

L'ÉLECTRONIQUE DANS *RÉPONS* DE PIERRE BOULEZ : UNE MUSIQUE DE NOTES

Clément Guitard

CICM – Laboratoire MUSIDANSE

Université Paris 8

clement.guitard@gmail.com

RÉSUMÉ

Cet article s'inscrit dans le cadre de notre doctorat, codirigé par Alain Bonardi et Jean-Marc Chouvel. Il propose une étude de l'électronique de *Répons* (1984) de Pierre Boulez (1925-2016). Son objectif est de mettre à jour un choix musical déterminant dans la composition de *Répons*, à partir de l'analyse de l'utilisation de l'électronique dans cette œuvre.

L'article se concentre sur les différents types d'utilisation d'une ligne à retard numérique en temps réel dans *Répons*, en tant que traitement sonore inédit et omniprésent. La création de *Répons*, le 18 octobre 1981 à Donaueschingen, inaugure en effet la 4X, premier processeur de son numérique en temps réel.

Plusieurs exemples ont été réalisés grâce au logiciel *Max*. En 1984, pour la version instrumentale complète de *Répons*, *Max* n'existait pas encore. C'est par souci de clarté de représentation graphique que ce logiciel est ici utilisé. Les contraintes liées à la programmation originale sont respectées¹.

1. INTRODUCTION

Répons est écrit pour six solistes² avec un dispositif électro-acoustique et un ensemble de vingt-quatre instruments. Pour étudier le choix musical relatif à l'utilisation de l'électronique dans *Répons*, il convient dans un premier temps de présenter ce qui fait de cette œuvre un jalon dans l'histoire de la musique électronique, et plus précisément de la musique mixte, à savoir l'utilisation du premier processeur de son numérique en temps réel, nommé 4X par son concepteur l'ingénieur physicien italien Giuseppe di Giugno. À ce titre, la 4X est aujourd'hui visible au Musée de la musique à la Cité de la Musique de Paris.

Giuseppe di Giugno fut recruté par Luciano Berio, lorsque ce dernier était directeur du département de recherche en électroacoustique de l'Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique (IRCAM), de 1976 à 1980. La mission donnée par Luciano Berio à Giuseppe di Giugno était de créer une machine capable de produire 1 000 formes d'ondes simultanées. Avant d'arriver

au prototype final, la 4X, il y eut plusieurs étapes : la 4A, la 4B et la 4C. La conception de la 4X s'est ainsi déroulée de 1976 à 1984, en même temps que la composition de *Répons*, dans les studios de l'IRCAM, fondé et dirigé alors par Pierre Boulez lui-même.

Dans le cadre de cette introduction à l'analyse de l'électronique de *Répons*, nous détaillerons uniquement les spécificités du matériel informatique de la 4X, puisque c'est elle qui est utilisée lors des différentes versions de la partition instrumentale de *Répons* – qui datent de 1981, 1982 et 1984.

À la fin de cette introduction, après avoir présenté la 4X, nous examinerons la place de l'électronique dans l'œuvre et les différents traitements utilisés, afin de mettre à jour l'élément fondamental à analyser pour comprendre l'emploi de l'électronique dans *Répons*.

1.1. Le dispositif électro-acoustique de *Répons*

En ce qui concerne le dispositif électro-acoustique utilisé en 1984 pour la création de la version complète de la partition instrumentale de *Répons*, nous commençons d'abord par présenter les principales machines utilisées.

1.1.1. Les appareils électroniques utilisés en 1984

Les appareils électroniques utilisés en 1984 sont les suivants (figure 1) :

- un PDP-11/55, qui est un mini-ordinateur dont l'adressage mémoire est limité à 16 bits ;
- la Matrix-32, qui est une interface analogique pilotée par une liaison MIDI – norme qui apparaît en 1983 – servant à contrôler le système d'amplification des solistes via les haut-parleurs. Elle a été conçue et implémentée en 1984, afin de remplacer le « Halaphon » utilisé pour *Répons* en 1981 et 1982. La Matrix 32 est reprogrammable en 10 millisecondes ;
- la 4X, qui est un processeur de son numérique possédant une puissance de calcul – au sens de quantité et de vitesse – alors inédite en 1981. Elle est de l'ordre de 200 millions d'opérations par seconde.

À noter que la syntaxe informatique utilisée connut une évolution entre la création de la première version de *Répons* en 1981 et la version de 1984 : le langage DP va remplacer le langage Fortran, qui a été conçu spécifi-

¹ Un entretien à l'IRCAM avec Andrew Gerzso, assistant de Pierre Boulez pour la réalisation de la partie informatique de *Répons*, a précédé ce travail.

² Piano 1, piano 2/orgue électrique, harpe, vibraphone, glockenspiel/xylophone et cymbalum.

quement pour la version de 1984 par Andrew Gerzso, assistant de Pierre Boulez dans la réalisation en informatique musicale.

