

Du neurone au réseau de neurones : entre modélisation physique et informatique.

Aujourd'hui, nombreuses sont les recherches scientifiques qui visent à comprendre le fonctionnement du cerveau. Resté longtemps mystérieux, celui-ci apparaît comme le défi du XXI^e siècle. La modélisation se révèle être un outil indispensable pour progresser sur les connaissances relevant des neurosciences, en vue d'une meilleure compréhension du cerveau et de ses mécanismes fondamentaux. Toutefois, plusieurs approches sont envisageables. Quels sont alors les choix à privilégier et les contraintes à respecter afin de réaliser la meilleure modélisation possible ?

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

- BRISARD Victoria

Positionnement thématique (étape 1)

PHYSIQUE (Physique Interdisciplinaire), MATHÉMATIQUES (Analyse), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (étape 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Modélisation</i>	<i>Modelling</i>
<i>Potentiel d'action</i>	<i>Action potential</i>
<i>Soliton</i>	<i>Soliton</i>
<i>Réseau de neurones</i>	<i>Neural network</i>
<i>Perceptron</i>	<i>Perceptron</i>

Bibliographie commentée

Depuis des décennies, la communauté scientifique, dont l'ICM (Institut du Cerveau et de la Moelle épinière)[1], tente de comprendre le fonctionnement neuronal qui reste très mystérieux encore aujourd'hui de par sa complexité. Le cerveau est au centre des recherches scientifiques puisqu'il est l'organe qui donne un sens à notre existence, nous permettant d'interagir, de réfléchir ou encore de penser. Même si les recherches restent inabouties à ce jour, elles sont bénéfiques aussi bien dans le domaine de la science que dans le domaine médical. En effet, une équipe de chercheurs de l'ICB (Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne) a récemment prouvé la présence d'ondes solitaires (ou solitons) dans les protéines, qui sont les causes du développement des maladies de Parkinson et d'Alzheimer[2]. En outre, cette étude est d'autant plus importante qu'on a pu s'apercevoir que le cerveau humain aurait la capacité de faire 10^{15} à 10^{19} opérations logiques à la seconde, alors qu'un processeur, tel que le Pentium IV, ne serait qu'à 10^4 opérations logiques par seconde[3].

Ainsi, notre étude comportera deux approches différentes du système neuronal[4] : l'une, à l'échelle

du neurone, se basant sur une modélisation biophysique à partir d'une analogie à un circuit RLC parallèle et l'autre, à plus grande échelle, visant à comprendre le fonctionnement du cerveau en tant que réseau de neurones.

La modélisation biophysique s'applique à un neurone afin d'en comprendre le fonctionnement. Celle-ci passe par une analogie entre le potentiel d'action et un circuit RLC parallèle qui repose sur le modèle de Hodgkin et Huxley, basé sur l'axone géant du calamar et mis au point en 1952[5]. Cette approche permet d'aboutir à une équation temporelle non linéaire régissant la propagation du potentiel d'action dans le neurone. En outre, une étude spatiale[4] montre que le déplacement de l'onde est aussi régi par l'espace. Ceci nous permet de mettre à jour le couplage spatio-temporel de l'onde créée et de dire qu'il s'agit d'une onde progressive. Ainsi, nous pouvons la comparer à une onde solitaire caractéristique des milieux non linéaires. En effet, un soliton se propage sans se déformer dans un milieu non linéaire et dispersif[6]. Ce couplage permet de mieux cerner l'aspect non linéaire ainsi que le désordre dû au caractère solitaire de l'onde[7].

