

Soutenance de thèse de doctorat en Informatique

# VISUALISATION INTERACTIVE DE TRACES DE SIMULATION DE RÉSEAUX NEURONES MATÉRIELS À IMPULSIONS

Hammouda Elbez

20 Juin 2022

## Superviseurs

**Pr. Kamel Benhaoua**

Université de Mascara, Algérie

**Pr. Pierre Boulet**

Université de Lille, France

## Invité

**Dr. Philippe Devienne**

CNRS, France

## Examinateurs

**Dr. Ihcen Alouani**

Université Polytechnique Hauts-de-France, France

**Pr. Fatima Debbat**

Université de Mascara, Algérie

**Pr. Gilles Sassatelli**

CNRS, France

**Pr. Sidi Mohammed Benslimane**

Ecole Supérieure en Informatique de Sidi Bel Abbès, Algérie

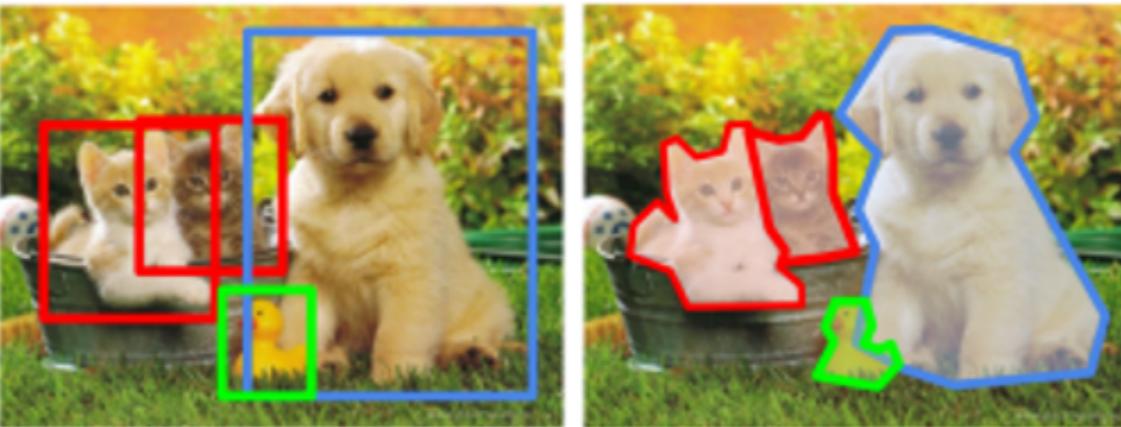


# INTRODUCTION

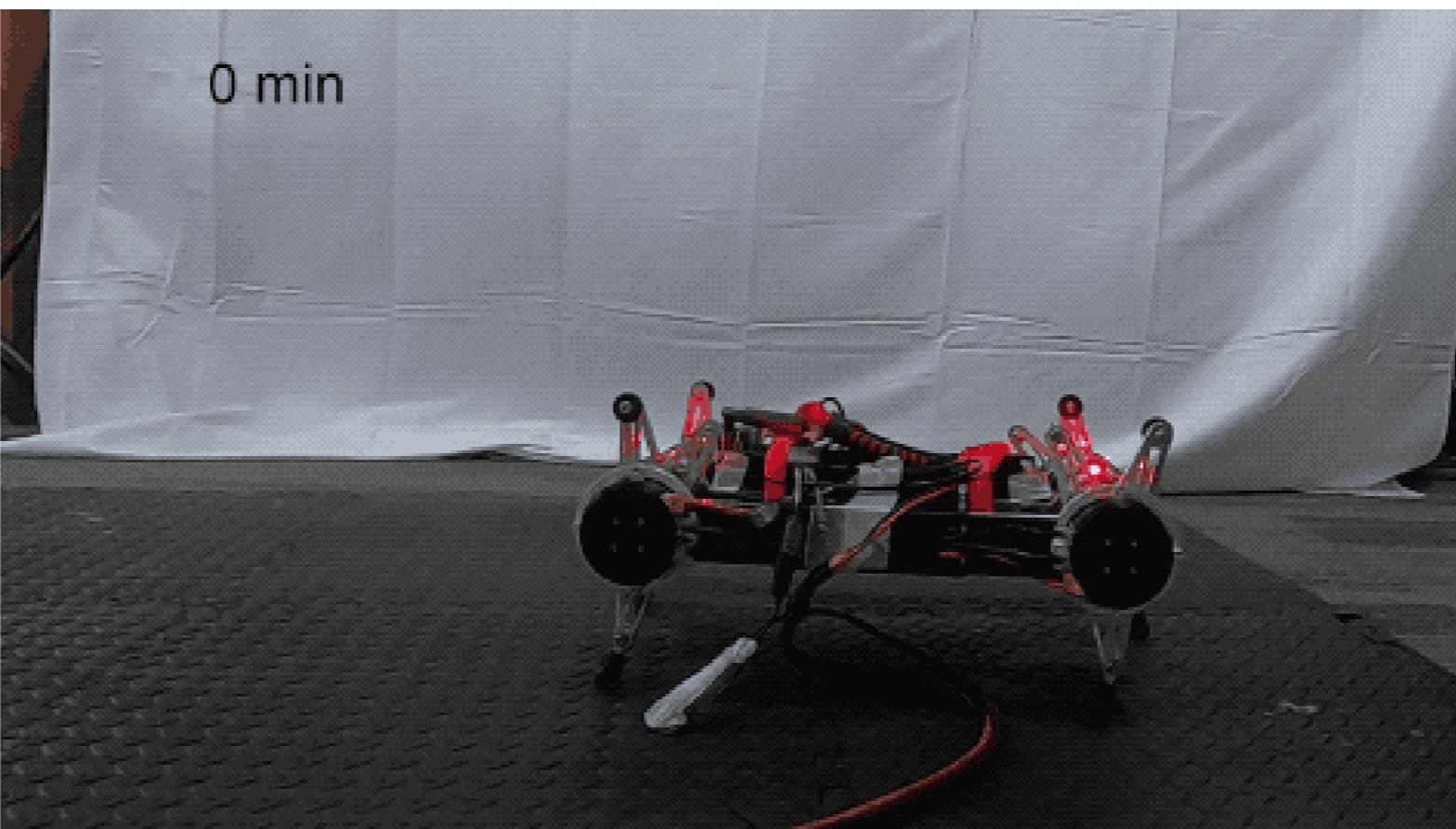
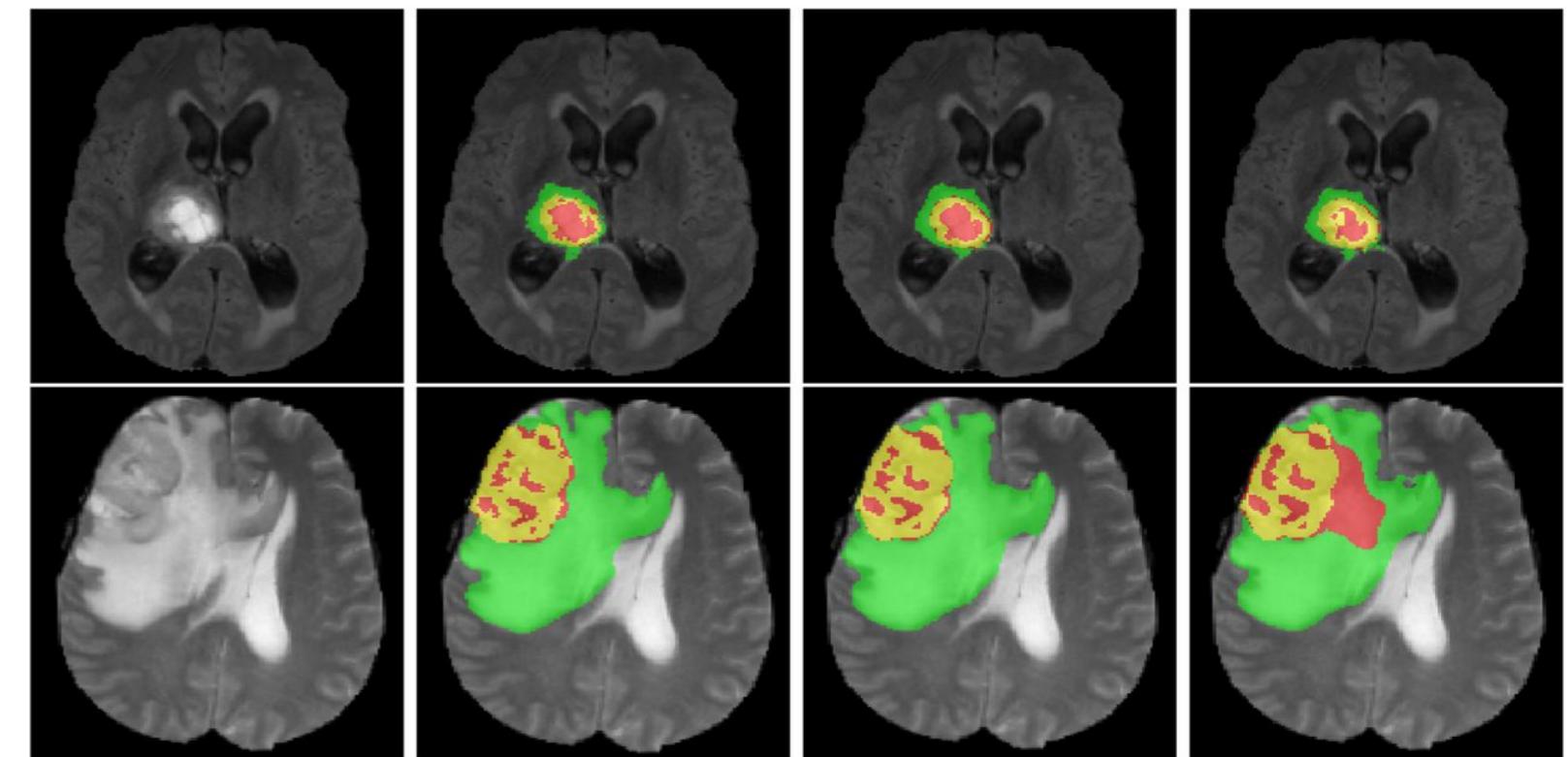
## Classification



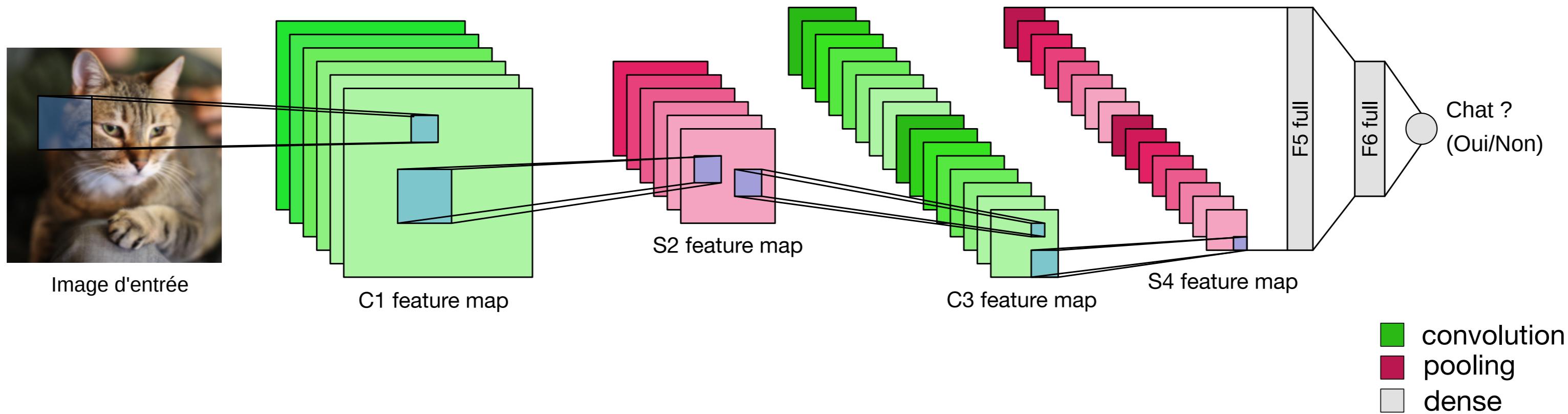
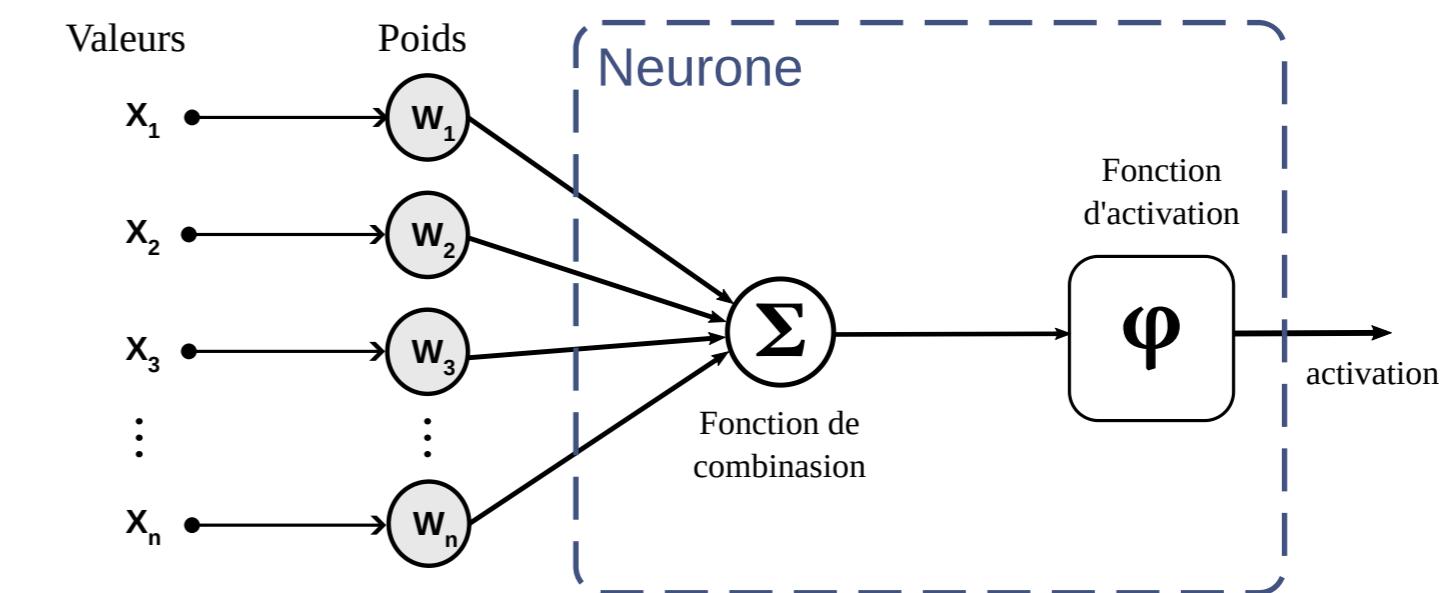
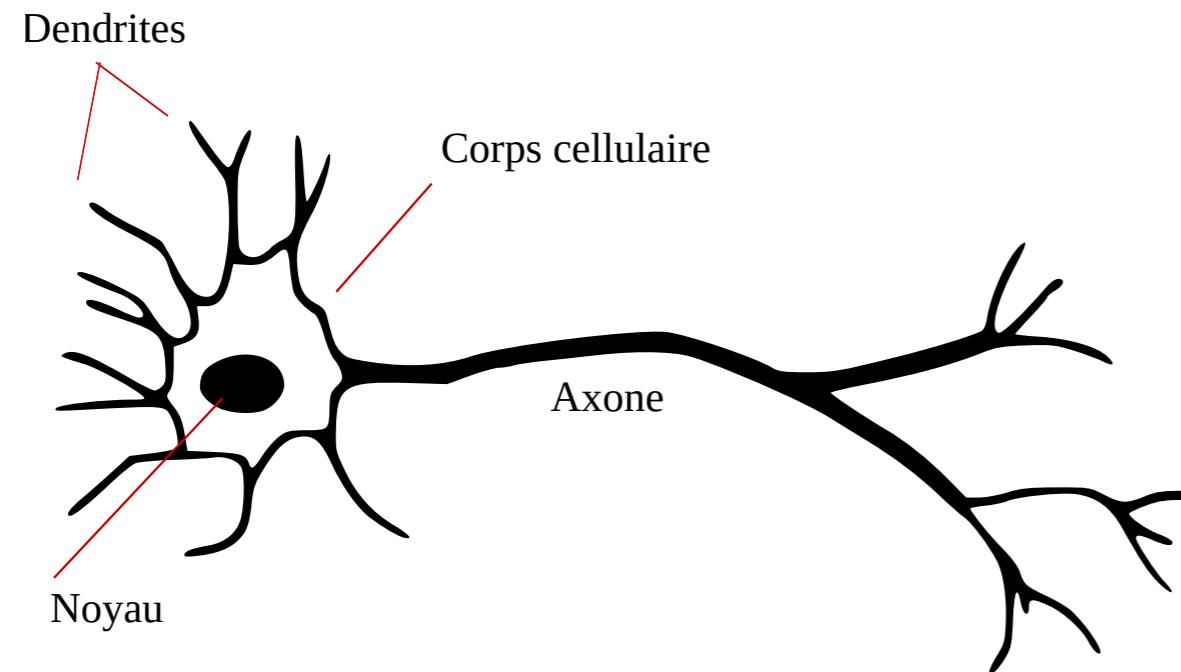
## Détection



