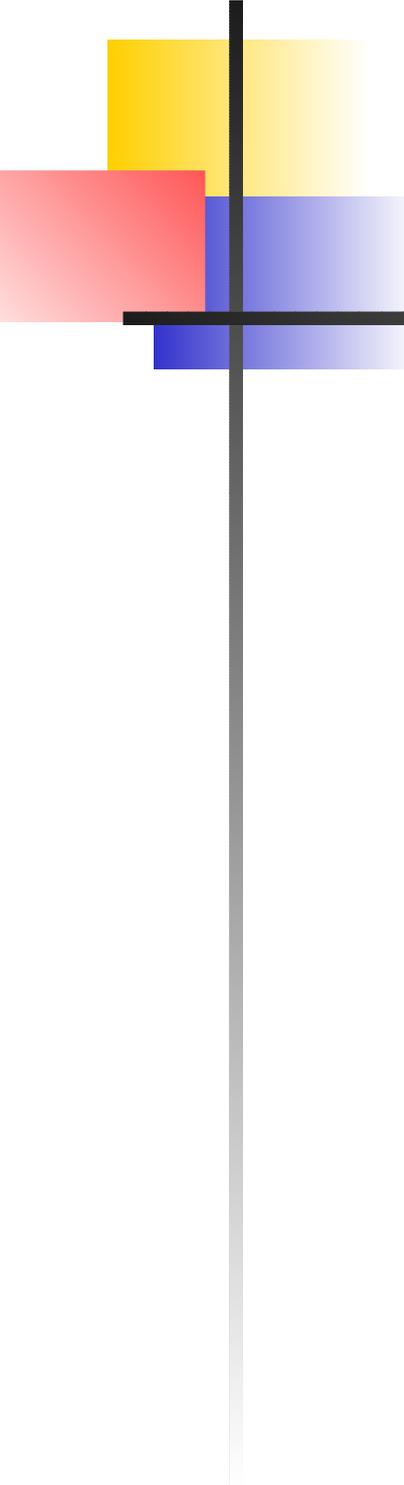


Comment déchiffrer le code impulsionnel de la Vision?

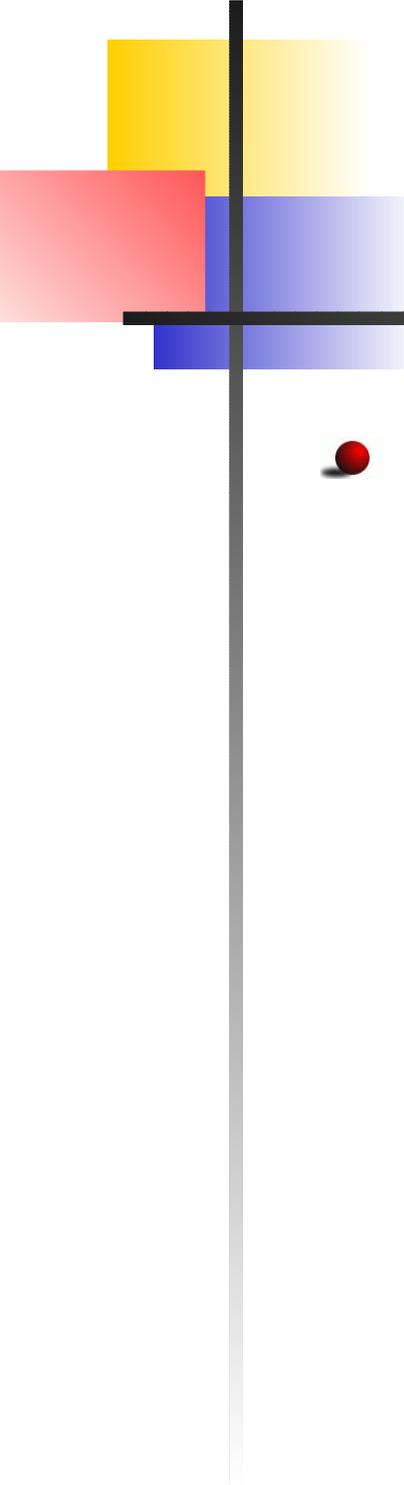
**Étude du flux parallèle, asynchrone et épars
dans le traitement visuel ultra-rapide.**

Laurent Perrinet

ONERA/DTIM 2, av. Belin, 31055 Toulouse, France

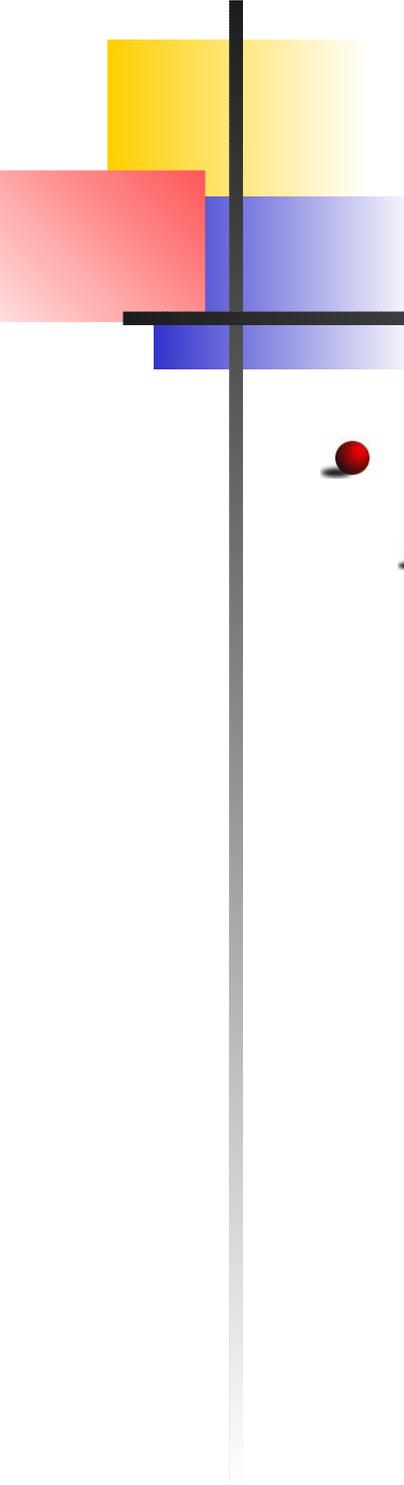


Cadre de l'étude : la vision naturelle



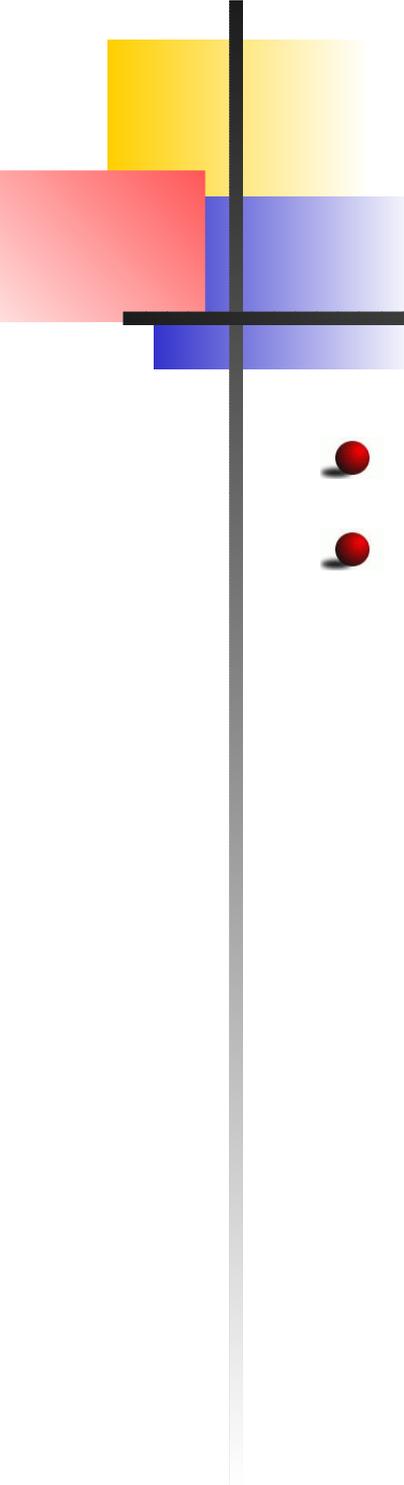
Cadre de l'étude : la vision naturelle

- De la vision à l'action : un **calcul** biologique



Cadre de l'étude : la vision naturelle

- De la vision à l'action : un **calcul** biologique
 - fonctionnel et souple

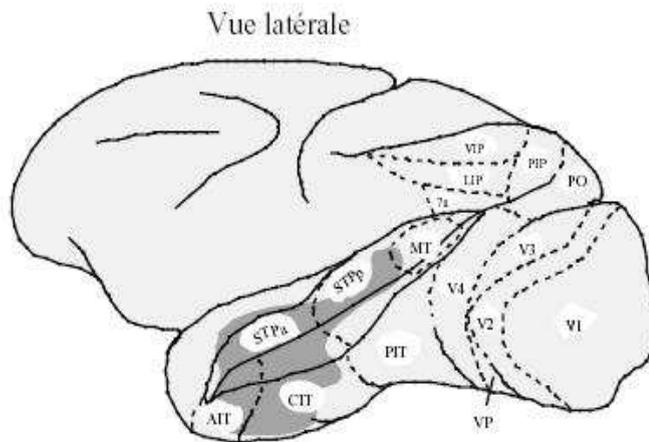


Cadre de l'étude : la vision naturelle

- De la vision à l'action : un **calcul** biologique
- Ce calcul est un **flux d'information**

