

U N I V E R S I T E C L A U D E B E R N A R D L Y O N 1

M2 Recherche **Informatique et Applications**
filrière **Connaissance et Raisonnement**

UE:

Connaissance et Cognition

Synthèse de recherche bibliographique

Présenté par:

M. Buthod, S. Djouadi, P. El-Khoury,
S. Hernández, O. Lefevre, N. Malod-Dognin,
R. Martinez, B. Mathern, D. Ravaux, E. Vic

Thème:

Vie Artificielle

Base de travail :

**"The Homo Cyber Sapiens, the Robot Homonidus Intelligens,
and the 'artificial life' approach to artificial intelligence"**
— L. Steels, in Proceedings of *Burda Symposium*, Février 1995.

Novembre 2005

1 Introduction

Au cours de l'évolution, on peut observer de longues périodes de stagnation, comme des périodes de brusque et rapide progrès. Chez l'homme ces progrès se sont accompagnés d'une augmentation du volume du cerveau. Il semble aujourd'hui, qu'aucun nouveau saut dans l'évolution ne soit imminent. D'autre part l'homme a depuis longtemps tenté de créer des machines intelligentes, sans y parvenir vraiment. Comment doit-on appréhender l'intelligence, comment peut-on la reproduire, ou l'améliorer ? Nous évoquons l'idée suggérée par Luc Steels de provoquer l'évolution en étoffant l'intelligence humaine par des artifices technologiques. Nous abordons également les diverses tentatives de l'homme de créer des systèmes ayant un comportement intelligent. Cette approche présentant d'indéniables limites, les voies de recherche s'orientent de plus en plus vers des inspirations biologiques. Nous parlerons donc de la vie artificielle et présenterons quelques voies de recherche, ainsi que des travaux notoires dans ce domaine.

2 L'homme bionique ou *Homo Cyber Sapiens*

L'homo Cyber Sapiens est la réunion de l'homme et de la technologie [2] pour améliorer le fonctionnement et les capacités du corps humain. Cette réunion est réalisée par une *extension artificielle* qui doit soit imiter la neurophysiologie humaine pour s'intégrer directement dans le corps, soit être indépendante du corps en utilisant des interfaces permettant la synchronisation et la communication avec celui-ci. L'évolution de l'intelligence a coïncidé avec de nouvelles modalités sensorielles, de nouveaux effecteurs¹ et de nouvelles contraintes écologiques. La croissance exponentielle de la population humaine globale, l'évolution dans le monde de la communication et la croissance exponentielle de la quantité et de la disponibilité de l'information exposent aujourd'hui l'espèce humaine à des contraintes comparables à celles du passé, selon Luc Steels – on peut se demander si c'est vraiment le cas. Ainsi, le futur verra sans doute le cerveau humain fusionner avec des ordinateurs. Plusieurs axes de recherche actuels vont

¹effecteurs : organes moteurs

dans ce sens : les recherches effectuées par l'équipe de C. Schmidt (Université du Texas), qui a utilisé *les commutateurs moléculaires en cellules vivantes pour établir le contact sélectif avec des neurones humains* et celles d'un autre groupe dirigé par E. Shapiro, à l'Institut de Weizmann de la Science en Israël, qui a utilisé *les cellules vivantes pour développer un nano ordinateur biologique*. Les applications d'un nano ordinateur biologique pour augmenter des capacités humaines sont énormes. Cependant elles posent des problèmes éthiques. On peut imaginer par exemple que de tels nano ordinateurs biologiques pourraient permettre de prendre le contrôle d'un individu par une tierce partie.

3 Systèmes intelligents ou *Robot Homonidus Intelligens*

La recherche dans le domaine de l'augmentation des capacités cérébrales (via la technologie) n'en est qu'à ses débuts alors que les recherches en robotique et sur l'intelligence artificielle ont déjà 50 ans d'expérience. Ces travaux ont permis d'avancer en informatique et ainsi de trouver de nombreux programmes qui possèdent certaines des caractéristiques de l'intelligence humaine. Mais Luc Steels montre, en 1995, trois grandes limites qu'ont la plupart des systèmes intelligents. Premièrement, ils ne possèdent qu'une intelligence figée avec une possibilité d'évolution très limitée. Ensuite, ils ne sont pas matérialisés au sein d'un environnement, or ce sont les interactions avec cet environnement qui font apparaître un comportement intelligent. Enfin, les systèmes intelligents n'ont pas conscience d'eux-mêmes. Cette limite a poussé Luc Steels à se demander s'il sera un jour possible de permettre à un système intelligent d'avoir conscience de lui-même. Ce qui remet en cause, pour lui, la future existence d'un vrai agent autonome. Luc Steels conclut en affirmant que le principal obstacle au développement d'un humanoïde est le fait qu'il manque une théorie sur l'intelligence qui serait capable d'expliquer comment une intelligence peut émerger dans un environnement réel.