En ce qui concerne l'étude des réseaux de neurones, deux démarches sont possibles[8]. Soit on s'intéresse à l'analyse logique des tâches qui relèvent de la cognition humaine, et on tente de la reproduire dans des programmes (cette démarche qu'on appelle cognitivisme a été privilégiée pour l'Intelligence artificielle). Ou alors, on s'intéresse à la façon dont "la pensée fonctionne dans le cerveau". De cette approche, appelée connexionnisme, découle l'étude de réseaux de neurones formels. Au cours de ce travail, nous nous concentrerons particulièrement sur cette deuxième démarche pour laquelle il existe de nombreux modèles de réseaux de neurones formels, qui dépendent chacun des caractéristiques du cerveau que l'on veut mettre en avant, et de la pertinence biologique que l'on veut leur attribuer. Nous nous intéresserons au modèle qui fut mis en place par Franck Rosenbalt en 1959[8,9] : il s'agit du Perceptron[10]. Ce modèle s'inspire de l'architecture du neurone et considère que celui-ci reçoit de chacun de ses neurones voisins, un message, auquel on attribue un certain poids. On applique aux messages reçus une fonction seuil pour déterminer le message de sortie, lequel est ensuite destiné à d'autres neurones. Plusieurs couches de neurones peuvent fonctionner sur ce principe : il s'agit du perceptron multi-couches. Dans les années 80, de nombreuses études sont venues consolider la puissance du modèle suite à l'établissement de l'algorithme de rétropropagation du gradient dans les réseaux multicouches[9,10]. Utilisés comme heuristique, les réseaux de neurones formels permettent de traiter un problème donné sur la base d'un apprentissage par l'expérience. Nous verrons que la reconnaissance des caractères est un domaine dans lequel les réseaux de neurones sont très efficaces.

Problématique retenue

Il s'agit de comprendre comment se propage l'information, que ce soit au niveau du neurone uniquement ou au niveau de l'intégralité du cerveau afin de pouvoir le reproduire.

Objectifs du TIPE

L'étude qui me concerne repose sur l'aspect physique de la modélisation, se concentrant sur l'échange d'information entre deux neurones uniquement.

- Déterminer les paramètres permettant d'obtenir une onde solitaire.
- Réaliser une simulation numérique des équations non-linéaires régissant le déplacement du potentiel d'action.

Abstract

The aim of the survey was to understand how propagates the potential action in the axon. At first, I wanted to study the propagation itself through the empirical Hodgkin and Huxley model. But it appeared clearly that it couldn't explain everything that is happening in the axon. That is why I turned my researches to thermodynamical parameters that helped me to prove that the message propagates with a constant velocity, a movement range and without attenuation : this wave is known as soliton.

Références bibliographiques

- [1] INSTITUT DU CERVEAU ET DE LA MOELLE ÉPINIÈRE : Comprendre le cerveau et son fonctionnement : <http://icm-institute.org/fr/actualite/comprendre-le-cerveau-et-son-fonctionnement/>
- [2] LABORATOIRE INTERDISCIPLINAIRE CARNOT DE BOURGOGNE : Existence de solitons dans les protéines : <http://recherche.u-bourgogne.fr/actualites/une-equipe-de-l-icb-prouve-l-existence-de-solitons-dans-les-proteines.html>
- [3] ADAM OUDAD : Les réseaux de neurones : de la modélisation à la reproduction : <http://aoudad.perso.centrale-marseille.fr/TPE/>
- [4] ROMAIN BRETTE : Modèles Impulsionnels de Réseaux de Neurones Biologiques : <http://romainbrette.fr/WordPress3/wp-content/uploads/2014/06/these.pdf>
- [5] CORALIE RENAULT : La modélisation mathématique de l'activité d'un neurone : <https://perso.univ-rennes1.fr/coralie.renault/L3.pdf>
- [6] REVATHI APPALI-URSULA VON RIENEN, THOMAS HEIMBURG : A Comparison of the Hodgkin-Huxley Model and the Soliton Theory for the Action Potential in Nerves : http://www.membranes.nbi.dk/pdf/2012_AppalivanRienenHeimburg_APLBL.pdf
- [7] THE JOHNS HOPKINS UNIVERSITY : Solitons in cell membranes : *Physical review E, Volume 51, Number 4*
- [8] FRANÇOIS DENIS-RÉMI GILLERON : Apprentissage automatique : les réseaux de neurones : <http://www.grappa.univ-lille3.fr/polys/apprentissage/sortie005.html>
- [9] ARROUY WILLIAM : Les réseaux de Neurones : <http://william.arrouy.free.fr/neural/neu3.html>
- [10] UNIVERSITÉ PAUL SABATIER : TP5 : Perceptron : <http://www.math.univ-toulouse.fr/~xgendre/ens/m2se/M2SE-TP5.pdf>