

Analyse de *Prologue* de Gérard Grisey

par [François-Xavier Féron](#)

Résumé

Les différentes versions de l'œuvre

Prologue pour alto solo a été composée par Gérard Grisey entre avril et juillet 1976. Dédiée à l'altiste Gérard Caussé, cette œuvre fait office, comme son nom l'indique, de prologue au cycle *Les Espaces acoustiques* que le compositeur a débuté – sans penser à l'époque réaliser un cycle – avec *Périodes* (1974) pour 7 instruments suivie de, *Partiels* (1975) pour 16 ou 18 musiciens. Viendront ensuite par ordre chronologique de composition, *Prologue* (1976) pour alto seul, *Modulations* (1977-78) pour 33 musiciens, *Transitoires* (1980-81) pour grand orchestre et, enfin, *Épilogue* (1985) pour 4 cors solos et grand orchestre.

D'une durée approximative de 15 minutes, *Prologue* a été conçue de manière à pouvoir s'enchaîner parfaitement avec *Périodes*, la jonction s'opérant un peu avant la fin de l'œuvre, au niveau de la 7ème mesure du 5ème système de la dernière page de la partition. Sinon l'œuvre peut aussi être interprétée intégralement comme une pièce autonome, et cela suivant trois versions, toutes basées sur la même partition instrumentale : *Prologue* pour alto seul, *Prologue* pour alto et résonateurs acoustiques et *Prologue* pour alto et électronique temps réel. Les deux premières versions ont été créées en 1978 par Gérard Caussé. Dans la version pour alto et résonateurs acoustiques, l'interprète partage la scène avec plusieurs instruments-résonateurs qui, au son de l'alto, vibrent par sympathie grâce à un système complexe de sonorisation. Envisagée du vivant de Grisey mais réalisée après sa disparition prématurée en 1998, l'ultime version de *Prologue* avec électronique temps réel a été conçue dans les années 2000 à l'Ircam par le réalisateur en informatique musicale Éric Daubresse et créée par l'altiste Garth Knox : dans cette version, l'ordinateur simule en direct les résonances par sympathie qui sont diffusées à travers des haut-parleurs. Dans la suite de cette analyse, nous ferons référence à ces deux versions mixtes de *Prologue* en parlant de résonances naturelles, lorsqu'il est question de résonateurs acoustiques – c'est-à-dire d'éléments matériels physiques – qui vibrent par sympathie ou de résonances virtuelles, lorsque celles-ci sont simulées grâce au dispositif électronique temps réel.

- Version pour alto seul
Création : 16 janvier 1978 à Paris
Gérard Caussé (alto)
- Version pour alto et résonateurs acoustiques
Création : 7 Août 1978 au festival de Darmstadt
Gérard Caussé (alto), Gérard Grisey (régie sonore)
- Version pour alto et électronique temps réel

Création : 3 avril 2001 à l'espace de projection de l'Ircam, Paris

Garth Knox (alto), Éric Daubresse (réalisateur en informatique musicale, régie sonore)

Notes de programme

Prologue (1976)

« Essentiellement mélodique, *Prologue* se détache lentement et progressivement de la pesanteur et de l'hypnose de la répétition. Une cellule mélodique unique jouant sur les hauteurs d'un spectre d'harmoniques sert d'axe et de point de repère à une sorte de spirale. Tout provient de cette cellule, tout y retourne, mais jamais exactement au même niveau. La mélodie est ici travaillée dans son essence même, dans sa Gestalt, dans sa silhouette mais jamais au niveau de la note, car les hauteurs qui la composent vont s'éloigner peu à peu du spectre originel pour atteindre le bruit en passant par différents degrés d'inharmonicité. « Cette silhouette mélodique gère également la grande forme, les tempi et l'apparition de deux types d'insert : le battement de cœur (brève-longue) et l'écho. Non tempéré, *Prologue* pose d'énormes problèmes d'interprétation (il est déjà si difficile de jouer juste sur un alto !).

« À ce rêve mélodique, s'ajoute cette réponse de l'inerte, cette vibration par sympathie des différents instruments qui entourent l'alto et qui jouent exactement le même rôle passif que les cordes sympathiques du sitar ou de la sarangui, à cette différence près que ces instruments couvrent ici un champ acoustique beaucoup plus large et qu'ils peuvent, grâce aux moyens électroniques, être modulés.

« Voix seule, réponse fantomatique d'instruments inhabités mais aussi structure abstraite et sans concession, j'espère être parvenu ici à balbutier ce que je crois être la musique : une dialectique entre le délire et la forme. »

Gérard Grisey (Notes en blocs 1, 2001)

Prologue (2001)

« La réalisation de la partie électronique de *Prologue* par des moyens analogiques a toujours été lourde à mettre en œuvre : difficultés pour réunir les meilleurs instruments utilisés comme résonateurs acoustiques ; réglages extrêmement longs et délicats, nécessitant la présence continue de l'altiste ; problèmes d'équilibre sonore ; imprécision, fragilité et dérive des paramètres du dispositif. C'est pour ces raisons que cette version était très rarement interprétée depuis sa création. J'avais plusieurs fois évoqué l'intérêt que pouvait représenter un « portage » des résonateurs sur ordinateur, et Gérard Grisey était très enthousiaste à l'idée de parvenir enfin aux résultats qu'il avait imaginés. Connaissant bien l'œuvre pour l'avoir plusieurs fois exécutée et enregistrée, considérant que les conditions technologiques étaient aujourd'hui réunies pour permettre l'intégration des résonateurs dans un seul ordinateur, il me paraissait indispensable d'en faire une nouvelle version plus simple à monter parce qu'affranchie des instruments acoustiques. L'objectif était d'en garantir la pérennité, et, sans la présence de Gérard, de respecter la version de référence. Les cinq résonateurs ont été modélisés à partir de l'analyse des instruments d'origine : palme d'onde Martenot, piano, tam-tam, gong métallique d'onde Martenot, caisse claire. Garth Knox a enregistré la partie d'alto pour le travail en studio, puis nous avons expérimenté le dispositif entièrement reconstitué, en le comparant à la version analogique et en suivant scrupuleusement les indications du compositeur. L'interprétation de la partie électronique est faite sur la dernière version de la partition annotée. »

Éric Daubresse (Notes en blocs 1, 2001)

« Alto seul, alto avec résonateurs, alto avec résonateurs virtuels – chaque version de *Prologue* explore à sa façon un jeu de résonances du geste initial qui crée son propre espace acoustique. L'instrumentiste lui-même, chaque fois confronté à un nouvel instrument est influencé à son tour dans son interprétation : la longueur des points d'orgue est modifiée par la résonance, certaines notes sont mises en valeur par la sympathie, les nuances doivent prendre en compte le partenaire virtuel, etc...

« Mes propres recherches et expériences avec la viole d'amour m'ayant conduit à m'intéresser de près au phénomène de résonance des cordes sympathiques, j'ai suivi avec fascination le travail de modélisation des résonateurs d'Éric Daubresse. De longues heures d'analyses et de tests ont permis de créer toute une gamme de résonances virtuelles, lumineuses, chatoyantes, sombres ou bruiteuses.

« Il me semble important que grâce à cette nouvelle version, *Prologue* puisse désormais être interprétée et entendue plus souvent, et que cette pièce, si belle et novatrice, puisse ainsi occuper la place qu'elle mérite dans la musique d'aujourd'hui. »

Garth Knox (Notes en blocs 1, 2001)

Analyse des dispositifs technologiques

Introduction

Les deux versions de *Prologue* avec résonateurs témoignent de l'évolution des pratiques *live* dans le domaine des musiques mixtes. Dans la première version, le son de l'alto, capté par des microphones, est diffusé par des haut-parleurs afin de faire résonner par sympathie différents instruments positionnés derrière l'interprète. Ces résonances naturelles sont à leur tour captées par des microphones, amplifiées puis diffusées par d'autres haut-parleurs de manière à les rendre perceptibles. Le dispositif requis dans cette version – outre les instruments servant de résonateurs – est donc celui d'une sonorisation traditionnelle impliquant microphones, haut-parleurs, table de mixage et éventuellement des modules de réverbération. La version avec électronique temps réel permet de s'affranchir physiquement des résonateurs acoustiques et d'éviter ainsi un certain nombre de problèmes techniques inhérents à la captation et diffusion des résonances par sympathie. Le dispositif de sonorisation est plus simple mais il faut recourir en contrepartie à un ordinateur comportant un logiciel de traitement du signal en temps réel permettant de produire les résonances virtuelles, et d'ajouter, si besoin, de la réverbération artificielle.

Configuration de la version avec résonateurs acoustiques

Résonances par sympathie

On parle de résonance par sympathie lorsqu'un instrument – ou tout autre objet susceptible d'entrer en vibration – se met à résonner sous l'action d'une vibration transmise par voix aérienne. Pour apprécier un tel phénomène, il suffit par exemple d'enfoncer la pédale forte d'un piano et d'émettre avec sa voix ou tout autre instrument un son relativement puissant : les cordes du piano entreront alors naturellement en résonance par sympathie produisant un léger halo sonore chargé de mystère. Ce procédé auquel [Berio](#) et [Boulez](#) recourent respectivement dans la *Sequenza X* (1984) pour trompette et *Dialogue de l'ombre double* (1985) pour clarinette et bande permet de renforcer et prolonger certaines fréquences émises par la

source sonore principale ce qui enrichit le son et suscite aussi une impression de réverbération. Plusieurs instruments anciens, – comme la viole d’amour – ainsi que des instruments extra-européens – comme le sarangui auquel Grisey fait référence dans sa note de programme – sont dotés de cordes supplémentaires que l’interprète n’actionne pas directement mais qui résonnent par sympathie afin d’enrichir le son émis par les cordes principales. « J’ai toujours pensé, explique Grisey, que la disparition des cordes sympathiques dans la musique occidentale était due à un excès de polyphonie. Il n’y a donc aucune raison de ne pas les réinventer lorsque nous écrivons des pièces monodiques » (Grisey, 2008, p. 136).

Plusieurs indices figurant dans les esquisses du compositeur (Fondation Paul Sacher) nous laissent penser que Grisey a dès le début imaginé que le matériau instrumental de *Prologue* pourrait être auréolé de ces résonances par sympathie. Cette idée était dans l’air du temps puisque [Levinas](#), notamment, l’avait explorée peu de temps auparavant dans *Appels* (1974) pour 11 instrumentistes, œuvre dans laquelle les cuivres jouent à plusieurs reprises dans des caisses claires qui se mettent ainsi à résonner, suggérant, selon Levinas, « un ébranlement dramatique » (Levinas, 2002, p. 69). Chez Grisey, le recours aux résonances par sympathie est tout autre puisqu’il vise à éclairer le son suivant différentes colorations en adéquation avec le cheminement harmonique de l’œuvre.

Représentations de l’œuvre

Afin d’obtenir des résonances de plus en plus inharmoniques au fil de l’œuvre, Grisey a dû tester plusieurs résonateurs en studio, tout d’abord avec Patrick Lenfant, puis avec Éric Daubresse, qui ont respectivement travaillé au sein de L’Itinéraire en tant qu’assistants techniques, dans les années 1970 pour le premier, et dans les années 1980 pour le second. Le choix des cinq résonateurs acoustiques a quelque peu évolué au fil des tests et des représentations de l’œuvre sachant que certains instruments étaient plus aptes que d’autres à résonner par sympathie et que le niveau sonore des résonances devaient être suffisamment élevé pour que celles-ci puissent être correctement captées et amplifiées.

Sur une des esquisses de Grisey – vraisemblablement réalisée avant que la partie instrumentale de *Prologue* ne soit achevée – le compositeur indique les cinq groupes de résonateurs suivants : violoncelle/alto/contrebasse, harpe, piano avec « pédale maintenue par un poids », tam-tam « profond » et caisse claire (Fondation Paul Sacher). Mais lors de la création à Darmstadt, le 7 août 1978, les résonateurs étaient, selon Gérard Caussé, un sitar [Figure 1], une harpe, un piano, un tam-tam et une caisse claire. Le trio à cordes, envisagé un temps par Grisey, semble donc avoir été remplacé par l’instrument indien, sûrement pour des raisons pratiques (il est plus facile de sonoriser un unique instrument plutôt qu’un groupe de trois instruments) et sonores (les résonances par sympathie du violoncelle, de l’alto et de la contrebasse n’étant pas très puissantes). Durant cette première, Grisey dosait en direct à la console le niveau sonore des résonances par sympathie pendant que l’altiste jouait la partie instrumentale. Il s’avère que le dispositif technologique posa de nombreux problèmes lors de son installation et que le résultat sonore n’était pas celui escompté en raison justement de l’instabilité du dispositif et de son manque de précision (Entretien avec Caussé, 2012).



