

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. Pierre Boulet

Université de Lille, France

Pr. Kamel Benhaoua

Université de Mascara, Algérie

Invité

Dr. Philippe Devienne

CNRS, France

Examinateurs

Pr. Sidi Mohammed Benslimane

Ecole Supérieure en Informatique de Sidi Bel Abbès, Algérie

Dr. Ihsen Alouani

Université Polytechnique Hauts-de-France, France

Pr. Fatima Debbat

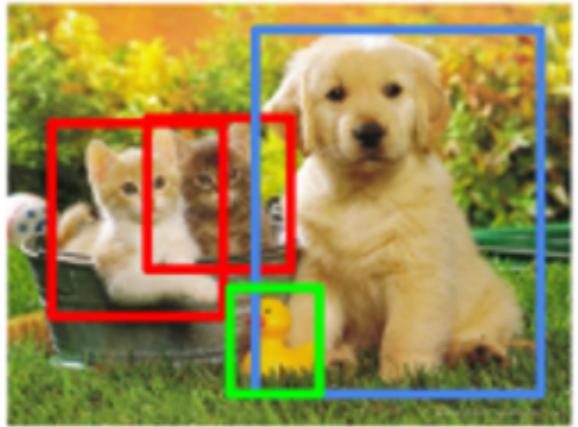
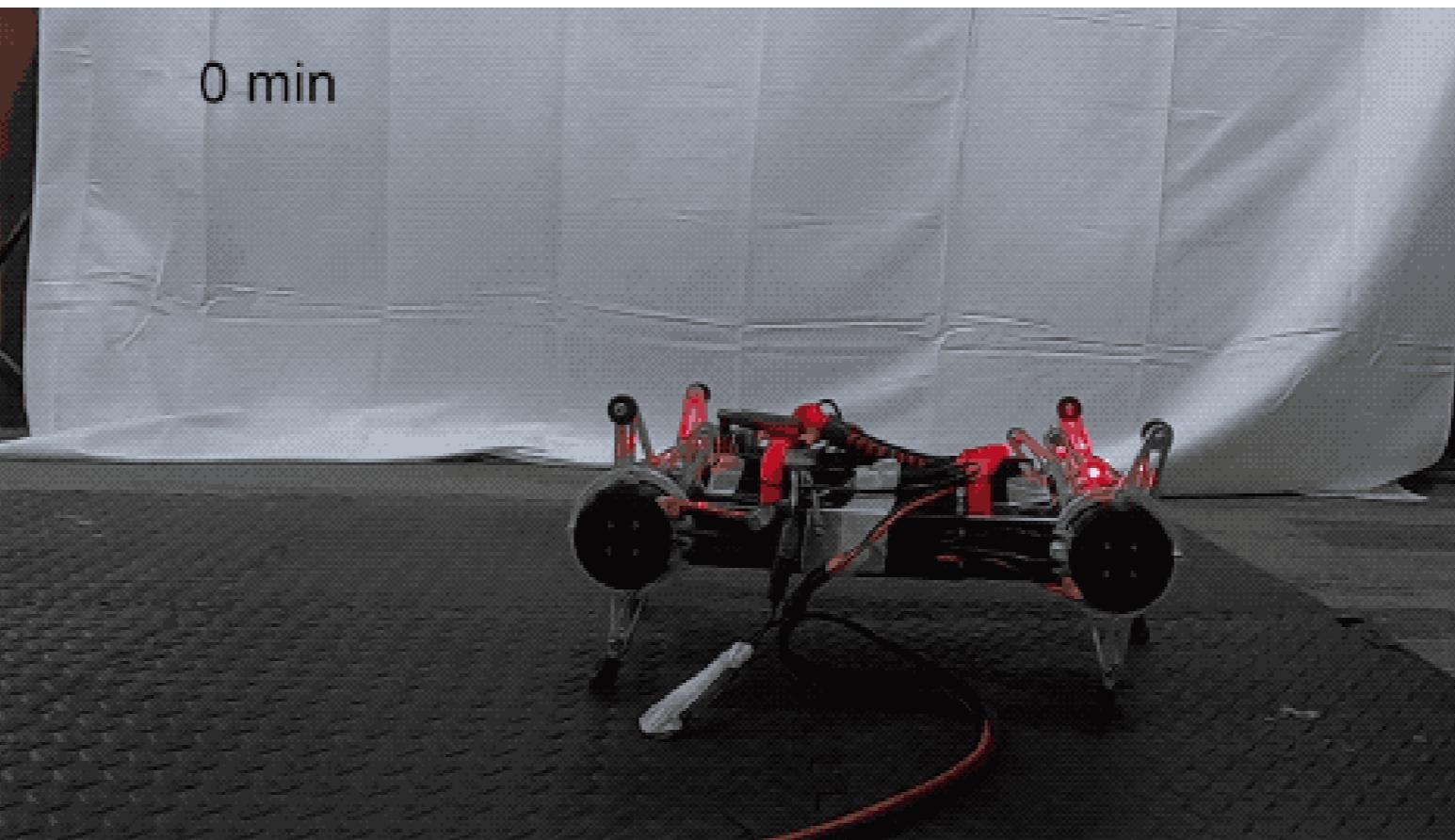
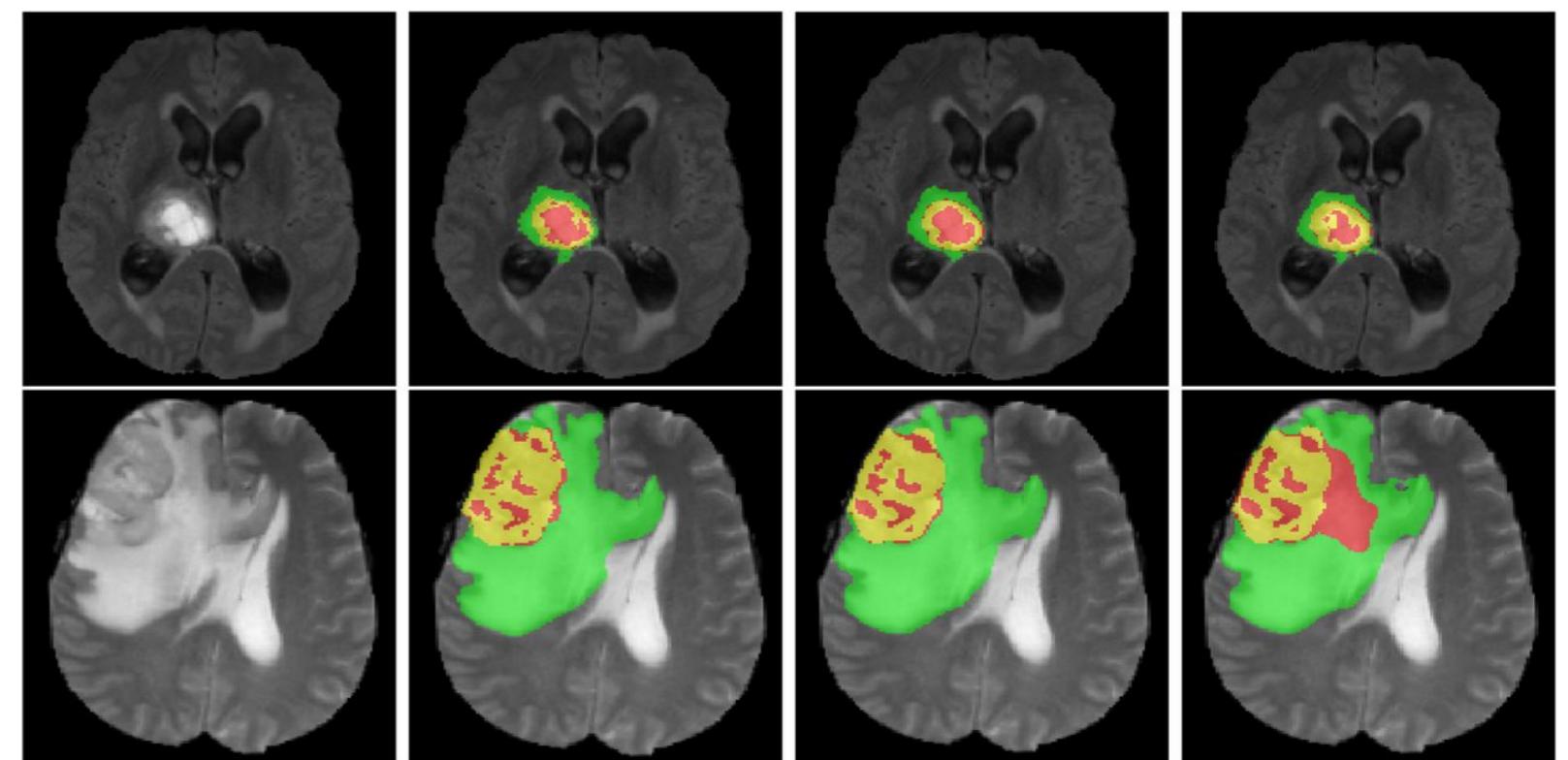
Université de Mascara, Algérie

