décale régulièrement les correspondances entre intervalles de hauteurs et de durées, en augmentant progressivement ces derniers, vraisemblablement dans un souci de renouvellement et de dynamisme.

En fait, dans d'autres passages du même texte, Xenakis définit un concept rythmique nouveau qu'il nomme « durée différentielle » et à laquelle de telles valeurs s'avèrent plus probablement susceptibles de correspondre — même si il n'emploie pas explicitement ce terme lorsqu'il présente ce tableau. Cette notion de « durée différentielle » définit l'intervalle de temps qui sépare les attaques de deux sons successifs⁴¹, *même en contexte polyphonique et quelle que soit la ligne musicale à laquelle appartiennent ces deux sons*. Dans le cas d'une monodie, chaque son commençant lorsque le précédent s'achève, la spécificité de cette notion n'apparaît pas et celle-ci se confond avec la durée propres des sons. Dans le cas d'une polyphonie, en revanche, elle devient une entité distincte de la durée propre (voir exemple 1).

Prenons l'exemple des violoncelles aux mesures 106–107 :

Les intervalles de hauteur à considérer sont :

sol dièse – *do* ; *do* – *do* dièse ; *do* dièse – *si* ; *si* – *sol* ; *sol* – *fa* dièse, soit successivement 4, 1, 2, 4 et 1 demi-ton.

Dans le tableau suivant on peut comparer les valeurs réelles observées aux valeurs théoriques :

Intervalles	Nombre de demi-tons	Durée différentielle observée	Durée différentielle théorique
<i>sol</i> dièse– <i>do</i>	4	0,20	0,21
<i>do</i> – <i>do</i> dièse	1	0,66 - 0,6 = 0,06	0,05
<i>do</i> dièse– <i>si</i>	2	0,75 - 0,66 = 0,09	0,08
<i>si</i> – <i>sol</i>	4	<u>0,45</u>	0,21
<i>sol</i> – <i>fa</i> dièse	1	0,25 - 0,2 = 0,05	0,05

Mis à part une valeur de durée (que nous avons soulignée), les durées différentielles observées correspondent aux valeurs théoriques prévues. Il s'agit dans un certain nombre de cas de décalages extrêmement fins. Pour les obtenir, Xenakis a affecté à chaque ligne instrumentale différentes mesures (3/8, 4/16, 5/16). Les différences entre les unités de ces différentes structures métriques permettent d'arriver à de telles valeurs.

Ainsi :

0,05 = 0,25 - 0,2 correspond au décalage entre les unités des mesures 4/16 et 5/16.

0,08 = 0,33 - 0,25 à celui entre des unités des mesures 3/8 et 4/16,

0,13 = 0,33 - 0,2 à celui des unités des mesures 3/8 et 4/16.

Ces durées différentielles peuvent donc être assez facilement élaborées grâce à la superposition polymétrique mise en jeu. Ce type de structure dont *Metastasis* présente la première occurrence dans l'œuvre de Xenakis, deviendra par la suite un véritable topos de l'écriture polyphonique de ce compositeur jusqu'à la fin des années soixante-dix. Il en modifiera seulement la présentation écrite : il s'agira d'une superposition de croches, de quintolets et de triolets

⁴¹ « Dorénavant la durée [propre] d'un son n'a plus de sens dans le contexte musical. C'est sa *Durée Différentielle* par rapport à un autre son qui compte. » (Xenakis 2003, p. 186–187).

de noires avec une indication de mesure à l'armure de 2/2, communes à toutes les lignes de la polyphonie.

À cet égard, Xenakis pratique une écriture polymétrique très particulière qui se distingue de celles de ses contemporains⁴² et, par le sens des choix qu'il opère, traduit un souci manifeste d'organisation proportionnelle. Celle-ci introduit ainsi une dimension *architecturale* dans la conception — mais sans doute pas dans la perception — de l'œuvre musicale. D'ailleurs, les esquisses d'un assez grand nombre d'œuvres présentent des structures polyrythmiques sous forme de traits successifs en strates superposées, dont le tracé sur papier millimétré fixe de manière très précise les décalages.

Inversement, on peut se demander si les pans de verre ondulatoires du couvent de la Tourette ne constituent pas — et là, indéniablement sur le plan perceptuel — un exemple de *temporalisation* de l'œuvre architecturale. En effet, le déploiement linéaire et l'évolution ondulatoire, mais irrégulière, des pans de verre, casse toute possibilité de perception globale et en favorise, au contraire, une *lecture* linéaire. Cette lecture peut se faire, au gré du spectateur, de gauche à droite ou de droite à gauche, de manière « monodique » (étage par étage) ou « polyphonique » (trois niveaux à la fois) ; parce que cette lecture horizontale ne peut être instantanée, qu'elle prend un certain temps, elle introduit une dimension temporelle dans la perception et l'appréciation de cette réalisation architecturale⁴³.

L'EXPLORATION DU CONTINU : LES FAISCEAUX DE GLISSANDI DE *METASTASIS* ET LE PAVILLON PHILIPS

Véritable paradigme de la création xenakienne, l'exploration du continu — prenant la forme sonore du glissando et celle, plastique, de la surface dépourvue de ruptures angulaires — atteste d'un va-et-vient permanent entre les deux modes de représentation. Ainsi, les faisceaux de glissandi de *Metastasis* ont été conçus graphiquement, comme le montre la partition initiale de l'œuvre⁴⁴, et par la suite, Xenakis s'est inspiré de ces glissandi pour concevoir les surfaces réglées du *Pavillon Philips*⁴⁵. Si ces faits sont bien connus à l'heure actuelle⁴⁶, il semble intéressant de s'interroger sur la manière dont ces transferts poétiques successifs s'opèrent et dont ce concept de continuité s'inscrit dans chaque substrat spécifique, sonore ou architectural.

⁴² György Ligeti travaille aussi fréquemment sur des structures polymétriques, mais il y superpose des subdivisions très fines (par trois, quatre, cinq, six, sept, huit, etc.), car il s'inscrit dans un projet poétique d'illusion sonore, radicalement différent de celui de Xenakis.

⁴³ Cet aspect est encore plus net pour la petite structure de pans de verre ondulatoires de la cour intérieure, car, du fait du manque de recul, leur perception dépend du temps de la déambulation.

⁴⁴ Cf. dossier d'œuvre 1/1 à 1/5, BnF, Fonds Xenakis.

⁴⁵ « Mes propres recherches musicales sur les sons à variation continue en fonction du temps (Le Corbusier 1983, *Modulor 2*, dernières pages) me faisaient pencher pour des structures géométriques à base de droites : des surfaces réglées » (Xenakis 1976, p. 130) ; « Pour le Pavillon Philips, j'ai réalisé les mêmes idées de base que dans *Metastasis* : comme dans la musique, je m'étais intéressé au problème d'aller d'un point à un autre sans interrompre la continuité » (Varga 1996, p. 24, cité par Kanach 2006, p. 145).

⁴⁶ Cf. infra références bibliographiques consacrées au Pavillon Philips.

Les polyphonies de glissandi

La continuité du phénomène sonore matérialisée par l'ouverture — puis la fermeture — de l'éventail des glissandi de *Metastasis* a fait l'effet d'une véritable bombe lors de sa création le 16 octobre 1955 au Festival de Donaueschingen, alors très orienté en faveur du mouvement sériel⁴⁷. Cette structure développait un aspect sonore d'origine graphique extrêmement novateur à l'époque (exemples 14a et b). Xenakis, en effet, n'y utilisait pas seulement l'espace cartésien à deux dimensions hauteurs / temps comme convention de représentation, mais en extrapolait les propriétés graphiques intrinsèques pour les appliquer à l'univers des sons. Par la suite, il développera ce type de transfert du visuel au sonore avec la table à dessin électronique de l'UPIC⁴⁸. D'emblée, avec les polyphonies inouïes (au sens étymologique du terme) de cette œuvre, l'auditeur est confronté au noyau problématique de la poïétique xenakienne, à savoir la richesse et les limitations de la transposition de codes et de modes de représentation d'un domaine à un autre, dans le cas présent du graphique au sonore.

L'originalité de la démarche xenakienne réside sans doute dans le fait qu'il utilise le glissando — assimilé géométriquement à une droite — dans des superpositions polyphoniques aux configurations graphiques très diversifiées. Les principaux paramètres de variation y sont les points de départ et d'arrivée dans l'espace hauteurs / temps et la pente des glissandi. Dans *Metastasis*, ces configurations se répartissent en deux grands groupes : d'une part, des superpositions de structures parfaitement rectilignes, divergentes ou convergentes (début et fin de l'œuvre) ; d'autre part, des surfaces courbes réglées qui connaîtront comme on le sait, des applications architecturales très fructueuses, en particulier dans la conception du Pavillon Philips.

