

RÉSUMÉ. Le projet artistique *Emergience* se propose d'explorer les conditions pour l'émergence de formes par des phénomènes d'auto-organisations. Pour ce faire, à partir de modèles informatiques modélisant des comportements biologiques connus comme ceux de la relation Proie-Prédateur, il s'agit d'observer la sensation d'auto-organisation du système qui évolue au cours du temps et finit par se stabiliser en acquérant de nouvelles propriétés. Le recours à des processus de modélisation permet d'explorer une palette de règles de comportements individuels et locaux amenant à l'émergence de phénomènes collectifs et globaux qui peuvent rendre compte d'états relationnels plus ou moins stables. Il s'agit ensuite de générer des perturbations permettant de donner à percevoir la capacité de résilience du système. La visualisation se fait par la création d'animations infographiques 2D considérées comme esquisses préparatoires à un travail plus abouti sous forme de « tableaux-systèmes dynamiques » numériques, de sculptures robotisées, projections lumineuses ou performances.

ABSTRACT. The artistic project *Emergience* intend to explore the conditions for shape emergence due to self-organised phenomena. To do that, we start from computer models modeling biological studied behaviors such as for instance, Predator-Prey interactions to watch the system being self-organized in a process of temporal evolution and finally stabilized by acquiring new properties. The use of modeling processes makes possible the exploration of a range of individual and local behaviors rules leading to the emergence of collective and global phenomena reporting on more or less stable relational states. Afterwards, internal disturbances are generated which allow to test how is the resilience capacity of the system. The visualization is made by the means of 2D computer graphics animations considered as preparatory sketches for a more accomplished work in the form of digital "dynamic painting-systems", robotic sculptures, light projections or performances.

MOTS-CLÉS. Arts visuels, émergence, auto-organisation, forme, modélisation, simulation, animation infographique.

KEYWORDS. Visual arts, emergence, self-organization, shape, modeling, simulation, computer animation.

Préambule

Je propose un travail sur l'émergence de formes par des phénomènes d'auto-organisations.

J'ai eu l'occasion de m'intéresser à l'Intelligence Artificielle (IA), aux systèmes complexes et à leur modélisation ainsi qu'aux phénomènes d'émergence et d'auto-organisation dans le cadre d'une résidence d'artistes *La Villa Media* à laquelle j'ai été invitée pour réaliser un travail sur « La peinture conçue comme organisation vivante » et qui a donné lieu à la production de ce que j'appelle « Un tableau-système dynamique ». C'est à l'occasion de cette résidence qui s'est déroulée à Grenoble que j'ai rencontré Yves Demazeau, directeur de recherche au CNRS, responsable de l'équipe de modélisation à base d'agents (appelée aussi Systèmes Multi-Agents ou SMA) à l'université Joseph Fourier de Grenoble et Président de l'Association Française pour l'Intelligence Artificielle (AFIA). Nous avons travaillé au projet *Matrice Active* et c'est là, pour la première fois que j'ai pu expérimenter artistiquement ces phénomènes d'émergence dans une de mes œuvres emblématique le « Tableau scénique n°1 » qui modélise un célèbre tableau de Kandinsky « Jaune-Rouge-Bleu » et le rend « vivant » grâce aux interactions des éléments modélisés qui le composent. Ces éléments (les « agents » du système), en effet interagissent entre eux et avec l'environnement dans lequel ils sont situés ainsi qu'avec le lecteur de l'image. Les comportements des éléments-agents, leurs interactions et les dynamiques créées donnent lieu à la visualisation de phénomènes qui se développent dans la durée : sensation de course-poursuite par des jeux d'attraction-répulsion, évolution du système dans une topologie proche de la composition arrêtée par Kandinsky comme forme finale de son tableau, intervention gestuelle du lecteur de l'image comme un élément du « système » qui le co-construit ou dé-construit en l'amenant à différents « états » entre ordre et chaos etc.

