

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

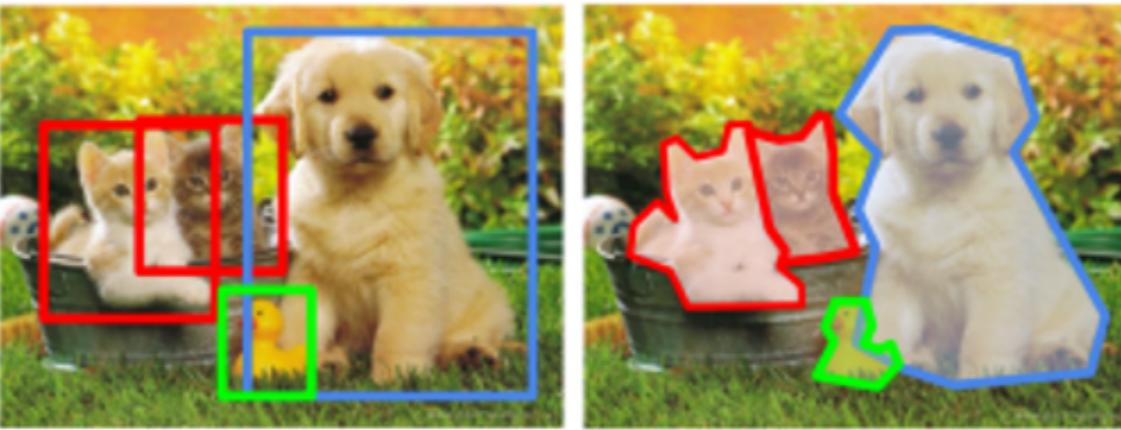


INTRODUCTION

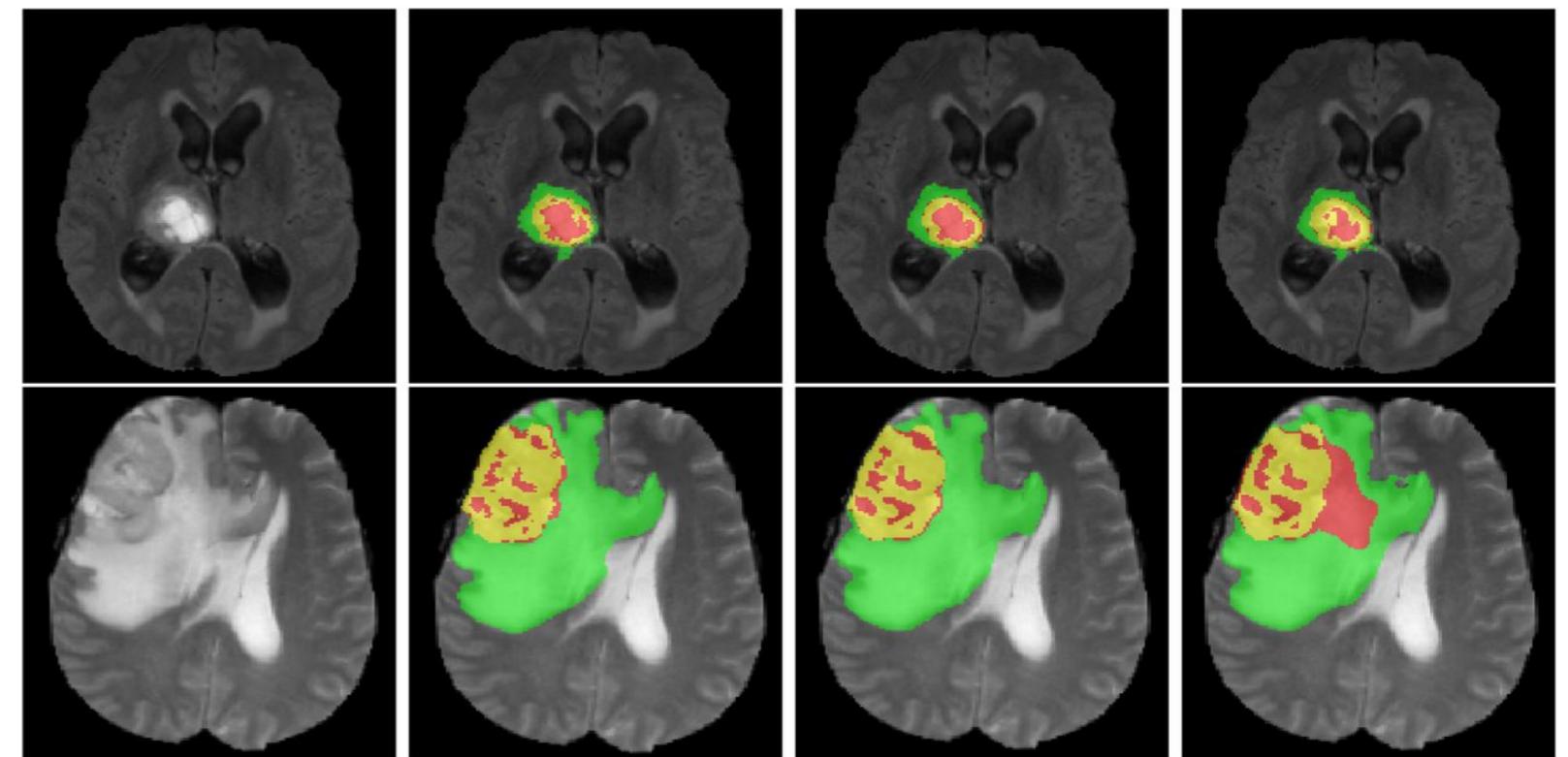
Classification



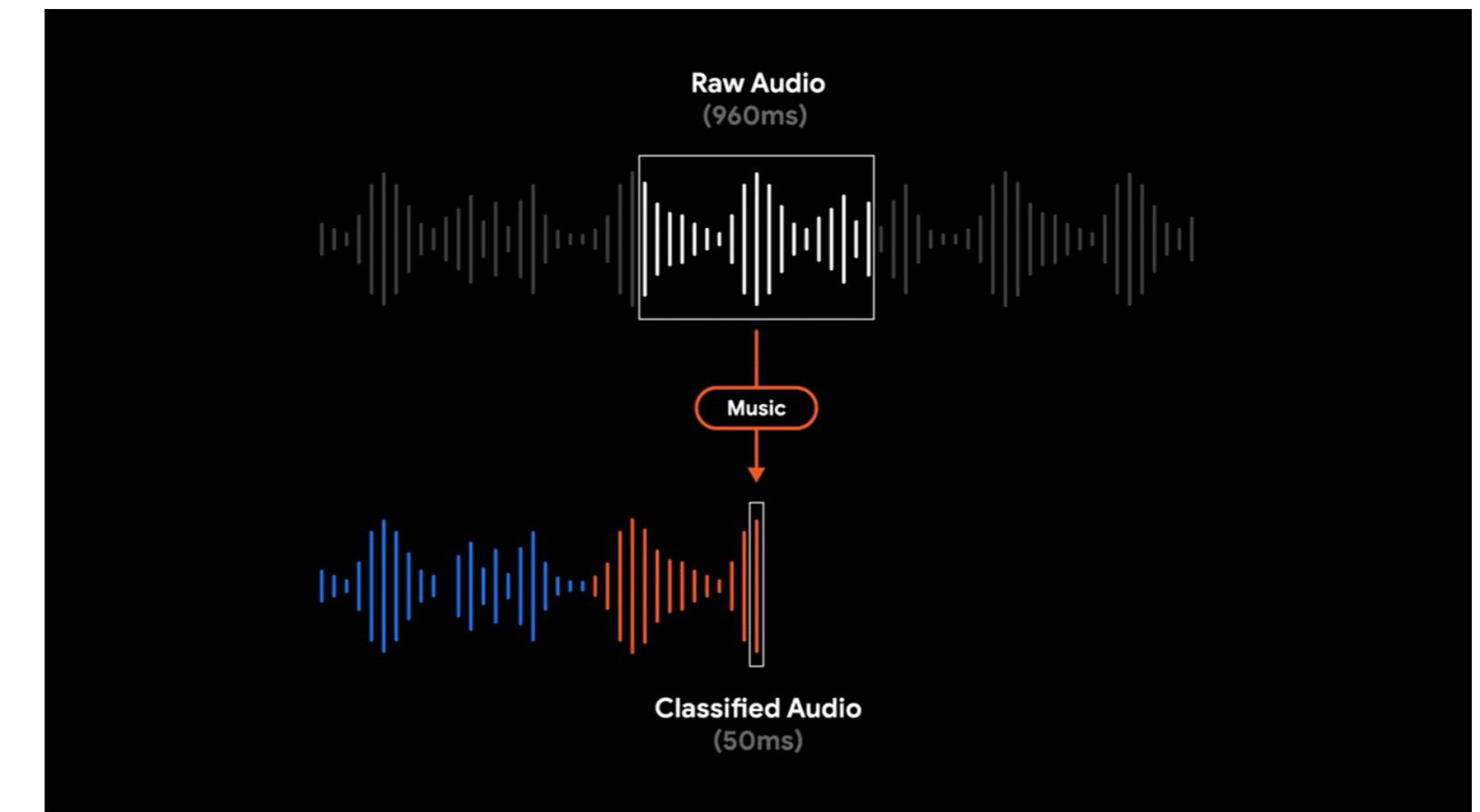
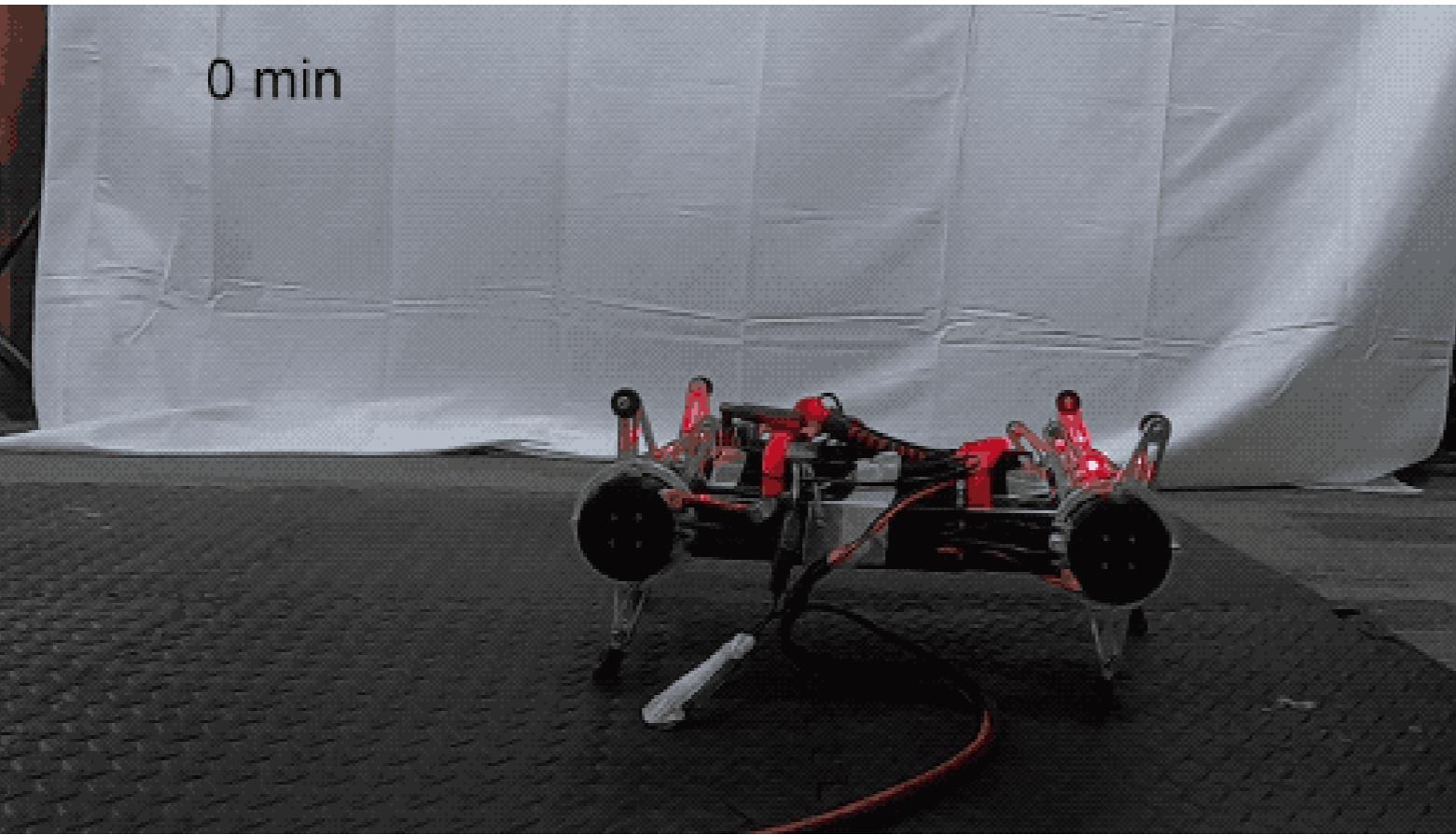
Détection

