

Expérimentation sur mondes artificiels: pour une réflexion méthodologique.

Jean-Pierre TREUIL¹, Christian MULLON²

Introduction

Depuis longtemps l'ordinateur est utilisé dans la recherche pour stocker des informations, pour y accéder rapidement et pour effectuer automatiquement sur ces informations des calculs ou des raisonnements complexes. Depuis longtemps l'ordinateur est également utilisé pour *simuler* le fonctionnement de systèmes. Dans certaines disciplines relevant des sciences naturelles ou des sciences sociales et n'utilisant pas pour diverses raisons des formalisations mathématiques élaborées, cette voie de simulation a paru prometteuse. Elle s'est d'abord appuyée sur des concepts issus de la cybernétique [1]. Récemment de nouvelles notions venant de l'Informatique et de l'Intelligence artificielle, les objets, les agents, les systèmes multi-agents, ont donné lieu à différentes applications que leurs auteurs eux mêmes ont souvent rapprochées. Citons par exemple, parmi d'autres, MANTA [2] en éthologie animale, insectes sociaux, SEALAB [3] en biologie des populations, comportements reproductifs, SIMDELTA [4] en halieutique, gestion d'une ressource renouvelable, SIMPOP [5] en géographie humaine, dynamique de peuplements.

Le caractère commun de ces travaux est, à propos de questions où la modélisation classique rencontre des limites, d'opérer sur des réalités virtuelles faisant vivre en ordinateur des agents autonomes, et d'y effectuer des expériences impossibles ou difficiles à faire en réalité. C'est pourquoi on a qualifié les systèmes ainsi créés de laboratoires virtuels. Pour notre part, nous parlerons ici d'expérimentation sur mondes artificiels.

Les observations habituellement adressées à l'activité de modélisation et à ses produits [6] [1] s'applique aussi à ce type particulier. Comme tous les modèles, qu'ils se présentent sous la forme d'équations mathématiques, de discours, de schémas, de tableaux de données, de système d'équations, les mondes artificiels sont de la connaissance cristallisée, objectivée, une pensée réifiée. Ils sont le résultat d'une reconstruction de l'expérience de la réalité aboutissant à une représentation publique, communicable. Leur écriture, puis leurs lectures, transforme plus ou moins profondément le corpus de représentations internes à la fois aux auteurs et aux lecteurs [10]. Comme pour toutes les représentations publiques, la profondeur de ces transformations est en partie fonction de l'effort de style [6]. L'assimilation d'une simulation à un récit, une histoire racontée par le moyen d'une succession d'images présentées sur l'écran de l'ordinateur, ne peut que renforcer ici cette caractéristique générale des modèles.

Par ailleurs, le caractère démiurgique de la prétention à créer et à faire vivre des mondes artificiels peut même mettre mal à l'aise. Elle expose en tout cas ceux qui s'y adonnent à tomber avec une ardeur renforcée dans les travers déjà présents en modélisation classique:

- la *fuite dans l'imaginaire* ou dans l'abstrait, s'attachant davantage à la beauté formelle du modèle qu'à l'explicitation de ces liens avec le corpus de connaissances dont il est issu.

¹ Laboratoire d'Informatique Appliquée - ORSTOM - 32, avenue Henri Varagnat
93143 Bondy Cedex - Email: treuil@orstom.fr

² Antenne ORSTOM - ERMES - Bâtiment 3IA - BP 6759 - Faculté des Sciences - 45067 Orléans Cedex 2 -
Email: mullon@orstom.fr



Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : B* 7959 Ex : 1

- la fuite dans l'hyperréalisme, qui part du principe qu'on ne perd rien à ne rien sélectionner, et qui tire son plaisir, à l'inverse du travers précédent, dans la création d'une copie du monde exacte dans ses moindres détails.

Le débat que nous posons ici porte sur les questions de méthode méritant d'être développées à propos de l'expérimentation sur les Mondes Artificiels et sur leur efficacité, leur originalité, leur pertinence: ouvrent-ils réellement une voie nouvelle susceptible d'apporter des solutions aux problèmes posés dans certains domaines scientifiques.