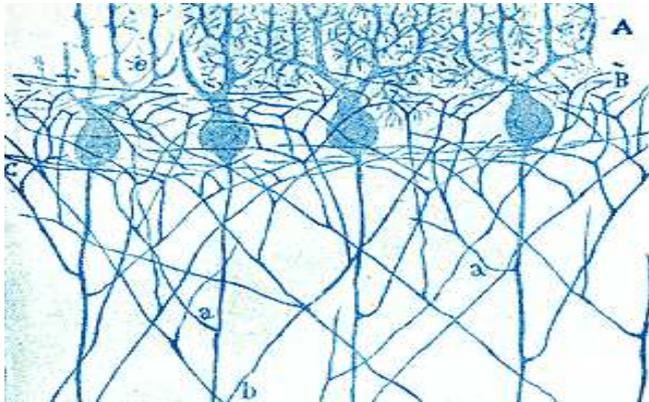
Cadre de l'étude : la vision naturelle

- De la vision à l'action : un **calcul** biologique
- Ce calcul est un **flux d'information**
 - Asynchrone



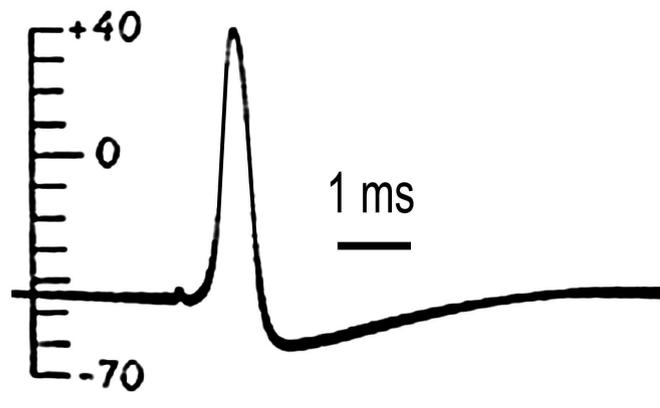
Cadre de l'étude : la vision naturelle

- De la vision à l'action : un **calcul** biologique
- Ce calcul est un **flux d'information**
 - Asynchrone
 - Parallèle



Cadre de l'étude : la vision naturelle

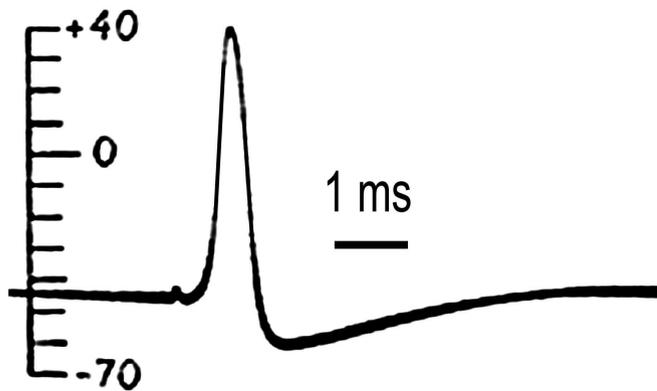
- De la vision à l'action : un **calcul** biologique
- Ce calcul est un **flux d'information**



- Asynchrone
- Parallèle
- Impulsionnel

Cadre de l'étude : la vision naturelle

- De la vision à l'action : un **calcul** biologique
- Ce calcul est un **flux d'information**

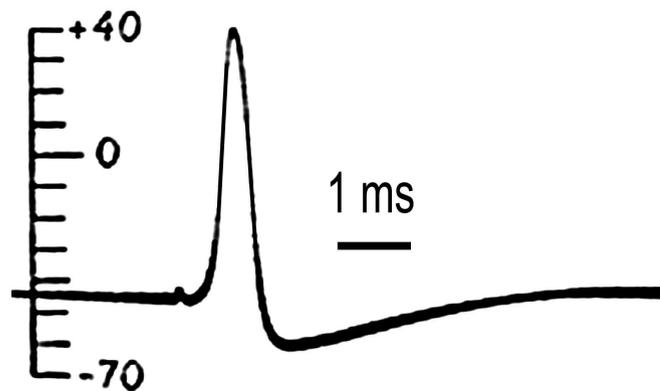


- Asynchrone
- Parallèle
- Impulsionnel

⇒ Codage **dynamique** du flux visuel.

Cadre de l'étude : la vision naturelle

- De la vision à l'action : un **calcul** biologique
- Ce calcul est un **flux d'information**



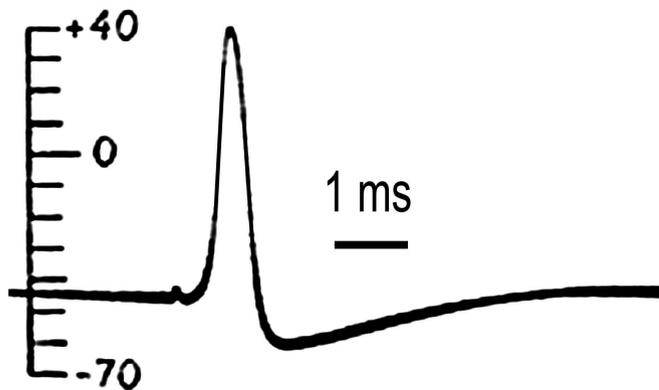
- Asynchrone
- Parallèle
- Impulsionnel

- ⇒ Codage **dynamique** du flux visuel.
- Comment déchiffrer ce code ?

Cadre de l'étude : la vision naturelle

- De la vision à l'action : un **calcul** biologique
- Ce calcul est un **flux d'information**

- Asynchrone
- Parallèle
- Impulsionnel



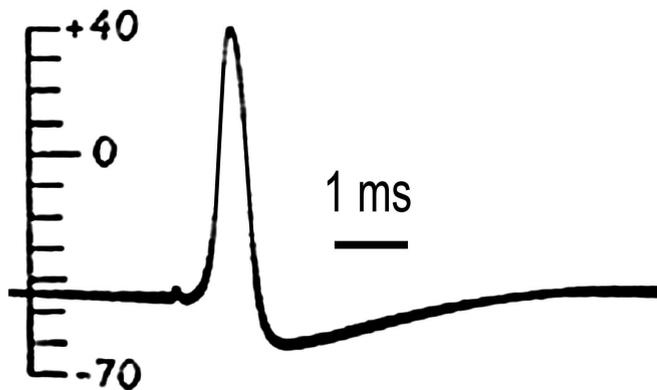
⇒ Codage **dynamique** du flux visuel.

- Comment déchiffrer ce code ?
 - Neurosciences
 - Modélisation
 - Mathématiques

Cadre de l'étude : la vision naturelle

- De la vision à l'action : un **calcul** biologique
- Ce calcul est un **flux d'information**