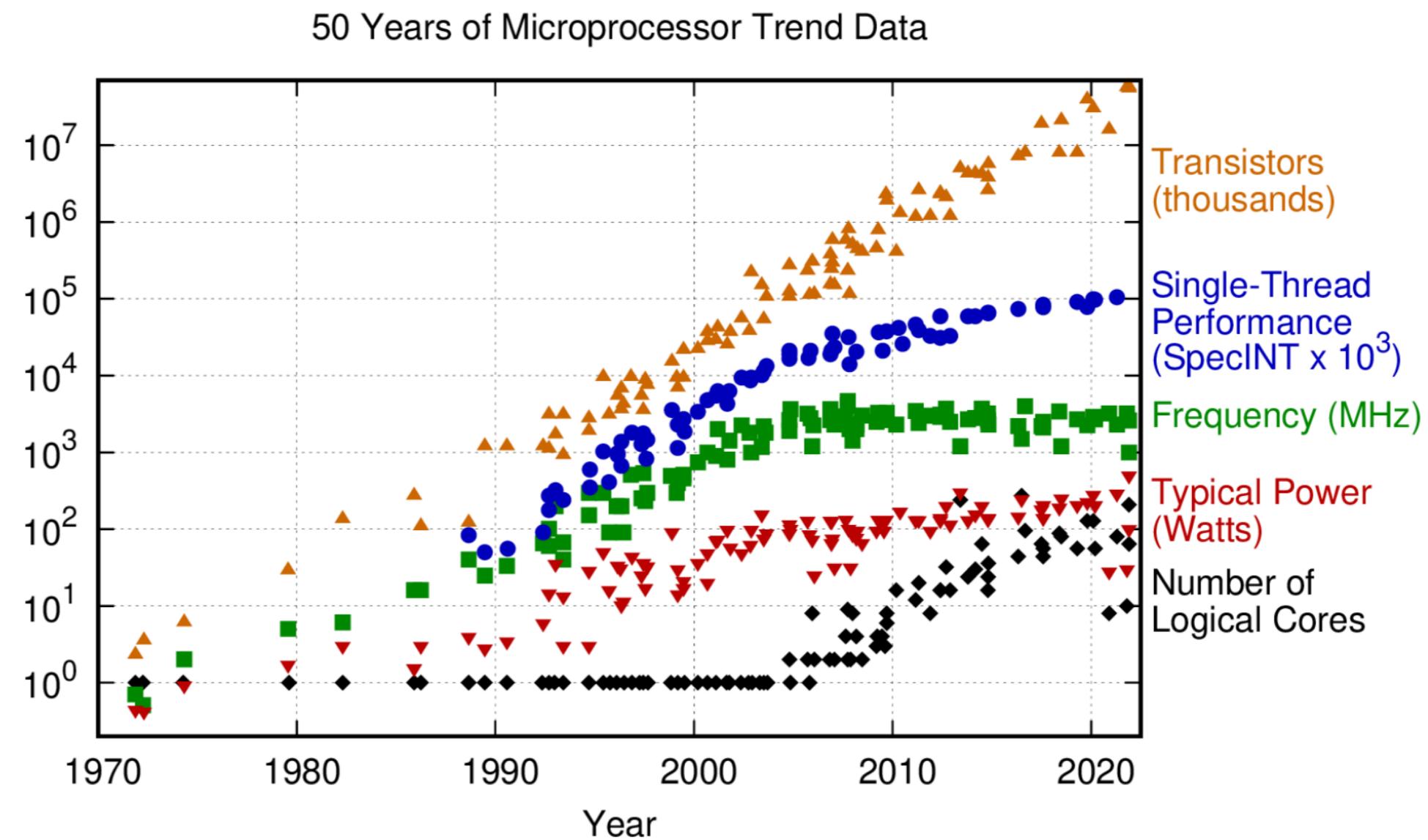
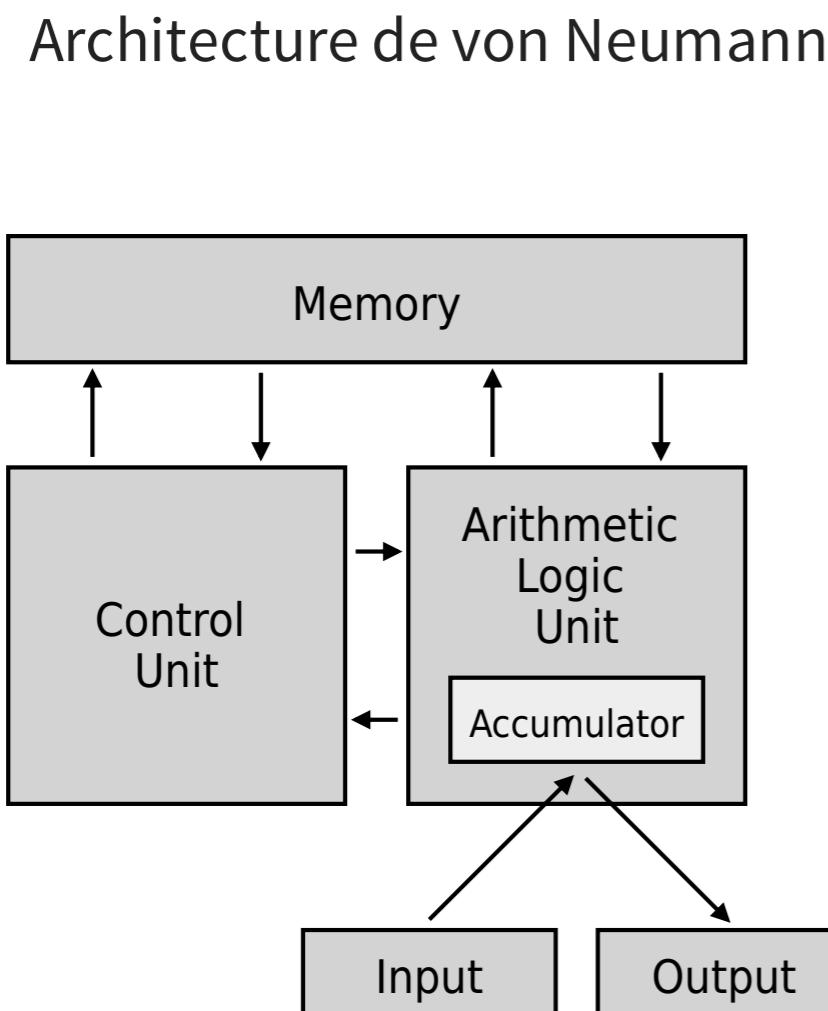