Pr. Gilles Sassatelli

CNRS, France

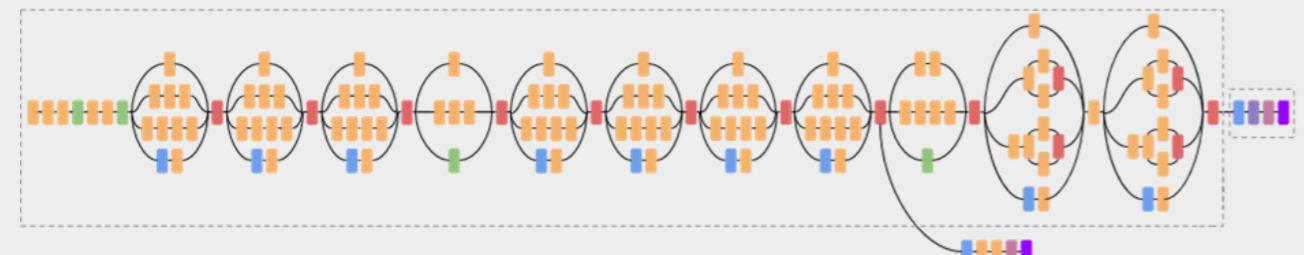


INTRODUCTION

Classification**Détection****Segmentation**

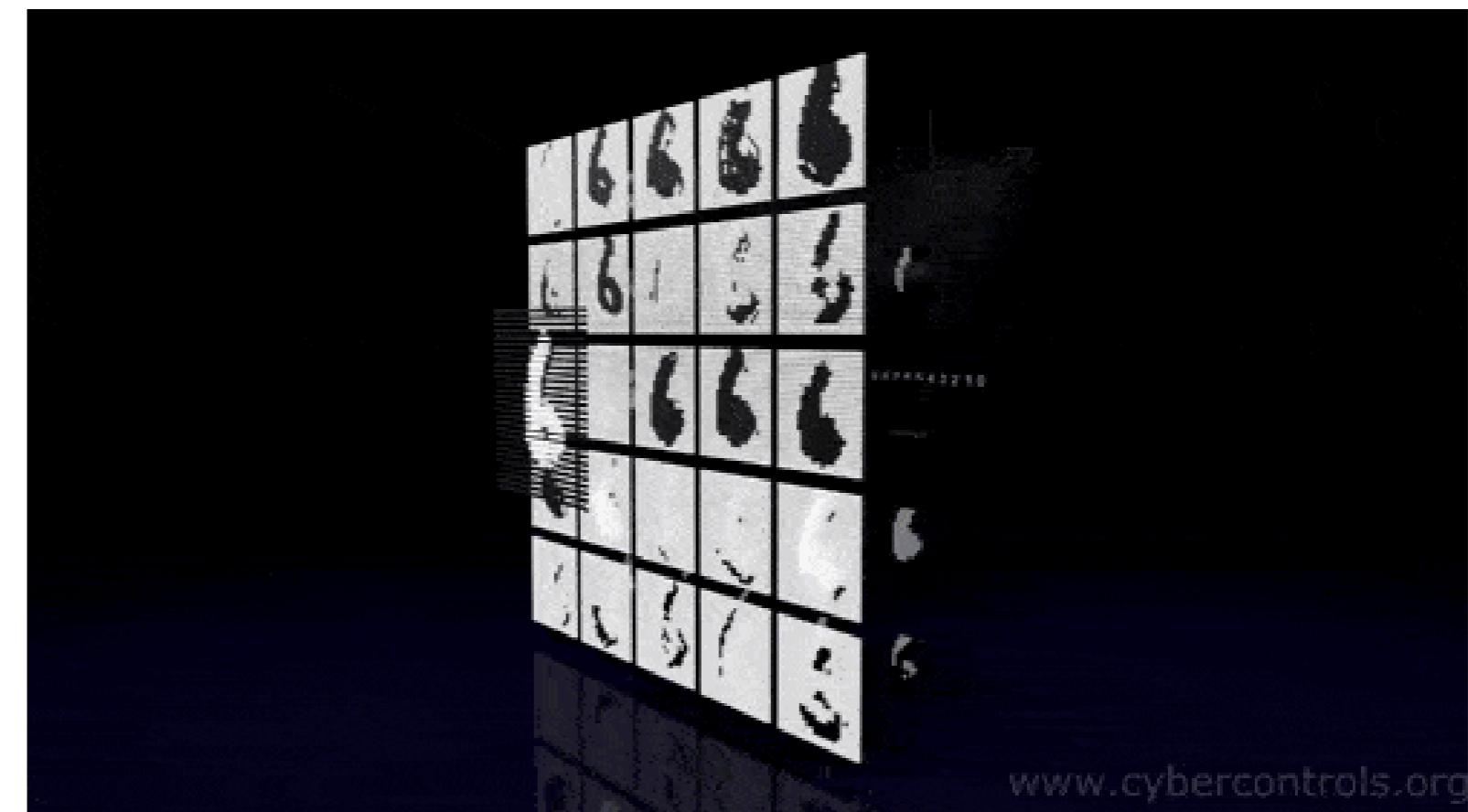
Les réseaux de neurones

Plus c'est profond, meilleur sera le résultat



Les plus grandes critiques des réseaux de neurones

- l'énorme consommation d'énergie
- le besoin de beaucoup de données pour être performant

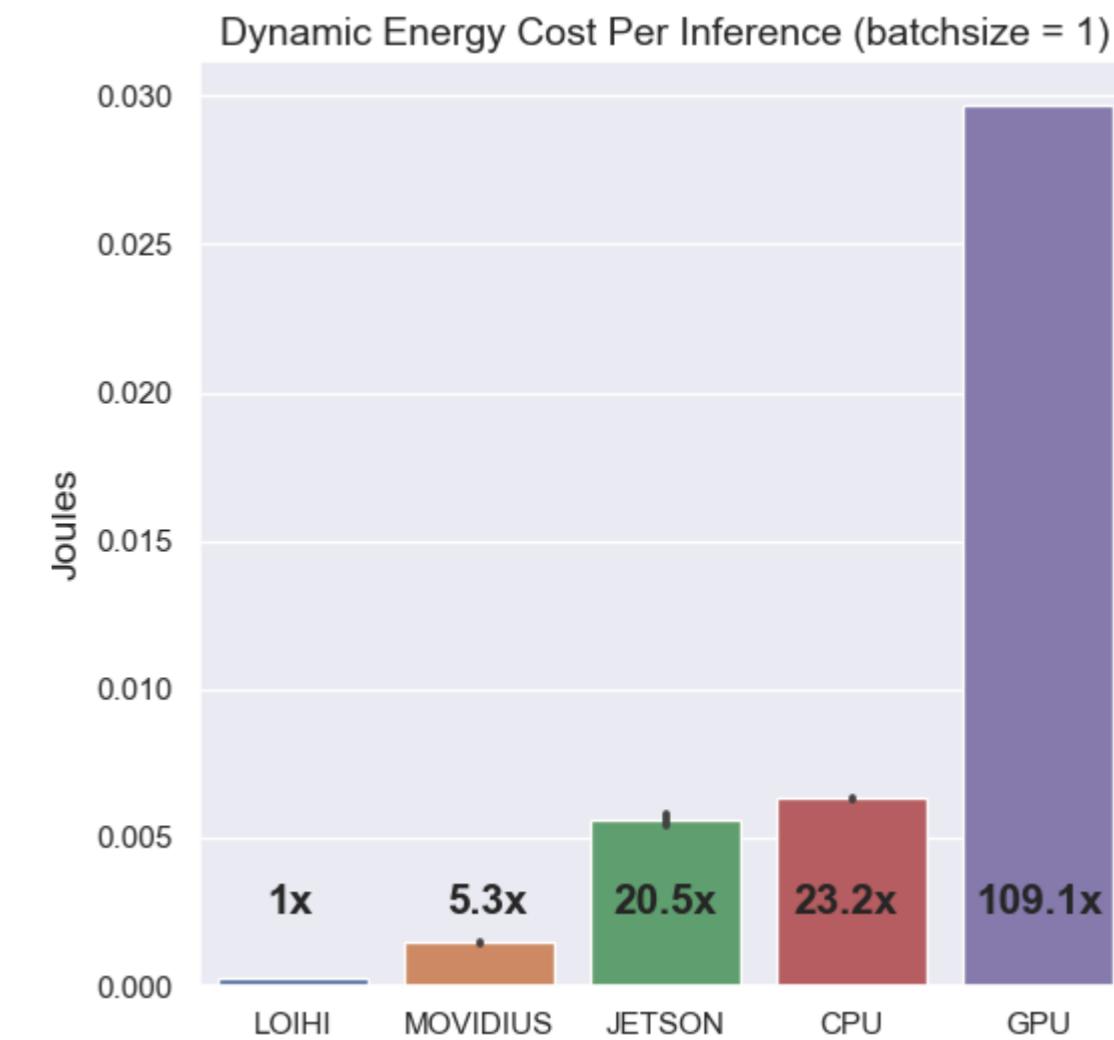
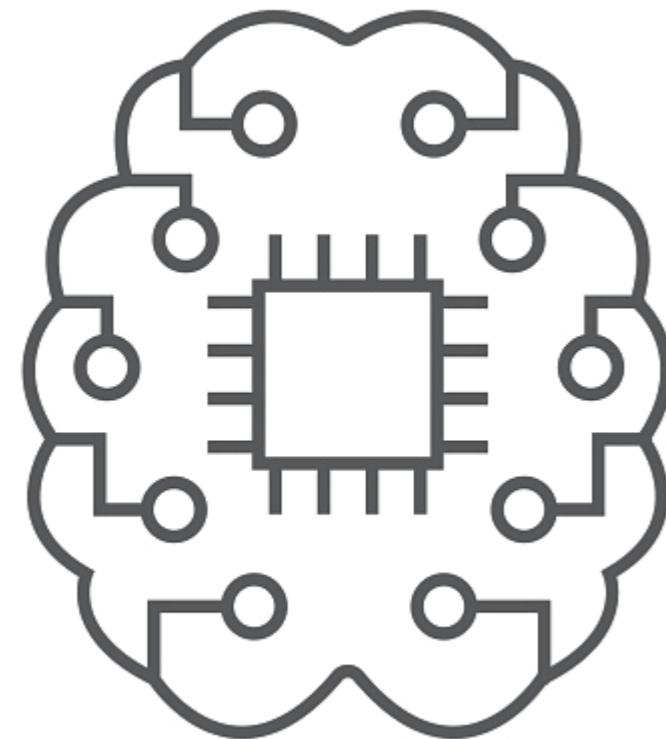


Le besoin de puissance de calcul supplémentaire

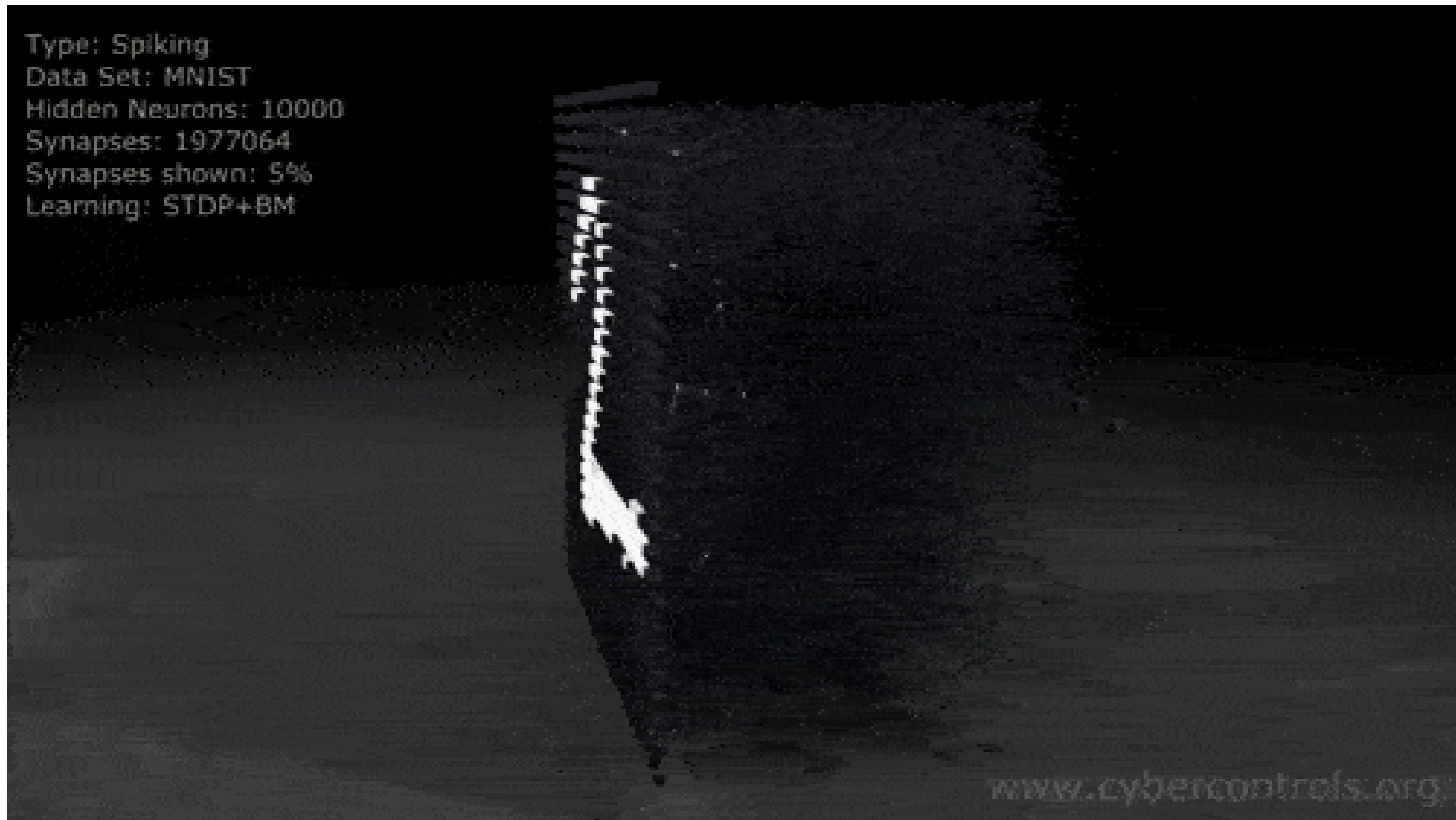
- La limite de l'architecture de Von Neumann
- La fin de la loi de Moore

