

Une approche neuro-dynamique de conception des processus d'auto-organisation

Lucian Alecu

INRIA Nancy Grand-Est, Supélec

30 juin 2011



La Région
Lorraine

1. Architecture d'auto-organisation distribuée

conception cortico-inspirée d'une architecture de calcul
distribuée d'auto-organisation

1. Architecture d'auto-organisation distribuée

conception cortico-inspirée d'une architecture de calcul
distribuée d'auto-organisation

2. Critères d'évaluation

formalisation des critères d'évaluation pour les contextes de
modélisation d'auto-organisation

1. Architecture d'auto-organisation distribuée

conception cortico-inspirée d'une architecture de calcul
distribuée d'auto-organisation

2. Critères d'évaluation

formalisation des critères d'évaluation pour les contextes de
modélisation d'auto-organisation

3. Étude empirique d'évaluation

évaluation des modèles classiques de champs neuronaux

1. Architecture d'auto-organisation distribuée

conception cortico-inspirée d'une architecture de calcul
distribuée d'auto-organisation

2. Critères d'évaluation

formalisation des critères d'évaluation pour les contextes de
modélisation d'auto-organisation

3. Étude empirique d'évaluation

évaluation des modèles classiques de champs neuronaux

4. Champs neuronaux dynamiques rétro-inhibés

conception d'un modèle de champ capable d'implémenter
l'architecture distribuée d'auto-organisation

L'auto-organisation

- effet émergent des processus de traitement **local et distribué**
- défi pour l'informatique

L'auto-organisation

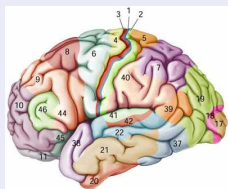
- effet émergent des processus de traitement **local et distribué**
- défi pour l'informatique

Auto-organisation corticale

- différentes échelles d'auto-organisation :
 - ▶ aires corticales – plasticité neuronale
 - ▶ cartes d'auto-organisation
- mécanisme générique de structuration de l'information
 - ▶ local
 - ▶ distribué
 - ▶ adaptatif

L'auto-organisation

- effet émergent des processus de traitement **local et distribué**
- défi pour l'informatique

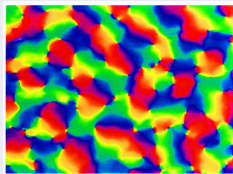


Auto-organisation corticale

- différentes échelles d'auto-organisation :
 - ▶ aires corticales – plasticité neuronale
 - ▶ cartes d'auto-organisation
- mécanisme générique de structuration de l'information
 - ▶ local
 - ▶ distribué
 - ▶ adaptatif

L'auto-organisation

- effet émergent des processus de traitement **local et distribué**
- défi pour l'informatique

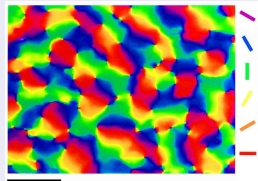


Auto-organisation corticale

- différentes échelles d'auto-organisation :
 - ▶ aires corticales – plasticité neuronale
 - ▶ cartes d'auto-organisation
- mécanisme générique de structuration de l'information
 - ▶ local
 - ▶ distribué
 - ▶ adaptatif

L'auto-organisation

- effet émergent des processus de traitement **local et distribué**
- défi pour l'informatique

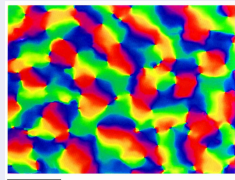


Auto-organisation corticale

- différentes échelles d'auto-organisation :
 - ▶ aires corticales – plasticité neuronale
 - ▶ cartes d'auto-organisation
- mécanisme générique de structuration de l'information
 - ▶ local
 - ▶ distribué
 - ▶ adaptatif

L'auto-organisation

- effet émergent des processus de traitement **local et distribué**
- défi pour l'informatique

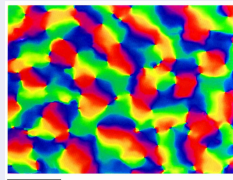


Auto-organisation corticale

- différentes échelles d'auto-organisation :
 - ▶ aires corticales – plasticité neuronale
 - ▶ cartes d'auto-organisation
- mécanisme générique de structuration de l'information
 - ▶ local
 - ▶ distribué
 - ▶ adaptatif

L'auto-organisation

- effet émergent des processus de traitement **local et distribué**
- défi pour l'informatique



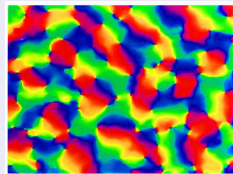
Problématique

Développement des architectures de traitement d'information capables de :

- exploiter pleinement le paradigme de calcul distribué
- intégrer des mécanismes cortico-inspirés d'auto-organisation

L'auto-organisation

- effet émergent des processus de traitement **local et distribué**
- défi pour l'informatique



Objectif

concevoir un modèle de calcul distribué
cortico-inspiré d'auto-organisation

Visions, approches et outils de modélisation

- perspective **informatique** – approche **computationnelle**
- perspective **système dynamique** – approche de type **champ neuronal dynamique**
- perspective **corticale** – approche **connexionniste**

Visions, approches et outils de modélisation

- perspective **informatique** — approche **computationnelle**
- perspective **système dynamique** — approche de type **champ neuronal dynamique**
- perspective **corticale** — approche **connexionniste**

Visions, approches et outils de modélisation

- perspective **informatique** — approche **computationnelle**
- perspective **système dynamique** — approche de type **champ neuronal dynamique**
- perspective **corticale** — approche **connexionniste**

Visions, approches et outils de modélisation

- perspective **informatique** — approche **computationnelle**
- perspective **système dynamique** — approche de type **champ neuronal dynamique**
- perspective **corticale** — approche **connexionniste**

Visions, approches et outils de modélisation

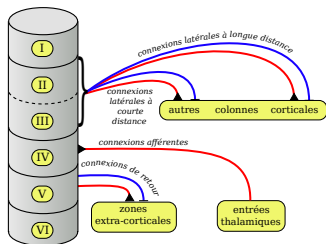
- perspective **informatique** – approche **computationnelle**
- perspective **système dynamique** – approche de type **champ neuronal dynamique**
- perspective **corticale** – approche **connexionniste**

Visions, approches et outils de modélisation

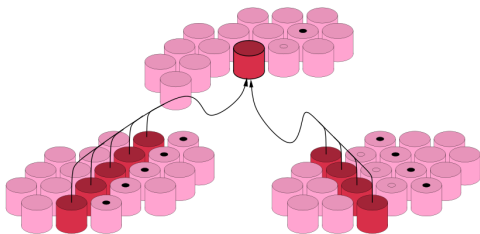
- perspective **informatique** – approche **computationnelle**
- perspective **système dynamique** – approche de type **champ neuronal dynamique**
- perspective **corticale** – approche **connexionniste**

Visions, approches et outils de modélisation

- perspective **informatique** — approche **computationnelle**
- perspective **système dynamique** — approche de type **champ neuronal dynamique**
- perspective **corticale** — approche **connexionniste**



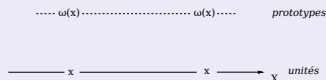
Mountcastle (1997), Burnod (1989)



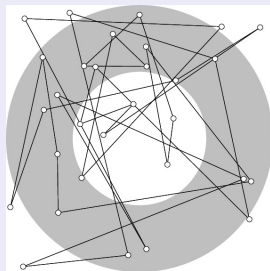
Ménard, Frezza-Buet (2005)

Architecture cortico-inspirée d'auto-organisation

Architecture d'auto-organisation



Etat initial des prototypes

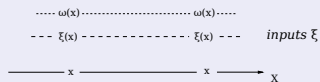


liste de **prototypes** $\omega(x)$

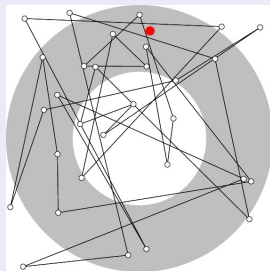
but : auto-organisation – quantification vectorielle **distribuée** sur un espace topologique

Architecture cortico-inspirée d'auto-organisation

Architecture d'auto-organisation



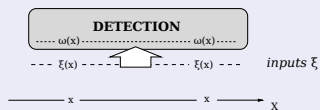
Echantillonnage



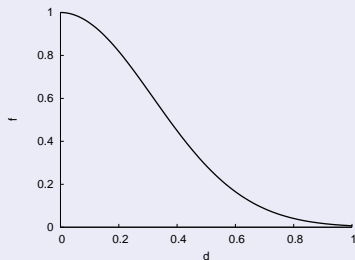
tirer aléatoirement un **échantillon** $\xi \in D$

Architecture cortico-inspirée d'auto-organisation

Architecture d'auto-organisation



Détection

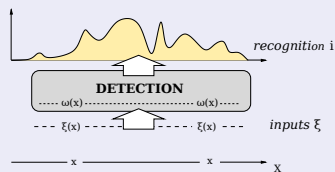


« tuning curve » :

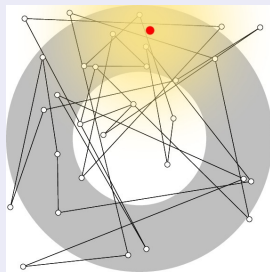
$$i(x, t) = f(d(\omega(x, t), \xi(x, t))) = e^{-a \cdot d^2(\omega(x, t), \xi(x, t))}$$

Architecture cortico-inspirée d'auto-organisation

Architecture d'auto-organisation



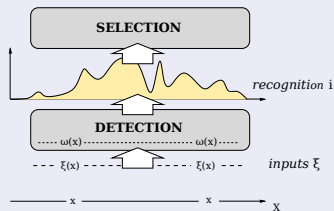
Détection



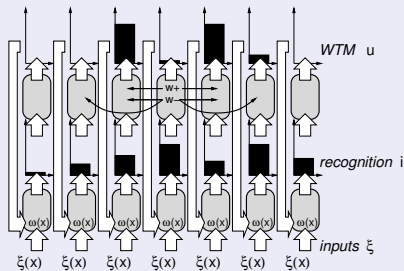
calculer la **réponse** $i(x, t)$ pour tous les prototypes