Segmentation

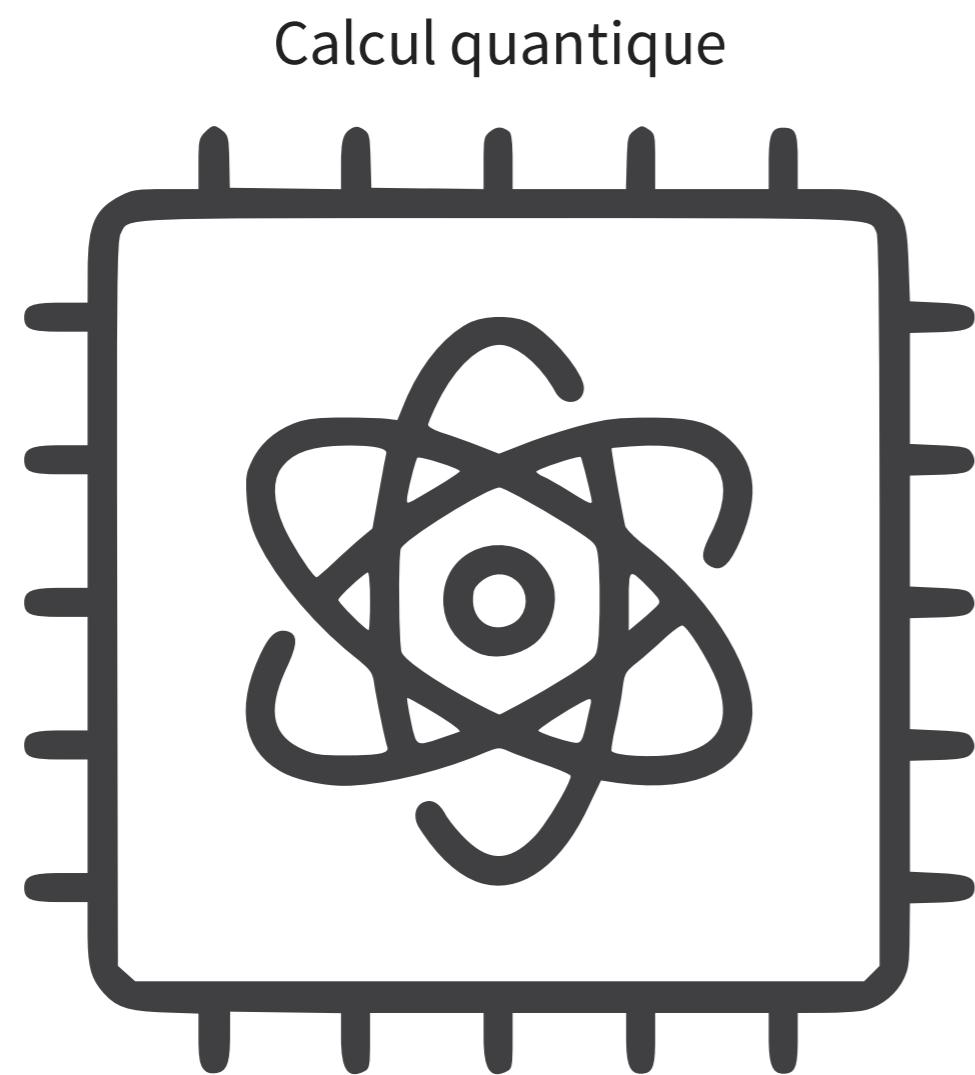


0 min

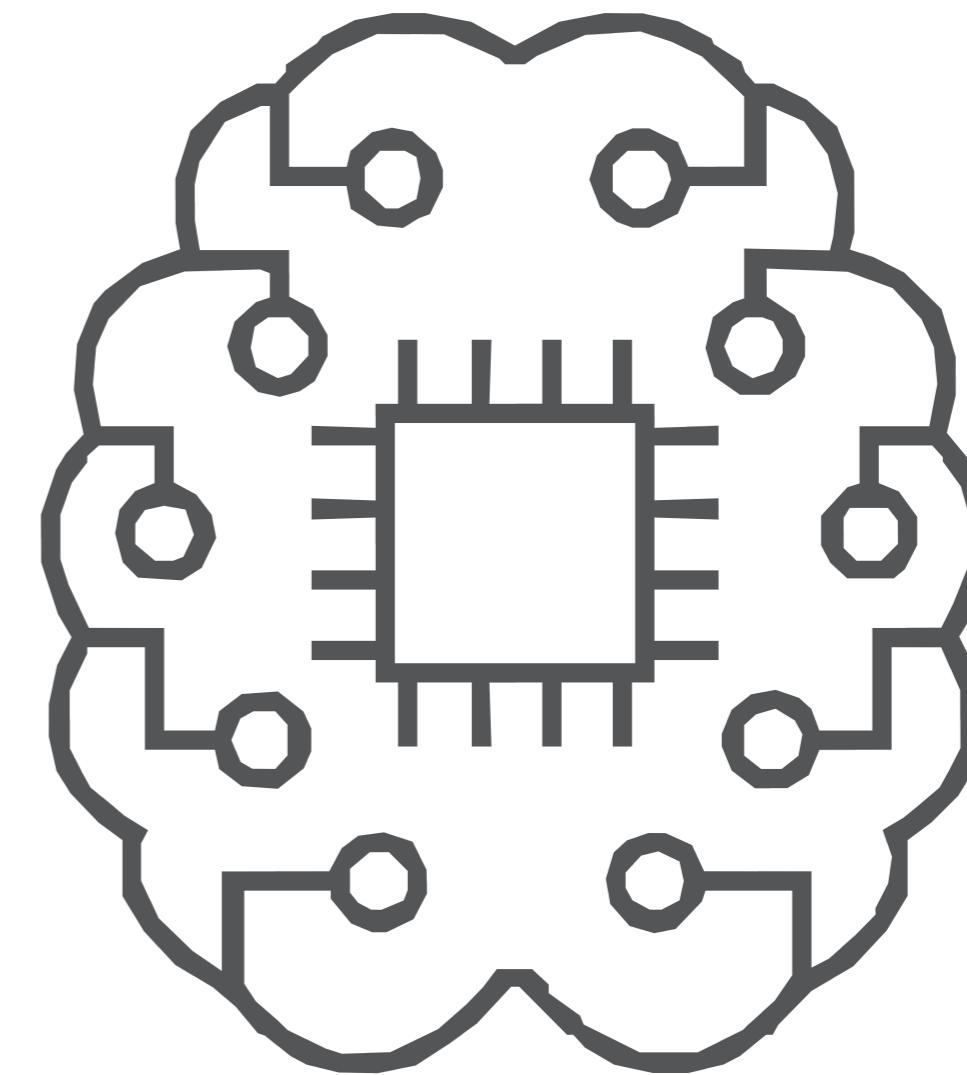




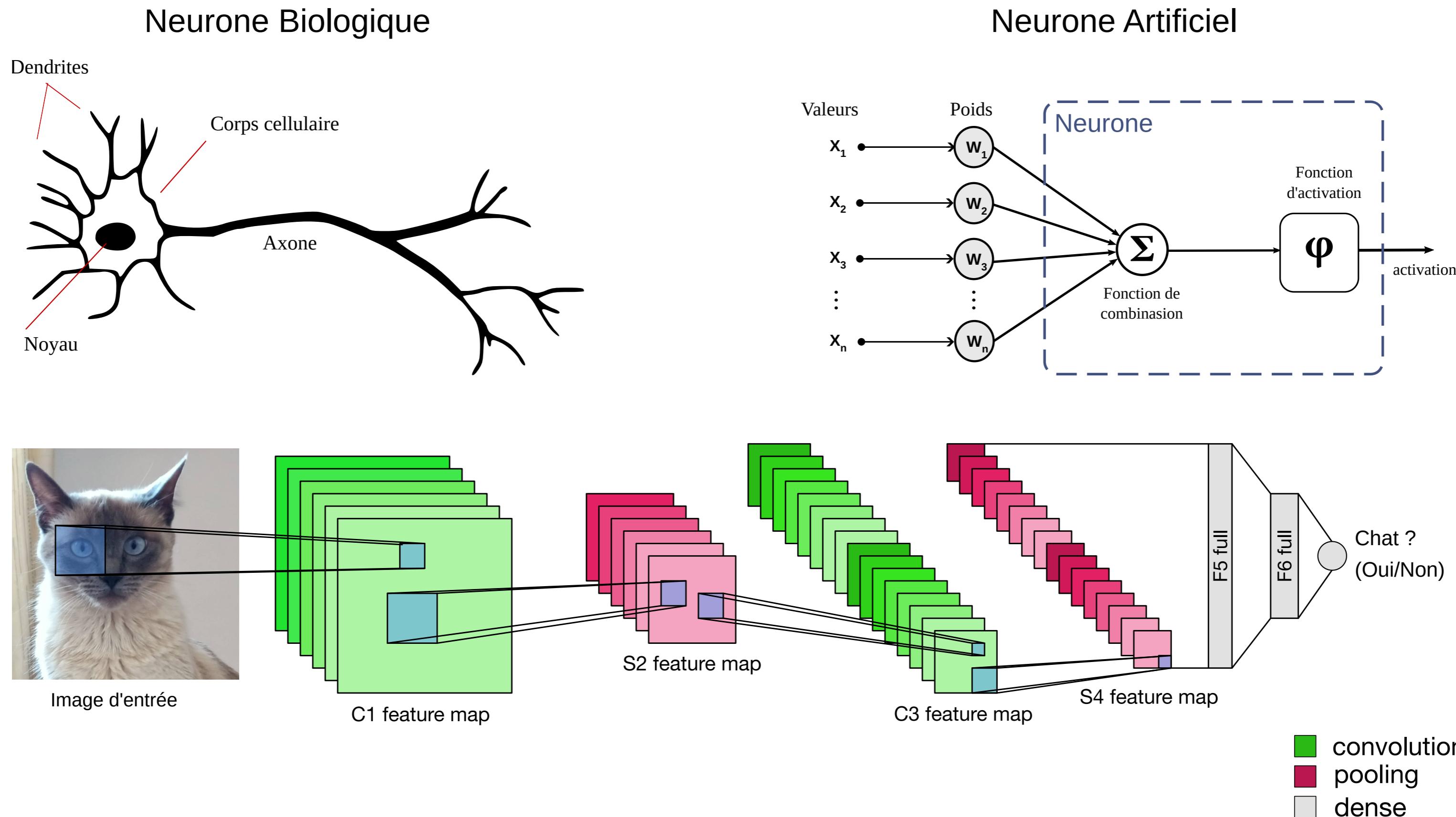
- La limite de l'architecture de Von Neumann
- La fin de la loi de Moore:
 - problème de dissipation de chaleur



Architectures neuromorphiques

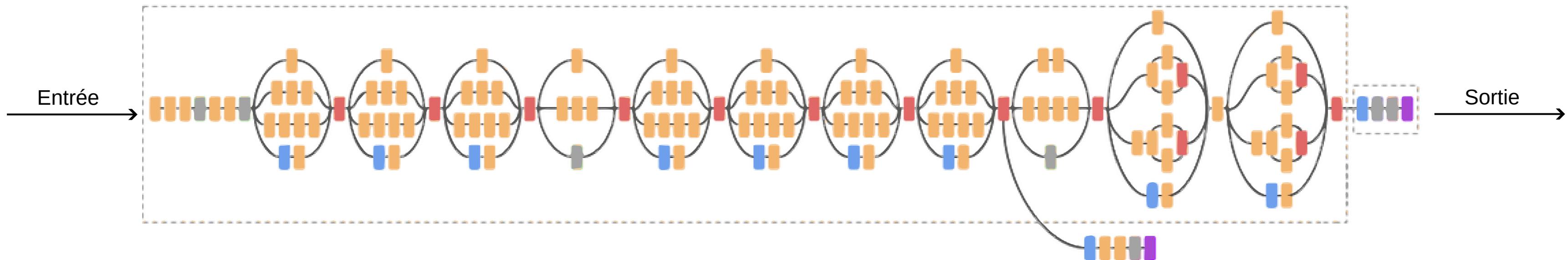


Les réseaux de neurones



Les réseaux de neurones

Plus c'est profond, meilleur sera le résultat

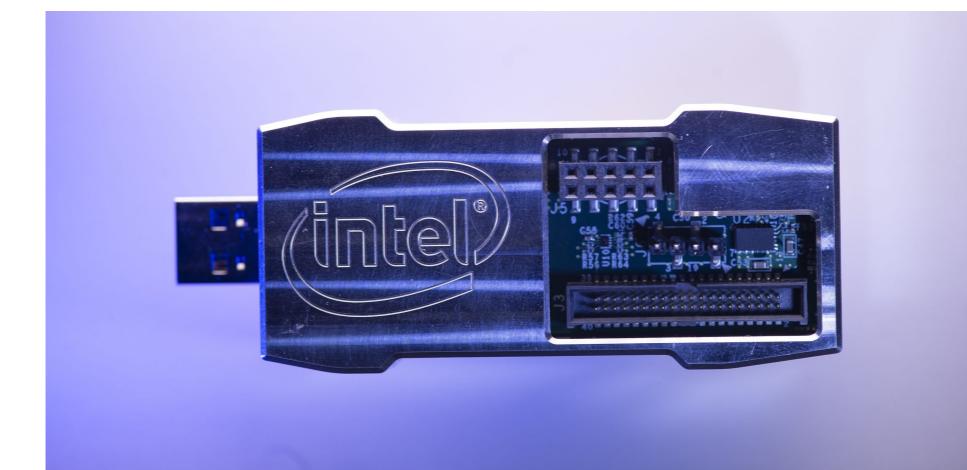
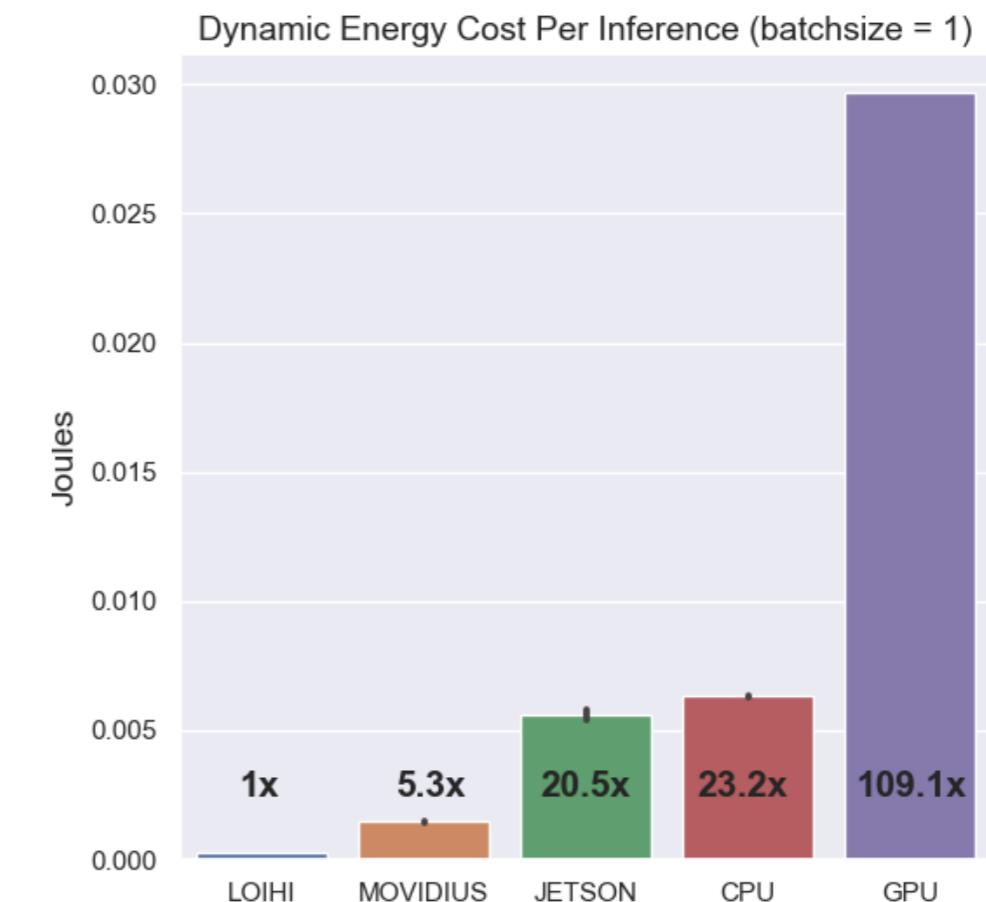
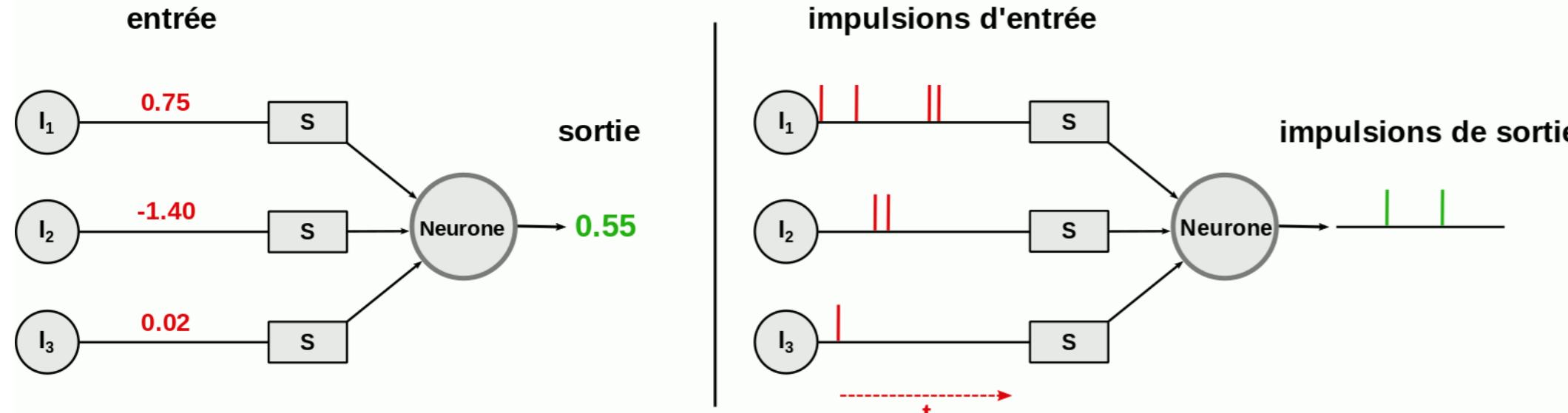


Les grandes critiques des réseaux de neurones

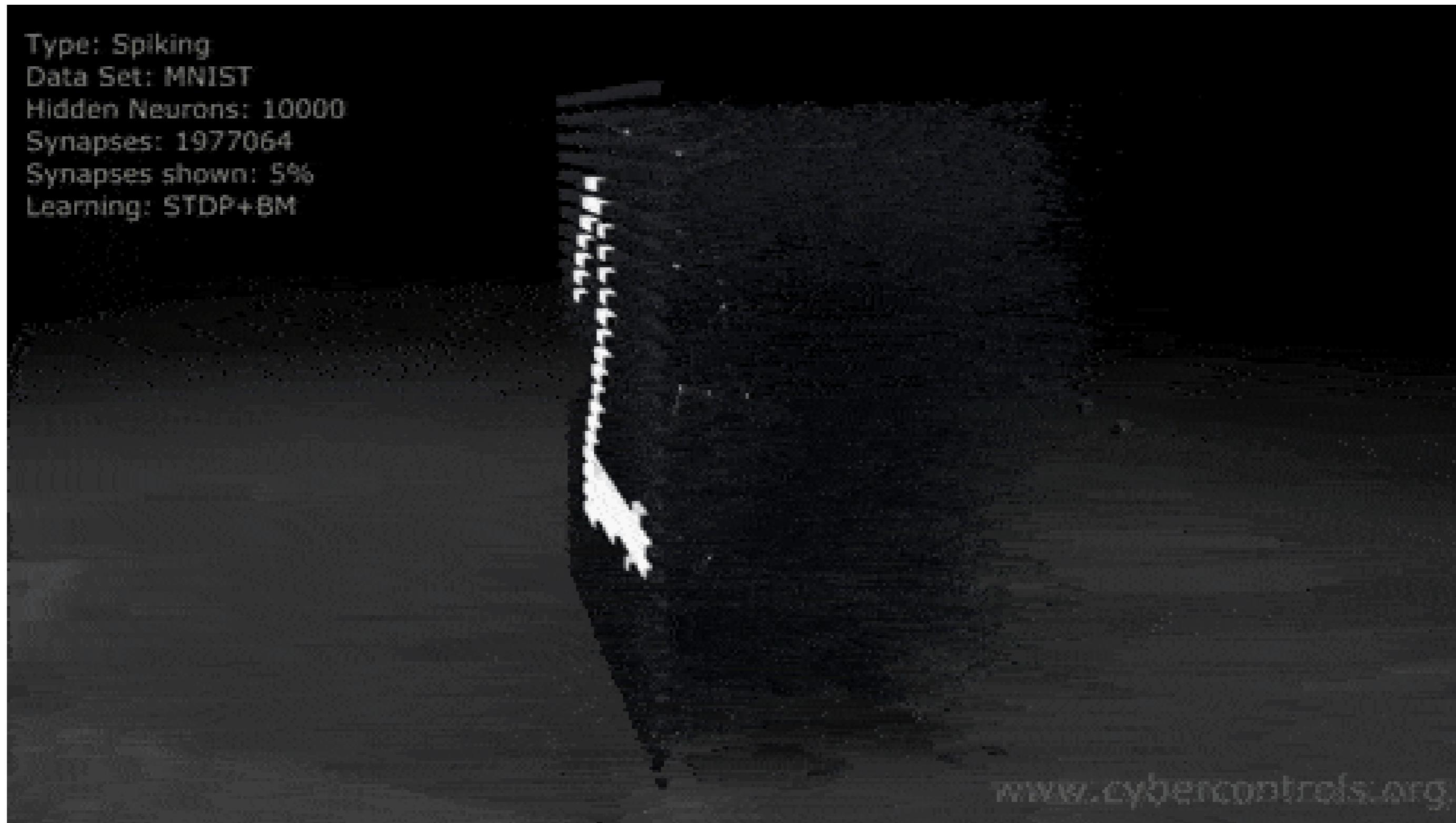
- l'énorme consommation d'énergie
- le besoin de beaucoup de données pour être performant
- Le besoin de puissance de calcul supplémentaire