Modèle	Nombre de couches	Paramètres	Paramètres entraînables
VGG16 [30]	16	138M	14.7M
VGG19 [30]	19	144M	20M
ResNet50 [31]	50	25.6M	25.5M
ResNet152 [31]	152	60.4M	60.2M
MobileNetV2 [32]	53	2.25M	2.22M
GPT-3 [33]	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

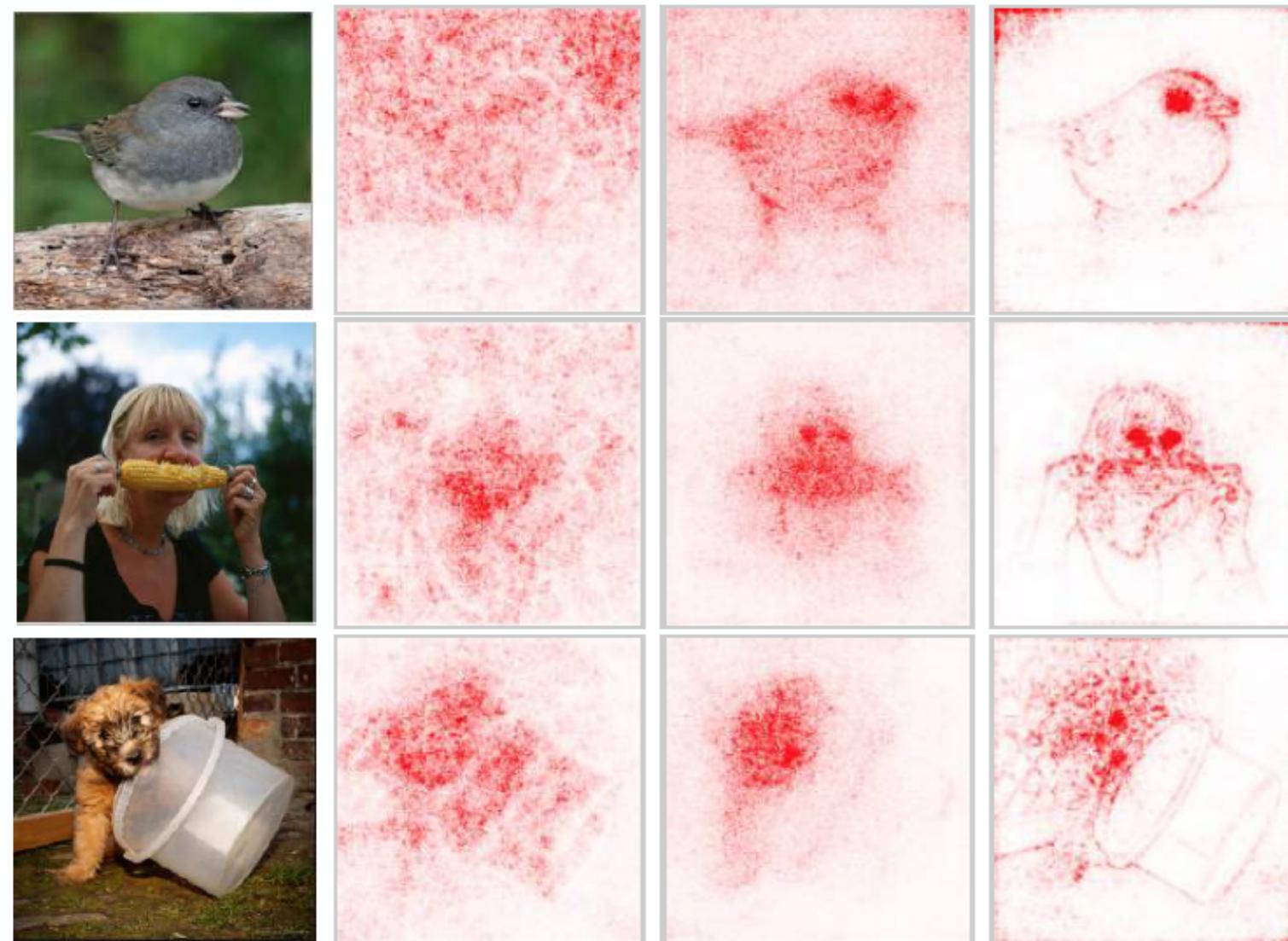
- Exploration de l'analyse visuelle pour SNN
- Analyse de l'activité interne du réseau

Défis

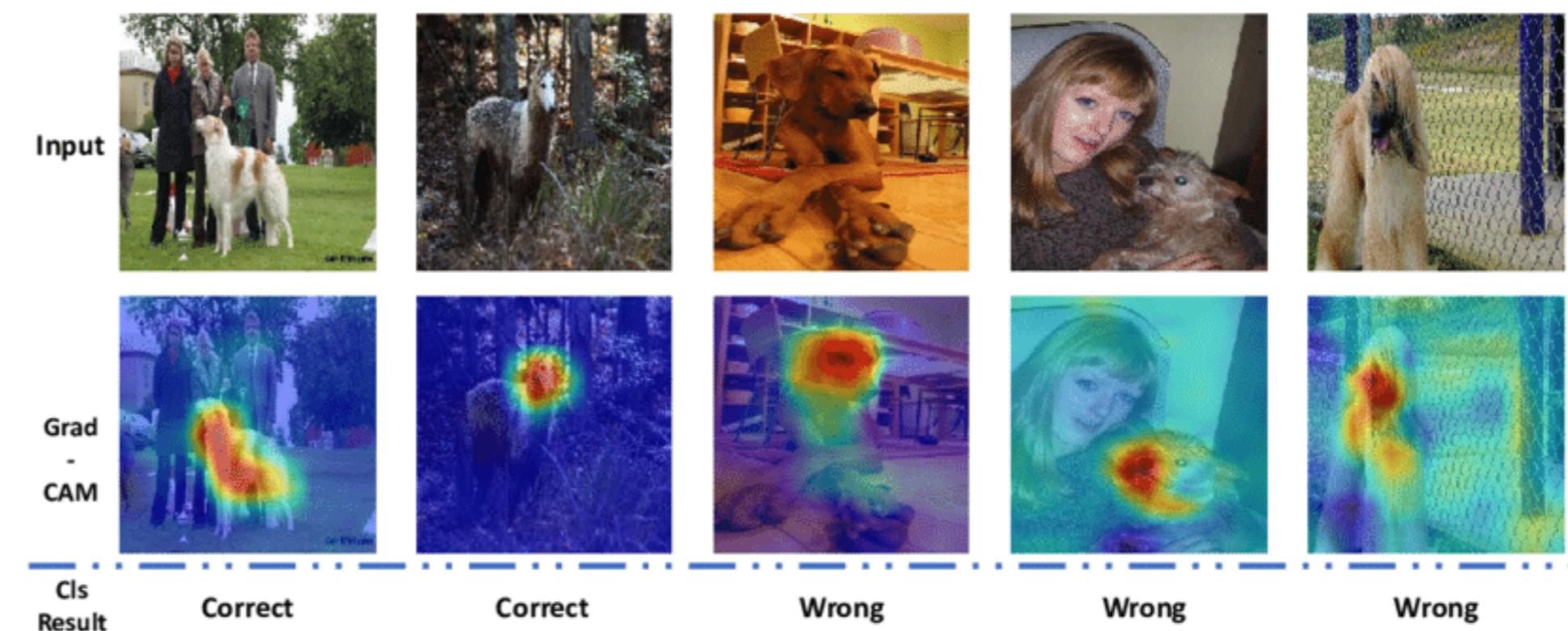
- La nature spatio-temporelle des données
- L'analyse de mégadonnées
- Amélioration du SNN basée sur l'analyse visuelle
- Outils pour l'analyse interne du SNN

ANALYSE VISUELLE

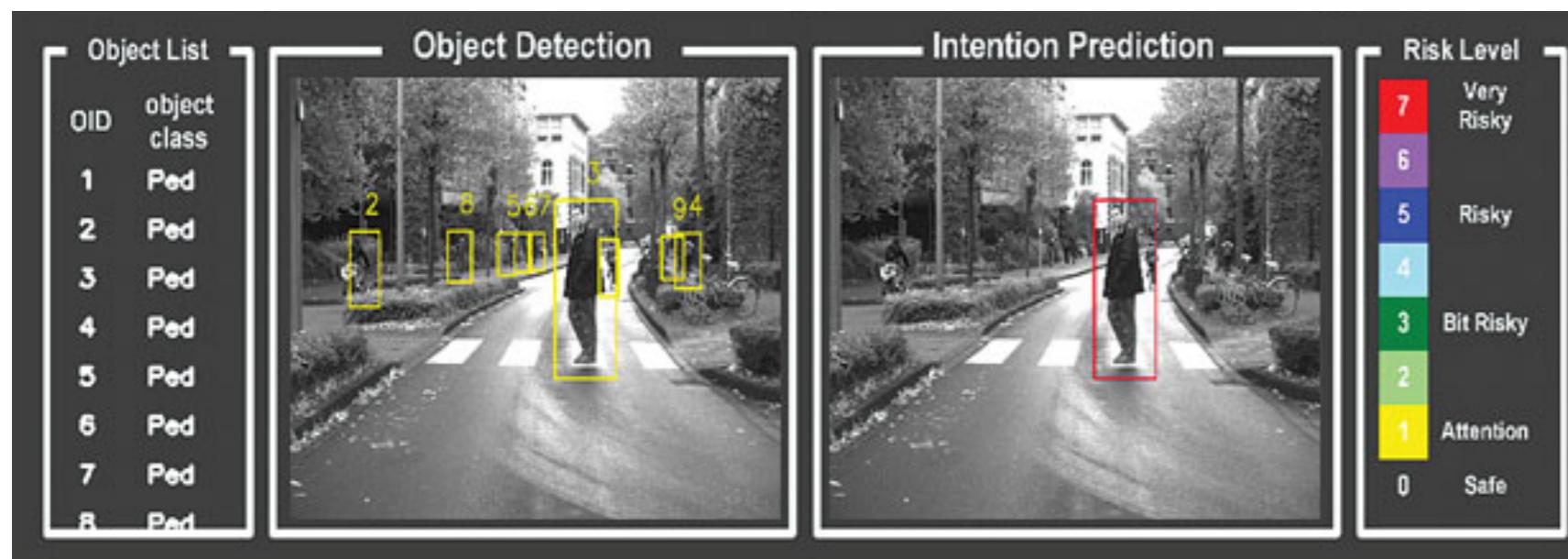
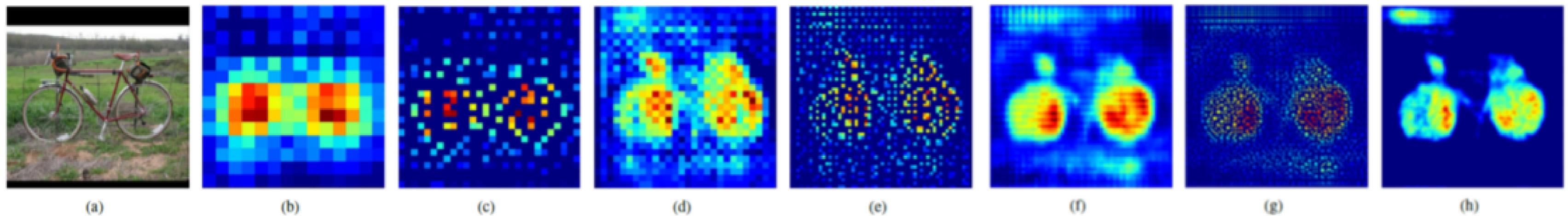
Analyse visuelle



