

Complexité, dégénérescence et apprentissage

Didier Delignières

EA 2991 Movement to Health, Université Montpellier 1

Un certain nombre de travaux ont mis en évidence la présence de corrélations à long-terme, ou bruit $1/f$, dans les séries de performance produites lors de l'exercice répété d'une tâche (Delignières & Marmelat, 2013). Ces travaux étudient les séries temporelles produites, au moyen de méthodes d'analyse spécifiques (*Detrended Fluctuation Analysis*, *Rescaled Range Analysis*, etc.) qui visent à identifier et à quantifier la structure temporelle de leurs fluctuations. Les corrélations à long-terme sont caractérisées par la présence de dépendances dans les séries qui opèrent simultanément selon de multiples échelles temporelles.

Il est depuis longtemps admis que la présence de corrélations à long-terme est liée à la complexité du système en charge de la production de la performance. De multiples hypothèses ont été avancées pour expliquer cette relation entre corrélations à long-terme et complexité (Diniz et al., 2011). Nous avons récemment suggéré que ces corrélations pourraient être liées au niveau de dégénérescence des réseaux constitutifs du système (Delignières, Marmelat & Torre, 2011).

La dégénérescence, ou redondance partielle, est une propriété omniprésente dans les systèmes biologiques, caractérisée par le fait des éléments structurellement différents peuvent réaliser des fonctions similaires dans certaines conditions, mais aussi des fonctions différentes dans d'autres conditions. La dégénérescence est essentielle pour doter les systèmes de la robustesse et de la flexibilité nécessaire à leur pérennité, et semble intimement liée à la notion même de complexité (Whitacre, 2010).

Nous avons proposé un modèle susceptible de simuler cette propriété de dégénérescence. Ce modèle est constitué de réseaux intercorrelés, chaque réseau permettant de produire une performance similaire. La dégénérescence du modèle est déterminée par le degré de corrélation entre réseaux voisins. Des simulations numériques ont montré que plus le système était dégénérescent, plus les séries qu'il produisait étaient corrélées, et qu'un seuil minimal de dégénérescence était nécessaire pour que le système produise des corrélations à long-terme (Delignières, Marmelat & Torre, 2011).

Des travaux récents ont montré qu'avec la pratique, dans une tâche de pointage, on observait un accroissement progressif des corrélations à long terme dans les séries de performance (Wijnants, Bosman, Hasselman, Cox, & Van Orden, 2009). Ce résultat suggère que la pratique et l'apprentissage seraient caractérisés par un accroissement de la dégénérescence des réseaux de neurones sous-tendant la production de la performance, et donc de la complexité du système. Cette hypothèse questionne les théories classiques de l'apprentissage, qui voient plutôt l'apprentissage comme un processus de simplification et de mise en ordre du système. Cette conception de l'apprentissage comme construction progressive de la complexité, permet de mieux

comprendre les relations souvent contradictoires entre stabilité et variabilité, reproductibilité et flexibilité, qui caractérisent l'habileté motrice.

- Delignières, D., & Marmelat, V. (2013). Theoretical and methodological issues in serial correlation analysis. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 782, 127–48.
- Delignières, D., Marmelat, V. & Torre, K. (2011). *Degeneracy and long-range correlation: A simulation study*. The International Conference SKILLS 2011, BIO Web of Conferences, 1, 00020, <http://dx.doi.org/10.1051/bioconf/20110100020>
- Diniz, A., Wijnants, M. L., Torre, K., Barreiros, J., Crato, N., Bosman, A. M. T., ... Delignières, D. (2011). Contemporary theories of 1/f noise in motor control. *Human Movement Science*, 30(5), 889–905.
- Whitacre, J. M. (2010). Degeneracy: a link between evolvability, robustness and complexity in biological systems. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 7, 6.
- Wijnants, M. L., Bosman, A. M. T., Hasselman, F., Cox, R. F. A., & Van Orden, G. C. (2009). 1/f Scaling in Movement Time Changes with Practice in Precision Aiming. *Nonlinear Dynamics Psychology and Life Sciences*, 13(1), 79–98.