



**HAL**  
open science

## Membrane Computing et recherche artistique en composition musicale

Carretero Alberto

► **To cite this version:**

Carretero Alberto. Membrane Computing et recherche artistique en composition musicale. Christophe d'Alessandro; Achille Davy-Rigaux; Christophe Pirenne; Solène Bellanger; Sylvie Pébrier; Julie Rosenkranz; Florence Roy; Mickaël Robert-Gonçalves (dir.). Recherches en musique Actes des Rencontres nationales sur les recherches en musique, Collegium Musicæ de l'Alliance Sorbonne Université, pp.147-153, 2023, Collection MusiqueS & Interdisciplinarité, 10.25836/rnrm.2020.16 . hal-04226010

**HAL Id: hal-04226010**

**<https://hal.science/hal-04226010>**

Submitted on 4 Oct 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# 2

## *Membrane Computing* et recherche artistique en composition musicale

**Alberto Carretero**

Compositeur et professeur de composition, Conservatoire supérieur  
de musique Manuel-Castillo de Séville, Espagne

DOI → <https://doi.org/10.25836/rnrm.2020.16>

## PRÉSENTATION

Le calcul par membrane appliqué à la composition musicale fait partie du domaine de la biologie de systèmes. Ce puissant outil technologique ouvre des paysages insolites pour la création musicale d'aujourd'hui, car il peut assister le compositeur dans de nombreuses tâches spécifiques de calcul avancé. Cette étude servira de support pour établir certaines considérations techniques et esthétiques qui posent de nouveaux défis pour le compositeur-chercheur.

## OBJECTIFS DE CETTE RECHERCHE EN COMPOSITION MUSICALE

Cette recherche étudie les applications des techniques bio-inspirées à la composition musicale, en particulier le calcul membranaire avec P-systèmes (formalisme qui modèle les membranes d'une cellule). Le projet part d'une réflexion sur les relations possibles entre les processus naturels et musicaux, ainsi que sur les principes stylistiques et esthétiques de ces outils. L'objectif principal de la recherche est celui d'obtenir des résultats musicaux artistiques personnels et des conclusions généralisables après l'application créative de différents types de P-systèmes à travers l'assignation des paramètres musicaux aux paramètres cellulaires.

## MÉTHODOLOGIE

À partir d'un cadre théorique déductif qui mène à des perspectives d'applicabilité, on choisit une méthodologie de recherche inductive sur la composition et la technologie musicale, en généralisant les possibilités d'application de ces techniques à partir de stratégies spécifiques. Il s'agit d'une approche auto-ethnographique, étape par étape, pour rendre le processus transparent. On a utilisé le simulateur P-lingua<sup>18</sup> pendant les premières étapes du workflow du compositeur, c'est-à-dire, pour la planification de la composition.

## MEMBRANE COMPUTING ET P-SYSTÈMES

Le calcul membranaire (*membrane computing*) est fondé sur les P-systèmes introduits par Gheorghe Păun (2000). Ces systèmes simulent le comportement des membranes cellulaires, c'est-à-dire, les modes de fonctionnement d'une cellule en tant qu'organisme vivant capable de traiter et de générer des informations. Il s'agit de modèles non déterministes de type distribués, parallèles et

<sup>18</sup> P-Lingua main page: [http://www.p-lingua.org/wiki/index.php/Main\\_Page](http://www.p-lingua.org/wiki/index.php/Main_Page), consulté le 23 mai 2021.

maximaux qui présentent une composante aléatoire, en permettant des solutions différentes à partir des mêmes données d'entrée. Les calculs sont effectués simultanément dans différentes parties du système ou de l'algorithme et le nombre maximum de données possibles est utilisé à chaque instant. Les études de Păun ont montré que la puissance de calcul des systèmes membranaires est équivalente aux machines de Turing.

L'exigence fondamentale pour que puisse exister un P-système consiste en la conception structurelle de membranes de façon qu'elles fournissent une hiérarchie. Cette structure cellulaire est protégée des interactions directes avec l'environnement par une «peau» correspondant à une membrane incluant toutes les autres. À l'intérieur des membranes, il y a des règles d'évolution qui gèrent les processus des membranes et des objets présents dans les membranes. Les différents compartiments (membranes) qui composent une cellule permettent l'exécution simultanée de réactions chimiques et l'échange de composants. De plus, les membranes ont une certaine perméabilité, elles ont la capacité d'être traversées par des composés ou des objets. Ce paramètre est défini par certaines polarisations, de sorte qu'il peut y avoir des flux irréversibles, qui travaillent dans un sens, mais qui sont fermés dans le sens opposé (phénomène connu sous le nom de semi-perméabilité).