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 :

	Technology	Type of simulation	Parallelism	Large-scale support	GUI	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	+	+	-	+
PyTorch-based simulators	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 :

	Usefulness	Completeness	Perceptibility	Truthfulness	Intuitiveness	Aesthetics	Interactivity
NEURON	++	-	++	+	++	-	+
Brian	++	++	++	+	++	+	+
Nengo	++	+	++	++	++	++	++
Neuronify	+	-	++	+	++	++	++
Simbrain	++	++	++	++	+	+	+
N2S3	++	+	++	++	++	+	-
NEST	++	+	++	++	++	+	-
PyTorch-based simulators	++	+	++	++	++	+	+

Good = ++ | Medium = + | Bad = -

Étude des techniques de visualisation dans des simulateurs snn

Conclusion

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

CONTRIBUTION 2:

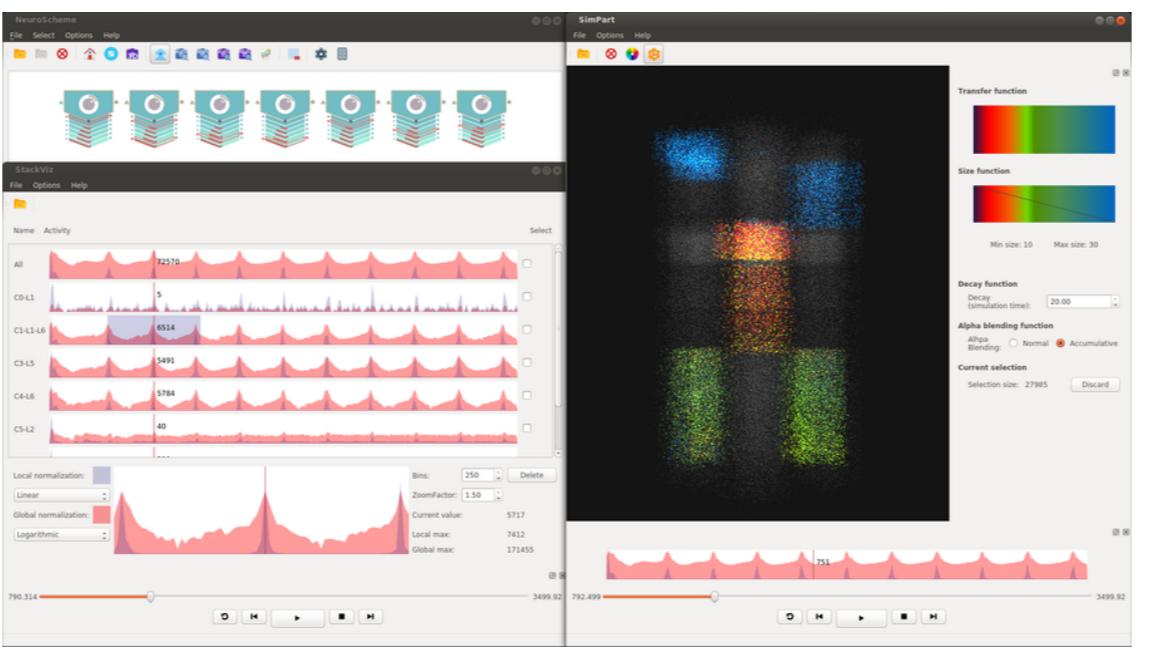
Vs2N: OUTIL DE VISUALISATION POUR SNN

Outils d'analyse visuelle

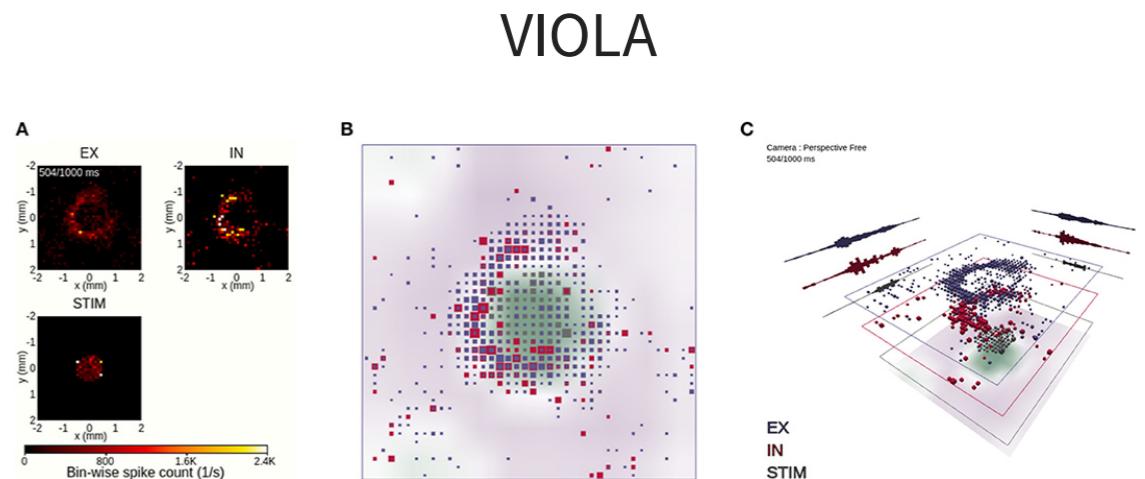
LSTMVis



ViSimpl



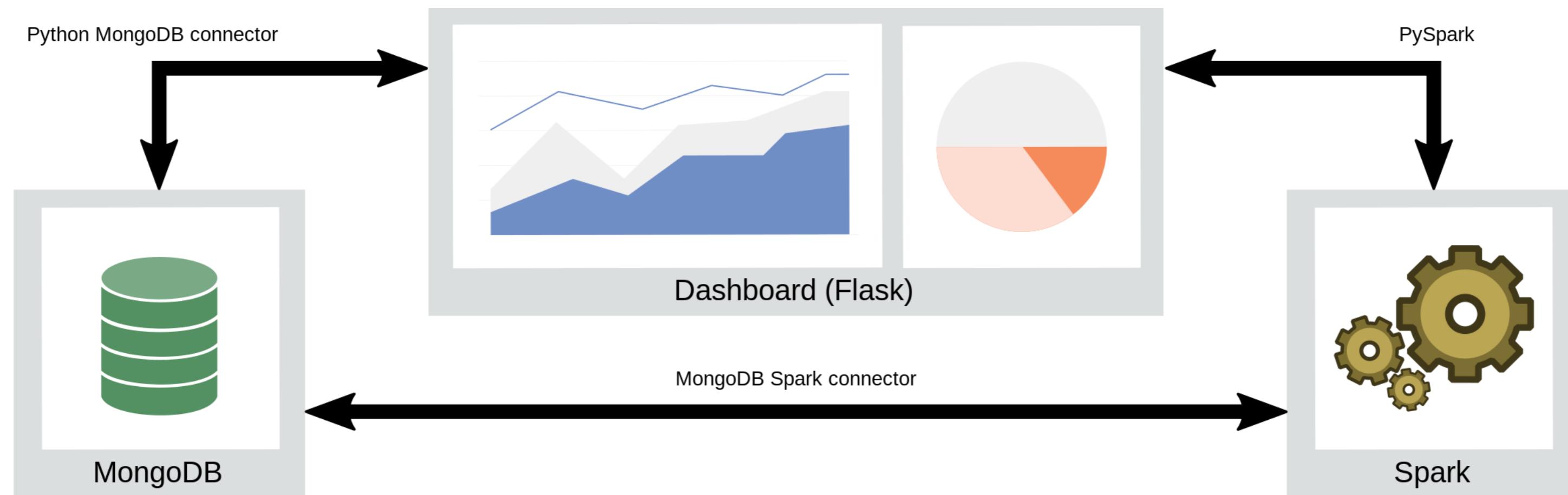
VIOLA



Caractéristiques communes:

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

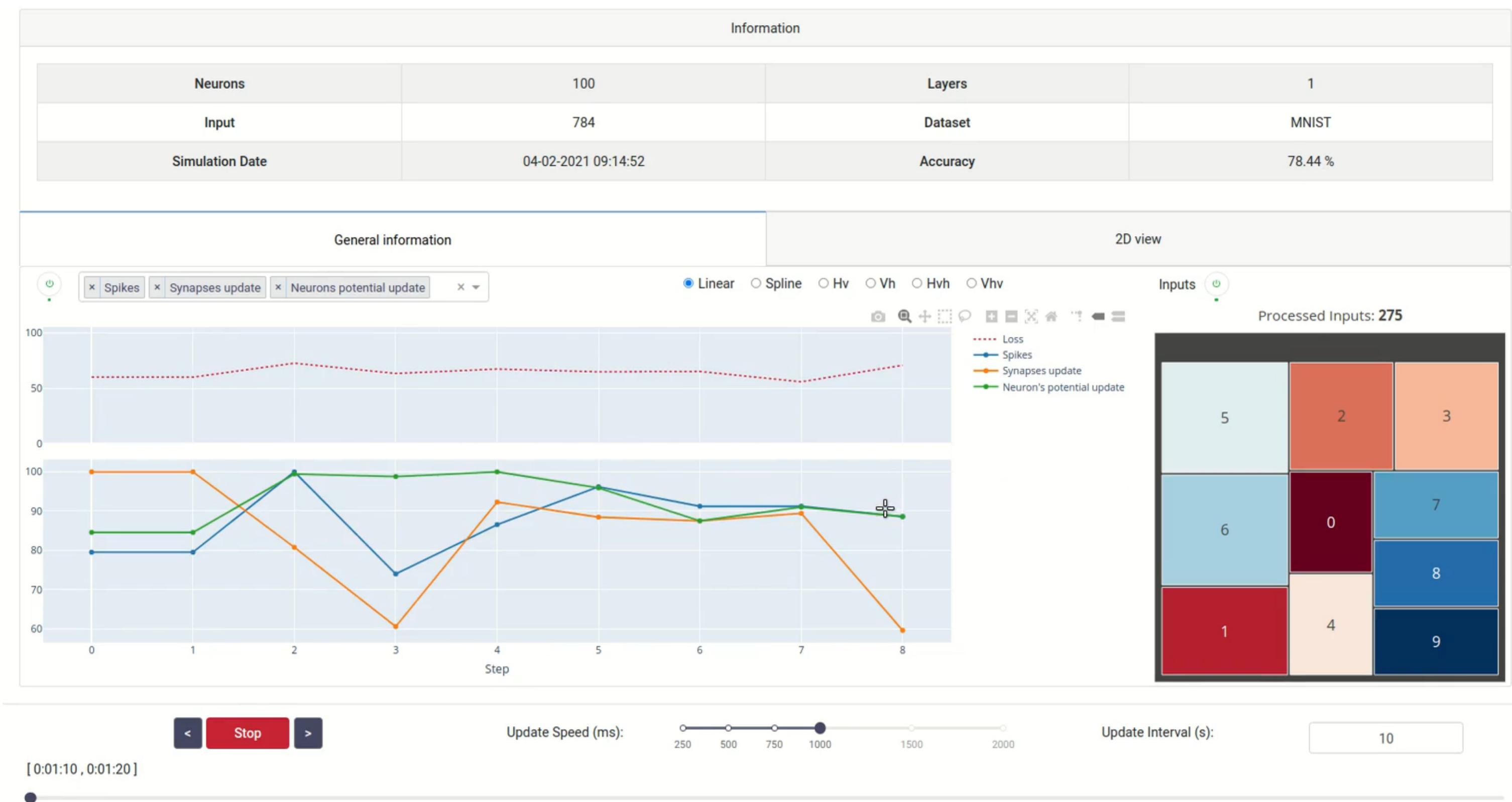
VS2N (v_{isualization} tool for s_{piking} n_{eural} n_{euro}tworks)