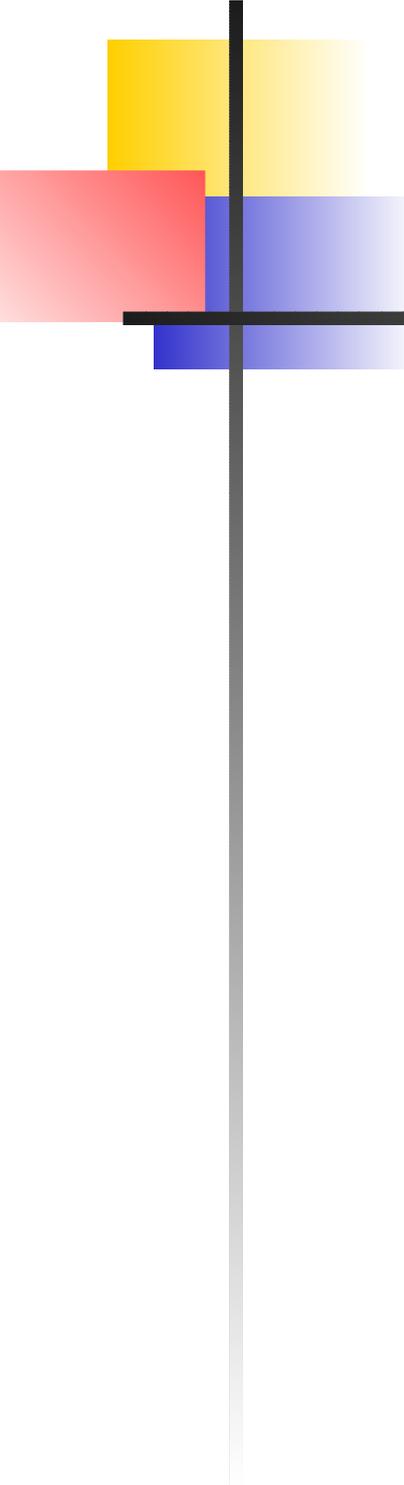
- Asynchrone
- Parallèle
- Impulsionnel



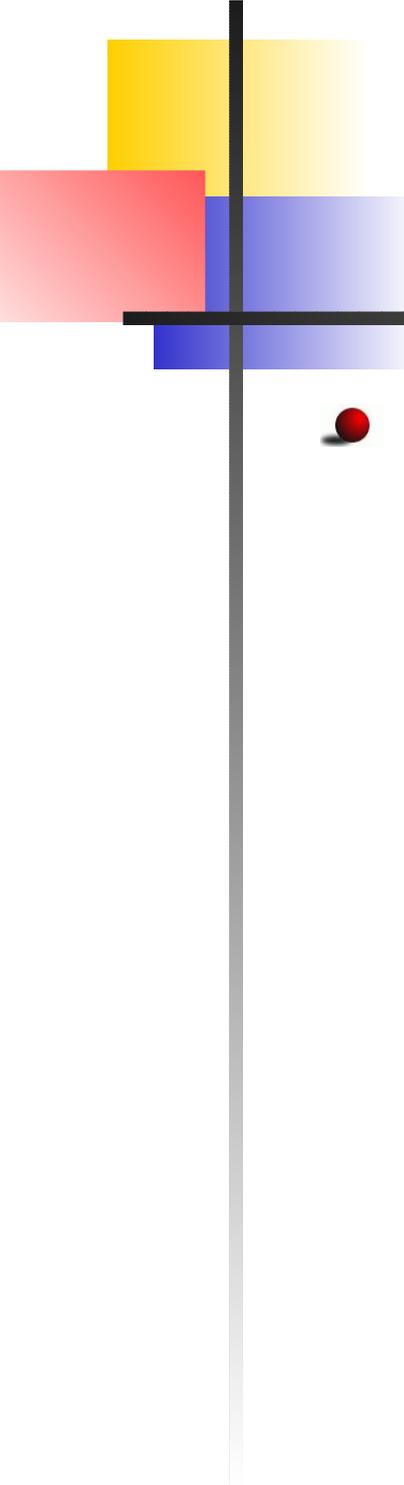
⇒ Codage **dynamique** du flux visuel.

- Comment déchiffrer ce code ?

⇒ Méthodologie des **Sciences Cognitives**



Plan de l'exposé



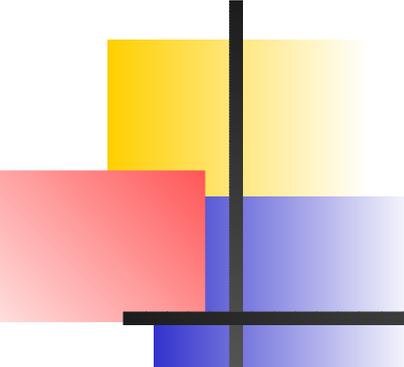
Plan de l'exposé

- Modèles de codage neuronal



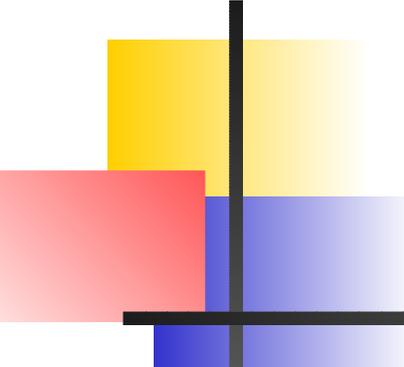
Plan de l'exposé

- Modèles de codage neuronal
 - Modèles impulsionnels
 - Codage par rang



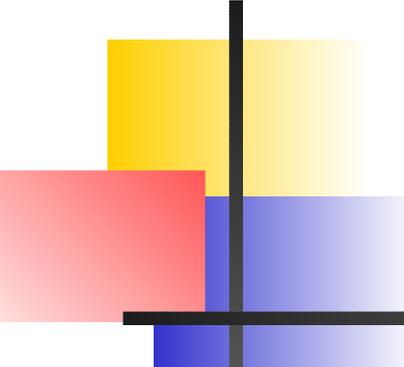
Plan de l'exposé

- Modèles de codage neuronal
 - Modèles impulsionnels
 - Codage par rang
- Modèle du codage impulsionnel dans la rétine



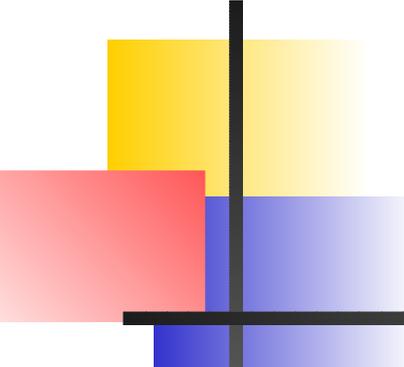
Plan de l'exposé

- Modèles de codage neuronal
 - Modèles impulsionnels
 - Codage par rang
- Modèle du codage impulsionnel dans la rétine
 - Architecture en ondelettes
 - Utilisation des statistiques des images naturelles



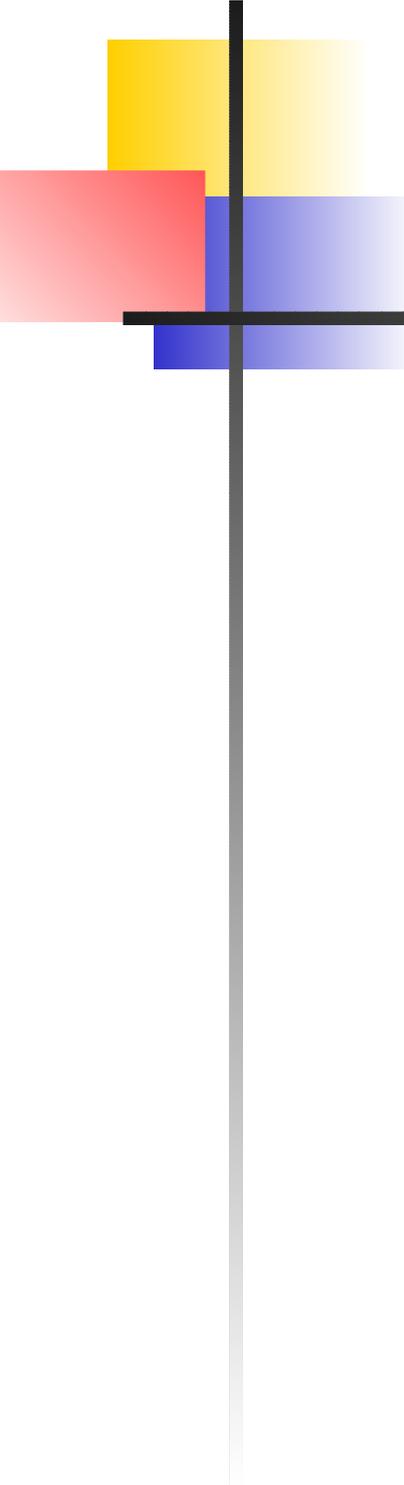
Plan de l'exposé

- Modèles de codage neuronal
 - Modèles impulsionnels
 - Codage par rang
- Modèle du codage impulsionnel dans la rétine
 - Architecture en ondelettes
 - Utilisation des statistiques des images naturelles
- Modèle d'interactions latérales dans les aires visuelles

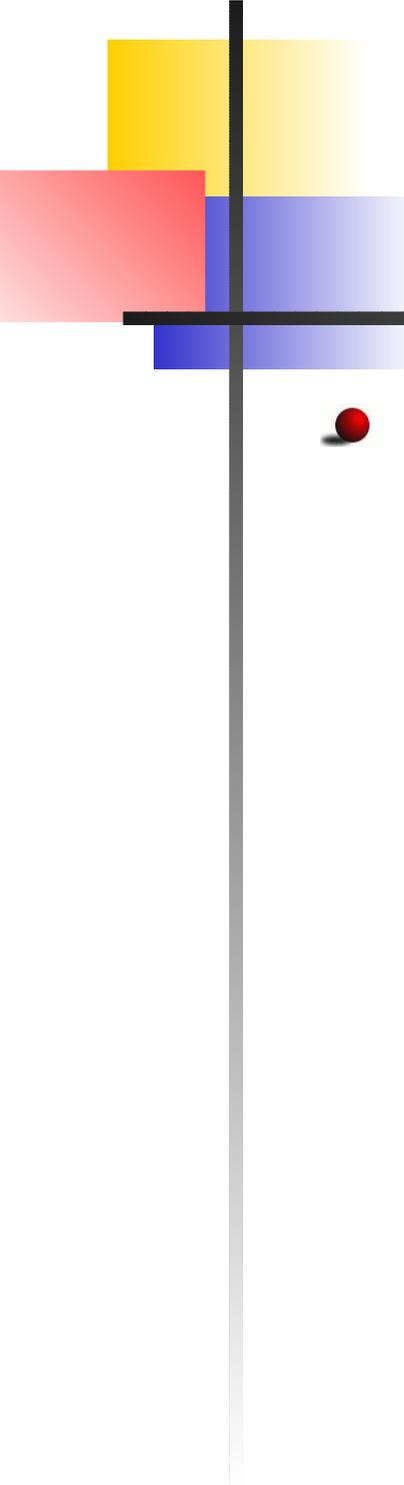


Plan de l'exposé

- Modèles de codage neuronal
 - Modèles impulsionnels
 - Codage par rang
- Modèle du codage impulsionnel dans la rétine
 - Architecture en ondelettes
 - Utilisation des statistiques des images naturelles
- Modèle d'interactions latérales dans les aires visuelles
 - Représentations sur-complètes
 - Implantation d'un algorithme de codage
 - Applications