Architecture cortico-inspirée d'auto-organisation

Architecture d'auto-organisation



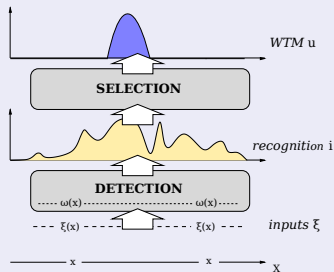
Compétition distribuée



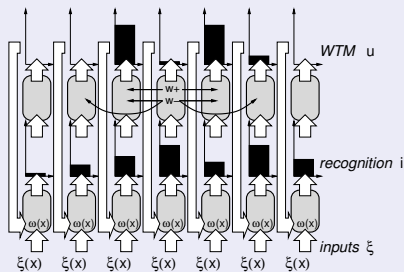
sélectionner la réponse qui concorde le mieux avec $\xi(x, t)$

Architecture cortico-inspirée d'auto-organisation

Architecture d'auto-organisation



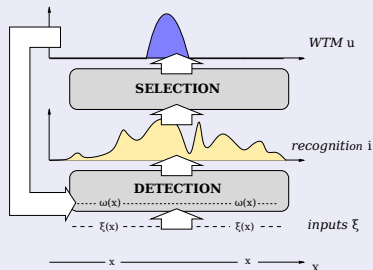
Compétition distribuée



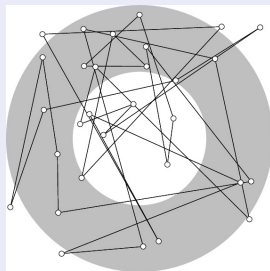
u – résultat d'une **compétition distribuée**

Architecture cortico-inspirée d'auto-organisation

Architecture d'auto-organisation



Apprentissage

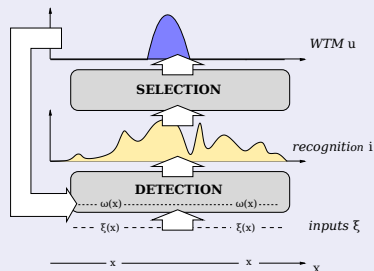


ajuster les prototypes cf. la **règle d'apprentissage** :

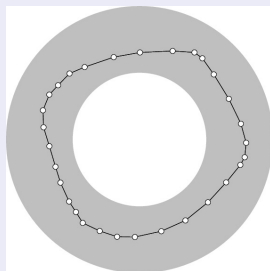
$$\forall x \in X, \omega(x, t + 1) = \omega(x, t) + \alpha \cdot u(x, t)(\omega(x, t) - \xi(x, t))$$

Architecture cortico-inspirée d'auto-organisation

Architecture d'auto-organisation



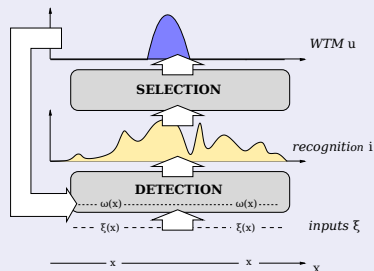
Résultat final



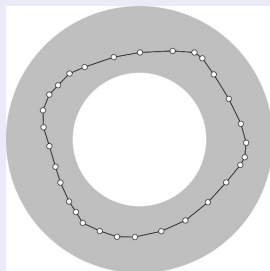
auto-organisation des prototypes

Architecture cortico-inspirée d'auto-organisation

Architecture d'auto-organisation



Résultat final



Comparaison avec l'algorithme SOM (Kohonen) :

- u – résultat d'un calcul **centralisé** (maximum)
- pour SOM distribué u – **remis à zéro** avant chaque nouvel échantillon $\xi \in D$



Architecture distribuée d'auto-organisation

Modèle cortico-inspiré de traitement d'information

- *approche computationnelle*
- implantation *distribuée*

Défis

- auto-organisation *vraiment* distribuée
- **quel mécanisme pour le module de sélection ?**

Champs neuronaux dynamiques

Le modèle général des champs neuronaux dynamiques

Formalisme mathématique

- description formelle de l'activité corticale au niveau **mésoscopique**
- mécanisme de **compétition neuronale**

Le modèle général des champs neuronaux dynamiques

Formalisme mathématique

- description formelle de l'activité corticale au niveau **mésoscopique**
- mécanisme de **compétition neuronale**

Modèle d'Amari (CNDA)

$$\begin{aligned}w(|x - x'|) &= A^+ e^{-a|x-x'|^2} - A^- e^{-b|x-x'|^2} \\ \tau \frac{du(x, t)}{dt} &= -u(x, t) + \int_{-\infty}^{\infty} w(|x - x'|) \sigma(u(x', t)) dx' + i(x, t) + h - v(x, t) \\ \frac{1}{\eta} \frac{dv(x, t)}{dt} &= -v(x, t) + u(x, t)\end{aligned}$$



Le modèle général des champs neuronaux dynamiques

Formalisme mathématique

- description formelle de l'activité corticale au niveau **mésoscopique**
- mécanisme de **compétition neuronale**

Modèle d'Amari (CNDA)

$$\begin{aligned}w(|x - x'|) &= A^+ e^{-a|x-x'|^2} - A^- e^{-b|x-x'|^2} \\ \tau \frac{du(x, t)}{dt} &= -u(x, t) + \int_{-\infty}^{\infty} w(|x - x'|) \sigma(u(x', t)) dx' + i(x, t) + h - v(x, t) \\ \frac{1}{\eta} \frac{dv(x, t)}{dt} &= -v(x, t) + u(x, t)\end{aligned}$$



Le modèle général des champs neuronaux dynamiques

Formalisme mathématique

- description formelle de l'activité corticale au niveau **mésoscopique**
- mécanisme de **compétition neuronale**

Modèle d'Amari (CNDA)

$$\begin{aligned}w(|x - x'|) &= A^+ e^{-a|x-x'|^2} - A^- e^{-b|x-x'|^2} \\ \tau \frac{du(x, t)}{dt} &= -u(x, t) + \int_{-\infty}^{\infty} w(|x - x'|) \sigma(u(x', t)) dx' + i(x, t) + h - v(x, t) \\ \frac{1}{\eta} \frac{dv(x, t)}{dt} &= -v(x, t) + u(x, t)\end{aligned}$$



Le modèle général des champs neuronaux dynamiques

Formalisme mathématique

- description formelle de l'activité corticale au niveau **mésoscopique**
- mécanisme de **compétition neuronale**

Modèle d'Amari (CNDA)

$$w(|x - x'|) = A^+ e^{-a|x-x'|^2} - A^- e^{-b|x-x'|^2}$$
$$\tau \frac{du(x, t)}{dt} = -u(x, t) + \int_{-\infty}^{\infty} w(|x - x'|) \sigma(u(x', t)) dx' + i(x, t) + h - v(x, t)$$
$$\frac{1}{\eta} \frac{dv(x, t)}{dt} = -v(x, t) + u(x, t)$$



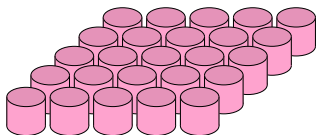
Le modèle général des champs neuronaux dynamiques

Formalisme mathématique

- description formelle de l'activité corticale au niveau **mésoscopique**
- mécanisme de **compétition neuronale**

Modèle d'Amari (CNDA)

$$w(|x - x'|) = A^+ e^{-a|x-x'|^2} - A^- e^{-b|x-x'|^2}$$
$$\tau \frac{du(x, t)}{dt} = -u(x, t) + \int_{-\infty}^{\infty} w(|x - x'|) \sigma(u(x', t)) dx' + i(x, t) + h - v(x, t)$$
$$\frac{1}{\eta} \frac{dv(x, t)}{dt} = -v(x, t) + u(x, t)$$



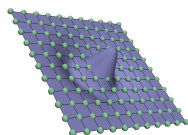
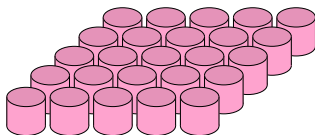
Le modèle général des champs neuronaux dynamiques

Formalisme mathématique

- description formelle de l'activité corticale au niveau **mésoscopique**
- mécanisme de **compétition neuronale**

Modèle d'Amari (CNDA)

$$w(|x - x'|) = A^+ e^{-a|x-x'|^2} - A^- e^{-b|x-x'|^2}$$
$$\tau \frac{du(x, t)}{dt} = -u(x, t) + \int_{-\infty}^{\infty} w(|x - x'|) \sigma(u(x', t)) dx' + i(x, t) + h - v(x, t)$$
$$\frac{1}{\eta} \frac{dv(x, t)}{dt} = -v(x, t) + u(x, t)$$

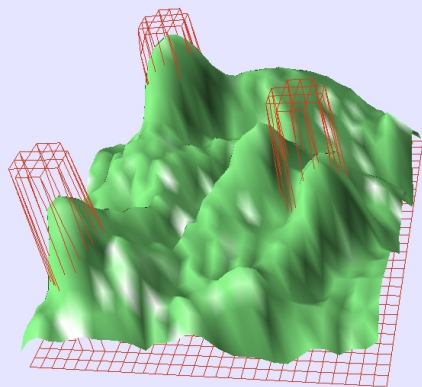


Le modèle général des champs neuronaux dynamiques

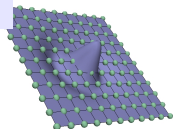
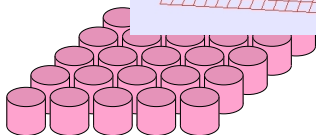
Formalisme mathématique

- description formelle de l'activité corticale au niveau **mésoscopique**
- mécanisme

$$w(|x - x'|) =$$
$$\tau \frac{du(x, t)}{dt} =$$
$$\frac{1}{\eta} \frac{dv(x, t)}{dt} =$$



$$i(x, t) + h - v(x, t)$$



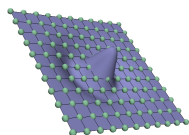
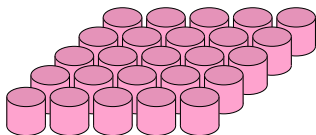
Le modèle général des champs neuronaux dynamiques

Formalisme mathématique

- description formelle de l'activité corticale au niveau **mésoscopique**
- mécanisme de **compétition neuronale**

Modèle de Pinto et Ermentrout (CNDPE)

$$w(|x - x'|) = A^+ e^{-a|x-x'|^2} - A^- e^{-b|x-x'|^2}$$
$$\tau \frac{du(x, t)}{dt} = -u(x, t) + \int_{-\infty}^{\infty} w(|x - x'|) \sigma(u(x', t)) dx' + i(x, t) + h - v(x, t)$$
$$\frac{1}{\eta} \frac{dv(x, t)}{dt} = -v(x, t) + u(x, t)$$