L'exemple de la fermeture de l'éventail (mesures 317 à 333 ; voir exemples 14a et b) constitue un cas très représentatif de structures rectilignes. Il est intéressant à cet égard d'y évaluer les pentes des glissandi, c'est-à-dire les différentes vitesses des mouvements du son dans l'espace hauteur-temps⁴⁹. Aux mesures 317 à 321, les glissandi des violons I et du premier violon II partent de différentes notes (régulièrement réparties tous les demi-tons) et convergent sur un *ré* dièse aigu. Pour un tempo de 50 à la noire, on observe donc des vitesses de :

⁴⁷ La veille avait eu lieu la création du *Livre pour quatuor* de Pierre Boulez et du *Quintette à la mémoire de Webern* de Henri Pousseur.

⁴⁸ Connu du grand public sous le nom de « machine à composer de Xenakis », l'UPIC (Unité Polyagogique et Informatique du CEMAMu) permet de tracer sur un repère orthonormé hauteurs / temps ou timbres / temps des variations de ces différents paramètres sans avoir à passer par une notation solfégique. Cette table à dessin électronique est couplée à un convertisseur numérique, ce qui permet d'entendre en temps réel (différé pour les premières versions de la machine) le résultat sonore de ce que l'on a tracé.

⁴⁹ Xenakis, en effet, assimile le glissando à la notion physique de vitesse. Comme il le déclare dans *Musiques Formelles* (à propos des glissandi de *Pithoprakta*) : « Ce son glissé peut être assimilé sensoriellement et physiquement à la notion mathématique de vitesse. D'où une représentation vectorielle à une dimension, la grandeur scalaire du vecteur étant donnée par l'hypothénuse du triangle rectangle dont les deux autres côtés sont la durée et l'intervalle mélodique parcouru » (Xenakis 1981, p. 27).

-4,17 demi-tons / seconde,
 -3,96 « « ,
 -3,75 « « ,
 -3,54 « « , etc.

Le différentiel étant constamment de 0,21 demi-ton par seconde, on en déduit une progression linéaire des vitesses de ces glissandi superposés.

Les violons 2, en revanche, présentent une superposition moins systématique, qui correspond à une irrégularité locale.

Les surfaces courbes réglées constituent un cas encore plus intéressant au regard de la problématique du transfert du visuel à auditif. Il s'agit de configurations graphiques dans lesquelles la juxtaposition de droites pivotant les unes par rapport aux autres trace un profil courbe (exemple 15a). Transcrivant ces configurations dans l'espace à deux dimensions hauteurs / temps, Xenakis obtient une superposition de glissandi qui s'entrecroisent (exemple 15b). Les très légers décalages entre leurs points d'arrivée sont obtenus grâce à la superposition de différentes structures métriques (quintolets, triolets, etc.). Dans une telle transposition du visuel à l'auditif, se pose néanmoins la question suivante : en quoi cette structure est-elle audible ? Peut-on en entendre la courbure ? Vraisemblablement non, car la superposition des glissandi et leur égalité de perception ne permettent pas à l'oreille de privilégier un contour ; le blanc de l'espace vide ne peut alors apparaître comme silence.

Nous l'évoquions dans une communication au colloque international consacré à Xenakis qui s'est tenu à Athènes en mai 2005 (Barthel-Calvet 2005)⁵⁰ : *Syrmos*, œuvre musicale dont l'élaboration est contemporaine de celle du Pavillon Philips, présente une structure qui illustre de manière très démonstrative les limites de pertinence du transfert du graphique au sonore. Il s'agit d'une superposition asymétrique de glissandi dont le profil général n'est pas sans analogie avec une des « pointes » du Pavillon Philips. Or certains des glissandi qui, graphiquement, jouent un grand rôle dans la suggestion de la courbure de l'espace n'ont pas de fonction équivalente sur le plan sonore. Cela est dû au fait que l'organisation hiérarchique des éléments par rapport à la structure globale n'est pas équivalente dans les domaines visuels et auditifs.

Ces véritables « géométries sonores » mises en œuvre par Xenakis représentent sans aucun doute une réalisation du rêve varésien de « plans » et « volumes », même si elle achoppe sur la difficulté d'établir une analogie exacte entre visuel et sonore. Il semble que ce soit surtout le cas pour les structures de volumes (en trois dimensions), réduites sur un plan (deux dimensions) par le jeu de l'illusion graphique de la perspective. Cette dernière, en effet, n'a pas d'équivalent sur le plan auditif, et la hiérarchie des éléments graphiques qu'elle organise ne peut être reconstituée par l'oreille.

⁵⁰ Noter que les exemples n'y figurent pas.

Le Pavillon Philips

Le Pavillon Philips⁵¹ (exemple 16) constitue en quelque sorte le premier exemple de la série des « Polytopes », ces réalisations à la fois architecturales, lumineuses et musicales — « multimédia » — qui comptent parmi les contributions les plus originales de Xenakis à l'art du vingtième siècle. Dans ce qui suit, nous nous attacherons surtout à y analyser le transfert de modèles, d'une partition graphique à un volume en trois dimensions.

Début 1956, la firme Philips s'adresse à Le Corbusier pour la construction de leur pavillon à l'Exposition Universelle de Bruxelles en 1958, pavillon dans lequel elle souhaite faire la démonstration de la qualité de ses produits, tant en matière de projection lumineuse que de son et de technique électronique. En réponse, Le Corbusier propose de faire ce qu'il appelle une « bouteille » dans laquelle seraient réalisés des effets de lumière, de couleurs, d'images projetées et de sons diffusés, réunis en une synthèse qu'il dénomme *Poème Électronique* ; il exige que le compositeur retenu soit Varèse (bien que Philips eût préféré Britten ou Tomasi) ; une courte introduction musicale est également confiée à Xenakis : ce sera *Concret PH*.

L'idée initiale de Le Corbusier était une structure creuse de forme libre, en ciment projeté sur du treillis métallique et suspendue à une charpente, mais Xenakis, auquel son patron, très occupé par d'autres chantiers, délègue toute l'élaboration du projet, va lui donner un tour en fait beaucoup plus audacieux, en créant un des premiers exemples de structures autoportantes en béton précontraint.

Partant de différentes recherches architecturales sur le béton armé⁵² et de schémas graphiques utilisés dans *Metastasis* (voir exemples 14a et 15a), il développe en trois dimensions son travail sur les surfaces courbes réglées engendrées par des droites et élabore différentes configurations de paraboloïdes hyperboliques et conoïdes (exemple 16). De telles surfaces avaient déjà été étudiées et utilisées pour des toitures, mais jamais seules, sans parois verticales. L'innovation de Xenakis marque ainsi une rupture avec la pratique architecturale antérieure : « C'était ainsi une occasion unique d'imaginer un édifice constitué dans sa structure et dans sa forme seulement par des paraboloïdes hyperboliques et par des conoïdes et qui soit autoportant. » (Xenakis 1976, p. 131)

L'élaboration du projet fut assez longue, comme en attestent les différentes maquettes proposées successivement⁵³, et se heurta également à la difficulté technique — finalement résolue — que constituait la gageure de l'utilisation du béton précontraint sans coffrage.

Ainsi, à travers des réalisations très originales touchant différents domaines artistiques, l'exploration de la notion de continuum par Xenakis a connu un cheminement assez étonnant : partant du graphique pour renouveler

⁵¹ La bibliographie concernant ce monument est abondante. Renonçant à l'exhaustivité, nous mentionnerons la référence la plus ancienne : Xenakis 1958-1959 ; Bridoux-Michel 2001 ; Lootsma 1986 ; Sterken 2001 et Xenakis 2006, p. 138-179.

⁵² Rappelons le mémoire de fin d'études à l'École Polytechnique d'Athènes, intitulé « Le béton armé » et soutenu par Xenakis le 16 janvier 1947 (BnF, Fonds Xenakis, dossier X(A) 3-7).

⁵³ Voir Xenakis 1958-1959 et 1976, p. 123-142.

l'appréhension du monde sonore, il utilise ensuite cette expérience musicale pour bouleverser les données du geste architectural, avec la remise en question du « dogme » du mur vertical perpendiculaire au sol.

Néanmoins, comme nous l'avons vu avec les exemples tirés de *Metastasis*, la différence d'organisation perceptuelle des sens de l'ouïe et de la vue ne permet pas au processus de transfert poétique d'obtenir la même hiérarchie des structures dans le domaine musical et plastique : le substrat impose des propriétés intrinsèques et irréductibles qui modulent celles de la structure transférée et celle-ci n'apparaît pas alors comme similaire dans les deux domaines. Il en résulte néanmoins une configuration extrêmement novatrice et surprenante par rapport aux attentes perceptives et esthétiques de l'auditeur ou du spectateur.

LA CINÉMATIQUE SONORE⁵⁴ DE XENAKIS : LA FUSION DE L'ESPACE ET DU SON

Au cours de la seconde moitié du vingtième siècle, l'espace est devenu une véritable dimension de l'écriture musicale⁵⁵ et Xenakis y apporte une contribution essentielle qui apparaît comme le point d'aboutissement de ses recherches de convergence poétique entre réalisations architecturales et musicales. Il développe en particulier, avec la *vitesse réelle* de déplacement du son dans l'espace, un nouveau paramètre musical où fusionnent les deux domaines, spatial et temporel. Celle-ci apparaît comme une extension de la notion de continuité qu'il avait auparavant abondamment mise en œuvre.

