



**HAL**  
open science

# UN MODÈLE INTERMÉDIAIRE DYNAMIQUE GÉNÉRATIF BASÉ SUR L'AUTOMATE CELLULAIRE DU “ JEU DE LA VIE ”

Vincent Goudard, Boris Doval, Hugues Genevois

► **To cite this version:**

Vincent Goudard, Boris Doval, Hugues Genevois. UN MODÈLE INTERMÉDIAIRE DYNAMIQUE GÉNÉRATIF BASÉ SUR L'AUTOMATE CELLULAIRE DU “ JEU DE LA VIE ”. Journées d'Informatique Musicale, 2012, Mons, France. hal-03041791

**HAL Id: hal-03041791**

**<https://hal.science/hal-03041791>**

Submitted on 5 Dec 2020

**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.

# UN MODÈLE INTERMÉDIAIRE DYNAMIQUE GÉNÉRATIF BASÉ SUR L'AUTOMATE CELLULAIRE DU « JEU DE LA VIE »

Vincent Goudard  
vincent@mazirkat.org

Boris Doval  
boris.doval@upmc.fr

Hugues Genevois  
genevois@lam.jussieu.fr

LAM, Institut Jean Le Rond d'Alembert

## RÉSUMÉ

Le découplage entre le geste de l'instrumentiste et le son produit par son instrument dans les musiques électroniques a entraîné une reconsidération totale de la notion d'instrument [5] et de nouvelles pratiques pour la facture d'instruments numériques [1].

Pour concevoir des instruments numériques riches, le facteur est souvent amené à réaliser des connexions complexes et des réglages très fins, afin de retrouver à la fois un son vivant et une synesthésie entre le geste et le résultat acoustique qui permet *in fine* de pouvoir anticiper ou "chanter" ce que l'on joue.

Il est possible d'obtenir un couplage riche et intuitif en procédant empiriquement au câblage et aux courbes de transfert entre toutes les variables d'entrée et de sortie, mais cette opération fastidieuse se fait souvent au détriment de la modularité informatique, qui permettrait de changer d'interface ou de synthèse en un simple clic.

Les auteurs, qui ont déjà présenté le concept de "Modèles Intermédiaires Dynamiques" (MID) pour répondre à ce problème, présentent dans cet article leurs derniers développements concernant le contrôle de macro-formes par des processus génératifs. L'utilisation d'un automate cellulaire connu sous le nom de "Jeu de la Vie" est plus particulièrement présentée ici.

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Le projet OrJo

Dans le cadre du programme OrJo<sup>1</sup>, qui vise à réaliser des instruments numériques audio-graphiques destinés au jeu collectif, et pouvant s'intégrer au logiciel Méta-Mallette [9], les auteurs s'attachent à développer une famille d'instruments modulaires basés sur le concept de modèle intermédiaire dynamique (MID).

Un modèle intermédiaire est un modèle instrumental qui contrôle des synthèses audio, graphiques ou encore électro-mécaniques à partir des actions de l'instrumentiste sur un contrôleur électronique ou une interface gestuelle (eg. clavier MIDI, joystick, tablette graphique, etc.).

Il s'insère dans la chaîne de mapping qui relie les valeurs issues des capteurs gestuels aux paramètres de

synthèse, tout en se différenciant d'un simple "conditionnement de données" par sa nature complexe, dynamique et non-linéaire.

Ce modèle est donc (relativement) indépendant des types de synthèse qu'il contrôle, ainsi que de leur nombre, et nous émettons l'hypothèse qu'il est possible d'apprendre son comportement (relativement) indépendamment de l'interface en amont et de la synthèse en aval, en se construisant une image mentale de la cinématique du modèle manipulé.

Une telle architecture a aussi pour objectif de favoriser des apprentissages implicites (comme c'est le cas pour la plupart des apprentissages supposant une activité psycho-motrice contrôlée) alors que les techniques "classiques" de mappings statiques supposent le plus souvent un apprentissage explicite.

