

Calculateur inspiré par le cerveau : démonstration en photonique par une dynamique non linéaire à retard

Laurent Larger, Miguel C. Soriano, Daniel Brunner, Ingo Fischer, & Claudio R. Mirasso

FEMTO-ST / dépt. Optique, UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon Cedex, France.
IFISC, CSIC, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca, Espagne.

`laurent.larger@univ-fcomte.fr`

Les travaux de recherche dans le domaine des calculateurs à réseau de neurones, et ceux des sciences cognitives du cerveau, ont mis à jour indépendamment au début des années 2000 de nouveaux principes permettant de disposer d'une machine de calcul universelle. Cette approche de conception d'un calculateur est fondamentalement différente des machines de Turing implémentées actuellement dans nos ordinateurs. Elle est de plus basée sur les propriétés des systèmes dynamiques complexes (typ. des réseaux de neurone), qui constituent dans ces machines de calcul l'élément central appelé le "Réservoir". Ces nouveaux calculateurs sont actuellement référencés dans la littérature de manière générique sous le terme *Reservoir Computing*, mais les premières publications ont proposé les termes "Echo State Network" [1], ou encore "Liquid State Machine" [2].

À ce jour, très peu de réalisations pratiques de ces calculateurs ont été tentées, et les recherches sont essentiellement menées sur des plans théoriques et numériques, en simulant des *Réservoirs* correspondant à des réseaux complexes de nœuds dont les dynamiques sont définies par des modèles simples de non linéarités "sigmoïdales", ou bien de manière plus complexe, par des modèles plus proches des neurones biologiques. Le problème de la réalisation technologique efficace d'un "Reservoir Computer" est donc une question essentielle dans le développement pratique de cette nouvelle architecture de machine de calcul. C'est précisément l'objet du projet Européen PHOCUS [6] sur lequel nous travaillons depuis Janvier 2010, avec pour but d'explorer le potentiel de "Réservoirs" photoniques, envisagés à partir de la grande complexité d'une famille particulière de systèmes dynamiques bien connus en optique [3,4,5], les dynamiques non linéaires à retard.

Nous proposons de présenter les principes de base du "Reservoir Computing", et de montrer en quoi les dynamiques à retard sont potentiellement intéressantes pour remplir le rôle du "Réservoir". Nous présenterons ensuite comment nous avons réalisé ce "Réservoir" sur la base d'une dynamique électro-optique à retard, et quels critères nous avons utilisés pour ajuster les paramètres de ce système dynamique. Le potentiel calculatoire de ce type de "Réservoir" a ensuite été évalué par un test standard, la reconnaissance de chiffres prononcés. Malgré le manque de maturité de notre approche, des résultats dépassant l'état de l'art ont été obtenus avec cette première réalisation photonique d'une *machine à état liquide*, avec une reconnaissance parfaite sur l'ensemble des 500 chiffres prononcés de la base de donnée du test standard.

Références

1. H. JAEGER, The "echo state" approach to analysing and training recurrent neural networks, *Technical Report GMD 148*, German National Research Center for Information Technology, (2001).
2. W. MAASS, T. NATSCHLÄGER, H. MARKRAM, Real-Time Computing Without Stable States : A New Framework for Neural Computation Based on Perturbations, *Neural Comput.* **14**, 2531–2560 (2002).
3. K. IKEDA Multiple-Valued Stationary State and its Instability of the Transmitted Light by a Ring Cavity System, *Optics Commun.* **30**, 257–261 (1979).
4. B. DORIZZY, B. GRAMMATICOS, M. LE BERRE, Y. POMEAU, E. RESSAYRE ET A. TALLET, Statistics and dimension of chaos in differential delay systems, *Phys. Rev. A*, **35**, 328-339 (1986).
5. L. LARGER, J.M. DUDLEY, "Optoelectronic chaos", *Nature, News & Views*, **465**, 41–42, (6 May 2010).
6. C.R. MIRASSO *et al.*, towards a PHOtonic liquid state machine based on delay-CoUpled Systems, <http://ifisc.uib-csic.es/phocus/index.php> (2010).