- Scalabilité
- Analyse dynamique
- Modularité
- Indépendance du simulateur

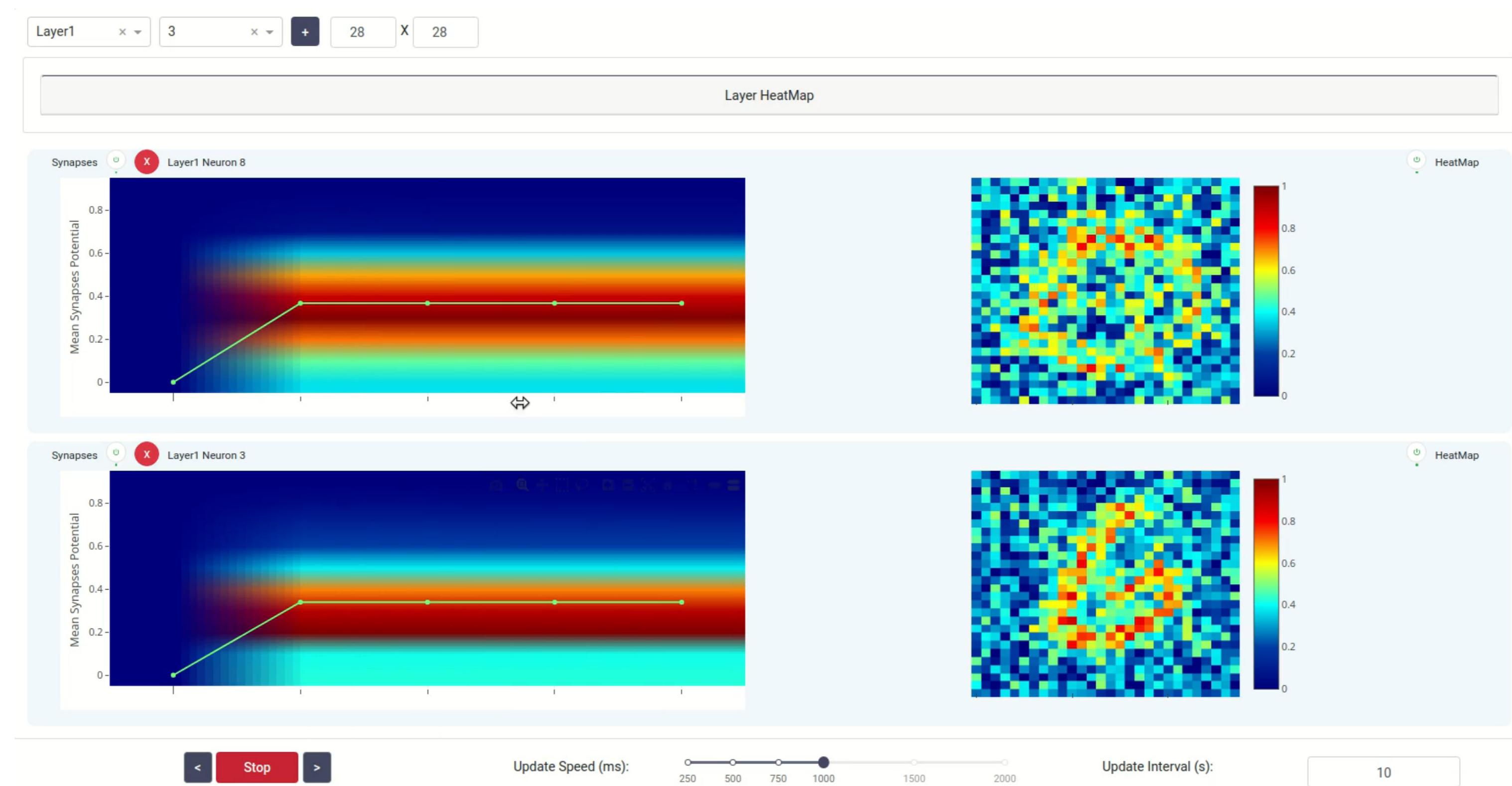
Modules de VS2N

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:

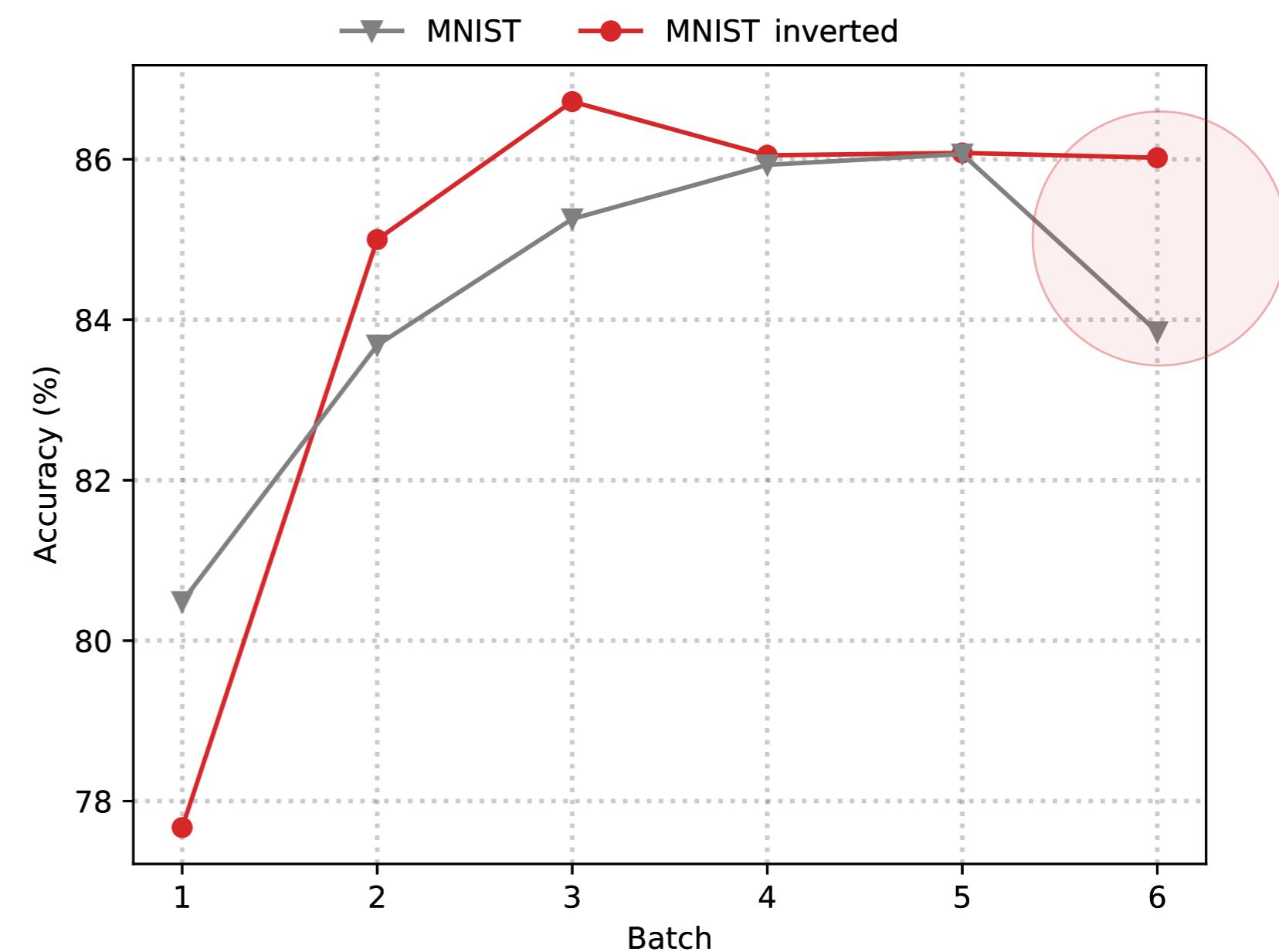
- Une baisse de précision lors des 10000 derniers images de MNIST

Objectif

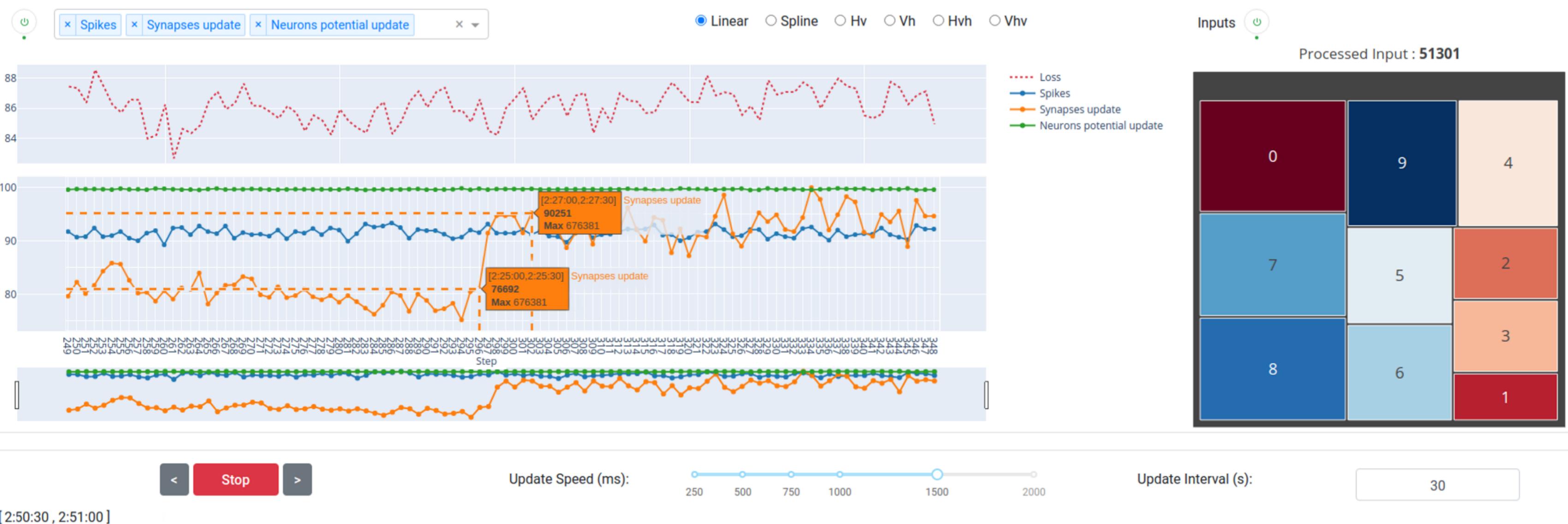
Surveillance de l'activité durant les 10000 derniers images