## Segmentation

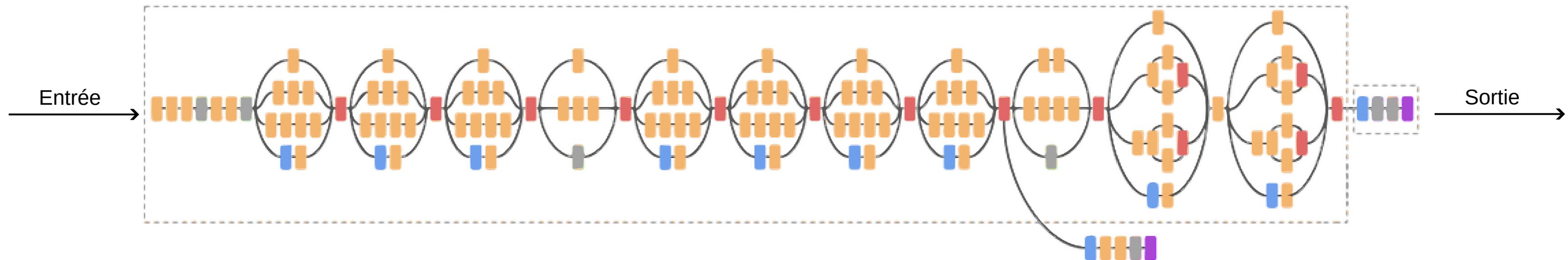


# Les réseaux de neurones



# Les réseaux de neurones

Plus c'est profond, meilleur sera le résultat

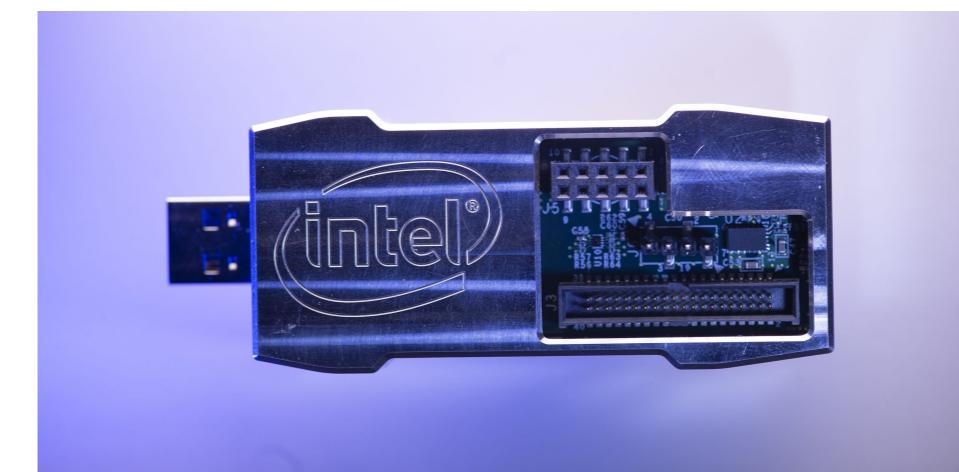
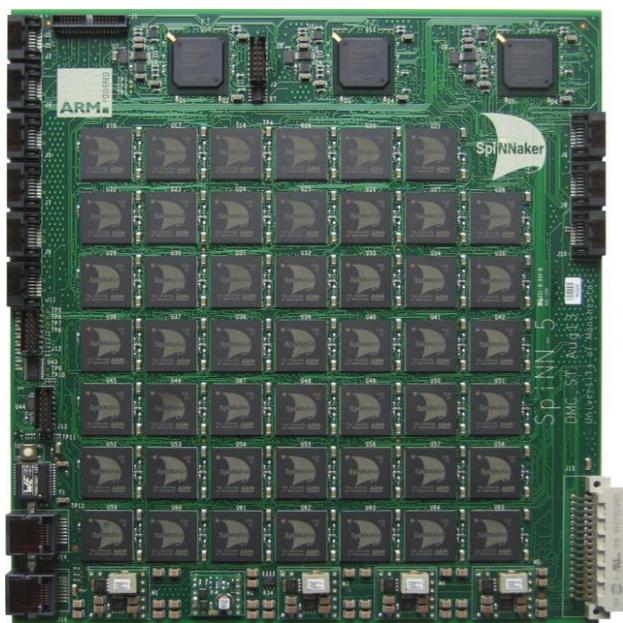
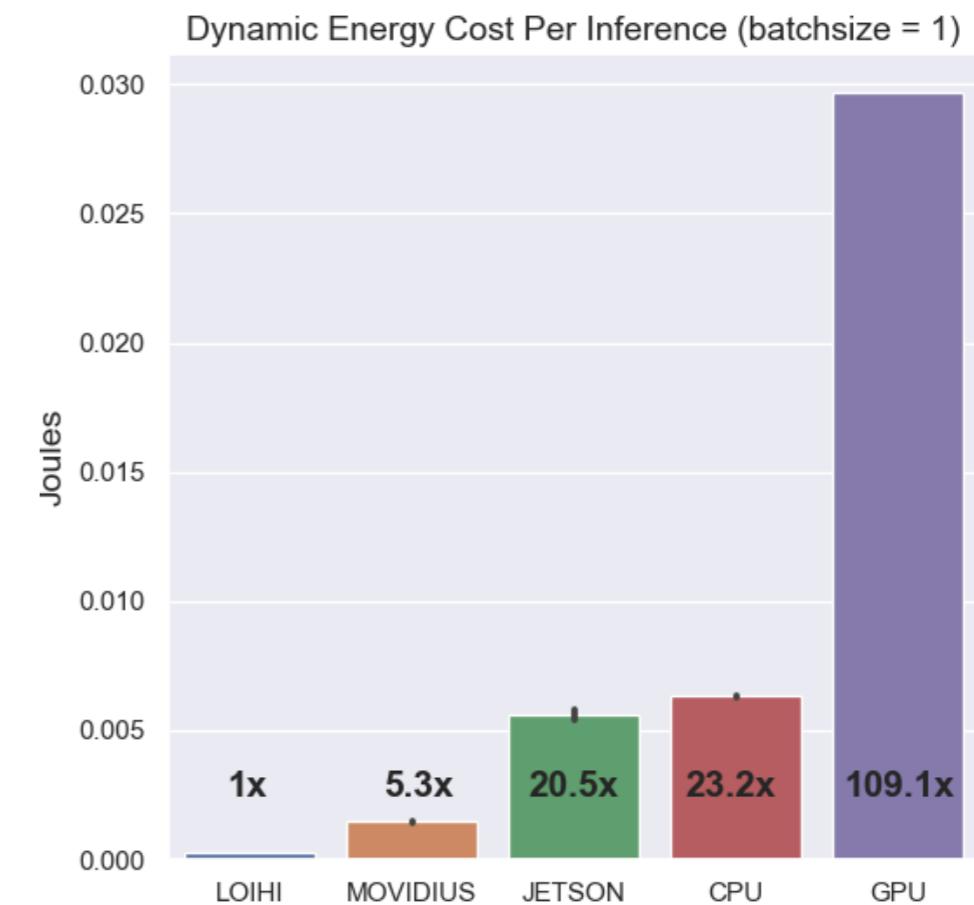
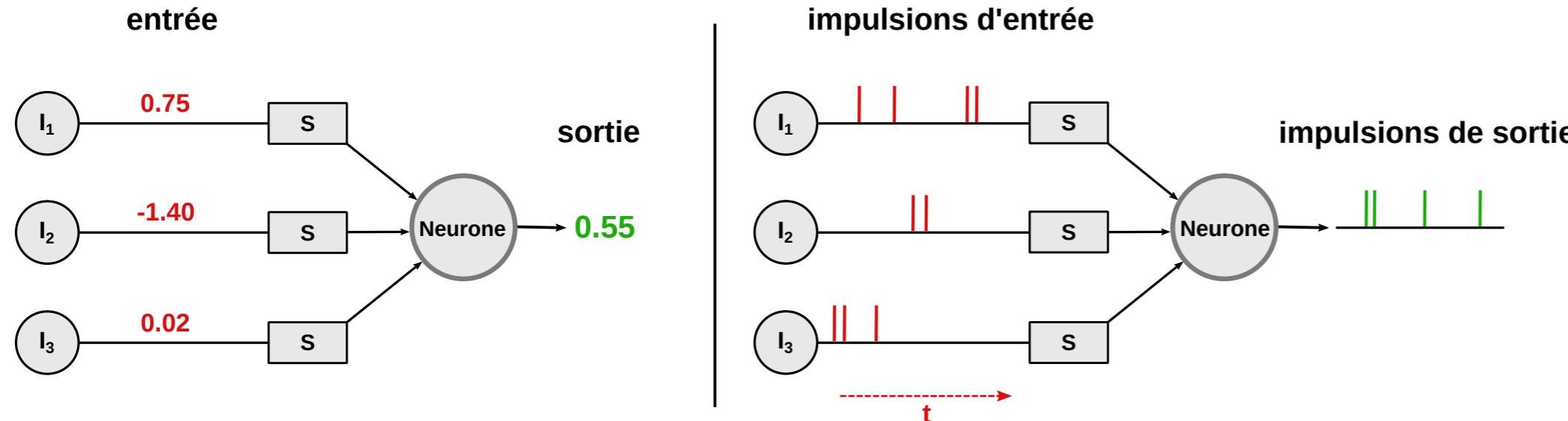