* Art & Science en Evolution Artificielle : Un événement conjoint à la conférence EA2017 avec la Galerie Louchard, Paris

Intentions artistiques

C'est en travaillant avec l'ordinateur et en découvrant avec des chercheurs en informatique certaines possibilités de la programmation algorithmique que ma pratique de plasticienne a évolué. Créer des formes, non plus par la transcription de l'aspect extérieur de figures observables dans la nature ou d'une manière plus générale dans la réalité visible de notre environnement, mais par la programmation d'entités dotées de comportements autonomes est devenue une impérieuse nécessité pour la plasticienne que je suis. J'ai trouvé un intérêt plastique et artistique à la sensation d'auto-organisation et à la perception visuelle que peut en avoir un observateur, que j'ai pu découvrir lors de l'exploration de la mise en oeuvre de modèles informatiques existants, à base d'agents, de leur variation ou de l'invention de modèles originaux. La simulation de ces modèles permet de décrire l'évolution au cours du temps d'un système et par là même de traduire quelque chose que nous expérimentons chaque jour dans notre réalité quotidienne : l'importance de ce qui nous relie aux autres, à l'environnement, aux événements dans une transformation incessante d'états plus ou moins stables. Pour figurer ces phénomènes, le recours à des processus de modélisation rend perceptible la notion de forme (gestalt) comme un ensemble de relations dynamiques. « La relation comme forme » dit Jean-Louis Boissier.

Il ne s'agit donc plus, comme je le faisais par le dessin ou la peinture, de rendre compte du monde par les traces visibles laissées par des outils sur un support, mais d'explorer une palette de règles de comportements individuels et locaux amenant à l'émergence de phénomènes collectifs et globaux. C'est cette notion de règles comportementales des éléments d'un système et des évolutions topologiques et temporelles qu'elles impliquent que j'ai envie de continuer à explorer dans un objectif artistique à travers le projet que je soumetts dans le cadre de l'événement artistique associé à la conférence *Artificial Evolution*. Le projet « Emergillience » dont le titre est composé du début et de la fin de deux termes utilisés dans la description de certains systèmes (émergence et résilience) se propose d'une part d'explorer les conditions pour l'émergence de formes artistiquement intéressantes générées par des phénomènes d'auto-organisation et d'autre part de créer des perturbations dans l'équilibre obtenu tel qu'il est donné à percevoir visuellement par un observateur. Ceci afin de travailler sur des processus « générationnels » d'évolution permettant de donner à percevoir la capacité d'un système à absorber une perturbation, à se réorganiser et à retrouver son équilibre tel qu'il était auparavant. Il s'agit ensuite de concevoir et de trouver des modes de rendus de ces processus qui soient visuellement intéressants, riches et variés pour un public observateur.

Quelques définitions

Ce paragraphe est issu du mémoire de stage de master 2 IC² A - Art, Science et Technologie (INP Phelma, Ecole Nationale Supérieure de physique, Electronique, Matériaux, Grenoble) de Lucien Bobo, pp. 13-14. Stage que j'ai encadré en tant que tuteur et dont la soutenance a eu lieu le 23 juin 2016 à Grenoble.

Emergence

Dans un article dédié au sujet, l'économiste Jeffrey Goldstein¹ définit l'émergence comme « l'apparition de structures, motifs et propriétés nouvelles et cohérentes durant le processus d'auto-organisation dans des systèmes complexes ». La notion de système complexe est elle-même utilisée pour désigner des systèmes composés d'entités plus simples que le système lui-même, c'est-à-dire des entités qui font émerger des propriétés nouvelles à travers leurs interactions. Une somme d'éléments en interaction montrant chacun un certain comportement individuel peut donc faire émerger un comportement de groupe qui n'est pas inscrit explicitement dans le comportement de chaque élément.

¹ « Emergence [...] refers to the arising of novel and coherent structures, patterns, and properties during the process of self-organization in complex systems. » J. Goldstein, 1999, p. 49)

Cependant, selon les cas, et selon la connaissance que l'on a d'un système particulier, il peut être possible de *déduire* ce que sera le comportement d'un groupe constitué d'éléments ayant certaines propriétés individuelles. Dans d'autres cas, le comportement de groupe peut s'avérer surprenant, inattendu.

