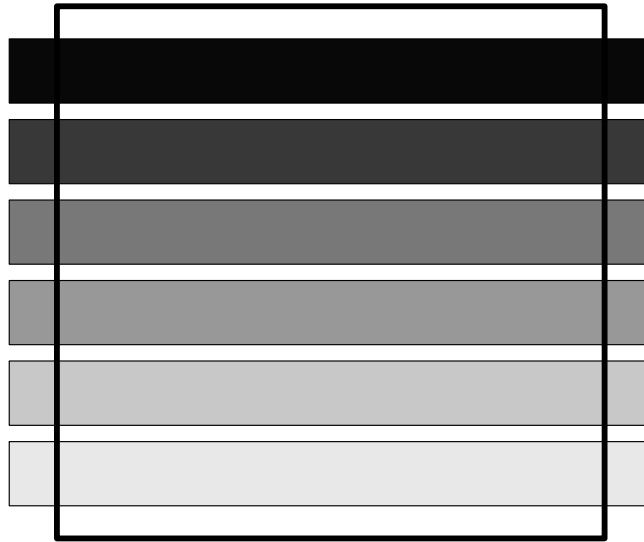


LES CAHIERS DU LANCI



*IMPACT DES CHANGEMENTS QUASI-DYNAMIQUES DE LA
POSITION DES SENSEURS D'UN ANIMAT :
UNE APPROCHE DÉVELOPPEMENTALE D'UN RÉSEAU DE
NEURONES ARTIFICIELS À IMPULSION*

André Cyr, Mounir Boukadoum et Pierre Poirier

N° 2004-02

UQÀM
Université du Québec à Montréal

Le Laboratoire d'ANalyse Cognitive de l'Information (LANCI) effectue des recherches sur le traitement cognitif de l'information. La recherche fondamentale porte sur les multiples conceptions de l'information. Elle s'intéresse plus particulièrement aux modèles cognitifs de la classification et de la catégorisation, tant dans une perspective symbolique que connexionniste. La recherche appliquée explore les technologies informatiques qui manipulent l'information. Le territoire privilégié est celui du texte. La recherche est de nature interdisciplinaire. Elle en appelle à la philosophie, à l'informatique, à la linguistique et à la psychologie.

Publication du Laboratoire d'ANalyse Cognitive de l'Information
Directeur : Jean-Guy Meunier
Université du Québec à Montréal

Volume 3, Numéro 2004-02 – Décembre 2004

Document disponible en ligne à l'adresse suivante : www.lanci.uqam.ca

Tirage : 15 exemplaires

Aucune partie de cette publication ne peut être conservée dans un système de recherche documentaire, traduite ou reproduite sous quelque forme que ce soit - imprimé, procédé photomécanique, microfilm, microfiche ou tout autre moyen - sans la permission écrite de l'éditeur. Tous droits réservés pour tous pays. / All rights reserved. No part of this publication covered by the copyrights hereon may be reproduced or used in any form or by any means - graphic, electronic or mechanical - without the prior written permission of the publisher.

Dépôt légal – Bibliothèque Nationale du Canada
Dépôt légal – Bibliothèque Nationale du Québec
ISBN : 2-922916-04-9

© 2004 André Cyr, Mounir Boukadoum et Pierre Poirier

Mise en page : Gaétan Piché

***IMPACT DES CHANGEMENTS QUASI-DYNAMIQUES DE LA
POSITION DES SENSEURS D'UN ANIMAT :
UNE APPROCHE DÉVELOPPEMENTALE D'UN RÉSEAU DE
NEURONES ARTIFICIELS À IMPULSION***

André Cyr et Mounir Boukadoum
Département d'informatique, Université du Québec à Montréal

Pierre Poirier
Département de philosophie, Université du Québec à Montréal

Résumé :

Cette recherche vise à explorer, à l'aide d'un animat virtuel et d'un réseau de neurones artificiels (RNA) à impulsion de type original, les effets d'ajout statique ou quasi-dynamique de senseurs visuels sur un comportement simulé de bas niveau tel que la locomotion. L'aspect physique d'un organisme biologique, d'un robot ou d'un animat virtuel, et notamment la position spatiale de ses senseurs et effecteurs, peut directement influencer les comportements et apprentissages de ceux-ci. De plus selon Pfeifer et Scheier (1999), la coordination sensori-motrice représente la génération active d'entrées sensorielles par le biais d'actions sur l'environnement, entraînant ainsi des comportements dirigés. À cet égard, la possibilité de modifier physiquement et dynamiquement la position ou le nombre de capteurs et effecteurs pourrait offrir une solution avantageuse pour un robot dans une perspective de résolution de tâche. Cette étude exploratoire pourrait permettre d'anticiper des pistes de solutions dans le domaine de la robotique évolutionniste et développementale. Sur le plan théorique en sciences cognitives, cette recherche permettra d'étudier les effets généraux de « l'embodiment » du système nerveux d'un agent sur ses capacités cognitives.