Il existe d'autres variantes pour les P-systèmes, comme ceux qui utilisent la structure interne de composés cellulaires (ADN, ARN ou molécules protéiques), ceux qui permettent de modifier la structure cellulaire (dissolution, création, division ou duplication de membranes), ceux qui incluent des catalyseurs (qui sont nécessaires pour l'application des règles d'évolution, mais ne varient pas), ceux qui traitent sélectivement des composés situés à l'intérieur des membranes, etc. À partir de ces modèles algorithmiques, le compositeur applique et modélise des processus musicaux, en rendant son travail artistique et scientifique transparent et détaillé.

## **APPLICATIONS À LA COMPOSITION MUSICALE**

Ces machines bio-inspirées permettent de modéliser certaines facettes du travail compositionnel, en particulier celles à caractère mécanique ou systématique, qui nécessitent un gros volume de calcul. Dans ce cas, les outils technologiques actuellement disponibles deviennent d'excellents assistants pour le compositeur, l'enseignant et le chercheur. L'objectif n'est pas une simulation littérale de tous les processus qui ont lieu à l'intérieur de la cellule, car cela deviendrait un modèle extrêmement complexe et peu pratique pour ce cas d'étude. La recherche créative ne prend pas seulement en compte les aspects purement techniques, mais considère également les dimensions esthétiques et stylistiques.

Une caractéristique de ces systèmes est que leur fonctionnement est indépendant de l'utilisateur, ils n'ont donc pas besoin d'une supervision humaine continue pour obtenir des résultats. Cela signifie que dans une application de composition musicale, une fois que le compositeur a défini la structure membranaire, les règles et les objets à traiter, le système génère un matériau musical sans avoir besoin d'interventions supplémentaires pendant le processus. Ensuite, le compositeur doit réviser ces matériaux et les utiliser comme base de sa composition. D'autres caractéristiques essentielles des P-systèmes sont le parallélisme et l'application maximale des règles de transition. Ces singularités sont très riches pour le développement de processus harmoniques, contrapuntiques (construction horizontale de voix et textures) et timbriques, tels que l'évolution des textures, le travail avec des spectres dynamiques, etc. Cela permet des processus multiples et simultanés qui simplifient le traitement d'une forme de polyphonie. En vue de l'application de ces modèles, il convient aussi d'établir un chronomètre universel qui garantit la synchronisation des processus qui se déroulent au sein de la cellule, et qui permette de séquencer au niveau temporel le matériel musical.

L'enjeu principal de la recherche est la génération et transformation de formes et de matériaux musicaux fondés sur des algorithmes et des techniques de calcul qui imitent les processus naturels au niveau cellulaire, en particulier au niveau de la membrane à l'intérieur d'une seule cellule, en appliquant des concepts de disciplines auxiliaires telles que la biologie, la génétique ou la neurologie. Par conséquent, une partie essentielle du processus est le *mapping* (Beyls, 2004), c'est-à-dire, l'assignation des paramètres musicaux aux paramètres cellulaires. Il faut prévoir des correspondances entre les sons, leurs transformations et les processus qui ont lieu lors du calcul membranaire, tels que les échanges de composés chimiques, la dissolution, la création ou encore la division des membranes. Tous les éléments d'un P-système (par exemple les règles, les structures hiérarchiques ou les symboles de l'alphabet) sont susceptibles d'être modélisés comme des éléments musicaux, qui pourraient également être flexibles en fonction des besoins du compositeur à chaque instant.

Dans ce travail de composition musicale avec P-systèmes, les règles modèlent des techniques de composition comme la variation ou la transformation timbrique. Les membranes sont associées aux instruments et les objets s'interprètent comme matériaux musicaux minimales (une cellule, un accord ou un geste musical, par exemple). On attribue des paramètres musicaux aux membranes vibrantes, aux composés chimiques et aux règles d'évolution applicables. Pour alimenter un P-système musical, il faut un matériau initial indépendant et une catégorisation des techniques de composition, par exemple la variation,

l'expansion, la compression, la répétition et le contraste. Les techniques de calcul membranaire sont appliquées à la composition musicale en utilisant sept modèles différents de P-systèmes.

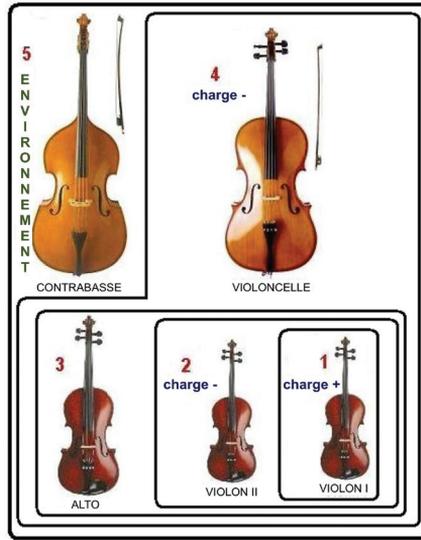


Fig. 1. Exemple de P-système musical.