## Les grandes critiques des réseaux de neurones

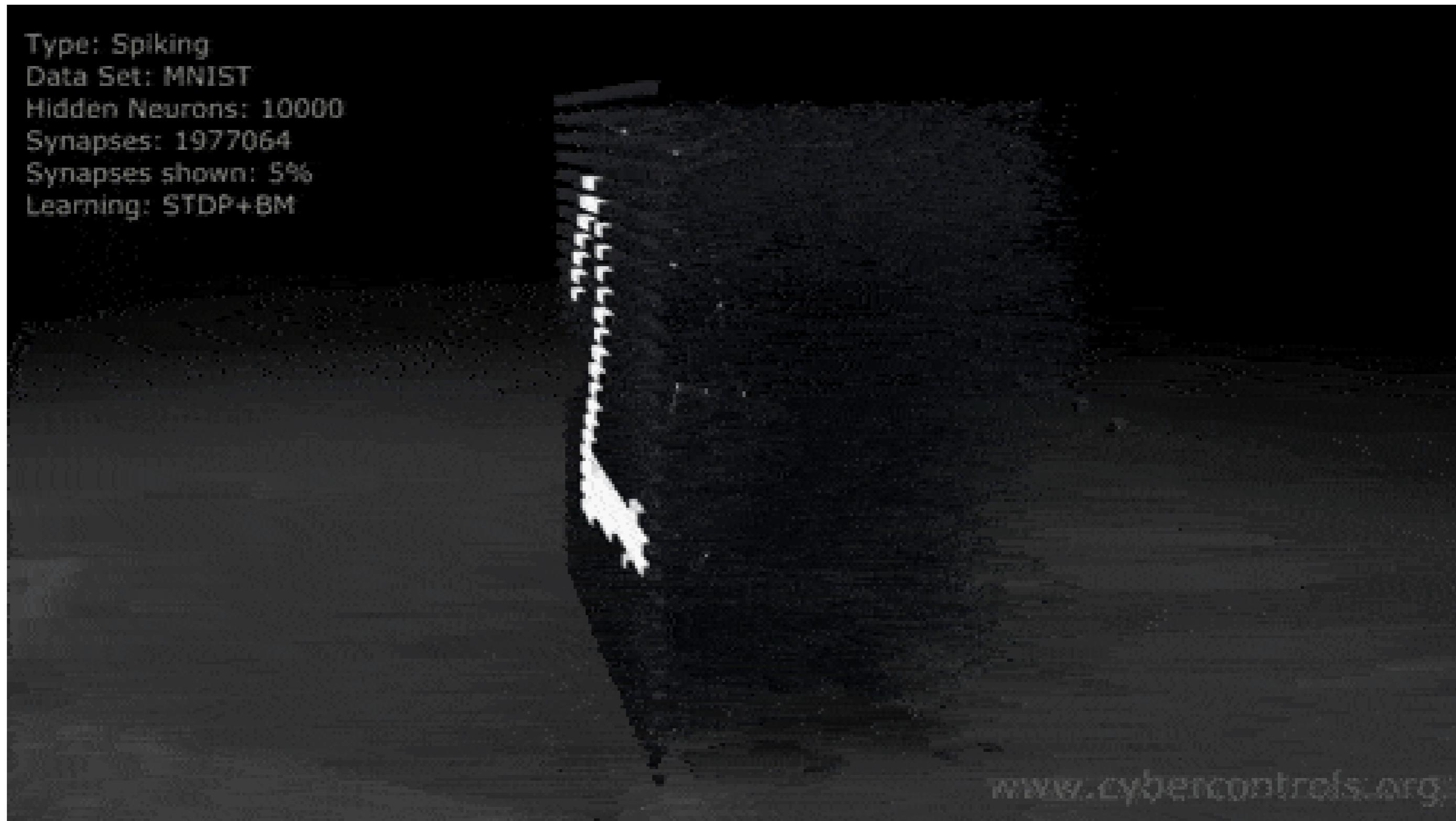
- l'énorme consommation d'énergie
- le besoin de beaucoup de données pour être performant
- Le besoin de puissance de calcul supplémentaire:
  - La limite de l'architecture de Von Neumann
  - La fin de la loi de Moore

Modèle	# de couches	Paramètres
VGG16	16	138M
VGG19	19	144M
ResNet50	50	25.6M
ResNet152	152	60.4M
MobileNetV2	53	2.25M
GPT-3	96	175B

# Réseaux de neurones à impulsions



# Réseaux de neurones à impulsions



Les SNN sont moins efficaces que les réseaux de neurones classiques

# MOTIVATION

## Motivation

- Absence de moyens d'analyse pour réseau de neurones à impulsions
- Les questions ouvertes liées aux neurosciences

## Objectifs

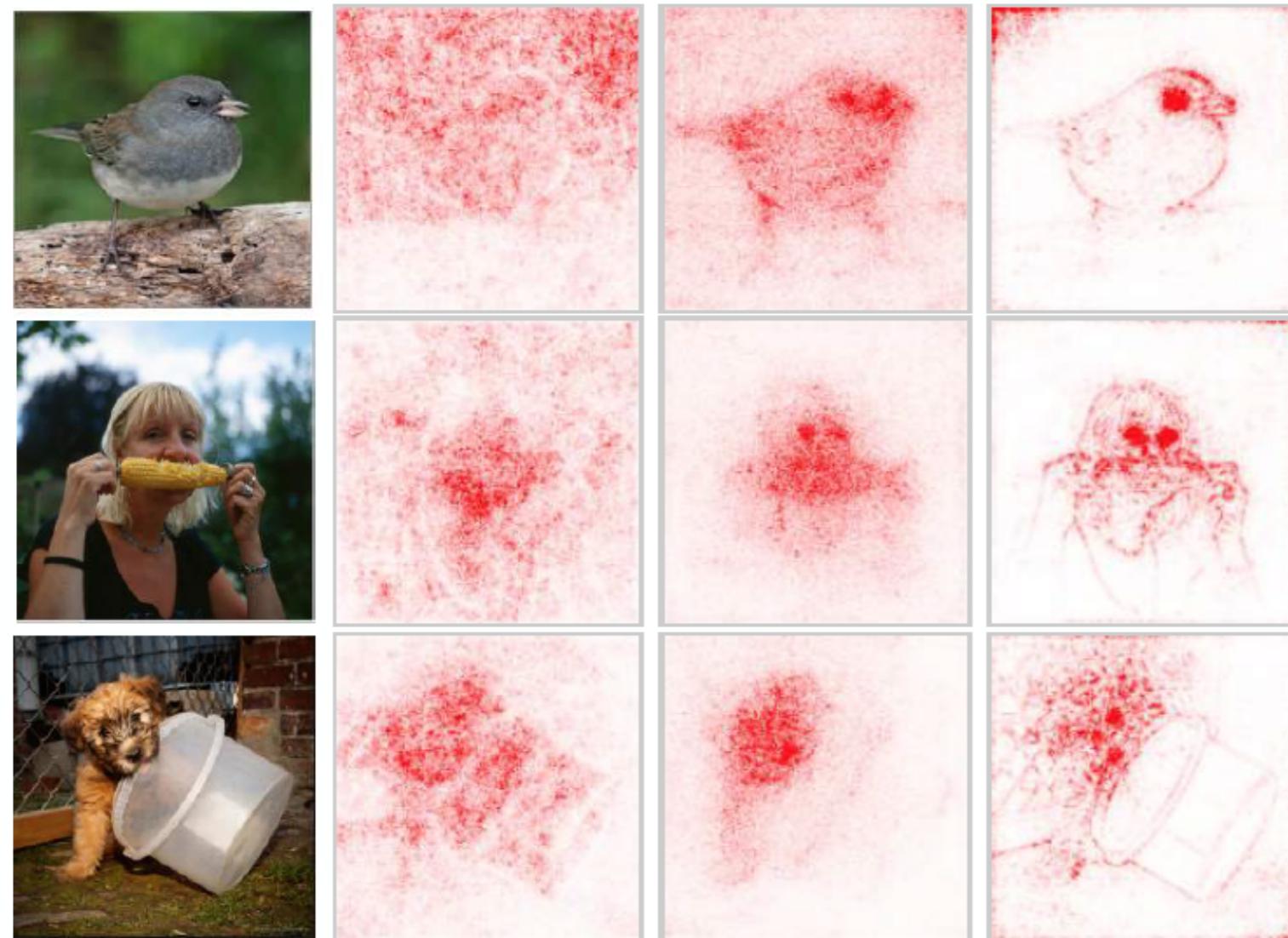
- Exploration de l'analyse visuelle pour SNN
- Analyse de l'activité interne du réseau

## Défis

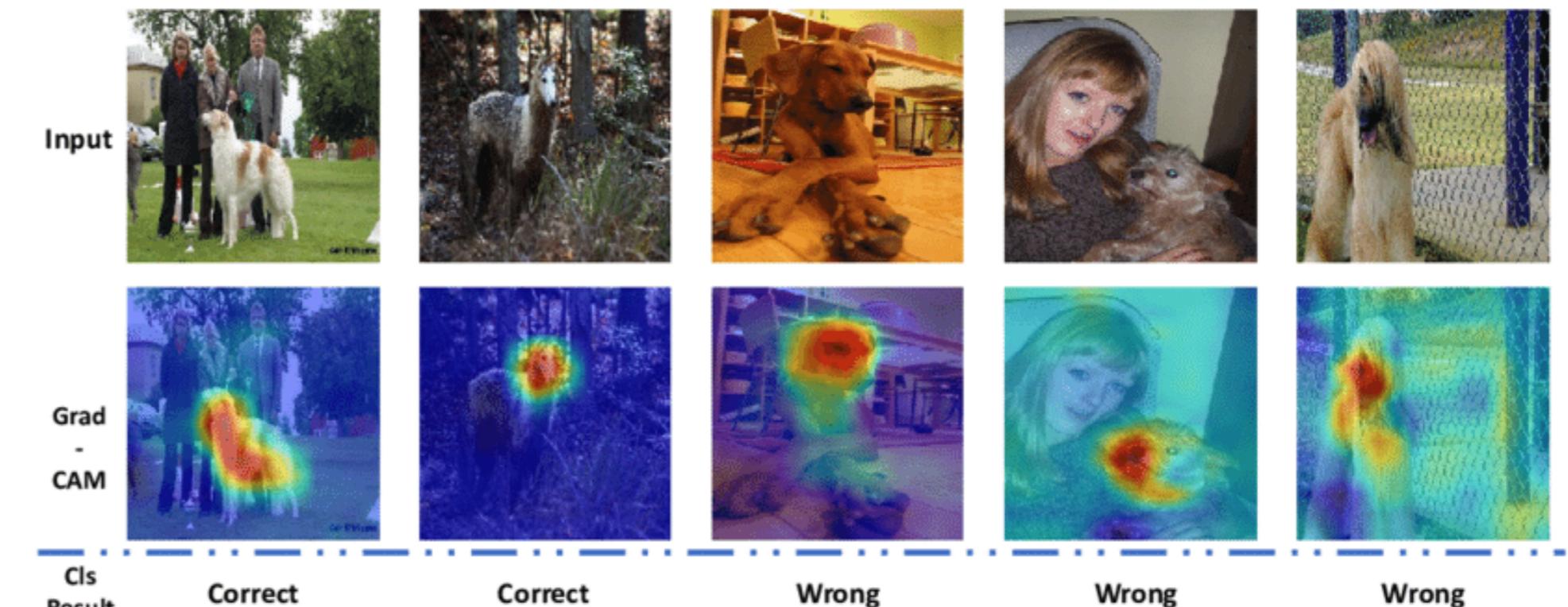
- La nature spatio-temporelle des données
- L'analyse de mégadonnées
- Amélioration du SNN basée sur l'analyse visuelle
- Outils pour l'analyse interne du SNN

# ANALYSE VISUELLE

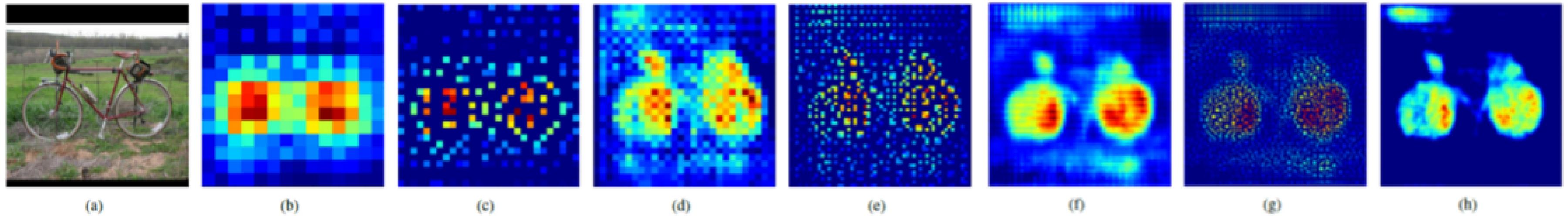
# Analyse visuelle



Class Activation Mapping (CAM, Grad-CAM, Grad-CAM++)



# Analyse visuelle



CONTRIBUTION 1:

VISUALISATION DANS LES SIMULATEURS SNN

# Étude des techniques de visualisation dans des simulateurs SNN

Point de vue technique :

Simulateur	La technologie	Type de simulation	Parallélisme	Scalabilité	Interface graphique	CMD
NEURON	C, C++, Python	Event-driven	+	+	+	+
Brian	Python, NeuroML, PyNN	Clock-driven	+	-	-	+
Nengo	Python, Numpy, HTML	Clock-driven	+	+	+	+
Neuronify	C++, Qt	Clock-driven	-	-	+	-
Simbrain	Java	Clock-driven	-	-	+	-
N2S3	Scala, Akka	Event-driven	-	+	-	+
NEST	C++, Python, SLI	Event-driven & Clock-driven	+	+	-	+
À base de Pytorch	Python	Clock-driven	+	+	-	+

# Étude des techniques de visualisation dans des simulateurs SNN

## Aspect visualisation :

- Sept critères de comparaison
- Freitas et al. [1], et Stephen Few [2] + Niveau d'interactivité

1. Utilité

2. Complétude

3. Perceptibilité

4. Véracité

5. Intuitivité

6. Esthétique

7. Interactivité

[1] C. M. D. S. Freitas, P. R. G. Luzzardi, R. A. Cava, M. Winckler, M. S. Pimenta, and L. P. Nedel, “On Evaluating Information Visualization Techniques,” AVI’02, (New York, NY, USA), pp. 373-374, ACM, 2002.