A travers ce concept de MID, nous avons l'ambition d'adresser des "gestes musicaux" recouvrant aussi bien ceux de la performance, que ceux de la composition, de l'accordage, de la lutherie et de l'écoute, dans un même environnement. Ces différents types de gestes sont souvent intimement mêlés dans le processus de création musicale, et il nous paraît indispensable de pouvoir composer de toute leur richesse sans introduire de clivage entre eux. Jouer de l'écoute, composer du geste, accorder les modes de jeu... sont des propositions musicales qui ne sont pas de simples figures de style littéraires. En effet, les processus musicaux que l'on cherche à contrôler se déploient sur une très large échelle temporelle, allant de la micro-structure du son jusqu'au pilotage de motifs musicaux, c'est-à-dire la génération et la transformation de formes musicales sur plusieurs secondes, voire plusieurs minutes.

	gestes										sons									
	perception des durées										perception des hauteurs									
F				0,21	0,43	0,86	1,72	3,44	6,88	13,75	27,5	55	110	220	440	880	1760	3520	7040	14080
T	18,62	9,31	4,65	2,33	1,16	0,58	0,29	0,15	0,07											
S			o	♪	♫	♫	♫	♫	♫	♫	~	la1	la2	la3	la4	la5	la6	la7		

Figure 1. Représentation d'une partie du "continuum" temporel F : fréquences en Hz ; T : durées en secondes ; S : symboles musicaux correspondants

<sup>1</sup>Le programme OrJo réunit l'association Puce Muse, le LAM (Institut Jean Le Rond d'Alembert), le LIMSI et la société 3Dlized. Il fait l'objet d'un soutien du FEDER et du Conseil Régional d'Ile-de-France.

Les modèles intermédiaires utilisés doivent donc pouvoir s'adapter à ces différentes échelles, ainsi qu'aux gestes mis en œuvre par le musicien. Pour cela, nous avons décidé d'explorer différentes familles de modèles dynamiques : physiques (simulant le comportement de structures virtuelles susceptibles d'être décrites par des lois physiques), topologiques (navigation dans des espaces virtuels), génétiques (basés sur des règles gérant le comportement des objets manipulés : naissance, croissance, évolution, disparition), etc.

Dans un premier temps, nous avons développé un certain nombre de modèles intermédiaires destinés au contrôle de la synthèse à une échelle temporelle correspondant à la modulation du timbre ou micro-rythmique. Les travaux réalisés dans le cadre de cette première phase ont fait l'objet de présentations à l'occasion de congrès récents (JIM 2011, SMC 2011, DAFx) [7], et nous n'y reviendrons pas dans le présent article.

Dans un deuxième temps, nous avons développé des modèles intermédiaires agissant à une échelle temporelle plus grande, en nous intéressant à des algorithmes de croissance génétique. Notamment, nous avons tenté d'utiliser des automates cellulaires tel que le "jeu de la vie" de John Horton Conway [6].

## 2. MID BASÉ SUR UN AUTOMATE CELLULAIRE : JEU DE LA VIE

### 2.1. Caractéristiques du "jeu de la vie"

Le "jeu de la vie" est un automate cellulaire très simple et très fertile. Une très vaste littérature décrit son histoire et ses caractéristiques, ainsi que son utilisation en informatique musicale [4], nous laisserons le lecteur s'y référer pour plus de détails, en rappelant uniquement les deux règles sur lesquels il se base :

- Une cellule morte possédant exactement trois voisines vivantes devient vivante.
- Une cellule vivante possédant deux ou trois voisines vivantes le reste, sinon elle meurt.

Si l'univers du "jeu de la vie" est théoriquement infini, il est courant d'utiliser un univers fini, quoique non borné, en re-bouclant un plan sur lui-même pour obtenir un tore. Cette technique permet à la fois de s'affranchir du problème des limites, ainsi que de disposer des valeurs des cellules sous forme d'une matrice de dimensions connues.

Si, d'un point de vue théorique, l'utilisation d'automates cellulaires n'est pas sans difficultés pour ce qui nous concerne ("bizarreries" thermodynamiques : gestion hasardeuse de l'entropie, et topologiques : incidence des limites et re-bouclage du plan), elle n'en reste pas moins extrêmement intéressante pour la gestion de générations/transformations morphologiques à différentes échelles spatiales et temporelles.