Auto-organisation

Le processus d'auto-organisation auquel se réfère Goldstein porte l'idée d'un changement d'état : un système *désorganisé* devient *organisé*, et ce sans intervention extérieure ni maîtrise globale du système. Cette absence de maîtrise globale correspond à une absence de *planification*, mais également à une organisation résultant d'interactions locales. Les interactions dans le système se limitent donc aux « motivations » individuelles des éléments qui le composent, bien qu'elles puissent, dans une certaine mesure, être influencées par le comportement du groupe dans son ensemble.

Un processus d'auto-organisation n'est pas forcément pour autant *perceptible*. C'est-à-dire qu'il ne conduit pas forcément à l'émergence de structures, motifs ou propriétés nouvelles et cohérentes qu'il serait possible d'observer, de constater. Dans sa thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches, l'informaticien Guillaume Hutzler rappelle que les notions d'émergence et d'auto-organisation ne sont pas synonymes. « On peut d'ailleurs trouver des systèmes avec des propriétés émergentes mais sans auto-organisation et vice versa. La pression d'un gaz est typiquement une propriété émergente liée aux interactions entre les particules qui composent le gaz mais sans qu'il y ait auto-organisation. Réciproquement, un système à base d'agents peut s'organiser de manière autonome de par les interactions entre les agents, sans nécessairement émergence de nouvelles propriétés globales². »

Etapas de travail

Une phase préparatoire du travail a été réalisée à l'aide de la plateforme Gama³ dans sa version 1.6.1, un outil de modélisation et de simulation à base d'agents qui permet l'implémentation ou l'interprétation de modèles connus. Il s'agit d'une phase exploratoire pour constituer une sorte de « palette » de modèles d'émergences. Cet outil utilisé dans mon projet comme « outil d'esquisses », a été conçu à l'origine principalement pour des simulations de systèmes réels – villes, formations géologiques, etc. – continue à être développé, notamment en ce qui concerne les modalités de visualisation. La programmation des modèles se fait en Gaml, langage dédié à la modélisation à base d'agents. L'architecture de modélisation intègre notamment une séparation claire des descriptions comportementales des agents et de leurs représentations. Il est donc possible de générer des représentations différentes du même modèle lors d'une simulation unique.

Exemple de modélisation réalisée, en partant de la plus simple au départ pour aller vers des formes plus complexes et dont le résultat n'est pas forcément attendu : concevoir une simulation dans un rendu dynamique 2D de l'émergence de la figure du cercle. Des éléments placés aléatoirement vont au cours de la simulation au temps 50 créer une forme qui est lue comme un cercle par l'œil humain.

² G. Hutzler, 2011, pp. 54-55

³ Gama est une plateforme de développement pour la modélisation et la simulation de systèmes à base d'agents. Cet environnement est développé depuis 2010 par différentes équipes de recherche en France et au Vietnam. Voir : <http://gama-platform.org/>

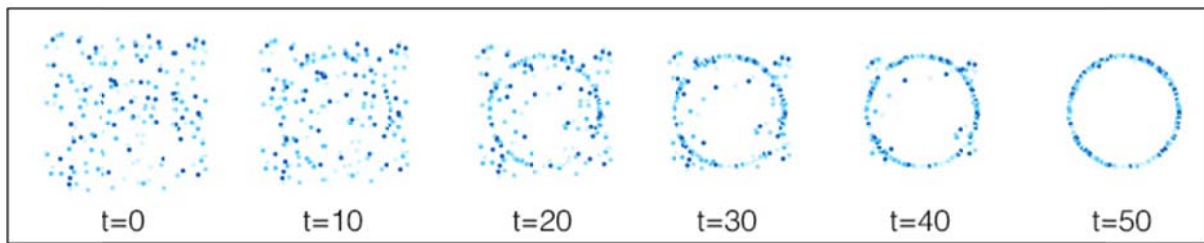


Figure 1.⁴ *Emergence : Les agents placés initialement de façon aléatoire (t=0) créent une forme circulaire au cours de la simulation (t=50).*

Le travail de création se déroule selon les étapes suivantes :

- perception effective d'émergences dans le système.
- recherche de formes émergentes non déductibles des comportements individuels de chaque agent-élément.
- exploration de règles de comportement individuel et « local » amenant à l'émergence de phénomènes collectifs et « globaux »
- penser leur mise en œuvre pour une représentation visuelle (animations sur ordinateur et/ou projections lumineuses dans l'espace ou sur une surface, voire sculpture robotisée).