Modèles de codage neuronal



Modèles de codage neuronal

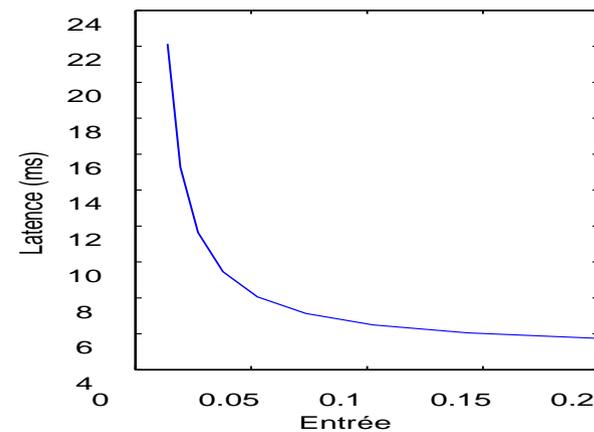
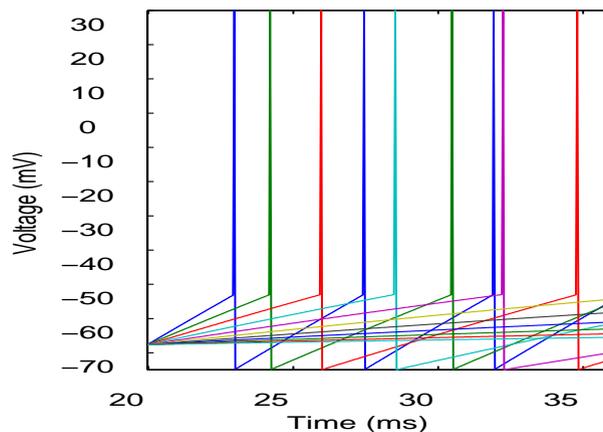
- Le modèle “Intégrateur à Fuite”

Modèles de codage neuronal

● Le modèle “Intégrateur à Fuite”

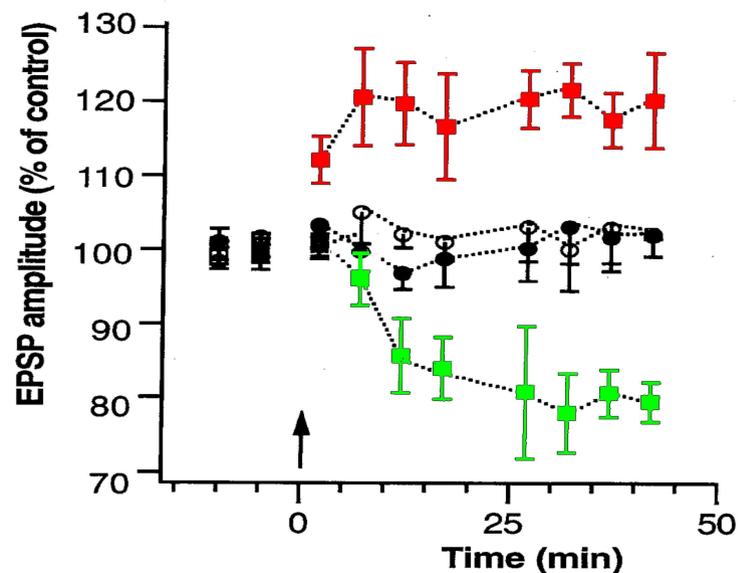
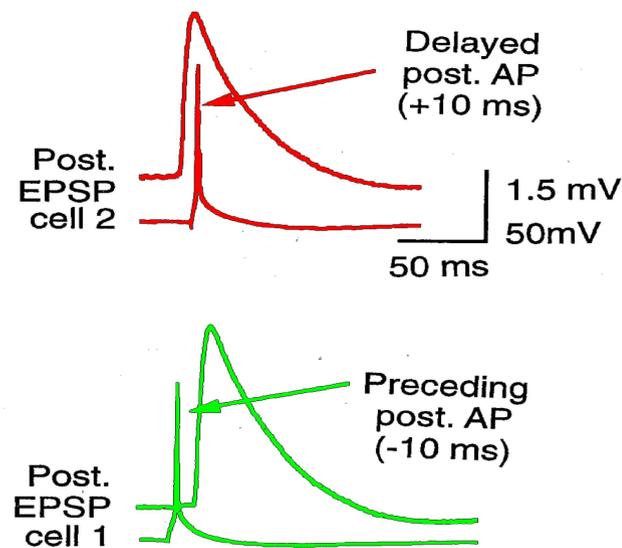
$$C_m \cdot \frac{dV_i}{dt}(t) = -g_m \cdot (V_i(t) - V_{\text{repos}}) + \mathcal{I}_i(t)$$

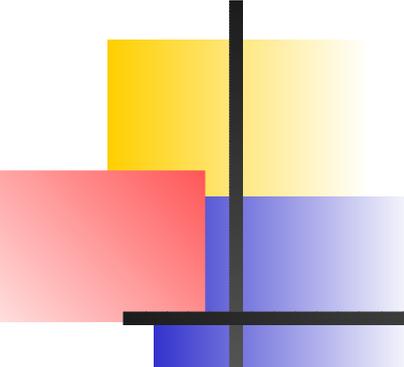
$$\text{si } V_i(t) > V_{\text{seuil}}, \text{ alors } \begin{cases} t_i^{(f)} := t \\ \text{et } V_i(t_i^k < t < t_i^k + t_{\text{ref}}) = V_{\text{RAZ}} \end{cases}$$



Modèles de codage neuronal

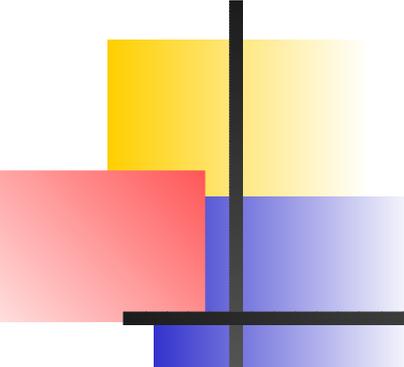
- Le modèle “Intégrateur à Fuite”
- Apprentissage par une règle de Hebb temporelle





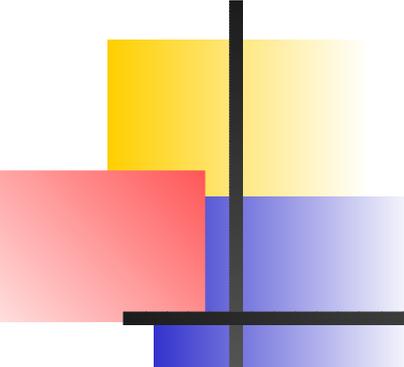
Modèles de codage neuronal

- Le modèle “Intégrateur à Fuite”
- Apprentissage par une règle de Hebb temporelle
 - Extraction de la cohérence dans un flux impulsionnel [Perrinet and Samuelides, 2002]



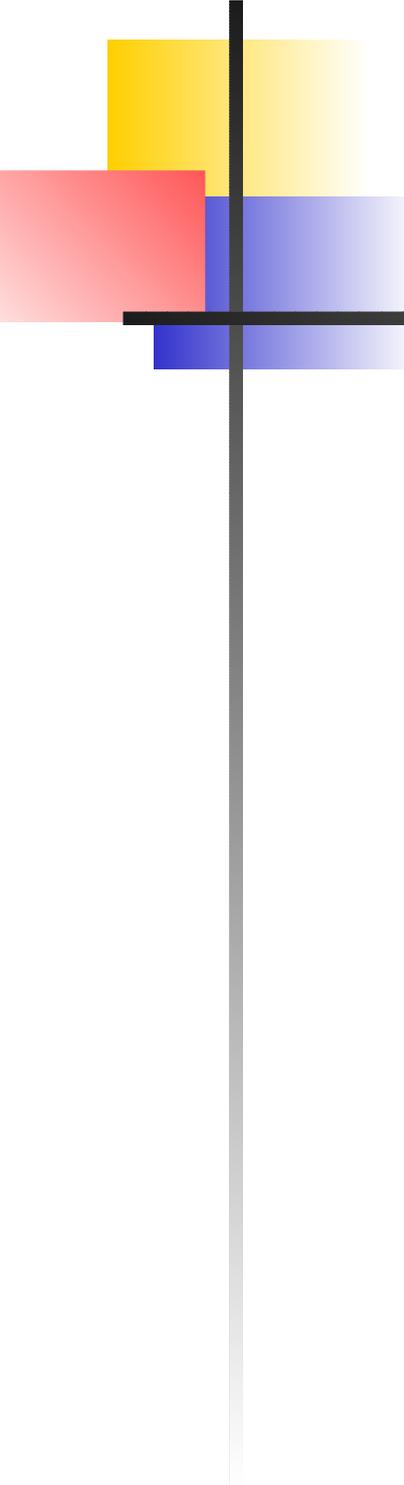
Modèles de codage neuronal

- Le modèle “Intégrateur à Fuite”
- Apprentissage par une règle de Hebb temporelle
 - Extraction de la cohérence dans un flux impulsionnel [Perrinet and Samuelides, 2002]
- Le code neuronal n'utilise pas seulement la fréquence de décharge.