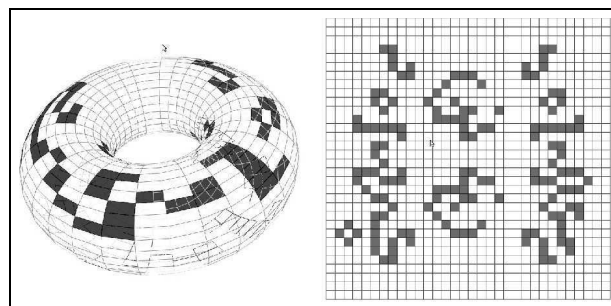


Figure 2. L'oscillateur "diuresis" représenté dans sur une surface bouclée (tore) et déroulée en plan.

Le Jeu de la Vie est un processus essentiellement discret dans le domaine spatial et temporel, mais son mode de prolifération par voisinage lui confère une continuité lorsque l'on utilise un canevas très large.

### 2.2. Modes d'intervention

Le "jeu de la vie" qui se déploie dans un espace 2D a l'avantage d'être bien adapté aux surfaces de contrôle telles que la tablette graphique ou les écrans tactiles multi-points dont l'usage se répand depuis quelques années. Dans une optique d'utilisation instrumentale d'un tel modèle, l'ergonomie de l'édition des données prend toutefois une importance cruciale. Pour la performance "live", un certain nombre de fonctionnalités nous ont paru utiles :

- éditer le canevas en de multiples endroits à la fois
- sélectionner des zones particulières pour les altérer sans toucher au reste du canevas
- pré-visualiser son geste de sélection, et ne le déclencher qu'au moment opportun.
- revenir à des états mémorisés
- introduire des boucles
- insérer directement des figures aux comportements identifiés

Nous avons accordé une importance toute particulière à ce dernier point en considérant l'importante thésaurisation réalisée par les chercheurs dans le domaine des automates cellulaires ainsi que les enthousiastes du "jeu de la vie".

### 2.3. L'utilisation du lexique de figures

En effet, les automates cellulaires en général et le "jeu de la vie" en particulier ont été largement étudiés depuis les années 1970, et restent un domaine de recherche et de développement très actif<sup>2</sup>. Il existe à ce jour un "bestiaire" de plus de 700 figures identifiées dans ce paradigme. Or, malgré un nombre important de recherches sur la génération de musique par automate cellulaire (cf. bibliographie dans [3]), l'importance de

<sup>2</sup> Cf. le développement de Golly (<http://golly.sourceforge.net>), et les sites <http://conwaylife.com> ou encore <http://pentadecathlon.com>

cet inventaire semble avoir été relativement ignorée. Cet inventaire est pourtant l'outil de base d'une programmation extrêmement complexe avec ce langage Turing-complet et permet de réaliser des constructions extrêmement complexes.

Cette classification présente l'intérêt pédagogique d'être mémorisable, grâce aux noms originaux et pittoresques qui ont été attribués aux différentes figures ("le glisseur", "le bateau", "le mathématicien", "le moule", etc...). Également, un certain nombre de propriétés et de grandeurs quantitatives des figures ont été nommées : boîte englobante, période, vitesse, nombre de cellule, chaleur, type de figure, volatilité.

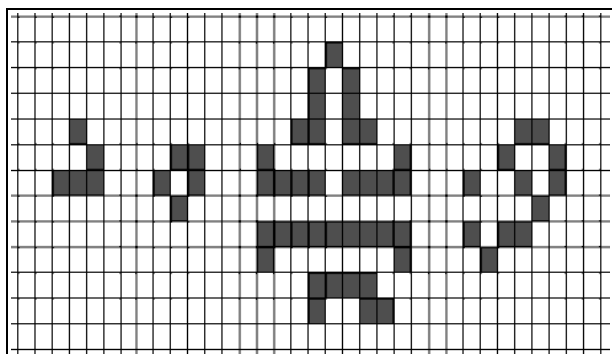


Figure 3. planeur, bateau, mathématicien, moule.