Figure 1. Gérard Caussé (à gauche) et Gérard Grisey (à droite) accordant le sitar, un des cinq résonateurs utilisés dans la première version mixte de *Prologue* pour alto et résonateurs acoustiques à Darmstadt, le 7 août 1978 (© Grisey, 2008).

La pièce a néanmoins été rejouée à Paris le 15 mars 1980. La note de programme ne précise pas quels étaient les résonateurs et Patrick Lenfant, en charge alors du dispositif technique à cette époque, ne s'en souvient plus (Entretien avec Lenfant, 2012). Cinq années plus tard, le 11 février 1985, *Prologue* est à nouveau donnée dans sa version avec résonateurs acoustiques. Le concert se déroule dans la salle philharmonique du Conservatoire Royal de Liège et les cinq résonateurs sont alors la palme et le diffuseur métallique – tous deux conçus par Maurice Martenot pour enrichir et prolonger les sons des ondes Martenot –, un piano, un tam-tam et une caisse claire. Cet ensemble de résonateurs ne sera alors plus modifié et correspond ainsi à la version définitive de l'œuvre qui ne sera alors reprise qu'à deux occasions, avec Éric Daubresse en charge du dispositif technologique : la première, en concert à Berlin en novembre 1989 et la seconde, pour l'enregistrement effectué à Radio France le 20 décembre 1991 (Enregistrement Accord 201952, 1993). Daubresse se souvient néanmoins avoir expérimenté avec Grisey d'autres résonateurs, notamment une grosse caisse sur laquelle étaient disposées des billes mais cette option a finalement été écartée un peu avant le concert de Berlin (Entretien avec Daubresse, 2011). Les différentes performances de *Prologue* avec résonateurs acoustiques sont résumées dans le tableau ci dessous [Figure

2].

Date	Lieu	Exécutants	Résonateurs
07 août 1978	Darmstadt (Allemagne) Städtische Sporthalle <i>29. International Ferienkurse für Neue Musik, 30 juillet au 15 août 1978</i>	Gérard Caussé (alto) Gérard Grisey (régie son) NC (assistant technique)	- Sitar - Harpe - Piano - Tam tam - Caisse claire
15 mars 1980	Paris (France) Radio France, studio 105 <i>Perspectives du XX^e siècle – Journée Gérard Grisey</i>	Gérard Caussé (alto) Gérard Grisey (régie son) Patrick Lenfant (assistant technique)	?
11 fév. 1985	Liège (Belgique) Grande salle philharmonique du Conservatoire Royal de Liège <i>L'instrument et l'électronique</i> (concert organisé par le <i>Centre de recherches Musicales de Wallonie</i>)	Gérard Caussé (alto) Gérard Grisey (régie son) Patrick Lenfant (assistant technique)	- Palme (Martenot) - Piano - Métallique (Martenot) - Tam tam - Caisse claire
Nov. 1989	Berlin (Allemagne)	Gérard Caussé (alto) Gérard Grisey (régie son) Éric Daubresse (assistant technique)	- Palme (Martenot) - Piano - Métallique (Martenot) - Tam tam - Caisse claire
20 déc. 1991	Paris (France) Radio France, studio 105 Enregistrement figurant sur le <i>disc compact Accord Una Corda 201952</i> (1993)	Gérard Caussé (alto) Gérard Grisey (régie son) Éric Daubresse (assistant technique) Madelaine Sola (ingénieure du son)	- Palme (Martenot) - Piano - Métallique (Martenot) - Tam tam - Caisse claire

Figure 2. Tableau récapitulatif des différentes représentations de *Prologue* dans sa version avec résonateurs acoustiques, les résonateurs étant indiqués suivant leur ordre d'apparition dans l'œuvre (Recoupement des informations découlant des entretiens avec Daubresse, 2011, Caussé, 2012 et Lenfant, 2012).

Caractéristiques des cinq résonateurs dans la version finale

La palme des ondes Martenot, le piano, le tam-tam, le diffuseur métallique des ondes Martenot – que nous nommerons simplement métallique – et la caisse claire sont donc les cinq résonateurs utilisés dans la version définitive de l'œuvre.

Pour que le piano puisse résonner par sympathie, la pédale tonale doit rester en permanence enfoncée : il suffit pour cela de la bloquer avec un poids ou un système de cale. Le haut-parleur qui diffuse le son de l'alto est positionné sous la table d'harmonie du piano alors que les microphones servant à capter les résonances sont placés juste au dessus des cordes. Le dispositif est similaire pour le tam-tam avec le haut-parleur « excitateur » placé d'un côté de l'instrument (généralement derrière) et le microphone « capteur de résonance », de l'autre. Pour la caisse claire, il faut actionner le timbre afin d'obtenir l'effet bruitiste recherché par le compositeur : le haut-parleur et le microphone sont respectivement positionnés en dessous et au dessus de la caisse.

Il n'est pas besoin de recourir à des haut-parleurs supplémentaires avec les diffuseurs des ondes Martenot puisqu'ils sont déjà équipés de transducteurs. La palme est une caisse de résonance comportant deux jeux

identiques de douze cordes [Figure 3]. Le transducteur est directement fixé à la caisse de résonance de manière à ce que la vibration soit transmise par contact ce qui améliore le rapport entre l'intensité du son excitateur et celle de la résonance. Les cordes de la palme peuvent être accordées suivant n'importe quelle gamme. L'accord choisi par Grisey vise à reproduire les fréquences naturelles du spectre harmonique de fondamentale *mi*0 (41,2 Hz). La tessiture de la palme étant néanmoins relativement restreinte, certaines fréquences, ici les harmoniques 7, 9 et 11, doivent être transposées une octave plus bas. Les second et troisième harmonique du spectre qui correspondent à l'octave (*mi*1) et l'octave + quinte (*si*1) sont quant à eux démultipliés afin d'augmenter leur poids perceptif.

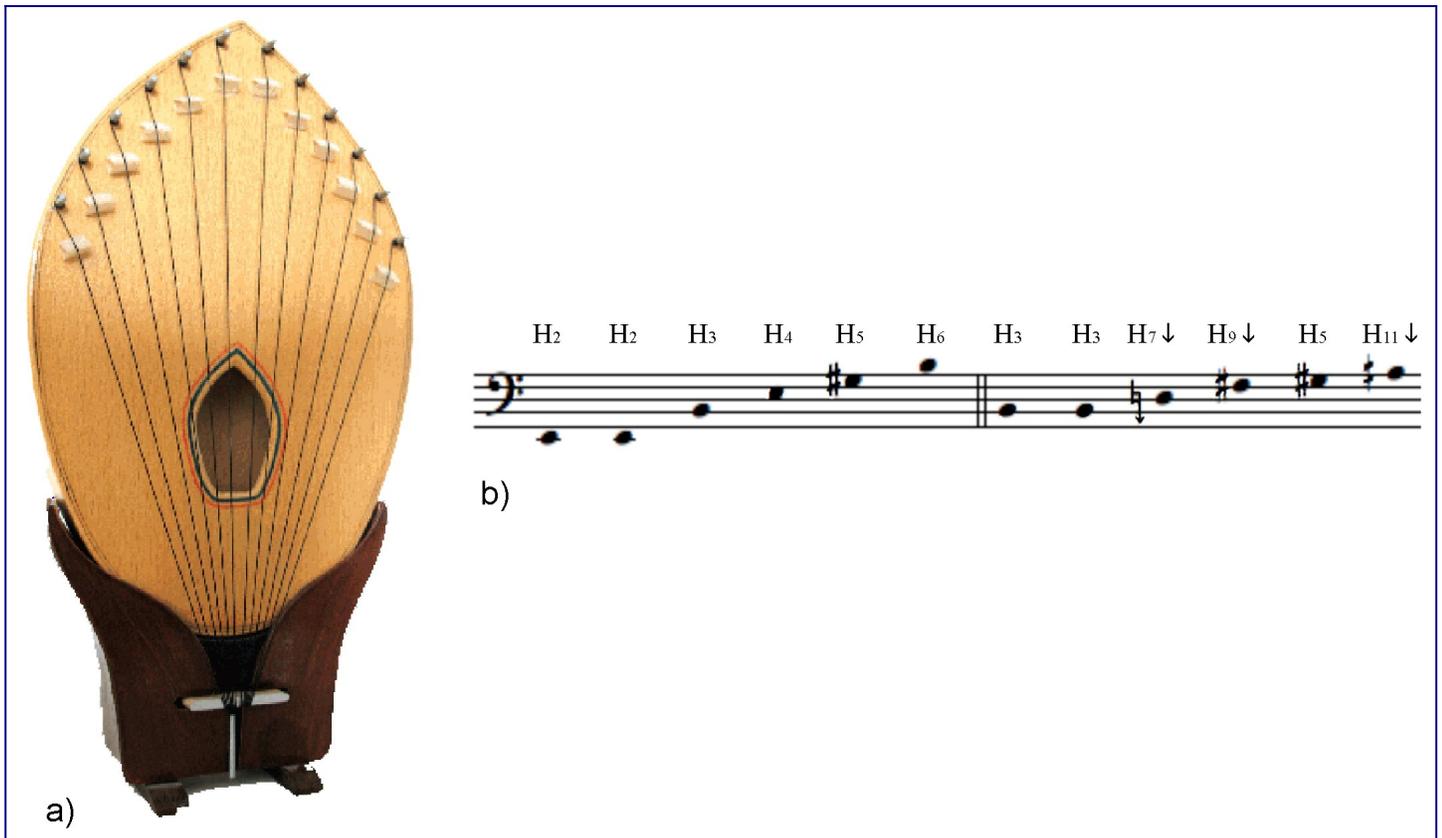


Figure 3. Palme des ondes Martenot et gamme suivant laquelle elle doit être accordée dans *Prologue* : les hauteurs coïncident avec les harmoniques 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 et 11 du spectre de fondamentale *mi*0 (les harmoniques 7, 9 et 11 sont transposés à l'octave inférieure comme l'indiquent les flèches descendantes).

Le métallique [Figure 4] est composé d'un gong – instrument dont la résonance est, par nature, extrêmement riche –, et d'un transducteur électro-magnétique qui est directement vissé dessus, le point de contact devant être le plus petit possible afin de ne pas entraver la résonance. « Il fallait aussi trouver la zone privilégiée à partir de laquelle le gong vibrerait au maximum, et percer là le trou permettant à la vis d'entrer », rappelle Laurendeau (1990, p. 102).



Figure 4. Métallique des ondes Martenot.

Les différents résonateurs sont plus ou moins facilement excités par une source extérieure selon la distribution et la densité des fréquences de résonance. En raison de son accord particulier, la résonance de la palme est parfaitement harmonique. Les résonances du piano sont en revanche très légèrement inharmoniques. L'instrument étant accordé suivant le tempérament égal, toute hauteur tempérée jouée par l'altiste est donc susceptible d'exciter l'instrument. Le métallique et le tam-tam produisent des résonances beaucoup plus inharmoniques créant un halo de distorsion autour du son de l'alto. Quant à la caisse claire, dont le timbre est actionné, elle génère un grésillement très riche du point de vue spectral. Le choix des résonateurs et leur ordre d'apparition dans la première partie de l'œuvre sont calqués sur le processus de transformation du matériau instrumental qui, harmonique au départ, devient de plus en plus inharmonique puis complètement bruitiste [Figure 5].