1. Introduction

L'intelligence est un phénomène complexe et il en existe plusieurs conceptions selon l'époque, le courant de pensée ou l'orientation des chercheurs. Parmi cet ensemble de

conceptions, certaines sont datées, d'autres parcellaires et d'autres encore sont presque certainement fausses. Il convient dès lors de préciser notre approche concernant l'intelligence. Nous rejoignons les idées de Brooks (1999) et de la « nouvelle intelligence artificielle » en pensant que l'intelligence d'un agent réside en partie dans l'œil d'un observateur évaluant les performances d'un agent qui perçoit et agit dans son environnement. Cette conception implique qu'il faut distinguer deux dimensions de l'intelligence. Une dimension normative, centrée sur l'observateur, c'est-à-dire orientée de l'observateur vers l'agent, dans laquelle l'observateur, en général un être humain, applique un ensemble de normes pour évaluer la performance d'un agent, qui peut être un autre humain, un animal ou un artéfact, qui perçoit et agit avec son environnement. Ensuite une dimension descriptive, centrée sur l'agent qui interagit avec son environnement. La nouvelle intelligence artificielle est commise à l'idée que l'on ne parviendra jamais à comprendre le phénomène complexe de l'intelligence si on ne distingue pas ces deux dimensions (voir Pfeifer et Scheier 1999 pour une expression différente de la même idée).

Dans ce qui suit, nous nous centrerons exclusivement sur la partie descriptive, centrée sur l'agent, de l'intelligence. Plusieurs éléments couverts par cette partie descriptive ont déjà été étudiés, notamment les capacités représentationnelles et la puissance computationnelle du système nerveux, conçues de manière simplifiée comme celles d'un réseau de neurone, RNA. On étudie de plus en plus également le rôle de l'architecture globale dans l'intelligence des agents (O'Reilly et Munakata 2000). Dans le cadre du modèle simplifié des RNA, l'étude du rôle de l'architecture dans l'intelligence se fait par le biais de l'organisation de multiples RNAs, dont les capacités sont souvent prédéfinies en « réseaux de réseaux ». Ces réseaux de RNA recréent les architectures plus traditionnelles en intelligence artificielle où diverses composantes (ici des RNA) s'échangent *inputs* et *outputs* à leurs ports d'entrée et sortie dans le but de résoudre collectivement diverses tâches cognitives. Ils représentent assez bien, également, ce que l'on sait de l'architecture globale du cerveau. Toutes ces études réduisent cependant les capacités cognitives des agents aux capacités des RNA ou des réseaux de RNA, c'est-à-dire aux capacités exclusivement internes au système nerveux, naturel ou artificiel, de l'agent.

Plusieurs auteurs s'opposent à une telle réduction des capacités cognitives à celles exclusivement internes à l'agent. Le fait que les agents, c'est-à-dire tous les agents naturels et plusieurs agents artificiels (notamment les robots et autres animats) possèdent un corps lequel est situé dans un environnement important, pensent-ils, aux capacités cognitives des agents. La possession d'un corps situé peut par exemple simplifier certaines tâches computationnelles (Clark et Thornton,) ou représentationnelles (Brooks, 19XX). Les capacités cognitives, du moins

certaines d'entre elles, ne seraient pas uniquement celles des systèmes nerveux mais bien de systèmes plus étendus, incluant certes les cerveaux mais aussi diverses composantes corporelles et environnementales.

Les limites actuelles de la technologie robotique actuelles font qu'il est difficile d'évoluer le corps des robots et ainsi tester pour celui-ci les thèses insistant sur l'importance des composantes corporelles au sein des systèmes cognitifs conçus comme systèmes étendus. Ce qui nous conduit tout droit vers notre présent sujet d'étude, soit les répercussions du changement dynamique du corps d'un agent sur son RNA. Pour cet article, nous avons opté pour une modélisation de type animat virtuel. Ce choix est purement pragmatique et devra être comparé sous peu à sa contrepartie physique, soit un agent robotique, exploitant à fond cette fois-ci les contraintes physiques et dynamiques d'un monde réel (Wood, 2001).

2. Méthodologie

L'ordinateur utilisé pour les simulations est un PC portable Toshiba Satellite équipé d'un microprocesseur Pentium IV, d'une horloge interne cadencée à 1,5 GHz et de 512 Mo de RAM, le tout sous un système d'exploitation *Windows XP*. Le langage de programmation utilisé est java de Borland (Jbuilder 5) s'exécutant sur une machine virtuelle java 2 SDK, version 1.3, de *Sun Microsystems*, disponible gratuitement sur le WEB.

