

DE L'EMERGENCE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE: APPLICATION AUX POPULATIONS DE THONIDES

L. Dagorn

ORSTOM, Centre de Montpellier, 911 Avenue Agropolis, B.O. 5045, 34032 Montpellier Cédex 1, France

SUMMARY

Artificial Life comes from the partnership between ethology and robotics. It can be divided into two concepts:

- top-down: you create intelligent creatures, with many rules to guide their behavior;
- bottom-up: you create simple learning systems, showing emergent organized functions.

Two examples of the bottom-up approach show the importance of Artificial Life to studies of ethology. KERTHON is a model representing the behavior of a population of tunas in a desert ocean with spots of food. Some results about the demographic evolution are presented, in order to show the potential of this kind of work on the ethology of tunas.

RESUME

La vie artificielle, issue du partenariat éthologues-roboticiens, est séparée en deux courants:

- la démarche *top-down*, qui consiste à créer des êtres intelligents, avec des listes de règles pour qu'ils réagissent à toute situation;
- la démarche *bottom up*, qui revient à créer des individus élémentaires simples, qui vont s'organiser et montrer des fonctions émergentes grâce à des facultés d'apprentissage.

Deux exemples issus de l'approche *bottom up* montrent l'apport de la vie artificielle à des études d'éthologie. KERTHON est un exemple de modèle de simulation du comportement de thonidés dans un océan pauvre parsemé d'oasis de nourriture. Il est destiné à exposer les potentialités de telles études dans le cadre de travaux sur l'éthologie des thonidés.

RESUMEN

La vida artificial que surge de la asociación entre la etología y la robótica se divide en dos conceptos:

- el trámite *top-down*, que consiste en crear seres inteligentes, con relaciones de normas para que puedan reaccionar ante cualquier situación.
- el trámite *bottom-up*, que crea individuos elementales sencillos, que se organizarán y mostrarán funciones emergentes gracias a sus facultades de aprendizaje.

Dos ejemplos que se producen a partir del enfoque *bottom-up* muestran el aporte de la vida artificial a los estudios de etología. KERTHON es un ejemplo de modelo de simulación del comportamiento de los túnidos en un océano pobre con algunos oasis de nutrición. Está destinado a exponer algunos resultados acerca de la evolución demográfica, para demostrar el interés de tales modelos en el contexto de los trabajos sobre la etología de los túnidos.

Introduction

L'éthologie se définit comme l'étude et la description du comportement animal. Les éthologues désirent comprendre les règles sous-jacentes de ces comportements observés ; ils cherchent de plus en plus à construire des modèles explicatifs, voire prédictifs (LESTEL, 1991).

L'éthologie peut déjà être qualifiée de « vieille » science si on l'oppose à la robotique, recherche d'avant-garde (LESTEL, 1991). Bien qu'ils paraissent à première vue éloignés, éthologues et roboticiens s'occupent de problématiques proches et complémentaires. En effet, les roboticiens essaient de construire des créatures « intelligentes » capables de s'adapter à un environnement en perpétuel changement, alors que les éthologues observent déjà des créatures intelligentes qui se sont adaptées au monde réel (LESTEL, 1991).

Seul le point de vue de l'éthologue qui utilise les techniques de la robotique sera abordé dans cet article sur le partenariat éthologues-roboticiens. Une première application aux populations de thonidés est proposée avec le modèle KERTHON.

1. Définitions

La vie correspond à l'ensemble des phénomènes que présentent tous les organismes biologiques, animaux ou végétaux, de la naissance à la mort¹.

L'artificiel est produit par la technique, par l'activité humaine finalisée, et non par la nature².

Ces définitions opposent d'emblée l'artificiel au naturel ; la frontière est nette. Cependant, le vocabulaire utilisé par les roboticiens pour leurs créatures ressemble à celui employé par les éthologues pour leurs animaux.

Dans un sens figuré, la naissance correspond à une apparition et la mort à une destruction¹. Parler de vie est alors autorisé tant que l'on considère que celle-ci décrit l'espace de temps qui s'écoule entre l'apparition et la mort d'un individu¹. Cette définition de la vie, plus large que la précédente, permet d'utiliser ce terme à la fois pour un être vivant et pour un être artificiel.

Par exemple, à propos d'une population animale, un éthologue décrira les naissances, avec tous les phénomènes biologiques et sociaux liés. Un roboticien parlera également de la naissance d'un système, soit pour sa création directe, soit pour son apparition à partir d'autres « parents » artificiels.

L'emploi de certains termes similaires permet ainsi aux deux disciplines de se rapprocher. L'objectif n'est pas d'entretenir une ambiguïté, mais de montrer que les problèmes, exposés avec le même langage, sont finalement semblables.

Avec l'intelligence artificielle, la frontière artificiel-vivant devient hélas délibérément moins claire. L'intelligence artificielle semblait destinée à recréer voire inventer l'intelligence, propre de l'homme. Or, le but peut être différent. L'intelligence artificielle ne doit pas être uniquement considérée comme des « techniques développant des programmes informatiques complexes capables de résoudre des problèmes sans que les algorithmes de résolution soient explicitement fournis »². Le terme intelligence doit être pris dans son acception : aptitude à s'adapter à des situations nouvelles, à découvrir des solutions aux difficultés rencontrées¹. Ainsi, tout système, naturel ou artificiel, à partir du moment où il développe une adaptation à un environnement changeant, peut être qualifié d'« intelligent », sans vouloir entretenir une polémique sur l'intelligence des machines.

Aussi, à propos du partenariat éthologues-roboticiens, nous constatons un rapprochement des termes employés, sans véritable abus de langage, reflétant une similitude des problèmes posés.

2. Approche de la vie artificielle

La vie artificielle peut se diviser en deux écoles :

- l'approche *top-down*, soit de haut en bas. Les systèmes sont créés avec des listes de buts et de sous-buts, qui leur permettent de réagir aux différentes situations dans lesquelles ils peuvent se trouver. Ils sont créés pour être déjà adaptatifs. Le comportement est modélisé par une hiérarchie de contrôle. Cette technique s'appuie sur la théorie cognitive : le comportement est expliqué en terme d'intentions et de buts ;

- l'approche *bottom-up*, soit de bas en haut. Les agents sont des modules simples, de bas niveau et de même architecture. Au départ, chacun aura un comportement élémentaire. Ils ne sont pas d'emblée « intelligents », mais ils sont dotés de capacités d'apprentissage : apprentissage individuel ou évolution de générations. Ces systèmes évoluent dans un environnement et on remarque l'apparition de comportements non programmés au départ : les fonctions émergentes. A l'opposé de la théorie cognitive, celle-ci est appelée théorie behavioriste : le comportement s'explique en terme de réponse à un stimulus et de renforcement. Le renforcement intervient après le comportement, comme une récompense ou une punition.

Ainsi, faut-il penser le système dans ses moindres détails ou travailler par fonctions simples, laissant au système le soin d'apprendre par lui-même son adaptation ? Si chaque approche a ses partisans, on peut cependant avancer que l'approche *bottom-up* permet de garder plus d'objectivité, dans la mesure où le modélisateur introduit moins de connaissances que pour un modèle basé sur l'approche *top-down*. Les deux exemples décrits dans les parties suivantes s'appuient sur la démarche *bottom-up*.

3. Apprentissage individuel

Par expérience, un individu apprend à associer une action avec sa conséquence. Ainsi, il améliore son propre « programme » tout au long de sa vie.

BARTO et SUTTON (1981) ont représenté des individus capables d'apprendre à remonter un gradient d'odeur. Un environnement est simulé avec un repère central libérant une odeur. Le but du robot est d'optimiser cette odeur centrale. En positionnant quatre repères latéraux de plus faible importance, le robot n'est-il pas capable de mieux rejoindre le repère central, ou du moins plus rapidement ? Le système ignore au départ comment il doit agir pour remonter un gradient. Cependant, il est récompensé lors d'un déplacement qui l'a rapproché de l'odeur. Après quelques itérations, nous constatons que le système est resté dans un petit périmètre.

On dresse alors une carte des directions les plus probables que prendrait le système en chaque point du milieu, pour tester sa capacité à généraliser un phénomène appris. Le système s'oriente rapidement vers le centre, prouvant qu'il a appliqué ses connaissances, issues d'une zone délimitée, à un aire plus étendue. Il s'est fabriqué une carte cognitive.

¹ Petit Robert, 1991

² Le Robert, 1985

Un modèle d'orientation est ainsi reproduit. Dans le cadre d'une étude sur l'orientation de certains poissons, il est alors possible d'observer si un tel modèle peut s'appliquer. L'orientation des thons, malgré quelques travaux prometteurs (WALKER, 1984 ; WALKER *et al.*, 1984), conserve quelques mystères, qui pourraient connaître un essor nouveau par une telle approche.

4. Evolution

Par évolution, on entend un apprentissage effectué par la population entière qui évolue et change par le phénomène des reproductions.

SANNIER et GOODMAN (1987) ont créé une population d'individus dotés de fonctions simples : se déplacer, tester la présence de nourriture autour d'eux, manger et se reproduire. Une action consiste en un déplacement dans une certaine direction. L'individu teste alors la présence de nourriture autour de lui. Il s'alimente s'il le peut et ses règles de comportement lui indiquent alors la prochaine action à effectuer (nouvelle direction). Si la nourriture n'est pas présente, ses règles de comportement lui signalent une autre action (autre direction à prendre).

Une fonction énergie, variant en fonction de l'alimentation des individus, les autorise à se reproduire ou indique leur mort s'ils tombent en dessous d'un seuil de viabilité.

L'environnement est représenté comme un désert à l'intérieur duquel on trouve des zones de nourriture (appelées fermes), à cycles saisonniers. La production dépend non seulement de l'époque de l'année mais aussi du taux d'exploitation de cette zone. Si elle est sous- ou surexploitée, la production diminue. Elle dépend donc du nombre d'individus présents à un instant donné.

Au début, les déplacements semblent aléatoires, avec une forte mortalité due à l'incapacité de trouver rapidement les fermes. Après plusieurs itérations, l'évolution du système (par reproductions) montre l'émergence de deux sous-populations avec des comportements différents :

- les fermiers, qui restent toujours sur une même ferme ;
- les nomades, qui se déplacent de fermes en fermes suivant

certaines rythmes.

Une symbiose entre ces deux sous-populations apparaît nécessaire, pour optimiser la production des fermes et ainsi assurer une quantité suffisante de nourriture.

Le système, qui finit par se stabiliser, aboutit à une population homogène. Le comportement des individus est alors une combinaison des deux précédents. Suivant les circonstances, un individu choisit de devenir fermier ou nomade.

Aucun comportement élaboré n'avait été programmé ni prévu. L'évolution de la population, avec une reproduction des individus qui avaient réussi à survivre, a conduit à des fonctions émergentes.

Dans le cas d'animaux marins comme les thons, il est connu que l'observation des individus dans leur milieu pose des problèmes. Par exemple, il est difficile de construire des modèles de déplacements si ceux-ci ne sont que partiellement observés. Pourquoi ne pas créer des individus artificiels, les laisser évoluer dans un environnement semblable au milieu naturel, puis observer leur adaptation ? Dès que le milieu artificiel ressemble au milieu naturel (avec les mêmes contraintes majeures), il est alors possible de comparer deux systèmes qui se sont adaptés au même environnement. Cette démarche peut amener de nouvelles hypothèses sur les comportements qui n'ont pu être observés. Elle s'adapte aux critiques exposées par CAYRE (1990) à propos des travaux sur les

migrations des poissons. Il explique ainsi que « [...] les travaux de recherche sur les migrations de nombreuses espèces de poissons [...] n'ont pas eu les résultats escomptés pour diverses raisons :

- le manque de théories prédictives développées *a priori* permettant d'isoler des hypothèses testables et de préciser les moyens de les vérifier ;
- [...]
- la trop grande polarisation sur la précision des mouvements orientés de poissons pris individuellement ;
- le manque de collaboration entre océanographes physiciens, chimistes, halieutes et productivistes. »

Le modèle KERTHON (cf. 5. KERTHON : un exemple de simulation du comportement de bancs de thons) tient compte de ces critiques. En se fixant pour objectif de définir de nouvelles théories de comportement de thonidés, à partir de connaissances diverses à l'échelle des bancs de thons, ce modèle, ainsi que ceux de la même famille qui suivront, tente d'aborder l'éthologie des thonidés par une voie systémique.

5. KERTHON : un exemple de simulation du comportement de bancs de thons

KERTHON est un modèle de simulation du comportement de bancs de thons dans un océan pauvre parsemé d'oasis de nourriture. Inspiré du travail de SANNIER et GOODMAN (1987), ce modèle prototype a pour objectif de présenter les potentialités d'une telle démarche dans l'éthologie des thonidés.

5.1. Le milieu

Pour représenter l'océan, nous avons retenu la notion d'« océan en peau de panthère » (*Thons et environnement*, 1989). Notre milieu correspond à un désert au sein duquel émergent des zones concentriques de nourriture ou taches. La loi d'apparition des taches, leur cycle de vie, leurs quantités de nourriture et leur taille (de l'ordre de quelques dizaines de km de rayon) ont été modélisés et paramétrés, faute de données suffisantes. La zone étudiée est un carré de 1000 km de côté.

5.2. Le thon artificiel : *Thunnus computares*

Cette notion de thon artificiel a été introduite pour la première fois par STRETTA *et al.* (1991). Dans notre modèle, l'entité de base considérée est un banc de thons de 5 tonnes, sans aucune distinction spécifique. Ces bancs regroupent des individus dont la taille est comprise entre 40 et 80 cm. La population de thons artificiels est ainsi une homogénéisation de la population thonière des individus non adultes. En utilisant une unité de banc de 5 tonnes, cela permet de représenter la dynamique qui peut exister d'un point de vue comportement de population. Ainsi, un banc de 50 tonnes résultera, dans le modèle, de l'union de 10 bancs unités ($10 * 5 t = 50 t$).

Les bancs sont capables de se déplacer, de se nourrir et de se reproduire. Chaque banc est caractérisé par une fonction énergétique, qui augmente quand il se nourrit et diminue quand il ne peut s'alimenter. *Thunnus computares* meurt (et disparaît donc de la simulation) quand sa fonction énergétique descend en dessous d'un certain seuil. La programmation (en langage orienté objet) est basée sur le principe des algorithmes génétiques.

5.3. Premiers résultats

Parmi les nombreux résultats que nous pouvons étudier, nous avons choisi ici d'observer uniquement la dynamique démographique d'une population de thons dans une zone océanique donnée. Nous examinerons les résultats de deux simulations, qui diffèrent uniquement par le milieu. La population de thons est la même à l'initialisation dans les deux cas.

Nous avons créé une nouvelle unité de nourriture, le banc/jour. Le banc/jour est la quantité de nourriture nécessaire à un banc de 5 tonnes pour qu'il subviennent à ses besoins énergétiques quotidiens. Dans la première simulation, les taches ont une quantité maximale de nourriture comprise entre 10 et 50 bancs/jour, alors que dans la seconde simulation, elle est comprise entre 10 et 20 bancs/jour seulement. Le premier milieu contient donc en moyenne plus de nourriture que le second milieu.

Au départ des deux simulations, 200 bancs (soit 1000 t) sont introduits dans le milieu, avec des positions aléatoires. Les deux simulations durent 12 mois ; les bancs apparaissent dans le milieu à partir du 45^{ème} jour seulement. Dans le premier cas - beaucoup de nourriture - , il faut attendre 75 jours avant que la population s'acclimate au milieu. Puis, pendant 8 mois, la population fluctue approximativement entre 230 et 630 bancs - ce qui correspond à 1150 t et 3150 t - (fig. 1). Au contraire, la seconde simulation, avec moins de nourriture dans le milieu, amène la population à évoluer entre 40 et 170 bancs - 200 t et 850 t - (fig. 1). Le milieu est donc un facteur de régulation de cette population artificielle. Cependant, les résultats des deux simulations comportent un point commun : l'allure des courbes du nombre de bancs en fonction de la durée, entre le 100^{ème} jour et le 360^{ème} jour environ. Exceptées les valeurs absolues et les amplitudes, les deux courbes ont en effet des régimes d'évolution similaires. Les populations connaissent de continues variations démographiques. Tous les 20-30 jours environ, la tendance s'inverse. La démographie des populations ne suit pas d'évolution régulière.

5.4. Perspectives d'avenir

Avec de telles simulations, plusieurs questions se posent déjà à nous. Au dessus d'un certain seuil de nourriture dans une zone donnée, il semblerait que la démographie suive une même loi. Seule la quantité de nourriture ajuste alors le niveau de la population, ce qui sous-entend une relation directe thons-nourriture. Pour vérifier ces résultats, il faudrait comparer des zones avec des quantités de nourriture différentes, estimer la population de thons présente durant une certaine période et comparer son évolution avec de telles simulations. Ceci n'est qu'un exemple peu développé de ce qu'il serait possible de réaliser à partir de telles études.

Nous avons abordé le côté démographique, mais il y aurait d'autres domaines à étudier à partir de ces simulations. La répartition spatio-temporelle développée par *Thunnus computares*, avec des agrégations et des éclatements de bancs, représente également un sujet d'interrogation. Plusieurs hypothèses comportementales pourraient être testées.

Ce type de modèle sera développé dans le but constant de se rapprocher de phénomènes réels observés, de manière à appréhender le milieu naturel par une nouvelle approche.

Conclusion

Cette démarche peut surprendre. En effet, elle repose sur l'élaboration de modèles avant d'avoir pu obtenir des données réelles. L'ordre classique (observations réelles, construction d'un modèle) est inversé. Cependant, cet ensemble de techniques offre des possibilités de construction de modèles, alors que le système étudié est difficile à appréhender. Le modèle servira justement à observer le système naturel avec un oeil nouveau et pourra alors fournir de nouvelles orientations.

Références bibliographiques

- BARTO A.G. and SUTTON R.S., 1981. Landmark learning : an illustration of associative search. *Biological Cybernetics*. 42:1-8.
- CAYRE P., 1990. Les migrations : un comportement déclenché et guidé par l'environnement. *Recueils Documents Scientifiques. ICCAT Vol. 32(1):158-168.*
- LESTEL D., 1991. Des robots et des animaux. In *Terminal*, n°53 Avril-Mai 1991. pp 26-30.
- SANNIER A.V. and GOODMAN E.D., 1987. Genetic learning procedures in distributed environments. In Grefenstette (Ed.), *Genetic algorithms and their applications : Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms*. Lawrence Erlbaum Assoc. pp 162-169.
- STRETTA J.-M., M. PETIT, M. SIMIER et M. SPRATT, 1991. Simulation du comportement adaptatif chez les thonidés. *Recueils Documents Scientifiques. ICCAT Vol. 35(1):163-167.*
- WALKER M.M., 1984. Magnetic sensitivity and its possible physical basis in the yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. In McCleave, Arnold, Dodson and Neill (Eds.) : *Mechanisms of migration in fishes*. pp:125-142.
- WALKER M.M., J.L. KIRSCHVINK, S.-B.R. CHANG and A.E. DIZON, 1984. A candidate magnetic sense organ in the Yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. *Science*. Vol. 24, pp:751-753.
- Thons et environnement*, Paris du 12 au 15 septembre 1988. Paris : ORSTOM, 1989. 84 p. (Colloques et séminaires).

Figure 1 : Evolution de la population en fonction du nombre de jours