Configuration

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



I - MNIST



Après 50000 d'entrée

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

II - la compression

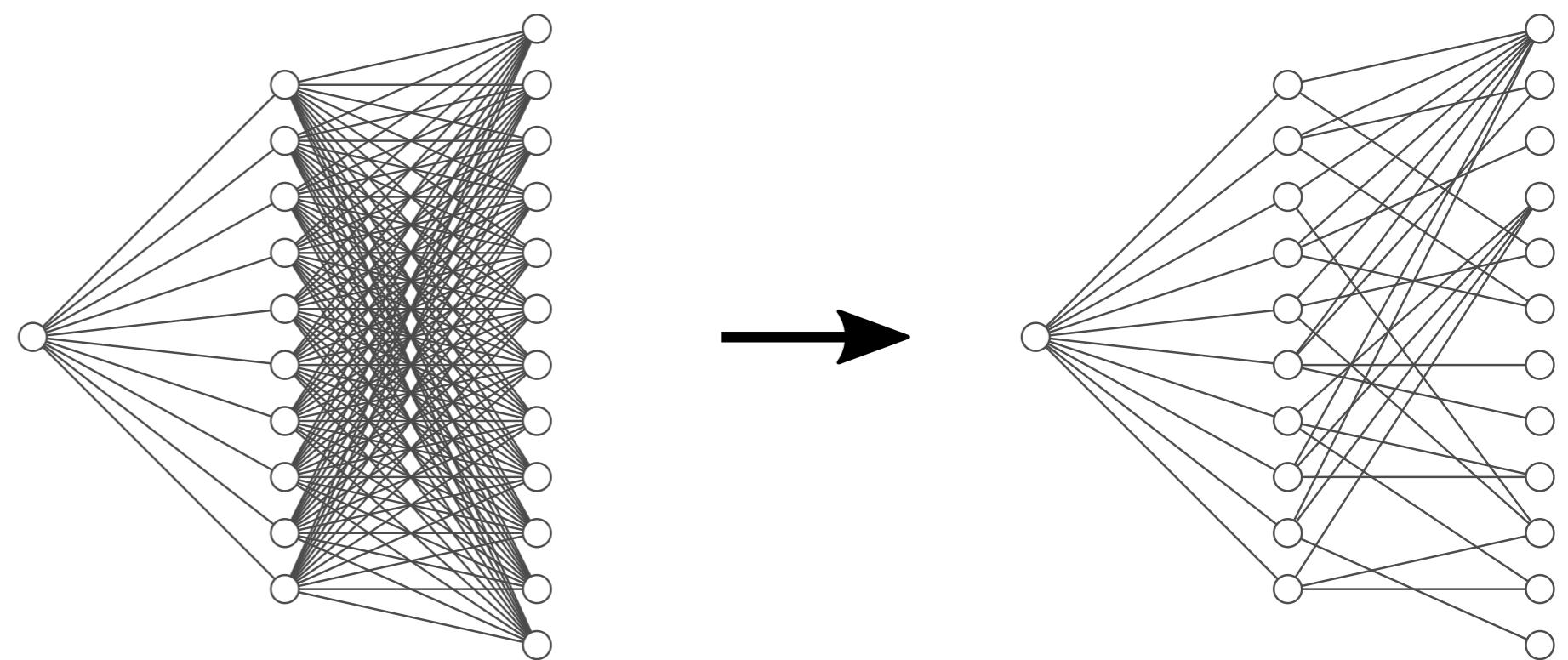
- Application de l'opération d'élagage sur les synapses
- seuil = 0,2

Objectif

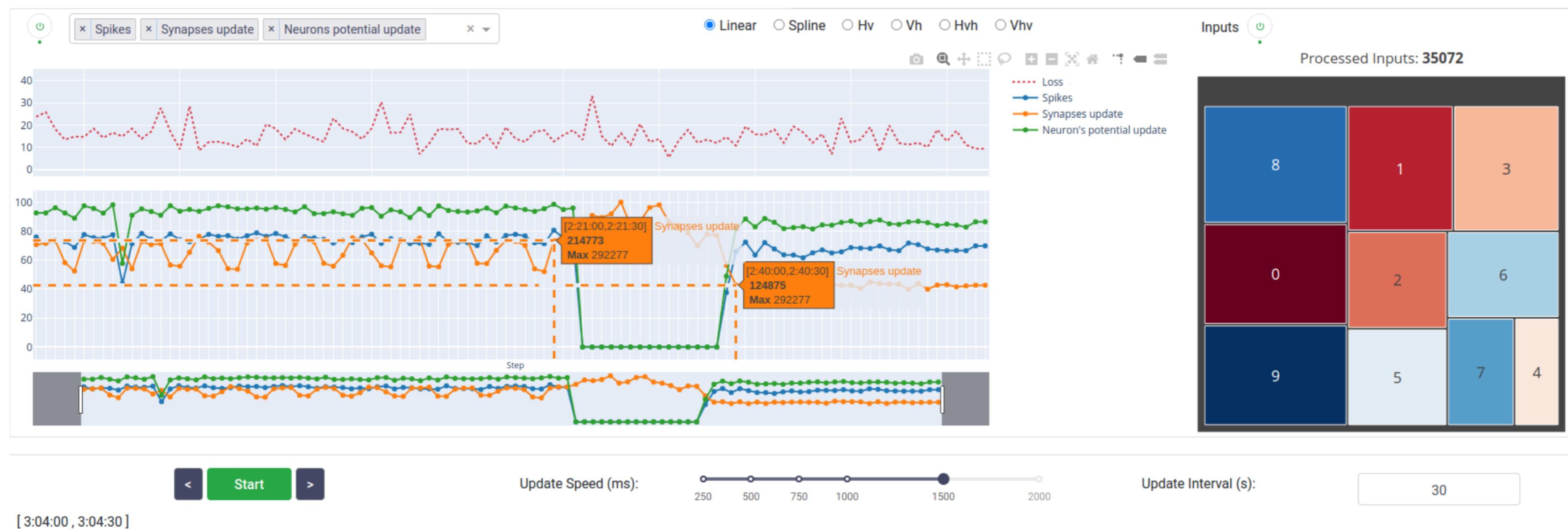
Analyse de l'effet de l'élagage sur le réseau

Configuration

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



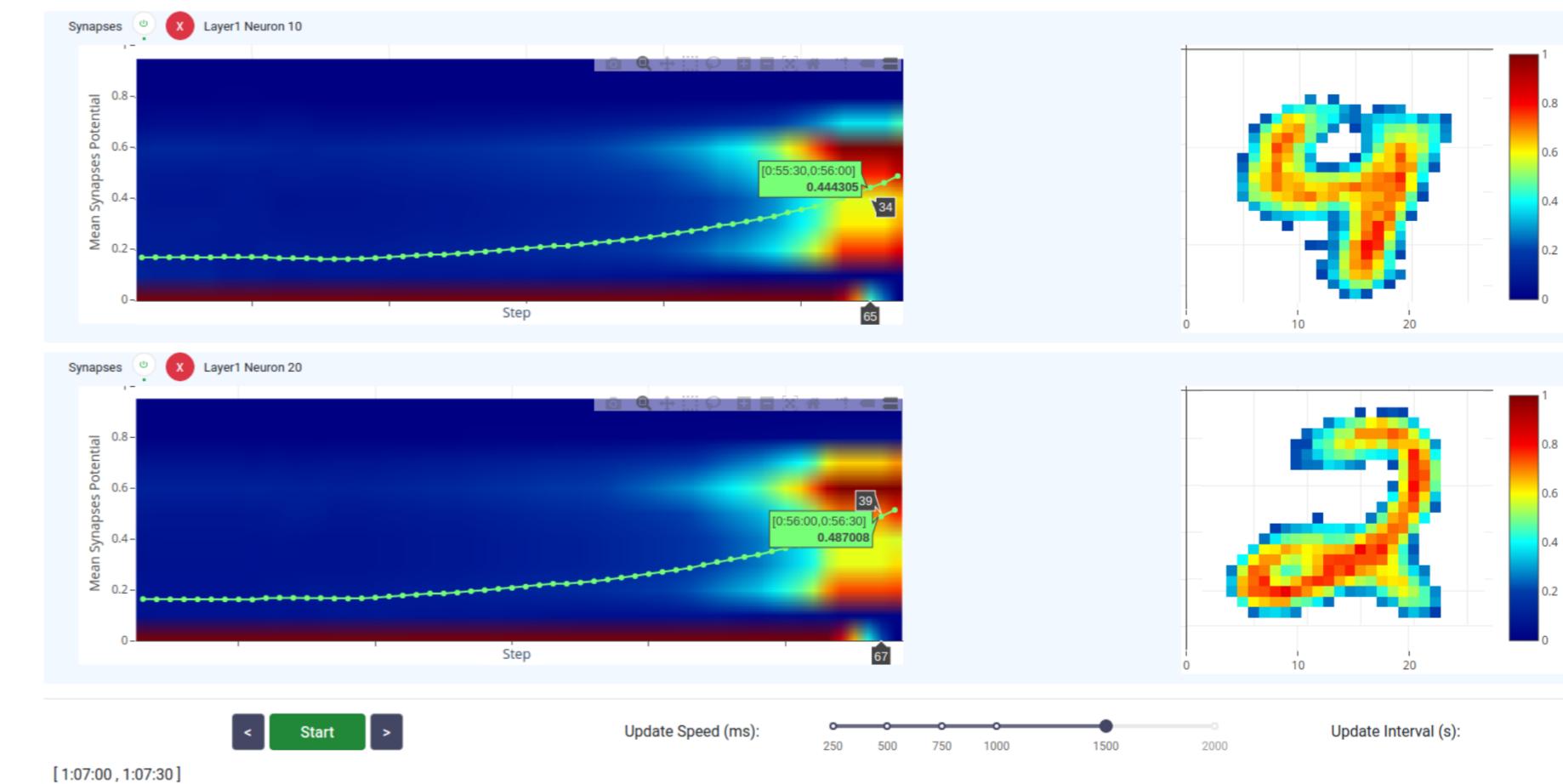
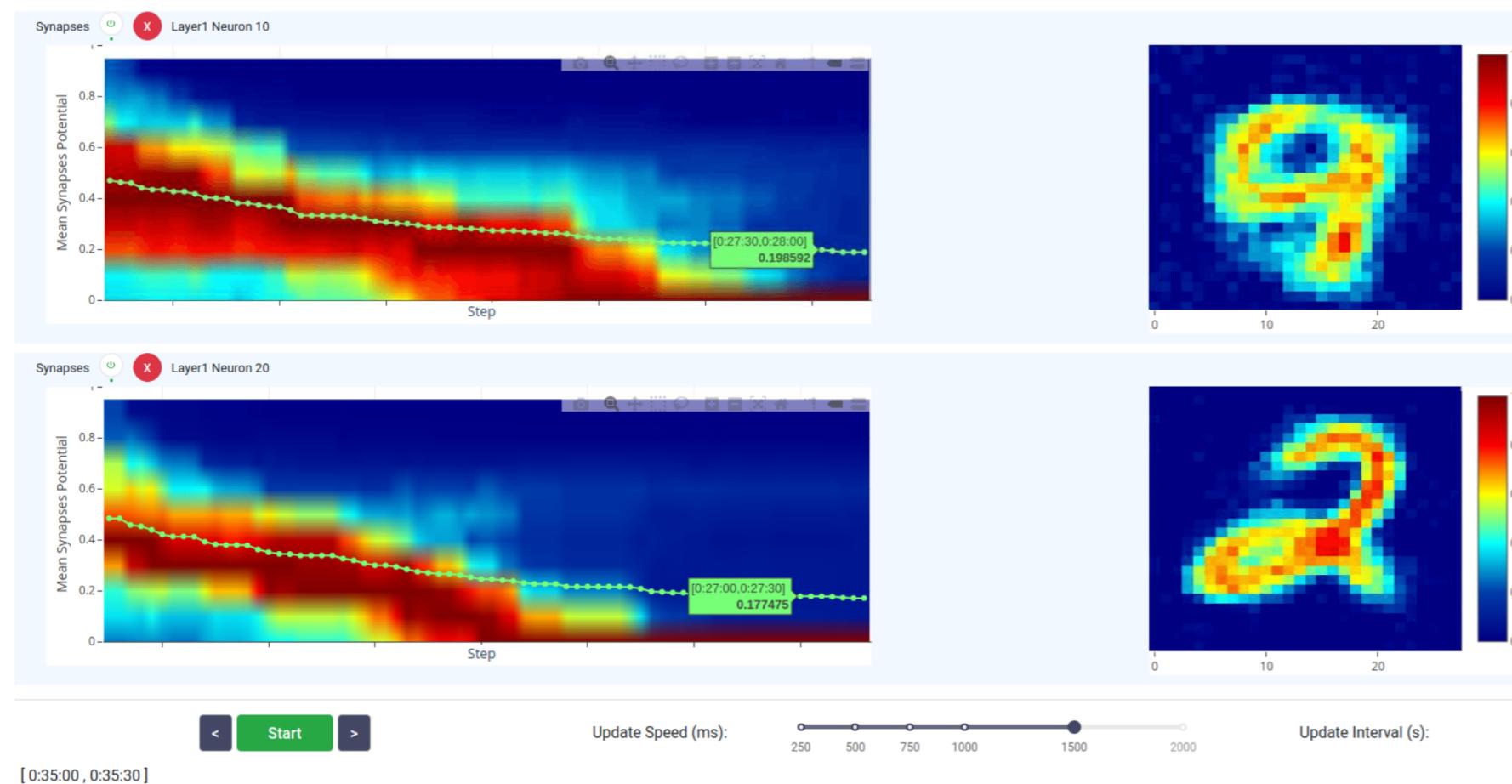
II - la compression