La tâche cognitive de bas niveau, réalisée par l'animat concerne la locomotion, soit minimalement de bouger et possiblement avancer par le biais de ses entrées sensorielles et réponses effectrices possibles dans les contraintes du monde artificiel proposé. Aucun but hiérarchisé ou parallèle n'a été conçu ou explicitement programmé pour l'animat.

L'animat virtuel possède un corps adapté à son environnement artificiel, soit remplissant exactement une case du monde. À ce corps se rattache quatre roues, quatre senseurs tactiles et maximalelement trois senseurs visuels (voir Figure 1). Le choix des caractéristiques retenues pour cet animat virtuel n'est pas étranger à une future implantation robotique. À remarquer que cet animat virtuel se trouve naturellement polarisé vers l'avant de par la position spatiale asymétrique des senseurs visuels. Le senseur visuel central recueille la lumière sur la case située à l'avant de l'animat. Les capteurs visuels gauche et droit recueillent la luminosité située respectivement sur la gauche et la droite, à l'avant de l'animat. Il n'y a pas de chevauchement des champs de lecture des capteurs. Les senseurs tactiles situés aux quatre points cardinaux de l'animat virtuel « ressentent » les objets qui se trouvent sur les cases adjacentes, selon la position relative et orientée de celui-ci.

Les roues procurent à l'animat une certaine liberté de mouvement, une possibilité de gérer activement ses futures perceptions par une coordination sensori-motrice. Cependant, afin de restreindre les lourdes opérations mathématiques dues à la gestion computationnelle du monde artificiel, les mouvements sont limités dans cette simulation à la possibilité par cycle, d'avancer ou reculer d'une case ou d'effectuer un déplacement latéral d'une case vers la gauche ou la droite. Les rotations sur place sont permises avec des angles droits de 90 degrés offrant ainsi une locomotion de type cardinal (Nord, Est, Sud ou Ouest).

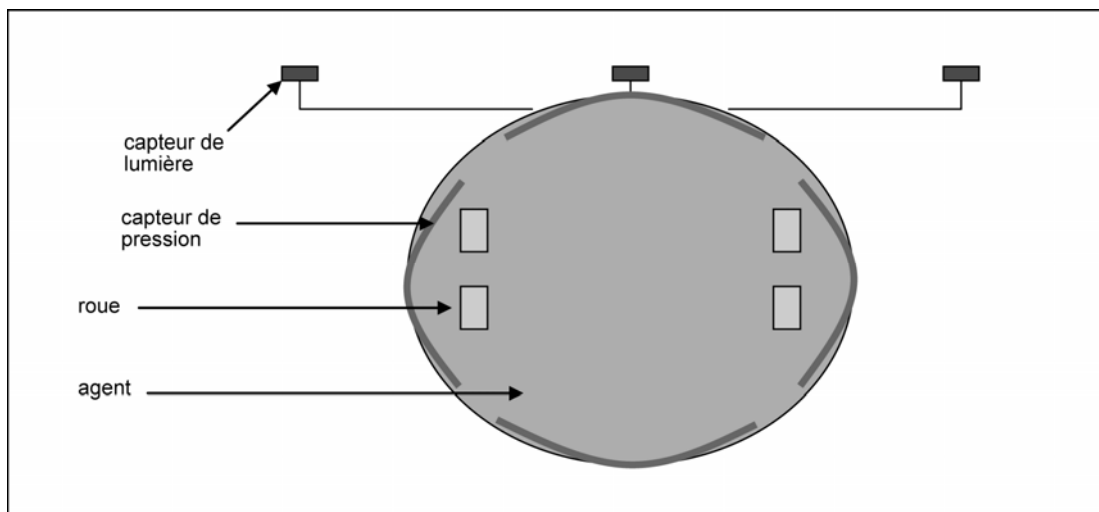


Figure 1. Structure de l'agent artificiel.