### 2.3.1. Le cas des oscillateurs

Les oscillateurs sont des figures ayant la caractéristique de retourner à son état d'origine, dans la même orientation et à la même position, au bout d'un nombre fini de générations., que l'on nomme "période" de l'oscillateur.

En "déroulant" un oscillateur temporellement, on obtient une sorte de partition qui aide à saisir d'un coup d'œil des caractéristiques d'un oscillateur particulier telles que :

- les rythmes internes de chaque cellule par rapport au rythme global
- l'indépendance relative des rythmes de chaque cellule
- les symétries de l'oscillateur
- la volatilité de l'oscillateur (c'est à dire la proportion de cellule qui oscille effectivement par rapport aux cellules restant fixe)
- la chaleur de l'oscillateur (c'est à dire la quantité de cellules qui change à chaque génération)

Dans une perspective d'utilisation pour le jeu temps-réel, le déploiement temporel d'un oscillateur permet également de le sélectionner à un moment particulier de son oscillation (sa phase) pour l'insérer dans une grille de "jeu de la vie". Ce qui revient, formulé en termes plus musicaux, à pouvoir insérer une boucle rythmique en commençant par une anacrouse.

### 2.3.2. Le cas des "vaisseaux"

Il existe un autre type de figure particulière, qui est une forme d'oscillateur mais dont la révolution complète le fait revenir à sa forme initiale, mais de manière décalée par rapport à sa position d'origine. La conséquence est que cet oscillateur se déplace, et on lui a donné pour cette raison le nom de "vaisseau" ou "spaceship" en anglais. Ce type de figure possède également une période qui représente le nombre de générations au bout duquel on le retrouve avec une forme identique. Il possède aussi une vitesse, exprimée dans un rapport  $c/N$  ou  $c$  représente la vitesse limite de déplacement, c'est à dire 1 cellule par génération, ainsi qu'une direction de déplacement : orthogonale ou diagonale.

Chaque vaisseau possède sa propre façon de se mouvoir. Il en résulte une fonction iso-rythmique caractéristique, motif composé de progressions et de reculs propre au vaisseau, qui sur un canevas polarisé selon une gamme de hauteurs se traduit en une forme arpégées.

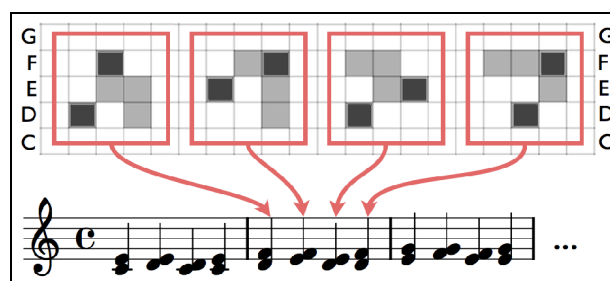


Figure 4. Iso-chromatisme engendrés par la progression du *Planeur*. Les notes correspondent à un espace polarisé verticalement en ne prenant en compte que la valeur de la ligne. Cette représentation ne représente pas nécessairement des notes de la gamme, mais des événements associés à un index de ligne.

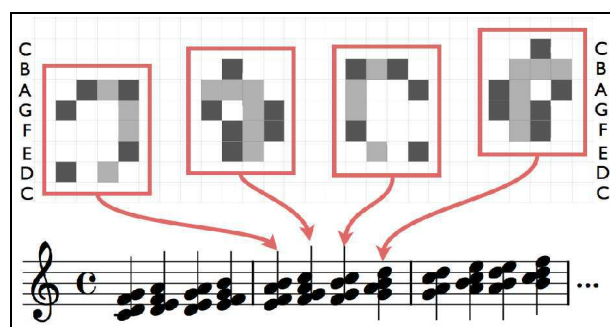


Figure 5. Iso-chromatisme engendré par la progression du "*Light Weight Space Ship*" (LWSS) représenté selon la même modalité que la figure précédente.

Une autre fonction des *vaisseaux* est d'aller modifier le canevas à un autre endroit, en réagissant au contact d'autres cellules.