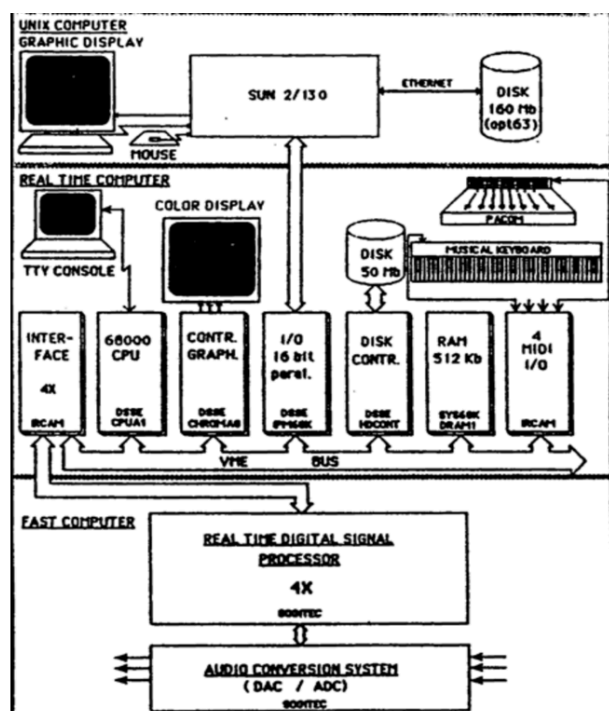


Figure 1. Dispositif électro-acoustique de *Répons* en 1984 [7].

La particularité de *Répons* réside dans l'utilisation de la 4X, cette œuvre inaugurant son emploi. C'est en particulier cette partie du matériel informatique et du dispositif dans son ensemble qui nous concerne pour l'analyse de la composition musicale de l'électronique, car il s'agit de la partie en relation directe avec la programmation du traitement du son numérique en temps réel dans *Répons*.

1.1.2. La 4X : premier processeur de son numérique en temps réel

Dans l'ensemble du dispositif électro-acoustique de *Répons*, la 4X désigne, de manière plus précise, un rack placé dans une baie et constitué de onze cartes électroniques programmables (figures 2 et 3) :

- 8 cartes universelles de traitement 4U, qui constituent des micro-processeurs capables de produire 129 formes d'ondes chacun. Le travail arithmétique se fait sur la base de nombres entiers ;
- 1 carte mémoire-tampon 4MT de 16 000 mots ;
- 1 carte 4TI permettant de programmer 256 horloges internes, ainsi que de gérer les entrées-sorties, avec 16 convertisseurs analogique-numérique et 16 numérique-analogique ;
- 1 carte interface 4IC.

Ces cartes permettent chacune la programmation indépendante – notamment pour la fréquence d'échantillonnage – et synchronisable d'un module de traitement sonore. Dès lors, il s'agit d'observer les diffé-

rents types de traitements sonores présents dans *Répons*, programmés via la 4X que nous venons de décrire.

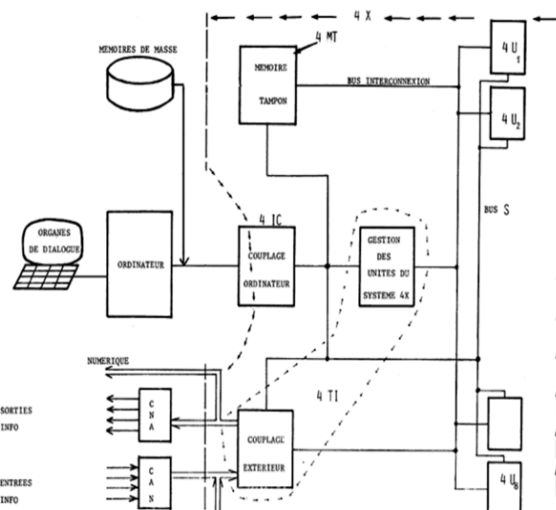


Figure 2. 4X, structure interne [8].

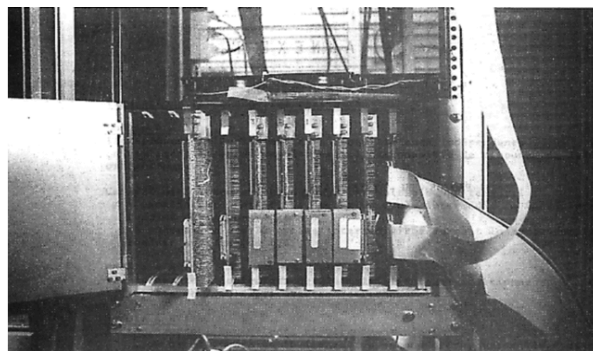


Figure 3. 4X, châssis ouvert. De gauche à droite : 6 des 8 cartes 4U, ainsi que les 3 cartes 4 MT, 4 TI, 4 IC. Les cartes font 30 cm de largeur [8].

1.2. Le traitement du son numérique dans *Répons*

L'œuvre est divisée en une introduction, huit sections et une coda. Les solistes jouent à partir de la section 1 jusqu'à la coda. C'est seulement le son acoustique des six solistes qui est traité numériquement en temps réel.

1.2.1. La ligne à retard numérique dans *Répons*

Au regard de la partition de *Répons*, ainsi qu'à l'écoute de l'œuvre, hormis la section 4, toutes les sections intègrent l'utilisation de lignes à retard numériques en temps réel. Elles sont ainsi utilisées dans huit sections sur dix.