Pressentie par Varèse, l'exploration de l'espace est évidemment liée aux mutations technologiques que connaît la création musicale, en particulier le développement de l'électro-acoustique. C'est d'ailleurs avec sa première œuvre de ce type, *Concret PH*, que Xenakis aborde la spatialisation musicale⁵⁶. Celle-ci va connaître un développement particulièrement original avec les *Polytopes*⁵⁷. Dans la deuxième moitié des années soixante, Xenakis va également beaucoup explorer cette dimension spatiale dans sa musique instrumentale : *Persephassa*⁵⁸ (1969) pour six percussionnistes, mais aussi des œuvres orchestrales comme *Terretektorh* (1965–66) et *Nomos Gamma* (1968) présentent des dispositifs circulaires, enserrant le public ou le mêlant aux instrumentistes ; dans tous les cas, le rapport de frontalité musiciens / public est rompu. Xenakis recourra encore à la spatialisation du son, mais de manière moins radicale, dans *Windungen* (1976) et *Alax* (1985). Nous nous attacherons à l'étude du déploiement du son dans l'espace, plus particulièrement dans *Persephassa* (où le public est au centre du dispositif instrumental) et dans *Windungen* (où le cercle des violoncellistes est face au public).

⁵⁴ Xenakis emploie ce terme dans la préface de *Persephassa* (1969) et dans Durney, 1970, p. 49.

⁵⁵ À ce sujet, voir entre autres : Bayer, 1987 ; Harley, 1994a, 1994b, La Motte-Haber, 2000.

⁵⁶ Voir Bridoux-Michel 2005.

⁵⁷ *Polytope de Montréal* (1967), *Hibiki-Hana-Ma* (1970), *Polytope de Cluny* (1972), *Polytope de Mycènes* (1978). Voir Revault d'Allones 1975. Voir également l'étude qui en est faite par Da Silva Santana 1998, plus particulièrement sur les Polytopes : p 166–184.

⁵⁸ Voir Da Silva Santana 1998, p. 144–164 ; voir également Barthel-Calvet 2000, p. 220–224 et p. 425–434.

La spatialisation du son dans *Persephassa*

Dans cette œuvre, les six percussionnistes sont disposés en anneau autour du public, qui se trouve ainsi enserré à la fois physiquement et acoustiquement. Chacun d'entre eux est doté du même instrumentarium, assez fourni (peaux, bois et métal)⁵⁹ ; on peut donc entendre le même timbre en six points différents et donc avoir l'illusion, si les percussionnistes jouent en enchaîné, que ce timbre se déplace d'un point à un autre de l'anneau. Nous y avons relevé deux passages qui présentent chacun un mode d'appropriation musicale de l'espace particulièrement intéressant.

La deuxième section de *Persephassa* (mesures 62 à 144) développe un scénario général d'accélération non régulière des événements sonores, par resserrement progressif des impacts de chaque ligne de la texture. Celui-ci se double également d'une accélération des « déplacements » des timbres (passant d'un percussionniste à l'autre) et donc du mouvement du son, ou plutôt de son illusion.

Ce scénario passe par les phases successives suivantes :

- alternance entre moments de répartition circulaire des six instrumentistes et moments de concentration en un seul point (un seul percussionniste joue les six instruments),
- rotation régulière du point de focalisation,
- regroupement d'un même timbre sur un axe diamétral,
- répartition alternative sur un demi-cercle, puis l'autre,
- répartition à nouveau circulaire, rotations régulières au début, puis entropie croissante (exemple 17).

Ces déplacements de timbres très définis et donc aisément reconnaissables donnent naissance à une véritable « chorégraphie » du son dans l'espace, qui évolue selon une accélération et une entropie croissante. Par rapport à la fin de la même œuvre ou à celle de *Nomos Gamma* qui mettent en espace un continuum sonore, l'originalité de ce passage tient à la discontinuité de sa texture musicale. L'« écriture spatiale » prend alors une fonction de « lecture » de la polyrythmie et en clarifie la perception.

La section finale de *Persephassa*, baptisée « tourniquet » par les Percussions de Strasbourg, ses créateurs, présente une accélération considérable et par paliers du tempo, accélération débouchant sur un arrêt brusque. Les instruments entrent progressivement, alternant les sens de rotation et commençant leurs rotations en différents points du cercle (exemple 18) : les toms aigus commencent en A et « tournent » dans le sens antihoraire ; les simandres métalliques commencent en F une rotation dans le sens horaire et les cymbales en D, dans le sens antihoraire. On aboutit à une superposition de sept lignes dont une

⁵⁹ Il ne faut pas se méprendre sur les différences d'instrumentarium indiquées sur la partition. Comme nous l'ont confirmé Claude Ricou et Gabriel Bouchet, créateurs de cette œuvre, Xenakis voulait des timbres homogènes pour les six percussionnistes, mais il a dû se débrouiller avec le matériel que possédaient à l'époque les Percussions de Strasbourg ; d'où l'emploi de tambours ou de caisses claires sans timbres pour se rapprocher de la sonorité des toms ou bongos.

seule peau ; partant du tom aigu, celle-ci est régulièrement substituée par une autre, de plus en plus grave.

Xenakis y résout le problème de la continuité sonore, dans le passage d'un timbre d'un instrumentiste à un autre, en transcrivant en notation musicale un procédé qu'il a déjà employé dans ses œuvres électro-acoustiques, dès *Concret PH* : le crescendo sur roulement d'un percussionniste pendant le decrescendo d'un autre correspond à l'ouverture progressive du potentiomètre d'un haut-parleur pendant la fermeture d'un autre, et permet de ne pas avoir de « trou » dans le passage du son d'un site à un autre.

Dans ce « tourniquet », le phénomène de continuité sonore rend caduques les paramètres rythmiques habituels : la notion de durée, par exemple, n'a plus de pertinence. En revanche, le principal facteur de variation est l'augmentation progressive, mais non régulière du tempo et donc de la rotation du son : la vitesse apparaît donc, par ses variations, comme un nouvel instrument de la mesure du temps. Dans ce cas particulier, il s'agit d'une vitesse angulaire qui augmente par paliers, à chaque changement de tempo ; au début, le son tourne très lentement et accomplit une révolution complète en 12 secondes, pour finir à 1,5 seconde ! L'augmentation de la vitesse est évaluée en calculant l'accélération angulaire : celle-ci est assez longtemps constante, puis progresse nettement (exemple 19) ; la rupture sur laquelle débouche le vortex sonore va être ressentie, du fait de cette nette accélération, d'autant plus brutalement.

Ces deux exemples extraits de *Persephassa* traduisent des modes différents d'articulation des domaines spatial et sonore : dans le premier cas, l'espace s'avère un facteur de lisibilité de la structure sonore ; dans l'autre, un nouveau paramètre musical apparaît, la vitesse, à la croisée des dimensions spatiale et temporelle. Ses variations, orientées dans cette section selon une accélération et une entropie croissante, prennent alors une véritable fonction structurelle.

La cinématique sonore de *Windungen* / *Retours*

Dans cette œuvre composée pour les douze violoncellistes de la Philharmonie de Berlin et créée en 1976, le dispositif circulaire des instrumentistes est situé face au public et non autour⁶⁰. Dans le passage central allant des mesures 66 à 117⁶¹, le travail de cinématique sonore connaît des développements insoupçonnés, puisque Xenakis y combine la vitesse métaphorique du son continu dans l'espace hauteurs / temps et la vitesse réelle de déplacement du son dans un espace réel, privilégiant, il faut le dire, deux dimensions.

Le mouvement du son parcourt la totalité du cercle, en un mouvement de rotation continue, dans le sens antihoraire. La structure sonore déployée sur cet espace de rotation est constituée d'un, puis deux glissandi perpétuels (exemple 20), dessinant dans l'espace hauteur/temps une sinusoïde dont les points extrêmes ne varient pas (respectivement *do* dièse – *fa* et *si* – *si*). L'auditeur est donc confronté à une structure polyphonique mobile dans l'espace, le mouvement de va-et-vient continu des hauteurs se combinant avec celui de la giration spa-

⁶⁰ Voir Da Silva Santana 1998, p. 54–65.

⁶¹ Voir pour une analyse détaillée : Barthel-Calvet 2005, p. 179–181.

tiale. La continuité sonore dans l'espace réel, obtenue par un procédé de tuilage comparable à celui du « tourniquet » de *Persephassa*, est donc liée à celle des glissandi dans l'espace métaphorique hauteurs/temps. Xenakis élabore ainsi une cinématique sonore qui met en œuvre deux types de vitesses et leurs variations : la vitesse comme variation continue de la hauteur en fonction du temps (glissando) et la vitesse comme mesure du mouvement du son dans l'espace géométrique réel.