Les travaux d'expérimentation sur Mondes Artificiels sont caractérisés par la coexistence - à des degrés variables - de trois aspects, qui sont

- l'emploi de la notion d'agent et d'une métaphore sociale
- l'articulation d'au moins deux niveaux de fonctionnement
- la recherche de mondes possibles.

Chacun de ces trois aspects fera l'objet de quelques constatations aboutissant à un bref exposé de notre position.

1. La notion d'agent et la métaphore sociale.

Les expériences évoquées mettent toutes en avant la notion d'agent et de systèmes multi-agents. Les fourmis de MANTA, les poissons de SEALAB, les cités de SIMPOP, les pêcheurs, les poissons et les biotopes de SIMDELTA sont tous des agents. Cette notion d'agent porte en elle de multiples dimensions: celle d'un plus ou moins grand parallélisme (absence de contrôle centralisé, autonomie), celle de comportements plus ou moins complexes (usage de représentations, mémoire, actions réflexes ou intentionnelles), celle de comportements plus ou moins figés (construction de représentations, apprentissage). D'une façon générale, elle suggère une métaphore sociale de la réalité.

Cette métaphore s'applique très naturellement à la modélisation d'une société de pêcheurs. Son caractère naturel est moins évident lorsque les agents représentent des cités et encore moins lorsqu'ils représentent des objets de l'environnement. On imagine donc que cette façon de penser donne au programmeur un atout décisif. De fait les justifications avancées concerne d'abord son opérationnalité (modularité, flexibilité, etc...).

L'informatique s'est très tôt conformée à notre tendance à découper le monde à notre échelle en objets, classés en catégories, dotés de propriétés et entretenant entre eux divers types de relations. A travers la programmation objet, les langages acteurs et les systèmes multi-agents, elle nous induit de plus à considérer les objets comme des entités s'échangeant des messages, s'animant et réagissant de façon autonome. En cela elle rencontre notre propension à voir certaines entités du monde, autres êtres humains, mais aussi animaux, plantes, choses, comme des êtres dotés de la capacité à accomplir des actions, voire animés d'intentions [7].

Position 1: La question de la métaphore sociale est importante. Quels sont les rapports entre ce double caractère à la fois objectiviste et anthropomorphe des systèmes multi-agents et leur utilisation dans notre contexte? Quel statut - purement technique ou relié d'une manière plus profonde au mode de pensée humain - doit-on donner à la métaphore sociale des interactions à l'oeuvre dans le réel, et comment s'articule-t-elle avec d'autres modes de pensée ?.

Un mouvement important des sciences cognitives actuelles est de considérer le caractère incarné des représentations. Lakoff [8] pointe par exemple sur l'importance des expériences immédiates que nous vivons en temps qu'êtres humains dans la formation de schémas kinesthésiques généraux. Il pointe également sur notre capacité de métaphore qui nous fait transporter ces schémas pour les appliquer à d'autres contextes du vécu. Il n'est pas étonnant, dans cette conception, qu'une de nos expériences les plus fondamentales, celle de la vie en société, puisse nous servir de grille de lecture de la réalité.

La métaphore sociale est riche et consistante; on peut y trouver en effet une diversité de schémas concernant plusieurs plans:

- le plan des rapports entre l'individuel et le collectif, ouvrant au problème des changements d'échelle (cf. ci dessous). Il faut considérer ici non seulement l'individu et la société dans son

ensemble, mais aussi le niveau intermédiaire de groupes ayant leur propre identité et qui constituent donc eux mêmes des agents.

- le plan des relations d'influence, des communications et des échanges. On y trouve une certaine conception de l'espace (s'identifiant au réseau des échanges instantanés possibles) et diverses formes possibles d'organisation d'interactions entre les éléments d'un système (topologies, protocoles).