Ce traitement sonore constitué par la ligne à retard numérique est donc omniprésent dans *Répons*. On peut dire qu'il en est le principe électronique de base. Le titre de l'œuvre lui-même, du reste, en est un manifeste. Il renvoie, en partie, à l'idée de « réponse » électronique effectuée lorsqu'une ligne à retard numérique est déclenchée.

Principe électronique fondamental de *Répons*, la ligne à retard est audible pendant les durées suivantes lors de chacune des sections où elle est présente :

- section 1 : 1' 30" ;
- section 2 : 1' ;
- section 3 : 40" ;
- section 5 : 2' 40" ;
- section 6 : 3' ;
- section 7 : 30" ;
- section 8 : 3' 10" ;
- coda : 2' 30" .

Soit un total d'environ 15 minutes sur les 45 minutes de l'œuvre – selon la variabilité de l'interprétation en concert –, c'est-à-dire un tiers du temps global d'exécution. Ceci permet de relativiser la place de la ligne à retard numérique dans *Répons* de Pierre Boulez, et plus généralement de l'électronique dans cette œuvre.

En même temps, la ligne à retard numérique reste bien le choix électronique qui donne son originalité à l'œuvre. Les premières pédales de lignes à retard numériques utilisées par des guitaristes dans la production de musiques dites de style rock furent commercialisées en 1984 par la marque BOSS, soit seulement à partir de la création de la troisième version de *Répons*. Surtout, la 4X étant le premier processeur de son numérique en temps réel, aucun autre compositeur de musique dite « savante » ou « de tradition écrite » – pour des instruments tels que le piano, la harpe ou le glockenspiel – n'avait auparavant employé de lignes à retard numériques en temps réel, de surcroît avec une telle ampleur⁵.

Quoi qu'il en soit donc, il semble bien nécessaire d'étudier les différentes utilisations d'une ligne à retard dans *Répons*, pour saisir le choix musical de Boulez en relation avec sa façon de composer avec l'électronique.

1.2.2. Qu'est-ce qu'une ligne à retard ?

La ligne à retard consiste à décaler la sortie du signal sonore entrant d'une certaine durée et à un certain volume. Plusieurs retards peuvent être par ailleurs programmés avec une seule ligne, qui produit alors un certain nombre de signaux sortants à partir d'un seul signal entrant.

Le module de traitement possède deux paramètres principaux de programmation :

- la durée du retard, en millisecondes. À chaque retard, elle peut être isochrone – la durée étant un multiple de l'unité de base – ou différente ;
- l'amplitude sonore du retard. À chaque retard, elle peut être identique, différente, ou encore à décroissance exponentielle.

De plus, la ligne à retard possède un comportement polymorphe, c'est-à-dire que le résultat entendu après déclenchement de la ligne à retard diffère selon les valeurs de ses paramètres. À titre d'exemple, la ligne à retard peut ainsi avoir pour effet un écho mis en rythme et/ou dynamisé, un filtre modifiant le timbre, une réverbération, ou encore un trémolo. Le caractère polymor-

phe de la ligne à retard est essentiel dans *Répons* : à partir d'un même traitement numérique de base, l'œuvre propose à entendre de multiples effets sonores. C'est un des éléments importants de notre analyse, bien que le principe d'écho mis en rythme reste majoritairement employé, comme nous le verrons plus loin.

1.2.3. Types de lignes à retard dans Répons

Notre analyse regroupe les modules de lignes à retard dans *Répons* en cinq types :

- lignes à retard numériques avec déplacement de fréquence (section 1 et coda) ;
- lignes à retard numériques avec amplitude à décroissance exponentielle (sections 2 et 8) ;
- réverbération avec filtre (sections 3 et 7) ;
- lignes à retard numériques avec amplitude variable (section 6) ;
- lignes à retard numériques avec modulation en anneaux (section 5).

Cette typologie permet d'une part de clarifier et de comparer, à partir d'un même type de traitement ou d'une même combinaison de traitements, les différences de données, d'autre part de mettre à jour l'implication formelle de l'électronique dans *Répons*.

2. LIGNES À RETARD NUMÉRIQUES AVEC DÉPLACEMENT DE FRÉQUENCE

Dans *Répons*, deux moments intègrent l'utilisation de lignes à retard numériques combinées avec un déplacement de fréquence : la section 1 et la coda. Pour rappel, le *frequency shifting* (déplacement de fréquence) est une modulation en anneaux (*ring modulation*) ne gardant qu'un seul des deux résultats – positif ou négatif.

2.1. Retards isochrones (section 1)

La section 1 marque l'entrée des solistes, à partir du chiffre 21, à environ 6' 30". Concernant la mise en scène, les solistes – placés tout autour du public – sont dans l'obscurité pendant toute l'introduction et ne jouent pas. Au chiffre 21, qui correspond à la première mesure de la section 1, ils se trouvent éclairés et se mettent à jouer pour la première fois. Puis, au chiffre 22, chaque soliste joue à tour de rôle. Des sons électroniques produits par traitement numérique du son en temps réel se font alors entendre. La partie de chaque soliste est traitée avec des lignes à retard numériques dont le rythme est isochrone – c'est-à-dire régulier –, avec une valeur ajoutée en millisecondes qui est la même à chaque retard – et donc multiple d'une unité de base (figure 4).