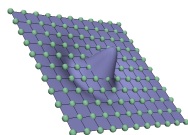
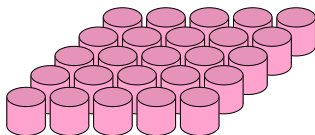
Le modèle général des champs neuronaux dynamiques

Formalisme mathématique

- description formelle de l'activité corticale au niveau **mésoscopique**
- mécanisme de **compétition neuronale**

Modèle de Pinto et Ermentrout (CNDPE)

$$w(|x - x'|) = A^+ e^{-a|x-x'|^2} - A^- e^{-b|x-x'|^2}$$
$$\tau \frac{du(x, t)}{dt} = -u(x, t) + \int_{-\infty}^{\infty} w(|x - x'|) \sigma(u(x', t)) dx' + i(x, t) + h - v(x, t)$$
$$\frac{1}{\eta} \frac{dv(x, t)}{dt} = -v(x, t) + u(x, t)$$

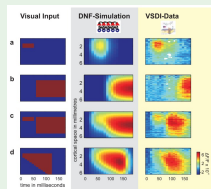


Autres modèles de champ

- ajustement dynamique du **niveau de repos** du champ (Erlhagen et al. 2003)
- prise en compte de la **vitesse de propagation** dendritique des activités du champ (Hutt et al. 2003, Roxin et al. 2005, Bressloff et al. 2004, Folias et al. 2004)
- **apprentissage des connexions latérales** (Miikkulainen et al. 1997, Gläser et al. 2008)

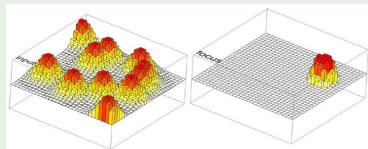
Applications des champs neuronaux dynamiques

Simulation physiologique



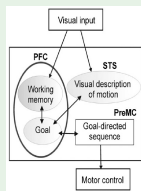
Meyer (2007),
Ben-Yishai et al.
(1995), Bressloff
et al. (2002)

Processus cognitifs



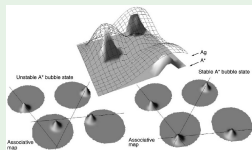
Rougier et al. (2006), Simmering et al. (2007)

Systèmes situés



Erlhagen et al.
(2006), Stringer
al. (2003),
Cuperlier et al.
(2005)

Apprentissage



Ménard et al. (2005), Miikkulainen et al. (2005)



Le paradigme des champs neuronaux dynamiques

Propriétés

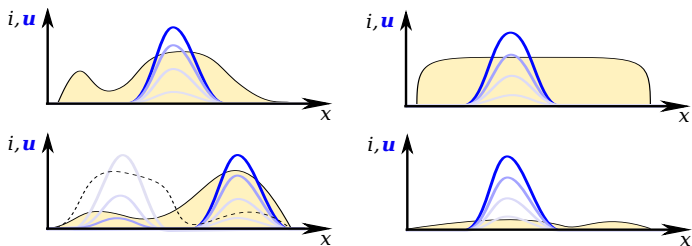
- modèle *connexionniste* de calcul neuronal
- modèle de *compétition neuronale*
- niveau *mésoscopique* de description

Pour notre objectif

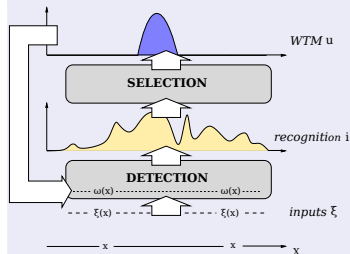
- modéliser le processus d'auto-organisation
 - ▶ implémenter le *module de sélection* de l'architecture d'auto-organisation

*Critère d'évaluation pour le comportement des
champs neuronaux dynamiques*

Comportements souhaités pour les champs neuronaux dynamiques



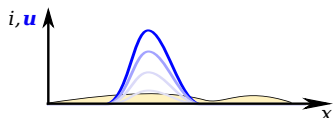
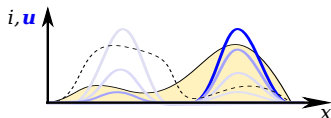
Rappel



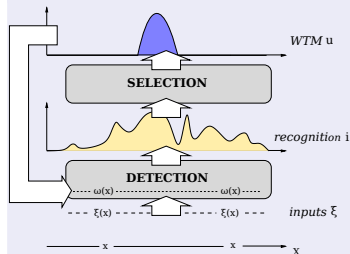
règle d'apprentissage :

$$\forall x \in X, \omega(x, t + 1) = \omega(x, t) + \alpha \cdot u(x, t) (\omega(x, t) - \xi(x, t))$$

Comportements souhaités pour les champs neuronaux dynamiques

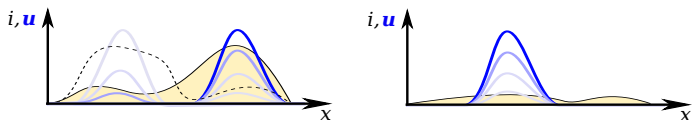


Rappel



règle d'apprentissage :

$$\forall x \in X, \omega(x, t + 1) = \omega(x, t) + \alpha \cdot u(x, t) (\omega(x, t) - \xi(x, t))$$

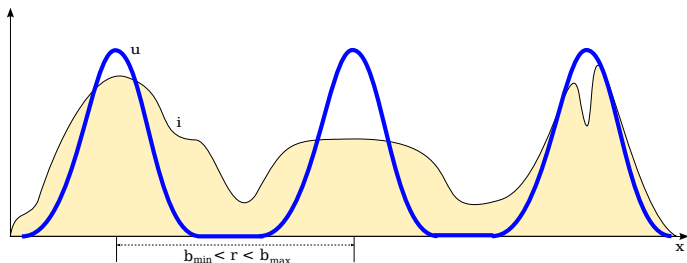


Propriétés souhaitables

État stable de l'activité u du champ :

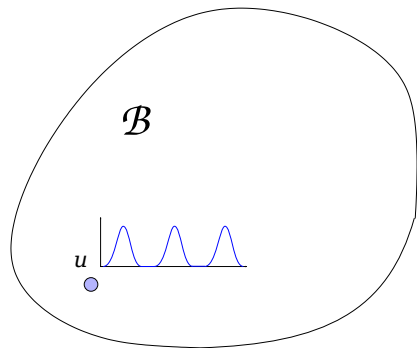
- **sélectif localement** vis-à-vis de la stimulation i
- **indépendamment de l'amplitude** de stimulation

Description des propriétés dynamiques souhaitées

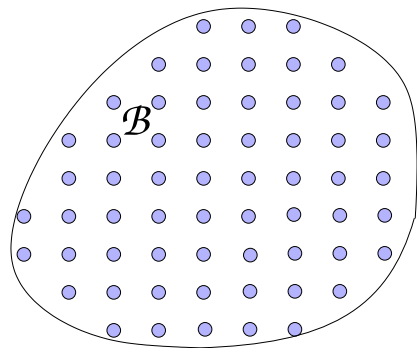


Propriétés de l'activité stabilisée d'un champ neuronal

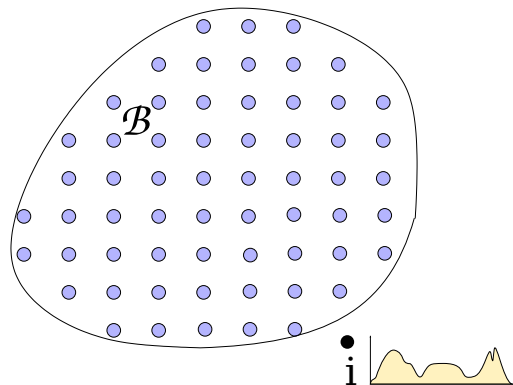
- **Propriété P** : « *corrélacion locale* » des distributions i et u
- **Propriété Q** : *densité des bulles d'activité* dans la distribution u



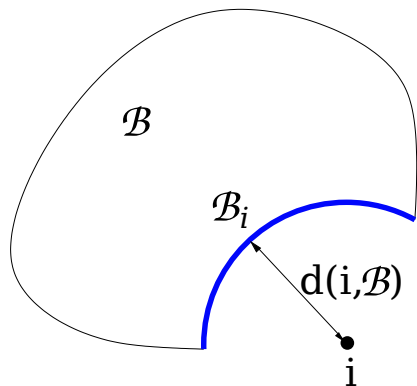
\mathcal{B} – l'ensemble de réponses u respectant (Q)



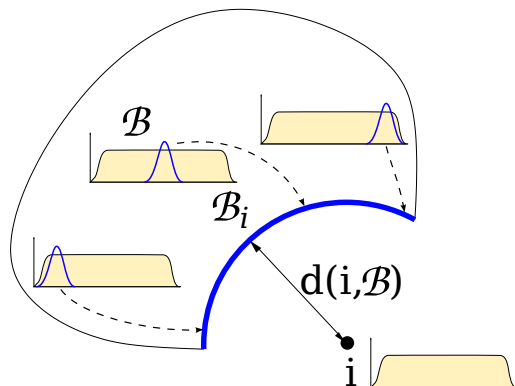
\mathcal{B} – généré par une procédure
de calcul combinatoire



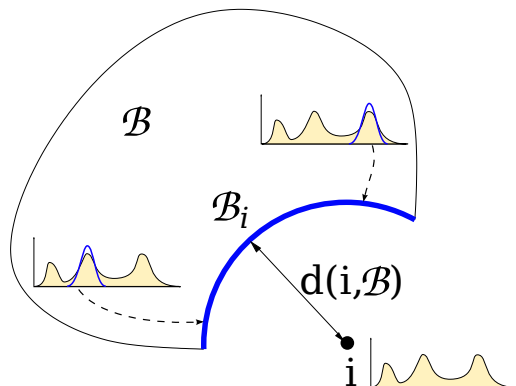
i – une distribution de stimulation donnée



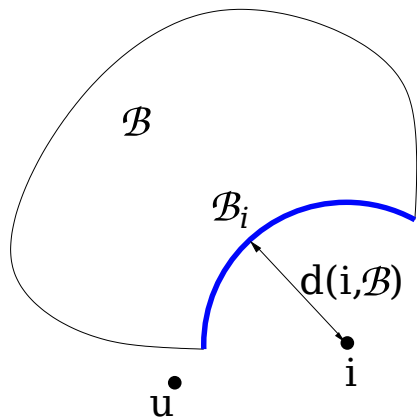
\mathcal{B}_i – ensemble de **champs de référence** → respectent pleinement $(P \wedge Q)$