### 2.3.3. Autres types de figures

Il existe des figures instables dont les comportements est également intéressant dans une perspective musicale. Les *mathusalems* sont des figures explosives qui à partir d'un petit nombre de cellules initiales s'étendent rapidement à des formes plus complexes, avant de se stabiliser voire de disparaître complètement.

Les *canons* sont des oscillateurs produisant des *vaisseaux*, les *puffeurs* sont des *vaisseaux* qui laissent des débris derrière leur passage et les *breeders* sont des *vaisseaux* générant des *canons*. Les *mèches* sont des figures linéaires qui se "consument" en un nombre paramétrable de générations et permettent d'introduire de la sorte des retards dans le chaînage de différentes figures. Les *jardins d'Eden* sont des figures ne possédant aucun prédécesseur.

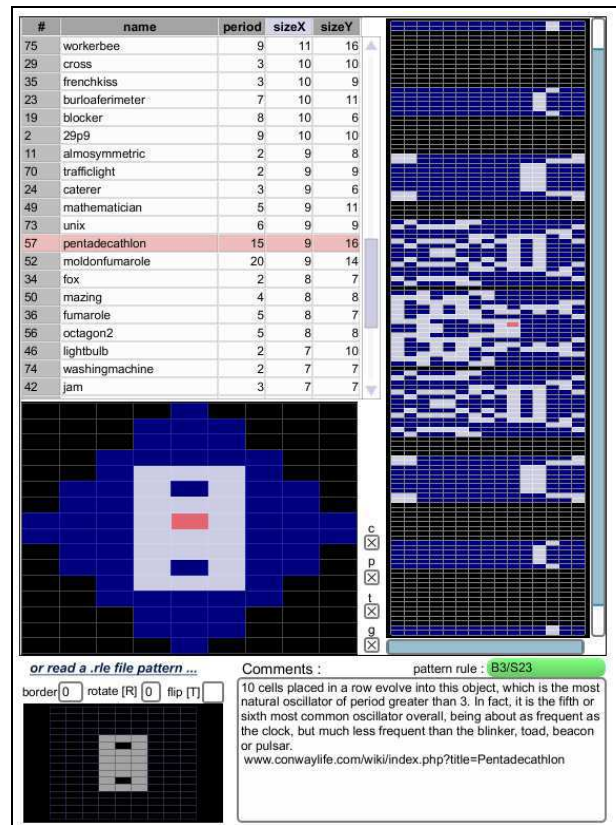
Enfin, il existe un certains nombre de figures stables ou non, qui dans le cas d'une programmation qui utilise les différents types de figures comme des fonctions interconnectées, se mettent à remplir un rôle particulier ("*tagalong*", "*sidecar*", "*fuse*").

### 2.3.4. Banque de figures

Le catalogue des figures a l'avantage d'exister, mais l'inconvénient de ne pas avoir spécialement été conçu dans une optique musicale. Il nous a donc paru utile de proposer ce catalogue dans un format plus adapté à l'utilisation des figures pour la composition temps-réel.

Nous avons ainsi développé un lecteur de fichier au format RLE, format dans lequel sont codées la plupart des figures du jeu de la vie. Ce module permet d'accéder à un catalogue de plus de 700 figures recensées et disponible sur internet<sup>3</sup> directement dans l'environnement Max/MSP.

Des outils d'analyse permettent ensuite de déduire la période et la taille des figures, ainsi que de les développer temporellement. Enfin, des outils de transformation spatiale permettent d'orienter la figure à sa convenance avant de l'insérer dans le canevas de calcul.



**Figure 6.** En haut à gauche, le tableau permettant de trier les figures selon leurs caractéristiques. En dessous la figure, et à droite sa "partition". En blanc : la figure à un certain moment de sa phase, en bleu : le terrain occupé par la figure durant sa révolution, en rouge : un curseur qui permet de se déplacer de manière synchrone dans les 2 représentations spatiale et temporelle.

## 3. INTERACTION AVEC LA SYNTHÈSE

### 3.1. Plusieurs stratégies possibles

Le résultat produit par le jeu de la vie est essentiellement une matrice. De nombreuses manières de d'interpréter le canevas de jeu de la vie en vue de le sonifier ont été expérimentées [2], comme le calcul de valeurs statistiques, la lecture de la matrice comme une table d'onde ou de correspondance (look-up table), ou encore l'utilisation de coordonnées polaires [8].