[2] S. Few, “Data visualization effectiveness profile,” Perceptual Edge, vol. 10, p. 12, 2017

# Étude des techniques de visualisation dans des simulateurs SNN

Aspect visualisation :

Simulateur	Utilité	Complétude	Perceptibilité	Véracité	Intuitivité	Esthétique	Interactivité
NEURON	++	-	++	+	++	-	+
Brian	++	++	++	+	++	+	+
Nengo	++	+	++	++	++	++	++
Neuronify	+	-	++	+	++	++	++
Simbrain	++	++	++	++	+	+	+
N2S3	++	+	++	++	++	+	-
NEST	++	+	++	++	++	+	-
À base de Pytorch	++	+	++	++	++	+	+

Bien: ++ | Moyen: + | Mal: -

# Étude des techniques de visualisation dans des simulateurs SNN

## Conclusion

- Les simulateurs fournissent des visualisations pour la surveillance, pas pour l'analyse
- La séparation du processus de simulation de celui de visualisation est **nécessaire**
- Il existe un besoin d'outils dédiés pour analyse visuelle

CONTRIBUTION 2:

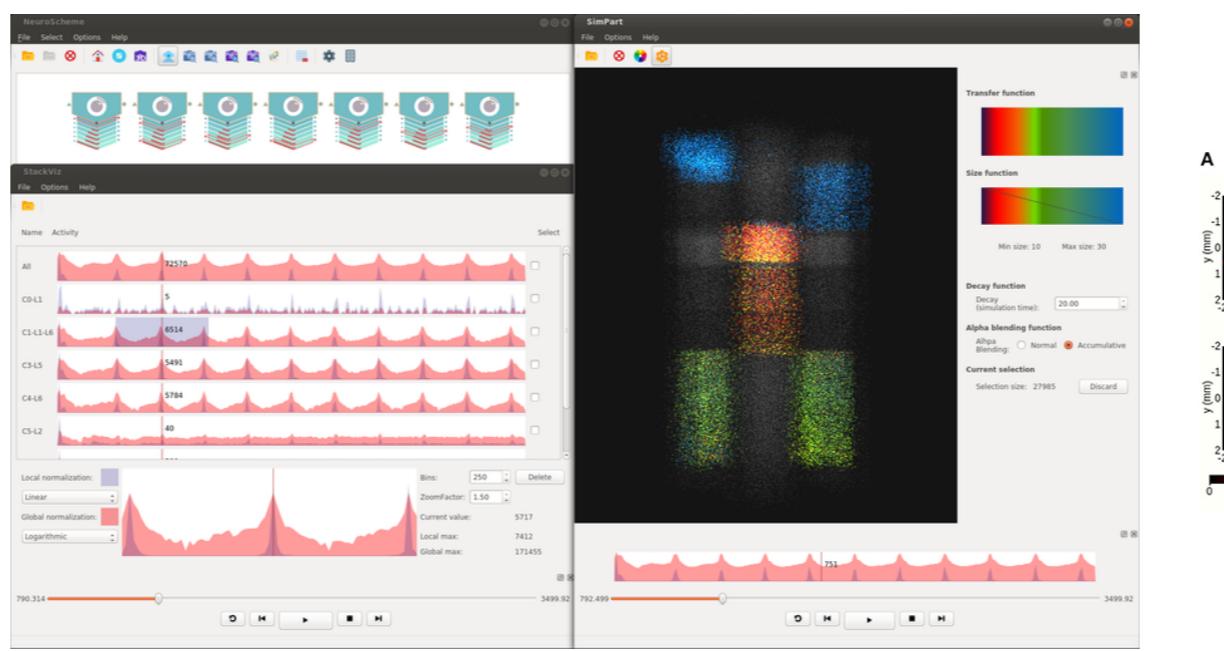
Vs2N: OUTIL DE VISUALISATION POUR SNN

# Outils d'analyse visuelle

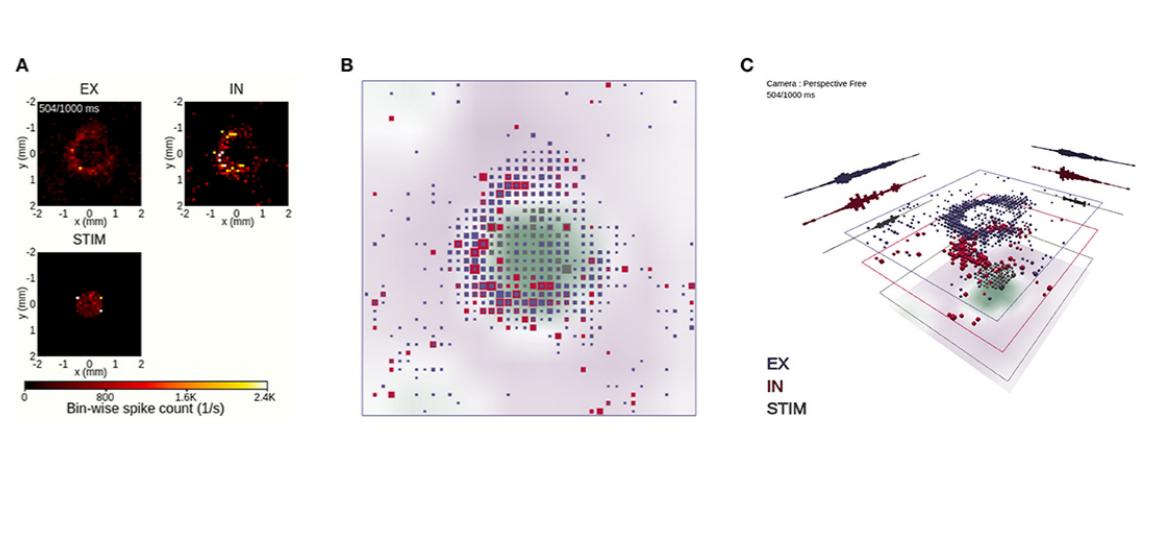
LSTMVis



ViSimpl



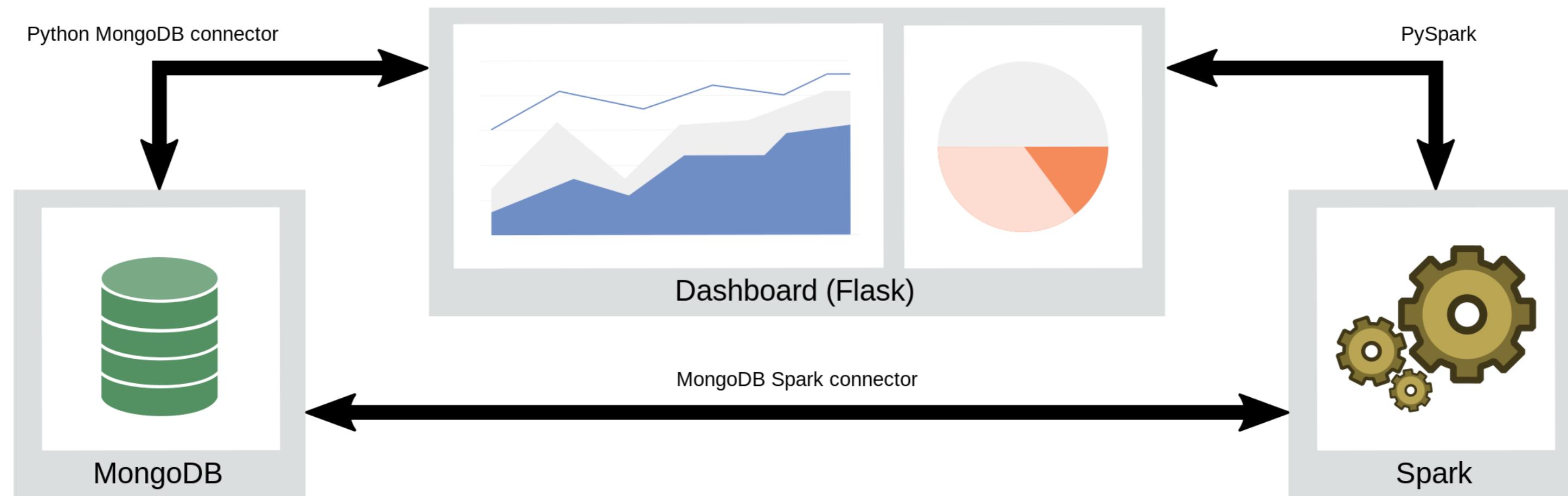
VIOLA



## Caractéristiques communes:

- Outil à base Web
- Cibler un problème, une question ou un type de réseau
- Compatible avec un simulateur particulier ou un type de jeu de données spécifique