Réalisation d'une série d'animations sous forme de programmes exécutables

Il s'agit, dans ce cas, de donner à *voir* un phénomène d'émergence, à la fois en jouant sur la sensation d'auto-organisation et sur les qualités esthétiques des dynamiques transitoires. La transposition des modèles de Gama s'est faite avec le langage Processing. Le choix du modèle à développer s'est porté tout d'abord sur le modèle d'interactions Proie-Prédateurs⁵ qui offre une sensation visuelle d'auto-organisation particulièrement claire. Il est, de plus possible avec des variations sur les paramètres du modèle d'obtenir des dynamiques d'émergences assez variées : une phase de stabilisation progressive s'opère dans la durée et l'on découvre peu à peu l'état dans lequel le système s'installe. Une possibilité d'action gestuelle du public sur le système, avec par exemple l'ajout manuel et successif d'agents (à partir de zéro si possible), ou encore la modulation de paramètres de comportement en temps réel, permet de perturber le système et d'en tester ses capacités de résilience.

Description du modèle Proie-Prédateur : les agents sont mobiles et se déplacent dans un espace-plan borné. Chaque agent est le prédateur d'un autre agent, ce second agent étant alors la proie de son prédateur. Chaque agent a une proie unique dont il cherche à se rapprocher et un prédateur unique dont il cherche à s'éloigner. En outre, les agents cherchent à éviter le contact avec les bords de l'espace et leur vitesse de déplacement est limitée.

Diverses représentations graphiques : dans la simulation du modèle Proie-Prédateur que nous avons réalisée les agents se déplacent dans un espace à deux dimensions : le plan de l'écran. Cet espace de position dans le plan n'est en fait qu'une des projections possibles de l'espace bidimensionnel des états variables des agents. Chaque agent peut voir son état varier selon deux degrés de libertés, qui peuvent aussi bien être considérés comme une abscisse et une ordonnée que comme d'autres grandeurs visuelles. Ces grandeurs, à défaut d'être liées à la position des agents dans l'espace, peuvent être liées à

⁴ Figure empruntée à la thèse de doctorat d'A. Grignard, 2015, p. 23

⁵ Voir quelques références bibliographiques dans la bibliographie jointe : LOTKA Alfred James (1925), ROSENZWEIG Michael L. and MacARTHUR Robert H. (1963), VOLTERRA Vito et BRELOT Marcel (1931).

Site web : <http://www.espace-turing.fr/Sur-les-modeles-proie-predateur-en.html>

leur couleur, leur forme, leur taille, ou tout autre aspect perceptible visuellement comme leur vitesse etc.

La diversité des représentations possibles du système est donc très riche, et fera apparaître la dynamique du système de différentes manières aux yeux de l'observateur. Certaines seront préférables pour mettre en avant une périodicité dans le système, d'autres pour la manière dont elles font apparaître une symétrie, etc.

Dans un autre registre, dans un mode de représentation donné, il existe une infinité d'habillages possibles pour les agents et leur environnement : un agent qui se "déplace" sur l'écran peut être bleu, noir, petit, flou, net, clignotant, rigide, élastique, géométrique, déformé etc.