En 1995, Luc Steels reprochait à l'ensemble des systèmes intelligents un manque crucial d'aptitude ou de fonctionnalité nécessaire à l'émergence d'un comportement intelligent. Il existe pourtant des systèmes capables de s'adapter à des situations

nouvelles, tels que les systèmes de *Raisonnement à Partir de Cas* qui utilisent l'expérience passée pour résoudre de nouveaux problèmes. De même, les Systèmes Multi-Agents placent par définition des agents, virtuels ou robotiques, dans un environnement en leur offrant des capacités de communication et d'interaction avec celui-ci [8]. Enfin, la notion de conscience dans un système artificiel semble toujours hors d'atteinte, malgré les réflexions et recherches dans ce domaine. De plus, comme en attestent les travaux de J. McCarthy [5], fournir une conscience à un humanoïde ne suffirait pas à le rendre intelligent, il faudrait également le doter d'un subconscient, d'émotions. J. McCarthy émet une réserve quant au fait de doter les robots *intelligents* d'émotions. En effet, de tels robots seraient très facilement assimilés à des personnes, or J. McCarthy estime que la société humaine est déjà assez complexe sans l'implication de tels individus. Il semble donc que de nombreuses questions restent ouvertes quant aux facultés que doivent avoir les systèmes intelligents.

4 Vie Artificielle

La vie artificielle est un domaine en lien avec l'intelligence artificielle et d'autres disciplines comme la biologie et la physique. Cette partie a pour but d'expliquer les notions de base de la vie artificielle et de regarder le point de vue de Luc Steels sur ce domaine.

4.1 Historique et définitions

Historique La première vie artificielle date des années 40. Il s'agit des automates cellulaires créés par J. Von Neumann [4], décrivant le principe d'autoréplication basée sur un code, ceci, fait remarquable, avant la découverte de l'ADN et des mécanismes qui l'accompagnent. A la même époque, en 1948, A. Turing écrit *Intelligent Machinery* où apparaît le concept de machines dotée d'intelligence. En 1970, J. Conway propose le premier système artificiel simple qui évolue en système complexe organisé. Il s'agit du *jeu de la vie*, qui se présente sous la forme d'un système d'automates cellulaires en deux dimensions constitué d'une matrice de cellules vivantes ou mortes. Toutes les cellules sont influencées par leurs huit voisins directes. Quatre règles simples entraînent la modification de l'état de la cellule considérée, en

fonction de ses voisines. Ce système évolue jusqu'à trouver des structures stables. La tendance connexionniste, menée par M. Minsky dans les années 80, se rapproche des sciences cognitives, et se base sur des réseaux de neurones ainsi que sur des machines parallèles. En 1987, la première conférence dédiée à la vie artificielle est organisée par C. Langton, élève de A. Burks à Princeton, qui avait poursuivi les travaux de J. Von Neumann après sa mort.

Définition Il est difficile de donner une définition exacte de la vie artificielle. Une telle définition pourrait être la suivante: "*La vie artificielle est donc l'étude de systèmes vivants naturels pour en trouver des principes afin de recréer sur des supports artificiels des phénomènes biologiques à partir de rien.*" (C. Langton), ou encore celle-ci : "*La vie : état de ce qui n'est pas inerte. La vie artificielle : domaine de recherche qui cherche à expliquer la définition précédente*" (J.-P. Rennard [6]). Enfin, on pourrait définir la vie artificielle par les caractéristiques que doivent posséder les systèmes de vie artificielle : "*Ces systèmes doivent avoir été créé par l'homme, être autonomes, être en interaction avec leur environnement, faire émerger un ou des comportements. Ils peuvent aussi, mais cela n'est pas nécessaire, se reproduire et être capables de s'adapter*" (J. D. Farmer).

4.2 La vie artificielle selon Luc Steels

Luc Steels [7] est un chercheur actif dans le domaine de la vie artificielle, aussi est-il intéressant de connaître son point de vue et ses espérances dans ce domaine.