L'utilisation du MID basé sur le jeu de la vie au sein d'un environnement de programmation modulaire comme la Méta-Mallette nous laisse la possibilité d'expérimenter avec chacune de ces méthodes, d'en inventer d'autre, ou encore d'insérer le jeu de la vie à l'intérieur d'un réseau plus complexe de modèles intermédiaires.

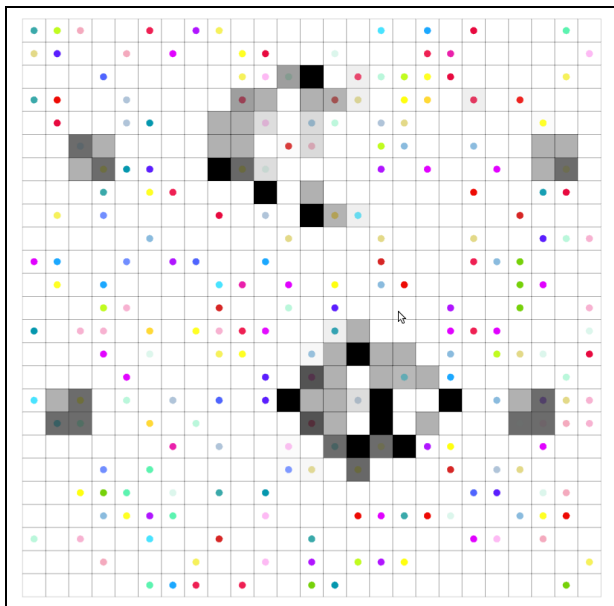
Dans l'optique de contrôler des paramètres de macro-formes comme la génération de phrases musicales, nous avons délaissé les techniques basées sur une interprétation de la matrice comme un signal audio et

<sup>3</sup> Une importante collection est notamment disponible sur le site <http://conwaylife.com/wiki/>

principalement expérimenté une logique de déclenchement d'événements.

### 3.2. Grille de déclencheurs

Pour sonifier le modèle de jeu de la vie, nous avons développé un modèle intermédiaire topologique en aval consistant en une grille de déclencheur.



**Figure 7.** Deux “Queen Bee Shuttles” en action déphasée sur un canevas criblé de déclencheurs. La surbrillance indique les déclenchements.

Ce modèle permet de positionner des déclencheurs sur une matrice qui agit comme un crible en opérant une intersection avec la matrice à traiter. Dans notre cas, les déclencheurs seront activés lorsqu’une cellule du jeu de la vie change d’état.

Les déclencheurs peuvent par exemple engendrer des notes MIDI, mais plus généralement n’importe quel type de message, comme un changement de tempo, une transposition, et même la modification des matrices de déclencheurs et du canevas de calcul.

Cette flexibilité et sa récursivité ouvre un vaste espace de possibles dont l’appréhension varie entre une construction volontariste, réfléchie et l’observation d’une émergence semi-chaotique.

Pour donner un exemple simple d’utilisation possible de ce genre de logique, on peut imaginer utiliser un oscillateur comme le “pentadecathlon” (de période 15) pour jouer une mélodie de notes, et assigner à une cellule particulière un événement qui transpose alternativement une tierce plus haut, puis une tierce plus bas.