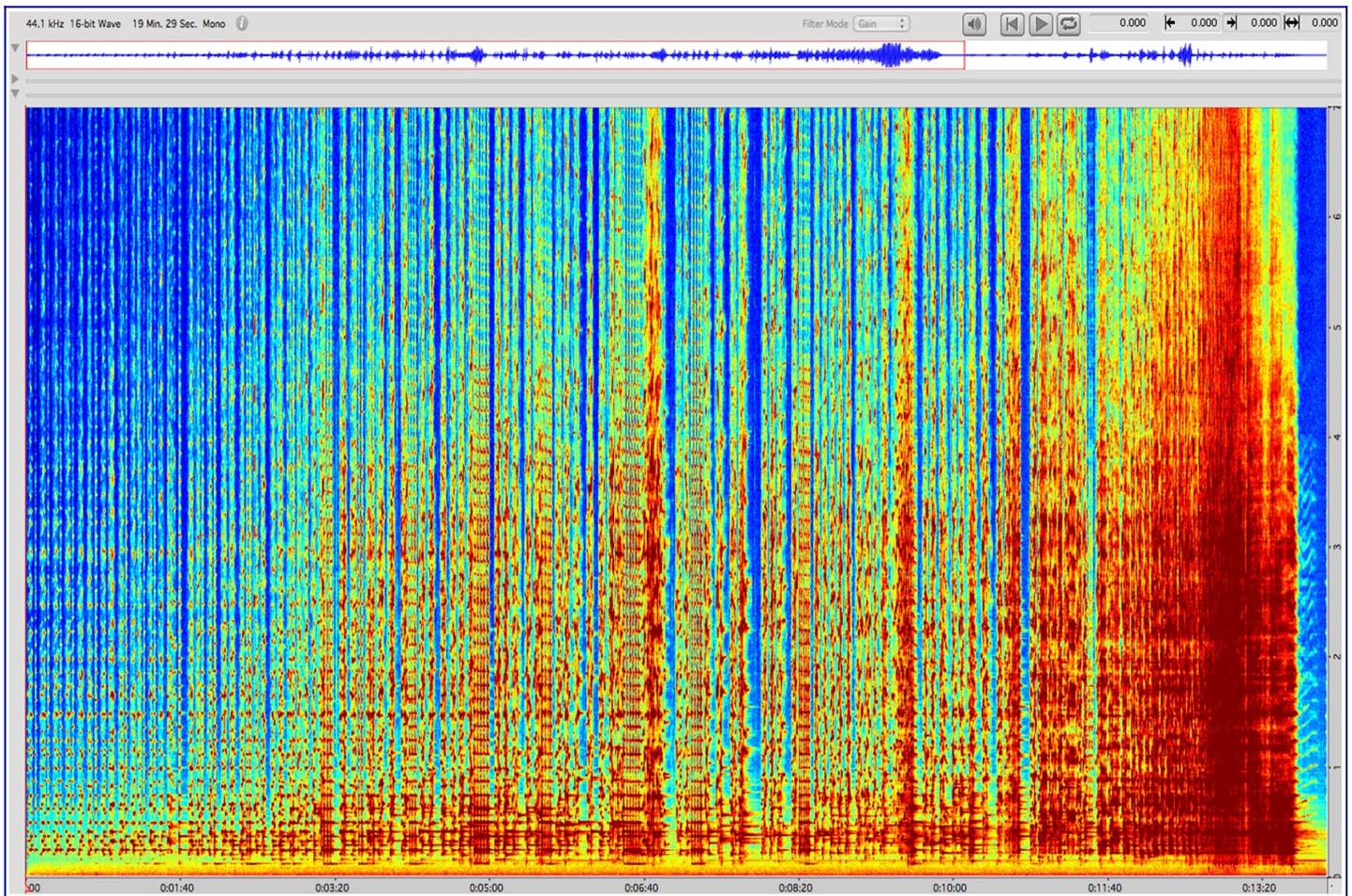


Figure 5. Forme d'onde et sonagramme [Fréquence : 0-7 kHz ; Temps : 0-14 min.] de la première partie de *Prologue* pour alto et résonateurs acoustiques (Gérard Caussé (alto), enregistrement Accord 201952, 1993). Outre l'augmentation globale du niveau sonore et de la brillance, on peut aussi apprécier le processus d'inharmonisation du matériau instrumental. Au début, l'équidistance entre les points alignés verticalement révèle l'harmonicité de ce matériau. Très vite, ces points s'étendent pour se rejoindre et former des lignes verticales révélant l'inharmonicité progressive des sons qui, à la fin, sont complètement saturés.

Problèmes d'ordre technique

S'il y a eu si peu de représentations de l'œuvre, dans sa version avec résonateurs acoustiques, c'est en raison de la lourdeur et fragilité du dispositif technique. Le son de l'alto, capté par des microphones, doit être instantanément diffusé par un ou plusieurs haut-parleurs positionnés très près des instruments ou être envoyé directement aux transducteurs, dans le cas de la palme et du métallique des ondes Martenot. Les résonances par sympathie « colorent » ainsi, chacune à leur manière, le son de l'alto. Le choix des résonateurs a été guidé en fonction de leur aptitude à entrer facilement en résonance. Lors de la création à Darmstadt, le trio de cordes a été remplacé par un sitar puis, cet instrument, tout comme la harpe, ont ensuite été exclus du dispositif, les résonances étant trop faibles pour pouvoir être correctement amplifiées. Pour que les résonateurs puissent entrer en vibration, le signal excitateur doit être par ailleurs suffisamment puissant mais, en contrepartie, si ce signal est trop puissant, la résonance risque d'être

masquée ou bien un effet de *feed-back* peut avoir lieu et produire un larsen. L'équilibre au niveau de la sonorisation est donc très délicat. Voici un résumé des problèmes d'ordre technique et logistique que pose donc l'interprétation de *Prologue* avec résonateurs acoustiques :

- Obtention des résonateurs. Comme toute pièce mixte, *Prologue* ne peut se passer évidemment d'un matériel audio de qualité. Mais il est aussi nécessaire de réunir les cinq résonateurs. Or il n'est pas forcément aisé de récupérer de nos jours les deux diffuseurs des ondes Martenot.
- Captation du son de l'alto. À l'époque où l'œuvre était encore interprétée dans sa version avec résonateurs acoustiques, les microphones à contact ou de type DPA [Figure 7] existaient mais ne pouvaient pas être attachés directement sur l'instrument sans risquer de l'abîmer puisque les systèmes d'accroche impliquaient l'utilisation d'adhésif double face. La captation se faisait donc par le biais de plusieurs microphones aériens qu'il fallait positionner au dessus des quatre pupitres nécessaires pour disposer les quatre pages de très grand format (62 cm de longueur sur 49 cm de hauteur) qui constituent la partition.
- Excitation des résonateurs et diffusion des résonances. Les réglages au niveau de la sonorisation nécessitent la présence de l'altiste et peuvent s'avérer extrêmement longs car il n'est pas facile, comme nous l'avons mentionné, de contrôler le niveau des résonances en fonction des indications prescrites par le compositeur. Les mouvements naturels effectués par l'interprète pendant qu'il joue ou les changements de position nécessaires pour passer d'un pupitre à l'autre influent automatiquement sur la dynamique du son envoyé dans les résonateurs. Par ailleurs, il est impératif d'amplifier les dynamiques faibles et, au contraire, de compresser les dynamiques élevées, avant d'envoyer le signal dans les résonateurs. Enfin, il faut capter les résonances par sympathie en réduisant au maximum le niveau du signal excitateur afin d'éviter les phénomènes de masquage ou de larsen.
- Stabilité du dispositif. Une fois tous ces réglages effectués, le dispositif sur scène doit rester en place car le moindre déplacement opéré sur un microphone ou un haut-parleur altèrera l'équilibre fragile entre l'alto et les résonances par sympathie. L'œuvre doit donc être idéalement programmée en début de concert.

Configuration de la version avec électronique temps réel

Genèse

C'est pour pallier ces problèmes techniques et faire en sorte que l'œuvre puisse être plus souvent interprétée dans sa version mixte qu'Éric Daubresse imagine dans les années 1990 utiliser un dispositif électronique temps réel pour simuler les résonances par sympathie. Il suggère l'idée à Gérard Grisey en 1996, suite aux récentes améliorations apportées aux logiciels de synthèse par modèle physique qui permettent, entre autres, de reproduire des sons instrumentaux en dissociant l'attaque de la résonance (Entretien avec Daubresse, 2011). Mais ce n'est qu'en 2001, quelques années après la disparition prématurée du compositeur, que Daubresse concrétise le projet au sein de l'Ircam. Les conditions technologiques étaient réunies pour permettre l'intégration des résonateurs dans un seul ordinateur et de proposer ainsi une nouvelle version beaucoup plus simple à monter.

Modélisation des résonances

La synthèse par modèle physique « privilégie la vision d'un objet sonore comme le résultat de la dissipation par un système physique de l'énergie apportée par des "excitateurs" physiques, et modélise avec les outils de la science physique la transmission de l'énergie à l'intérieur du système » (Potard *et al.*, 1990, p. 136). Elle est la plus adaptée pour simuler des sons. Le logiciel Modalys qui a été conçu à l'Ircam suivant ce principe, permet ainsi de restituer virtuellement des instruments – ou d'en créer de nouveaux – à partir d'objets physiques simples. Le logiciel a été par la suite amélioré et étendu de manière à dissocier le son source – correspondant à la mise en vibration d'une structure acoustique spécifique par une excitation – à une structure acoustique différente ou un modèle de résonance, permettant ainsi de construire un instrument virtuel et de décider de la manière dont il sera excité.

Daubresse a tout d'abord réuni les cinq résonateurs acoustiques de *Prologue* afin d'enregistrer et analyser leurs résonances suivant différentes excitations, le plus souvent de type impulsionnel.

- Excitation directe des instruments : frappe sur le corps de l'instrument, coup de baguette en bois [Son 1] ou acier [Son 2], coup de mailloche, clusters...
- Excitation par sympathie en envoyant des signaux électroacoustiques : bruit blanc, Dirac (excitation idéale théoriquement infiniment courte et d'amplitude infinie). Pour une excitation de type Dirac, la puissance est uniformément répartie dans le domaine des fréquences. « On comprend que toutes les résonances élémentaires potentielles d'un résonateur soient excitées par un Dirac, et se "révèlent" avec leur taux d'amortissement propre dans le son résonant, qui constitue alors une réponse impulsionnelle. » (Potard *et al.*, 1990, p. 145)



Son 1. Excitation du métallique des Ondes Martenot avec une baguette en bois.



Son 2. Excitation du métallique des Ondes Martenot avec une tige en acier.

Tous ces échantillons sonores ont été produits et enregistrés dans la chambre anéchoïque de l'Ircam, à l'exception de ceux du grand piano, instrument qui, de par sa taille, ne peut entrer dans cette salle. Les échantillons ont ensuite été analysés suivant la méthode des modèles de résonance avec l'outil Resan du logiciel Diphone. Le principe consiste à repérer les pics d'amplitude sur des spectres calculés à deux instants différents de manière à calculer ensuite, pour chaque fréquence de résonance, leur taux de décroissance. La résonance de chaque instrument peut ainsi être décrite suivant une multitude de pics de résonance, chacun étant caractérisé par sa fréquence centrale, son amplitude et son taux de décroissance.

Une fois établis, ces modèles de résonance ont alors été méthodiquement examinés. Daubresse les a tout d'abord testés en utilisant la même excitation que celle qui avait permis de les établir : lorsque le rendu sonore était similaire au son original, le modèle était conservé. Après cette première sélection il fallait vérifier comment les modèles réagissaient au son de l'alto. Pour cela la partie instrumentale de *Prologue* a été intégralement enregistrée par l'altiste Garth Knox dans un studio à acoustique très sèche. Grâce à cet

enregistrement témoin [Son 3], il est apparu que certains modèles pouvaient être extrêmement réalistes par rapport aux résonances originelles mais réagissaient en revanche très mal lorsqu'ils étaient excités par le son de l'alto. C'est en fonction de cette réactivité qu'une seconde sélection a été opérée, les meilleurs modèles étant ceux obtenus avec des attaques très courtes ou à partir de signaux ayant une large bande fréquentielle .

The image shows a handwritten musical score for an alto instrument. At the top left, there is a tempo marking: a quarter note followed by "= 70" and an acceleration marking "acc." with an arrow pointing to "90". Above the staff, there are performance instructions: "répéter ad lib.¹" and "1^{re} env.". The score itself is written on a single staff with a treble clef and a key signature of one sharp (F#). It begins with a quarter note on G4, followed by a half note on A4, and then a quarter note on B4. There are dynamic markings "ppp", "p", and "ppp mp" below the staff. A circled "AST" is also present. Below the staff, there is a technical instruction: "Accorder la IV^e corde un demi-ton plus bas.²". A circled "ORD" is at the bottom right. The word "alto" is written vertically on the left side of the staff. The word "con sord." is written below the staff on the left.