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

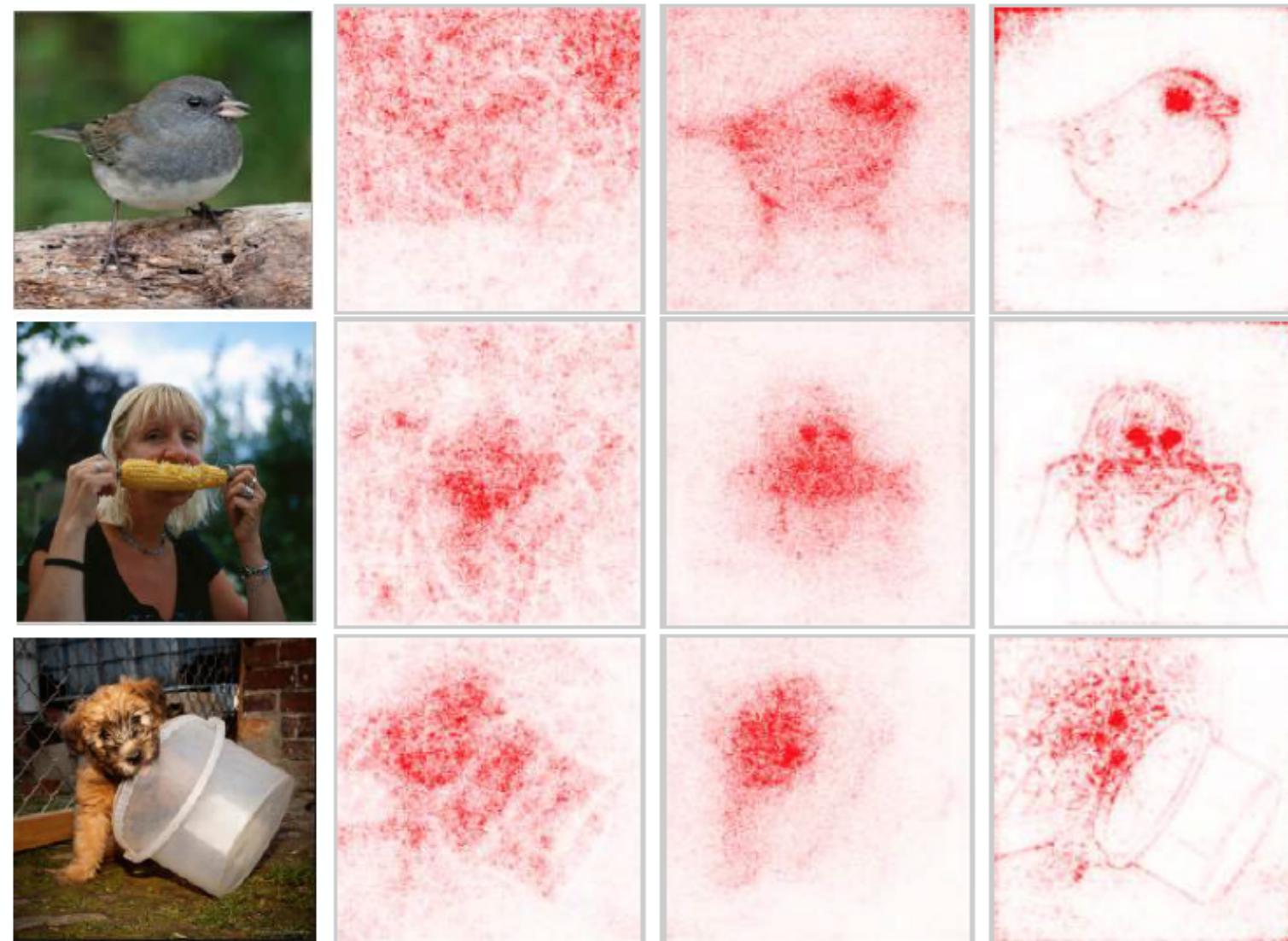
- Exploration de l'analyse visuelle pour SNN
- Analyse de l'activité interne du réseau

Défis

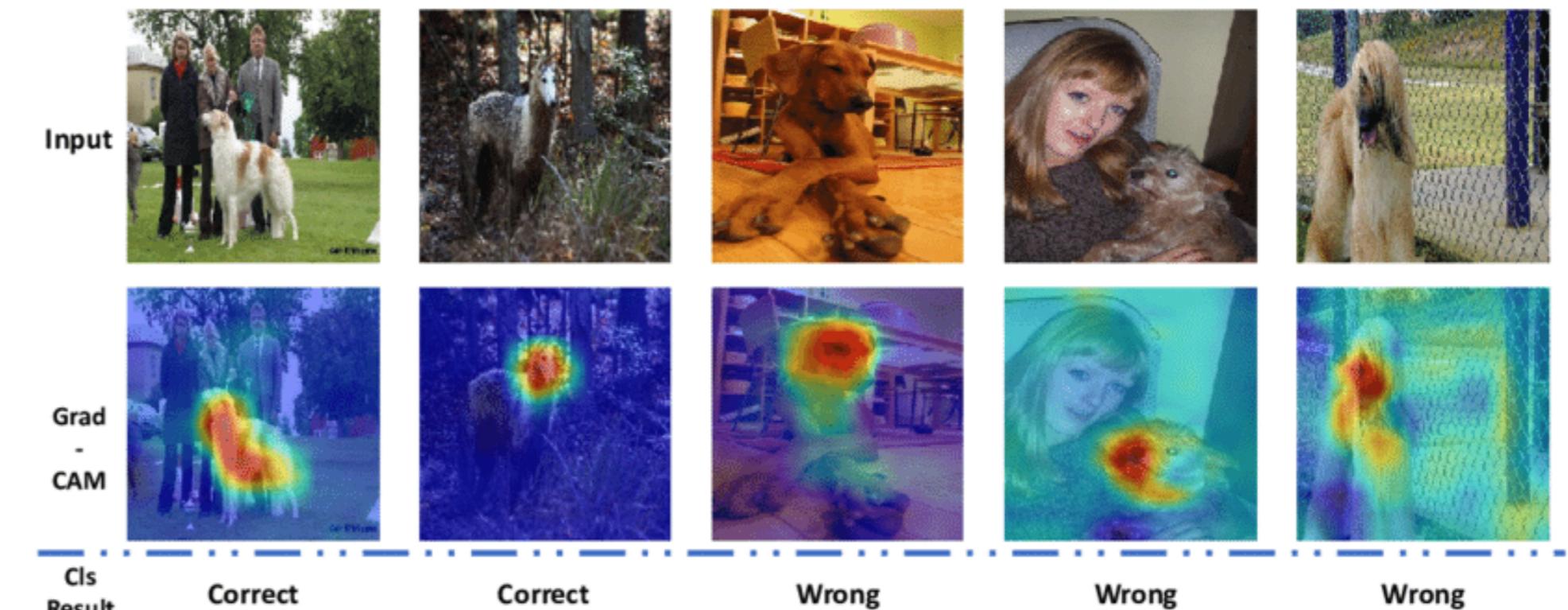
- La nature spatio-temporelle des données
- L'analyse de mégadonnées
- Amélioration du SNN basée sur l'analyse visuelle
- Outils pour l'analyse interne du SNN

ANALYSE VISUELLE

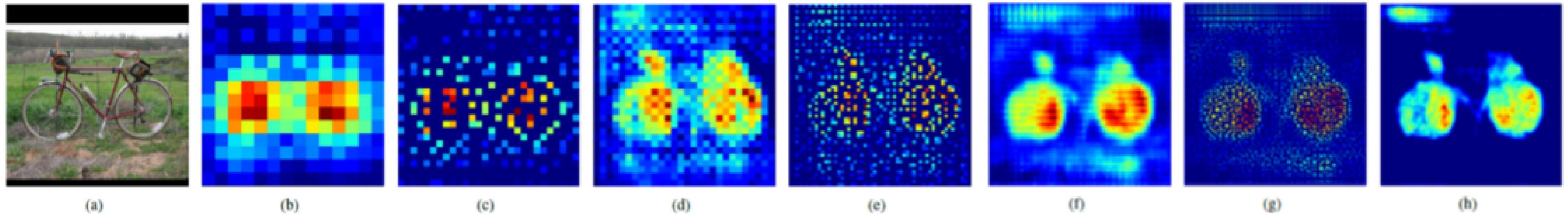
Analyse visuelle



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:

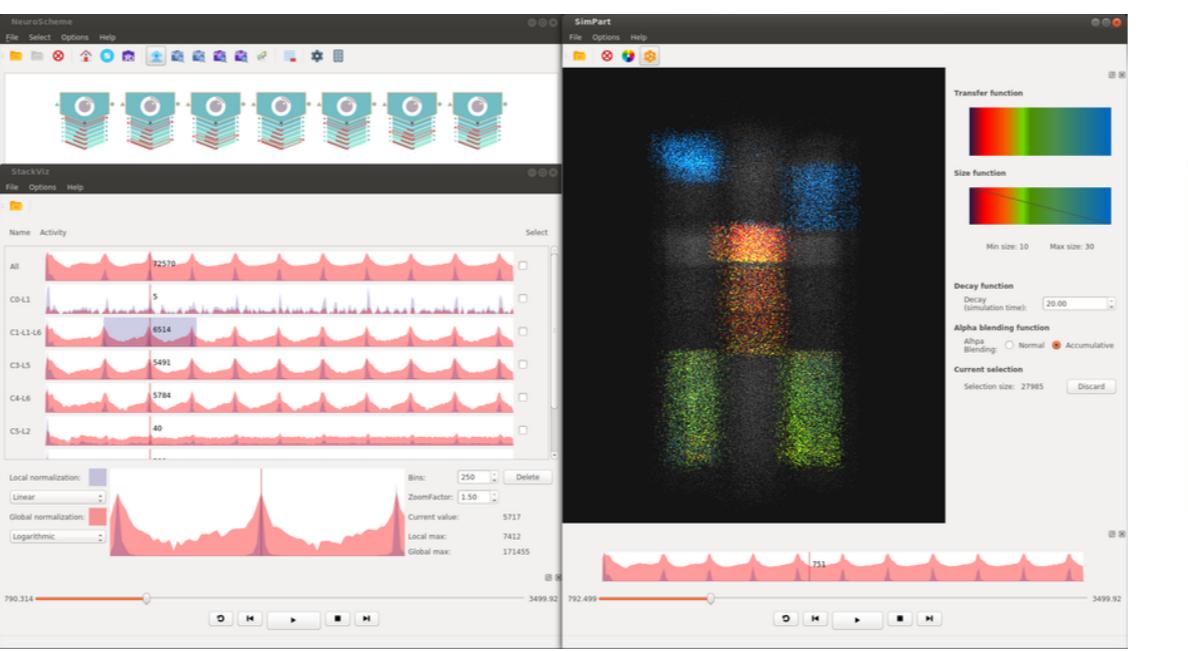
Vs2N: OUTIL DE VISUALISATION POUR SNN

Outils d'analyse visuelle

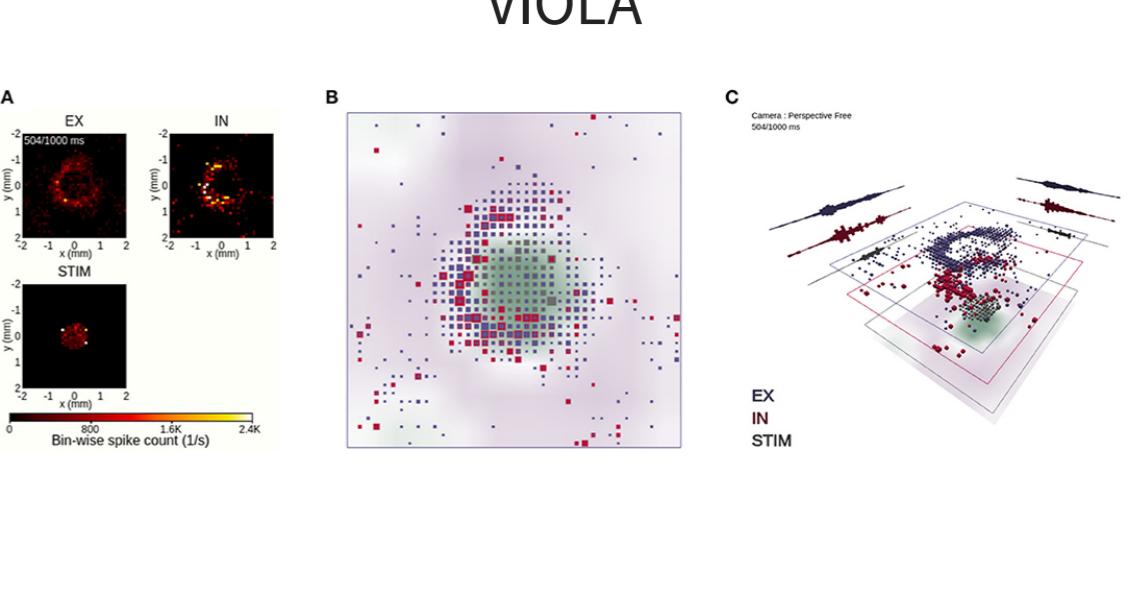
LSTMVis



ViSimpl



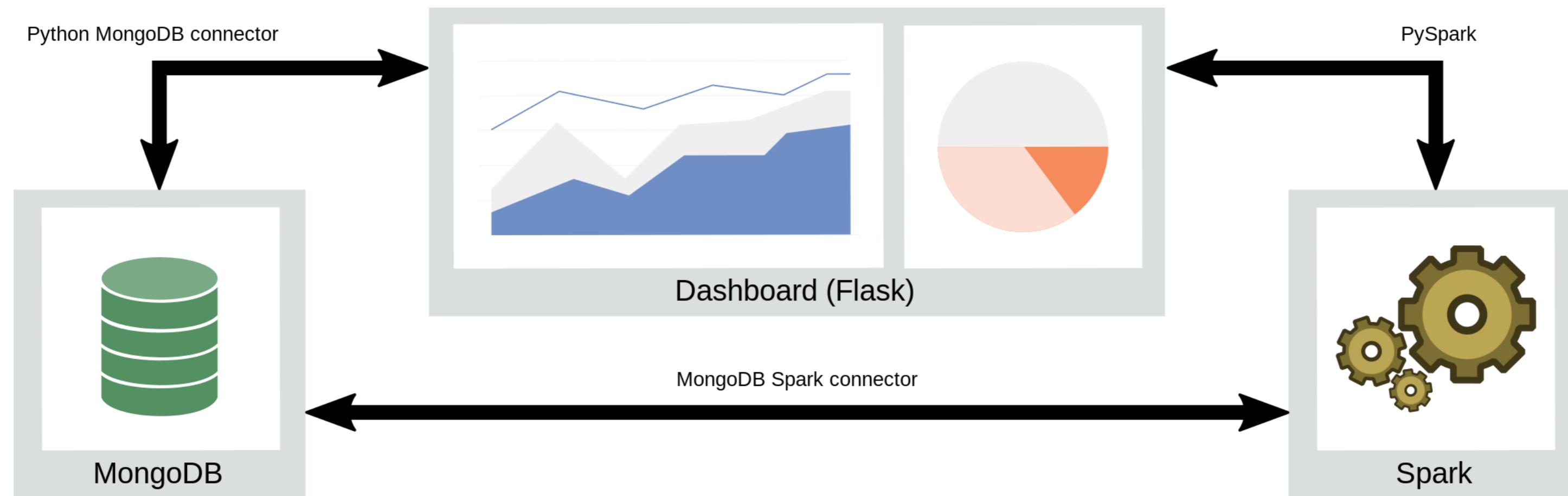
VIOLA



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

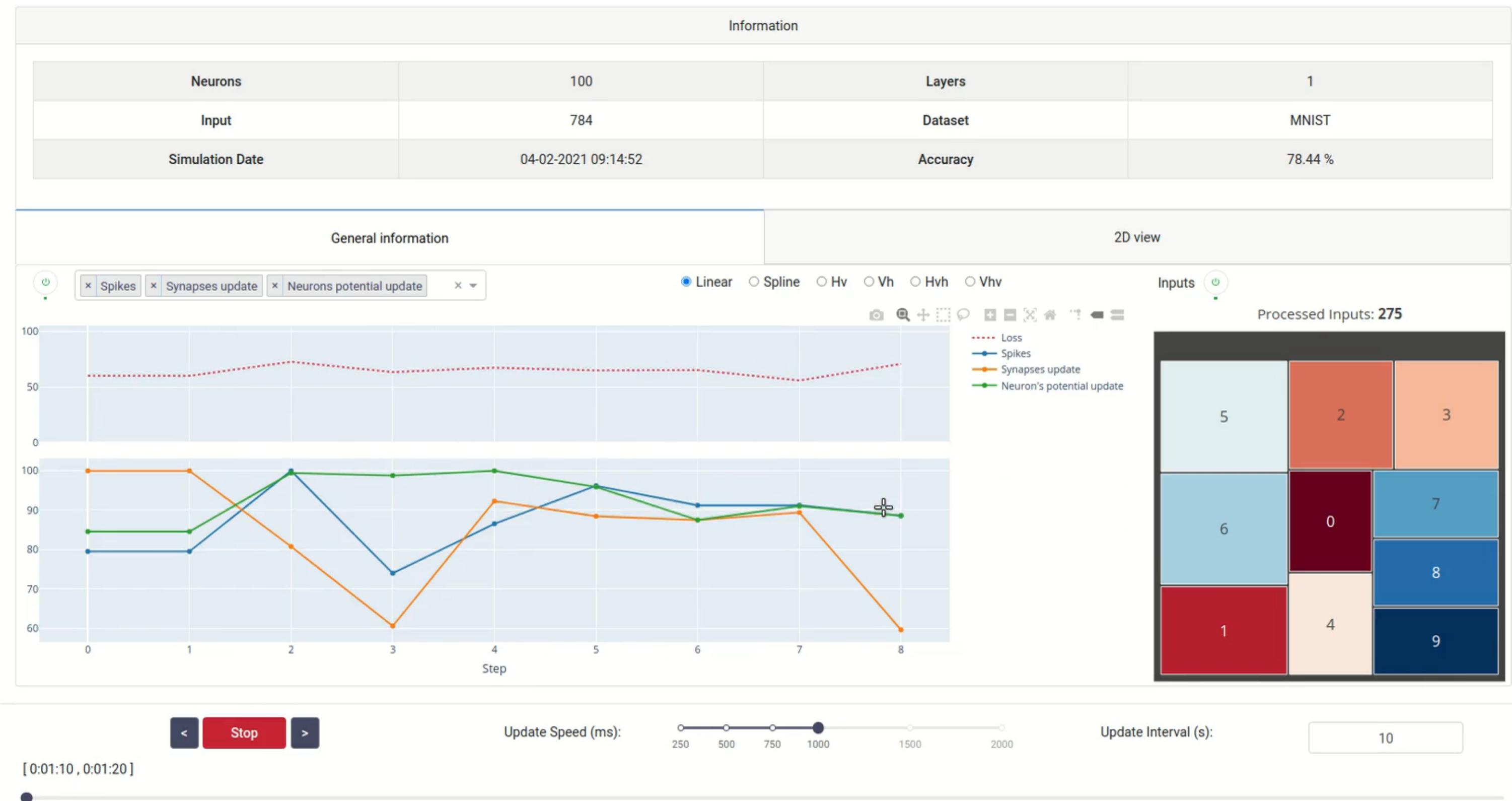
VS2N (Visualization tool for Spiking Neural Networks)



- Scalabilité
- Modularité
- Indépendance du simulateur
- Analyse dynamique

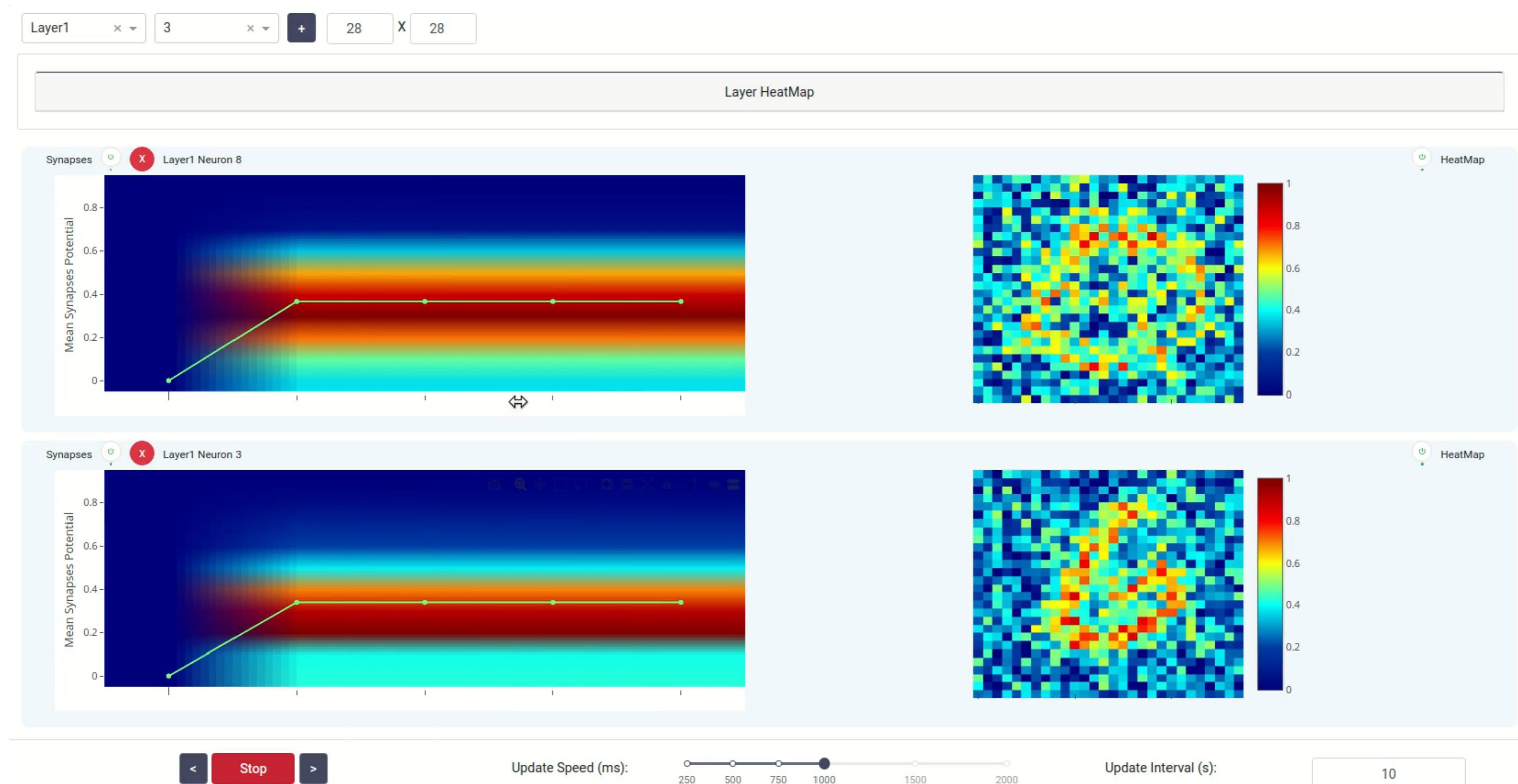
Modules de VS2N

MODULE D'ANALYSE GÉNÉRALE



Modules de VS2N

MODULE D'ANALYSE SYNAPSE



Modules de VS2N

MODULE D'ANALYSE DES NEURONES



V_{S2N}: CAS D'UTILISATION

I - MNIST

En utilisant l'ensemble de données MNIST:

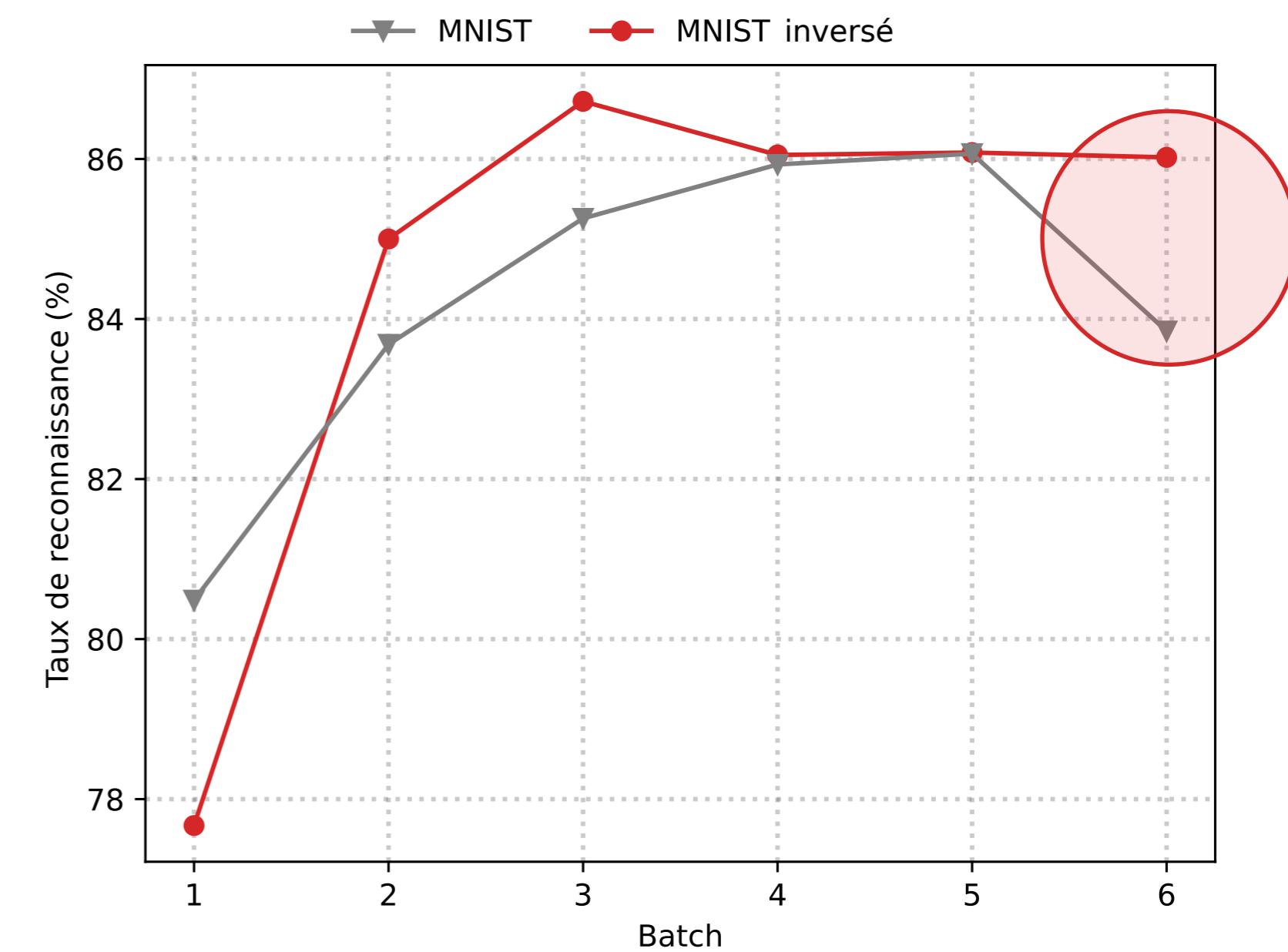
- Une baisse de précision lors de dernier batch de MNIST
- Un batch = 10000 images

Objectif

Surveillance de l'activité durant le dernier batch

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

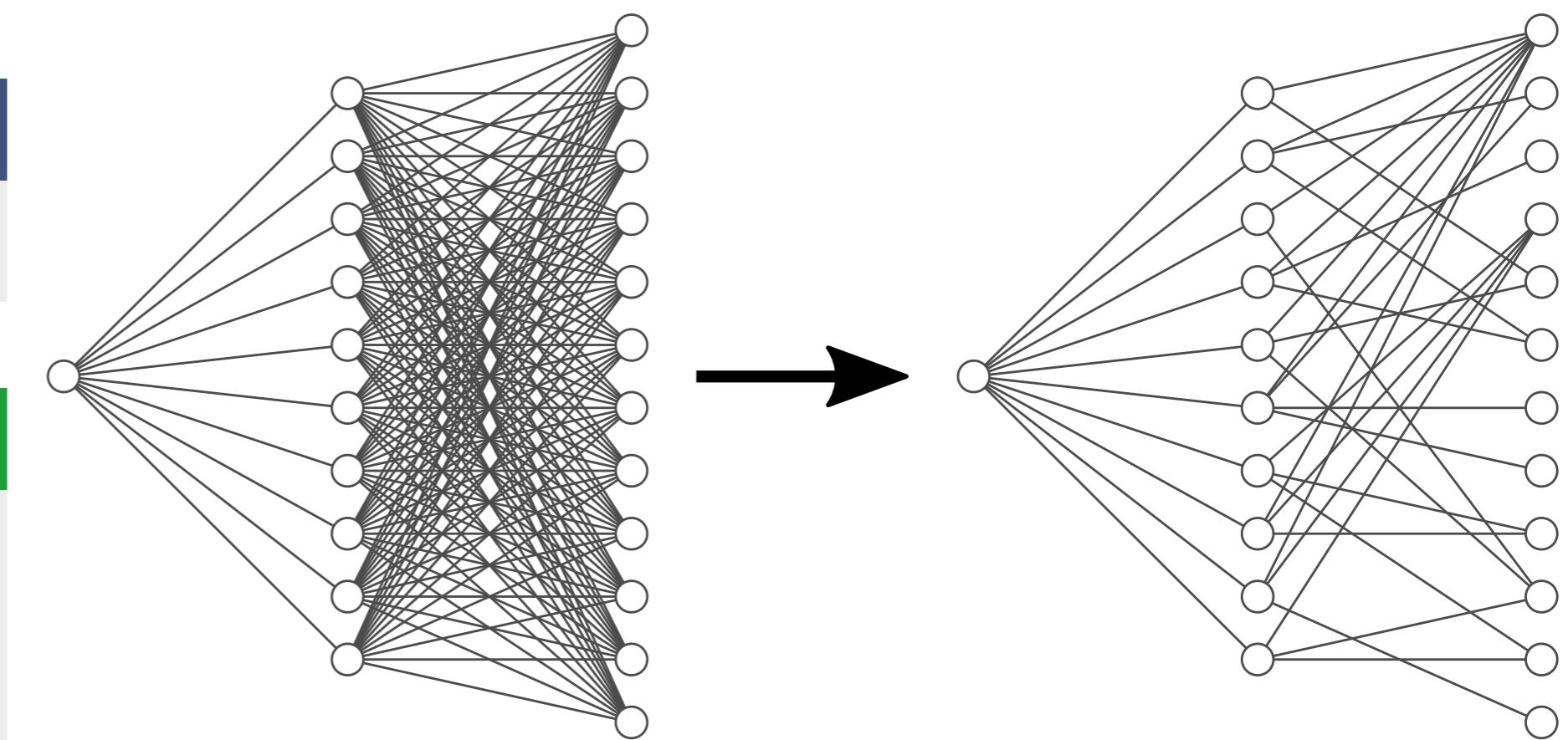
- Application de l'opération d'élagage sur les synapses
- seuil = 0,2

Objectif

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

Configuration

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



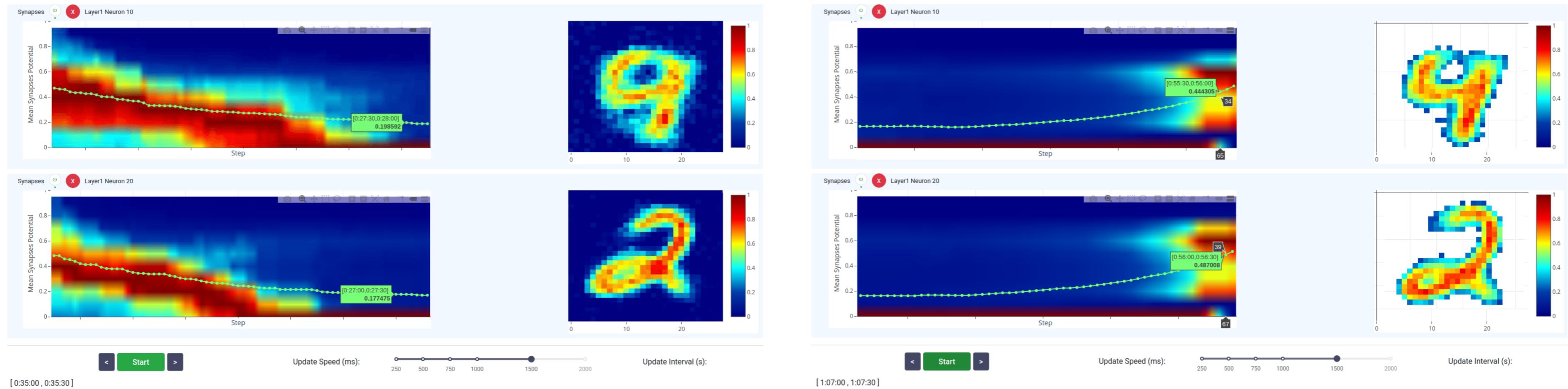
II - la compression



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

- La compression produit un réseau plus petit
- **Lottery ticket hypothesis :**
"Un réseau de neurones initié de manière aléatoire contient un sous-réseau qui, s'il est isolé et formé seul, peut atteindre la précision du réseau d'origine."

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 :

- Enlevez des synapses à un stade précoce
- Apprentissage après élagage

Compression progressive pour SNN

Élagage progressive

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

α : seuil initial

C_{rn} : nombre de synapses restantes

C_n : nombre total de synapses

Renforcement dynamique des poids synaptiques

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

β : constante définie

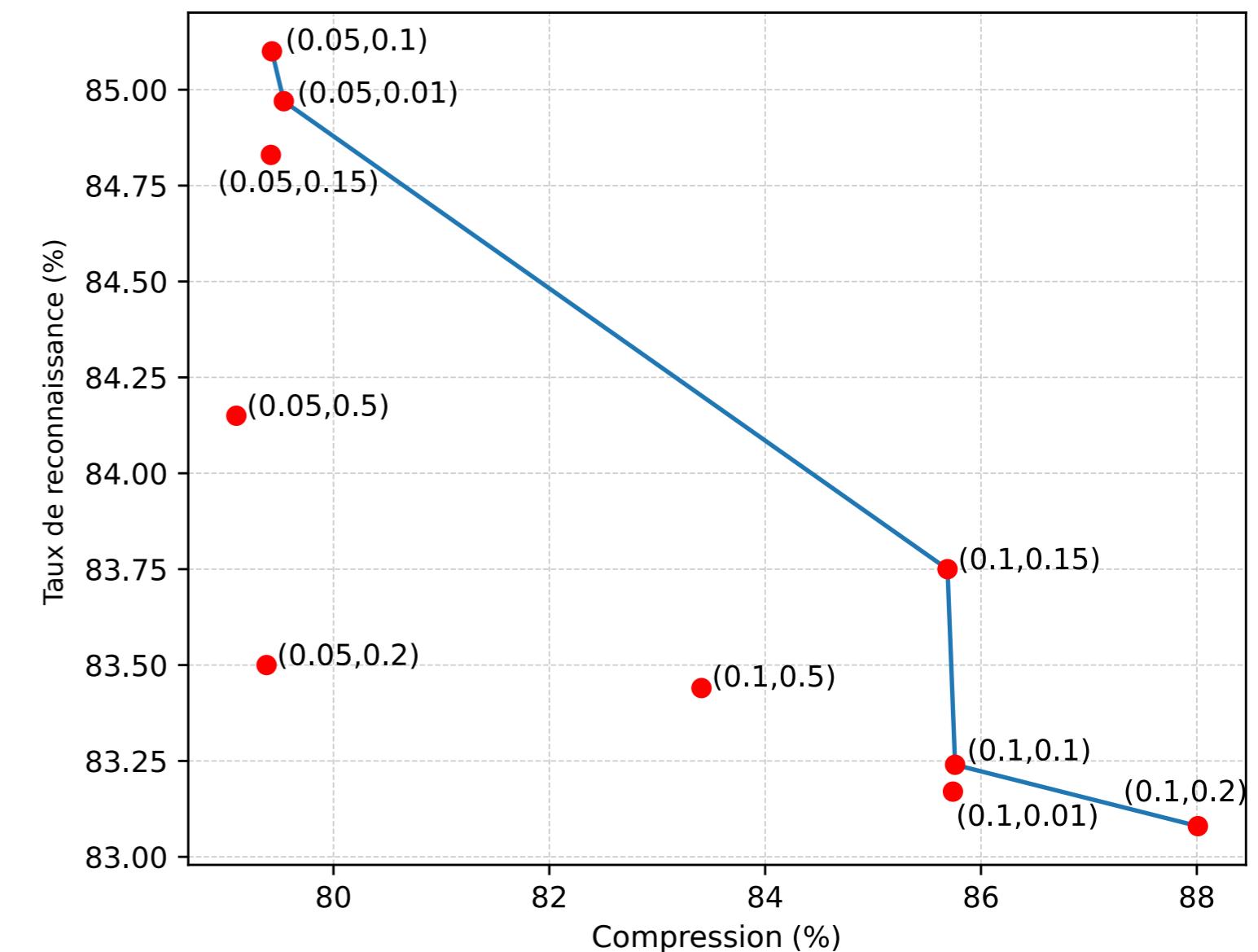
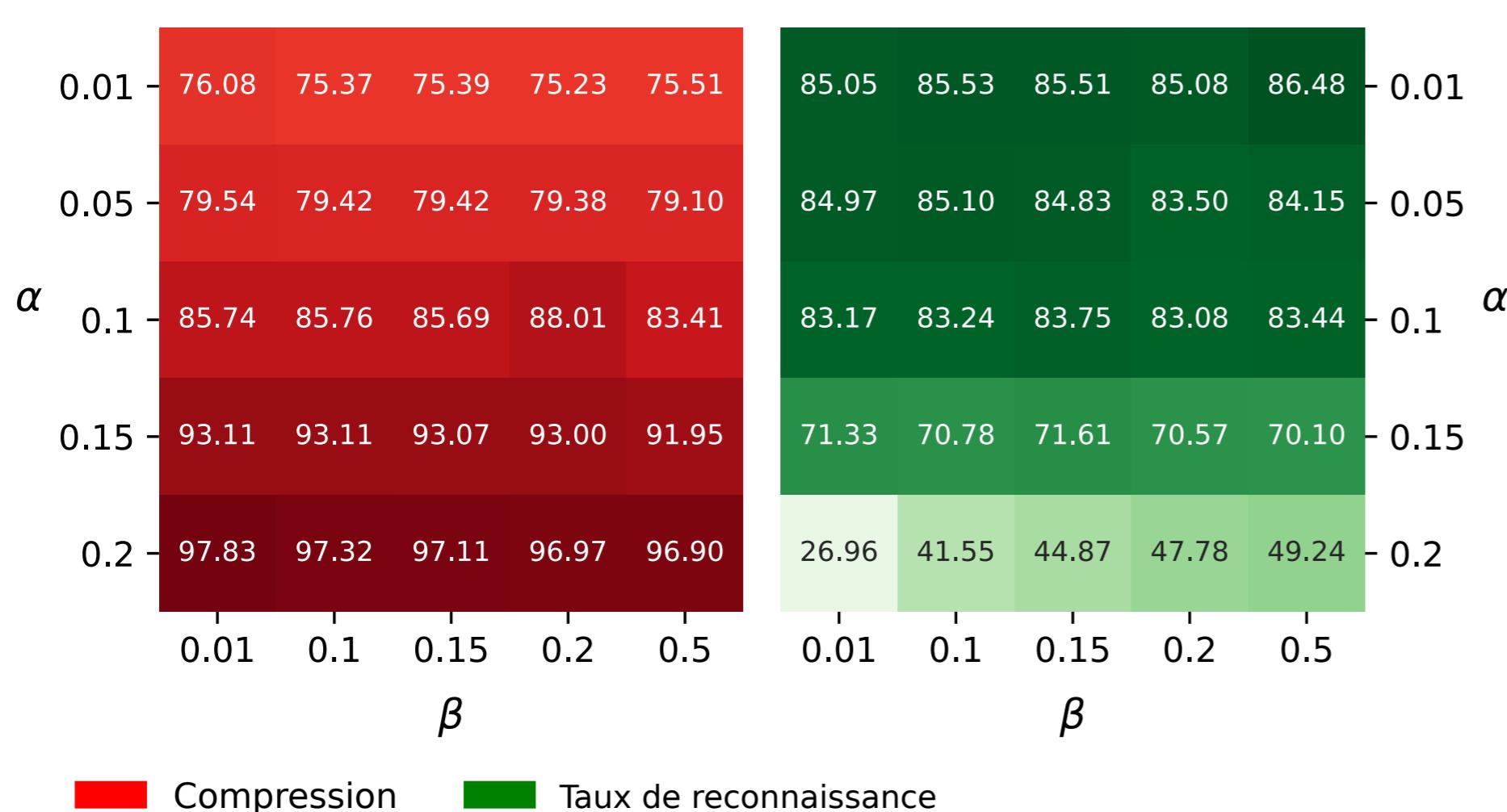
W_n : poids actuel