Les variations — non concomitantes — de ces deux vitesses l'une par rapport à l'autre vont induire un certain nombre de répercussions : sur les combinaisons des deux structures de glissandi (en particulier le sens de leur pente, ascendant ou descendant), sur la perception du dispositif géométrique, et enfin, sur celle des intervalles parcourus par rotation.

Ces variations vont ainsi aboutir à des configurations géométriques particulières⁶² :

- deux glissandi de sens opposé de chaque côté du cercle,
- deux glissandi de même sens (ascendant ou descendant) sur les deux côtés,
- deux glissandi de sens opposé sur un même côté,
- deux glissandi de même sens sur un même côté.

Précisons que l'on observe une prédominance en durée des moments où les glissandi sont en phase.

Le point d'inversion de la pente des glissandi varie également : au début, il correspond au point de séparation entre moitiés droite et gauche du cercle ; puis il se déplace pour se situer sur un axe à 90° de cet axe médian : le mouvement de va-et-vient des glissandi n'est plus alors frontal (avant / arrière) pour l'auditeur, mais latéral (gauche / droite).

Dans ce travail de cinématique sonore, Xenakis fait jouer tous les paramètres les uns par rapport aux autres et en tire une dynamique étonnante. Ainsi, la variation de la vitesse de rotation par rapport à la pente des glissandi se traduit par une variation du nombre de rotations par période de glissandi ou, en d'autres termes, par une variation des intervalles effectués en une rotation : au départ, les deux premières périodes durent le temps d'un tour complet ; la troisième se fait en presque deux tours ; la quatrième en quatre et la cinquième en presque six (exemple 21). Par la suite, la vitesse des glissandi augmente (une période complète est effectuée en un temps moindre), tandis que la vitesse de rotation du son diminue.

Une question s'impose alors : comment l'auditeur perçoit-il ces phénomènes ? comme une accélération de la rotation spatiale du son ou bien comme un « ralentissement » du glissando ? Dans un contexte de son parfaitement continu, abolissant tout repère temporel, le jeu des deux types de vitesse tend à gommer également les éléments de repérage spatial. La superposition de ces deux séries de glissandi induit un effet de vortex sonore dont l'accélération est

⁶² Rappelons que pour l'auditeur placé face au cercle des violoncellistes, le mouvement circulaire de sens antihoraire se traduit en fait par un mouvement de l'avant vers l'arrière sur la droite, puis de l'arrière vers l'avant sur la gauche.

renforcée à la fin, par la diminution d'amplitude des mouvements d'oscillation des glissandi. La particularité de la cinématique sonore développée dans cette section de *Windungen / Retours* tient à ce que tout élément de stabilité y soit aboli. Dans toutes ses composantes sonores, cette structure fait appel exclusivement à un principe de variation continue. Cette instabilité permanente abolit tout repère perceptuel et induit une totale *relativité* de la perception de l'espace et du temps.

Avec la cinématique sonore qu'il développe dans les années soixante, Xenakis dépasse finalement les questions d'*ubiquité* et de *transfert* pour aboutir à une *convergence poïétique* entre architecture et musique qu'il a également mise en œuvre dans ses Polytopes, mais aussi pour inventer, avec les moyens de la musique instrumentale, de nouveaux concepts musicaux comme celui de *vitesse* de déplacement du son dans l'espace. C'est là, semble-t-il, que sa démarche de recherche de principes communs à différents arts apparaît réellement innovante et féconde.

CONCLUSION

L'analyse de ces différentes œuvres de Xenakis met en évidence la présence de concepts poïétiques similaires dans des œuvres architecturales et musicales. Ceux-ci traduisent tantôt l'*ubiquité* de principes abstraits dans ces deux champs de la création xenakienne (permutations, systèmes de proportion), tantôt un processus de *transfert* d'un domaine à un autre, appliquant les propriétés intrinsèques à l'un à un substrat auquel elles sont étrangères. Il en ressort un phénomène d'*hybridation* qui libère le créateur de la prégnance du matériau ; il devient alors possible de penser chaque art sans se laisser emprisonner dans des présupposés déclarés intangibles, comme la discontinuité des structures géométriques en architecture (la rupture mur / toit) ou la nécessité d'un cadre temporel préétabli en musique. C'est encore cette hybridation qui permet l'invention et la mise en œuvre de nouveaux concepts comme celui de vitesse.

Au-delà de cette seule conjonction architecture-musique, il semble que ces processus d'hybridation s'inscrivent dans le cadre plus général des transferts de modèles pratiqués par Xenakis, qu'il s'agisse de modèles sonores, graphiques, physiques ou mathématiques⁶³. Par la relation d'analogie qu'ils établissent entre deux substrats, ces modèles mettent en évidence l'indépendance de leur structure morphologique vis-à-vis de ces derniers, quels qu'ils soient. D'une certaine manière, Xenakis rejoint en cela la conception de l'*analogie* telle qu'elle est développée par René Thom dans sa Théorie des Catastrophes⁶⁴ ; il a d'ailleurs été la cible de critiques comparables à celles qui ont visé l'épistémolo-

⁶³ Voir Mâche 1990, plus particulièrement les pages 116 à 118 consacrées à Xenakis dans le chapitre « le Modèle en musique ».

⁶⁴ Voir Thom 1989. Sans entrer dans un exposé détaillé de la Théorie des Catastrophes, rappelons que celle-ci vise à dégager un certain nombre de processus morphogénétiques, modélisables géométriquement (ou plus exactement en termes de topologie dynamique), *indépendamment des propriétés particulières* des substrats où ils apparaissent. C'est d'ailleurs ce dernier point que critique la communauté scientifique qui juge inacceptable l'idée qu'un substrat matériel n'ait aucun rôle dans les processus morphogénétiques qui l'affectent.

gue, le transfert de modèles brisant toute consubstantialité entre la matière sonore et sa configuration. La démarche du compositeur diffère cependant notablement de celle du savant, dans la mesure où elle ne repose pas sur un constat né de l'observation de phénomènes, mais sur l'engendrement d'une structure entièrement nouvelle : chez Xenakis, l'analogie acquiert une dimension créatrice qui lui confère une fécondité refusée à la science.

RÉFÉRENCES

- Baltensperger, André. 1996. *Iannis Xenakis und die stochastische Musik — Komposition im Spannungsfeld von Architektur und Mathematik*. Berne : Paul Haupt.
- Barthel-Calvet, Anne-Sylvie. 2007. « La 'simultanéité métrique' varésienne, pierre angulaire d'une nouvelle écriture du temps au vingtième siècle ». *Edgard Varèse, Du son organisé aux arts audio*, sous la dir. de Timothée Horodyski et Philippe Lalitte, 171–191. Paris : L'Harmattan.
- . 2005. « La notion de vitesse chez Xenakis ». *International Symposium Iannis Xenakis*, Proceedings, Athènes, mai 2005, 177–192. En ligne : <http://www.iannis-xenakis.org/fxe/actus/symposium.html>.
- . 2003. « MÉTASTASSIS-Analyse — Un texte inédit de Iannis Xenakis sur *Metastasis* ». *Revue de Musicologie* 89, n° 1 : 129–187.
- . Publication prévue en 2012. « The Messiaen-Xenakis'conjunction ». *Olivier Messiaen : Technique and Influence*, sous la dir. de Christopher Dingle et Robert Fallon. Farnham : Ashgate.
- . 2001. « Temps et rythme chez Xenakis : le paradoxe de l'architecte ». *Portrait(s) de Iannis Xenakis*, sous la dir. de François-Bernard Mâche, 159–169. Paris : BnF.
- . 2000. *Le rythme dans l'œuvre et la pensée de Iannis Xenakis*. Paris : École des Hautes Études en Sciences Sociales.
- Bayer, Francis. 1987. *De Schönberg à Cage — Essai sur la notion d'espace sonore dans la musique contemporaine*. Paris : Klincksieck.
- Boulez, Pierre. 1995. « Éventuellement ». *Points de repère I- Imaginer*, sous la dir. de Jean-Jacques Nattiez, 263–295. Paris : Bourgois.
- Bridoux-Michel, Séverine-Alice. 2005. « Autour de Concret PH ». *International Symposium Iannis Xenakis*, Proceedings, Athènes, mai 2005, 109–120. En ligne : <http://www.iannis-xenakis.org/Articles/Bridoux.pdf>.
- . 2001. « Croisement disciplinaire, Architecture/Musique. Le Pavillon Philips de l'Exposition Bruxelles' 58 ». *Cahiers thématiques. Architecture Histoire/Conception* n° 1 : 210–219.
- La Motte-Haber, Helga de. 2000. « Raum-Zeit als musikalische Dimension », *Zeit und Raum in Musik und Bildender Kunst*, sous la dir. de Tatjana Böhme et Klaus Mehner, Cologne : Böhlau.
- Le Corbusier. 1983. *Le Modulor. Essai sur une mesure harmonique à l'échelle humaine applicable universellement à l'architecture et à la mécanique ; Modulor 2. La parole est aux usagers*. Paris : L'Architecture d'Aujourd'hui. Première édition : 1950 et 1955.