Modèles de codage neuronal

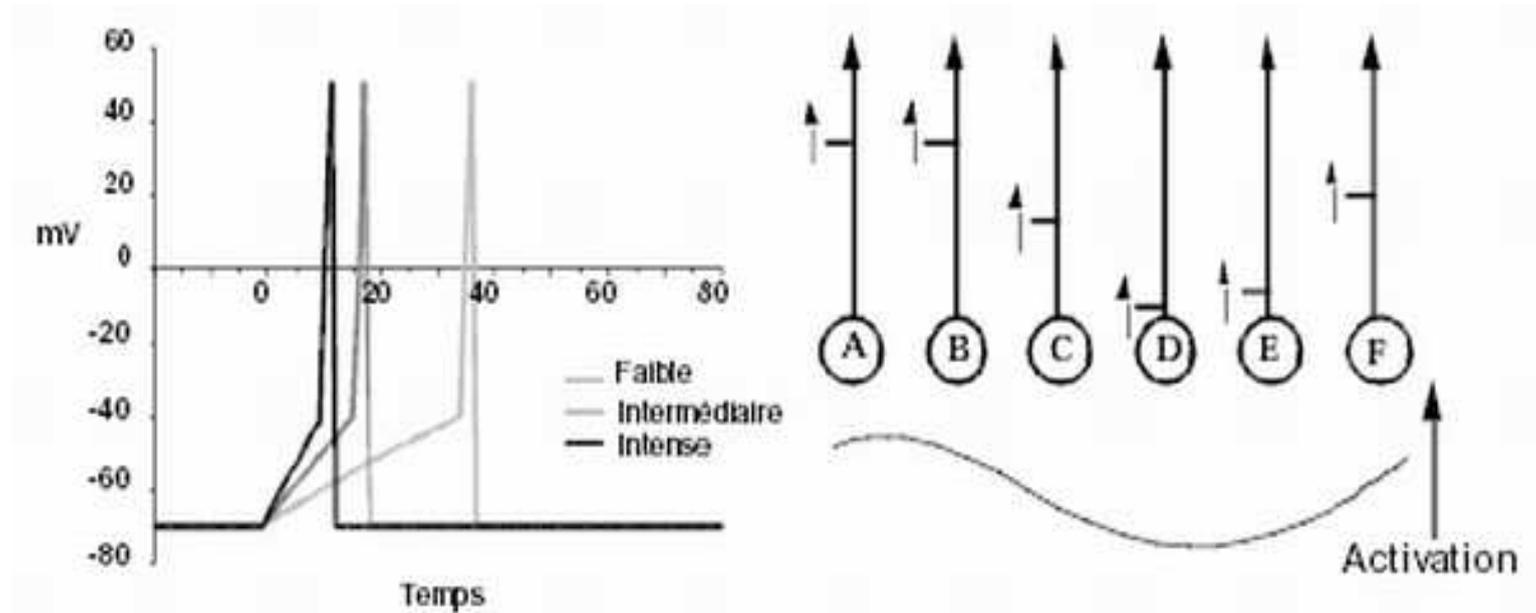
- Le modèle “Intégrateur à Fuite”
- Apprentissage par une règle de Hebb temporelle
 - Extraction de la cohérence dans un flux impulsionnel [Perrinet and Samuelides, 2002]
- Le code neuronal n'utilise pas seulement la fréquence de décharge.
 - Conséquences de la catégorisation ultra-rapide [Thorpe et al., 1996]

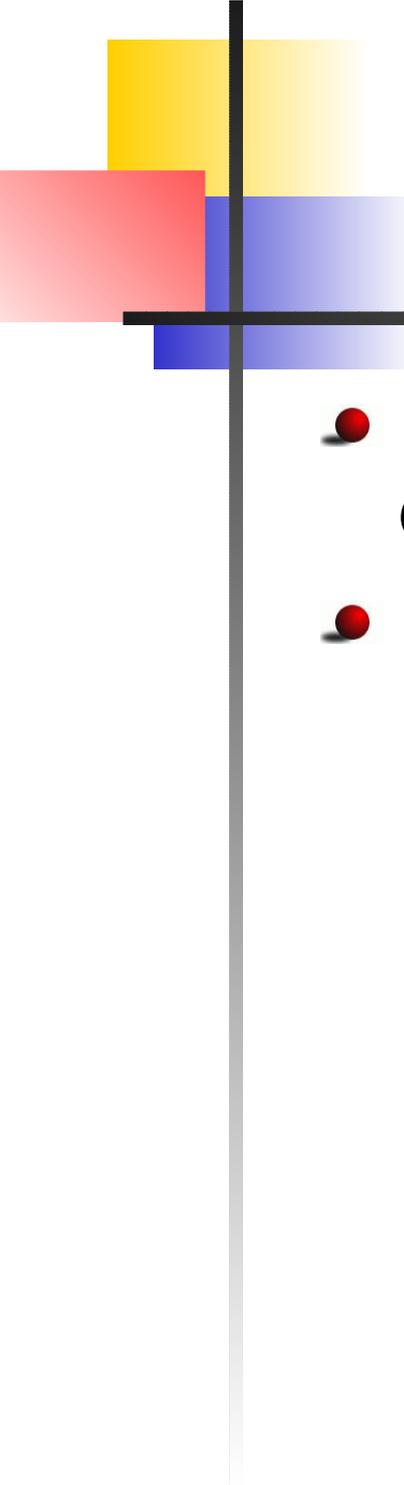


Un code candidat : le codage par rang

Un code candidat : le codage par rang

- L'information est codée "en avant" par l'ordre de décharge d'une vague d'impulsions.



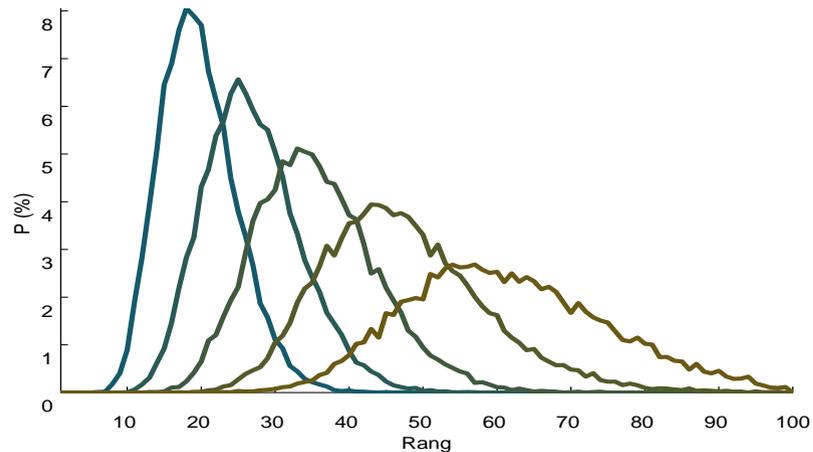


Un code candidat : le codage par rang

- L'information est codée "en avant" par l'ordre de décharge d'une vague d'impulsions.
- Étude statistique

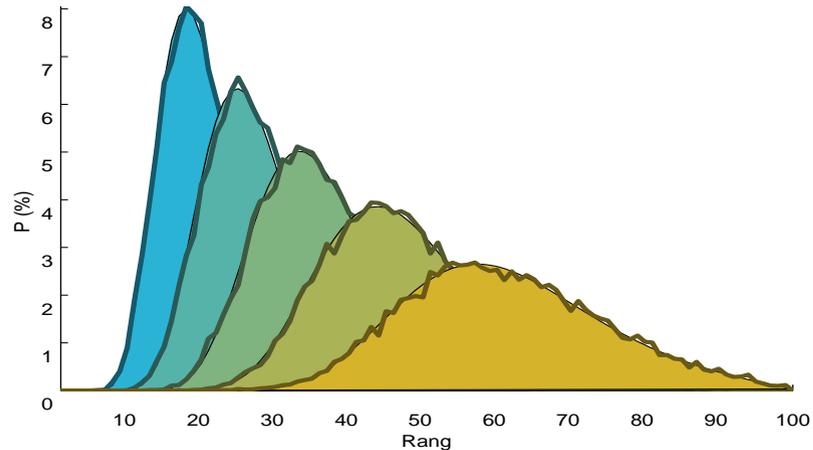
Un code candidat : le codage par rang

- L'information est codée "en avant" par l'ordre de décharge d'une vague d'impulsions.
- Étude statistique



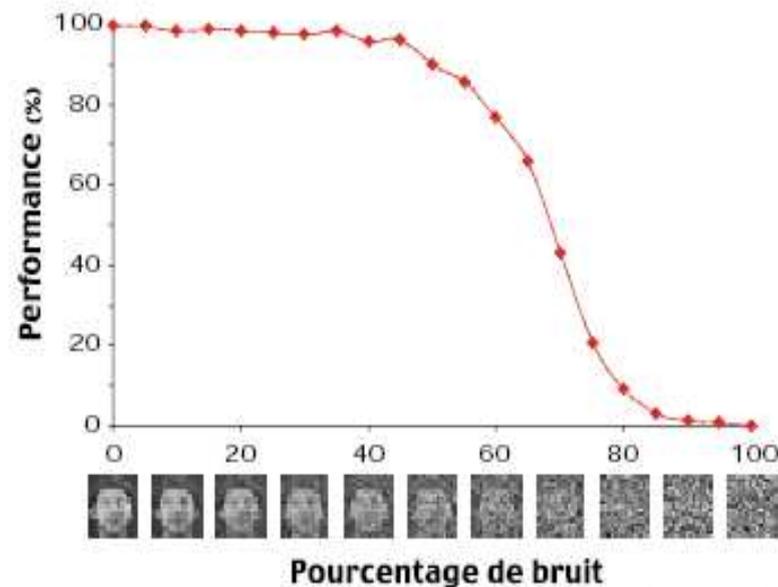
Un code candidat : le codage par rang

- L'information est codée "en avant" par l'ordre de décharge d'une vague d'impulsions.
- Étude statistique : prévision du comportement