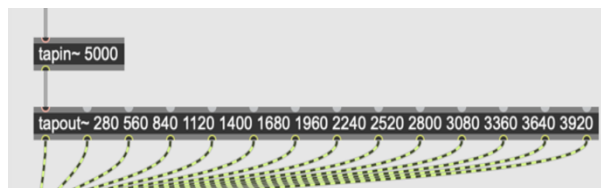


Figure 4. Ligne à retard isochrone (piano 1, chiffre 22).

⁵ Dans *Répons*, les lignes à retard sont multiprises.

La musique, à vitesse modérée, n'est pas pulsée : le chef d'orchestre doit attendre la fin de la ligne à retard pour donner un signal de départ au prochain soliste. La ligne à retard est combinée à un déplacement de fréquence (tableau 1).

Délai	1, 10	2, 5, 14	4, 6, 9, 13	3, 7, 11	8, 12
Fréquence	+ 233	- 233	+ 783	+ 987	- 987

Tableau 1. Données relatives aux retards avec déplacement de fréquence appliqués au son du piano 1, chiffre 22 [10].

Ce choix permet d'obtenir un maximum de fréquences se retrouvant à hauteur de la gamme tempérée, et aux mêmes hauteurs que celles jouées au départ par le piano (figure 5) – bien que le timbre s'en trouve altéré, étant donné qu'il s'agit d'un spectre inharmonique. Cet aspect est illustré par la figure 6 : à partir de *si* bémol, les notes obtenues sont *si* bémol, *fa* dièse, *si* bécarré et *ré* dièse. De plus, la régularité des retards permet de conserver la figure d'arpège initiale. Seule la direction de l'arpège – ascendante ou descendante – est modifiée en fonction du type de déplacement – positif ou négatif.



Figure 5. Accord arpégé de départ (piano 1, chiffre 22).



Figure 6. Notes obtenues par les déplacements de fréquence à partir de *si* bémol (piano 1, chiffre 22) [9].

2.2. Retards irréguliers (coda)

Dans la coda, l'orchestre, situé au centre de la salle, arrête de jouer et plonge également dans l'obscurité. Les solistes jouent seuls jusqu'à la dernière mesure de l'œuvre.

En ce qui concerne le traitement du son numérique en temps réel, le rythme des lignes à retard est irrégulier et non plus isochrone, les durées étant modifiées à chaque retard (figure 7).

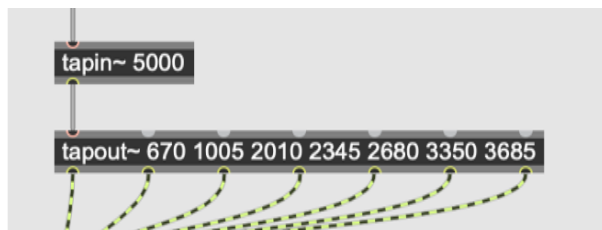


Figure 7. Ligne à retard irrégulière (harpe, coda).

Alors que l'arpège de la section 1 était une figure ornementale, il s'agit ici d'une figure rythmique précise qui dépasse la mesure à 3 temps dans laquelle s'inscrit la partie instrumentale (54 battements par minute) (figure 8).

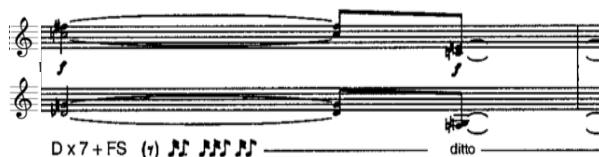


Figure 8. Figure rythmique produite par les lignes à retard (harpe, deuxième mesure de la coda, chiffre 99) [4].

De plus, tous les solistes attaquent cette fois-ci en même temps au premier temps de la mesure indiquée par le chef. L'effet résultant est une superposition de lignes à retard mises en rythme, combinées avec des déplacements de fréquence, évoquant le son d'un carillon. Boulez écrit à ce sujet : « j'ai pris comme modèle la technique du *bell ringing* [...]. J'ai demandé à di Giugno de transformer ce principe avec des rythmes bien définis mais qui pouvaient changer » [3].

3. LIGNES À RETARD NUMÉRIQUES AVEC AMPLITUDE À DÉCROISSANCE EXPONENTIELLE

De la même manière que la coda répond à la section 1 en reprenant la combinaison de lignes à retard avec déplacement de fréquence, les sections 2 et 8 se répondent. Elles ont en commun de faire entendre des lignes à retard avec amplitude à décroissance exponentielle.

3.1. Retards irréguliers (section 2)

Dans la section 2, les retards sont de durée irrégulière (figure 9). De plus, à chacun des retards s'applique une décroissance exponentielle de l'amplitude. Le résultat a pour effet l'extinction progressive du son électronique, comme lors d'un écho. Cela est par ailleurs cohérent avec l'évolution dynamique du timbre des instruments solistes. En effet, cette partie musicale n'est pas dirigée. Le piano – entre autres – joue rapidement (138 à la noire) en gardant la pédale de résonance appuyée, laissant ainsi chaque son décroître librement de manière exponentielle. La figure 10 montre l'enveloppe sonore type des solistes.

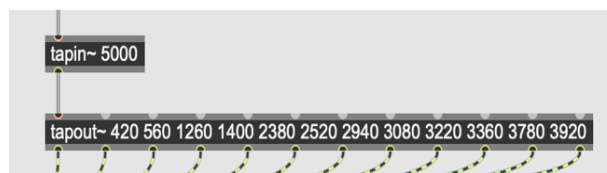


Figure 9. Ligne à retard irrégulière (piano 2, section 2, chiffre 34).