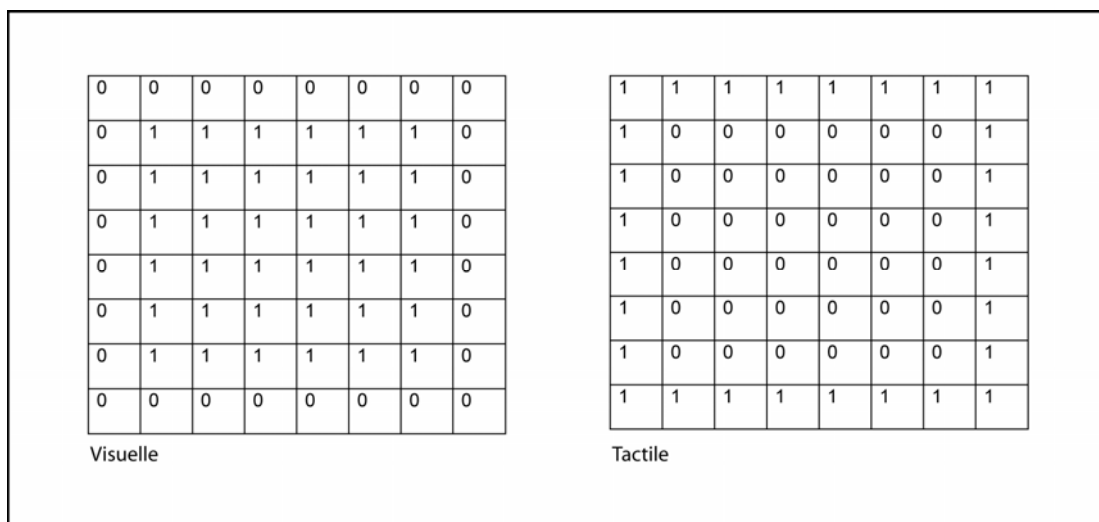


Figure 2. Exemple d'un monde artificiel à 2 matrices statiques, symétriques et homogènes.

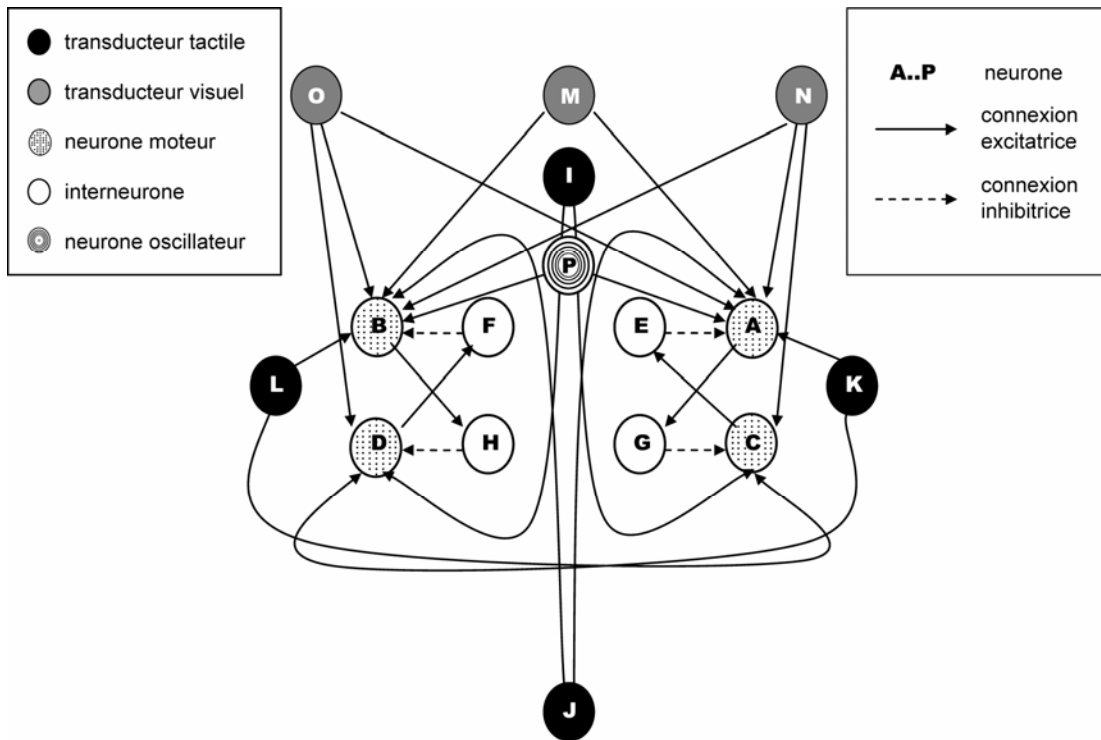


Figure 3. Schéma de l'architecture neuronale de l'animat virtuel.

Le monde artificiel est réduit à sa plus simple expression dans cet article afin de minimiser l'impact computationnel sur l'algorithme du RNA à impulsion. Il est composé de deux matrices statiques, symétriques et homogènes. Elles sont indépendantes l'une de l'autre et comportent deux dimensions seulement, soit une longueur arbitrairement fixée de 64 cases et une largeur de 64 cases. Il s'agit donc d'un monde fini et borné. Il y a deux matrices correspondantes à deux modalités sensorielles différentes. La première représente l'univers lumineux (1 = lumière, 0 = pas de lumière) et la deuxième un monde tactile (1 = objet non déplaçable, 0 = aucun objet). Plus le monde artificiel est petit, plus les senseurs tactiles sont mis à contribution (voir Figure 2).