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 PROGRESSIF POUR SNN

Compression dans les réseaux de neurones à impulsions

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

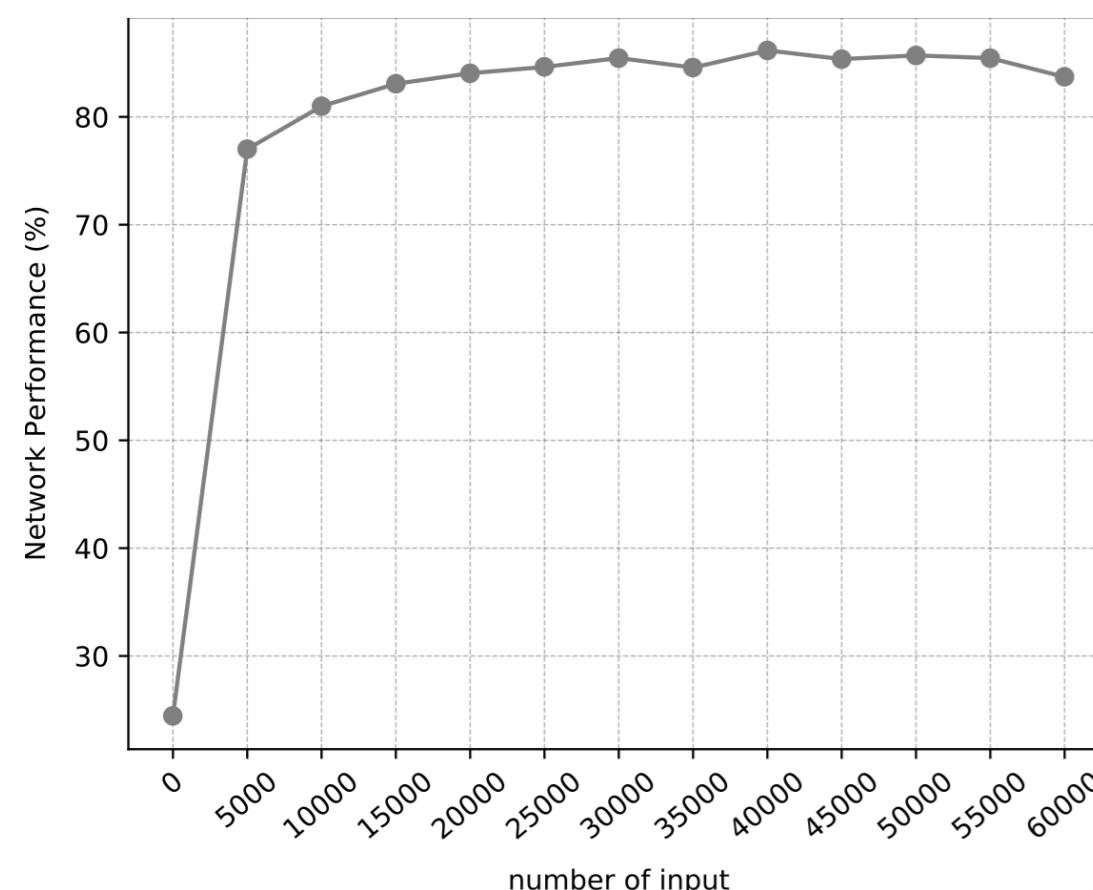
Types d'élagage

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

Compression dans les réseaux de neurones à impulsions



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

Compression progressif 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

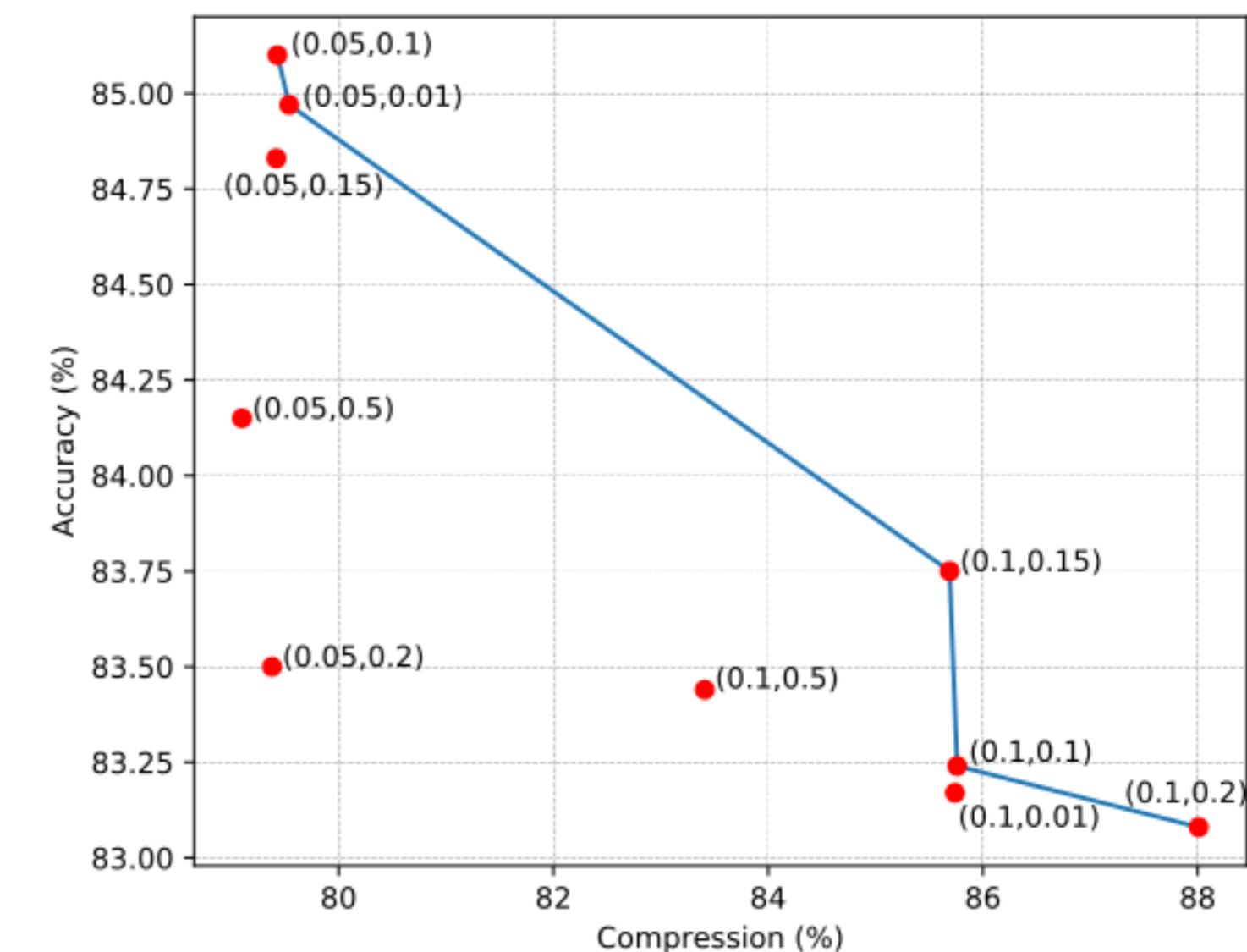
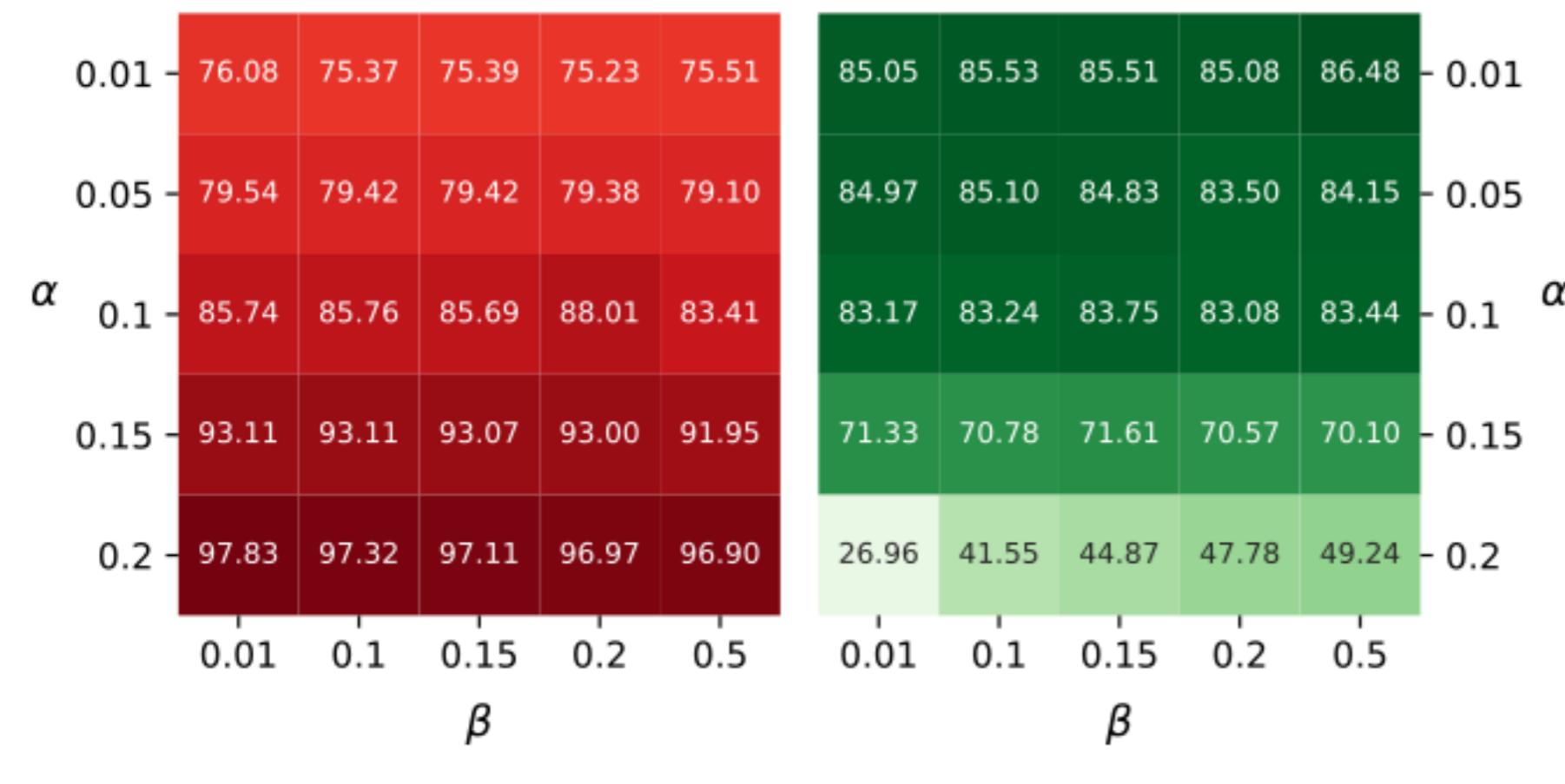
T_n : seuil actuel