# VS2N (Visualization tool for Spiking Neural Networks)

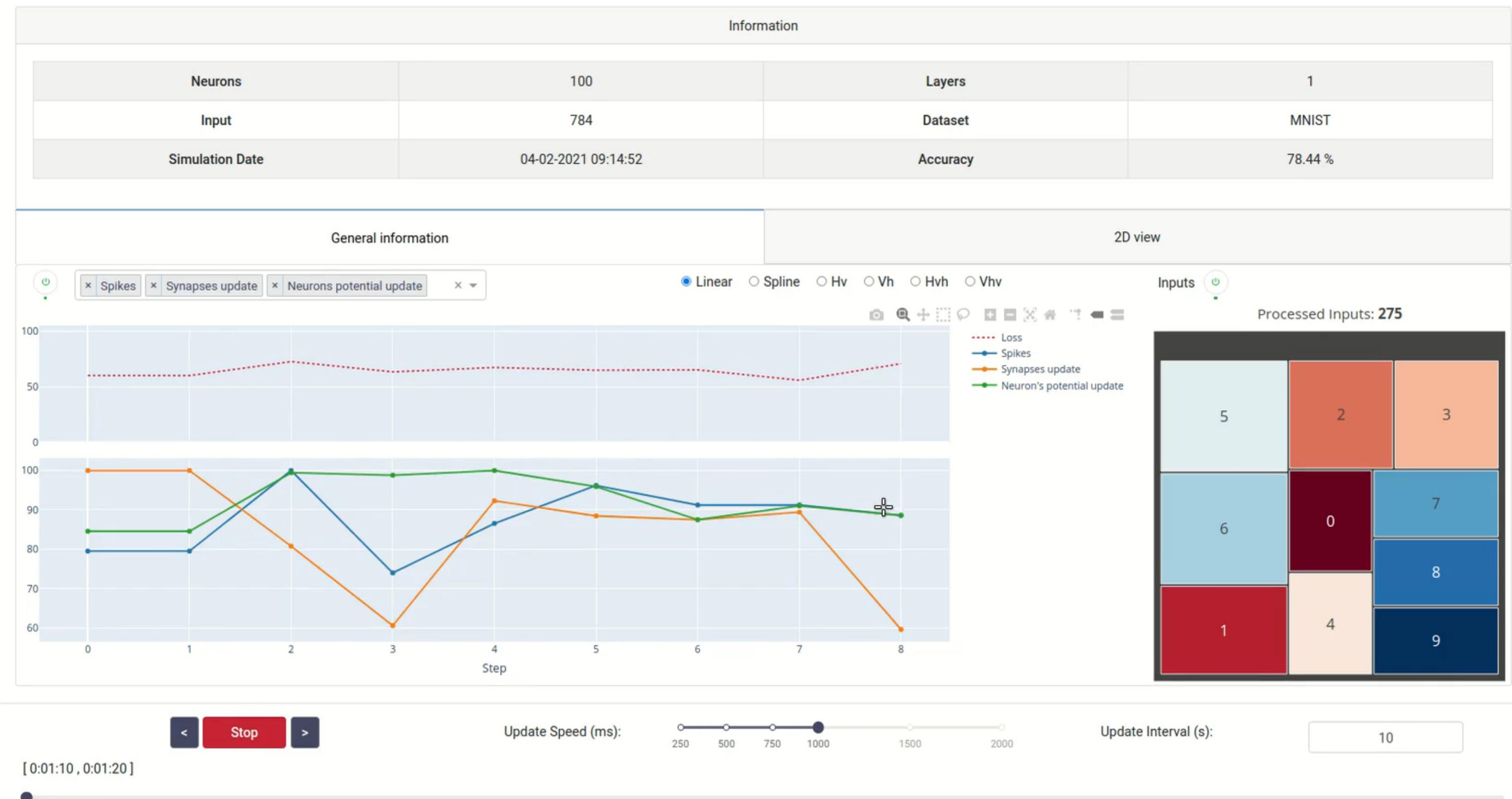


- Scalabilité
- Modularité
- Indépendance du simulateur
- Analyse dynamique



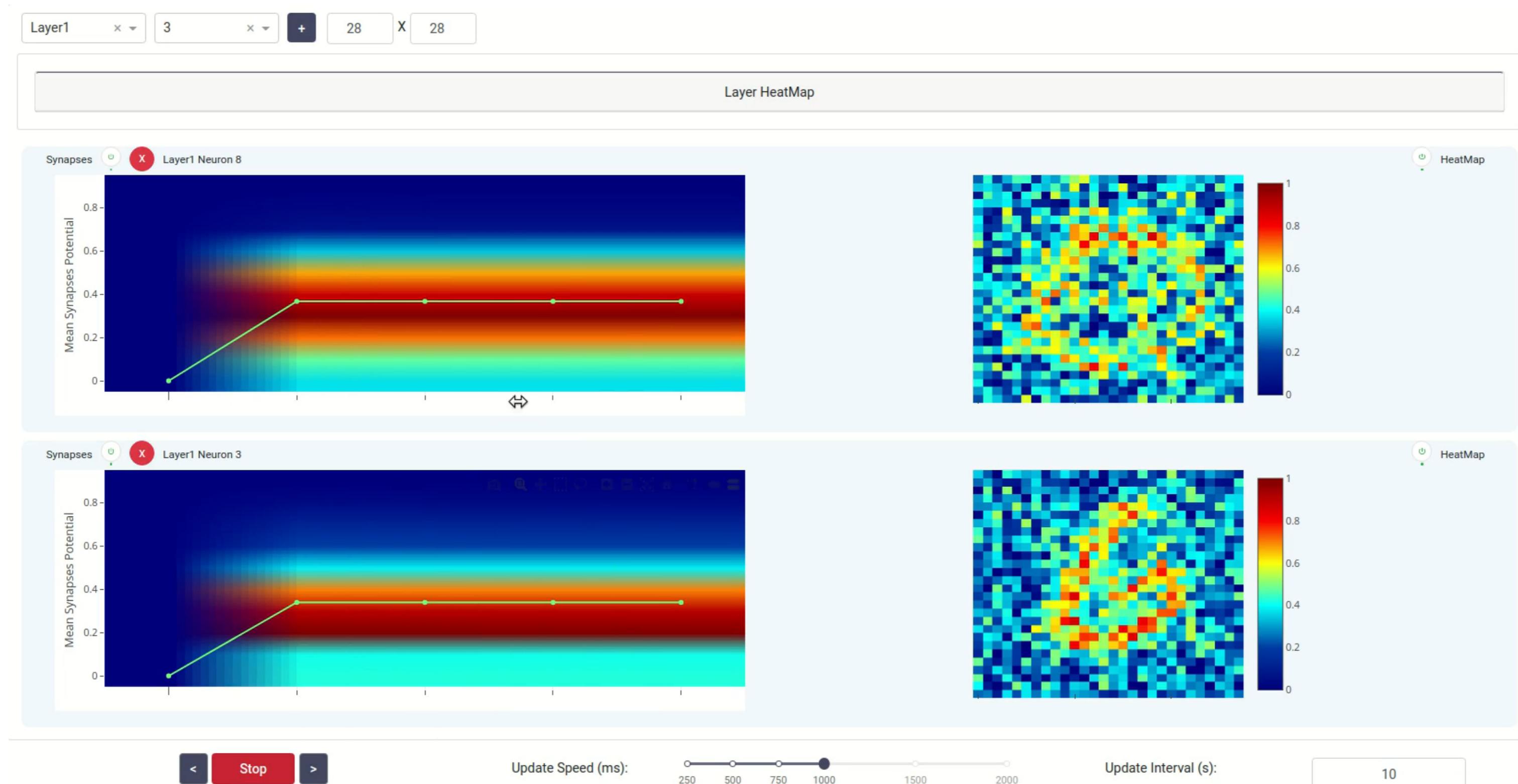
# Modules de VS2N

## MODULE D'ANALYSE GÉNÉRALE



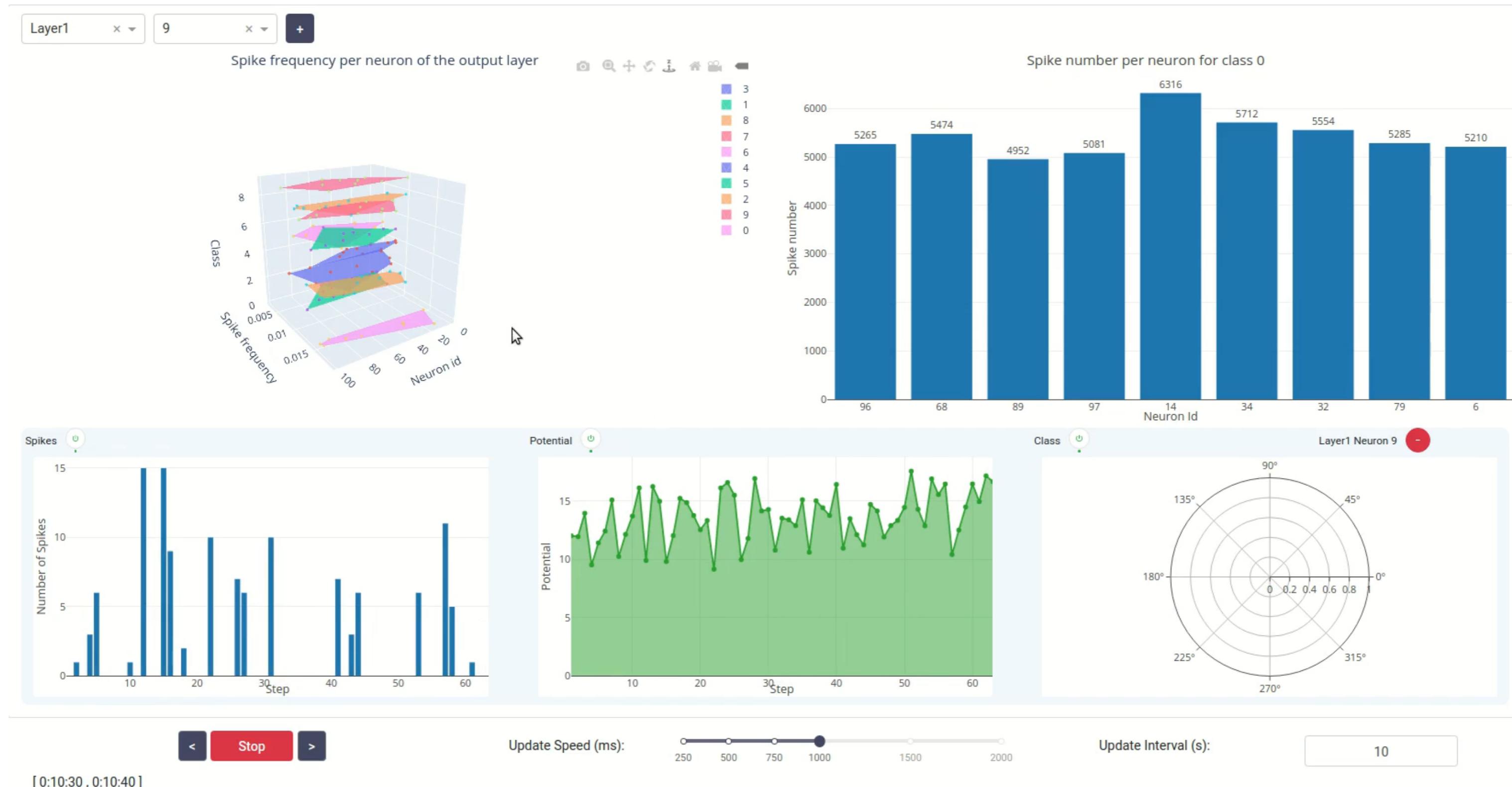
# Modules de VS2N

## MODULE D'ANALYSE SYNAPSE



# Modules de VS2N

## MODULE D'ANALYSE DES NEURONES



# V<sub>S2N</sub>: CAS D'UTILISATION

# I - MNIST

En utilisant l'ensemble de données MNIST:

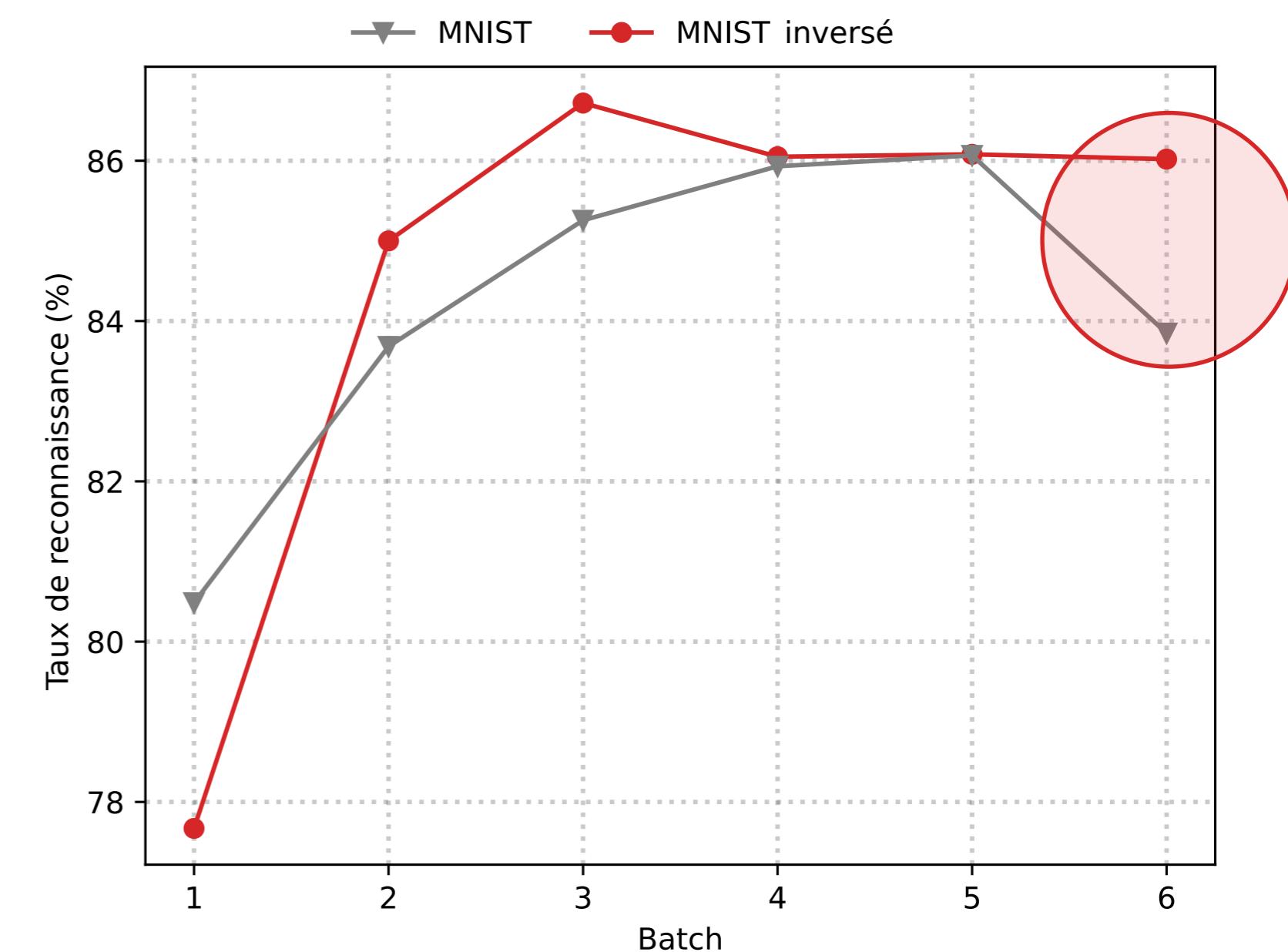
- Une baisse de précision lors des 10000 dernières images de MNIST

## Objectif

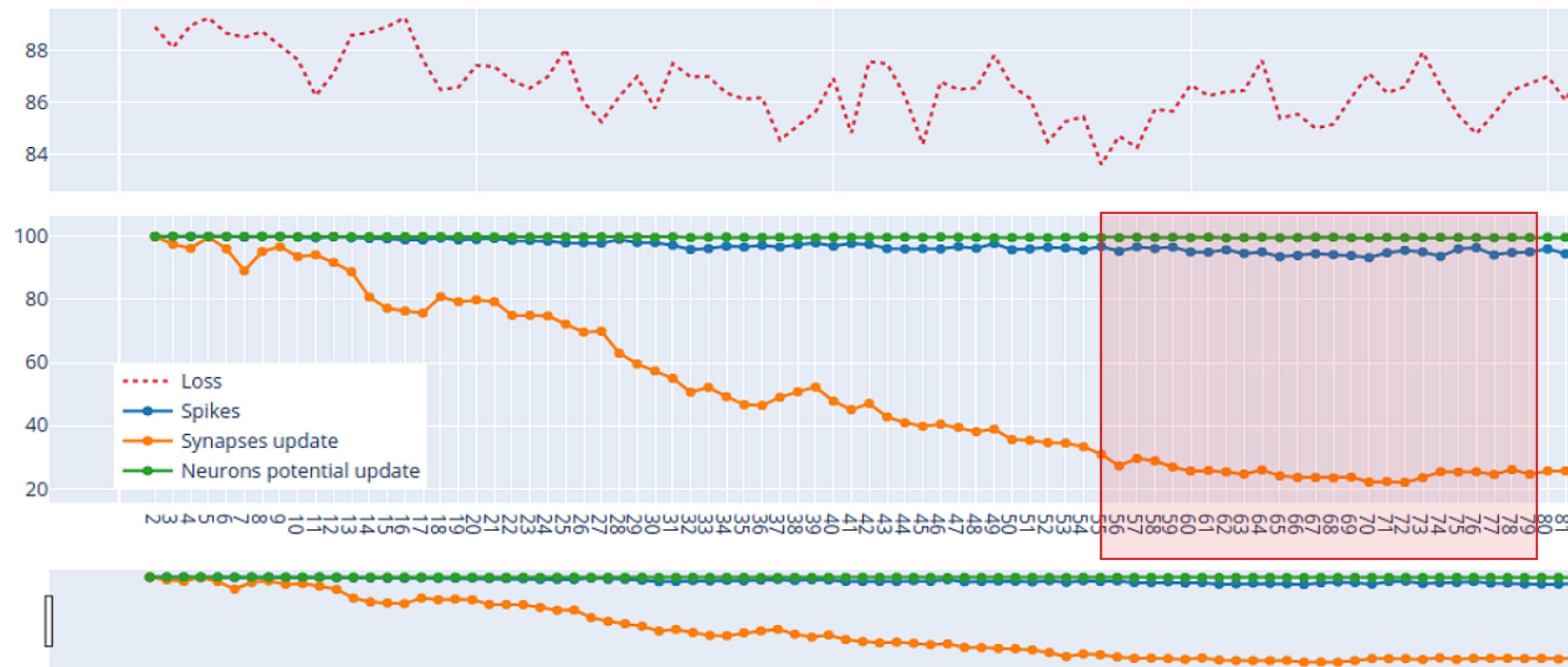
Surveillance de l'activité durant les 10000 dernières images

## Configuration

- Nengo
- Un réseau Monocouche (Diehl & Cook 2015)
- STDP



# I - MNIST



On observe que

1. Augmentation de l'activité synaptique
2. Pas de changement dans l'activité potentielle et des impulsions

## II - la compression

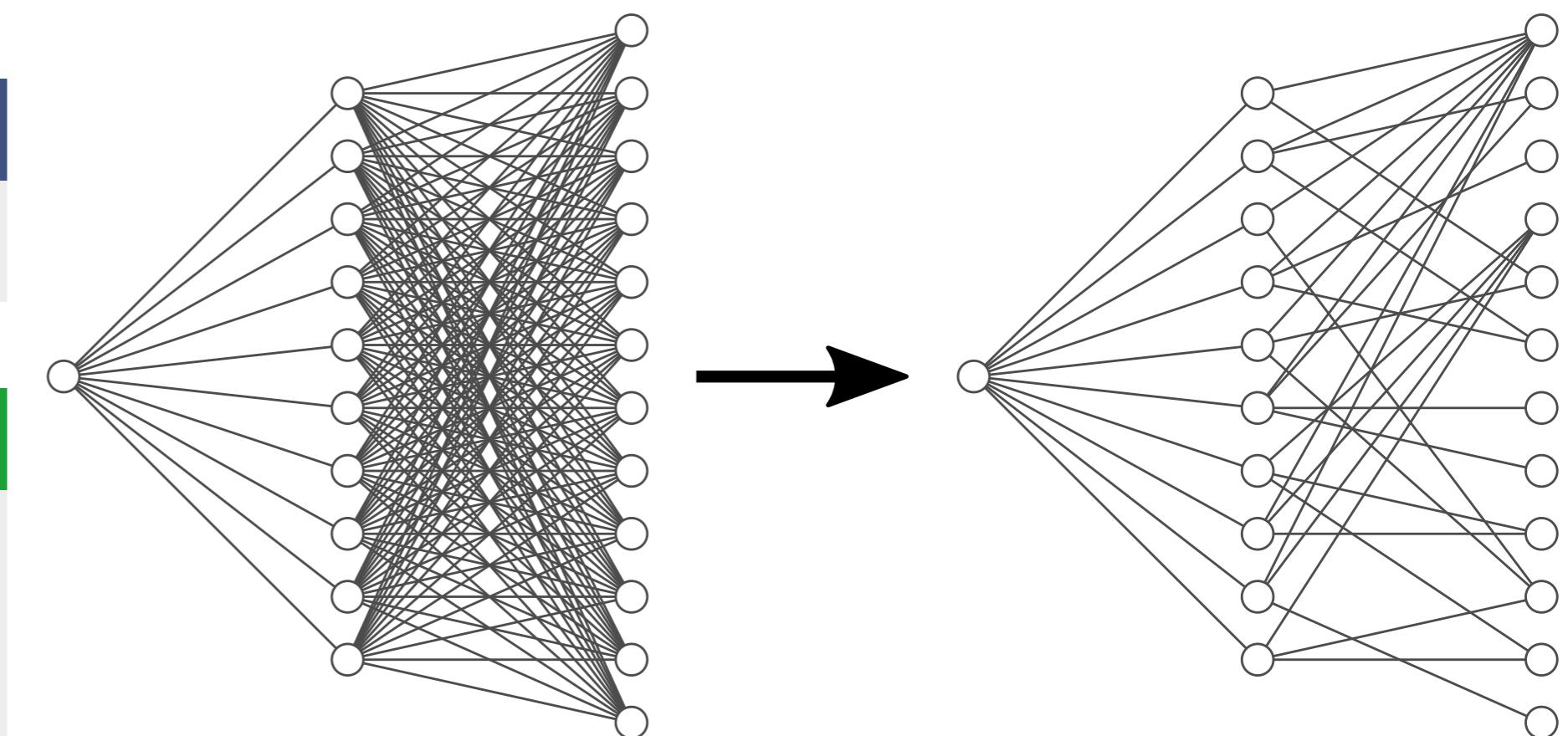
- Application de l'opération d'élagage sur les synapses
- seuil = 0,2