L'architecture neuronale a été réalisée intuitivement (voir Figure 3), afin que l'animat puisse minimalement bouger, avancer dans le monde artificiel. Il est cependant important de noter que tous les paramètres du RNA pourraient être éventuellement soumis à un algorithme génétique artificiel afin de les faire évoluer vers cette configuration particulière. L'architecture comprend 16 neurones répartis en cinq classes. Un maximum de trois neurones sensoriels est associé aux capteurs visuels, quatre neurones sensoriels sont associés aux capteurs tactiles, quatre neurones moteurs sont associés aux effecteurs (roues artificielles), quatre interneurones sont associés aux

neurones moteurs et enfin un neurone oscillateur est associé aux neurones moteurs avants. Un nombre total de 26 synapses est modélisé, dont quatre sont inhibitrices (interneurone). Presque tous les neurones sont connectés selon un schéma sensori-moteur sauf pour les interneurones et le neurone oscillateur. Les diverses synapses favorisent volontairement les roues avants dans ce schéma.

Le type de RNA utilisé est un prototype actuellement en phase exploratoire (Cyr et al., À paraître). Ce modèle concerne la dernière génération de RNA soit celle à potentiel d'action ou à implusion (*spiking neuron model, pulse coding*) (Gerstner & Kistler, 2002 ; Maass & Bishop, 1999). Ces modèles sont plus plausibles sur le plan biologique puisqu'ils sont capables de computation dynamique de fine granularité où l'information pertinente se retrouve au niveau temporel des potentiels d'action (Brette & Guigon, 2003 ; Roberts & Bell, 2002) et même à celui des potentiels post-synaptiques (Maass & Ruf, 1996). Actuellement, ce RNA à impulsion ne possède pas d'algorithme d'apprentissage, l'animat virtuel répondant simplement de façon réflexe selon ses connexions et poids synaptiques dynamiques.

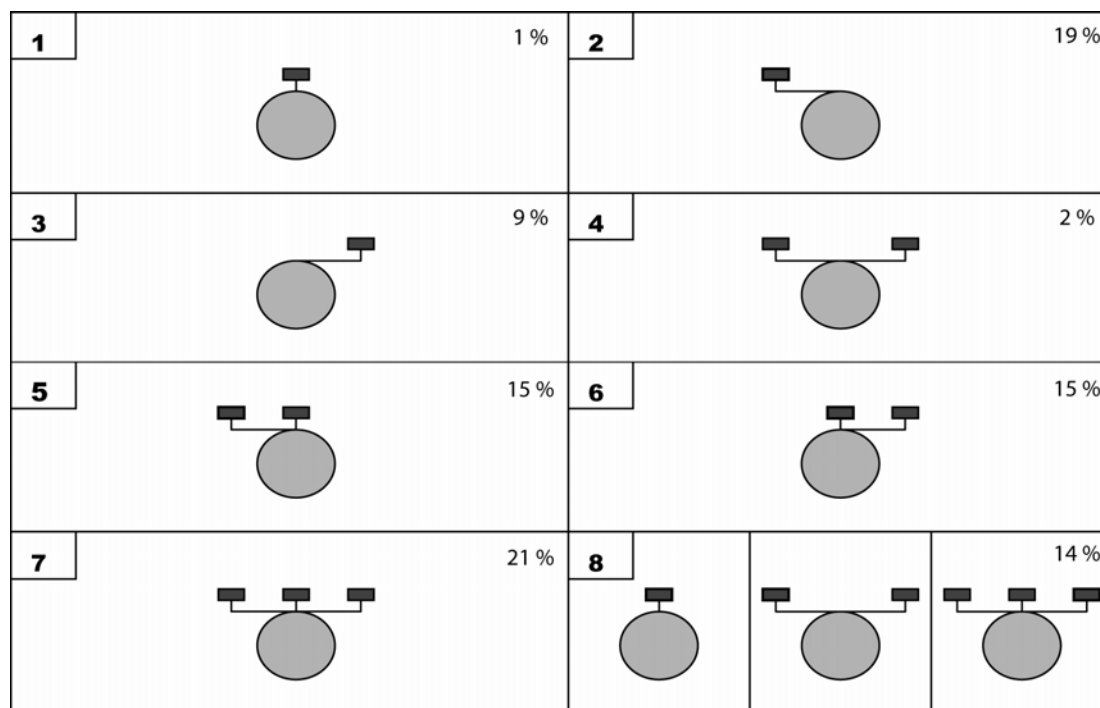


Figure 4. Simulations : pourcentage de l'aire du monde virtuel visité selon les déplacements et l'augmentation du nombre de senseurs visuels. La simulation no.8 est dynamique.