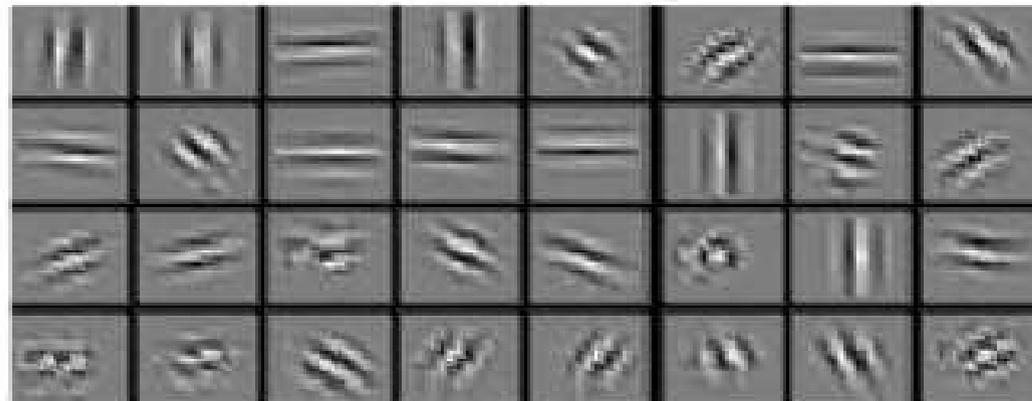
Un code candidat : le codage par rang

- L'information est codée "en avant" par l'ordre de décharge d'une vague d'impulsions.
- Étude statistique : prévision du comportement
- Performance : ce codage est adapté à un codage dynamique de la vision



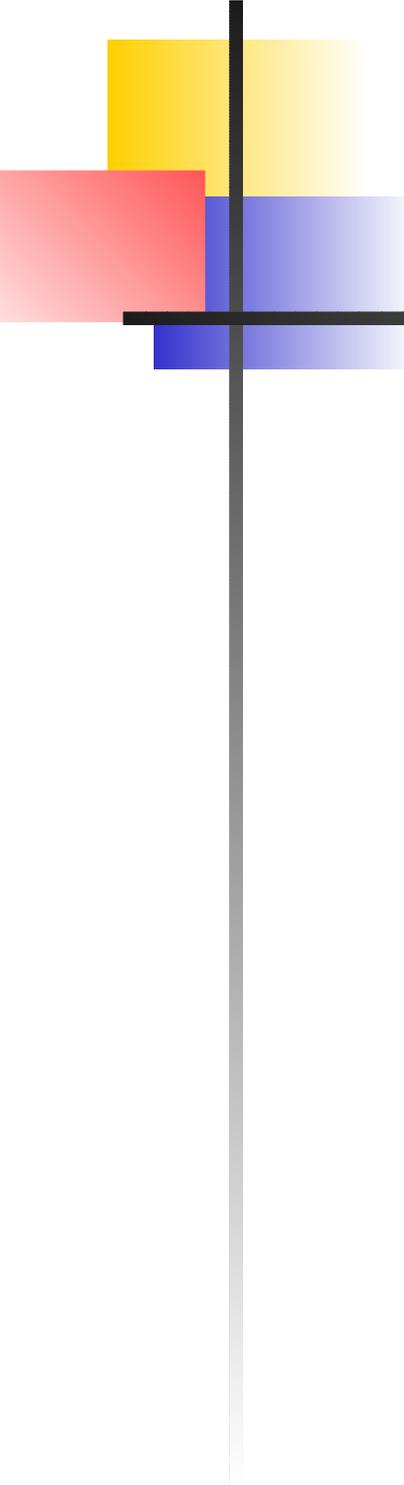
Un code candidat : le codage par rang

- L'information est codée "en avant" par l'ordre de décharge d'une vague d'impulsions.
- Étude statistique : prévision du comportement
- Performance : ce codage est adapté à un codage dynamique de la vision
- Apprentissage hebbien [Delorme et al., 2001]

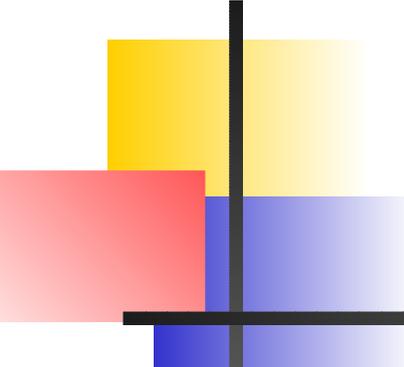


Un code candidat : le codage par rang

- L'information est codée "en avant" par l'ordre de décharge d'une vague d'impulsions.
 - Étude statistique : prévision du comportement
 - Performance : ce codage est adapté à un codage dynamique de la vision
 - Apprentissage hebbien [Delorme et al., 2001]
- ⇒ Le codage par rang permet de proposer un paradigme de codage impulsionnel pour des images statiques.



Un modèle de code impulsionnel



Un modèle de code impulsionnel

- Objectif : construire un modèle du codage impulsionnel dans la rétine
 - Basé sur l'architecture de la rétine
 - Utilisant des réseaux de neurones impulsionnels
 - Compatible avec la psycho-physiologie.



Un modèle de code impulsionnel

- Objectif : construire un modèle du codage impulsionnel dans la rétine
 - ⇒ Détection de contours multi-échelle : modèle par ondelettes [Van Rullen and Thorpe, 2001] ,

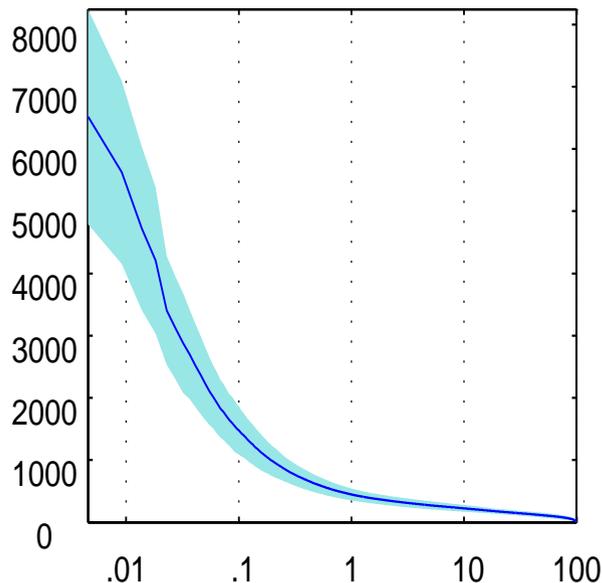
Un modèle de code impulsionnel

- Objectif : construire un modèle du codage impulsionnel dans la rétine
⇒ modèle par ondelettes ,
- Représentation de l'image I comme une combinaison linéaire de filtres w_i d'un dictionnaire d'ondelettes \mathcal{D}

$$I = \sum_{i \in \mathcal{D}} a_i w_i$$

Un modèle de code impulsionnel

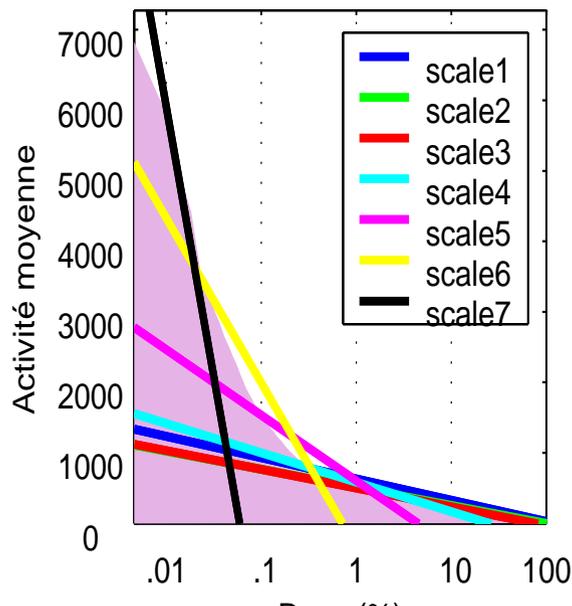
- Objectif : construire un modèle du codage impulsionnel dans la rétine
⇒ modèle par ondelettes ,
- Représentation de l'image I comme une combinaison linéaire de filtres



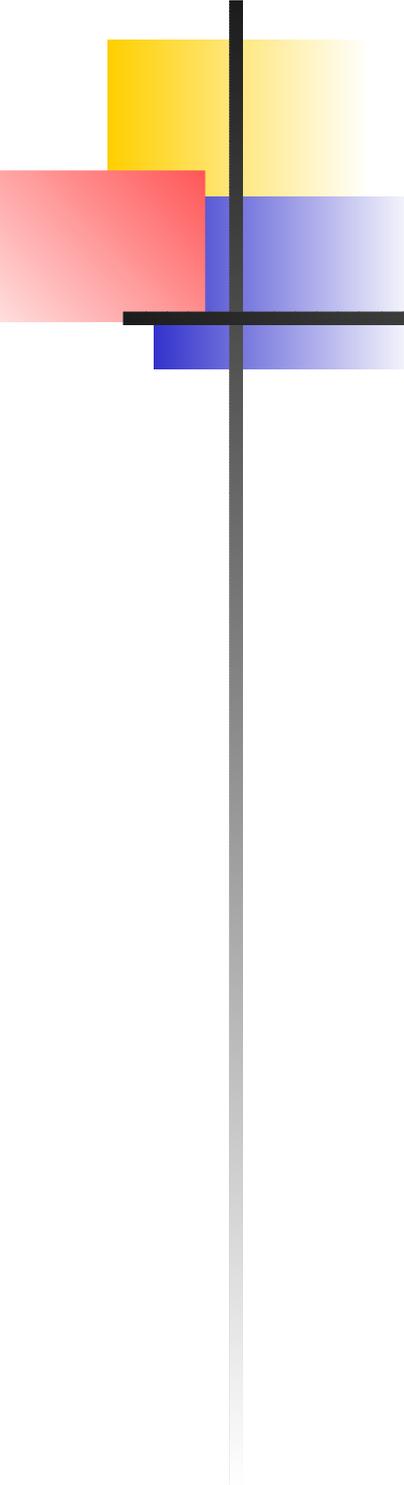
+ Régularité des coefficients sur les images naturelles