Objectif

Analyse de l'effet de l'élagage sur le réseau

Configuration

- N2S3
- Un réseau Monocouche (Diehl & Cook 2015)
- STDP



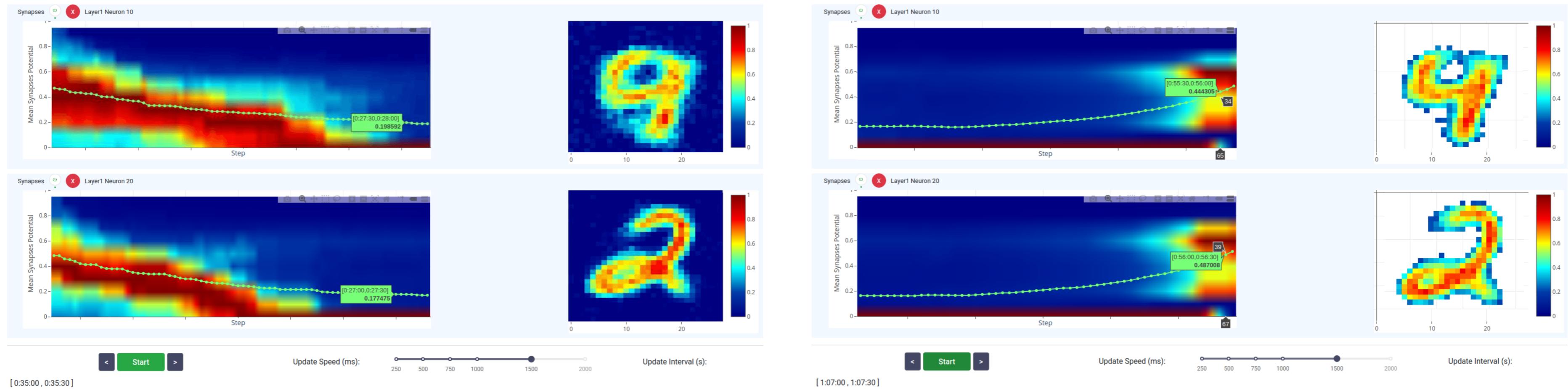
## II - la compression



### Après Élagage

1. Baisse des impulsions, du potentiel et de l'activité synaptique
2. Période de silence dans l'activité du réseau

## II - la compression



### Avant Élagage

1. Baisse de la valeur moyenne des poids synaptiques
2. Différence de distribution des poids synaptiques

### Après Élagage

1. Augmentation de la valeur moyenne
2. Changement dans la distribution des poids

CONTRIBUTION 3:

COMPRESSION PROGRESSIVE POUR SNN

# Compression dans les réseaux de neurones à impulsions

- Les synapses dans un réseau évoluent avec le nombre de neurones
- La compression génère un réseau plus petit

## Types d'élagage

Élagage des synapses, Élagage des filtres, Élagage basé sur les neurones

- Concentration sur le traitement des synapses élaguées, quand élaguer ou sur les critères d'élagage
- Utilisation d'un seuil statique

## L'utilisation d'un seuil dynamique

- On peut retirer les synapses à un stade précoce
- Apprentissage après élagage

# Compression progressive pour SNN

## Élagage progressive

$$T_{n+1} = T_n + \alpha * (C_{rn}/C_n) \quad n \in \mathbb{N}$$

$\alpha$  : seuil initial

$C_{rn}$  : nombre de synapses restantes

$C_n$  : nombre total de synapses

## Renforcement dynamique des poids synaptiques

$$W_{n+1} = W_n + \beta * T_n, \quad n \in \mathbb{N}, \quad W \in [0, 1]$$

$\beta$  : constante définie

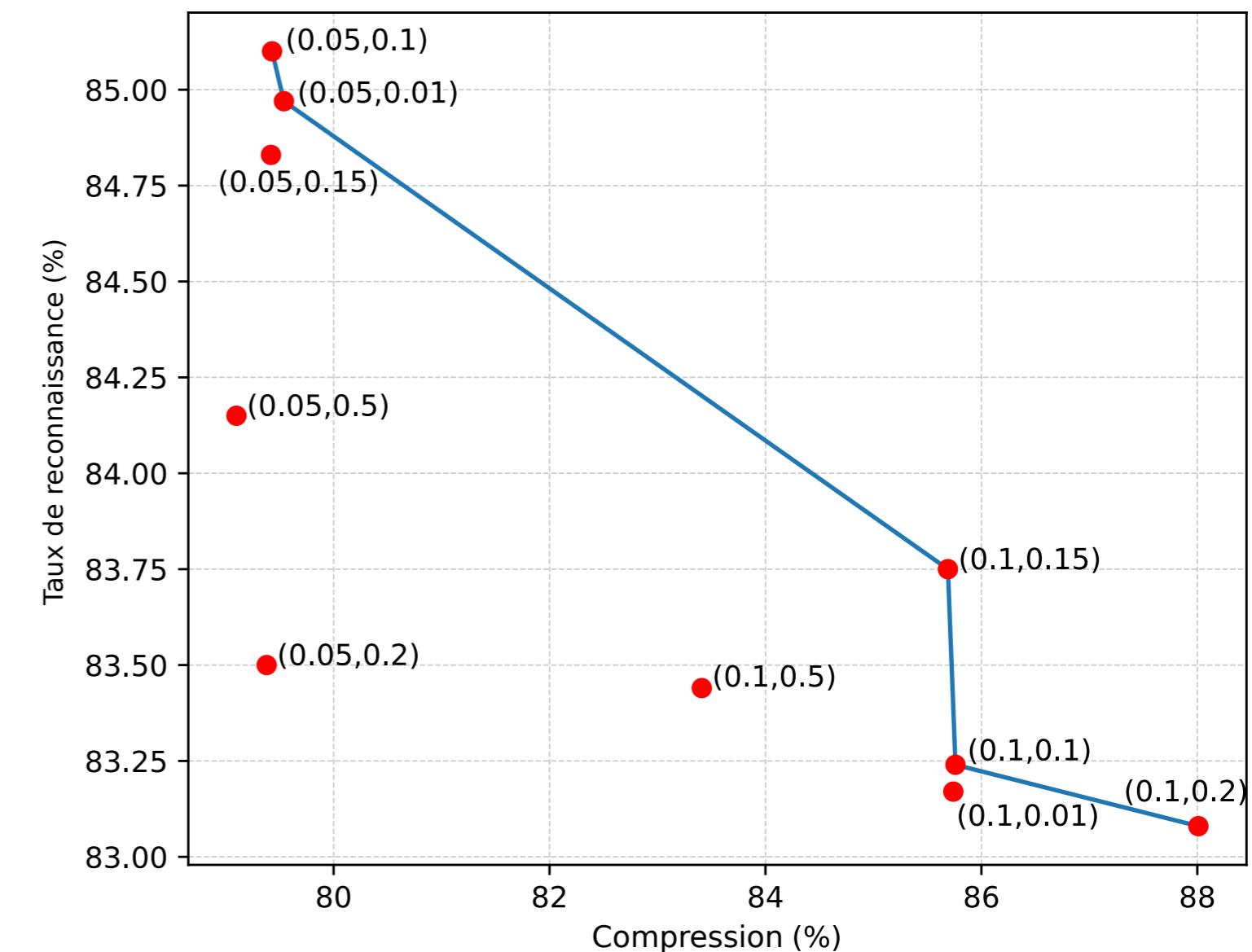
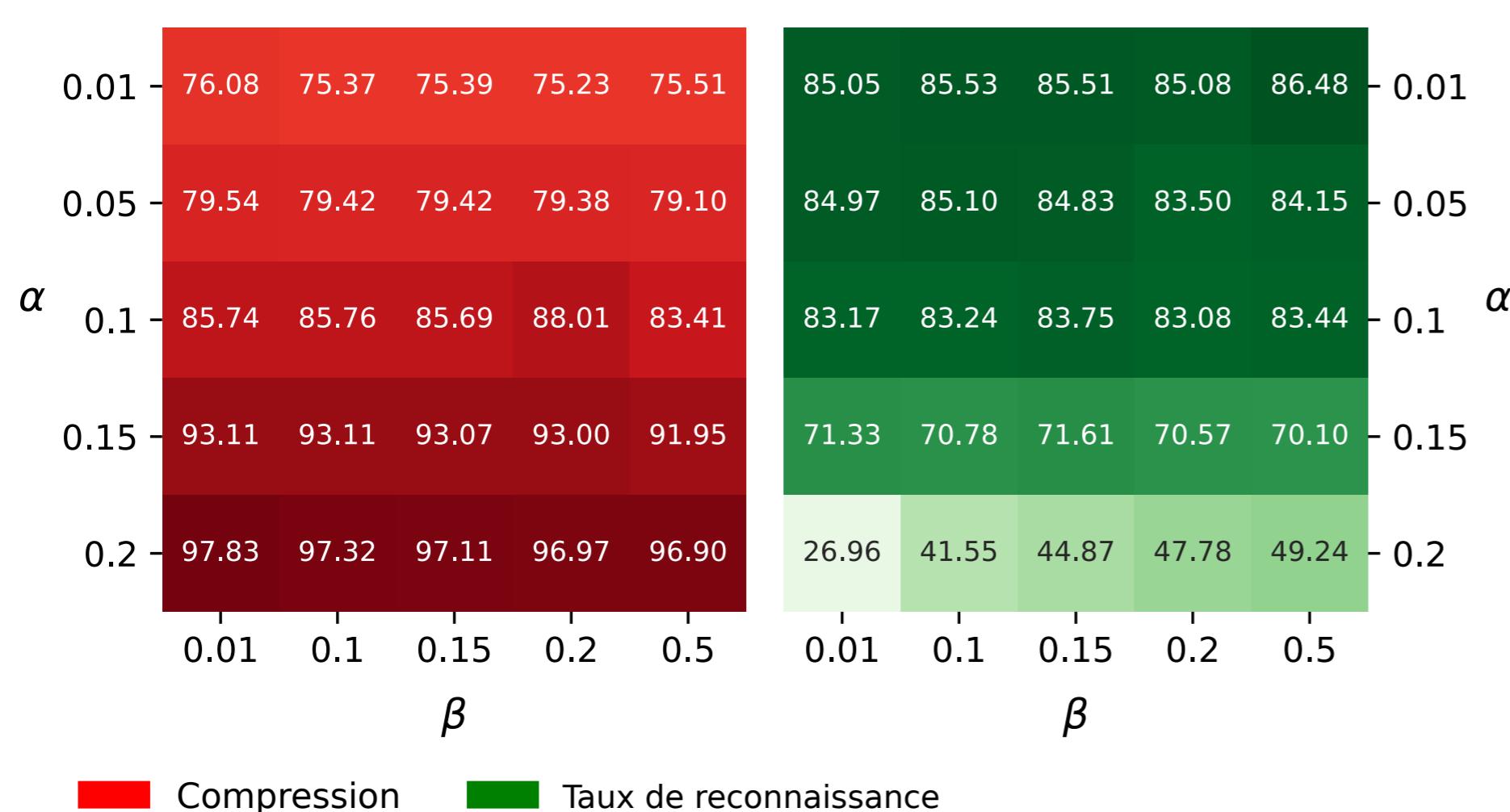
$W_n$  : poids actuel

$T_n$  : seuil actuel

## Objectif du renforcement synaptique

- Le maintien de l'activité moyenne des impulsions dans le réseau
- Un phénomène qui existe aussi en biologie (synaptotrophins et synaptotoxins [1])

