

**Résumé de la publication**  
**“Memory Retention and**  
**Spike-Timing-Dependent Plasticity”**  
(Guy Billings et Mark C. W. van Rossum, 2009)  
*<https://www.physiology.org/doi/pdf/10.1152/jn.91007.2008>*



Neurosciences computationnelles  
Parcours SISN

## Objectifs de la publication :

Les deux chercheurs ayant écrit cet article avaient pour objectif de comprendre le rôle des synapses dans les processus de mémoires à court et long termes chez l'humain. La propriété de plasticité des synapses semble en effet aller à l'encontre de ce phénomène.

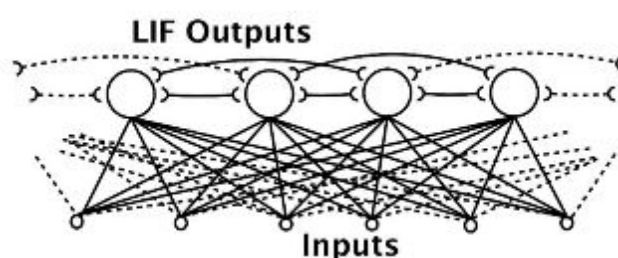
Pour atteindre cet objectif, ils ont modélisé, par le biais d'un réseau de neurones, des systèmes synaptiques présentant différentes propriétés de plasticité, et ont étudié l'influence de types de signaux simulant une activité intersynaptique, dont la temporisation semble être l'élément-clé dans l'évolution de la plasticité synaptique et la mémorisation des informations.

## Choix du système de modélisation et de ses paramètres :

Les modèles de plasticité dépendant de la temporisation des signaux pré-synaptiques et post-synaptiques sont appelés STDP (*Spike-Timing-Dependent Plasticity*). Deux d'entre eux sont retenus par les chercheurs pour leurs propriétés : le *non-weight-dependent STDP* (nSTDP) et le *weight-dependent STDP* (wSTDP).

En effet, une synapse a, dans le cerveau humain, des sortes de pondération relativement à son activité. Ainsi, une synapse ayant un poids fort signifie qu'elle échange régulièrement des informations avec le neurone auquel elle est reliée. Le nSTDP ne prend pas en compte ce paramètre, tandis que le wSTDP le fait.

Les chercheurs ont alors simulé plusieurs neurones stimulés par 800 synapses chacun, sous forme d'un réseau de neurones à une couche. L'information reçue par un neurone (sous forme d'impulsions électriques) sera envoyée en sortie uniquement lorsque le potentiel global des stimulations dépassera une certaine valeur seuil : ce sont des neurones "*integrate-and-fire*". Par ailleurs, les neurones sont connectés de façon à tous être dans les mêmes conditions de fonctionnement (une périodicité des connexions d'entrée est établie). On retiendra notamment l'existence de connexions dites "latérales" entre les différents neurones du réseau.



## Résultats :

Avant de réaliser les études sur le réseaux de neurones, des expériences ont été réalisées sur un neurone avec les deux types de modèles (le nSTDP et le wSTDP). Les poids des synapses sur un neurone sont soit majoritairement très forts, soit majoritairement très faibles pour le modèle nSTDP (Figure B). Contrairement à ce dernier, le modèle wSTDP présente une proportion de poids forts égale à la proportion de poids faibles ( Figure C ).

De plus, le temps de conservation des poids est largement plus important pour le modèle nSTDP ( Figure F ) que pour le modèle wSTDP ( Figure G ). Cette conservation des poids est due aux très fortes valeurs de poids du nSTDP par rapport à celles du wSTDP.