Figure 6. Motif initial de *Prologue*. © Ricordi 2248, 1978/1992.

Son 3. Garth Knox (alto). © Ircam, 2001.

Traitements informatiques

Le logiciel informatique réalise deux types de traitement sonore : les résonances virtuelles et la réverbération artificielle.

- Résonances virtuelles

Les modèles de résonance sont intégrés au logiciel Max MSP – en utilisant l'objet resonators~ conçu au *Center for New Music and Audio Technologies* (CNMAT, University of California – Berkeley) – de sorte à ce qu'ils soient excités en direct par l'alto. Il est conseillé de fixer sur l'instrument un microphone à contact ou de proximité de type DPA [Figure 7] pour minimiser les risques de *feed-back* avec les résonances virtuelles. Le son de l'alto passe alors dans un limiteur-compresseur dont la fonction est d'amplifier les niveaux trop faibles et de réduire les niveaux trop élevés. Il est ensuite envoyé à la carte d'entrée de l'ordinateur puis traité en temps réel par le logiciel.



Figure 7. Microphone de proximité (DPA 4099) pour violon ou alto.

Le niveau des résonances est, comme dans la version originelle de l'œuvre, entièrement assuré par une tierce personne – que nous qualifierons de musicien en charge de l'électronique *live* (MEL)[1](#) – au moment de l'exécution de l'œuvre. Le rôle de ce musicien ne se restreint pas à s'assurer du bon fonctionnement du dispositif technique puisqu'il doit contrôler en direct, par le biais des curseurs d'une table de mixage, le dosage des résonances en suivant les indications prescrites par le compositeur tout en tenant compte de l'instrumentiste et de l'acoustique de la salle. Il apparaît en ce sens comme un authentique partenaire de musique de chambre (Féron et Boutard, 2017) qui doit travailler et interpréter sa partie, le jeu des résonances pouvant être, dans certains passages, extrêmement complexe comme nous le verrons par la suite. L'altiste, quant à lui, n'a aucun déclenchement à effectuer et peut se concentrer pleinement sur l'exécution de la partie instrumentale tout en adaptant lui aussi son jeu en fonction des résonances contrôlées par son partenaire.

Il n'y a, à proprement parler, que quatre modèles de résonance qui correspondent respectivement à la palme, au piano, au tam-tam et au métallique : les résonances virtuelles qui en découlent dépendent directement du son de l'alto et leur niveau sonore est contrôlé avec les curseurs 1 à 4 de la table de mixage [Figure 8]. La caisse claire n'a pas pu être simulée de la même manière car il est impossible de dissocier correctement l'excitation de la résonance puisque celle-ci est extrêmement brève. La résonance virtuelle n'est pas issue d'un modèle qui entre en résonance mais correspond à une série de plusieurs échantillons sonores qui se superposent les uns aux autres en fonction du volume de l'alto, et cela grâce à un suiveur d'enveloppe dynamique en temps réel. Cinq seuils de sensibilité ont été définis : à chaque fois que le niveau sonore de l'alto dépasse un de ces seuils, un nouvel échantillon de caisse claire [Son 4] est ajouté. Les deux curseurs associés à la caisse claire servent respectivement à contrôler les seuils de déclenchement des échantillons sonores (curseur 5) et le niveau sonore global de ces échantillons (curseur 6).



Son 4. Un des cinq échantillons sonores de caisse claire avec son timbre actionné (direct to disc). Il a été obtenu en faisant résonner l'instrument par sympathie via un son d'alto.

- Réverbération artificielle

Un module de réverbération artificielle permet de s'adapter au mieux à l'acoustique de la salle de concert, l'idée n'étant pas de jouer avec la réverbération comme avec les résonances mais de favoriser la fusion du son de l'alto avec celui des résonances. Grisey n'a d'ailleurs laissé aucune indication spécifique au sujet de cet effet. Si la salle est jugée suffisamment réverbérante, il n'y pas à lieu d'en ajouter.

Disposition spatiale

Lors de la représentation à Liège de la version avec résonateurs acoustiques, l'altiste, positionné au milieu de la salle, était entouré par le public si bien que les résonateurs avaient été placés en périphérie de la salle (Entretien avec Lenfant, 2012). Sinon dans une configuration habituelle de type frontal, les résonateurs et les haut-parleurs sont positionnés derrière l'interprète suivant un arc de cercle. Leur agencement spatial respecte la progression (in)harmonique en allant, de gauche à droite, du plus harmonique (la palme) au plus inharmonique (la caisse claire).

Dans la version avec électronique temps réel, il n'y a que quatre haut-parleurs situés derrière le musicien [Figure 8], diffusant respectivement les résonances virtuelles de la palme, du piano, du tam-tam et du métallique ; le son de caisse claire étant pas nature extrêmement diffus, il est diffusé simultanément à travers ces quatre haut-parleurs au lieu d'être associé à un haut-parleur spécifique. La réverbération artificielle est aussi diffusée sur les quatre haut-parleurs arrière.

Quelle que soit la version mixte de Prologue, un couple de haut-parleurs est généralement placé sur le devant de la scène pour diffuser le son de l'alto très légèrement amplifié et parfaire ainsi la fusion avec les résonances provenant de l'arrière-scène. Alors que dans la version avec électronique temps réel, ce couple de haut-parleurs sert de « cluster » en grossissant uniquement l'image acoustique de l'alto, dans la version avec résonateurs acoustiques, il diffuse aussi le son des résonances naturelles.

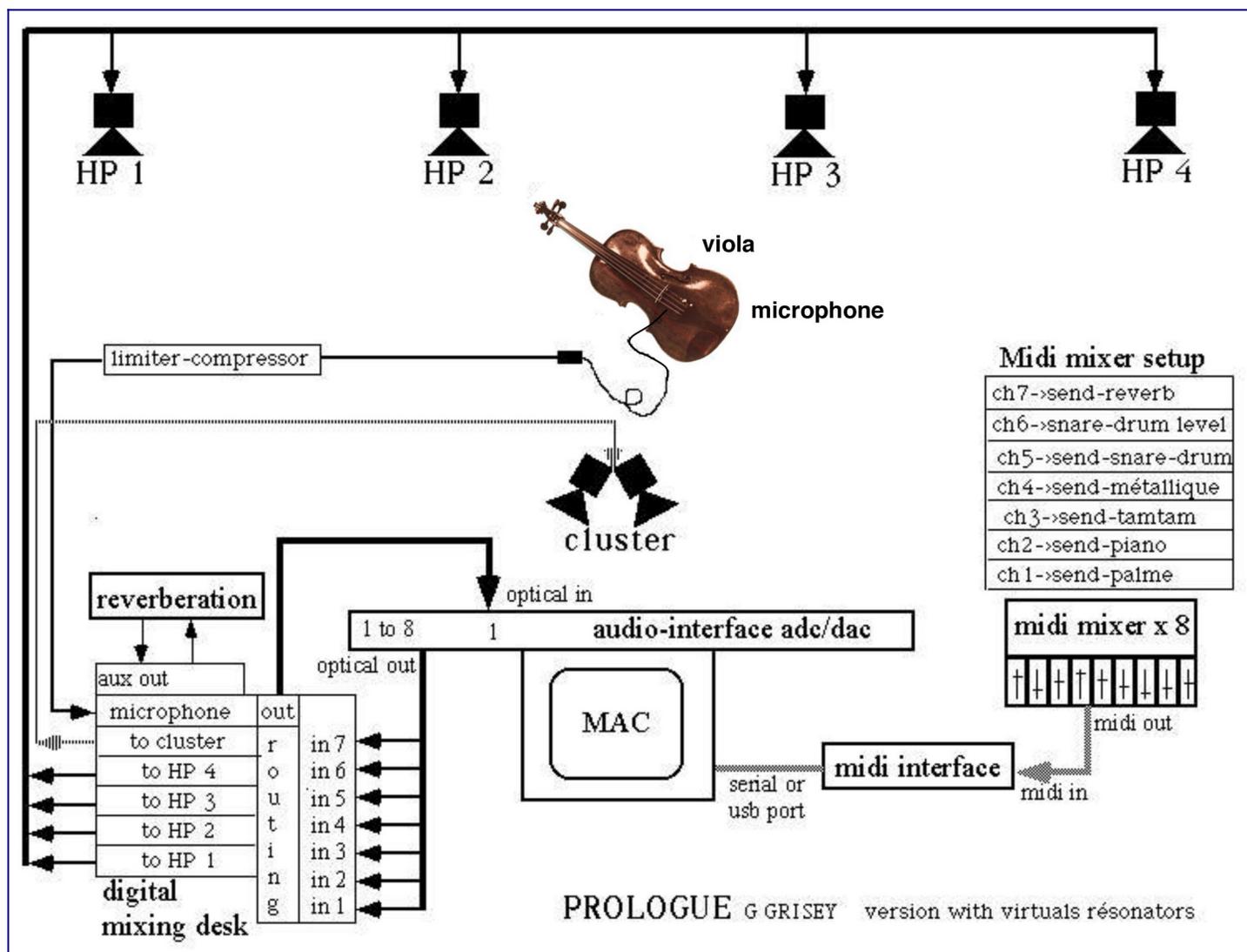


Figure 8. Dispositif technique de *Prologue* dans sa version avec électronique temps réel.

À l'écoute des résonances naturelles et virtuelles

Les extraits suivants permettent d'apprécier et de comparer les résonances naturelles et virtuelles produites respectivement par les résonateurs acoustiques (Gérard Caussé (alto), enregistrement Accord 201952, 1993) et le dispositif électronique temps réel (Garth Knox (alto), enregistrement edition zeitklang 10012, 2002). Ce n'est surtout qu'au début de l'œuvre qu'on peut entendre quelques uns des résonateurs isolément (en l'occurrence les résonateurs 1 et 2). Il est assez rare qu'une résonance soit par la suite présentée seule, Grisey opérant le plus souvent des interpolations ou des superpositions sur lesquelles nous reviendrons dans la dernière partie de cette analyse.

Figure 9. Extrait de *Prologue* avec la résonance de la palme des ondes Martenot. © Ricordi 2248, 2005.



Son 5. Résonance naturelle – Gérard Caussé (alto). © Accord 201952, 1993.



Son 6. Résonance virtuelle – Garth Knox (alto). © edition zeitklang 10012, 2002.

Figure 10. Extrait de *Prologue* avec la résonance du grand piano. © Ricordi 2248, 2005.



Son 7. Résonance naturelle – Gérard Caussé (alto). © Accord 201952, 1993.



Son 8. Résonance virtuelle – Garth Knox (alto). © edition zeitklang 10012, 2002.

Figure 11. Extrait de *Prologue* avec la résonance du tam-tam. © Ricordi 2248, 2005.



Son 9. Résonance naturelle – Gérard Caussé (alto). © Accord 201952, 1993.



Son 10. Résonance virtuelle – Garth Knox (alto). © edition zeitklang 10012, 2002.

Figure 12. Extrait de *Prologue* avec la résonance du métallique des ondes Martenot. © Ricordi 2248, 2005.



Son 11. Résonance naturelle – Gérard Caussé (alto). © Accord 201952, 1993.



Son 12. Résonance virtuelle – Garth Knox (alto). © edition zeitklang 10012, 2002.

Figure 13. Extrait de *Prologue* avec l'apparition de la caisse claire alors que sont déjà présentes les résonances de la palme, du tam-tam et du métallique à cet instant. © Ricordi 2248, 2005.



Son 13. Résonance naturelle – Gérard Caussé (alto). © Accord 201952, 1993.



Son 14. Résonance virtuelle – Garth Knox (alto). © edition zeitklang 10012, 2002.

Analyse de la partie instrumentale

Le projet compositionnel de *Prologue* repose sur la transformation progressive de cellules musicales suivant l'axe harmonicité-inharmonicité-bruit, un archétype de l'esthétique spectrale que de nombreux compositeurs exploreront par la suite, dont [Saariaho](#) pour qui cet « axe timbral » deviendra une caractéristique essentielle de son langage musical (Saariaho, 1991; se référer aussi à l'analyse de *NoaNoa* par Grégoire Lorieux sur ce même site). Dans la première partie de *Prologue*, le matériau musical, parfaitement harmonique au début, devient progressivement inharmonique puis totalement bruitiste. La seconde partie de l'œuvre, plus calme, signe un retour vers l'harmonicité.