Huit simulations de 30 000 cycles ont été réalisées en variant la position et le nombre des senseurs visuels (voir Figure 4). La dernière a été faite en incrémentant le nombre de senseurs dans la même simulation (quasi-dynamique), c'est-à-dire 10 000 cycles avec un senseur visuel central, les 10 000 cycles suivants avec deux senseurs visuels symétriques et enfin les 10 000 derniers cycles d'algorithmes reflètent la portion avec trois senseurs visuels.

Un cycle d'algorithme est égal à un temps plus ou moins équivalent à une milliseconde. Ce temps est suffisant pour faire une lecture sérielle de tous les événements de l'animat et ainsi offrir une illusion de parallélisme.

3. Résultats

Les résultats obtenus actuellement reflètent l'état exploratoire du projet et sont parcellaires. On constate sur tous les graphiques (voir Figure 5) que l'animat se déplace dans le monde artificiel. Chacun des changements qui est effectué, soit par une modification du nombre ou de la position des senseurs visuels, offre un impact sur les déplacements de l'animat. Certaines configurations conduisent à des culs-de-sac, d'autres à la formation de lignes droites ou encore à des déplacements obliques. L'interprétation de ces résultats est difficile. La pondération de chacune des valeurs des paramètres du RNA devient à considérer dans l'observation simple des déplacements de l'animat. De façon générale, il n'y a pas de relation entre le nombre et la position des senseurs, et l'aire explorée dans le monde virtuel.

Ce qui est important de noter, c'est que peu importe le type de changements effectués, il se traduit invariablement par une variation comportementale, soit les déplacements de l'animat. Ces changements sont notables et non prédictibles intuitivement. Cependant, des changements dynamiques démontrés dans la dernière simulation donne à penser qu'une situation ou configuration spécifique de senseurs donnant lieu à une impasse comportementale, pourrait être différente ou résolue par un changement de conformation de cette architecture.