## TYPES DE P-SYSTÈMES ET APPLICATION MUSICALE

*Modèle de transition* : chaque cellule est une hiérarchie de membranes contenant des objets (composés) et des règles qui sont appliquées à ces objets lorsque certaines exigences sont satisfaites. Musicalement, il peut être utilisé pour transformer et remplacer progressivement du matériel. Par exemple, on peut partir d'une matière musicale lisse, fondée sur des notes tenues et un timbre stable, et la remplacer progressivement par une matière granulaire, telle qu'un ensemble de sons courts articulés (*pizzicati*, *col legno battuto*, etc.). Le remplacement ne serait pas linéaire, mais passerait par une série d'états en fonction des règles d'évolution appliquées à chaque membrane. Ce *morphing* progressif est génératif et transformationnel en même temps.

*Modèle probabiliste* : similaire au modèle de transition, mais il permet d'attribuer des probabilités comprises entre 0 et 1 à chacune des règles de membrane. Musicalement, il peut être utilisé pour élaborer des champs harmoniques et timbriques.

## MODÈLE D'ÉVOLUTION-COMMUNICATION

Ce modèle omet l'opération de dissolution, de sorte que la structure du P-système est fixe tout au long de l'exécution. Musicalement, il permet un travail de branchement et unification rythmique, timbrique et de hauteur.

*Modèle symport-antiport* : il distingue deux types de règles : symport (communication entre membranes imbriquées) et antiport (communication entre membranes adjacentes). Musicalement, il permet de travailler des conceptions formelles d'ordre et d'entropie.

*Modèle évolutif symport-antiport* : c'est une variante qui permet des règles évolutives qui génèrent ou détruisent du matériel. Musicalement, il peut modéliser des opérations de courbure de gestes musicaux (modifier la hauteur par *glissandi*, par exemple).

*Modèle de division de membrane* : ce modèle permet de créer et de diviser des membranes, ainsi que la dissolution et la polarisation de membranes. Musicalement, il est possible de travailler sur le filtrage timbrique ou appliqué à d'autres paramètres.

*Modèle « tissu »* : les cellules et leurs membranes sont disposées comme les nœuds d'un graphe non orienté. Il permet de simplifier/décomposer les matériaux musicaux.

## RÉFLEXION

Une des difficultés principales est la codification de paramètres musicaux sous forme de structures de données qui doivent être implémentées et traitées dans un ordinateur (*mapping*). Cette recherche est la première étude connue qui applique un P-système (calcul membranaire) à la composition musicale. Les modèles bio-inspirés préexistants sont presque toujours focalisés à la hauteur, tandis que les autres paramètres sont omis. Cette étude se concentre sur le *mapping* des paramètres tels que le timbre, le geste, le rythme, la dynamique et la forme.

## CONCLUSIONS

Ce travail sur le calcul avec membranes appliqué à la création musicale a permis une réflexion sur les processus musicaux formalisés (Xenakis, 1963) en utilisant l'informatique bio-inspirée. Après d'avoir fait un état des lieux dans le champ artistique, en recherchant les connexions entre la musique et les processus à l'intérieur d'une cellule, on a utilisé pour la première fois les P-systèmes comme base pour la composition musicale.

Cette recherche créative a pour but la construction d'outils pour modéliser des éléments du langage musical personnel de chaque compositeur. Mais en réalité, le fait de planifier l'emploi de ces systèmes fait aussi partie du processus de composition. Cependant il faut garder à l'esprit que l'utilisation de ces techniques ne fournit pas une garantie de résultat artistique. Cela dépend de la capacité du créateur à trouver des analogies entre les processus musicaux et les processus naturels dans l'environnement cellulaire, puis à parvenir à une création artistique à partir de cela. Enfin, il est possible de poursuivre les recherches sur le calcul membranaire en créant de nouveaux types de P-systèmes qui simulent d'autres scénarios intéressants pour la composition.

Quelques exemples d'applications personnelles du compositeur-chercheur Alberto Carretero sont les pièces *Ars vivendi* (2013, orchestre à cordes) et *Parallel Lives* (2017, ensemble).

## RÉFÉRENCES

- Beys, Peter. «Cellular Automata Mapping Procedures», 2004, [https://www.researchgate.net/publication/228859894\\_Cellular\\_Automata\\_Mapping\\_Procedures](https://www.researchgate.net/publication/228859894_Cellular_Automata_Mapping_Procedures), consulté le 3 novembre 2021.
- Carretero, Alberto. «Composición musical bio-inspirada», Séville, Punto Rojo Libros, 2014.
- Păun, Gheorghe. «Computing with membranes», *Journal of Computer and System Sciences* vol. 6, n° 1, 2000, p. 108-143.
- Xenakis, Iannis. «Musiques formelles : nouveaux principes formels de composition musicale», *La Revue musicale*, n° 253-254, 1963.