Matériaux compositionnels

Spectre originel

Si *Prologue* ouvre le cycle *Les Espaces acoustiques*, l'œuvre n'a été composée qu'après *Périodes* (1974) et *Partiels* (1975). Elle réifie l'idée d'un cycle ambitieux allant de l'instrument soliste au grand orchestre. La construction de chaque pièce de ce cycle repose sur un spectre harmonique de fondamentale mi_0 (41,2 Hz) que Grisey a établi comme modèle dès *Périodes* (pour comprendre la genèse de ce modèle se référer à Féron, 2010). Les douze hauteurs retenues par le compositeur sont les onze premiers harmoniques impairs (de la fondamentale $\underline{2}$ au 21^e harmonique compris) auxquels s'ajoute l'harmonique 2. Cet ensemble de notes constitue le spectre originel de *Périodes* [Figure 14]. De sorte à « approcher la réalité acoustique » (Grisey, notice de *Périodes*, 1974) c'est-à-dire faire coïncider au mieux la note avec la fréquence, Grisey emploie des quarts de dièse pour restituer les harmoniques 11 et 13 et des déviations d'environ un sixième de ton pour les harmoniques 7 et 21. Dans *Prologue*, la 4^eme corde de l'alto est justement désaccordée un demi-ton plus bas afin qu'elle produise à vide, non pas la note do_2 mais si_1 qui

correspond au troisième harmonique du spectre originel.

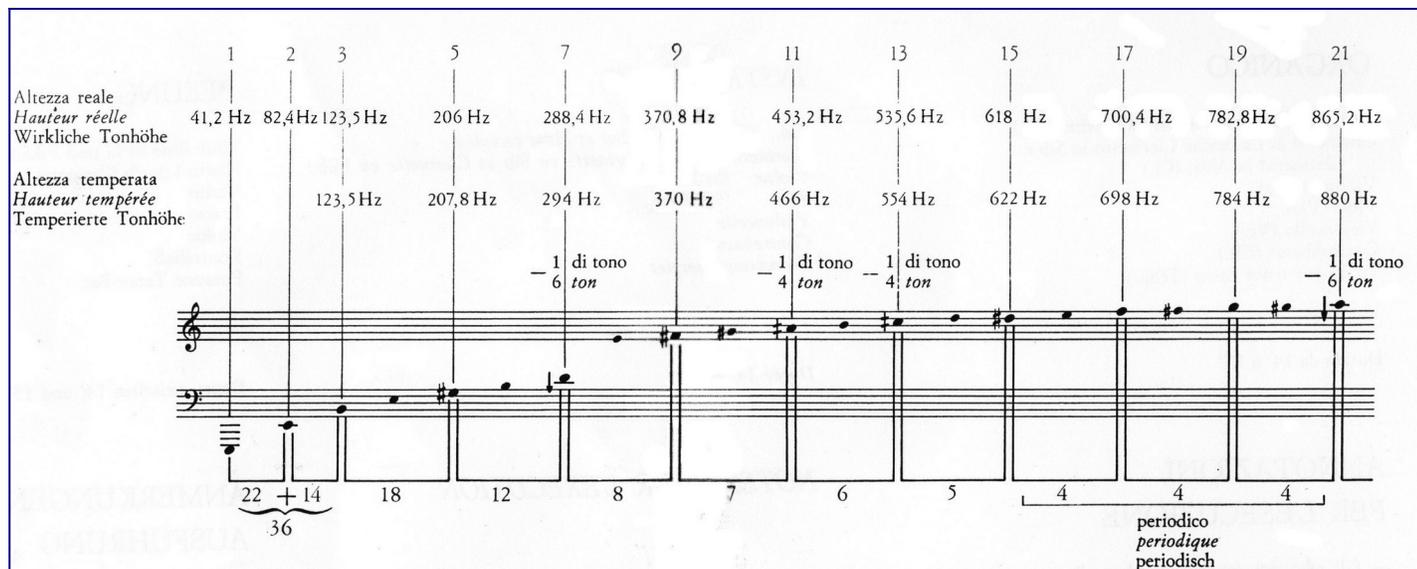


Figure 14. Spectre original figurant dans la notice de *Périodes* et servant de modèle pour l'ensemble des pièces du cycle *Les espaces acoustiques*. © Ricordi 132243, 1974.

Le spectre ne se présente pas uniquement comme un simple réservoir de notes. Les onze nombres figurant en dessous du modèle spectral entre chaque harmonique correspondent aux intervalles – exprimés ici en quarts de ton – entre les composantes. Ces nombres, ainsi que ceux indiquant le rang des harmoniques et indiqués au dessus de la portée jouent un rôle structurel dans l'ensemble des œuvres du cycle. De ce spectre originel, Grisey extrait donc en réalité trois séries structurelles : une série de hauteurs et deux séries numériques. Pour éviter toute confusion, nous avons attribué un nom et une abréviation à chacune de ces séries.

- La série des hauteurs (Sh) correspond aux douze partiels harmoniques sélectionnés par Grisey et réparties entre *mi0* (fondamentale) et *lah4* (approximation du 21e partiel harmonique). Pour s'approcher des fréquences non tempérées des partiels harmoniques, le compositeur emploie des quarts et sixièmes de tons.

$$Sh = [mi0, mi1, si1, sol\#2, ré\downarrow3, fa\#3, la\sharp3, do\sharp4, ré\#4, fa4, sol4, la\downarrow4]$$
- La série des numéros des partiels harmoniques (Sn) correspond aux douze nombres auxquels se réfère chaque harmonique.

$$Sn = [1, 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21]$$
- La série des intervalles entre les partiels harmoniques (Si) comprend onze nombres correspondant aux intervalles exprimés ici en quarts de ton entre deux harmoniques conjoints.³

$$Si = [22, 14, 18, 12, 8, 7, 6, 5, 4, 4, 4]$$

Neumes originels

Les neumes sont des silhouettes mélodiques caractérisées par leur forme (gestalt) et non par leurs notes : l'emplacement relatif des hauteurs les unes par rapport aux autres confère à chaque neume une forme particulière. Ce terme fait référence aux signes de notation musicale en usage au Moyen-Âge, qui

servaient à décrire de petites formules mélodiques appliquées à une syllabe – chaque type de neume correspondant à une figure mélodique et rythmique particulière. D'ailleurs, dans plusieurs de ses esquisses (Fondation Paul Sacher), Grisey identifie certaines parties de ses neumes à des formes classiques en usage au Moyen-Âge tels que le *clivis* (groupe de deux notes descendantes), le *scandicus* (groupe de trois notes ascendantes) ou encore le *climacus* (groupe de trois notes ou plus descendantes) .

Grisey confectionne huit neumes comportant entre un et treize sons et reposant tous en réalité sur une unique gestalt : celle-ci revêt une importance capitale, tant pour la construction des neumes, que dans la structuration formelle de l'œuvre entière. Le nombre de sons (1, 2, 3, 5, 7, 9, 11 et 13) au sein de chaque neume correspond aux premiers éléments de la série des numéros des harmoniques du spectre originel (Sn). Comme le fait Grisey dans ses esquisses, nous identifierons dorénavant les huit neumes par des chiffres romains correspondant au nombre de sons qui les composent.

Les différents neumes imaginés par Grisey sont tous issus du neume VII comme le laisse comprendre ce fragment d'esquisse sur lequel figurent les huit « neumes originels » [Figure 15]. En supprimant les deux, quatre, cinq et six derniers sons de ce neume, on retrouve respectivement les neumes V, III, II et I. Quant aux neumes IX et XI, ils sont construits de la même façon mais en partant du neume XIII qui est lui-même entièrement déduit du neume VII : en effet, comme le montre explicitement l'esquisse, les six derniers sons du neume XIII (H, I, J, K, L et M) correspondent au renversement suivant un « miroir déformant » des six premiers sons (A, B, C, D, E, F et G) calqués sur le neume VII (le huitième son (G) servant de pivot).

Neumes originaux

Forme et Ordre (= Neume VII)

I [; ;] iambe (battement de cœur) V III VII XI IX XIII (VIII gliss.)

II [. . .] battement binaire (en écho) I et II : inserts.

III 5 3 2 Distinction / Répétition 2 3

V 5 3 7 9 (révisé + second-cour fléchi) 2 3 5

VII 5 3 7 11 9 13 [8] 3 5 7

IX 5 3 7 1 4 12 10 16 17 Distinction / Répétition 3 5 7 9

XI 5 7 9 11

A B C D E F G H I J K L M

XIII a' neume. (mirroir de l'original)

x { Retour en gliss.

Figure 15. Fragment d'une esquisse de *Prologue* dans laquelle Grisey inscrit les huit neumes originaux. © Fondation Paul Sacher, Bâle.

Voyons maintenant comment la forme de ces neumes vise aussi à reproduire les modèles naturalistes que représentent le battement du cœur, l'écho et le cycle respiratoire.

- Les neumes d'ordre supérieur (III à XIII) ou la métaphore du cycle respiratoire [Figure 16]

Le neume VII représente un point névralgique dans le processus de composition puisque c'est à partir de celui-ci qu'ont été déduits tous les autres neumes comme nous venons de le voir. Il est donc légitime de se demander comment il a été construit et quelles sont ses caractéristiques.

Le neume VII résulte de l'association d'un *clivis* (deux notes descendantes), d'un *scandicus flexus* (deux notes ascendantes et la dernière descendante) et de nouveau d'un *clivis* (deux notes descendantes). L'idée est de retranscrire la forme ternaire du cycle respiratoire qui comprend trois phases successives : inspiration, expiration et repos. Grisey a déjà recouru à un tel modèle, notamment dans *Périodes* où celui-ci régit la structure formelle de l'œuvre (lire à ce sujet Féron, 2011). Dans *Prologue*, la phase d'inspiration est traduite par un mouvement mélodique globalement ascendant (les trois premières notes du neume) et la phase d'expiration par un mouvement mélodique globalement descendant (les quatre dernières notes du neume). Les soufflets montant et descendant exacerbent les effets de tension et détente respectivement associés aux phases d'inspiration et d'expiration. Quant à la phase de repos, elle est logiquement associée à une césure qui arrive après l'énoncé du neume.

Le neume V est le seul qui a exactement la même silhouette et le même profil dynamique que le neume VII. Il symbolise en quelque sorte le même cycle respiratoire pris sur une durée plus restreinte. En revanche, si les autres neumes d'ordre supérieur s'inspirent aussi du cycle respiratoire, ils tendent néanmoins à s'éloigner de ce modèle archétypal. Ainsi le neume III apparaît-il comme une brève inspiration et le neume IX comme la succession d'une inspiration, d'une expiration et à nouveau d'une inspiration. Les neumes XI et XIII quant à eux brouillent complètement la perception du modèle respiratoire, tant par la succession de courtes phases d'inspiration et d'expiration, que par les dynamiques qui s'opposent au mouvement des hauteurs (à un mouvement mélodique ascendant est généralement associé un soufflet descendant et inversement).



Son 15. Neume III – Garth Knox (alto). © Ircam, 2001.



Son 16. Neume V – Garth Knox (alto). © Ircam, 2001.



Son 17. Neume VII – Garth Knox (alto). © Ircam, 2001.