- Da Silva Santana, Helena Maria. 1998. *L'orchestration chez Iannis Xenakis : l'espace et le rythme fonctions du timbre*. Villeneuve d'Ascq : Presses Universitaires du Septentrion.
- Durney, Daniel. 1970. « Rencontres avec Iannis Xenakis », *Musique en jeu* n° 1. Paris : Seuil, nov. 1970, 46–65.
- Ferro, Sergio, Chérif Kebbal, Philippe Potié et Cyrille Simonnet (dir.). 1988. *Le Corbusier : Le Couvent de La Tourette*. Marseille : Parenthèses.
- Harley, Maria. 1994a. « Spatial Sound Movement in the Instrumental Music of Iannis Xenakis », *Journal of New Music Research* n° 23, 291–312.
- . 1994b. « Musique, espace et spatialisation », *Circuits* vol. 5 n° 2, 9–20.
- Kanach, Sharon (ed.). 2006. *Musique de l'architecture*. Marseille : Parenthèses.
- Lootsma, Bart. 1986. « Poème électronique : Le Corbusier, Xenakis, Varèse ». *Le Corbusier Synthèse des Arts, Aspekte des Spätwerks 1945–1965*, sous la dir. de Thomas Kessler et Andreas Vowinkel, 111–147. Karlsruhe : Badischer Kunstverein.
- Mâche, François-Bernard. 1990. *Musique, mythe, nature ou les dauphins d'Arion*, 2^e éd. Paris : Klincksieck.
- Nicolas, François. 1988. « Le monde l'art n'est le monde du pardon », *Entretemps* n° 6 : 109–132. En ligne : <http://www.entretemps.asso.fr/Nicolas/TextesNic/Xenakis.html>.
- Revault d'Allones, Olivier. 1975. *Xenakis : les Polytopes*. Paris : Balland.
- Sterken, Sven. 2001. « À la recherche de l'espace paramétrisé. Les surfaces réglées comme thème dans l'œuvre de Iannis Xenakis ». *Présences de Iannis Xenakis*, sous la dir. de Makis Solomos, 217–224. Paris : CDMC.
- Thom, René. 1989. *Paraboles et catastrophes : entretiens sur les mathématiques, la science et la philosophie*, 2^e éd. Paris : Flammarion.
- Vandenbogaerde, Fernand. 1968. « Analyse de Nomos Alpha ». *Mathématiques et Sciences humaines* n° 24 : 35–50.
- Varga, Balint. 1996. *Conversations with Iannis Xenakis*. Londres : Faber & Faber.
- Xenakis, Iannis. 2006. *Musique de l'architecture*, sous la dir. de Sharon Kanach. Marseille : Parenthèses.
- . 1984. « The Monastery of La Tourette ». *Le Corbusier*, sous la dir. de H. Allen Brooks, 143–166. Princeton : Princeton University Press. Rééd. en 1987 et 1989. Traduction française dans Kanach, Sharon (dir.). 2006. *Musique de l'architecture*. Marseille : Parenthèses, 105–119.
- . 1981. *Musiques formelles*. Paris : Stock. Première édition : 1963.
- . 1976. « Vers une philosophie de la Musique ». *Musique-Architecture*, 71–119. Tournai : Castermann. Première édition : 1968, *Revue d'Esthétique* 21, n° 2–4 : 173–210.
- . 1958. « Genèse de l'architecture du Pavillon ». *Le Pavillon Philips à l'Exposition Universelle de Bruxelles 1958*, *Revue Technique Philips* 20, n° 1 : 2–11.

RÉSUMÉ

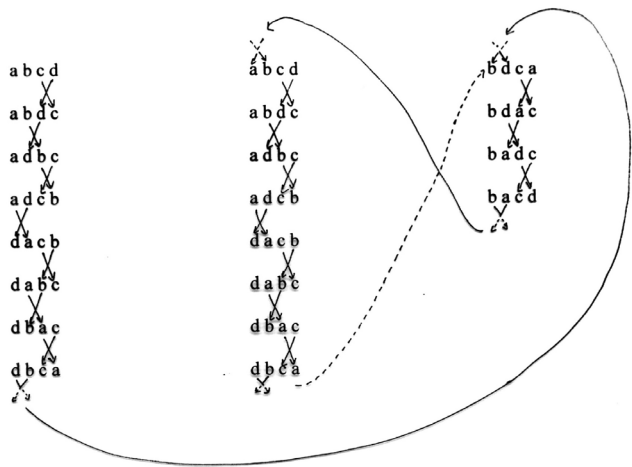
Dans les deux domaines de l'activité créatrice de Iannis Xenakis que sont la musique et l'architecture, on peut constater parfois la présence de principes identiques. Se pose alors la question de la nature des liens entre les deux champs : s'agit-il d'une pure ubiquité poétique ou bien plutôt du transfert d'un concept propre à l'un des domaines vers un autre auquel il est extrinsèque et donc facteur d'innovation ? L'étude des rapports entre les deux œuvres contemporaines que sont *Metastasis* et le *Couvent de la Tourette* permet d'y dégager deux principes y apparaissant de manière ubiquitaire : l'utilisation de permutations et l'élaboration d'un système d'organisation proportionnelle des durées et des dimensions spatiales. En revanche, les glissandi de *Metastasis* et les paraboloides hyperboliques du *Pavillon Philips* qui témoignent de l'intérêt de Xenakis pour les phénomènes de continuité, répondent à un principe de transfert qui induit des écarts perceptuels non négligeables d'un domaine à l'autre. Ultérieurement, Xenakis en viendra à travailler conjointement dans les dimensions spatiale et temporelle avec la « cinématique sonore » qu'il développa à la fois dans sa production électroacoustique et instrumentale des années soixante et soixante-dix. Dans *Persephassa* et *Windungen* qui en constituent des exemples emblématiques, la vitesse de déplacement du son dans l'espace apparaît comme un nouveau paramètre compositionnel.

ABSTRACT

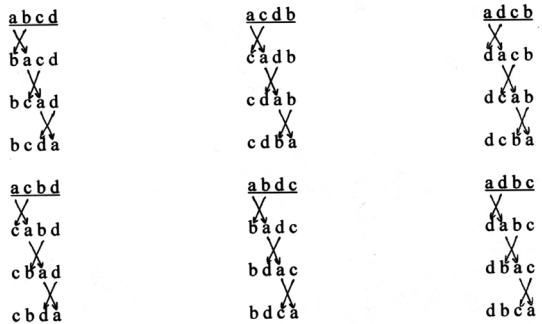
In both fields of his creative activity, music and architecture, Iannis Xenakis appears to have used sometimes identical concepts. The purpose of this paper is to inquire into the way Xenakis elaborated links between both areas: is it a pure ubiquity of the same poetical principle or rather a transfer of a genuine concept of a field to another where it is heterogeneous and totally new? Studying the connections of contemporary works as *Metastasis* and *Couvent de la Tourette*, two main principles appear as ubiquitous in both works: the use of permutations and the construction of a proportional system in spatial and temporal dimensions. On the other hand, *Metastasis*' glissandi and the *Philips Pavilion*'s hyperbolic paraboloids, which show up Xenakis' interest for continuous phenomena, are a matter of transfer and present noticeable perceptual differences from a field to another. Xenakis finally melted both spatial and temporal dimensions in the « sound cinematic » he elaborated in either electroacoustical and instrumental music in the sixties and seventies. In *Persephassa* and *Windungen*, emblematic examples of this cinematic, sound speed in space appears as a new compositional parameter.

The image shows a musical score for two staves, VI and VC, spanning measures 104 to 126. The score is annotated with various musical notations, including notes, rests, and dynamic markings. Above the staves, there are labels for serial structures and duration classes: $\frac{4}{16} = \frac{3}{8} = \frac{5}{16} = \frac{1}{4} = 50 \text{ M.M.}$, A_1^1 , $A_2^1 (+4)$, $A_3^1 (+3)_{106}$, $A_4^1 (+3)_{120}$, and $A_5^1 (+11)_{127}$. Below the staves, there are labels for duration classes: a_4 , a_1 , Ba , Bb , $Bb(+4)$, $Bc(+4)$, $Bb(+5)$, $Bd(+5)$, $Bc(+5)$, and $Bc(+3)$. The score is divided into sections by measure numbers 104, 110, 116, 120, and 127.