L'écoute de cet écho mis en rythme rappelle l'utilisation de la ligne à retard dans la coda, décrite ci-dessus : les attaques sont simultanées et les figures rythmiques produites par l'électronique précisées. De plus, il s'agit d'une réappropriation du procédé de la strette rythmique, utilisé ici dans le domaine de l'électronique. La ligne à retard se reproduisant à chaque note jouée, elle donne à entendre une polyrythmie dense et complexe, à partir d'un traitement sonore simple.



Figure 10. Enveloppe sonore type des solistes (exemple pris sur l'attaque percussive du piano 1) [5].

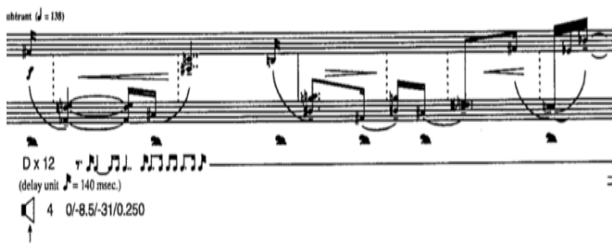


Figure 11. Canon rythmique entre la partie instrumentale et la ligne à retard (piano 2, section 2, chiffre 27, lecture en clé de sol 2° et clé de fa 4°) [3].

La figure rythmique produite par la ligne à retard est une imitation rigoureuse du rythme joué par le piano 2, comme dans un canon (figure 11). Cependant, ce canon rythmique se reproduit à chacune des notes jouées, donnant lieu à une réelle virtuosité du résultat sonore rendu possible grâce à la 4X.

3.2. Retards isochrones (section 8)

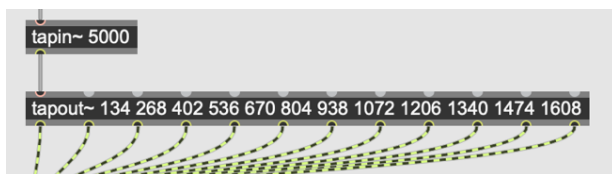


Figure 12. Retards isochrones, section 8 (piano 1, chiffre 95).

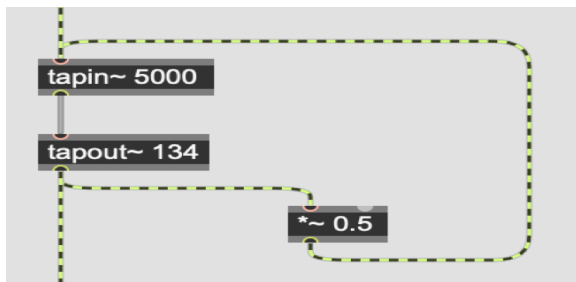


Figure 13. Ligne à retard réinjectée, créant un effet de trémolo (section 8).

Alors que la coda faisait entendre des rythmes irréguliers par rapport aux lignes à retard isochrone de la section 1, c'est l'inverse qui se produit dans la section 8, qui comporte une régularisation du traitement rythmique par rapport à la section 2 (figure 12). La réinjection des retards crée surtout un effet de trémolo électronique à chaque note jouée (figure 13). Les instruments à cordes jouent par ailleurs aussi des trilles au même instant.

4. RÉVERBÉRATION

Toujours dans un esprit de sections qui se répondent, les sections 3 et 7 utilisent toutes les deux la réverbération comme traitement sonore. La réverbération est un module de traitement basé sur plusieurs ensembles de lignes à retards réinjectées. La superposition de celles-ci et leur rapprochement dans la durée permet de simuler de la réverbération. La confusion entre la source sonore initiale et sa répétition est l'effet désiré. À l'écoute, ce dernier est donc sensiblement différent d'un effet de ligne à retard simple ; cependant, dans la réalisation du module, la ligne à retard est encore nécessaire (figure 14).

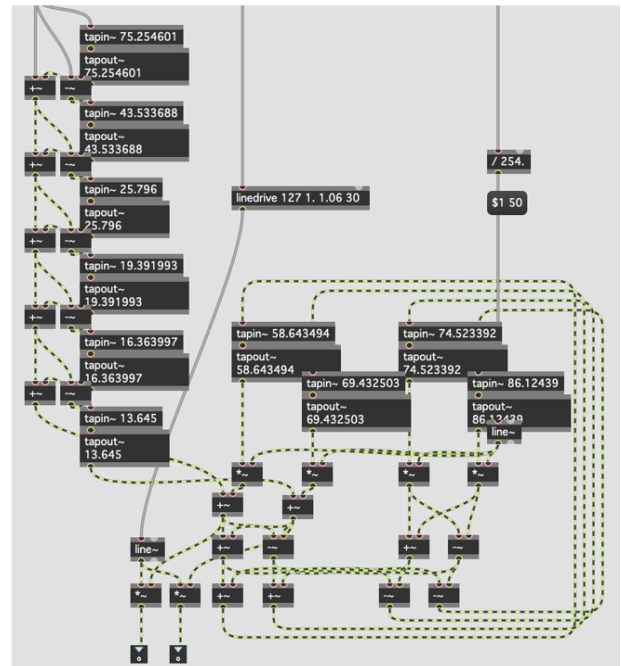


Figure 14. Exemple de réseau de lignes à retard, afin d'obtenir une réverbération.