La métaphore sociale nous paraît cependant inclure une distinction qui est un peu brouillée par la notion d'agent, celle entre animé et inanimé, que toutes les cultures semblent avoir établi, même si elles répartissent les entités entre ces deux catégories d'une façon différente de l'une à l'autre. L'emploi systématique du terme d'agent - même réactif - heurte cette habitude. Ne vaudrait-il pas mieux, plutôt que d'insister sur le continuum objets-agents, rétablir la séparation entre la catégorie d'agent (animé), et la catégorie d'objet (inanimé), libre à chacun ensuite, selon son style et sa vision du domaine, de classer telle entité dans telle catégorie.

II. Explicitation de plusieurs niveaux de fonctionnement et de leur articulation.

MANTA étudie les rapports entre l'apparition de structures identifiables au niveau de la société comme la spécialisation des activités et les interactions entre individus. SIMDELTA fait de même entre les règles de décisions des pêcheurs et la dynamique de la ressource exploitée caractérisée par les effectifs et la composition spécifique). SIMPOP met en relation des règles d'échanges entre les cités et leur environnement et l'évolution d'indicateurs de structures (distribution des cités selon le nombre d'habitants). SEALAB caractérise le lien entre les comportements reproductifs individuels et l'évolution des stocks.

Les auteurs des travaux mentionnés parlent souvent d'émergence. Ils ont bien l'ambition de relier des phénomènes se situant à plusieurs échelles d'observations. Ils abordent ici le problème du transfert d'échelle. L'emploi du terme d'échelle mérite quelques explications. Dans un sens très proche du sens cartographique, le terme d'échelle désigne une grille spatio-temporelle, donc une étendue, une durée, une résolution, recouvrant une certaine portion de la vie de l'univers, dans les cases de laquelle sont effectuées un certain nombre de mesures. D'une façon dérivée mais plus vague, il désigne un niveau d'accommodation [10,11], déterminant l'identification dans cet univers de certains types d'objets. C'est en référence à cette dernière acception qu'on assimilera ici le changement d'échelle à l'articulation entre deux niveaux, au passage du micro au macro, du local au global, de l'individuel au collectif.

Tout modèle implique un choix portant sur les échelles aux quelles il reconstruit la réalité. Beaucoup de modèles se situent à une seule échelle, par exemple le modèle des gaz parfaits, ou les modèles macro-économiques. La prise en compte de plusieurs échelles est indispensable pour comprendre certains phénomènes, comme par exemple les changements de phase. Elle est de toute façon naturelle dans la démarche scientifique, qui essaye de descendre le plus profondément possible dans les processus sous-jacents [6]. Or rendre compte de l'articulation entre des fonctionnements à des échelles différentes est difficile. L'esprit humain n'est pas très apte à raisonner dans ce contexte [9] Les mathématiques, qui ont montré leur efficacité en physique statistique (de la molécule au gaz), ont elles mêmes leurs limites. Leur application peut devenir difficile dans les cas de forte hétérogénéité ou de forte variabilité temporelle, par exemple lorsqu'une multitude d'éléments différents interagissent selon des modes variés à travers un réseau d'influences complexe et éventuellement changeant. La création et la mise en oeuvre en ordinateur d'un monde artificiel, d'une maquette de la réalité faisant vivre et interagir des représentations informatiques de ces éléments, ouvre alors les seules possibilités d'investigation .

Position 2: La multiplicité des échelles est le terrain spécifique des mondes artificiels dans leur utilisation scientifique; cette spécificité détermine une part de la réflexion théorique à leur propos.

Nous formulons l'hypothèse que cette réflexion théorique conduise à la constitution de modèles génériques. En effet la variété des disciplines (physique, éthologie, écologie, géographie, économie, sociologie, sciences cognitives...) et domaines se posant des problèmes de changement d'échelle cache peut être une moins grande variété des structures et des mécanismes en oeuvre. Il est frappant de constater par exemple l'analogie des mécanismes agrégatifs que nous établissons entre des domaines

à priori aussi différents que l'éthologie des poissons (banques), la psychologie sociale (phénomènes de foule), les neurosciences (assemblées de neurones).