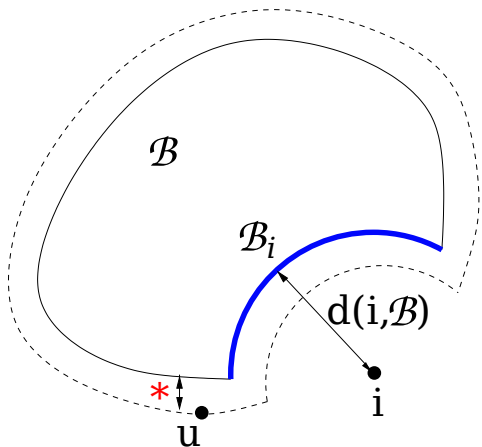
$$\text{card}(\mathcal{B}_i) \geq 1$$



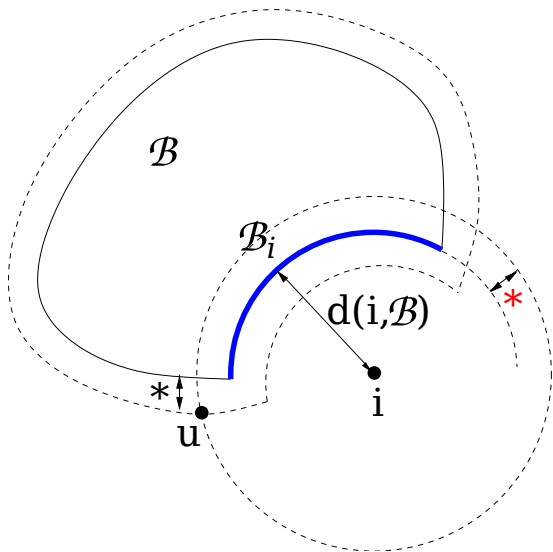
$$\text{card}(\mathcal{B}_i) \geq 1$$



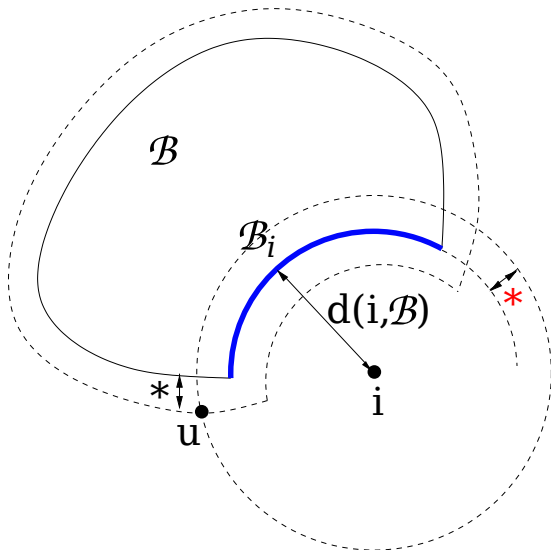
u – la réponse du champ analysé



satisfaire $Q \Leftrightarrow$ minimiser
 $d(u, \mathcal{B})$



satisfaire $P \Leftrightarrow$ minimiser
 $(d(u, i) - d(u, \mathcal{B}))$

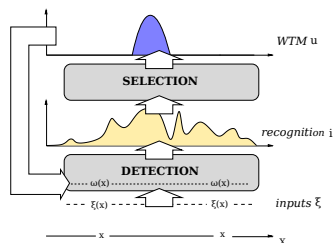


$$\Delta_i^{\mathcal{B}}(u) = \sqrt{(d(i, u) - d(i, \mathcal{B}))^2 + d^2(u, \mathcal{B})}$$

Pertinence du critère décrit par $(P \wedge Q)$

Implantation classique
(Kohonen SOM)

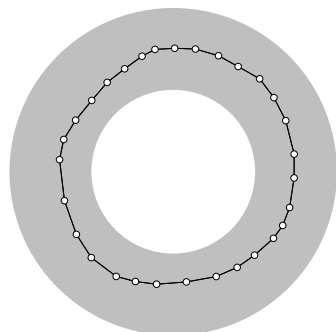
Implantation avec un champ
neuronal de référence ($u \in \mathcal{B}_i$)



- résultats satisfaisants pour les scénarios d'auto-organisation 1D
- conséquence de la capacité des champs de référence à générer des bulles dans des conditions de très faible stimulation

Pertinence du critère décrit par $(P \wedge Q)$

Implantation classique
(Kohonen SOM)

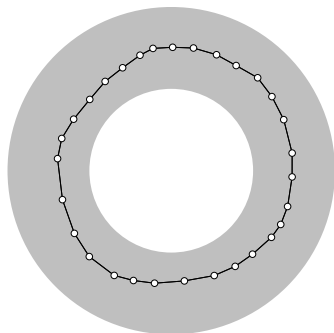


Implantation avec un champ
neuronal de référence ($u \in \mathcal{B}_i$)

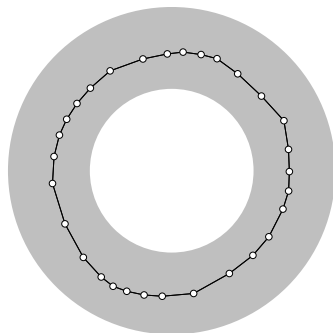
- résultats satisfaisants pour les scénarios d'auto-organisation 1D
- conséquence de la capacité des champs de référence à générer des bulles dans des conditions de très faible stimulation

Pertinence du critère décrit par $(P \wedge Q)$

Implantation classique
(Kohonen SOM)



Implantation avec un champ neuronal de référence ($u \in \mathcal{B}_i$)



- résultats satisfaisants pour les scénarios d'auto-organisation 1D
- conséquence de la capacité des champs de référence à générer des bulles dans des conditions de très faible stimulation



Critères d'évaluation des champs neuronaux dans des contextes d'auto-organisation

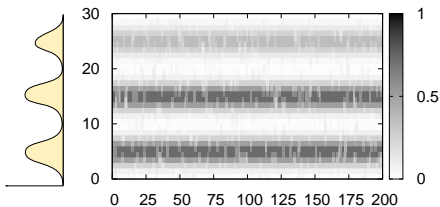
- **propriétés souhaitables** ($P \wedge Q$)
- **instrument d'évaluation**
- concept de **champ neuronal de référence**
 - ▶ respecte pleinement ($P \wedge Q$)
 - ▶ pertinents pour l'auto-organisation
 - ▶ mécanisme **non-distribué**

*Étude empirique des comportements dynamiques
des champs neuronaux classiques*

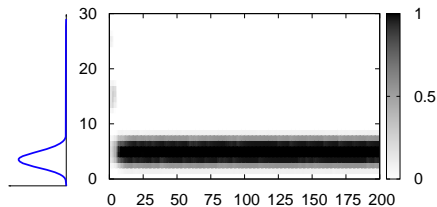
Analyse des comportements dynamiques des modèles CNDA et CNDPE

Scénarios simples

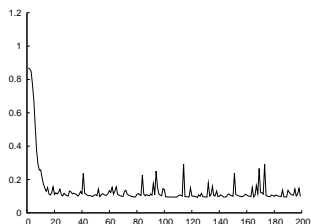
Scénario $i(x, t)$



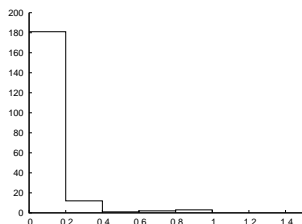
Activité $u(x, t)$ CNDA



$\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDA



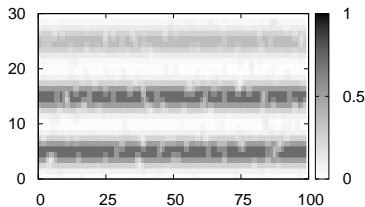
Histogramme $\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDA



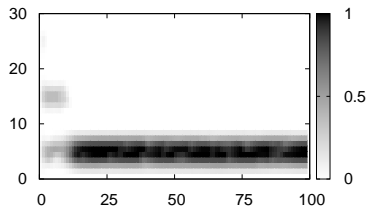
Analyse des comportements dynamiques des modèles CNDA et CNDPE

Scénarios simples

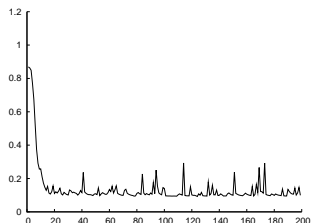
Scénario $i(x, t)$



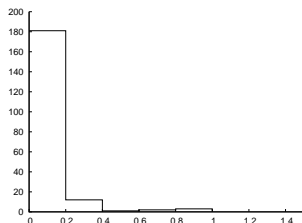
Activité $u(x, t)$ CNDPE



$\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDPE



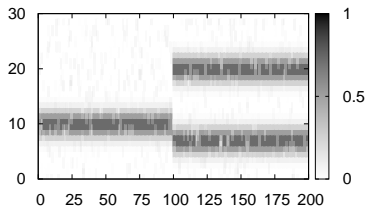
Histogramme $\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDPE



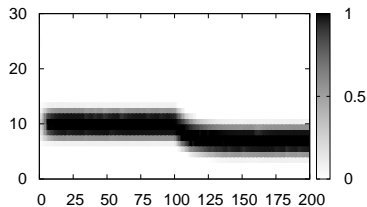
Analyse des comportements dynamiques des modèles CNDA et CNDPE

Scénarios simples

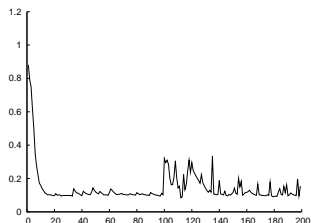
Scénario $i(x, t)$



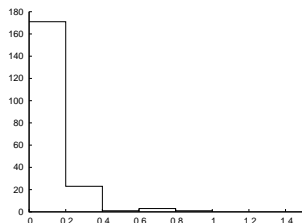
Activité $u(x, t)$ CNDA



$\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDA



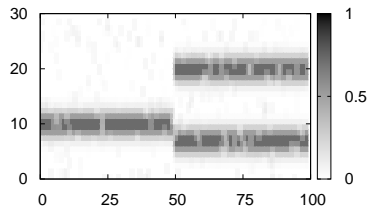
Histogramme $\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDA



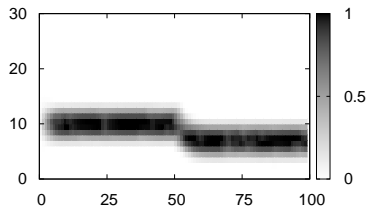
Analyse des comportements dynamiques des modèles CNDA et CNDPE

Scénarios simples

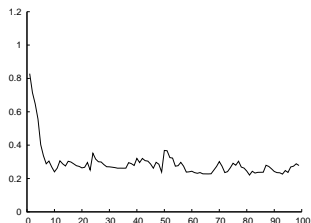
Scénario $i(x, t)$



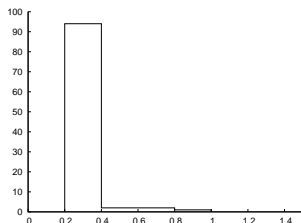
Activité $u(x, t)$ CNDPE



$\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDPE



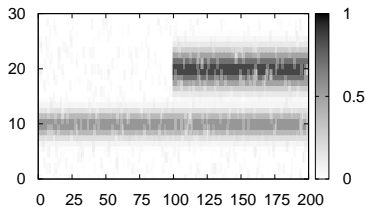
Histogramme $\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDPE



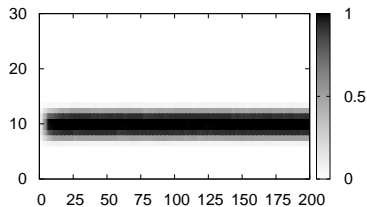
Analyse des comportements dynamiques des modèles CNDA et CNDPE

Scénarios simples

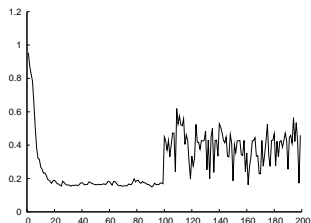
Scénario $i(x, t)$



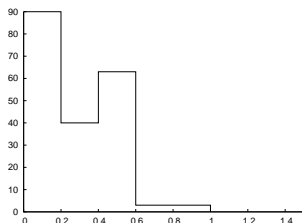
Activité $u(x, t)$ CNDA



$\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDA



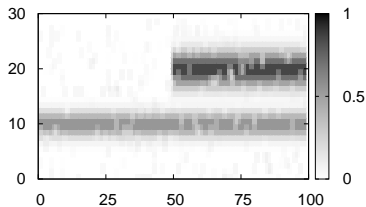
Histogramme $\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDA



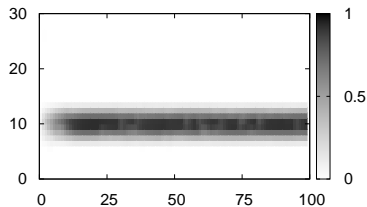
Analyse des comportements dynamiques des modèles CNDA et CNDPE

Scénarios simples

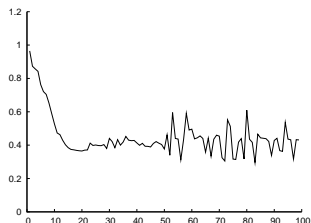
Scénario $i(x, t)$



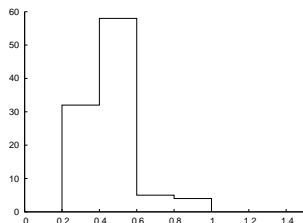
Activité $u(x, t)$ CNDPE



$\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDPE



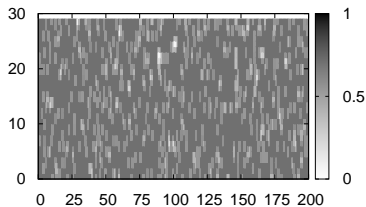
Histogramme $\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDPE



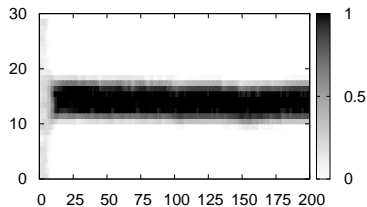
Analyse des comportements dynamiques des modèles CNDA et CNDPE

Scénarios simples

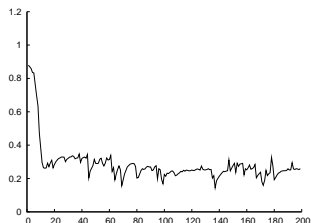
Scénario $i(x, t)$



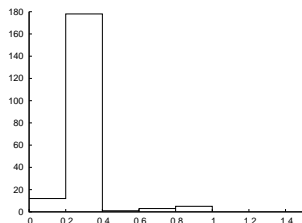
Activité $u(x, t)$ CNDA



$\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDA



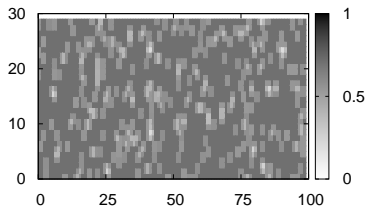
Histogramme $\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDA



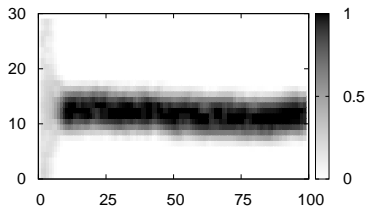
Analyse des comportements dynamiques des modèles CNDA et CNDPE

Scénarios simples

Scénario $i(x, t)$



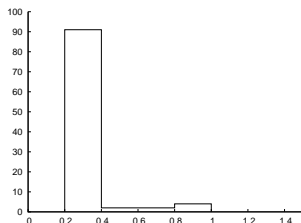
Activité $u(x, t)$ CNDPE



$\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDPE



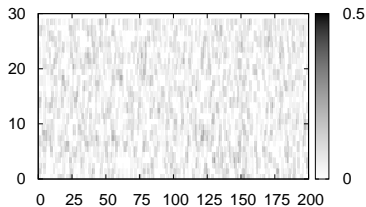
Histogramme $\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDPE



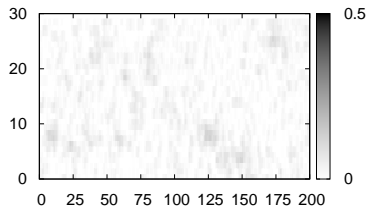
Analyse des comportements dynamiques des modèles CNDA et CNDPE

Scénarios simples

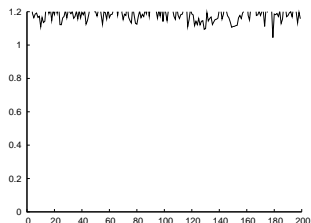
Scénario $i(x, t)$



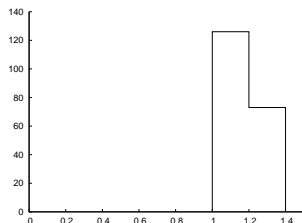
Activité $u(x, t)$ CNDA



$\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDA



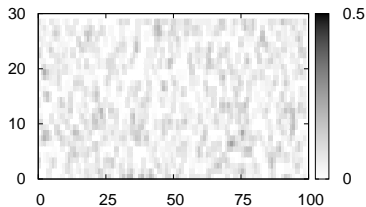
Histogramme $\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDA



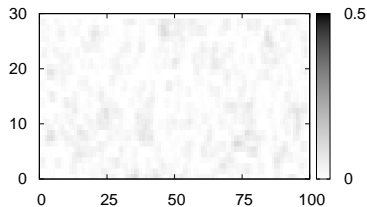
Analyse des comportements dynamiques des modèles CNDA et CNDPE

Scénarios simples

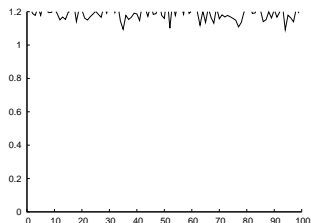
Scénario $i(x, t)$



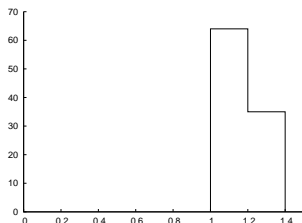
Activité $u(x, t)$ CNDPE



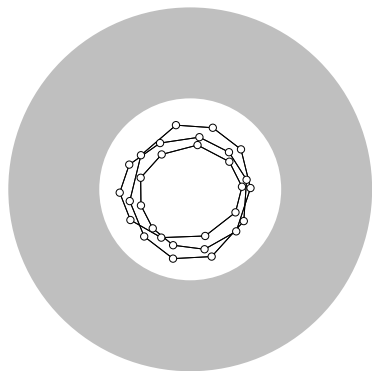
$\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDPE



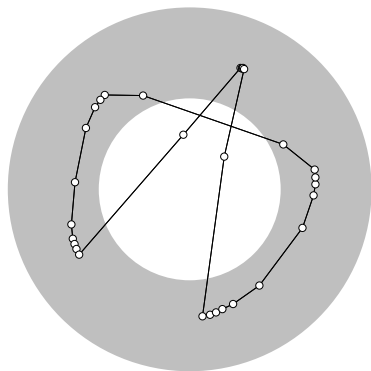
Histogramme $\bar{\Delta}_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDPE



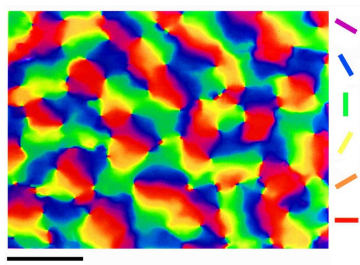
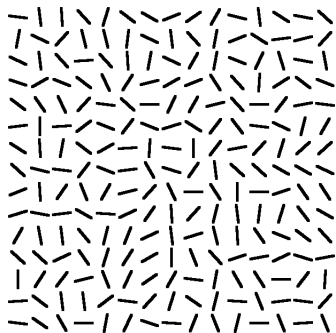
État final (CNDA)



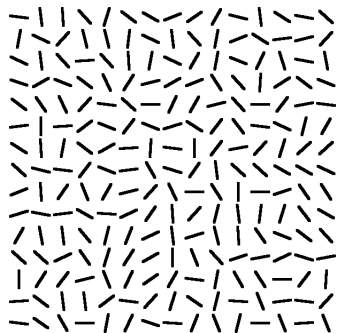
État final (CNDPE)