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])

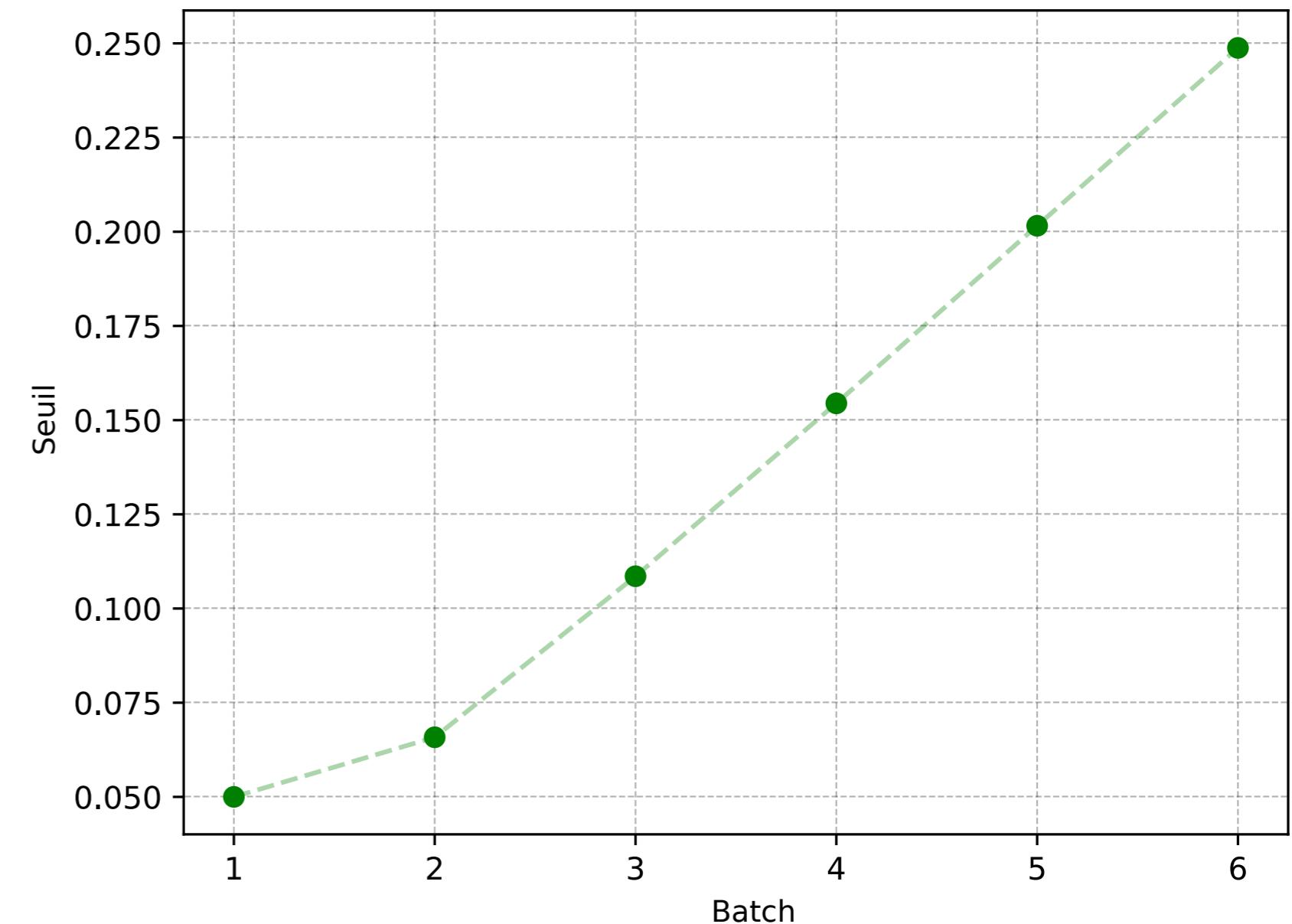
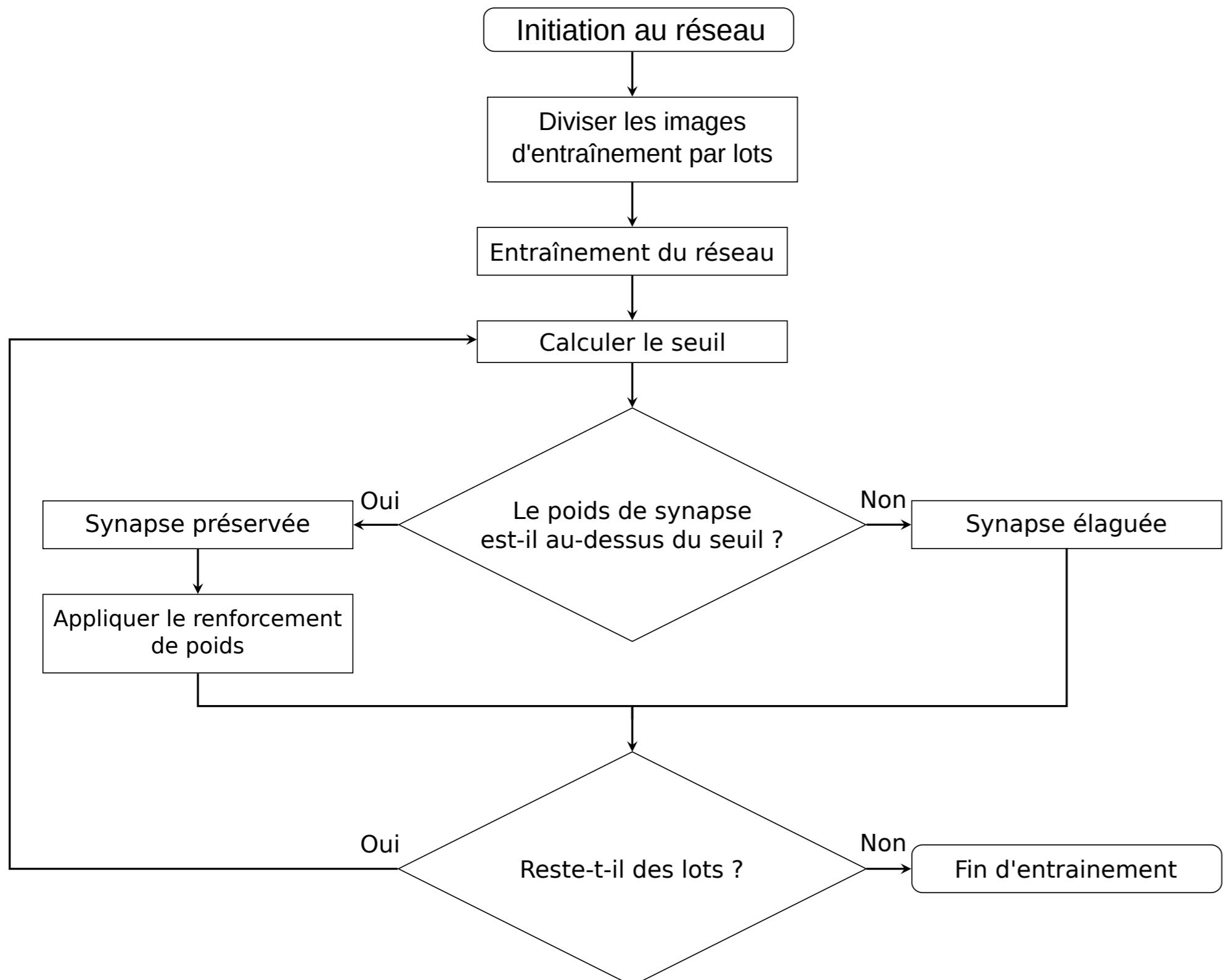
Sélection des paramètres