Une voie de recherche ne consisterait-elle pas alors à tenter de classer les différentes situations de transfert d'échelle en structures types, puis à identifier ces structures types à des combinaisons d'un petit nombre de schémas cognitifs. Chacune des structures types pourrait alors donner lieu à une étude de la diversité de ses comportements possibles. De telles études seraient effectuées par l'intermédiaire d'autant de plates-formes génériques, lesquelles pourraient être ensuite utilisées de façon plus spécifique dans des contextes thématiques spécialisés.

III. La recherche de mondes possibles.

Les auteurs des travaux cités explicitent tous de nombreux scénarii de mise en oeuvre de leurs mondes artificiels. Ils partent d'un corpus initial de représentations et de théories sur les domaines étudiés, et isolent des hypothèses. Par exemple dans un des scénarii de SIMPOP, l'hypothèse que les villes émergent par accumulation de richesses sur leur environnement proche, et non à travers la mise en place d'un réseau de relations à longue distance. Ces hypothèses servent de base à la fois à la construction des mondes artificiels, à la définition des expériences à effectuer et à l'interprétation des résultats. Elles spécifient en fait une classe de mondes artificiels, et déterminent par l'intermédiaire de paramètres d'instanciation une manière de générer des mondes à l'intérieur de cette classe, mondes dont on suivra ensuite l'histoire particulière. Ces paramètres forment un vecteur P qui est (d'une façon simplifiée) la somme d'un vecteur moyen M et d'une fluctuation E déterminée par un tirage aléatoire et traduisant diverses incertitudes: incertitudes concernant notamment les comportements locaux, auxquels il est le plus difficile d'accéder de façon exacte et exhaustive.

L'extension de la classe de mondes effectivement suivis résulte de la combinaison de

- l'extension des mondes calés sur un vecteur M fixé, extension déterminée par la loi de probabilité contrôlant le tirage au sort des fluctuations E et
- de l'extension complémentaire consécutive aux variations admises ou que l'on souhaite explorer pour M .

La première extension est celle à la base de la méthode de Monte Carlo permettant de pallier à l'incertitude (et également celle exprimée par la fonction de répartition en physique statistique). La seconde relève des études de sensibilité classiques en modélisation. Dans le prolongement de ces deux préoccupations, l'étude systématique d'une multiplicité de mondes est le moyen expérimental de s'assurer des conditions minimales de vérification d'une hypothèse, ce qui est une constante en recherche scientifique. Cette orientation va parfois à l'encontre du réalisme - études de mondes à priori non rencontrés en réalité. Mais elle peut également permettre de réfléchir sans nécessairement tout connaître. Elle tend à placer la démarche modélisatrice antérieurement à une certaine collecte des données. Elle retrouve une conception exploratoire de la modélisation.

Position 3: *L'étude systématique d'une multiplicité de mondes fait partie intrinsèque de l'apport scientifique des mondes artificiels; la viabilité des mondes expérimentés est un des critères auxquels on doit porter attention.*

L'idée est que les possibilités d'existence d'un monde artificiel sur un long temps d'expérimentation nous renseigne, à certaines conditions, sur les mondes réellement possibles dans la durée. La notion de viabilité permet d'explicitier davantage, car elle formalise la notion intuitive de fonctionnement d'un système dans des conditions satisfaisantes, et selon des règles de fonctionnement données, sur un temps suffisamment long.

Ces conditions à satisfaire, ces objectifs à tenir, peuvent être définis de façon plus ou moins spécifique. Ainsi dans MANTA, l'objectif est-il de voir la fourmilière démarrer, se développer et survivre au moins dans un certain nombre de cas. Dans d'autres études, SEALAB, par exemple, seront non viables l'effondrement ou l'explosion de la population. On peut aussi se contenter de fixer au monde artificiel la simple contrainte de rester compatible avec les ressources informatiques (espace mémoire, temps de calcul) qui lui sont offertes. Cette contrainte à priori technique peut avoir un sens, car elle reflète la réalité de tout processus observable, qui se développe dans un espace et un temps nécessairement limité.