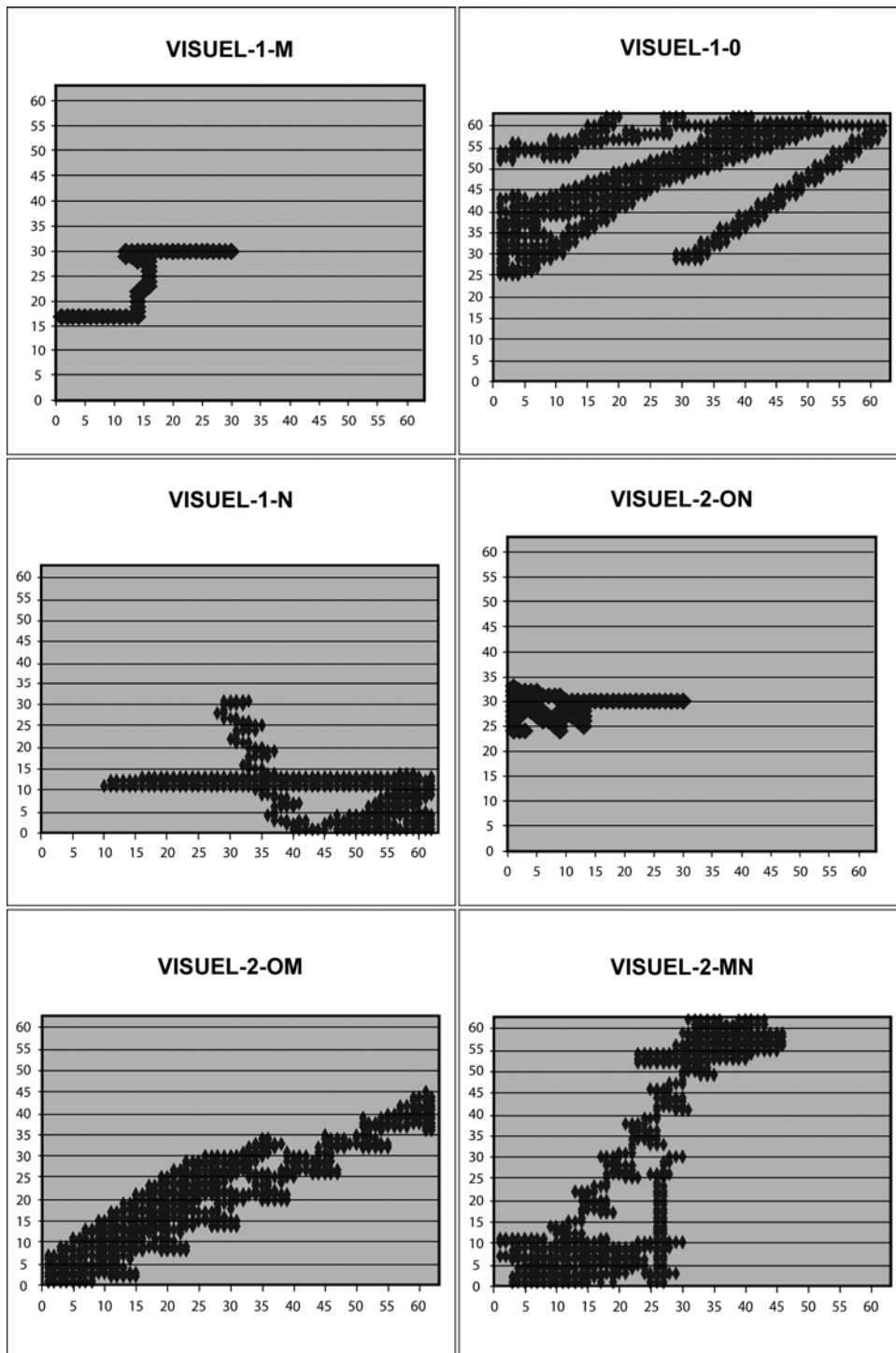


Figure 5.

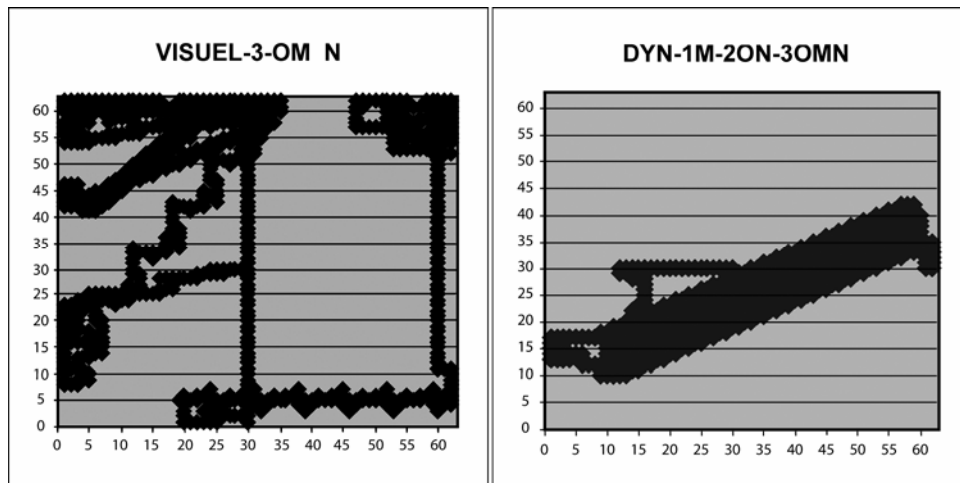


Figure 5. Suite.

4. Discussion

Tout d'abord, plusieurs bémols viennent teinter cette recherche. Ces simulations d'animats virtuels reposent sur un modèle de RNA à impulsion qui est actuellement en phase exploratoire et qui devra être finalisé. Ce qui se traduit par des paramètres en jeu qui ne sont pas encore totalement validés et que l'impact de chacun d'eux est également à ce stade, parfaitement inconnu. Également, les simulations ont été limitées à 30 000 cycles. Possiblement que des patrons de déplacements auraient pu émerger avec des essais plus grands et ainsi réduire nos conclusions de disparités entre chacune des simulations.

Toutefois, il est intéressant de constater que cet animat se déplace dans un univers virtuel avec une simple architecture neuronale intuitive et un RNA à impulsion où les informations d'un nombre minimum de senseurs et effecteurs se transigent avec une forte non-linéarité temporelle et ce, dans deux modalités sensorielles différentes. Ces déplacements se font parfois de façon linéaire et préférentiellement vers l'avant, conférant à notre animat une certaine directionnalité. De plus, cet animat réagit grâce à son appareil sensori-moteur face à la situation d'un obstacle. Il offre aussi la plupart du temps, une absence de comportement de persistance sauf dans le cas où il n'y a qu'un seul senseur visuel centré, situation où vraisemblablement, les inputs tactiles sont submergés par la force « naturelle » conduisant l'animat à avancer.

Des différents résultats obtenus, on ne peut s'empêcher de conclure que le corps possède bel et bien un impact sur le comportement global de l'agent. Que se soit en nombre ou en position

spatiale, les senseurs visuels modifient les déplacements de l'animat virtuel, au moins sur ce tronçon visible et exploré de 30 000 cycles d'algorithme. Ce qui est moins clair et peu intuitif, ce sont ces variations qui semblent importantes mais aussi, qu'elle contribue presque autant qu'une modification mineure et particulière de paramètres du RNA (résultats non-publiés).