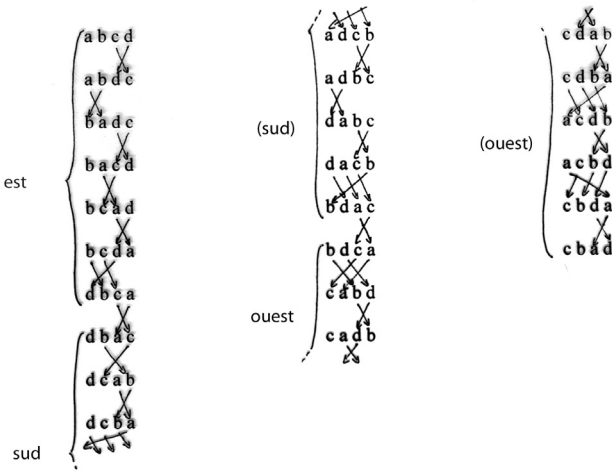
Exemple 1 : *Metastasis* : mes. 104–126 : structures sérielles et classes de durées.



Exemple 2 : Couvent de la Tourette : Pans de verre de la cour intérieure. Projet d'organisation des permutations.



Exemple 3 : Couvent de la Tourette : Pans de verre de la cour intérieure. Projet d'organisation des permutations.



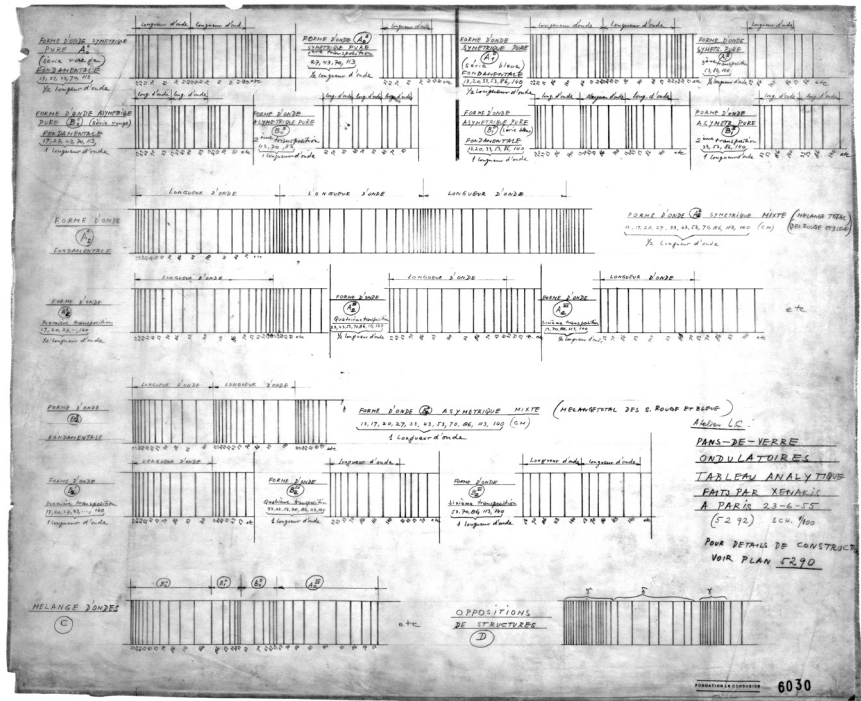
Exemple 4 : Couvent de la Tourette : Pans de verre de la cour intérieure. Permutations des pans de verre successifs : projet retenu.



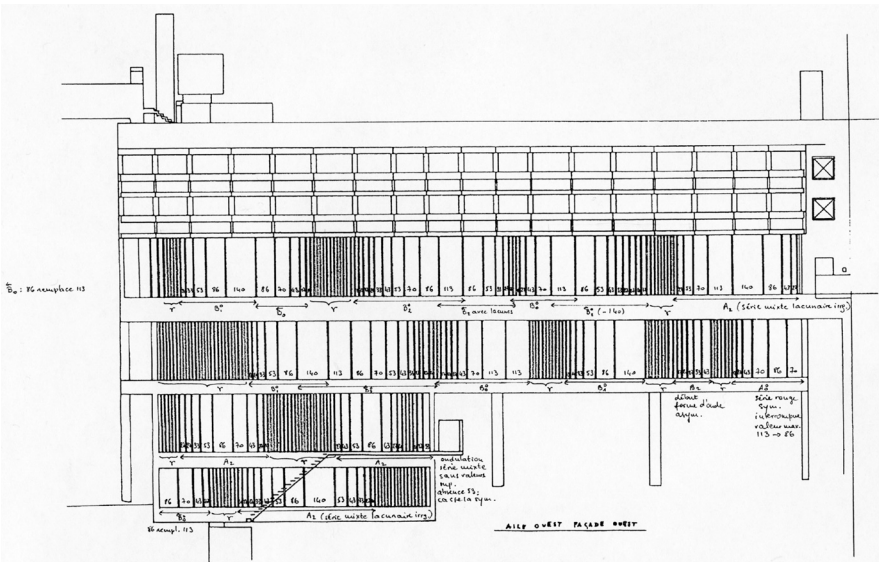
Exemple 5 : Couvent de la Tourette, façade Ouest, vue générale. (photographie Anne-Sylvie Barthel-Calvet)



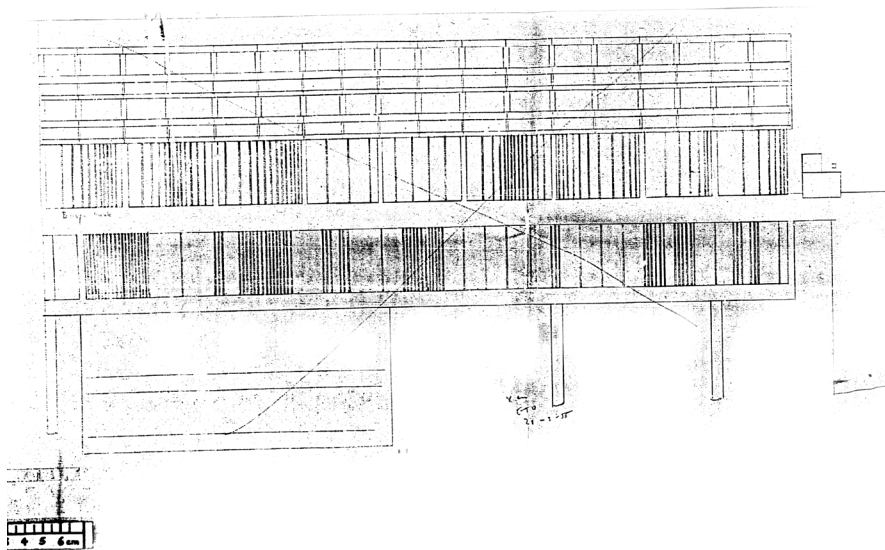
Exemple 6 : Couvent de la Tourette, façade Ouest, détails des pans de verre. (photographie Anne-Sylvie Barthel-Calvet)



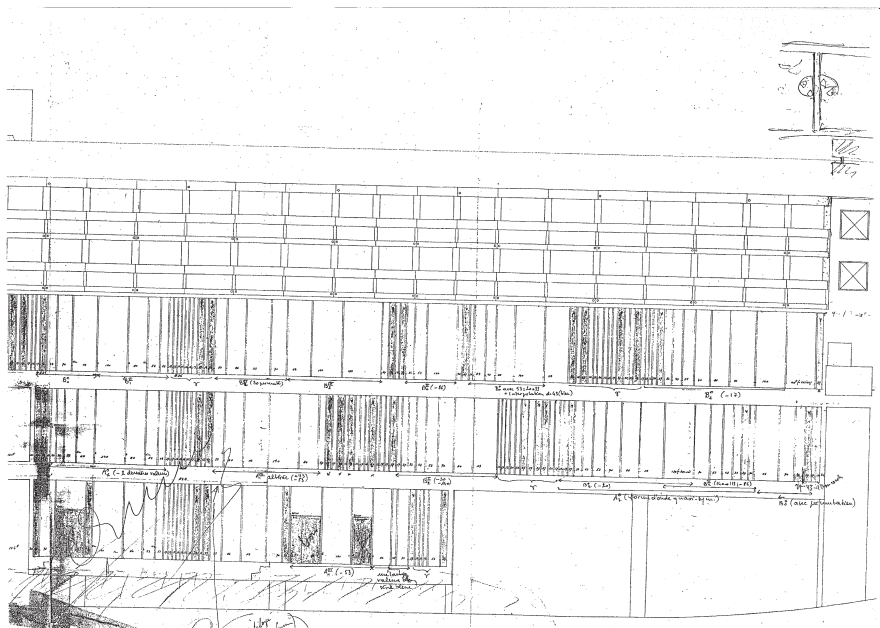
Exemple 7 : Iannis Xenakis : « Pans-de-verre ondulatoires. Tableau analytique. 1955. » © FLC - Adagp, Paris 2010



Exemple 8 : Premier projet des pans de verre ondulatoires de la façade Ouest (4/2/1955). (Source: Iannis Xenakis, 1976, Musique-Architecture, Tournai : Castermann, p. 166)