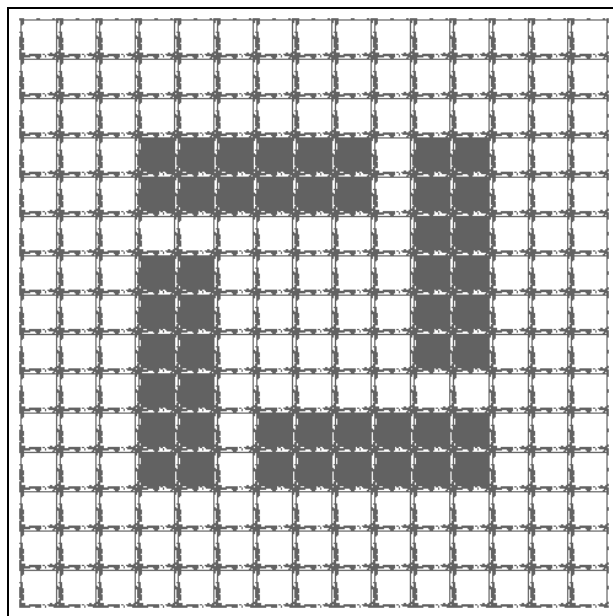
En utilisant une combinaison de cribles auto-récursifs ainsi qu’un vocabulaire de figures dont on connaît les périodes, il est possible d’arriver à un contrôle temps réel de la synthèse musicale par des paramètres de haut niveau. Sans pour autant contrôler chaque note, chaque rythme, il est possible de composer des topologies à

plusieurs gammes, dont chacune intervient selon un degré de probabilité, ou encore de privilégier certains rapports rythmiques, d’agir sur des événement très localisés, ou au contraire d’influence globale.

## 4. PERSPECTIVES

L’utilisation du jeu de la vie ouvre un espace immense dans lequel les choix devront probablement s’affiner de manière empirique. Beaucoup de choses restent à inventer sur l’ergonomie d’une manipulation temps-réel de ce modèle, et sur les connexions possibles avec la synthèse musicale en aval. Dans cette perspective, on peut espérer que l’intégration des Modèles Intermédiaires Dynamiques dans l’instrumentarium de la Méta-Mallette et son utilisation pratique par un public plus large fassent émerger des propositions intéressantes de ce vaste espace de possibles. En particulier, on peut imaginer que des topologies de grilles de déclencheurs plus efficaces que d’autres viennent émerger.

Les performances limitées de l’implémentation du jeu de la vie dans Max/MSP nous privent également de l’utilisation de figures hyper-complexes, telles que celles qui ont pu être développées dans des logiciels plus optimisés comme Golly. Des phénomènes tout à fait singuliers semblent émerger dans des canevas de plusieurs millions de cellules, et il ne semblent pas impossible d’appréhender ces figures hyper-complexes, car certaines sont purement construites par assemblage d’éléments simples.



**Figure 8.** Un “méta-oscillateur” réalisé avec plus de 7 millions de cellules dans Golly. Chaque “méta-cellule” active est composée d’environ 65000 cellules.

## 5. RÉFÉRENCES

- [1] Battier, M. « *L'approche gestuelle dans l'histoire de la lutherie électronique. Étude de cas : le theremin* », in Les nouveaux gestes de la musique, H. Genevois et R. de Vivo (éds). Éditions Parenthèses, 139-156, 1999.
- [2] Beyls, P, « Cellular Automata Mapping Procedures », Proceedings of the ICMC, 2004
- [3] Burraston, D., Edmonds, EA, Livingstone, D. et Miranda, E. "Cellular Automata in MIDI based Computer Music" Proceedings of the International Computer Music Conference, pp. 71-78, 2004.
- [4] Burraston, D., et E. Edmonds, "Cellular Automata in Generative Electronic Music and Sonic Art: A Historical and Technical Review." Digital Creativity 16(3):165-185, 2005
- [5] Cance, C., Genevois, H., Dubois, D. « What is instrumentality in new digital musical devices? A contribution from cognitive linguistics and psychology », Proceedings of CIM09, to be published « La musique et ses instruments » (2012).
- [6] Gardner, M., « Mathematical Games. The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life" », Scientific American no 223 (Octobre 1970), p. 120-123.
- [7] Goudard, V., Genevois, H., Ghomi, E., Doval, B., « Dynamic Intermediate Models for Audiographic Synthesis », SMC 2011, Padova, Italie, 2011
- [8] Kirke, A., Miranda, E. R., Capturing the aesthetic: Radial mappings for cellular automata music. J. ITC Sangeet Res. Acad. 21, 15--23. 2007
- [9] de Laubier, S., Goudard, V., « Puce Muse - La Méta-Mallette », Proceedings of Journées d'Informatique Musicale (JIM 2007), Lyon, 2007