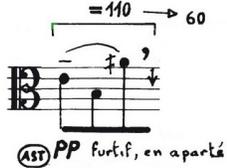
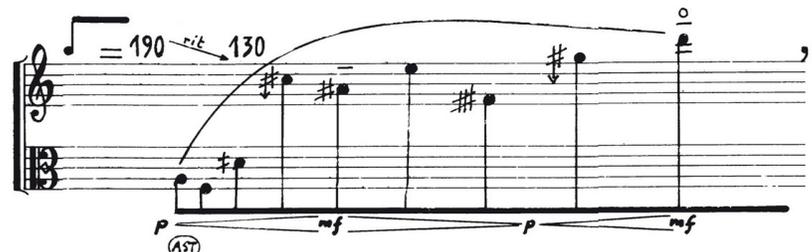
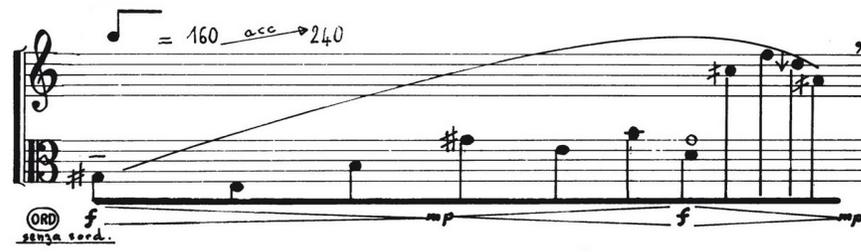
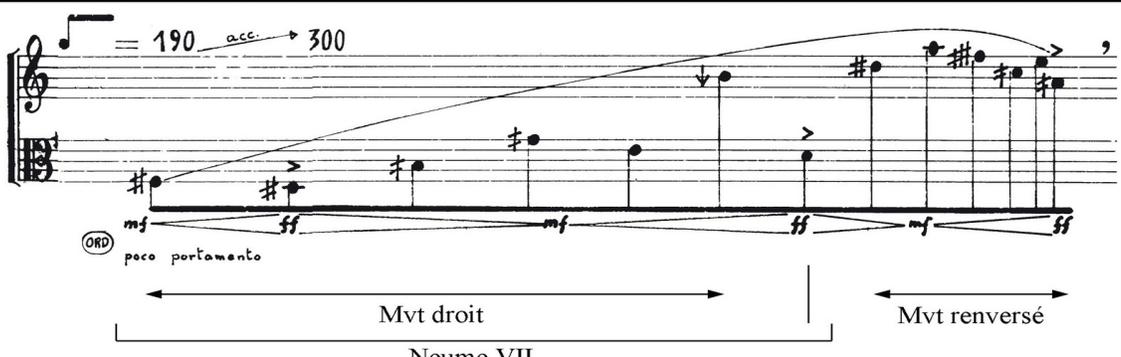
Neume III	
Neume V	
Neume VII	
Neume IX	
Neume XI	
Neume XIII	

Figure 16. Les neumes III, V, VII, IX, XI et XIII de *Prologue*. © Ricordi 2248, 1978/1992.



Son 18. Neume IX – Garth Knox (alto). © Ircam, 2001.



Son 19. Neume XI – Garth Knox (alto). © Ircam, 2001.



Son 20. Neume XIII – Garth Knox (alto). © Ircam, 2001.

- Les neumes I et II ou la métaphore du battement du cœur et de l'écho [Figure 17]

Le neume I comprend un seul et unique son qui est répété pour former une structure iambique (court-long), l'idée étant d'imiter le rythme cardiaque et de symboliser ainsi le battement du cœur. Ce motif rythmique est joué sur la 4ème corde à vide qui correspond, comme nous l'avons déjà signalé, au troisième harmonique du spectre originel (*si1*). Il peut être répété plusieurs fois d'affilée.

Le neume II est un *clivis* (intervalle de deux notes descendantes) qui est systématiquement greffé à un neume d'ordre supérieur : deux des dernières notes de ce neume sont ainsi répétées plusieurs fois de sorte à produire un battement binaire symbolisant l'écho.

Neume I (Battement de cœur)	
Neume II (sur le neume XI) (Écho)	

Figure 17. Neume I (battement de cœur) et neume II (écho) greffé ici sur le neume XI. © Ricordi

2248, 1978/1992.



Son 21. Neume III – Garth Knox (alto). © Ircam, 2001.



Son 22. Neume V – Garth Knox (alto). © Ircam, 2001.

Structure de l'œuvre

Prologue comprend deux parties principales. La première, par essence mélodique, occupe les trois quarts de l'œuvre et compte sept sections (sections 1-1 à 1-7). Les six premières s'articulent autour d'un des neumes d'ordre supérieur (respectivement par ordre d'apparition les neumes V, III, VII, XI, IX et XIII). La septième section met en scène des glissandi joués avec une suppression de l'archet. Comme le laisse entendre l'inscription « (VIII fin) » sur une des esquisses du compositeur [Figure 15], cette section s'articulerait théoriquement autour d'un neume à huit sons qui aurait été en quelque sorte aplati selon Baillet (2000, P. 105).

La deuxième partie de l'œuvre, caractérisée par un retour au calme, se divise en deux sections. La section 2-1 s'articule autour de notes maintenues précédées de brefs motifs mélodiques – indiqués sous forme d'appoggiatures – qui s'allongent et se complexifient progressivement. Dans la section 2-2, ces motifs deviennent des glissandi qui sont superposés au *ré1* qui fait office de son pédale. Cette ultime section ne doit pas être jouée lorsque *Périodes* est jouée à la suite de *Prologue*, la jonction entre les deux œuvres se faisant naturellement, sans hiatus à la fin de la section 2-1 [Figure 20].

Première partie

- Disposition des sections

Les neumes décrits précédemment sont traités soit comme des figures mélodiques (neumes d'ordre supérieur) sujettes à un long et complexe processus d'inharmonisation qui s'étale tout au long de cette première partie, soit comme des inserts (neumes I et II) qui apparaissent à certains moments spécifiques et cela indépendamment de l'organisation des figures mélodiques. Ces deux éléments (neumes mélodiques et inserts) sont soumis à des processus compositionnels très stricts dont nous ne donnons ici qu'un très bref aperçu. Chaque section s'articule donc autour d'un neume spécifique mais au lieu de traiter ces neumes par ordre croissant, Grisey préfère les agencer de la manière suivante : V, III, VII, XI, IX, XIII (et VIII). Cette configuration n'est pas aléatoire puisqu'elle vise à reproduire la forme globale du neume VII [Figure 15] qui rappelons-le représente le noyau formel de l'œuvre. Chaque section est aussi associée à un tempo évolutif qui croît (V, VII, XI, XIII) ou décroît (III, IX) progressivement à l'échelle de la section entière [Figure 16].

- Transformation des neumes mélodiques

Dans chaque section – à l'exception de la dernière –, les neumes sont répétés un certain nombre de fois

suivant des modifications progressives opérées tant sur leur forme (silhouette) que leur contenu (hauteurs). Pour cela, Grisey recourt à deux processus indépendants l'un de l'autre. D'une part, il effectue des permutations limitées qui ont pour effet d'altérer la silhouette originale du neume en retombant systématiquement sur la silhouette de départ (pour comprendre les processus de permutation opérés par Grisey, se référer à l'analyse de Baillet, 2000, pp. 99-112). D'autre part, le choix des hauteurs est régi suivant des réservoirs de notes préétablis et visant à s'éloigner progressivement du spectre harmonique originel. Au processus de transformation locale (permutations à l'échelle de chaque section) se superpose donc un processus de transformation globale (inharmonisation des hauteurs à l'échelle de la première partie).

- Organisation des inserts

Les figures respiratoires que représentent les neumes d'ordre supérieur ne sont pas enchaînées uniformément, ce qui pourrait susciter une certaine monotonie malgré les processus de transformation décrits ci-dessus. Grisey intercale à divers instants les deux inserts que représentent le battement de cœur et l'écho : ceux-ci apparaissent au sein du déroulement musical de manière irrégulière mais répondent néanmoins à une logique compositionnelle. Le battement de cœur est omniprésent au début de l'œuvre, apparaissant toutes les une, deux ou trois occurrences du neume V dans la section 1-1. Soit il est joué de manière isolée, soit il est répété plusieurs fois de suite. La position et le nombre de répétition de cet insert sont en réalité déduits de la silhouette des neumes originels, généralement le neume V ou XI. Pour illustrer ce procédé compositionnel arrêtons-nous sur la section 1-3 [Figure 18] dans laquelle le neume VII apparaît à quinze reprises et le battement de cœur à cinq reprises, respectivement après deux, une, trois, cinq et quatre occurrences du neume VII. Cette suite de nombre (2, 1, 3, 5 et 4) n'est pas aléatoire puisqu'elle correspond une fois de plus à la gestalt du neume V.

Figure 18. Section 1-3 de *Prologue* construite autour du neume VII. La position de l'insert « battement de cœur » (en rouge) après 2, 1, 3, 5 et 4 occurrences du neume VII vise à reproduire la gestalt du neume V. L'insert « écho » (en bleu) n'apparaît qu'une seule fois dans cette section. © Ricordi 2248, 1978/1992.



Son 23. Garth Knox (alto). © Ircam, 2001.

Au fil de la première partie de l'œuvre, le battement de cœur se fait de plus en plus rare alors que l'écho,

lui, devient au contraire de plus en plus présent. Si cette figure est traitée à la manière d'un insert, elle n'est néanmoins pas intercalée entre différentes occurrences d'un neume – comme le battement de cœur – mais greffée à celui-ci de manière à le prolonger : deux des notes situées à la fin du neume sont dans ce cas répétées plusieurs fois de manière régulière mais suivant une intensité décroissante « en écho », comme le mentionne Grisey sur la partition. La position de ce nouvel insert et sa densité (nombre de répétitions) sont régies suivant des principes similaires à ceux employés pour le battement de cœur.

- Métaboles

Grisey recourt aussi à deux reprises à des métaboles, terme que son professeur Olivier Messiaen utilisait pour décrire des modulations rythmiques ou transformations d'un rythme en un autre rythme et qu'il comparait à un fondu enchaîné cinématographique (Messiaen, 1995, pp. 513-526). Ce procédé vise à altérer la structure rythmique des neumes qui sont, de manière générale, joués suivant un processus linéaire d'accélération ou de ralentissement. Les métaboles apparaissent ici comme des interpolations locales visant à contaminer un neume par le rythme du battement de cœur (Baillet, 2000, p. 111) [Figure 19].

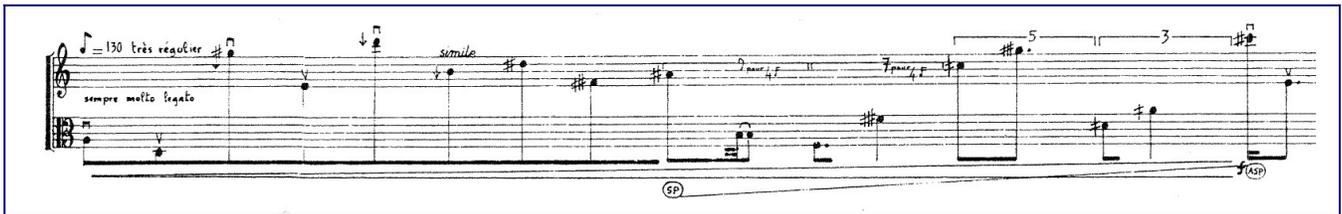


Figure 19. Deux occurrences successives du neume XI dans la section 1-4 de *Prologue*. La première est parfaitement régulière d'un point de vue rythmique alors que la seconde est beaucoup plus instable en raison de l'effet de métabole qui vise à s'approcher progressivement du rythme iambique décrivant le battement de cœur. © Ricordi 2248, 1978/1992.



Son 24. Garth Knox (alto). © Ircam, 2001.

Seconde partie

Comme la première partie de l'œuvre, la seconde débute sur une cellule à répéter *ad libitum*. L'interprète effectue très calmement un glissando partant de la note ré 1 pour atteindre le ton supérieur : mi1. À chaque répétition la durée du glissando devient plus courte alors que celle de mi1 s'allonge. La première section de cette seconde partie [Figure 20] s'articule ainsi autour de notes tenues dont les positions relatives dans l'espace des hauteurs sont calquées sur la silhouette des neumes VII (sol#2, mi2, si2, la#3, fa#2, do#4 + fa4, mi3), puis V (mi3, ré3, sol#3, sol4 + la4, ré#4), et enfin III (ré#4, si3, la#4 + do4) avant deux ultimes intervalles ascendants en double cordes (la#4 + do4, ré5 + do#6). Les durées associées à chaque cellule et indiquées en secondes sur la partition, tout comme le nombre de notes au sein des appoggiatures qui précèdent les notes tenues sont une fois de plus déduits des neumes originels pris, soit dans leur forme originale, soit en mouvement contraire (rétrograde) ou en miroir (inversé).