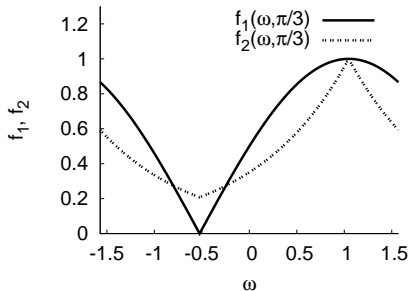
État initial



État initial

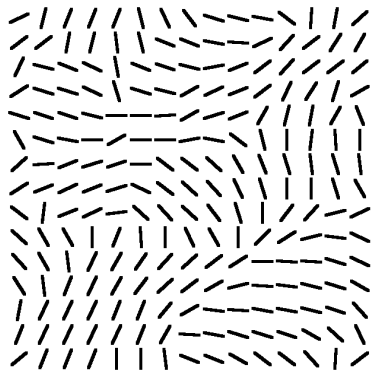


Tuning curves

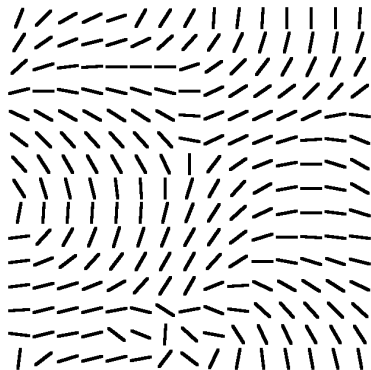


Résultats obtenus avec la *tuning curve* f_1

CNDA

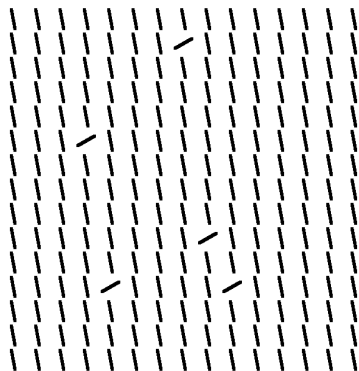


CNDPE

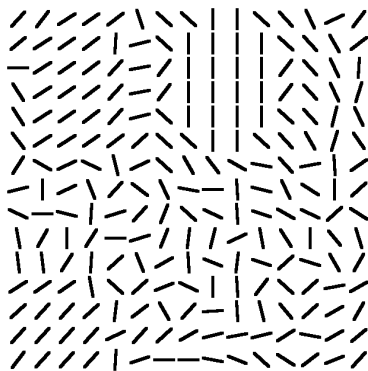


Résultats obtenus avec la *tuning curve* f_2

CNDA



CNDPE



Modèle CNDA

$$w(|x - x'|) = A^+ e^{-a|x-x'|^2} - A^- e^{-b|x-x'|^2}$$

$$\tau \frac{du(x, t)}{dt} = -u(x, t) + \int_{-\infty}^{\infty} w(|x - x'|) \sigma(u(x', t)) dx' + i(x, t) + h$$

$$\sigma(x) = (F(x) - F(0)) / (F(1) - F(0))$$

$$\tau = 0.3^{-1}, h = 0, a = 0.35, b = 0$$

Paramètres libres du modèle

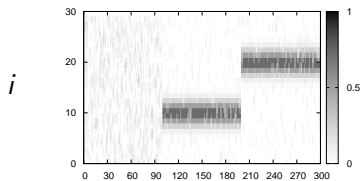
$$F(x) = 1 / (1 + e^{-\alpha_1(2x-1)})$$

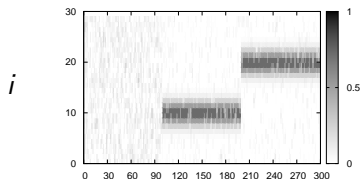
$$A^+ = \alpha_2$$

$$A^- = \alpha_3$$

- $\alpha_1 \in [1, 9]$ (5 valeurs)
- $\alpha_2 \in [0.2, 1.2]$ (11 valeurs)
- $\alpha_3 \in [0, 0.3]$ (31 valeurs)

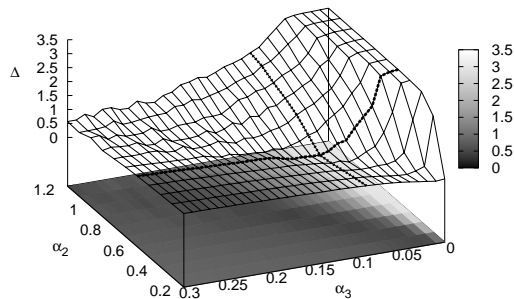
Ajustement fin de paramètres – étude de cas

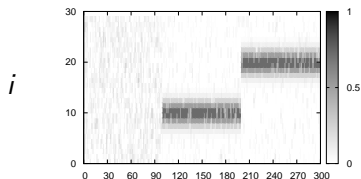




Un optimum

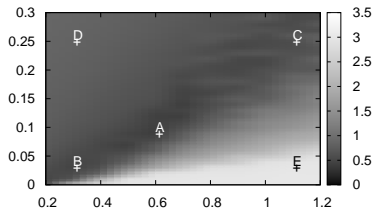
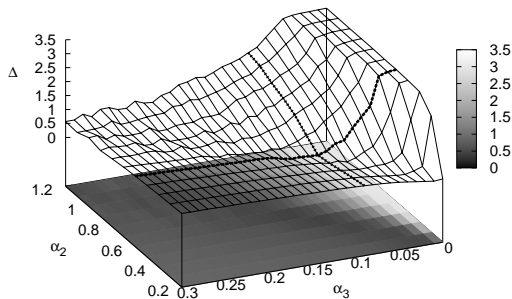
- $\alpha_1^* = 1$
- $\alpha_2^* = A^+ = 0.6$
- $\alpha_3^* = A^- = 0.09$
- $\Delta(\alpha_1^*, \alpha_2^*, \alpha_3^*) = 0.40$



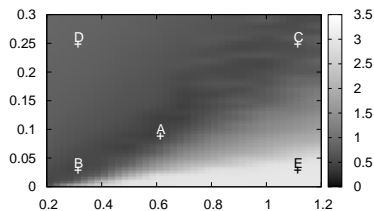
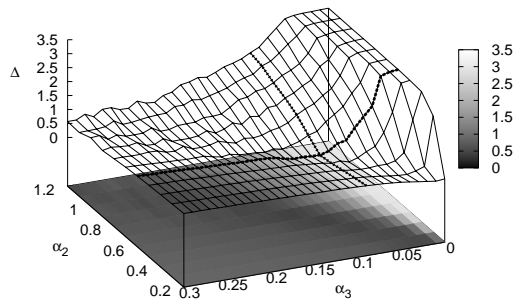
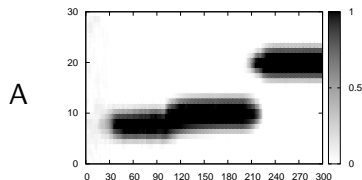
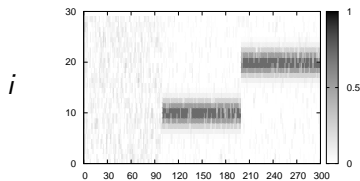


Un optimum

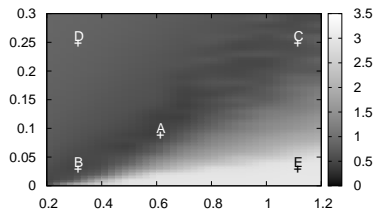
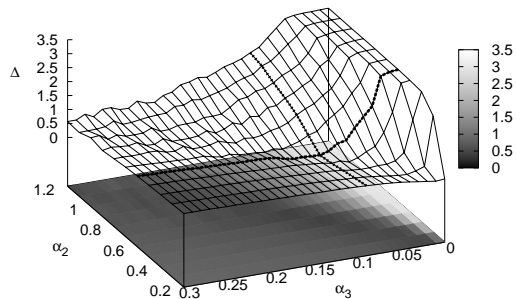
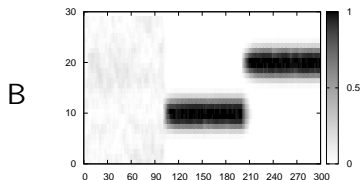
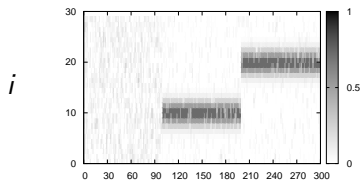
- $\alpha_1^* = 1$
- $\alpha_2^* = A^+ = 0.6$
- $\alpha_3^* = A^- = 0.09$
- $\Delta(\alpha_1^*, \alpha_2^*, \alpha_3^*) = 0.40$



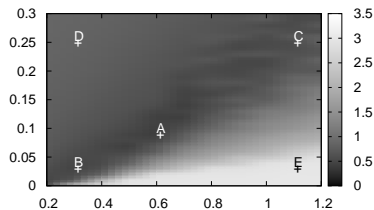
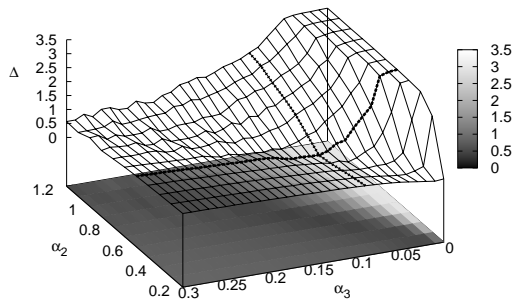
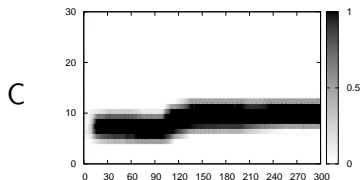
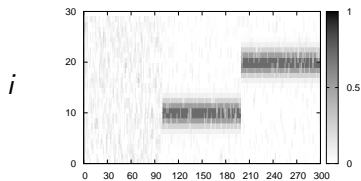
Ajustement fin de paramètres – étude de cas



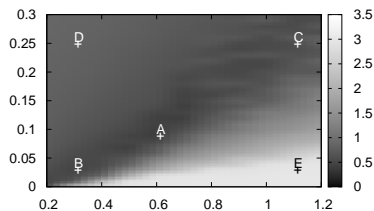
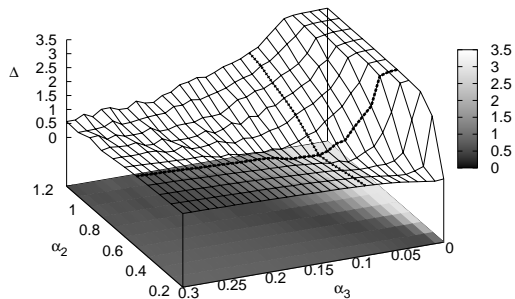
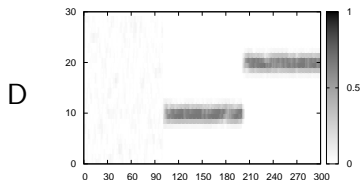
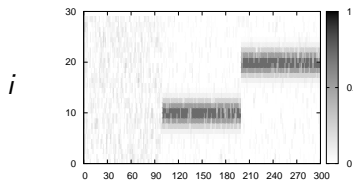
Ajustement fin de paramètres – étude de cas



