

# Reservoir Computing ultra-rapide basé sur une dynamique non-linéaire électro-optique en phase

A. Baylon-Fuentes<sup>1</sup>, R. Martinenghi<sup>1</sup>, I. Zaldivar-Huerta<sup>2</sup>, B. A. Marquez<sup>1</sup>, V. S. Udaltsov<sup>1</sup>, M. Jacquot<sup>1</sup>, Y. K. Chembo<sup>1</sup> & L. Larger<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FEMTO-ST / dpt. Optique, UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon Cedex, France.

<sup>2</sup> INAOE, Puebla, Mexique

antonio.baylon@femto-st.fr

Le Reservoir Computing (RC) est un paradigme de calcul inspiré du cerveau humain permettant de traiter dynamiquement un flot d'information. Il est originellement connu sous les noms *Echo State Network* [1] ou *Liquid State Machine* [2]. Ces principes de base sont dérivés des techniques du Recurrent Neural Network (RNN) et de l'apprentissage machine. Longtemps étudiés numériquement, ils ont récemment attirés l'attention de la communauté du non-linéaire grâce à des mises en œuvre expérimentales utilisant les systèmes dynamiques à retard optique et électronique [3,4].

Notre approche des RC consiste à utiliser la grande dimensionalité des dynamiques non-linéaires à retard afin d'émuler temporellement la dimension spatiale des architectures à réseaux de neurones traditionnels. En suivant ces principes, nous reportons ici une réalisation expérimentale de RC s'appuyant sur une dynamique non-linéaire à retard en phase optique. Le montage est construit principalement en utilisant des composants telecom standards, ce qui permet ainsi la possibilité d'exploiter la très large bande passante typiquement disponible, résultant ainsi en une vitesse de traitement de l'information jusqu'alors inégalée. Le système dynamique à retard est un oscillateur optoélectronique en phase optique dont la fonction de transfert obéit à une équation intégrale différentielle non-linéaire à retard, dans laquelle la non-linéarité est obtenue via un interféromètre de Mach-Zehnder à fibre déséquilibrée (MZI)  $f_{NL}[\phi(t)] = \beta \cdot \{\cos^2[\phi(t) - \phi(t - \delta T) + \Phi_0] - \cos^2 \Phi_0\}$  (issu d'un DPSK, un démodulateur standard des télécommunications optiques par codage binaire différentiel en phase) :

$$\frac{1}{\theta} \int_{t_0}^t x(\xi) d\xi + x(t) + \tau \frac{dx}{dt}(t) = f_{NL}[\phi(t - \tau_D)], \quad (1)$$

où  $\theta$  et  $\tau$  sont les temps caractéristiques limitant le filtre passe-bande de la contre-réaction électronique, et  $\tau_D$  représente le retard temporel total impliqué dans la contre-réaction. La phase  $\phi$  comprend pratiquement une composante récurrente proportionnelle à  $x$ , mais aussi une composante correspondant à l'information à traiter par le RC et donc encodant le calcul à effectuer.

Pour quantifier les performances de calcul de notre système expérimental, nous avons encodé un test standard de reconnaissance vocale (base de données TI46 de Texas Instrument) sur des chiffres de zéro à neuf prononcés par différentes personnes. Ce test de classification a pu être passé avec succès (taux d'erreur de mots reconnus de 0.04% de l'ordre de l'état de l'art), avec en plus des vitesses de traitement autour de 1 million de mots par seconde.

## Références

1. H. Jaeger and H. Haas, *Science*, vol. 304, pp. 78–80, April 2004.
2. W. Maass, T. Natschläger, and H. Markram, *Neural Computation*, vol. 14, no. 11, pp. 2531–2560, 2002.
3. L. Appeltant, M. C. Soriano, G. Van der Sande, J. Danckaert, S. Massar, J. Dambre, B. Schrauwen, C. R. Mirasso, and I. Fischer, *Nature Commun. (London)*, vol. 2, pp. 1–6, September 2011.
4. L. Larger, M. C. Soriano, D. Brunner, L. Appeltant, J. M. Gutierrez, L. Pesquera, C. R. Mirasso, and I. Fischer, *Opt. Express*, vol. 20, pp. 3241–3249, January 2012.