Objectif du renforcement synaptiques

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

[1] Sanes JR, Lichtman JW, "Development of the vertebrate neuromuscular junction". Annual Review of Neuroscience 1999 22:1, 389-442

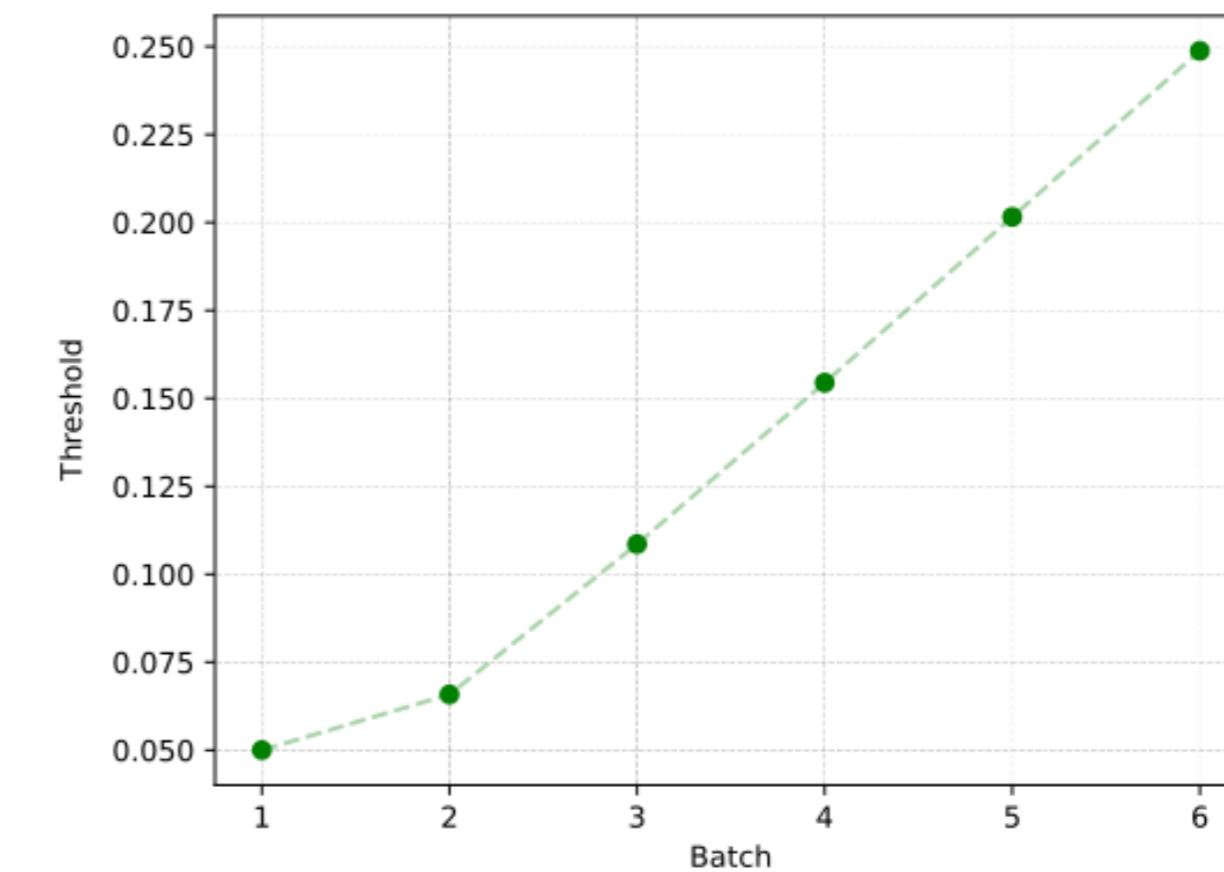
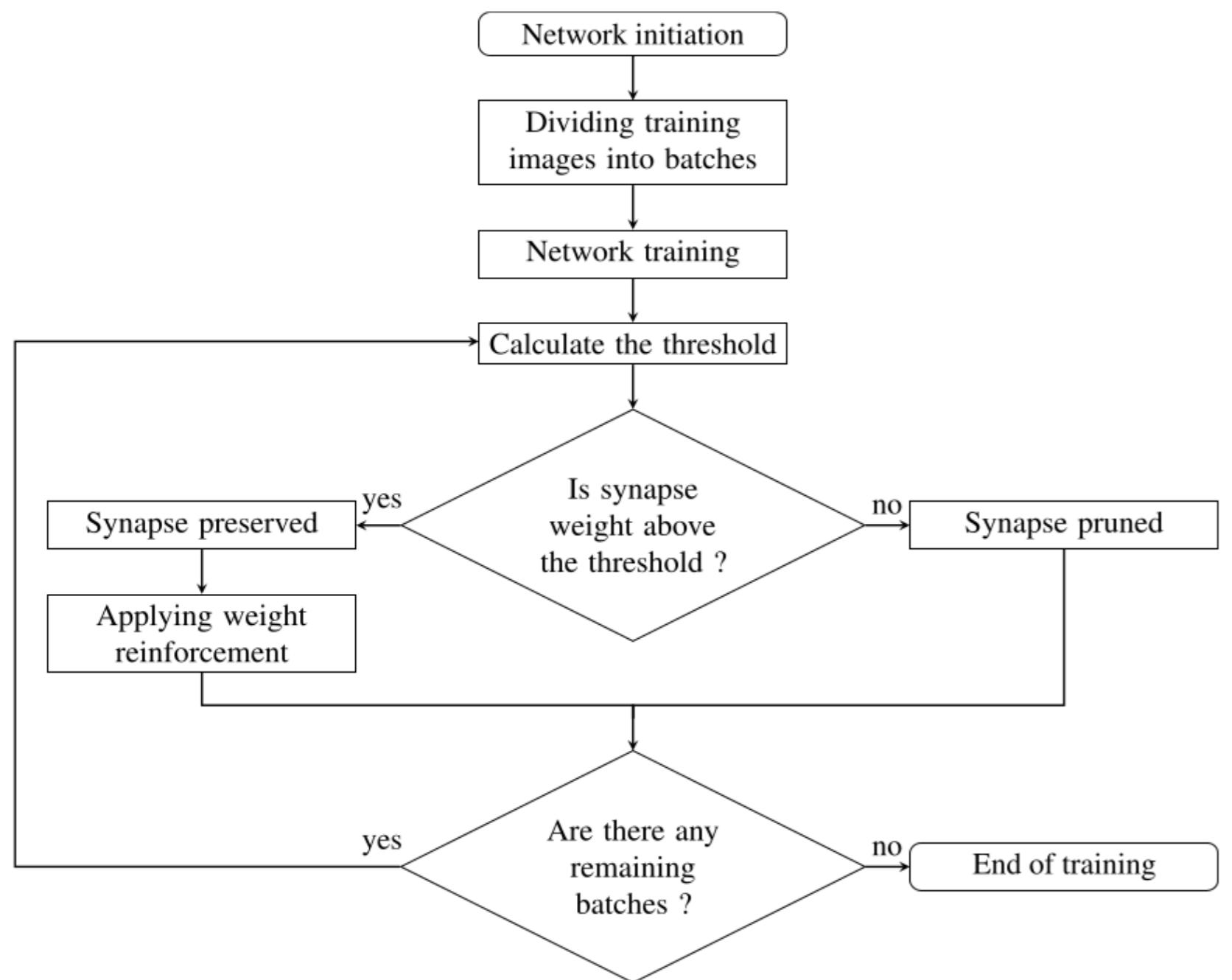
Sélection des paramètres



$$\alpha = 0.05$$

$$\beta = 0.10$$

Compression progressif pour SNNs



Compression progressif pour SNN

Number of neurons	Paper	Learning rule	Pruning approach	Train after pruning ?	Number of epochs	Accuracy ± std	Compression ± std
100	Rathi et al. (2019)	Exponential STDP	Static threshold	No	1	79.50	75.00
	Diehl and Cook (2015)	Exponential STDP	–	–	1	82.90	–
	This work (baseline)	Simplified STDP	–	–	1	84.47 ± 1.55	–
	This work	Simplified STDP	Static threshold	No	1	79.69 ± 0.22	73.99 ± 0.05
	This work	Simplified STDP	PP & DSWR	Yes	1	85.10 ± 0.83	79.42 ± 0.06
400	Diehl and Cook (2015)	Exponential STDP	–	–	3	87.00	–
	This work (baseline)	Simplified STDP	–	–	1	87.77 ± 0.57	–
	This work	Simplified STDP	Static threshold	No	1	79.27 ± 0.51	70.14
	This work	Simplified STDP	PP & DSWR	Yes	1	87.84 ± 0.40	79.52 ± 0.03
900	This work (baseline)	Simplified STDP	–	–	1	88.35 ± 0.28	–
	This work	Simplified STDP	Static threshold	No	1	84.23 ± 0.24	66.77
	This work	Simplified STDP	PP & DSWR	Yes	1	89.23 ± 0.91	77.28 ± 0.69

Number of neurons	Paper	Learning rule	Pruning approach	Train after pruning ?	Number of epochs	Accuracy ± std	Compression ± std
1600	This work (baseline)	Simplified STDP	–	–	1	89.07 ± 0.77	–
	This work	Simplified STDP	Static threshold	No	1	82.40 ± 0.12	43.03
	This work	Simplified STDP	PP & DSWR	Yes	1	85.31 ± 0.24	65.02 ± 0.04
	Diehl and Cook (2015)	Exponential STDP	–	–	7	91.90	–

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

Travaux futurs

- Gestion des données massives pendant l'analyse
- Les réseaux de neurones convolutifs à impulsions et le matériel neuromorphique
- Les métriques d'évaluation des SNN

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>
- VS2N: Outil d'analyse interactive de réseaux de neurones à impulsions, Workshop INSIS - IA pour les sciences de l'ingénierie, CNRS, juin **2022**.