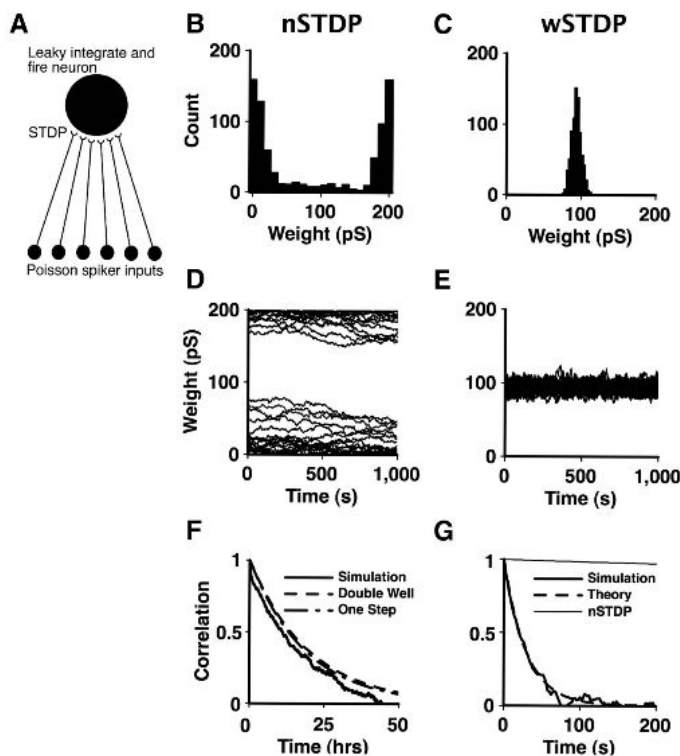


FIG. 1. Weight distributions and weight persistence in single-cell nonweight-dependent and weight-dependent spike-timing-dependent plasticity (nSTDP and wSTDP) models. *A*: diagram of the single-neuron simulation. An integrate-and-fire neuron receives 800 Poisson inputs. *B*: the equilibrium weight distribution reached when the synapses are subject to the nSTDP rule. *C*: the equilibrium distribution in the case of the wSTDP rule. *D*: the evolution with time of 30 nSTDP weights randomly sampled from the distribution in *B* after equilibrium has been established. *E*: as *D* but for the wSTDP. *F*: the temporal autocorrelation of the nSTDP weights vs. time (—). The line labeled double well is an approximate calculation of the autocorrelation as found by considering nSTDP as diffusion in a double-well potential. The curve labeled one step is an approximate calculation of the autocorrelation (see APPENDIX). *G*: the temporal autocorrelation of wSTDP weights. The simulated autocorrelation (—) and the theoretical autocorrelation function (- - -). The nSTDP simulation data are replotted on this time scale for comparison (curve labeled nSTDP); the wSTDP autocorrelation decays >2,200 times more rapidly.

Afin d'obtenir des résultats cohérents avec ceux d'autres chercheurs, il a fallu régler les temps d'acquisition et d'oubli des synapses.

Dans le cas du wSTDP, la relation de poids est similaire aux résultats habituels, que l'on augmente ou diminue les temps d'acquisition ou de rejet. Dans le cas du nSTDP, les variations de temps d'acquisition ou d'oubli entraînent une perte de la bimodalité des poids. Si l'on conserve la bimodalité des poids, une incohérence apparaît entre la variable de rejet et l'autocorrélation.

Les chercheurs mesurent également la mémoire des synapses. Autrement dit, les synapses se souviennent-elles de leur relation avec le neurone, et dans quelle mesure un nouveau souvenir va-t-il influencer la force du lien entre un neurone et une synapse ? Cela revient à évaluer l'influence d'une information étant passée par les synapses sur le poids de ces dernières au cours du temps. Mathématiquement, cela consiste à étudier l'autocorrélation d'un vecteur représentant l'état des poids d'un neurone à deux instants donnés, tandis que des informations auront circulé à travers les synapses entre temps. Parallèlement, des variables telles que l'inhibition des connexions dites "latérales" entre neurones sont modifiées afin d'étudier leur influence sur le phénomène.

Pour un modèle wSTDP, l'inhibition des connexions latérales entre neurones permet d'établir une forte compétition des poids des synapses des neurones considérés. A l'inverse, un modèle nSTDP présente intrinsèquement une forte compétition entre les poids des synapses des neurones ; cette inhibition latérale n'est donc pas nécessaire, mais cela ne signifie pas qu'elle est inutile, puisqu'elle permet notamment d'aiguiser la sensibilité des champs récepteurs des neurones.

La perturbation des poids des synapses par des stimuli, quant à elle, présente des résultats variables. La fréquence des stimuli est un élément essentiel à l'efficacité de la perturbation (dont l'objectif est de faire oublier aux neurones ce qu'ils ont retenu, autrement dit, d'annuler l'autocorrélation du réseau). En effet, les poids des synapses sont insensibles à des stimuli de basse fréquence. En général, la fréquence à partir de laquelle les perturbations commencent à être efficaces est d'environ 50Hz.

Un système de mise en sécurité est cependant visible dans les neurones suivant le modèle wSTDP, à condition toutefois que l'inhibition latérale soit activée (*cf image ci-à droite*) : si le stimulus n'est pas structuré, certains neurones s'éteignent et ne présentent aucune réaction à celui-ci. Si les stimuli sont structurés et suivent un modèle d'informations similaire à celui utilisé pour l'apprentissage des champs récepteurs (i.e. des poids les plus stables des synapses du neurone), le système de mise en sécurité ne fonctionne plus, et aucun neurone ne s'éteint complètement : la décorrélation du système est totale. Cela est dû à certains neurones dont la fréquence de fonctionnement est plus élevée que d'autres : ces neurones sélectionnent en effet moins bien les informations qu'ils doivent traiter. Ce problème n'est pas connu du modèle nSTDP, dont la structure intrinsèque, une fois de plus, présente une forte compétition entre les poids et, de fait, une stabilité importante.