Un modèle de code impulsif

- Objectif : construire un modèle du codage impulsif dans la rétine
⇒ modèle par ondelettes ,
- Représentation de l'image I comme une combinaison linéaire de filtres



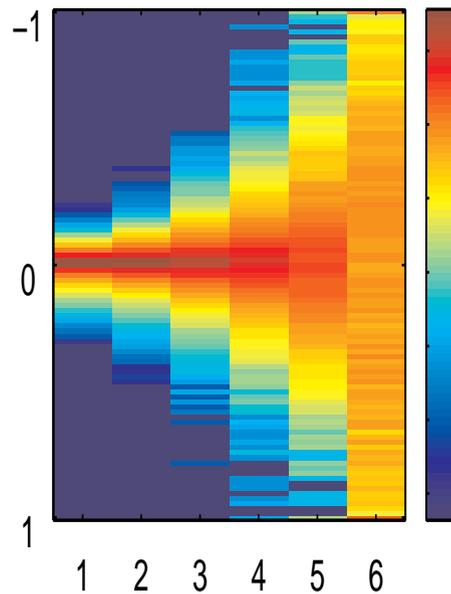
- ⇒ Transmission des coefficients par leur rang
- Mais : régularité non-optimale



Optimisation statistique

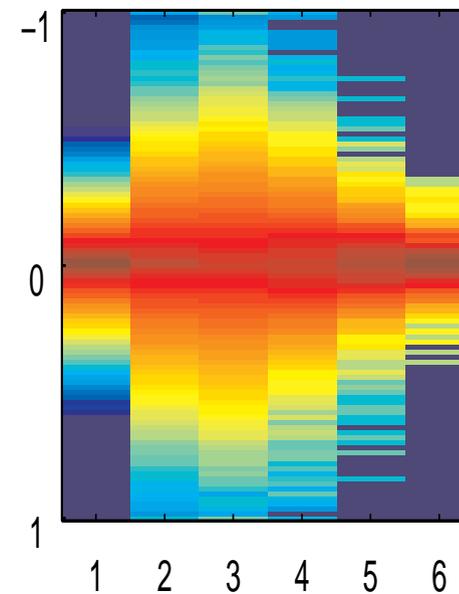
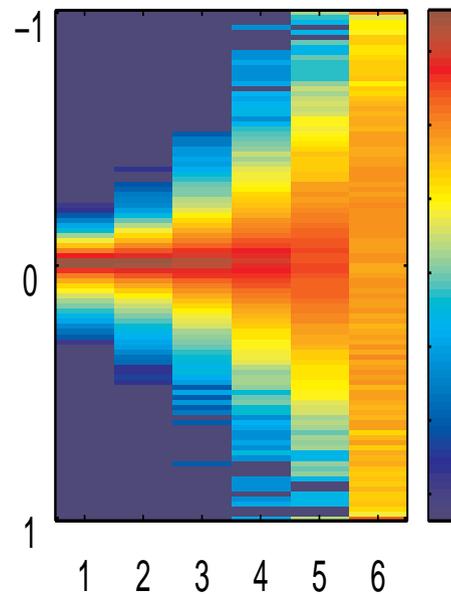
Optimisation statistique

- Déséquilibre suivant les échelles



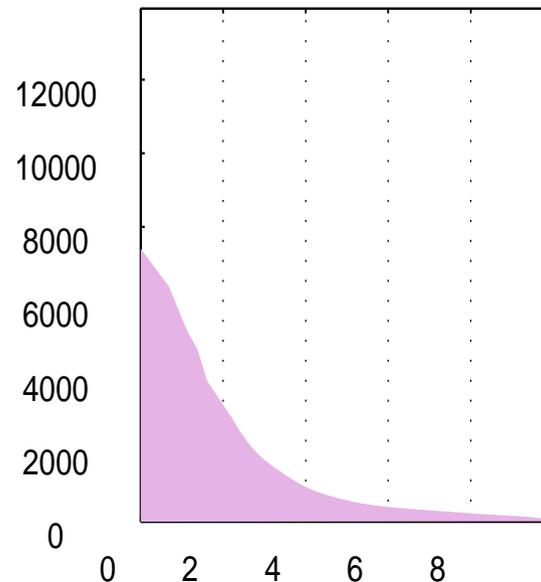
Optimisation statistique

- Déséquilibre suivant les échelles : utilisation de l'équalisation



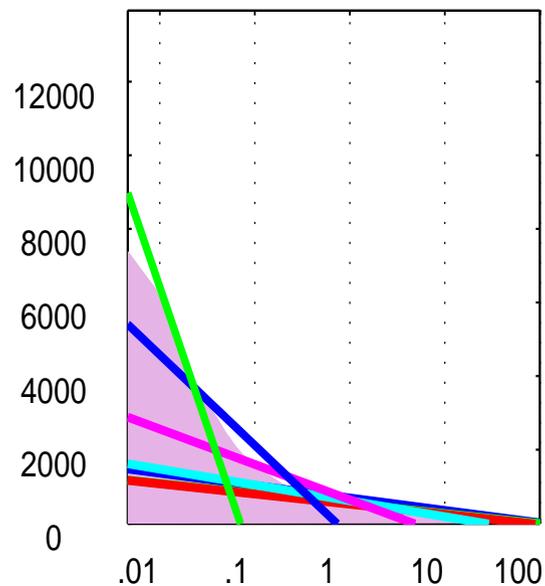
Optimisation statistique

- Déséquilibre suivant les échelles : utilisation de l'équalisation



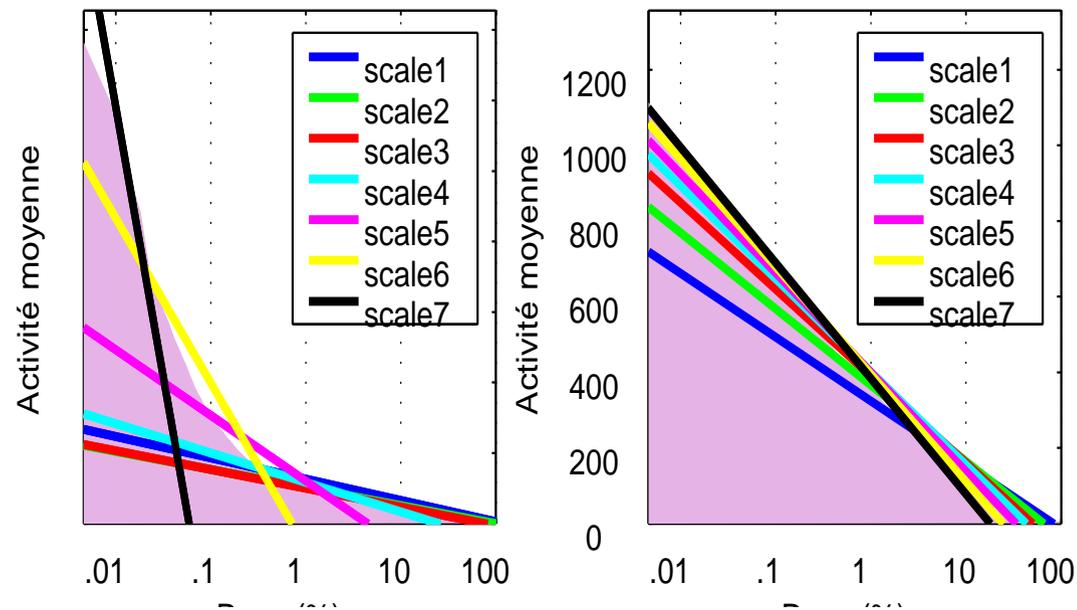
Optimisation statistique

- Déséquilibre suivant les échelles : utilisation de l'égalisation



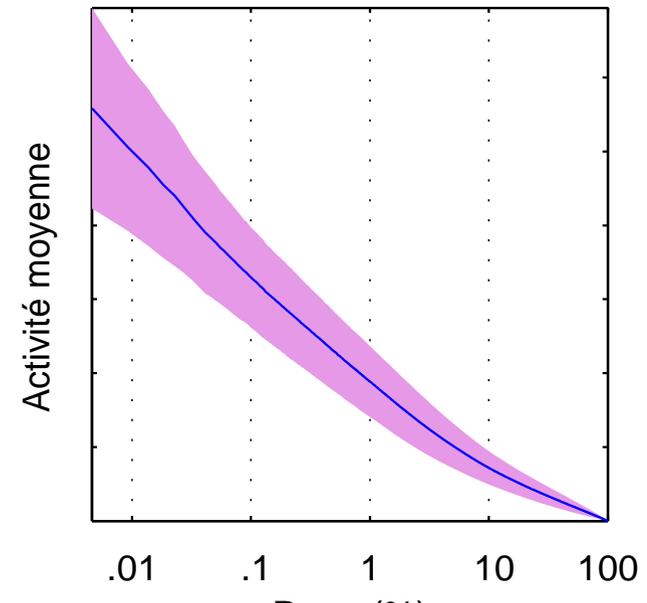
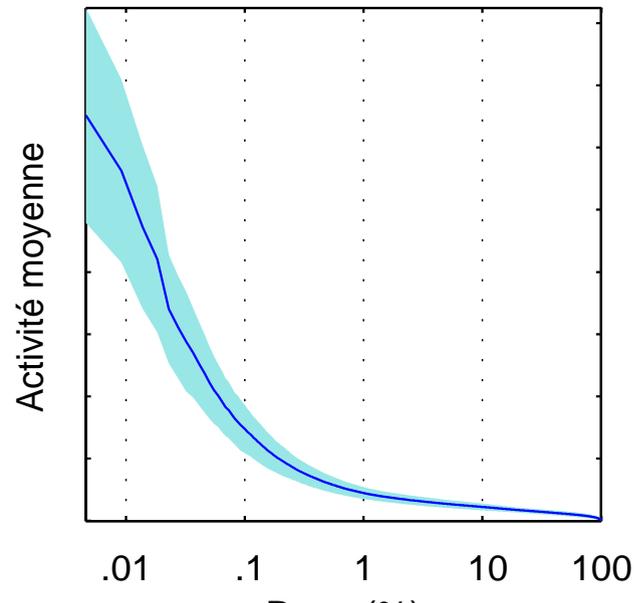
Optimisation statistique