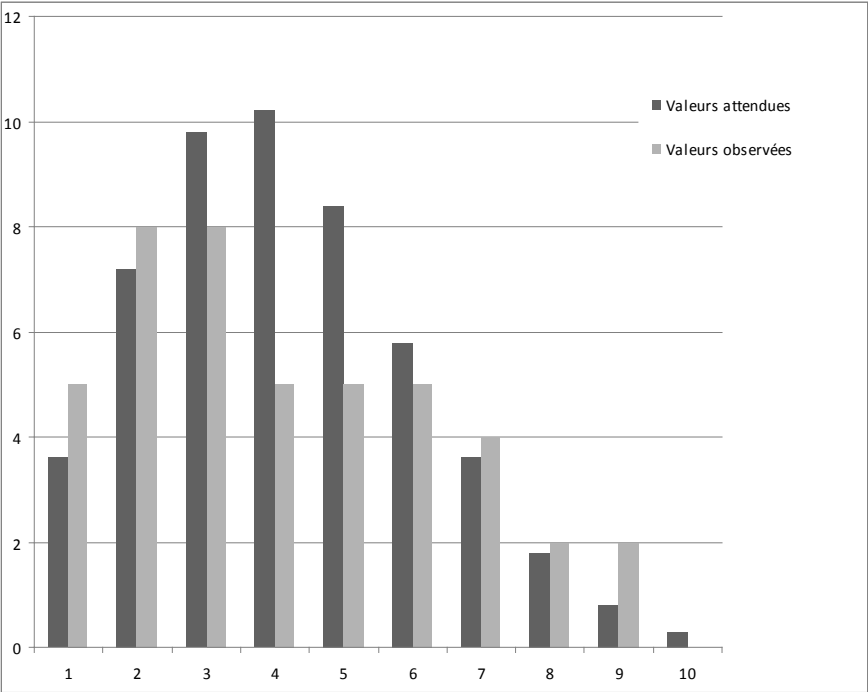
Exemple 9 : Deuxième projet des pans de verre ondulatoires de la façade Ouest (21/2/1955).
(© FLC - Adagp, Paris 2010)



Exemple 10 : Projet définitif des pans de verre ondulatoires de la façade Ouest. (Archives du Couvent de la Tourette)

Exemple 11 : Tableau des calculs de probabilités de densité des montants (pans de verre ondulatoires — façade ouest du Couvent de la Tourette)

Valeurs de densité (nb montants)	$k !$	d^k	$d^k/k !$	P_k	Fréquence = $P_k \cdot 46$	Valeurs arrondies
1	1	4,13	4,13	0,07644915	3,479666081	3,5
2	2	17,0569	8,52845	0,156206749	7,185510457	7
3	6	70,444997	11,74083283	0,215044625	9,892052729	10
4	24	290,9378376	12,1224099	0,222033575	10,21354444	10
5	120	1201,573269	10,01311058	0,183399733	8,43638771	8,5
6	720	4962,497602	6,892357781	0,126240149	5,807046873	6
7	5040	20495,1151	4,066491091	0,074481688	3,426157655	3,5
8	40320	84644,82535	2,099326026	0,038451172	1,76875389	2
9	362880	349583,1287	0,963357387	0,017644815	0,811661507	1
10	3628800	1443778,322	0,397866601	0,007287309	0,335216202	0

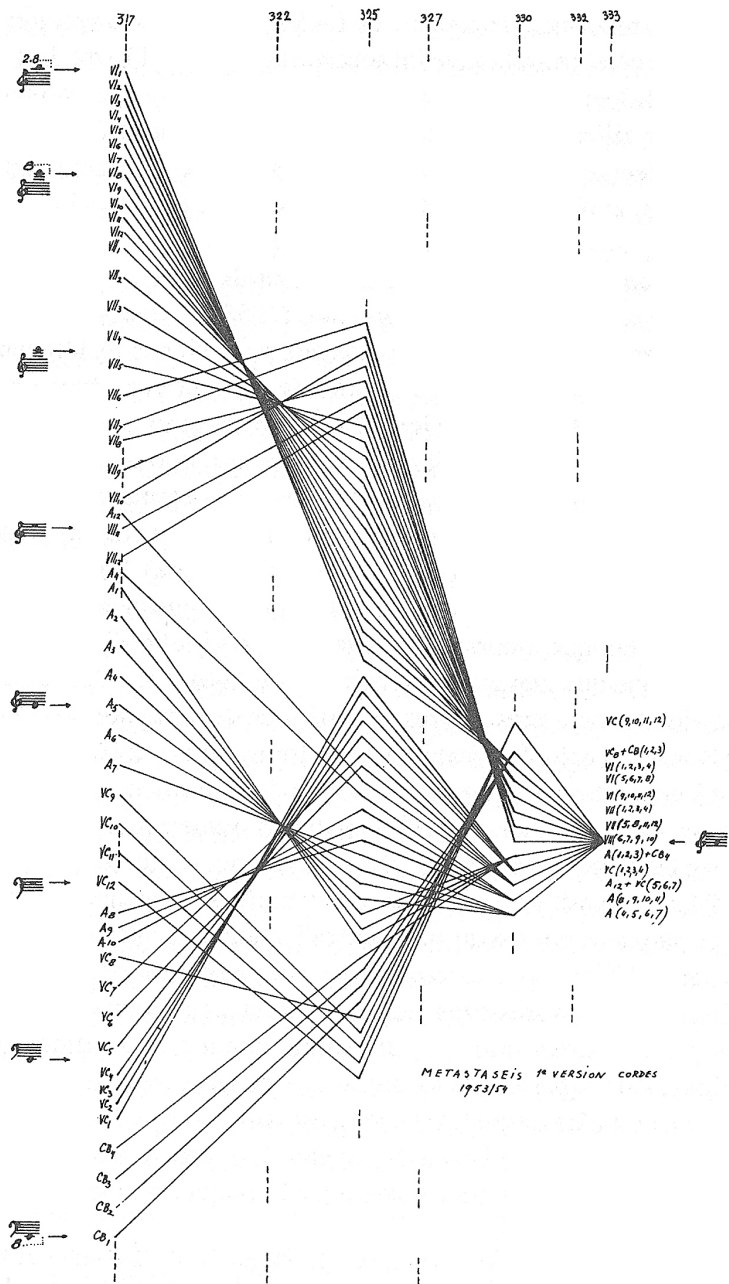


Exemple 12 : Distribution stochastique des densités des montants des pans de verre ondulatoires. (façade ouest du Couvent de la Tourette)

Exemple 13 : *Metastasis*, tableau des classes de durées

Durées (en fractions de noires)	Intervalles en 1/2 tons			
0,05				1
0,08			1	2
0,13		1	2	3
0,21	1	2	3	4
0,34	2	3	4	5
0,55	3	4	5	6
0,89	4	5	6	
1,44	5	6		
2,33	6			
classes	a4	a3	a2	a1

N. B. : ce tableau est la reprise exacte de celui donné par Xenakis en page 2 de son analyse de *Metastasis*, sous l’intitulé « tableau (ψ) ».



Exemple 14a : *Metastasis*, partition graphique des mesures 317–333. (Source : Makis Solomos, 1996, *Iannis Xenakis*, Mercuès : P.O. Editions, p. 24)

glissando

VI

317 320 325 330 335

VII

317 320 325 330 335

A

317 320 325 330 335

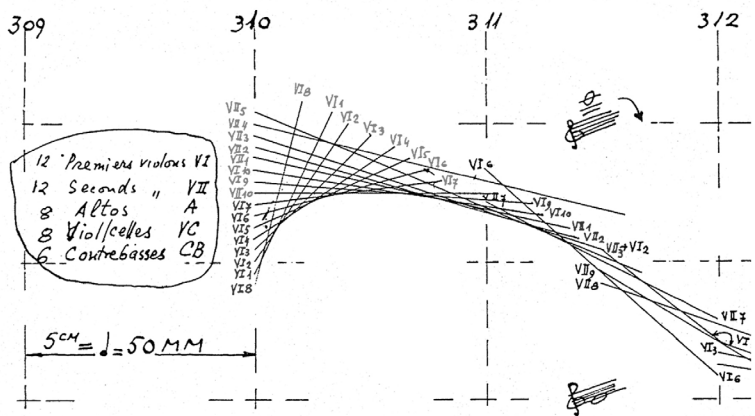
KC

317 320 325 330 335

CB

317 320 325 330 335

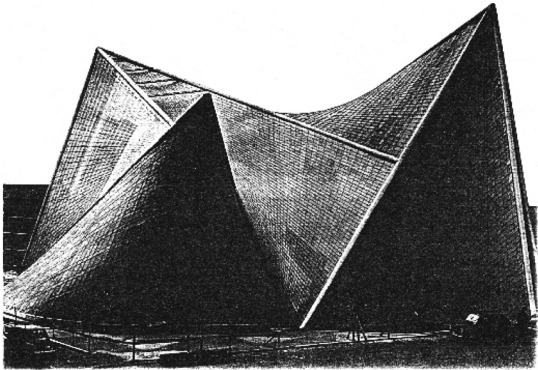
Exemple 14b : *Metastasis*, partition des mesures 317–333.