The image shows a page of a musical score for Section 2-1 of *Prologue*. It consists of four systems of staves. The first system includes measures 12 and 13. The second system includes measures 9, 10, and 11. The third system includes measures 8, 9, 7, and 5. The fourth system includes measures 4, 5, 3, 2, and 2. A blue arrow points to the beginning of measure 2 in the fourth system, indicating the junction point between *Prologue* and *Périodes*. The score includes various musical notations such as notes, rests, and dynamic markings like *ppp* and *pp*.

Figure 20. Section 2-1 de *Prologue*. La flèche inscrite sur la partition à la fin de cette section indique le point de jonction entre *Prologue* et *Périodes* dans le cas où les deux œuvres seraient jouées l’une à la suite de l’autre. © Ricordi 2248, 1978/1992.



Son 25. Garth Knox (alto). © Ircam, 2001.

Dans l’ultime section de l’œuvre, Grisey superpose la note polaire *ré3* (celle qui formait le battement de cœur) aux neumes qui sont présentés sous forme de glissandi d’harmoniques et cela de manière entrecoupée ce qui les rend difficilement reconnaissables. La note polaire est répétée onze fois, toujours suivant le même profil dynamique en decrescendo. Les durées de ces onze occurrences – toujours exprimées en seconde sur la partition – sont calquées sur la gestalt du neume XI. Les neumes sont quant à eux réexposés tour à tour une ultime fois par ordre décroissant et en miroir. L’œuvre s’achève alors sur la répétition *ad libitum* et quasi périodique d’une cellule musicale construite autour du *ré* : l’altiste maintient la note *ré3* sur la quatrième corde à vide et alterne sur la troisième corde *ré3* et *ré4* (en harmonique), ultimes battements de cœur après un long cheminement musical.

Analyse des traitements dans la version avec électronique temps réel

Présentation de la partition et du patch

Pour indiquer le jeu des résonances au fil de l’œuvre, Grisey se servait à l’époque de quatre grands calques qu’il superposait à la partition instrumentale. C’est en reprenant les indications inscrites sur ces calques – aujourd’hui conservés au sein de la Fondation Paul Sacher à Bâle – et en repartant de la partition instrumentale existante (Ricordi 2248, 1978/1992) qu’Éric Daubresse réalise, en 2005, une version inédite de la partition (Ricordi 2248, 2005), intégrant les différents effets électroniques. Daubresse n’effectue aucun changement à l’exception des trois passages répétés *ad libitum* qui délimitent les deux

parties de l'œuvre et dont il décide de fixer le nombre de répétitions de sorte à ce que le musicien en charge de l'électronique *live* et l'artiste soient toujours parfaitement coordonnés (Entretien avec Daubresse, 2011). Cette nouvelle version de la partition [Figure 23 à 29] est indispensable pour interpréter l'œuvre dans sa version mixte. Les cinq résonateurs et la réverbération (facultative) sont associés à des numéros et couleurs différents qui correspondent aux curseurs à manipuler en direct lors de la performance [Figure 21 et 23].



Figure 21. Couleurs et numéros associés aux cinq résonateurs et à la réverbération. Le curseur 6, non représenté ici, est utilisé pour régler le volume sonore de la caisse claire.

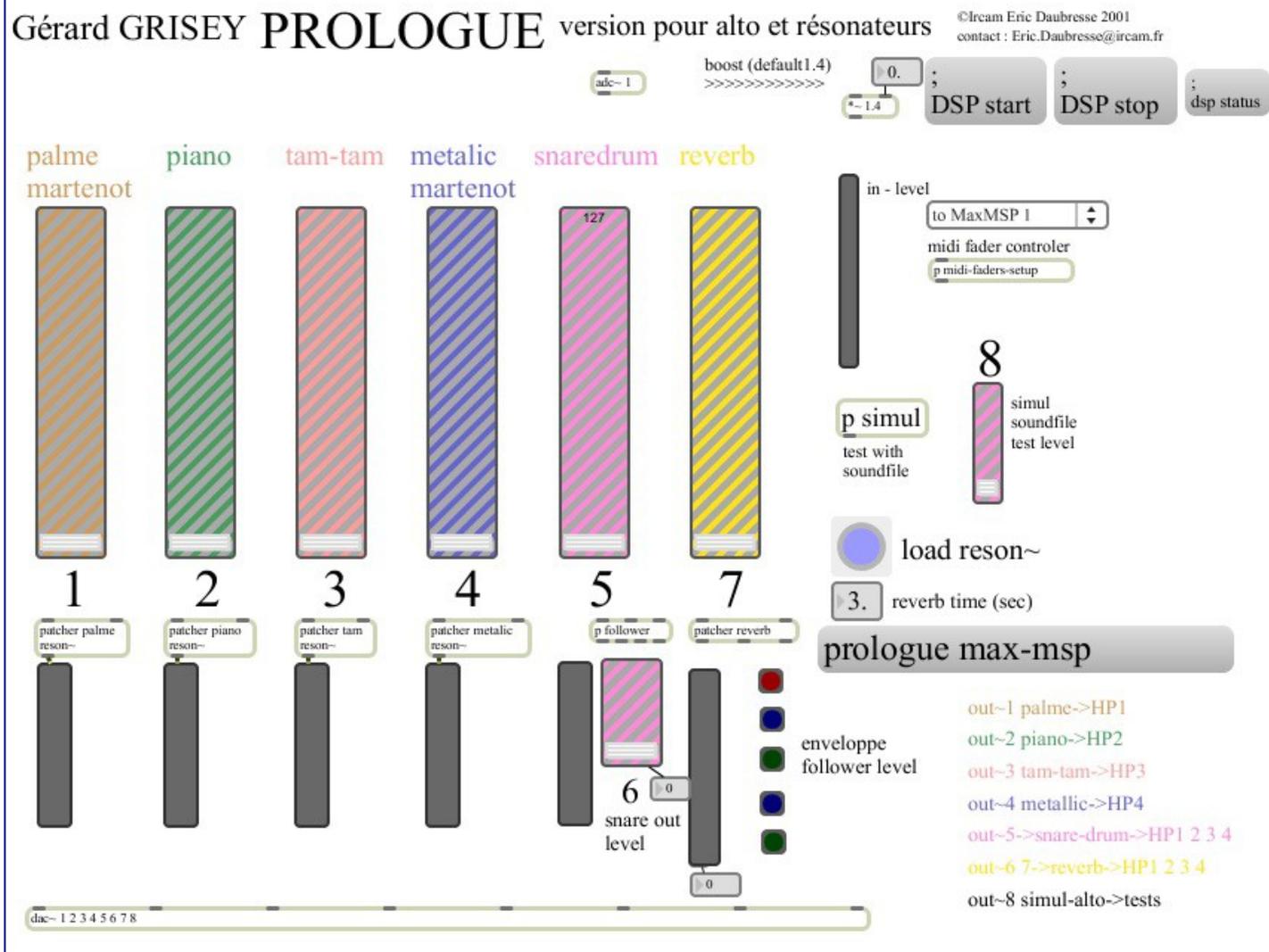


Figure 22. Fenêtre principale du patch Max MSP développé par  ric Daubresse au sein de l'Ircam en 2001.

Amplification et réverbération artificielle

Ce n'est qu'après avoir joué la cellule initiale qui est répétée deux fois dans la nouvelle version de la partition réalisée par Daubresse, que le musicien en charge de l'électronique *live* doit commencer à amplifier très progressivement – et r verb rer si besoin est – le son de l'alto [Figure 23]. Comme nous l'avons signalé auparavant, l'amplification sert uniquement à grossir légèrement l'image acoustique de l'alto et favoriser sa fusion avec les résonances virtuelles provenant de l'arrière-scène.   la fin de la pièce, l'amplification doit être très progressivement supprimée – tout comme la réverbération – de sorte à revenir dans un contexte purement acoustique.

Gérard Grisey *VERSION for electronics Eric Daubresse Ircam 2005*
PROLOGUE
 pour alto seul

alto

* = 70 *acc.* → 90

2 fois

reverb (until end)
 + amplification viola (poco a poco)

con sord. (AST) *ppp* *p* *ppp* *mp* (ORD)

Accorder la IV^e corde un demi-ton plus bas.²

sim. molto legato

Figure 23. Début de *Prologue* : après deux occurrences du neume V suivi du battement de cœur, le musicien en charge de l'électronique *live* augmente très progressivement l'amplification et la réverbération. © Ricordi 2248, 2005.



Son 26. Garth Knox (alto). © edition zeitklang 10012, 2002.

Résonances virtuelles

Les curseurs 1 à 5 contrôlent les niveaux d'entrée de l'alto dans les résonateurs virtuels. Il ne faut surtout pas penser que les résonances apparaissent juste à tour de rôle, l'une après l'autre suivant leur degré d'inharmonicité ; Grisey conçoit un jeu de résonances extrêmement complexe – pour ne pas dire virtuose à certains moments – impliquant la manipulation simultanée de plusieurs curseurs.

En déplaçant ces curseurs, il est possible d'« allumer » ou d'« éteindre » progressivement les résonateurs, manipulation indiquée sur la partition par des flèches horizontales ascendantes ou descendantes. Lorsqu'un numéro apparaît directement, cela signifie qu'il faut pousser le curseur d'un coup sec à sa position maximale. Lorsqu'une nouvelle résonance est ajoutée – en présence des précédentes –, le signe « + » est généralement indiqué. L'extinction d'un ou plusieurs résonateurs en marche est sous-entendue dès lors que l'indication « solo » apparaît, celle-ci signalant explicitement qu'il ne doit y avoir plus qu'une seule résonance à cet instant précis [Figure 24].

(1) + (2)

1 solo 2 solo

3 fois (sans respiration)

160 *acc.* → 240

R1.....

R2 [.....]

Figure 24. Superposition et alternance des résonateurs 1 (palme) et 2 (piano) dans la section 1-3 de *Prologue* construite autour du neume VII. Les indications sous cet extrait et les suivants ont été ajoutées par nos soins pour mieux visualiser la superposition et juxtaposition des différentes

résonances. © Ricordi 2248, 2005.



Son 27. Garth Knox (alto). © edition zeitklang 10012, 2002.

L'extinction d'un résonateur particulier est spécifiée par un numéro barré [Figure 25]. Néanmoins, pour ne pas surcharger la partition, il arrive que des instructions textuelles soient données pour un passage entier.

R1 [.....]
R2 [.....]
R3 [.....]

Figure 25. Superposition et alternance des résonateurs 1 (palme), 2 (piano) et 3 (tam-tam) dans la section 1-4 de *Prologue* construite autour du neume IX. © Ricordi 2248, 2005.



Son 28. Garth Knox (alto). © edition zeitklang 10012, 2002.

Grisey conçoit à plusieurs reprises des interpolations entre couples de résonateurs. Ces manipulations, indiquées sur la partition par le truchement de gradients de couleur, consistent à pousser et tirer progressivement et simultanément plusieurs curseurs de manière à opérer une métamorphose au niveau des résonances. Les interpolations peuvent aussi bien s'opérer sur deux résonateurs [Figure 26] que, simultanément, sur deux paires de résonateurs [Figure 27] ce qui, dans ce dernier cas, n'est pas forcément évident à réaliser, les doigts des deux mains pouvant s'entremêler.

R1 [.....]
R2 [.....]

Figure 26. Interpolation simple entre les résonateurs 2 (piano) et 1 (palme) et inversement dans la section 1-5 de *Prologue* construite autour du neume XI. © Ricordi 2248, 2005.



Son 29. Garth Knox (alto). © edition zeitklang 10012, 2002.

3
1
interpolation
4
2
II
IIIc
mf ff mf ff mf ff mf
R1 [.....]
R2 [.....]
R3 [.....]
R4 [.....]

Figure 27. Interpolation double entre les couples de résonateurs 1 – 3 (palme – tam-tam) et 2 – 4 (piano – métallique) dans la section 1-6 de *Prologue* construite autour du neume XIII. © Ricordi 2248, 2005.



Son 30. Garth Knox (alto). © edition zeitklang 10012, 2002.