4.1. Avec filtre en peigne (section 3)

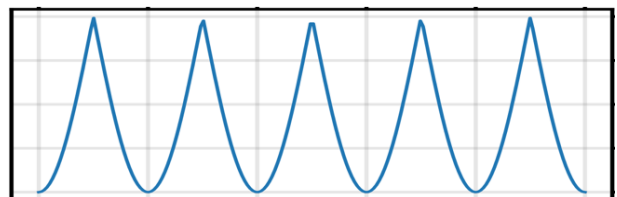


Figure 15. Représentation simple d'un filtre en peigne (abscisse : fréquence en hertz ; ordonnée : amplitude).

Dans la section 3, la réverbération est combinée avec un filtre en peigne, qui est une ligne à retard de courte durée et dont la réinjection (*feedback*) crée le filtrage. La ligne à retard s'applique alors à l'amplitude sonore (figures 15 et 16).

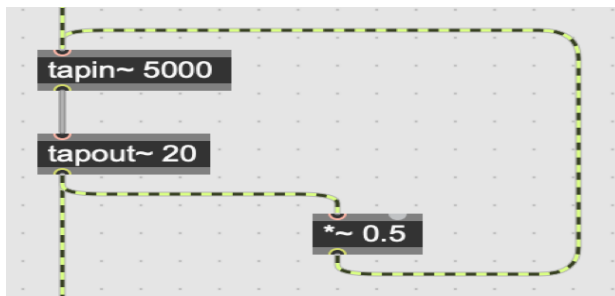


Figure 16. Ligne à retard resserrée et réinjectée, produisant l'effet de filtre en peigne (piano 1, section 3).

4.2. Avec enveloppe percussive (section 7)

Dans la section 7, la réverbération se combine avec une enveloppe percussive. Très différent du filtre en peigne, ce traitement permet principalement d'accentuer l'attaque caractéristique du piano. Il ne sera intégré dans *Répons* qu'en 1999, à l'occasion de son enregistrement sur disque compact. En 1984, il n'y avait aucun traitement sonore numérique dans la section 7.

5. LIGNES À RETARD NUMÉRIQUES À DYNAMIQUE VARIABLE (SECTION 6)

L'électronique de la section 6 utilise des lignes à retard dont l'amplitude varie à chaque retard. Ces retards se déclenchent de manière cohérente, au moment où le soliste joue une partie où la dynamique varie d'une note à l'autre (figure 17).



Figure 17. Exemple de dynamiques variées dans la section 6, partie instrumentale type pour le déclenchement des lignes à retard (piano 1, chiffre 61) [3].

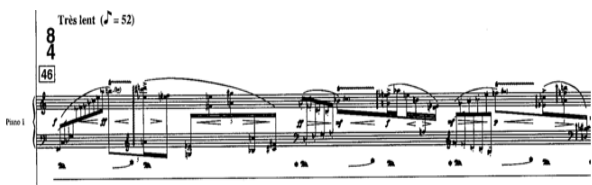


Figure 18. Exemple de variations dynamiques dans la section 4 (piano 1, chiffre 46) [3].

De manière logique, mais moins apparente, la section 6 répond à la section 4. Dans cette dernière, si l'électronique n'est pas fondée sur l'emploi de lignes à

retard, comme nous l'avons montré précédemment, elle se déclenche tout de même selon la dynamique sonore du jeu instrumental. En effet, dans cette section, plus l'instrument soliste joue fort, plus le volume de la synthèse sonore – préenregistrée – le sera également. La partie instrumentale, comme dans la section 6, est très variée dans sa dynamique (figure 18). Ce suivi d'amplitude permet à l'électronique de participer au long crescendo orchestral.

6. LIGNES À RETARD NUMÉRIQUES AVEC MODULATION EN ANNEAUX (SECTION 5)

Enfin, la section 5, qui constitue la section centrale de l'œuvre, emploie différentes combinaisons de traitements, contrairement aux autres sections basées sur un seul type ou une seule combinaison. La récurrence se situe dans l'emploi de la modulation en anneaux, qui rappelle l'utilisation des déplacements de fréquence dans la section 1 et dans la coda. Comme nous l'avons montré précédemment, les retards combinés avec la modulation en anneaux sont soit isochrones, soit irréguliers.

7. COMPOSITION

La ligne à retard numérique, traitement sonore principal à la base de l'essentiel de la partie électronique de *Répons*, possède plusieurs fonctions dans l'œuvre, et produit divers résultats sonores selon son paramétrage – notamment écho mis en rythme et/ou dynamisé, trémolo, réverbération, filtre en peigne. Dans les huit sections avec lignes à retard numériques, l'écho reste cependant l'effet sonore majoritairement employé – dans les sections 1, 2, 5, 6, 8 et la coda.