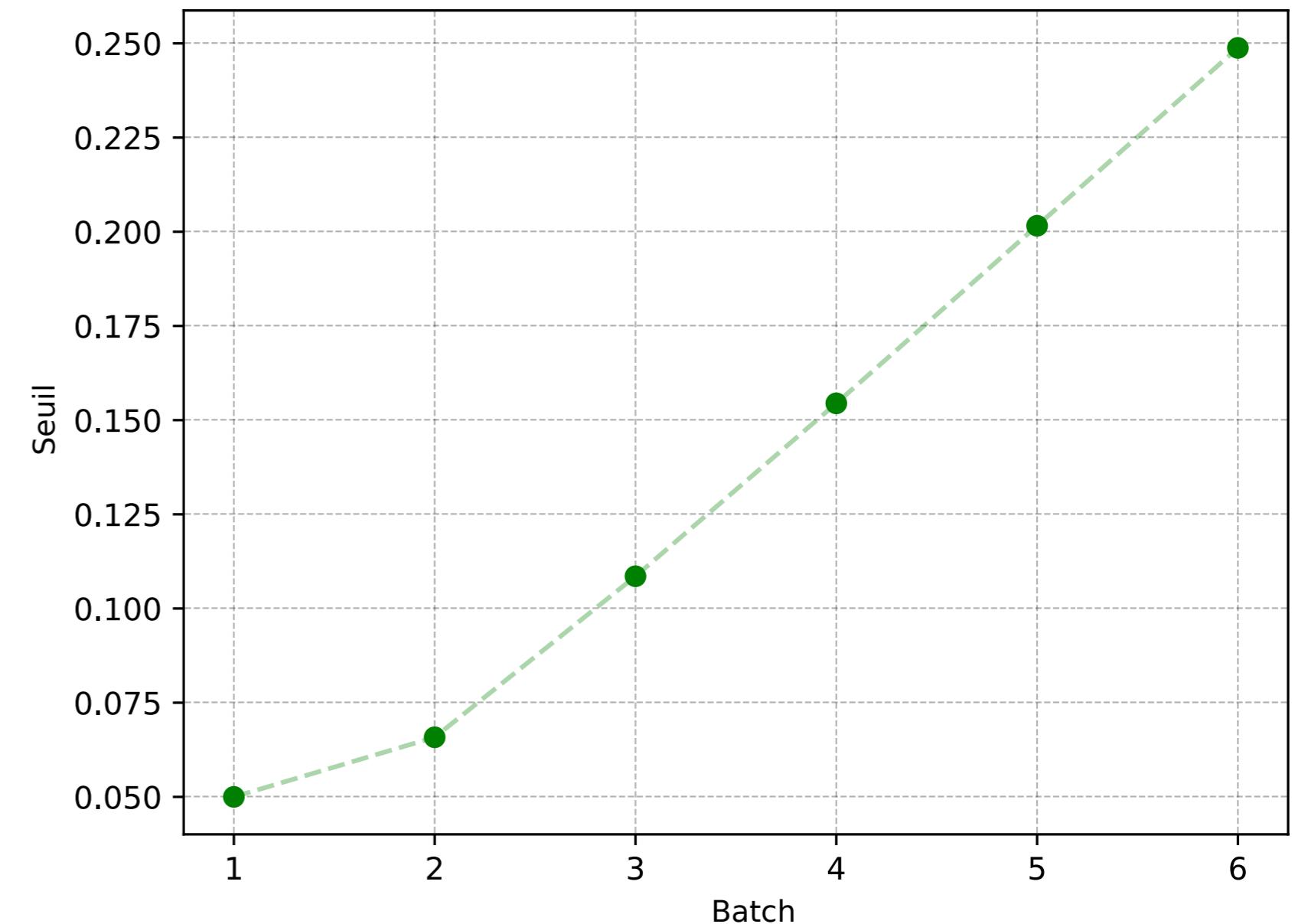
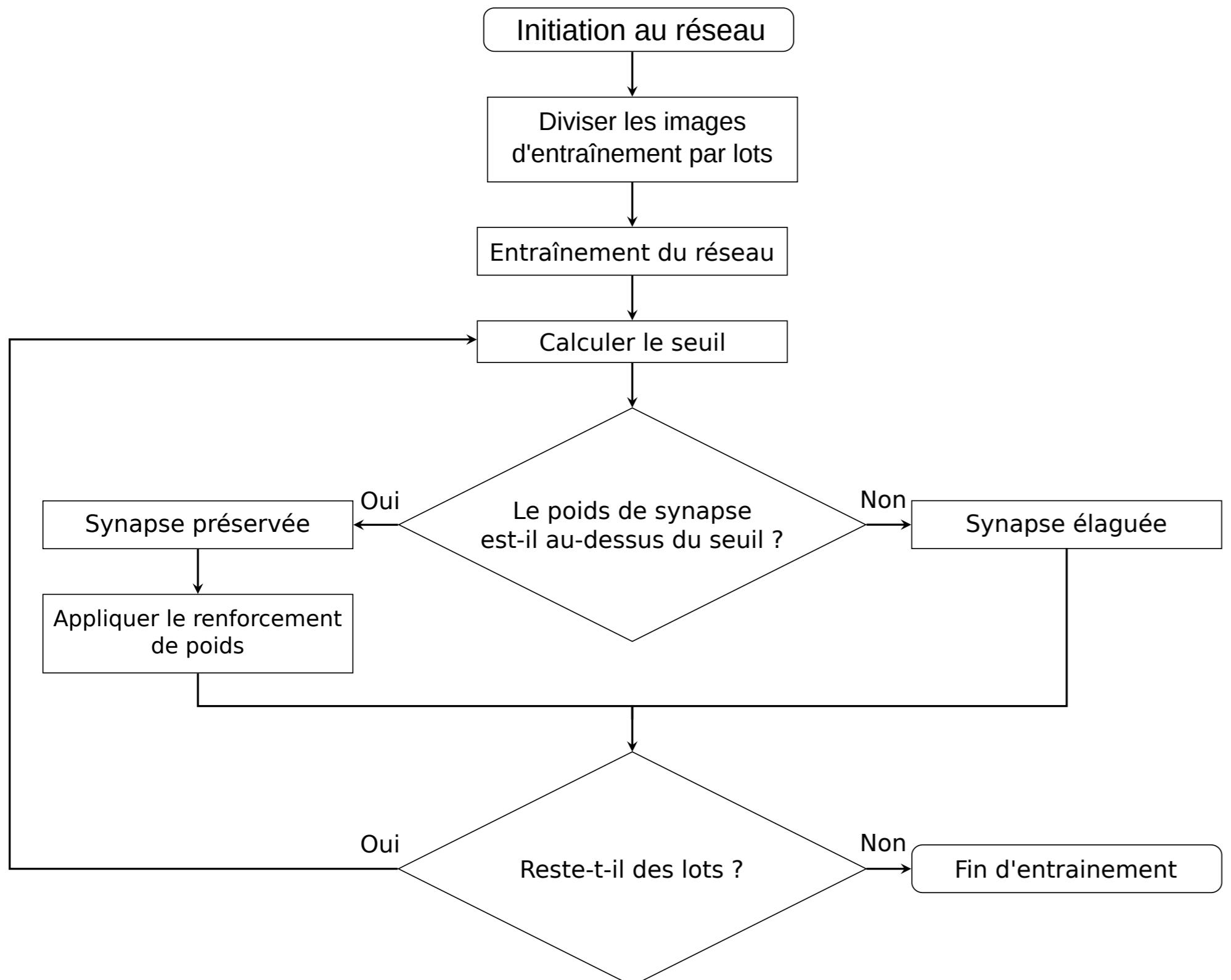
# Sélection des paramètres



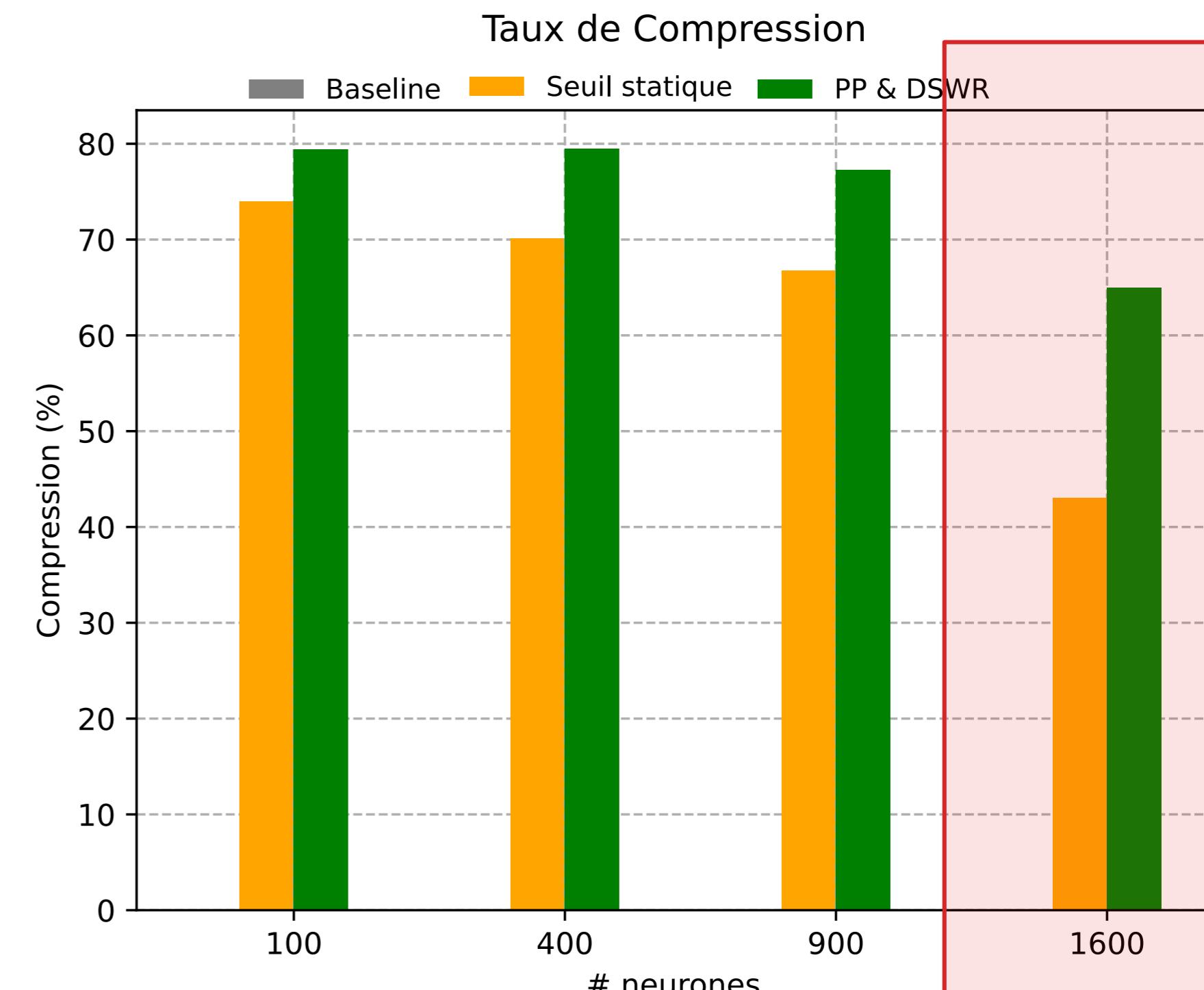
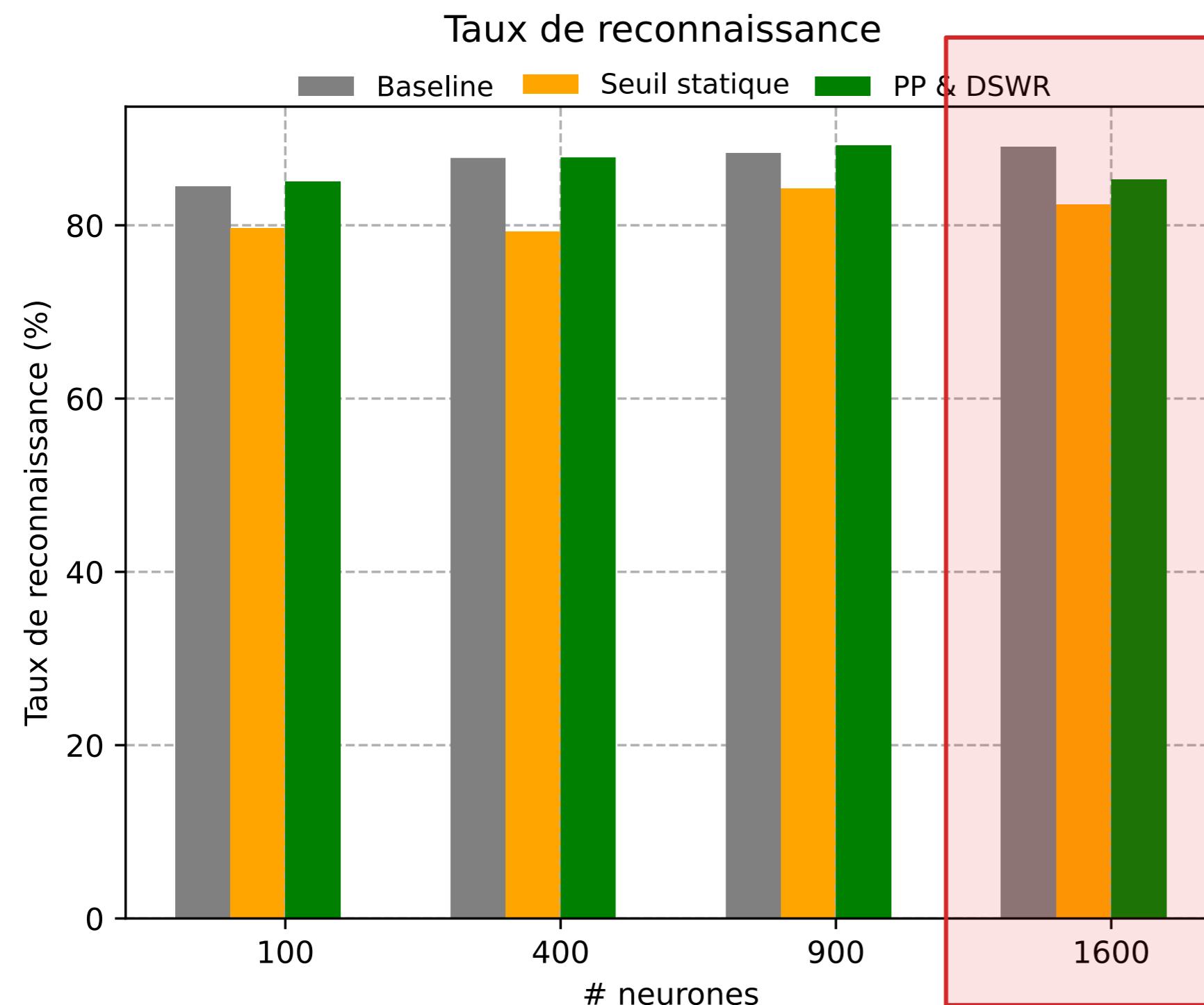
$$\alpha = 0.05$$