Sa vision de la vie artificielle Luc Steels soutient depuis longtemps que l'intelligence ne peut se définir avec une approche réductionniste (par analyses séparées de composants plus petits), mais plutôt à l'aide de la théorie des systèmes dynamiques (par les interactions entre chaque niveau de complexité et par des phénomènes de résonances à chaque niveau). Cette idée est appelée le holisme : *le tout est plus que la somme des parties*. Luc Steels espère que la création d'une *intelligence émergente* à l'aide de la vie artificielle conduira à l'élaboration de la théorie unifiée de la cognition supposée par A. Newell. La théorie

unifiée de la cognition serait une théorie permettant d'expliquer tous les comportements cognitifs humains. A. Newell a supposé, en 1990, que la psychologie expérimentale pouvait permettre l'élaboration d'une telle théorie.

Les axes de recherche de Luc Steels En élaborant une vie artificielle, Luc Steels espère faire émerger deux phénomènes. D'une part la différenciation qui traduit l'idée d'émergence de plusieurs classes de comportements distinctes, et d'autre part la reconnaissance qui fait référence à la capacité d'un agent intelligent à reconnaître les autres agents intelligents qui font partie de son groupe, et ceux qui n'en font pas partie. Cette reconnaissance pourrait permettre l'émergence d'un langage (reconnaissance par le langage).

4.3 État actuel de la recherche : les grands axes

Sémantique et émergence du langage Les origines du langage, et son évolution sont toujours une grande question de la linguistique. Dans ce sens, des recherches tentent d'apporter des éléments de réponse, en utilisant l'approche de la vie artificielle. En effet cette approche peut permettre de retrouver les phénomènes connus des langues naturelles. Ainsi on a pu observer des robots communiquer jusqu'à utiliser un vocabulaire commun pour désigner un même objet [7]. En plus des préoccupations linguistiques, on peut imaginer que de tels travaux auront une portée applicative, par exemple, dans les réseaux pervasifs, ou les interfaces intelligentes, où il est souvent question de négociation de protocoles de communication.

Robotique autonome Un autre axe de recherche exploré depuis quelques années, est celui de la robotique autonome, et plus particulièrement, la robotique évolutionniste. Cette approche met à profit les méthodes évolutionnistes afin de faire émerger des agents capables de s'adapter à leur environnement, mais aussi à leur propre corps. Ainsi, un certain nombre de travaux, tels ceux de Floreano et al. [3], montrent l'efficacité des algorithmes génétiques appliqués aux réseaux de neurones qui contrôlent des robots, dans le cadre d'évitement d'obstacles, mais aussi dans le cadre de relations de compétition entre individus. Ceci amène à la notion de co-évolution

et de course aux armes. Dans cette perspective des individus aux capacités différents (proie et prédateur par exemple) évoluent en compétition, chacun luttant pour sa survie, et trouvent alternativement des stratégies leurs permettant d'échapper à celles de leur adversaire.

L'approche *Animat* Cette approche s'inspire de la robotique autonome, mais aussi de l'idée de cognition incarnée et située. Les chercheurs s'intéressant à cette approche considèrent que les modèles les plus faciles à reproduire sont les animaux les plus simples et qu'avant d'essayer d'imiter l'intelligence humaine, il est nécessaire de savoir reproduire des comportements adaptatifs basiques. L'approche *animat* s'inspire donc plutôt d'animaux simples que d'un joueur d'échecs et rejettent l'analogie communément admise entre le cerveau et les ordinateurs. En effet, l'intelligence ne peut pas se penser hors de tout environnement et les interactions entre un individu et son environnement participent à la construction de facultés cognitives – c'est pourquoi les approches présentées en section 3 nous paraissent peu convaincantes, et ont d'ailleurs montré leurs limites. On peut notamment parler des travaux de l'AnimatLab du LIP6 [1], et par exemple du projet Psikharpx, visant à réaliser un rat artificiel mettant en œuvre des structures et mécanismes aussi proches de la réalité biologique du rat que possible.