7.1. Les lignes à retard et la structure musicale

Comme cette analyse permet de le constater, la ligne à retard numérique articule la forme de *Répons*. Cette dernière peut alors être représentée à partir de l'usage de l'électronique comme un miroir asymétrique (figure 19) :

- entre la section 1 et la coda, qui comportent des retards avec déplacement de fréquence d'abord isochrones, puis irréguliers ;
- entre la section 2 et la section 8, qui comportent des retards irréguliers devenant isochrones ;
- entre la section 3 et la section 7, qui comportent une réverbération avec filtrage ;
- entre la section 4 et la section 6, qui comportent des retards dynamiques ;
- et enfin avec la section 5 en tant que section centrale.

Par ailleurs, *Répons* est la première œuvre instrumentale avec électronique qui apporta à Boulez une entière satisfaction sur le plan musical et technique, les quelques essais antérieurs ayant été retirés de son catalogue

dès leur première exécution⁷. La ligne à retard apparaît d'autant plus comme un choix musical essentiel en ce qui concerne l'utilisation de l'électronique par Boulez.

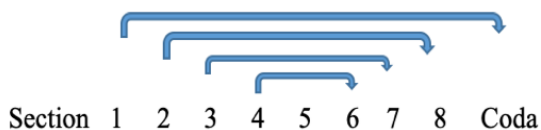


Figure 19. Réponses entre les sections par regroupement des types de traitement sonore.

Dans *Répons*, les lignes à retard ne sont plus analogiques – comme dans *Poésie pour pouvoir* dont *Répons* devait être au départ la réécriture –, mais numériques. À ce titre, l'avènement du numérique, auquel participe alors Boulez dans le domaine de la composition musicale, est donc fondamental. En effet, l'emploi de lignes à retard de type numérique permet la composition d'une musique de notes, comme en témoigne par ailleurs le manuscrit du compositeur, où la partie des traitements sonores numériques est écrite en notes musicales (figure 20) : Boulez pense donc l'électronique avant tout en termes de notes musicales.

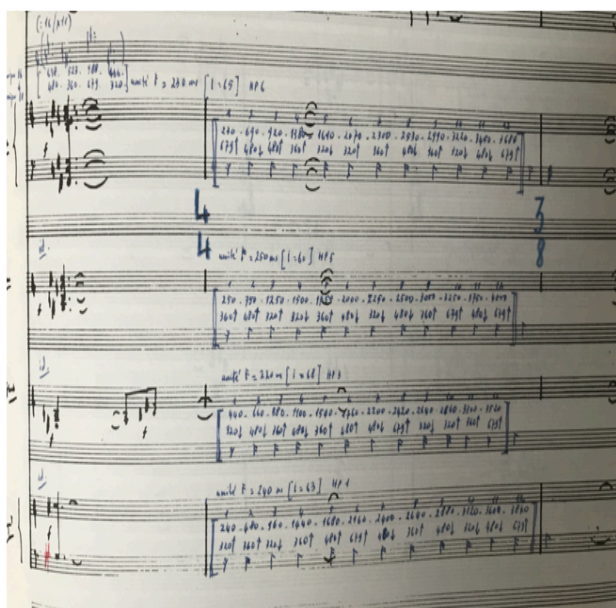


Figure 20. Partition manuscrite de *Répons* annotée par Boulez (coda) [2]. En haut à gauche, les fréquences de modulation écrites à la fois en nombres (hertz) et en hauteurs tempérées correspondantes. Au centre, les lignes à retard écrites à la fois en figures rythmiques et en valeurs de durée (millisecondes).

7.2. Une musique de notes

Une note musicale est décrite par deux valeurs discrètes principales : la hauteur et la durée. De manière similaire, les lignes à retard dans *Répons* sont basées sur des valeurs discrètes constituées par des nombres entiers. Nous l'avons vu dans le cas des durées, ainsi que

⁷ *Poésie pour pouvoir* (1958), ...*explosante-fixe*... (1973).

dans les déplacements de fréquence, qui sont choisis afin d'obtenir un résultat à hauteur de la gamme tempérée, même si le timbre augmente bien en inharmonicité.

Boulez utilise le processeur numérique 4X afin de composer une partie électronique comme il composerait une partie instrumentale, dans la tradition de la musique occidentale écrite, en affinité avec la pensée de Descartes qui considère que les deux propriétés du son les plus remarquables sont la durée et la hauteur [6].

8. CONCLUSION

Pour synthétiser l'apport essentiel du processeur 4X vis-à-vis du jeu instrumental, l'utilisation intense de lignes à retard numériques en temps réel dans *Répons* présente trois principales caractéristiques :

- altération du timbre et augmentation de son inharmonicité, rapprochant l'attaque instrumentale d'un son de cloche – comme dans le cas de la modulation en anneaux ;
- production d'échelles dynamiques mesurées, que ce soit par des enveloppes sonores particulières ou par des imitations d'échos à amplitude variable et décroissante, sachant qu'un instrumentiste ne mesure pas la dynamique des notes musicales qu'il joue avec autant de précision et d'exactitude que le processeur numérique puisque ce dernier se base sur des nombres plutôt que des symboles (*piano*, *forte*, *crescendo*). Ces échelles dynamiques mettent en relief les parties instrumentales entre elles ;
- superposition de multiples lignes à retard créant une polyphonie dense et complexe, qui dépasse les capacités humaines en termes de vitesse et de précision d'exécution de ces strettes rythmiques resserrées.