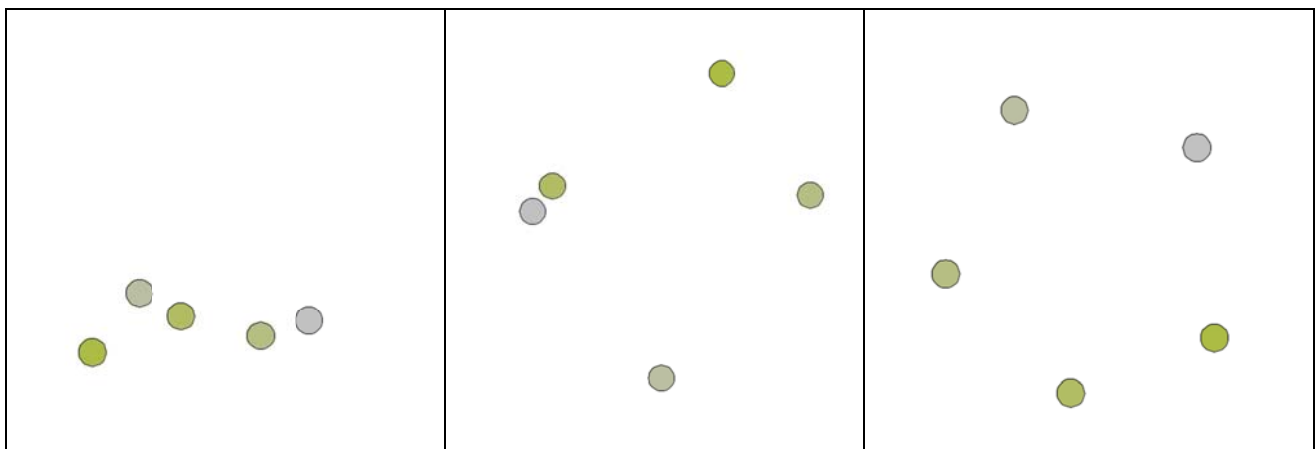
Les différents artefacts graphiques composant l'animation peuvent être fixes (une couleur de fond par exemple, pensée en relation aux couleurs des agents) ou dynamiques (qu'ils soient liés ou non aux variations d'états des agents), et les qualités de la dynamique du système seront perçues différemment selon les choix artistiques qui sont faits.

Quelques images

Le projet est en cours de réalisation et la production des animations s'enrichit au fur et à mesure de réalisations graphiques nouvelles.

Dans la suite de développement du projet, il est également envisagé de travailler avec d'autres modèles de simulation que le modèle Proie-Prédateur.

Voici quelques captures d'écran tirées d'animations qui sont quelques pistes possibles à envisager pour des réalisations graphiques plus poussées à présenter dans le cadre de EA2017.



Représentation du modèle dans Gama avec cinq agents.

A gauche les conditions initiales, puis deux instantanés pris dans la phase périodique stable du système.

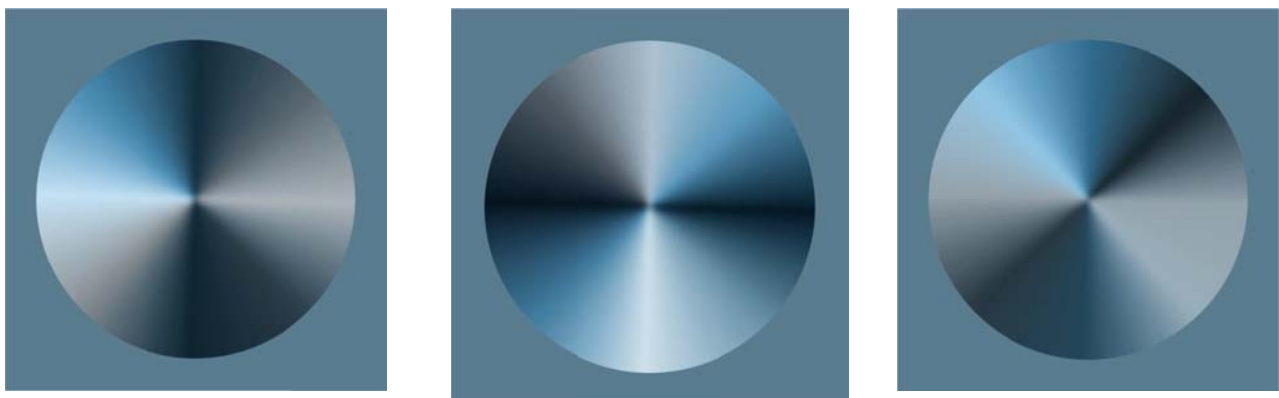
Une rotation circulaire émerge dans le mouvement du groupe.