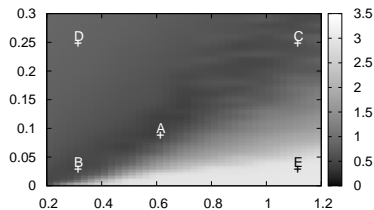
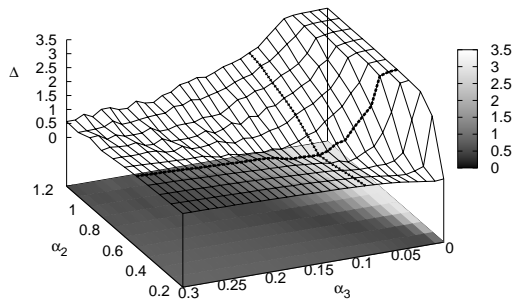
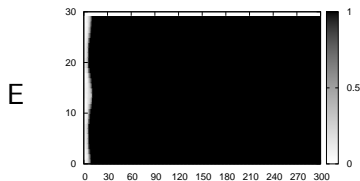
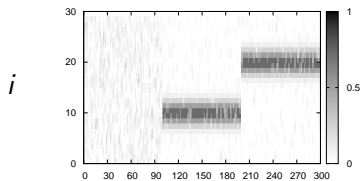
Ajustement fin de paramètres – étude de cas



Ajustement fin de paramètres – étude de cas

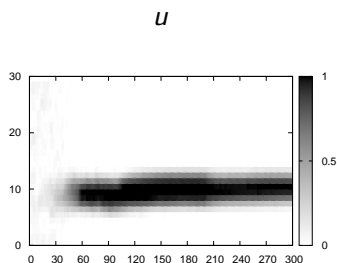
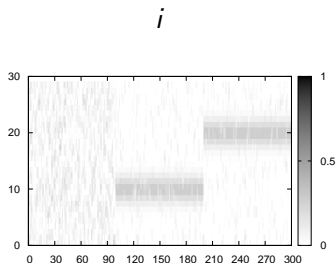


Ajustement fin de paramètres – étude de cas



Examiner la robustesse du comportement optimal du champ

- répéter l'expérience pour le même triplet $(\alpha_1^*, \alpha_2^*, \alpha_3^*)$, mais pour un autre scénario de stimulation
- caractère inconsistant de l'optimum



Résultats de l'analyse empirique

Les modèles classiques CNDA et CNDPE

- capables de satisfaire $(P \wedge Q)$ dans la plupart des scénarios
- incapables d'avoir un caractère sélectif dans des conditions de faible stimulation
- comportement non-robuste vis-à-vis de certains facteurs externes
- **inappropriés pour implémenter l'architecture d'auto-organisation proposée**



Champs neuronaux dynamiques rétro-inhibés

Un nouveau formalisme pour les champs neuronaux dynamiques

- $\mathcal{E}(x, t) = \sigma_1 \left(\int_{x'} w^+(|x - x'|) f(u(x', t)) dx' \right)$
- $\mathcal{I}(x, t) = \sigma_2 \left(\int_{x'} w^-(|x - x'|) f(u(x', t)) dx' \right)$

- $\mathcal{E}(x, t) = \sigma_1 \left(\int_{x'} w^+(|x - x'|) f(u(x', t)) dx' \right)$
- $\mathcal{I}(x, t) = \sigma_2 \left(\int_{x'} w^-(|x - x'|) f(u(x', t)) dx' \right)$

Les équations du champ neuronal dynamique rétro-inhibé (CNDRI)

$$\begin{aligned} \tau \cdot du(x, t)/dt &= i(x, t) + \alpha \cdot \mathcal{E}(x, t) - \beta \cdot \mathcal{I}(x, t) - \gamma \cdot g(i, v) \\ dv(x, t)/dt &= h(\mathcal{E}(x, t)) \end{aligned}$$

Un nouveau formalisme pour les champs neuronaux dynamiques

- $\mathcal{E}(x, t) = \sigma_1 \left(\int_{x'} w^+(|x - x'|) f(u(x', t)) dx' \right)$
- $\mathcal{I}(x, t) = \sigma_2 \left(\int_{x'} w^-(|x - x'|) f(u(x', t)) dx' \right)$

Les équations du champ neuronal dynamique rétro-inhibé (CNDRI)

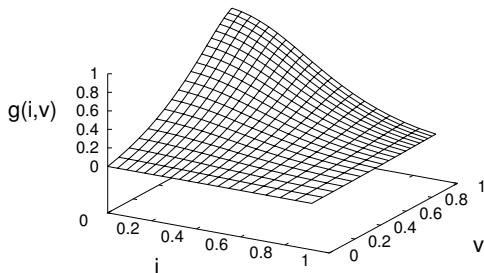
$$\begin{aligned} \tau \cdot du(x, t)/dt &= i(x, t) + \alpha \cdot \mathcal{E}(x, t) - \beta \cdot \mathcal{I}(x, t) - \gamma \cdot g(i, v) \\ dv(x, t)/dt &= h(\mathcal{E}(x, t)) \end{aligned}$$

Un nouveau formalisme pour les champs neuronaux dynamiques

- $\mathcal{E}(x, t) = \sigma_1 \left(\int_{x'} w^+ (|x - x'|) f(u(x', t)) dx' \right)$
- $\mathcal{I}(x, t) = \sigma_2 \left(\int_{x'} w^- (|x - x'|) f(u(x', t)) dx' \right)$

Les équations du champ neuronal dynamique rétro-inhibé (CNDRI)

$$\begin{aligned} \tau \cdot du(x, t)/dt &= i(x, t) + \alpha \cdot \mathcal{E}(x, t) - \beta \cdot \mathcal{I}(x, t) - \gamma \cdot g(i, v) \\ dv(x, t)/dt &= h(\mathcal{E}(x, t)) \end{aligned}$$

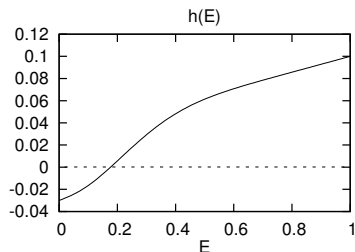
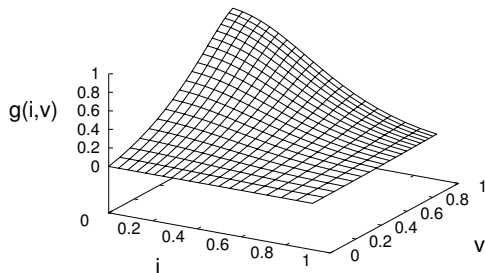


Un nouveau formalisme pour les champs neuronaux dynamiques

- $\mathcal{E}(x, t) = \sigma_1 \left(\int_{x'} w^+(|x - x'|) f(u(x', t)) dx' \right)$
- $\mathcal{I}(x, t) = \sigma_2 \left(\int_{x'} w^-(|x - x'|) f(u(x', t)) dx' \right)$

Les équations du champ neuronal dynamique rétro-inhibé (CNDRI)

$$\begin{aligned} \tau \cdot du(x, t)/dt &= i(x, t) + \alpha \cdot \mathcal{E}(x, t) - \beta \cdot \mathcal{I}(x, t) - \gamma \cdot g(i, v) \\ dv(x, t)/dt &= h(\mathcal{E}(x, t)) \end{aligned}$$



Un nouveau formalisme pour les champs neuronaux dynamiques

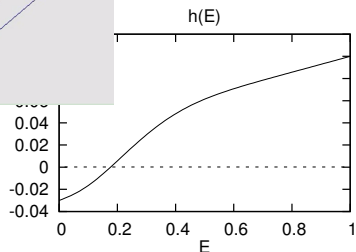
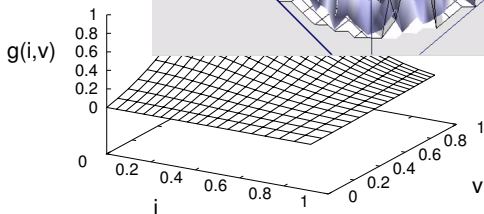
- $\mathcal{E}(x, t)$
- $\mathcal{I}(x, t)$

Les équations

$$\tau \cdot \frac{du(x, t)}{dt} = -u(x, t) + \int g(i, v) \cdot dv(x, t) - \gamma \cdot g(i, v)$$

excitateur-inhibé (CNDRI)

$$u(x, t) - \gamma \cdot g(i, v)$$



Un nouveau formalisme pour les champs neuronaux dynamiques

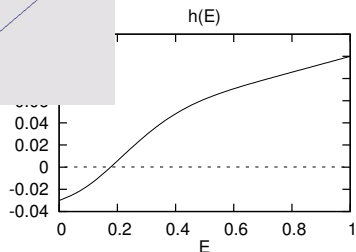
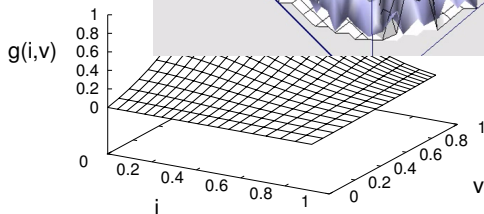
- $\mathcal{E}(x, t)$
- $\mathcal{I}(x, t)$

Les équations

$$\tau \cdot \frac{du(x, t)}{dt} = -u(x, t) + \int g(i, v) \cdot dv(x, t) - \gamma \cdot g(i, v)$$

excitateur-inhibé (CNDRI)

$$g(i, v) = \frac{1}{1 + \exp(-E)}$$



Un nouveau formalisme pour les champs neuronaux dynamiques

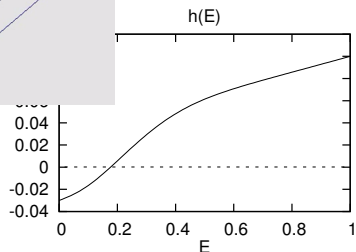
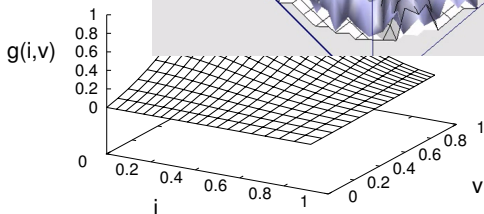
- $\mathcal{E}(x, t)$
- $\mathcal{I}(x, t)$