4.4 Illustrations expérimentales

Expérience des têtes parlantes – L. Steels et al. (2001) Les auteurs présentent un tableau comportant des figures géométriques à deux agents

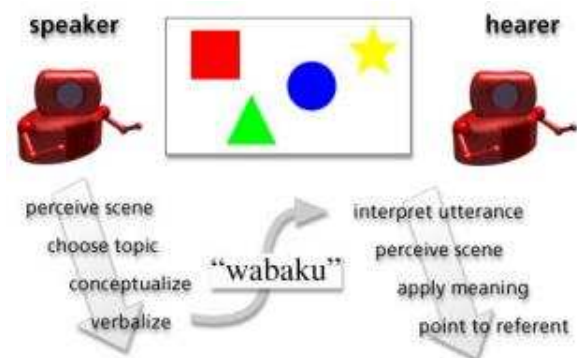


Figure 1: *Dispositif expérimental des têtes parlantes*

qui voient le tableau grâce à une caméra (voir fig.1). L'un des agents est le *speaker*, l'autre est le *hearer*. Le *speaker* ayant choisi au hasard une des figures, doit faire deviner au *hearer* quelle est cette figure, en transmettant un mot qui correspond, selon lui, à cette figure. Il y a correction si le *hearer* ne devine pas bien. Ainsi, après un certain nombre d'essais, le *hearer* et le *speaker* ont un vocabulaire partagé : un même mot pour une même figure. De plus, il y a un phénomène de *Winner-take-all* sur les mots candidats au départ : un seul mot émerge pour une seule figure. En effet, ce *jeu de langage* est effectué sur toute une population d'agents. On s'aperçoit alors qu'il y a une homogénéité des répertoires entre les agents de la population communicante.

Robotique autonome évolutionniste – D. Floreano et al. (2004) Ici, un robot Khepera (voir fig.2) est contrôlé par un réseau de neurones impulsifs (*spiking neurons*). L'objectif du robot est de naviguer dans un environnement clos où les murs sont texturés, en se basant uniquement sur deux capteurs visuels. Un algorithme génétique est utilisé pour faire évoluer la connectivité de chaque neurone, et donc la topologie du réseau. La fonction de fitness² traduit la volonté d'avoir un robot se déplaçant vite, sans heurter les murs, et en tournant le moins possible. Les résultats sont intéressants, en cela que le robot arrive à se déplacer en évitant les murs, et en maintenant une distance de sécurité avec ceux-ci. La vitesse de déplacement du robot est juste assez grande pour laisser à celui-ci le temps de réagir, compte tenu de la latence des capteurs et des effecteurs. On peut dire que le comportement du robot est adapté à ses

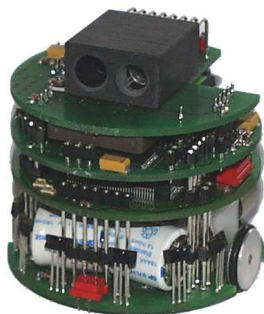


Figure 2: *robot Khepera*

²fonction de fitness : fonction permettant d'évaluer la qualité de l'individu considéré

propres perceptions. On retrouve ici l'importance de la notion de cognition incarnée et située.

5 Conclusion

Luc Steels, introduit l'approche de la vie artificielle et met en question l'état de l'art des travaux à l'époque. On découvre ainsi l'idée d'augmenter l'intelligence humaine par des artifices technologiques. Une autre idée est de tenter de copier intégralement l'intelligence humaine en explicitant toutes les connaissances (*i.e.* systèmes experts). Enfin, un certain nombre de travaux ont été présentés sur l'approche de la vie artificielle, qui semble la branche la plus porteuse, au carrefour des sciences de la cognition, de la biologie, des neurosciences, de la robotique, de l'informatique, et de la philosophie. Pour conclure nous pourrions dire, comme Luc Steels, que **l'intelligence est comme la vie ou le cosmos, ce sont des phénomènes si profonds que nous tenterons de les comprendre pendant encore plusieurs siècles.**

References

- [1] AnimatLab. <http://animatlab.lip6.fr/>. Site web de l'AnimatLab, LIP6.
- [2] K. E. Drexler. *Nanosystems. Molecular Machinery, Manufacturing and Computation*. New York: John Wiley, 1994.
- [3] D. Floreano. <http://lis.epfl.ch/index.html?content=member.php&sciper=111729>. Page personnelle, publications.
- [4] J.-C. Heudin. *La Vie Artificielle*. Paris: HERMES, 1994.
- [5] J. McCarthy. <http://www-formal.stanford.edu/jmc/>, 2002. Making Robots Conscious of their Mental States.
- [6] J.-P. Rennard. *Vie Artificielle, où la biologie rencontre l'informatique*. Vuibert Informatique, 2002.
- [7] L. Steels. <http://arti.vub.ac.be/steels/>. Articles, résultats d'expériences, etc.
- [8] N. Vlassis. A Concise Introduction to Multiagent Systems and Distributed AI.