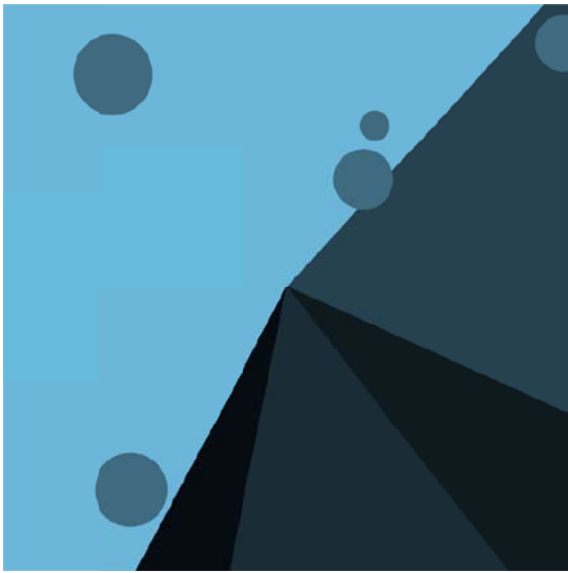
*Représentation du modèle travaillée sous Processing
3 phases de stabilisation du système avec représentation des agents avec trainée lumineuse.*



Les états des variables des agents sont ici incarnés dans des dimensions graphiques et non plus spatiales. Chaque agent au lieu d'évoluer dans un espace de positions, évolue dans un espace de couleurs dont la saturation et la brillance sont les dimensions variables. Un premier essai a été réalisé dans Gama. Le système est composé de cinq agents représentés en cinq sections. Le ton bleu est fixe et la saturation et la brillance sont variables. Chaque agent essaie de se rapprocher de la couleur de sa proie (section suivante dans le sens anti-horaire) et de la différencier de celle de son prédateur (section précédente dans le sens anti-horaire). Une rotation des couleurs s'observe dans le sens horaire.



*Représentation d'un groupe de huit agents sur le même principe que la figure au-dessus mais avec une interpolation des couleurs. 3 phases de stabilisation du système.
Des sensations de symétrie émergent dans ce type de représentation.*



Essai de superposition de deux représentations graphiques différentes du même modèle : ici représentation du modèle Proie-Prédateur avec cinq agents se déplaçant dans un espace de positions et cinq agents variant la saturation de leur ton de couleur. Deux états différents du système.

Bibliographie

- BOBO Lucien (2016), *Création de formes par des phénomènes d'émergences, et transposition à l'écriture pour la performance*, (mémoire de stage, Master 2 Art, Science, Technologie, INP Phelma, Ecole Nationale Supérieure de physique, Electronique, Matériaux, Grenoble).
- BOISSIER Jean-Louis (2004), *La relation comme forme - L'interactivité en art*, Mamco, Genève.
- BRIOT Jean-Pierre et DEMAZEAU Yves (sous la direction de), (2001), *Principes et architecture des systèmes multi-agents*, coll. Lavoisier, Hermès Sciences, Paris.
- GOLDSTEIN Jeffrey (1999), *Emergence as a Construct : History and Issues*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- GRIGNARD Arnaud (2015), *Modèles de visualisation à base d'agents* (thèse de doctorat), Université Pierre et Marie Curie.
- HUTZLER Guillaume (2011), *Le Has(Art) et la néce(Cité) – Une approche (auto-)poïétique des systèmes complexes* (thèse d'habilitation à Diriger des Recherches), Université d'Evry-Val-d'Essonne.
- LOTKA Alfred James (1925), *Elements of Physical Biology*, (réimpr. Dover en 1956 sous le titre *Elements of Mathematical Biology*).
- ROSENZWEIG Michael L. and MacARTHUR Robert H. (1963), *Graphical representation and stability conditions of predator-prey interactions*, *Amer. Natur.* 97 – 209-223
- VOLTERRA Vito et BRELOT Marcel (1931), *Théorie mathématique de la lutte pour la vie*, Gauthier-Villars, Paris (réimpr. Jacques Gabay en 1990). Site web : <http://www.espace-turing.fr/Sur-les-modeles-proie-predateur-en.html>