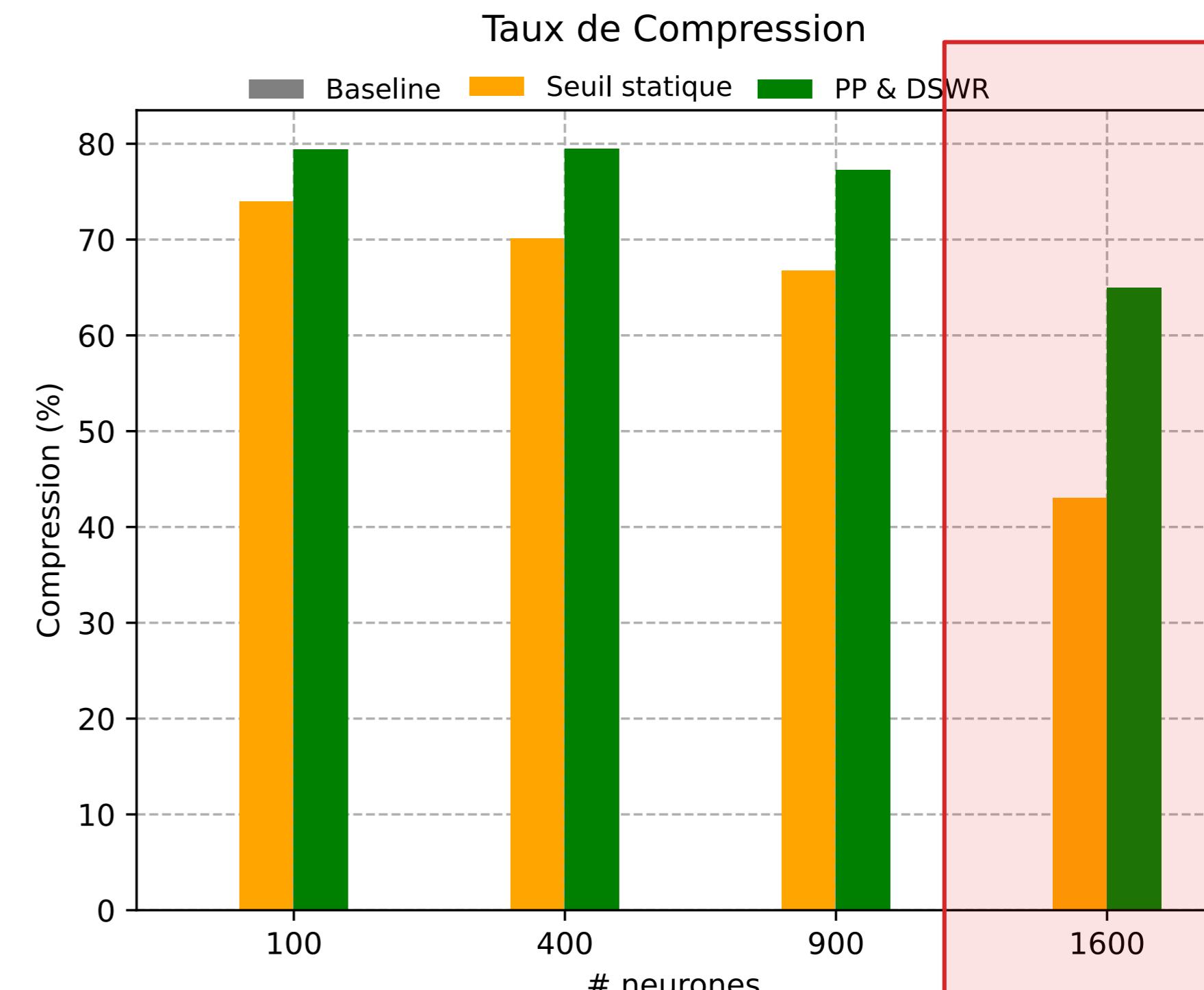
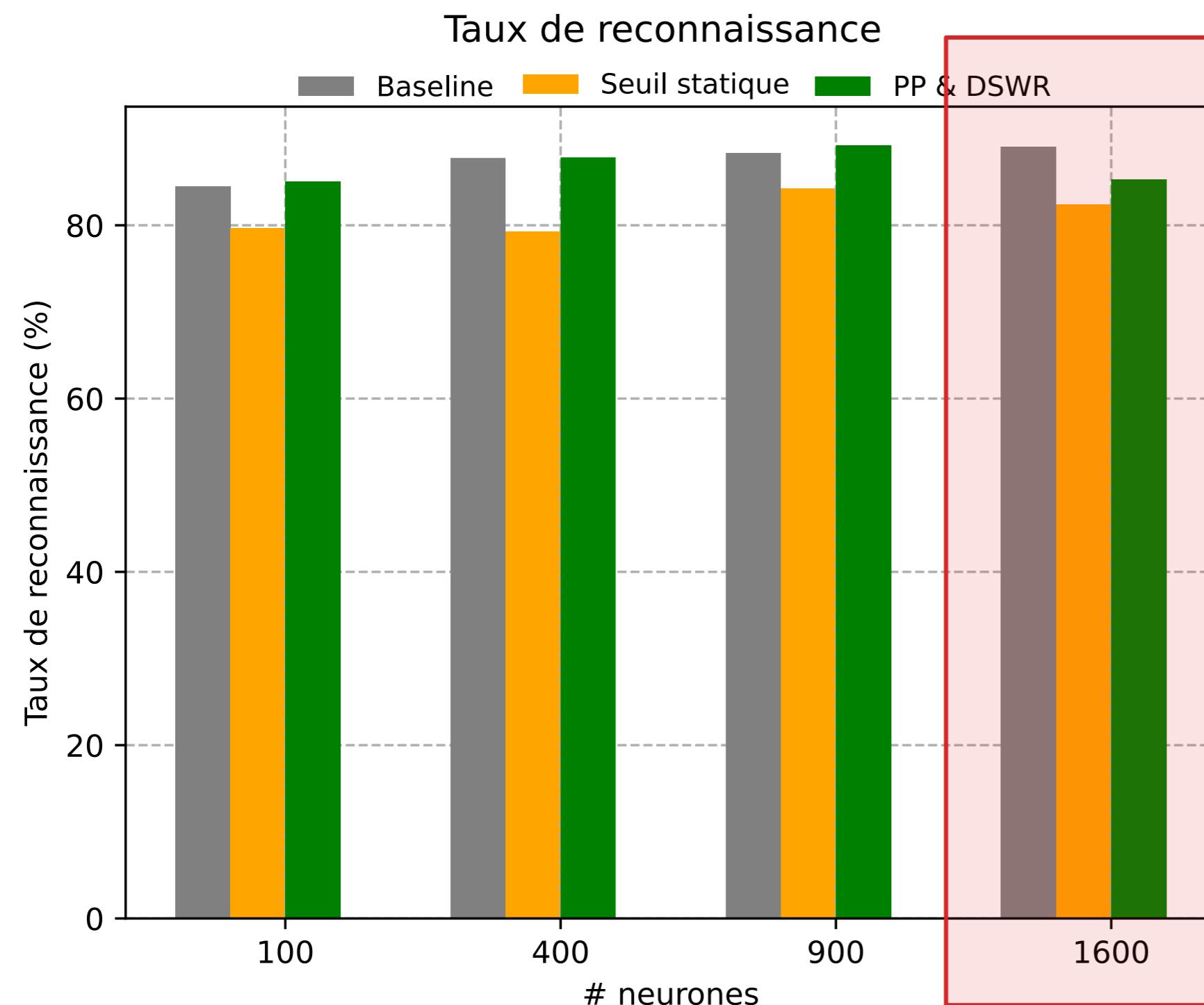
$$\alpha = 0.05$$

$$\beta = 0.10$$

Compression progressive pour SNN

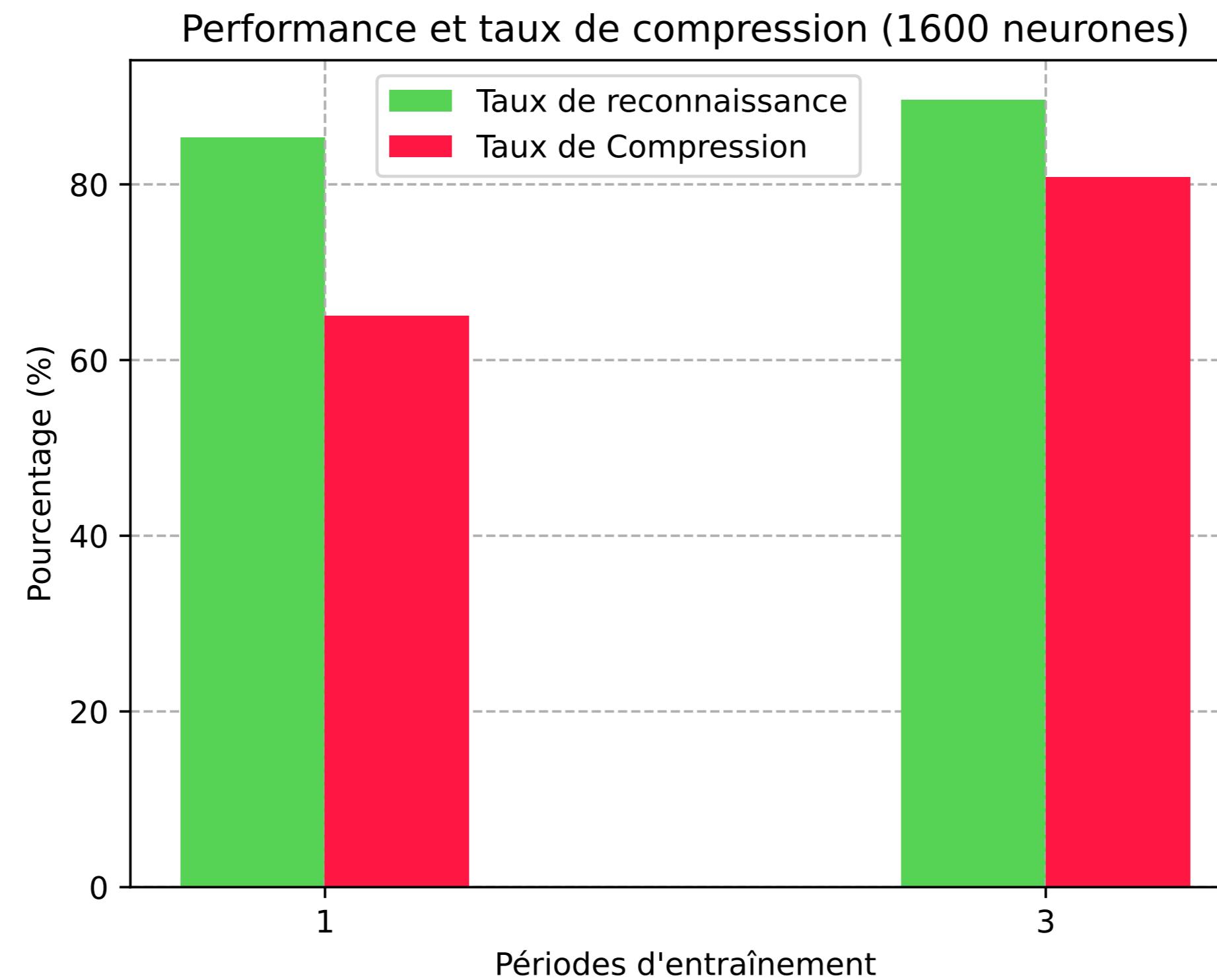


Compression progressive pour SNN



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
- Les SNN représentent l'un des candidats pour fournir une puissance de calcul supplémentaire
- 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
- L'analyse peut également inclure les jeux de données et le simulateur utilisé
- L'élagage à seuil dynamique est une technique complémentaire
- Le moment d'application de l'élagage dépend de la taille et type du réseau
- L'élagage progressif est le résultat d'une analyse avec VS2N

Travaux futurs

Gestion des données massives pendant l'analyse

Architecture	Taille de trace de simulation	Temps de simulation
C1(32)	1.5GB	30min
C1(32) - C2(128)	40GB	2h
C1(32) - C2(128) - FC(1024)	155GB	6h 26m 35s

Prétraitement avec Spark:

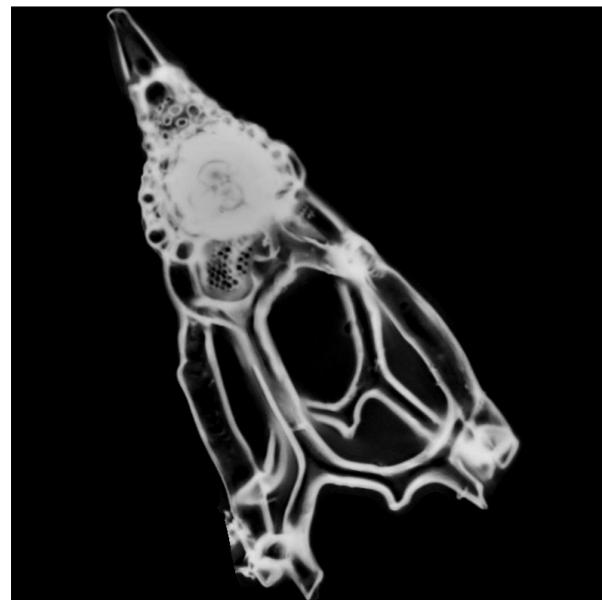
- Nécessite plus de temps
- Distribution sur plusieurs nœuds de cluster

Travaux futurs

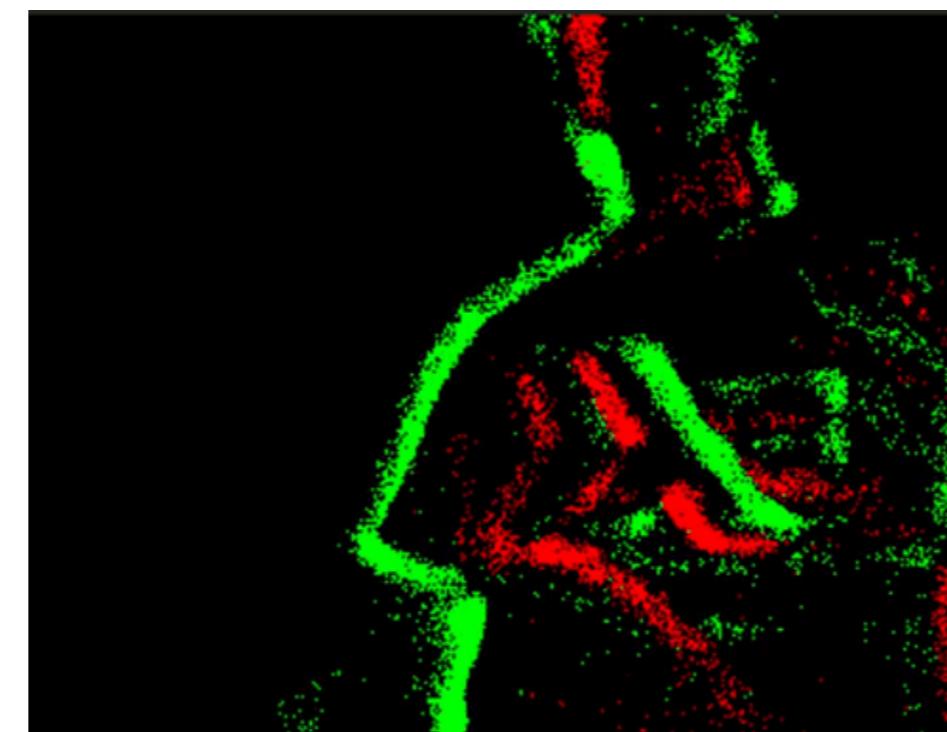
VS2N: Analyse de réseaux de neurones multicouches



Radiolaires



Caméra événementielle



signaux acoustiques



Travaux futurs

Compression pour les réseaux de neurones multicouches

Jeu de données	Architecture	Compression	Taux de reconnaissance	Temps de simulation
CIFAR-10	C1(128)	--	54.63%	2h 21m 34s
		72.79%	54.84%	2h 21m 6s
STL-10	C1(128)	--	58.61%	1h 59m 15s
		93.26%	58.41%	1h 59m 13s
FMNIST	C1(32) - C2(128) - FC(1024)	--	84.68%	6h 4m 17s
		88.93% - 96.30% - 86.99%	84.95%	6h 36m 20s
Podocrytis (Radiolaires)	C1(32) - C2(256)	--	72.02%	0h 59m 56s
		84.81% - 98.21%	74.77%	0h 56m 14s

Approches en cours d'étude

- La selection et l'optimisation de α et β
- Sélection de α et β 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**.