De plus, six des sept instruments solistes de *Répons* sont des claviers-percussions métalliques à hauteur déterminée ; leurs attaques possèdent donc des similitudes en ce qui concerne leur enveloppe. Ces attaques trouvent une continuité, par amplification, avec les traitements électroniques utilisés tel que la modulation en anneaux, le déplacement de fréquence, la ligne à retard avec amplitude à décroissance exponentielle, ou les filtres décrits précédemment. De manière générale, leur résonance acoustique trouve un prolongement artificiel – de par la notation musicale de l'électronique – dans l'écho produit avec la ligne à retard numérique.

8.1. De la théorie à la pratique

À la lecture de *Penser la musique aujourd'hui*, qui retranscrit les exposés donnés par Boulez dans le cadre des *Cours d'été de Musique Nouvelle* de Darmstadt à la fin des années 1950 et qui procède d'une volonté de « promouvoir une théorie de la série généralisée » [1], nous sommes frappés par la continuité entre les propos spéculatifs de Boulez sur la musique électroacoustique, l'apparition future du numérique et de l'ordinateur, et sa réalisation musicale grâce au processeur numérique 4X dans *Répons* plus de vingt ans après : « étant donné le

perfectionnement rapide des techniques électroniques [...] la dynamique sera mesurée » [1] ; « construire des instruments [...] tenant au maximum l'accord [...]. Le matériau le plus indépendant des conditions atmosphériques reste la vibration électronique [...]. Muni d'un cerveau électronique avec mémoire, pour enregistrer et effectuer toutes les combinaisons » [1] ; « si les changements de proportions sont complexes, précis, et instantanés, ou si les variations de la pulsation sont rigoureuses, seuls les moyens électromécaniques les réaliseront avec l'exactitude requise » [1] ; « dans la musique électroacoustique [...] on établit des proportions numériques [...] l'amplitude, dans le cas des transmissions électro-acoustiques, possède, très exactement des proportions absolues et tessiture mesurable [*sic*] » [1].

8.2. Le temps réel, pour un thématisme ?

Avec *Répons*, Boulez n'a pas réalisé une musique uniquement par ordinateur comme le fit par exemple John Chowning⁸, mais bien une musique mixte basée sur des notes musicales. En effet, en tant que musique mixte, son utilisation des sons de synthèses purs – par exemple, par synthèse additive – est très restreinte – avec une seule section sur dix – et avec un rôle secondaire de fond sonore. Si l'électronique dans *Répons* implique une musique de notes, la partie instrumentale doit aussi faire l'objet d'une étude. Le traitement du son numérique est bien en temps réel, en cohésion avec la partition instrumentale. Ainsi, bien que la ligne à retard reste le traitement sonore électronique principal de *Répons* – et de surcroît un élément significatif et original de cette composition –, elle ne peut être entièrement comprise qu'en relation avec la partie instrumentale. Certains éléments évoqués dans cet article en montrent par ailleurs des prémisses, comme l'accord arpégé de la section 1 ou la figure rythmique de la section 2, qui font l'objet d'une multiplication grâce au médium électronique.

Dans le cadre de notre thèse, il s'agira d'analyser en profondeur les relations et ce qui induit une cohésion entre les notes musicales électroniques et instrumentales. Boulez, alors même qu'il compose *Répons* entre 1979 et 1984, réactualisera dans ses leçons du Collège de France la notion de « thème » : cette notion nous sera primordiale pour comprendre, au-delà de l'utilisation de lignes à retard numériques, la manière dont Boulez compose avec *Répons* une musique mixte dont la partie instrumentale, basée sur des notes musicales, est prépondérante.

9. RÉFÉRENCES

- [1] Boulez, P. *Penser la musique aujourd'hui*. Éditions Gonthier, Paris, 1963.
- [2] Boulez, P. *Répons*, reproduction de la partition manuscrite annotée et autographiée de Pierre Boulez, exemplaire limité n° 100/199, Colophonarte, Venise ; Universal Edition, [New York], 1981.
- [3] Boulez, P. *Répons*. Universal Edition, Londres, 2015.
- [4] Boulez, P., Changeux, J.-P., Manoury, P. *Les Neurones Enchantés*. Éditions Odile Jacob, Paris, 2014.
- [5] Boulez, P., Gerzso, A. « Computers in Music », *Scientific American* 258/4 (1988), p. 44-51.
- [6] Descartes, R. *Abrégé de musique, Œuvres de Descartes* (vol. V), Cousin, V. (éd.). F. G. Levrault, Paris, 1824. [1^{re} éd. 1618.]
- [7] Di Giugno, G., Kott, J. Gerzso, A. « Progress Report on the 4X Machine and Its Use », Proceedings of the International Computer Music Conference, North Texas State University, USA, 1981.
- [8] Favreau, E., Gerzso, A., Potacsek, P. « Programmation du processeur numérique temps réel 4X », Proceedings of the International Computer Music Conference, Paris, 1984.
- [9] Gerzso, A. « Reflexions on *Répons* in Musical thought at IRCAM », *Contemporary Music Review* 1 (1984), p. 23-34.
- [10] Gerzso, A. *Réponso : Technical Manual*. Universal Edition, Londres, 2014.

Texte édité par Nathalie Hérold

⁸ Les *Bell Laboratories* furent cependant un modèle dans la conception de l'IRCAM.