Exemple 15a : *Metastasis*, partition graphique des mesures 309-312.

Handwritten musical score for two string sections, VI and VII, measures 309-312. The score is written on ten staves for section VI and twelve staves for section VII. The notation includes various musical symbols such as notes, rests, and dynamic markings like *norm.* and *glissando*. The key signature is one sharp (F#). The time signature is 3/0. The score is divided into measures 309, 310, and 311, with measure 312 being a continuation of the previous measure.

Exemple 15b : *Metastasis*, partition des mesures 309-312.



Exemple 16 : Le Pavillon Philips de l'Exposition Universelle de Bruxelles (1958). (Source : Olivier Revault d'Allones, 1975, *Xenakis : les Polytopes*, Paris : Balland, p. 36)

Exemple 17 : *Persephassa*, mes. 62–144 : évolution des répartitions des instruments entre les 6 percussionnistes.

Mesures	grosse caisse	ton aigu	bongo aigu	timbale	ton médian	bongo 2
62-77	A	B	C	D	E	F
78-81	A	A	A	A	A	A
83-90	A	B	C	D	E	F
91-93	D	D	D	D	D	D
94-95	A	B	C	D	E	F
96-97	F	F	F	F	F	F
98	A	B	C	D	E	F
99	A	A	A	A		A
100		B	B	B	B	B
101	C	C	C	C	C	C
102		D	D	D	D	D
103	E	E	E		E	E
104-105	A	B	C	D	E	F
106-107	B	B	B	B	B	B
108-110	A	B	C	D	E	F
111	A	A	A	D	D	D
112		B	C	D	E	F
113	C	C	C	F	F	F
114	F	A	B	C	D	E
115		B	B	E	E	E
116	E	F	A	B	C	D
117	C	C	C	F	F	F
118	D	E	F	A	B	C
119	D	D	D	A	A	A
120	C	D	E	F	A	B
121/1		C	B	B	A	A
121/2		E		D		
122/1	C	C	B	B	A	A
122/2		E	F		D	
123/1		C		B	A	A
123/2	E	E	F		D	
124/1		C	B	B	A	A
124/2	E	E	F		D	D
125/1		C		E	F	A

Mesures	grosse caisse	tom aigu	bongo aigu	timbale	tom médian	bongo 2
125/2-126/1	A	B	C	D	E	F
126/2-127/1		A	B	C	D	E
127/2	E	F	A	B	C	D
128	D	E	F	A	B	C
129/1		D	E	F	A	B
129/2		C	D	E	F	A
130/1	A	B	C		E	F
130/2		A	B	C	D	E
131/1		F	A		C	D
131/2	D	E	F	A	B	C
132/1	C	D	E	F	A	B
132/2	A	B	C	D	E	F
133	B	C	D	E	F	A
134/1	A	B	C	D	E	F
134/2		D	E	F	A	B
135/1	F	A	B	C	D	E
135/2		E	F	A	B	C
136	E	F	A	B	C	D
137/1	D	E	F	A	B	C
137/2	F	A	B	C	D	E
138/1	C	D	E	F	A	B
138/2		B	C	D	E	F
139/1	B	C	D	E	F	A
139/2	B	A	F	E	D	C
140/1	A	B	C	D	E	F
140/2	C	D	E	F	A	B
141/1	F	A	B	C	D	E
141/2	D	E	F	A	B	C
142/1	E	F	A	B	C	D
142/2	E	D	B	C	F	A
143/1	D	E	F	A	B	C
143/2	F	A	C	D	B	E
144/1	C	D	E	F	A	B
144/2	A	B	C	D	E	F

Instruments focalisés en 1, 2 ou 3 points :

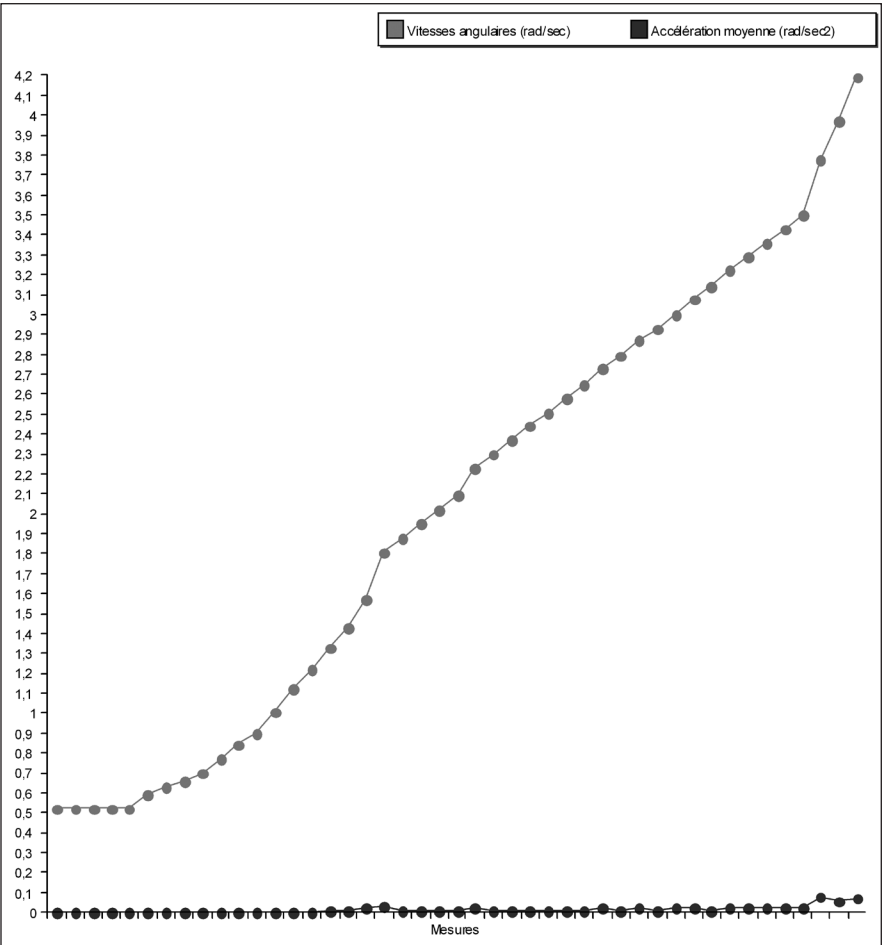
	instruments focalisés en un seul point
	instruments répartis sur deux points
	instruments répartis sur trois points (moitié gauche)
	instruments répartis sur trois points (moitié droite)

Instruments répartis sur tout l’hexagone :

	répartition originelle
	rotation de la répartition originelle
	inverse de la répartition originelle
	répartition irrégulière par rapport à la répartition originelle

Exemple 18 : *Persephassa*, mes. 352–395 : entrées et sens de rotation des différents instruments.

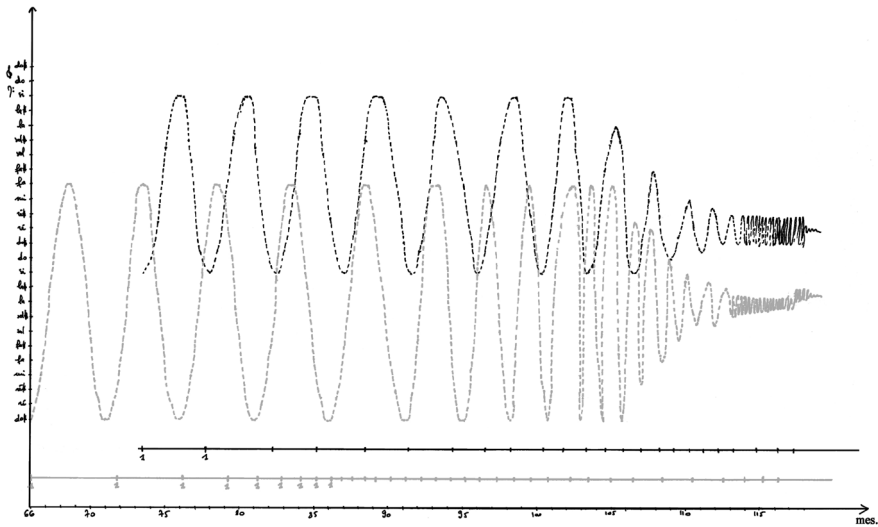
Mesures	Instruments	Sens de rotation
352 (A)	Peaux (tom aigu)	anti-horaire
354 (F)	Simandre métallique	horaire
356 (D)	Cymbales	anti-horaire
361 (F)	Gong thaï	horaire
369 (A)	Simandre de bois	anti-horaire
381 (F)	Tam-tam	horaire
395 (A)	Wood-block	anti-horaire



Exemple 19 : *Persephassa*, mes. 352–420 : graphique de l’évolution de la vitesse angulaire et de l’accélération moyenne.



Exemple 20 : Windungen/Retours, mes. 76–80.



Exemple 21 : Windungen/Retours, mes. 66–119 : graphique des durées des rotations et des périodes des glissandi.