Il serait intéressant dans un avenir prochain, d'explorer l'impact d'un nombre plus grand de senseurs visuels avec comme hypothèse de base qu'il doit exister un coefficient de saturation des effets de ceux-ci sur le comportement de l'animat. Également, il serait intéressant de varier les senseurs tactiles mais aussi les effecteurs. De plus, nous planifions d'aborder les situations totalement dynamiques où les senseurs seront littéralement greffés à des effecteurs (membre), plongeant l'animat dans un véritable terreau de possibles coordinations sensori-motrices.

Enfin, le but ultime de ces simulations est le passage vers la réalisation d'un robot physique fonctionnant en temps réel avec ce modèle original de RNA à impulsion, en espérant qu'il y aura eu un certain avantage et transfert de connaissances possibles de nos simulations artificielles.

5. Conclusion

Il nous apparaît important d'étudier en profondeur les effets des déplacements non seulement statiques mais aussi dynamiques des capteurs et effecteurs d'un agent complet en regard de son RNA et de ses comportements observables car cela pourraient nous permettre d'obtenir une mesure objective de l'effet de la variable « embodiment » impliquée dans le phénomène de l'intelligence. Cette quantification pourrait aussi nous en apprendre un peu plus sur la contribution réelle du corps dans l'acte intelligent ou tout simplement nous révéler que celui-ci est peut-être totalement indiscernable de l'acte cognitif.

6. Références

- Berthouze, L. & Tijsseling, A. (2001). Embodiment is meaningless without adequate neural dynamics. In: Pfeifer, Lungarella & Westermann (Eds.) *Proceedings of the Workshop on Developmental Embodied Cognition*. Edinburgh, UK
- Brette, R., & Guigon, E. (2003). Reliability of spike timing is a general property of spiking model neurons. *Neural computation* 15(2), 279-308.
- Brooks, R. A. (1999). *Cambrian intelligence*. Cambridge, MA : MIT Press.
- Chriesley, R. (2003). Embodied artificial intelligence. *Artificial Intelligence*, 149, 131-150.
- Chrisley, R., & Ziemke, T. (2002). Embodiment. *The Encyclopedia of Cognitive Science*. London : Macmillan Publisher.
- Clark, A. (1997). *Being There*. Cambridge, MA : MIT Press.
- Cyr, A., Boukadoum, M., & Poirier, P., (À paraître). Exploration chez un animat virtuel d'un modèle original de réseau de neurones artificiels à impulsion. Colloque d'informatique cognitive : nouvelles avenues de recherche, 72^e Congrès de l'ACFAS, Montréal, Mai 2004.
- Gerstner, W., & Kistler, W. (2002). *Spiking Neuron Models : single neurons, populations, plasticity*. Wulfram and Werner, Cambridge University Press.
- Harnad, S. (1990). The symbol grounding problem. *Physica D*, 42 : 335-346.
- Maass, W., W. & Bishop, C.M. Editors (1999). *Pulsed neural networks*. Cambridge, MA : Bradford Book, MIT Press.
- Maass, W., & Ruf, B. (1996). The computational power of spiking neurons depends on the shape of the postsynaptic potentials. NeuroCOLT technical report series.
- Oka () In : Pfeifer, Lungarella & Westermann (Eds.) *Proceedings of the Workshop on Developmental Embodied Cognition*. Edinburgh, UK
- Pfeifer R., & Scheier C. (1999). *Understanding Intelligence*. Cambridge, MA : MIT Press.
- Poirier, P. (2000). Be There, or Be Square ! On the importance of Being There. *Semiotica*, 130, 151-176.
- Roberts, P. D., & Bell, C. C. (2002). Spike timing dependent synaptic plasticity in biological systems. *Biological Cybernetics*, 87, 392-403.
- Quick, T., & Dautenhahn, K.. *Making embodiment measurable*. 4th Fachtagung der Gesellschaft für Kognitionswissenschaft ; Workshop "Embodied Mind / ALife." 28 September - 1 October, 1999 (KogWis'99). To Appear.
- Wood () In : Pfeifer, Lungarella & Westermann (Eds.) *Proceedings of the Workshop on Developmental Embodied Cognition*. Edinburgh, UK
- Ziemke, T. (2003). What's that thing called embodiment ? In : *Proceedings of the 25th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. Boston, MA : Cognitive Science Society.

Ziemke, Tom (2001a). Disentangling Notions of Embodiment. In : Pfeifer, Lungarella & Westermann (Eds.) *Proceedings of the Workshop on Developmental Embodied Cognition*. Edinburgh, UK

Ziemke, Tom (2001b). Are Robots Embodied ? In : Balkenius, Zlatev, Brezeal, Dautenhahn & Kozima (Eds.) *Proceedings of the First International Workshop on Epigenetic Robotics : Modeling Cognitive Development in Robotic Systems* (pp. 75-93). Lund University Cognitive Studies, vol. 85, Lund, Sweden.