L'important dans tous ces cas est de veiller à ne pas sur-contraire les processus par des spécifications ad-hoc qui viendraient masquer les conséquences propres des interactions des agents (comme le ferait par exemple une régulation globale maintenant constant l'effectif d'une population).

Conclusion

Les mondes artificiels créés sur ordinateurs à l'aide des concepts et techniques des systèmes multi-agents peuvent contribuer à la compréhension des dynamiques régissant aussi bien les systèmes physiques, les systèmes vivants et les systèmes sociaux. Cette contribution exige pour être effective certaines précautions méthodologiques, à savoir :

- bien comprendre pour mieux l'utiliser la métaphore sociale sur laquelle ils sont fondés.
- les appliquer de préférence à leur terrain spécifique, celui des changements d'échelles, sur lesquels d'autres méthodes peuvent plus difficilement les concurrencer.
- considérer qu'il s'agit bien de modèles, utiles pour leur abstraction et non pour leur imitation "réaliste" de la réalité, et rechercher des généralités plutôt que des particularités.
- bien expliciter les hypothèses à la base de la construction de chaque classe de mondes.
- pour une hypothèse donnée, explorer la palette des conditions d'existence des mondes qui la représentent et non se satisfaire d'une seule instantiation.

Bibliographie.

[1] Dupuy J.P. (1992) *Aux origines des sciences cognitives*. La Découverte, Paris

[2] Drogoul A., B. Corbara, S. Lalande (1995) MANTA: new experimental results on the emergence of (artificial) ant societies. In Nigel Gilbert & Rosaria Conte eds, *Artificial Societies, The computer simulation of social life*, UCL Press.

[3] Lepage C. Cury Ph., An Artificial-Life model to explore spatial heterogeneity influences on population dynamics. Submitted manuscript (Octobre 1995) *Adaptative behavior* ..

[4] Bousquet F., Cambier C., Mullon C., Morand P., Quensièrre J. (1992) Simulating fishermen society, *Simulating Societies : the computer simulation of social phenomena*; N.Gilbert and J. Dran (eds), ECL Press, London.

[5] Burà S., F. Guérin-Pace, H. Mathian, D. Pumain, L. Sanders (1995) Cities can be agents too: a model for the evolution of settlement systems. In . In Nigel Gilbert & Rosaria Conte eds, *Artificial Societies, The computer simulation of social life.*, UCL Press

[6] Couty P. (1989) Similitudes, simulacres, absences, in C. Mullon ed., *Seminfor2, La modélisation, aspects pratiques et méthodologie*, Orstom, Paris

[7] Grivois H., Dupuy J.P. (1995) *mécanismes mentaux mécanismes sociaux*.. La Découverte, Paris.

[8] Lakoff G. (1987) *Women, Fire and Dangerous Things. What Categories reveal about the mind*. The University of Chicago Press, Chicago

[9] Boudon R. (1984) *La place du désordre. Critique des théories du changement social*. Presses Universitaires de France, Paris 1984.

[10] Mullon C. (1989) Rhétorique de la modélisation, in C. Mullon ed., *Seminfor2, La modélisation, aspects pratiques et méthodologie*, Orstom, Paris

[11] Mullon C. (1995) Sur la modélisation de systèmes complexes à plusieurs échelles d'espace et de temps , à paraître dans la revue d'écologie, terre et vie, 1995.

Tendances nouvelles

**EN MODÉLISATION
POUR L'ENVIRONNEMENT**

cité des Sciences et de l'Industrie, Paris
les 15, 16 et 17 janvier 1996

**ACTES DES JOURNÉES DU PROGRAMME
ENVIRONNEMENT, VIE ET SOCIÉTÉS**

COMMUNICATIONS ORALES

SESSION A : Problèmes de modélisation,
conceptualisation, agrégations d'échelles,
assimilation de données.



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE