

**Dynamique des systèmes complexes, systèmes multi-agents et simulation en sciences de l'entraînement : questions posées, exemples et perspectives**

Philippe Fleurance

► **To cite this version:**

Philippe Fleurance. Dynamique des systèmes complexes, systèmes multi-agents et simulation en sciences de l'entraînement : questions posées, exemples et perspectives. L'analyse de la performance de haut niveau dans son contexte ? 3èmes journées internationales des sciences du sport, INSEP, Institut national du sport et de l'éducation physique, Nov 2004, Paris, France. pp.157-158. hal-03297847

**HAL Id: hal-03297847**

**<https://hal-insep.archives-ouvertes.fr/hal-03297847>**

Submitted on 23 Jul 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## **DYNAMIQUE DES SYSTEMES COMPLEXES, SYSTEMES MULTI-AGENTS ET SIMULATION EN SCIENCES DE L'ENTRAINEMENT : QUESTIONS POSEES, EXEMPLES ET PERSPECTIVES**

*Fleurance P., INSEP, Paris (France)*

La réflexion sur les phénomènes de l'entraînement s'effectue en règle générale, à partir d'une perspective analytique dans l'optique de dégager les paramètres essentiels susceptibles d'intervenir dans les processus de production de la haute performance sportive. Traditionnellement, l'orientation de ces sciences est de fournir les moyens théoriques d'une reconstruction des phénomènes, en élaborant des lois explicitant leurs régularités sous-jacentes. L'attitude scientifique repose sur l'a priori de l'accessibilité directe et de la « transparence » du monde dans lequel nous agissons et sur le déterminisme de la cause efficiente. Cette recherche d'invariance amène à considérer que des variabilités - par exemple dues au fonctionnement ou au contexte - sont jugées sans importance, négligées voire neutralisées tant au plan conceptuel que méthodologique. La recherche de lois « universelles » en sport conduit ainsi à se centrer sur les tendances moyennes et à considérer les variabilités autour de cette tendance comme des bruits qu'il convient de réduire. Nous sommes enclin à poser comme principe que ces écarts sont en eux mêmes porteurs d'informations essentielles et ce, d'autant plus que nous approchons des limites adaptatives des capacités humaines dans la haute performance. Cette variabilité intra-individuelle, inter-individuelle, inter-situationnelle, ... largement constatée en sport de haut niveau conduit à interroger les postures standard qui prédominent en sciences du sport.

La méthode consistant à découper en éléments, à leur donner un statut absolu, à étudier le comportement de chacun de ces éléments et à tenter ensuite de retrouver le comportement global en rassemblant le tout, n'apparaît plus – dans cette perspective - appropriée. Dans un système d'action, complexe par nature, tous les constituants concourent simultanément à la dynamique du comportement global. Le comportement collectif ne peut donc être considéré comme un « individu » représentatif moyen, de même que le comportement agrégé ne correspond pas au comportement moyen de chacun de ces constituants : un des aspects les plus frappants de ces systèmes est l'émergence de propriétés globales qui ne peuvent pas être directement déduites de l'analyse des comportements locaux des composants individuels. Dans le cours d'action, les interactions entre éléments génèrent des phénomènes de variabilité et de stabilité relative que l'on a du mal à expliquer par les modèles standard. Les approches analytiques classiques trouvent ici leurs limites en raison de leur simplification excessive des modalités d'interaction homme-contexte, de l'importance qu'elles accordent à la méta – description et non au fonctionnement, à la discrétisation de variables continues, ... Ces systèmes possèdent donc des caractéristiques spécifiques non triviales et actuellement leur compréhension implique le recours à des méthodes de modélisation et de simulation pour en prédire le comportement. De manière alternative à la pensée scientifique « traditionnelle » tournée vers les déterminismes et à un grain d'analyse différent, la question concerne donc les modélisations des phénomènes complexes et adaptatifs qui en raison même de leur fonctionnement, sont sources continues d'indéterminismes, de variabilités et d'émergences.

Au delà de la réalité virtuelle et/ou de la réalité augmentée en information (par exemple pour le tir au handball : Crespin, Galin, Péroche, 2004) nous présenterons plusieurs options qui sont envisagées actuellement pour rendre compte de la modélisation de la dynamique des systèmes complexes. Un courant émergent s'appuie sur les modélisations princeps de la synergie de Haken (1984). Cela a donné lieu à des travaux dans le cadre de l'étude des coordinations motrices (Delignières, soumis ; Temprado et Montagne, 2001 ; Zanone, 1999), des phénomènes psychologiques (Guastello, 2000 ; Nowak et Vallacher, 1998) ; du stress (Neufeld, 1999), des phénomènes sociaux (Bar-Yam, 2003 ; Stepanic, 2003). Malgré leurs formalismes mathématiques avancés, ces travaux n'ont quasiment pas été utilisés à des fins de simulation dans un but d'optimisation, par exemple. Mettant en doute que les systèmes équationnels soient suffisants pour produire/simuler les comportements adaptatifs des systèmes réels, un autre courant s'oriente vers des modélisations s'appuyant sur les systèmes multi-agents (Wolfram, 2002) et de la vie artificielle (Renard, 2002). L'idée de base consiste à simuler la dynamique d'un système adaptatif construit de telle manière que les différentes étapes de son évolution font émerger des niveaux d'organisation hiérarchisés et intelligibles. Nous suivrons cette option en présentant deux méthodes qui nous semblent susceptibles de permettre des simulations des comportements adaptatifs en sport : l'une concerne les algorithmes évolutionnaires et plus particulièrement les algorithmes génétiques, l'autre concerne les automates cellulaires booléens.

Les algorithmes génétiques sont une méthode d'optimisation utile dans les cas non linéaires, largement utilisée dans les sciences de l'ingénieur (Mitchell, 1998). Cette technique part du principe évolutif de la sélection naturelle de Darwin. Celle-ci énonçait que les individus les plus aptes à survivre (les « meilleurs ») se

reproduiront plus souvent et auront plus de descendants. Ainsi, la qualité du pool génétique de la population sera augmentée, les gènes plus efficaces deviendront plus fréquents et la population s'améliore. Selon le même principe, un algorithme génétique part d'une population de solutions initiales, les fait se reproduire (les meilleures solutions ont plus de chances de se reproduire), créant ainsi la nouvelle génération de solutions. En répétant ce cycle sur plusieurs itérations, on obtient une population composée des solutions meilleures. On utilise généralement les algorithmes génétiques pour trouver la solution optimale possible après un certain nombre de générations. Devant de nombreux problèmes concrets de l'entraînement qui sont multidéterminés – par exemple la problématique du surentraînement –, le recours à des modélisations/simulations de ce type peuvent en envisageant les cas de figures possibles faciliter les prises de décision face aux dilemmes de l'entraînement.

Sur le second point, un automate cellulaire (Weisbuch, 1990) est défini par ses ensembles d'entrées et de sorties, et par la fonction de transition donnant la sortie au temps  $t+1$  en fonction des entrées et éventuellement de l'état interne (c'est-à-dire la sortie) au temps  $t$ . Nous donnerons des exemples de l'intérêt de ces modélisations en montrant à l'aide de simulateur les comportements de décisions individuelles et collective (Axelrod, 1984 ; Schelling, 1978 ; Rouchier, 2002)

En conclusion et une fois admise l'idée de modéliser les phénomènes sportifs comme des systèmes complexes interactifs nous pensons que la modélisation/simulation est une voie d'étude intéressante pour comprendre les faits sportifs qui cadrent mal avec le modèle standard. Il s'agit en fait d'adopter une attitude « d'ingénieur » qui consiste plus à chercher à optimiser le fonctionnement global d'un système donné qu'à décrire chaque composante. La description fonctionnelle de l'ensemble est parfois moins compliquée que la description des composants et de leur fonctionnement particulier. Il est possible aussi que des comportements complexes relèvent de règles simples mais itératives (Reynolds, 1987).

### Références Bibliographiques

- Axelrod, R. (1984). *Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books (Trad fr.: *Donnant donnant*, Editions Odile Jacob, 1992)
- Bar-Yam, Y. (2003). *Complex systems and sports: complex systems insights to building effective teams*, <http://necsi.org/guide/examples>
- Crespin, B., Galin, E., & Péroche, B. (2004). Réalité virtuelle, synthèse d'images et visualisation. *Revue de CFAO et d'information graphique*, 18, 2.
- Delignières, D. (soumis). Time intervals production in tapping and oscillatory motion. *Human Movement Science*
- Guastello, S.J. (2000). Non linear dynamics in psychology. *Discrete dynamics in nature and society*, 00, 1-20.
- Haken, H. (1984). *Advanced synergetics*. Berlin : Springer
- Mitchell, M. (1998). *An Introduction to genetic algorithms*. New York: MIT Press.
- Neufeld, R.W.J. (1999). Dynamics differentials of stress and coping. *Psychological review*, 106, 2, 385-397.
- Nowak, A., Vallacher, R.R. (1998). *Dynamical Social Psychology*. New York: The Guilford press.
- Renard, J.P. (2002) *Vie artificielle: où la biologie rencontre l'informatique*. Paris : Vuibert Informatique.
- Reynolds, C. (1987). *Flocks, herds and schools: a distributed behavioural models*, <http://www.red3d.com/cwr/boids/>
- Rouchier, J. (2002). Système multi-agents et modélisations des systèmes sociaux. In A.Guillot et E. Dauce (Eds), *Approche dynamique de la cognition artificielle*. Paris : Hermes, Lavoisier.
- Schelling, T.S. (1978). *Micromotives and Macrobehavior*. New York : Norton and Co, (Trad. fr.: *La tyrannie des petites décisions*, PUF, Paris, 1980)
- Stepanic, J. (2003). Notion of mediators in human interaction. *Interdisciplinary Description of Complex System*, 1, 41-53.
- Temprado, J.J. & Montagne, G. (2001). *Les coordinations perceptivo-motrices*. Paris : Armand Colin
- Weisbuch G., (1990). *Complex Systems Dynamics*. New York: Perseus Book.
- Wolfram, S. (2002). *A new kind of science*. Champain, Ill : Wolfram Media
- Zanone, P.G. (1999). Une approche écologique-dynamique de la co-ordination. In J.M. Albaret & R. Sopelsa (Eds), *Précis de rééducation de la motricité manuelle*. Paris : Solal

L'analyse de la performance de haut niveau dans son contexte ? : 3 èmes journées internationales des sciences du sport : actes / Entretiens de l'INSEP, 24-26 novembre 2004. - Paris : Institut national du sport et de l'éducation physique, 2004. - pp. 157-158