$$\beta = 0.10$$

# Compression progressive pour SNN

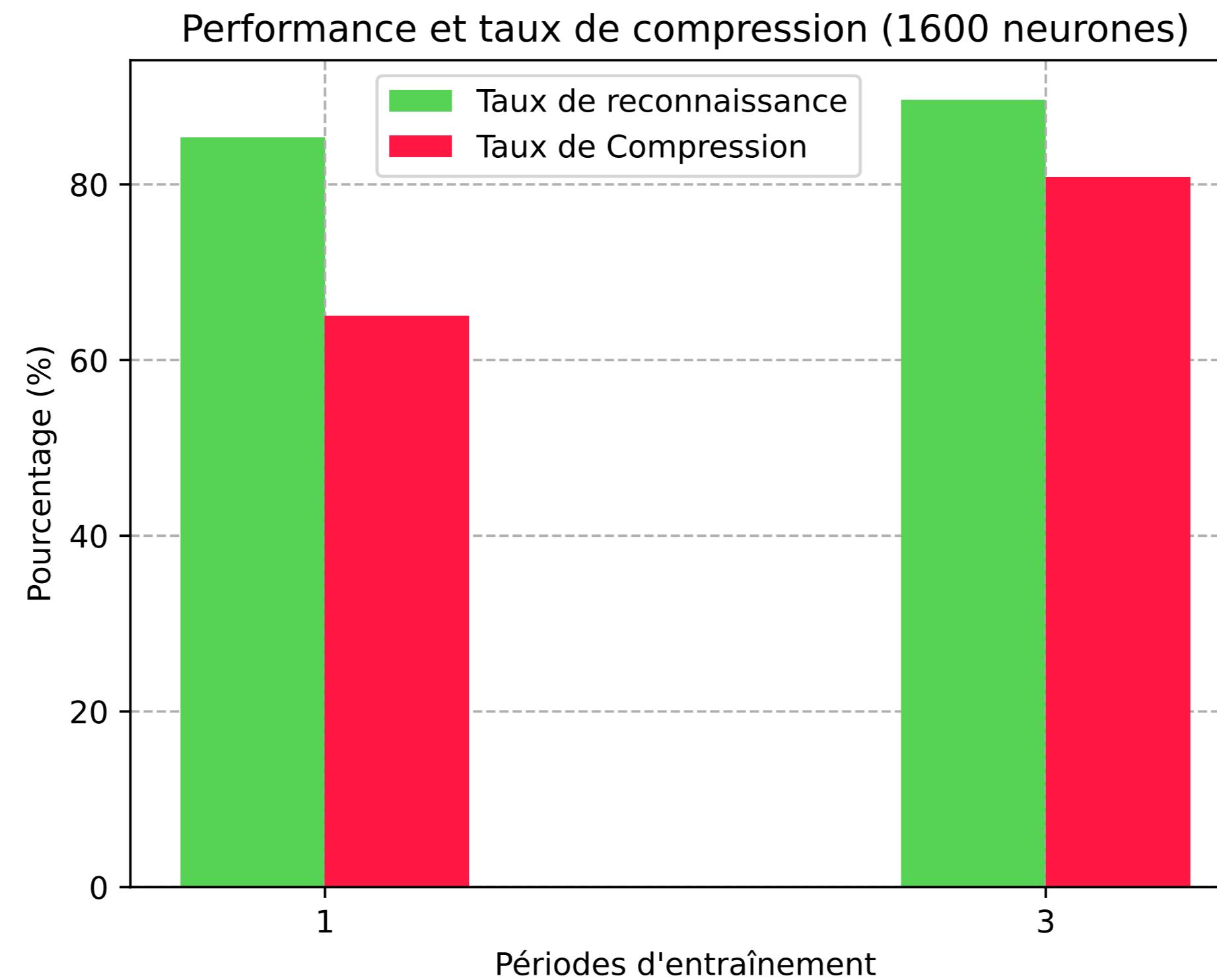


# Compression progressive pour SNN



# Compression progressive pour SNN

L'effet du nombre de période d'entraînement sur les grands réseaux



# CONCLUSION

# Conclusion

- Ultra-faible consommation d'énergie avec les réseaux de neurones à impulsions
- Combinaison de la visualisation et de la perception humaine pour une meilleure analyse visuelle
- Les simulateurs SNN fournissent des visualisations non adaptées à l'analyse visuelle
- Avec VS2N, une manière supplémentaire et différente d'analyser le comportement du réseau
- Grâce à VS2N, nous avons détecté un problème avec le simulateur utilisé
- Capacité d'analyser des jeux de données et des architectures plus complexes
- L'élagage est capable de réduire la taille du réseau
- L'élagage à seuil dynamique est une technique complémentaire
- Le moment d'application de l'élagage dépend de la taille et type du réseau.

# Travaux futurs

Gestion des données massives pendant l'analyse

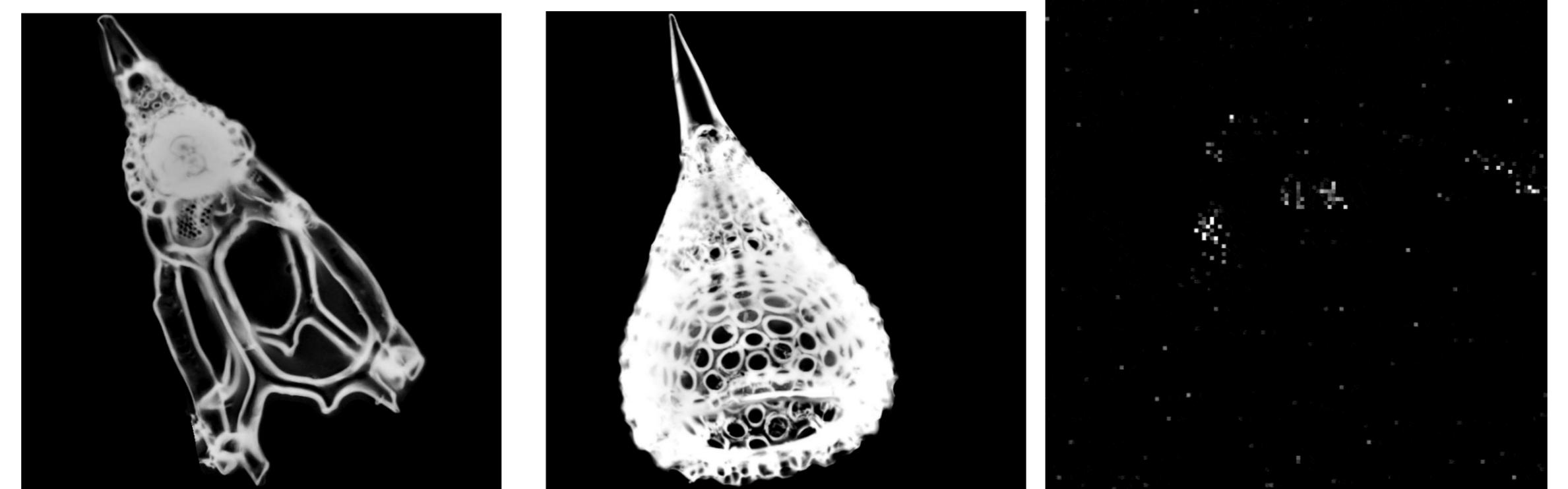
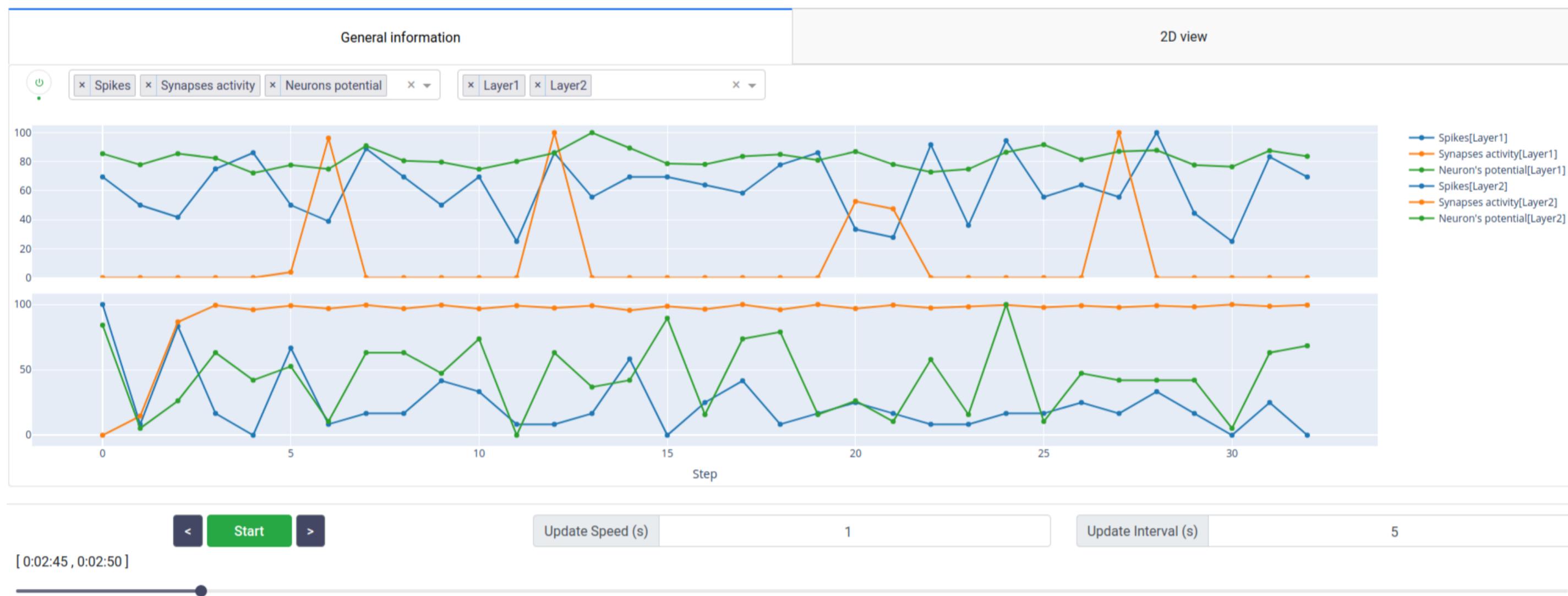
# de couches	Taille de trace de simulation	Temps de simulation
1	1GB	30min
2	40GB	2h
3	--	--

## Prétraitement avec Spark:

- Nécessite plus de temps
- Distribution sur plusieurs nœuds de cluster

# Travaux futurs

## VS2N: Analyse de réseaux de neurones multicouches



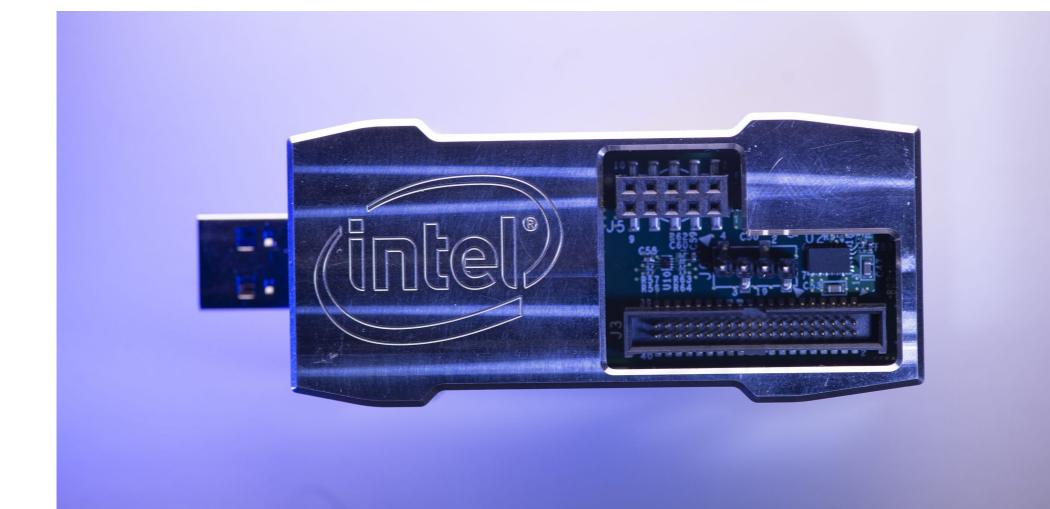
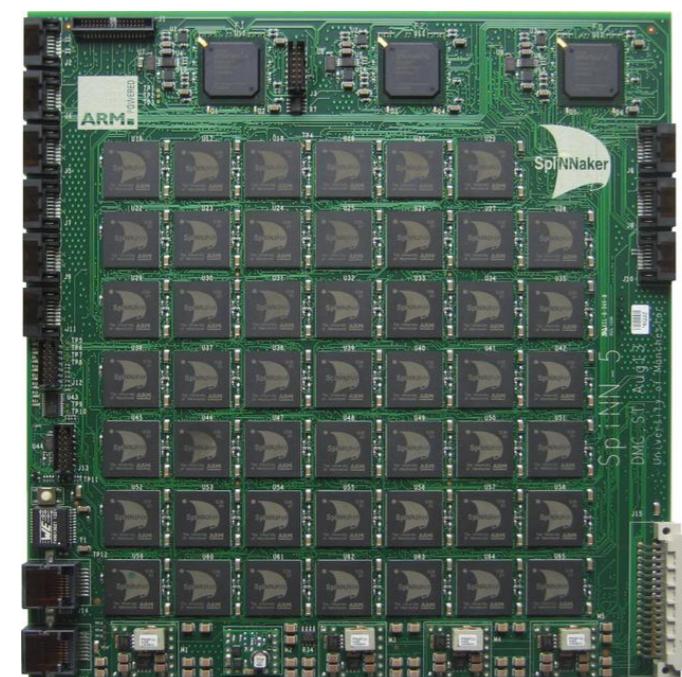
# Travaux futurs

Compression pour les réseaux de neurones multicouches

Architecture	Compression	Taux de reconnaissance	Temps de simulation
C1(100) - C2(100) - FC(100)	--	84.68%	6h 4m 17s
	88.93% - 96.30% - 86.99%	84.95%	6h 36m 20s

## Approches en cours d'étude

- La selection et l'optimisation de  $\alpha$  et  $\beta$
- Sélection de  $\alpha$  et  $\beta$  en fonction du nombre de neurones de la couche précédente et suivante
- Seuil différent pour les neurones d'une même couche



## Travaux scientifiques

### Conférences:

- H. Elbez, M. K. Benhaoua, P. Devienne and P. Boulet, "Visualization Techniques in SNN Simulators", 3rd International Conference on Multimedia Information Processing, CITIM'2018, Oct **2018**.
- H. Elbez, M. K. Benhaoua, P. Devienne and P. Boulet, "VS2N : Interactive Dynamic Visualization and Analysis Tool for Spiking Neural Networks", International Conference on Content-Based Multimedia Indexing (CBMI), pp. 1-6, **2021**.

### Journal:

- H. Elbez, M. K. Benhaoua, P. Devienne and P. Boulet, "Progressive compression and weight reinforcement for spiking neural networks", Concurrency Computat Pract Exper, **2022**.

## Autres contributions

- VS2N: <https://gitlab.univ-lille.fr/bioinsp/VS2N>
- V. Carlsson, T. Danelian, P. Boulet, P. Devienne, H. Elbez, Laforge, "Artificial Intelligence and Micropaleontology: a case study from the Eocene genus Podocyrtis", 27e edition de la Réunion des Sciences de la Terre **2021**.
- H. Elbez, "VS2N: Outil d'analyse interactive de réseaux de neurones à impulsions", Workshop INSIS - IA pour les sciences de l'ingénierie, CNRS, juin **2022**.