Les équations

$$\tau \cdot \frac{du(x, t)}{dt} = -u(x, t) + \int g(i, v) \cdot dv(x, t) - \gamma \cdot g(i, v)$$

excitateur-inhibé (CNDRI)

$$g(i, v) = \int h(E) \cdot dE$$



Un nouveau formalisme pour les champs neuronaux dynamiques

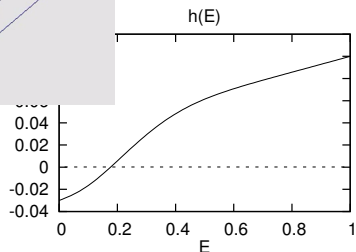
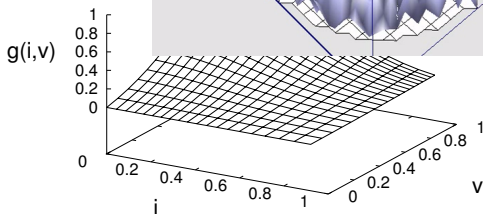
- $\mathcal{E}(x, t)$
- $\mathcal{I}(x, t)$

Les équations

$$\tau \cdot \frac{du(x, t)}{dt} = -u(x, t) + \int g(i, v) dv(x, t) - \gamma \cdot g(i, v)$$

excitateur-inhibé (CNDRI)

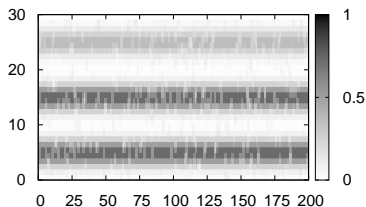
$$g(i, v) = \frac{1}{1 + \exp(-v)}$$



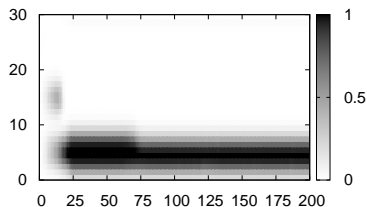
Analyse des comportements dynamiques du modèle CNDRI

Scénarios simples

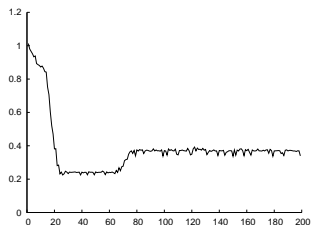
Scénario $i(x, t)$



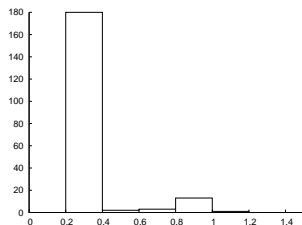
Activité CNDRI $u(x, t)$



$\Delta_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDRI



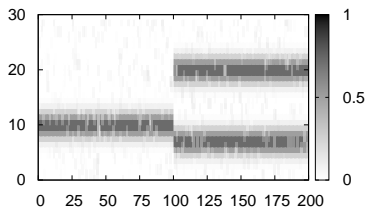
Histogramme $\Delta_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDRI



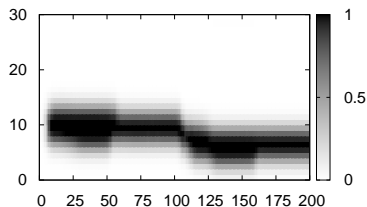
Analyse des comportements dynamiques du modèle CNDRI

Scénarios simples

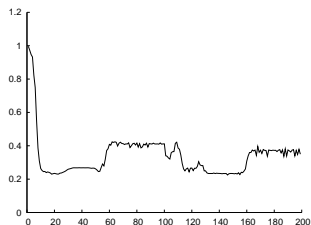
Scénario $i(x, t)$



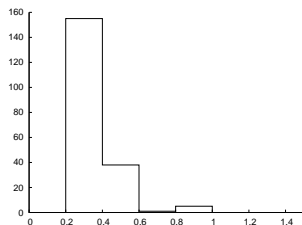
Activité CNDRI $u(x, t)$



$\Delta_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDRI



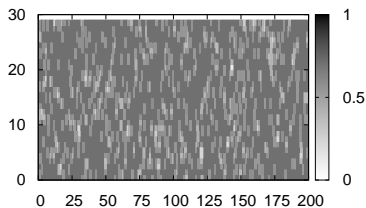
Histogramme $\Delta_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDRI



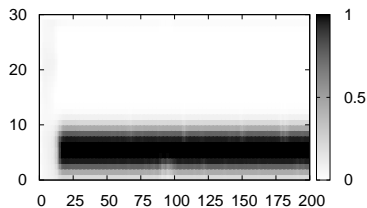
Analyse des comportements dynamiques du modèle CNDRI

Scénarios simples

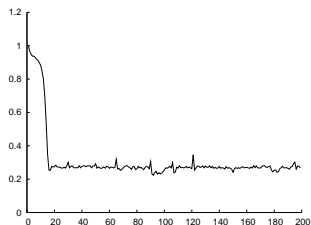
Scénario $i(x, t)$



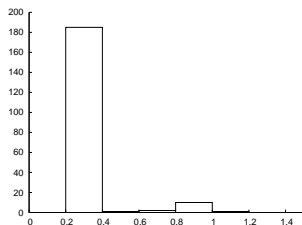
Activité CNDRI $u(x, t)$



$\Delta_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDRI



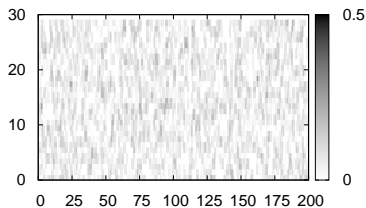
Histogramme $\Delta_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDRI



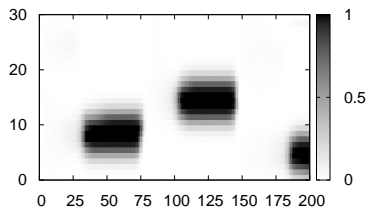
Analyse des comportements dynamiques du modèle CNDRI

Scénarios simples

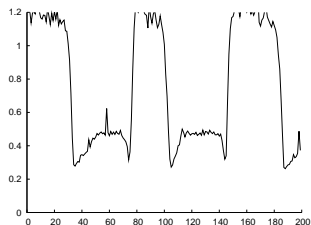
Scénario $i(x, t)$



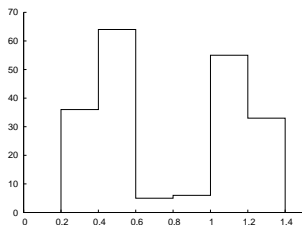
Activité CNDRI $u(x, t)$



$\Delta_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDRI



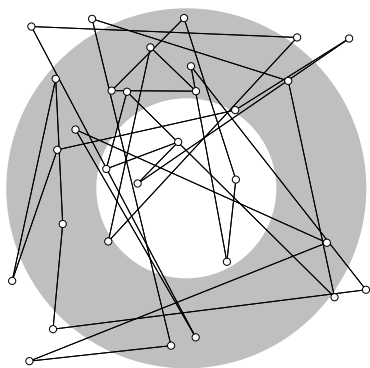
Histogramme $\Delta_i^{\mathcal{B}}(u)$ CNDRI



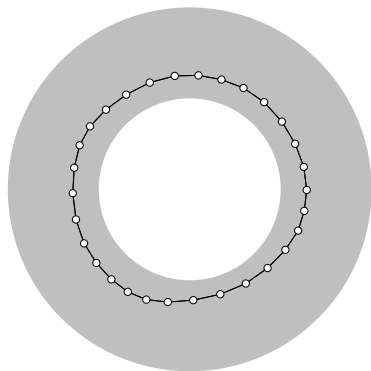
Analyse des comportements dynamiques du modèle CNDRI

Scénarios d'auto-organisation – 1D

État initial



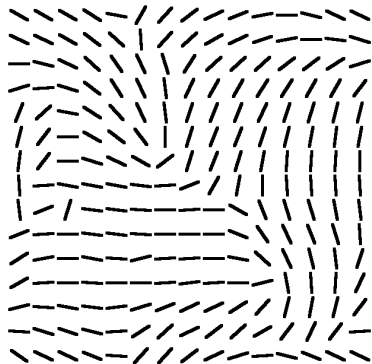
État final (CNDRI)



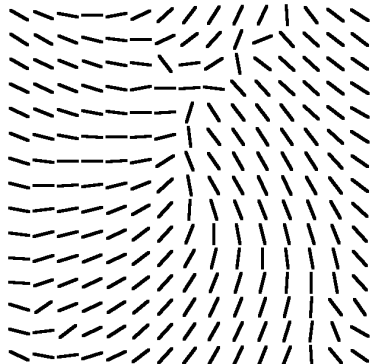
Analyse des comportements dynamiques du modèle CNDRI

Scénarios d'auto-organisation – 2D

Résultat obtenu avec la
tuning curve f_1



Résultat obtenu avec la
tuning curve f_2





Modèle de champ dynamique neuronal rétro-inhibé

- mécanisme de **régulation locale de l'inhibition**
- **implémente avec succès le processus d'auto-organisation**
- **extension** des modèles CNDA et CNDPE
- ajustement fin des paramètres

Conclusions et perspectives

Contributions

- **architecture générique** cortico-inspirée d'auto-organisation
- **critère et instrument d'évaluation** pour le comportement d'un champ neuronal
 - ▶ **procédure d'ajustement fin de paramètres**
- **analyse des comportements** des champs classiques :
 - ▶ appropriés pour scénarios d'attention, de compétition, etc.
 - ▶ **inappropriés pour les scénarios d'auto-organisation**
- **modèle de champ rétro-inhibé**
 - ▶ étend les capacités des champs classiques
 - ▶ **implémente avec succès les scénarios d'auto-organisation**

- généraliser le critère décrit par les propriétés ($P \wedge Q$)
 - proposer des solutions moins coûteuses pour les procédures d'ajustement de paramètres d'un modèle de champ
 - examiner comment améliorer le comportement du modèle CNDRI, afin de satisfaire pleinement les propriétés ($P \wedge Q$)
-
- explorer les contextes et les applications multi-bulles
 - aborder le problème du traitement multimodal
 - intégration des solutions proposées dans un système situé

Merci pour votre attention !

— Questions —