Comme nous l'avons mentionné précédemment la résonance virtuelle de la caisse claire est en réalité une série d'échantillons sonores *direct-to-disc* qui sont superposés les uns aux autres en fonction du niveau sonore de l'alto. Les deux curseurs associés à la caisse claire permettent de contrôler respectivement la sensibilité du détecteur d'amplitude de l'alto (curseur 5) – c'est-à-dire le seuil limite au delà duquel les échantillons sonores se déclenchent – et le niveau sonore de ces échantillons (curseur 6). Outre des apparitions succinctes dans les sections 1-5 et 2-2, la caisse claire est surtout présente à la fin de la première partie de l'œuvre. Alors que les quatre autres résonateurs sont en marche, la sensibilité du détecteur d'amplitude est à ce moment graduellement augmentée de manière à atteindre son niveau maximale au tout début de la section 1-7 qui correspond au climax bruitiste de l'œuvre avec ses glissandi écrasés en double cordes [Figure 28].

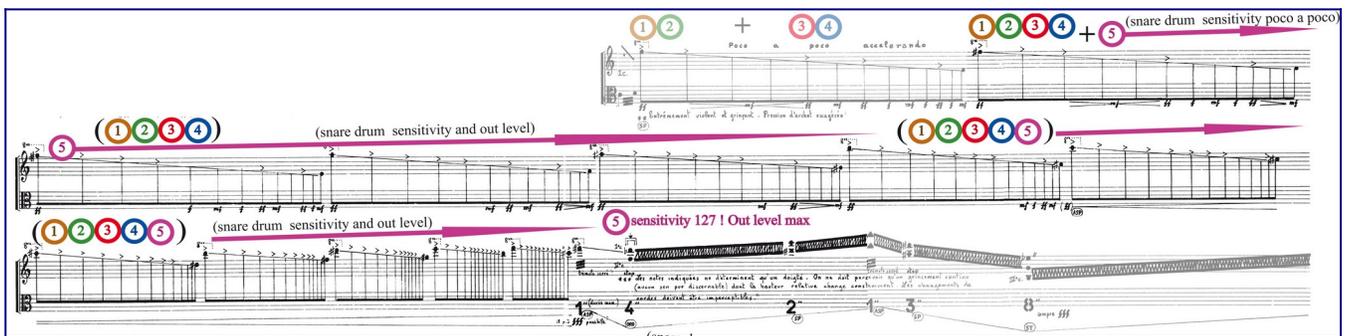


Figure 28. À la fin de la section 1-6 de *Prologue*, le musicien en charge de l'électronique *live* augmente peu à peu la sensibilité (*snare drum sensitivity*) puis le niveau sonore (*out level*) de la caisse claire jusqu'au climax de l'œuvre que représente le début de la section 1-7 avec des sons écrasés extrêmement bruitistes. © Ricordi 2248, 2005.



Son 31. Garth Knox (alto). © edition zeitklang 10012, 2002.

Conclusion

Le catalogue de Gérard Grisey ne compte que trois œuvres pour instrument seul. *Charme* (1969) pour clarinette, *Prologue* (1976) pour alto et le diptyque *Anubis-Nout* (1983) pour clarinette contrebasse, arrangé par la suite pour saxophone basse ou baryton (1990). *Charme* est aux yeux du compositeur « une œuvre de jeunesse » (Grisey, 2008, p. 127) recourant à des procédés d'écriture de type sériel dont il s'éloignera très vite. En revanche, comme toutes les œuvres de Grisey composées depuis 1972, *Prologue* ainsi que *Anubis-Nout* mettent en jeu des techniques d'écriture spectrales. Devenues des « classiques » des répertoires solo pour alto d'une part, et clarinette ou saxophone d'autre part, ces deux œuvres témoignent de la manière dont le compositeur a réintroduit dans sa musique, à cette époque, l'élément mélodique. Si *Prologue* renoue avec l'écriture mélodique, elle signe par ailleurs l'acte de naissance officiel du cycle *Les Espaces acoustiques* (1974-1985).

« Lorsque j'ai composé *Périodes*, je me suis aperçu que la fin n'était pas une fin, qu'il fallait une suite, et j'ai imaginé *Partiels* qui a été composé immédiatement après. Et comme *Périodes* commençait par un alto seul, évidemment immédiatement est venue l'idée de faire une sorte de prologue pour tout ce cycle, et peu à peu est né le concept d'une grande pièce. » (Grisey cité par Baillet, 2000, p. 70)

Contrairement à *Épilogue* (1985) qui ne peut être jouée sans *Transitoires*, *Prologue* a été originellement conçue de manière à pouvoir être interprétée comme une œuvre soliste à part entière et cela suivant deux versions : l'une pour alto seul et l'autre pour alto et résonateurs. La version avec résonateurs acoustiques a posé de nombreux problèmes d'ordre technique qui ont nui à sa diffusion : seul Gérard Caussé a interprété à notre connaissance cette version et cela à cinq reprises uniquement, entre 1978 et 1991. En s'affranchissant des résonateurs acoustiques, la version avec électronique temps réel, conçue en 2001 par Éric Daubresse en collaboration avec l'altiste Garth Knox, s'avère beaucoup plus simple à monter. Les œuvres mixtes avec électronique temps réel posent, elles aussi, des problèmes de pérennité de par

l'obsolescence des outils technologiques et la nécessité de mettre constamment à jour les logiciels. Néanmoins, grâce à cette nouvelle version de *Prologue*, l'œuvre peut être dorénavant « interprétée et entendue plus souvent » et occupera « sans aucun doute la place qu'elle mérite dans la musique d'aujourd'hui », pour paraphraser les vœux de Garth Knox (Notes en blocs 1, 2001).

Ressources documentaires

Références bibliographiques

- Jérôme Baillet, *Gérard Grisey. Fondements d'une écriture*, Paris, L'Itinéraire/L'Harmattan, 2000.
- François-Xavier Féron, « Sur les traces de la musique spectrale : analyse génétique des modèles compositionnels dans *Périodes* (1974) de Gérard Grisey », *Revue de musicologie*, vol. 96 no. 2, 2010, pp. 411-443.
- François-Xavier Féron, « The emergence of spectra in Gérard Grisey's compositional process : from *Dérives* (1973-74) to *Les Espaces acoustiques* (1974-1985) », *Contemporary Music Review*, vol. 30 no. 5 « (De)composing Sound », 2011, pp. 343-375.
- François-Xavier Féron et Guillaume Boutard, « Instrumentalists on solo works with live electronics : towards a contemporary form of chamber music ? », dans *Live-Electronic Music. Composition, Performance and Study*, F. Sallis, L. Zattra & I. Burleigh, Routledge, 2017.
- Gérard Grisey, *Écrits ou l'invention de la musique spectrale*, édition établie par Guy Lelong avec la collaboration d'Anne-Marie Réby, Paris, Éditions MF, 2008.
- Jean Laurendeau, *Maurice Martenot, luthier de l'électronique*, Louise Courteau / Dervy-Livres, 1990.
- Michaël Levinas, *Le compositeur trouvère. Écrits et entretiens (1982-2002)*, textes réunis et annotés par Pierre Albert Castanet et Danielle Cohen-Levinas, Paris, L'Itinéraire/L'Harmattan, 2002.
- Grégoire Lorieux, « [Analyse de NoaNoa de Kaija Saariaho](#) », *Analyses – Œuvres commentées du répertoire de l'Ircam*.
- « [Notes en blocs 1](#) », programme du concert Pauset-Grisey, Ircam-Centre Pompidou, 3 avril 2001.
- Peter Plessas et Guillaume Boutard, « [Transmission et interprétation de l'instrument électronique composé](#) », Actes des Journées d'Informatique Musicale, Montréal, 2015.
- Yves Potard, Pierre-François Baisnée et Jean-Baptiste Barrière, « Méthodologies de synthèse du timbre : l'exemple des modèles de résonance », dans *Le timbre, métaphore pour la composition*, Jean-Baptiste Barrière éd., Paris, Ircam - Christian Bourgois, 1991, pp. 135-163.
- Kaija Saariaho, « Timbre et harmonie », dans *Le timbre, métaphore pour la composition*, Jean-Baptiste Barrière éd., Paris, Ircam - Christian Bourgois, 1991, pp. 412-453.

Références discographiques

Version pour alto et résonateurs acoustiques

- CD « Gérard Grisey – *Talea ; Prologue ; Anubis ; Nout ; Jour, Contre-jour* »
Ensemble L'Itinéraire, Mark Foster, Pascal Rophé, Gérard Caussé (alto), Claude Delangle

Accord (una corda) 201 952 (1993)

Version pour alto et électronique temps réel

- CD « Spectral viola »
Garth Knox (alto)
[Edition zeitklang ez-10012](#) (2002)

Version pour alto seul

- Double CD « Alto / Multiples »
Christophe Desjardins (alto)
AEON AECD 0981 (2009)
- CD « Works for viola solo »
Ana Spina (alto)
NEOS 10920 (2010)

Intégrale du cycle Les espaces acoustiques

- Double CD « Gérard Grisey – *Les Espaces Acoustiques* »
Gérard Caussé (alto), Ensemble Court-Circuit / Pierre-André Valade (direction), Frankfurter Museumorchester / Sylvain Cambreling (direction)
Accord (una corda) 465 386-2 (1999).
- Double CD « Gérard Grisey – *Les Espaces Acoustiques* »
Garth Knox (alto), Asko Ensemble, WDR Sinfonieorchester Köln / Stephan Asbury (direction)
Kairos 0012422KAI (2005)

Partitions

- Gérard Grisey, *Périodes*, Ricordi 132243, 1974.
- Gérard Grisey, *Prologue*, Ricordi 2248, 1978 (réédition en 1992).
- Gérard Grisey, *Prologue*, Ricordi 2248, 2005 (version inédite avec résonateurs réalisée par Éric Daubresse).

Fonds d'archives

- Collection Gérard Grisey, Manuscrits musicaux, pochettes « Prologue », Fondation Paul Sacher, Bâle.

Entretiens inédits

- Avec Éric Daubresse, le 8 novembre 2011 à Paris.
- Avec Gérard Caussé, le 2 octobre 2012 à Paris.
- Avec Patrick Lenfant, le 9 novembre 2012 par téléphone.

Archives audiovisuelles de l'Ircam

- [Concert](#) – Gérard Grisey, [*Prologue*] pour alto et électronique temps réel, 3 avril 2001, Ircam. Garth Knox (alto), Éric Daubresse (réalisateur informatique musicale).
- Atelier-répertoire – Gérard Grisey, *Prologue* pour alto et électronique temps réel, 18 janvier 2006, Centre Georges Pompidou.
[Présentation de la pièce](#) : Grégoire Lorieux.
[Concert](#) : Garth Knox (alto), Éric Daubresse (réalisateur informatique musicale).
- [Concert](#) – Gérard Grisey, *Prologue* pour alto, 21 juillet 2012, Festival Messiaen au pays de la Meije 2012, Église des Cordeliers.
Noémie Bialobroda (alto).
- [Concert](#) – Gérard Grisey, *Prologue* pour alto et électronique temps réel, ManiFeste-2012 – Concert de musique mixte des étudiants du DAI du CNSMDP et de musique de chambre de l'Internationale Ensemble Modern Akademie, 30 juin 2012, Le Centquatre.
Noémie Bialobroda (alto), Éric Daubresse (réalisateur informatique musicale)

Remerciements

Je tiens à remercier très chaleureusement Éric Daubresse, Gérard Caussé, Patrick Lenfant et Garth Knox pour le temps qu'ils ont consacré à répondre à mes nombreuses interrogations. Je souhaite aussi exprimer toute mon amitié à Robert Piencikowski que je retrouvais toujours avec plaisir lors de chacune de mes visites au sein de la fondation Paul Sacher à Bâle.

-
1. Il nous semble important de faire une distinction entre le Réalisateur en Informatique Musicale (RIM) qui contribue à la confection de la partie électronique d'une œuvre et le Musicien en charge de l'Électronique *Live* (MEL) qui n'a pas nécessairement participé à l'élaboration de cette partie électronique mais qui doit s'assurer de sa mise à jour et de son bon fonctionnement lors d'une performance (lire à ce sujet Plessas et Boutard, 2015). ↩
 2. Par convention, l'harmonique 1 (fréquence f_0) correspond à la fondamentale du spectre. Pour un spectre harmonique, la fréquence de chaque composante spectrale vérifie la relation suivante : $f_n = n \times f_0$. ↩
 3. Grisey a commis une erreur au niveau du premier intervalle : l'écart entre la fondamentale (mi_0) et le second harmonique (mi_1) est une octave, soit 24 quarts de ton et non 22 comme il est indiqué. ↩