- Déséquilibre suivant les échelles : utilisation de l'égalisation



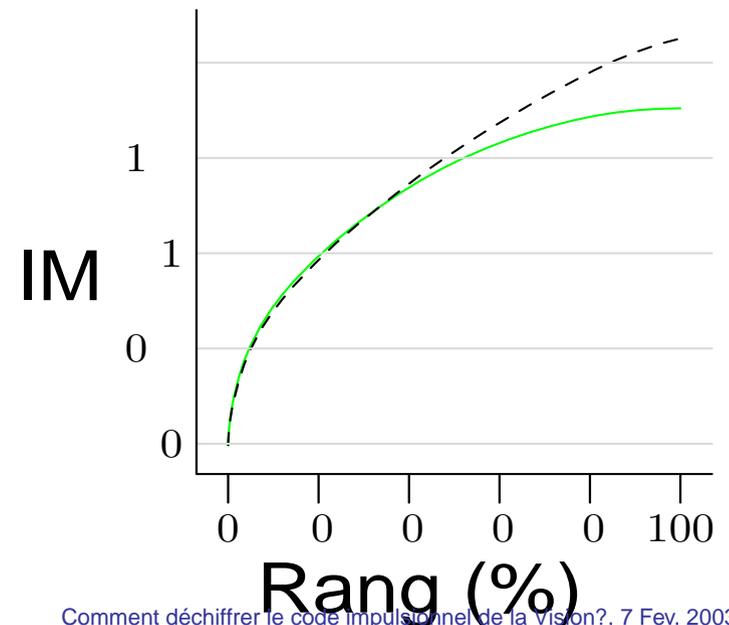
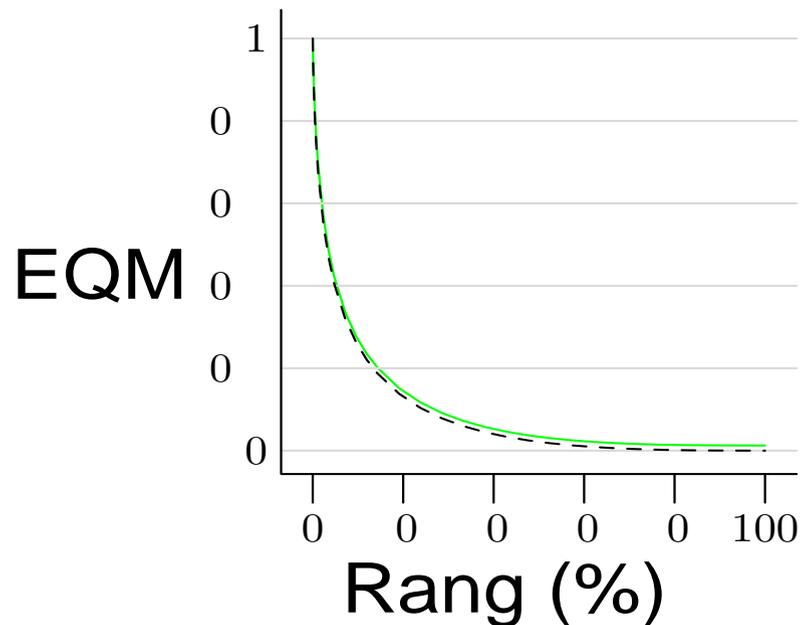
Optimisation statistique

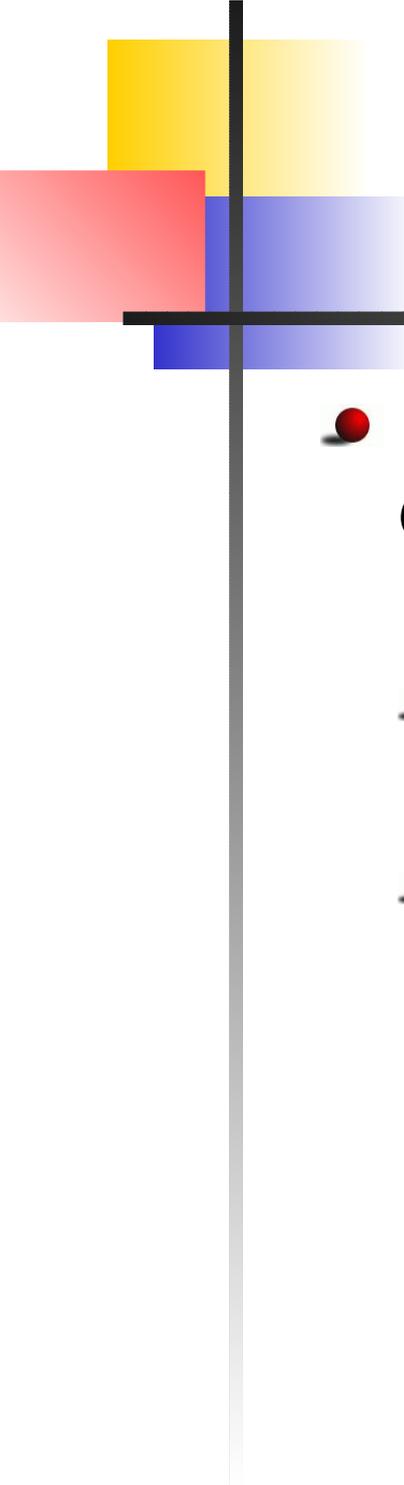
- Déséquilibre suivant les échelles : utilisation de l'égalisation
- Les courbes sont réajustées,



Optimisation statistique

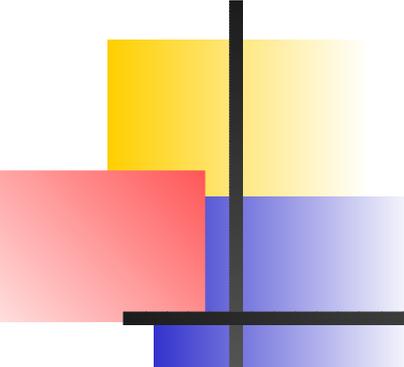
- Déséquilibre suivant les échelles : utilisation de l'égalisation
- Les courbes sont réajustées, les performances améliorées





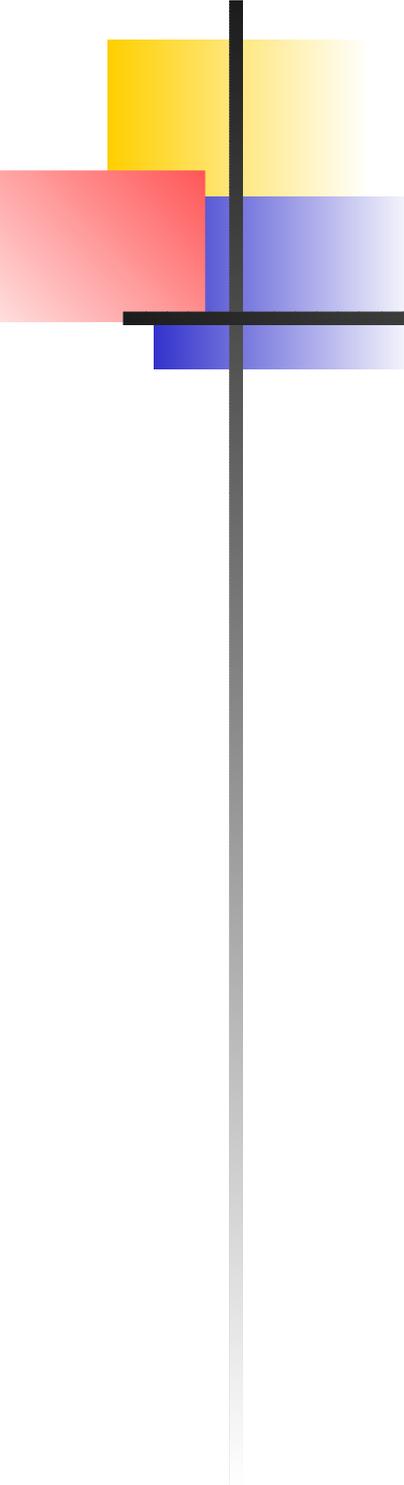
Optimisation statistique

- Déséquilibre suivant les échelles : utilisation de l'égalisation
- Les courbes sont réajustées, les performances améliorées
- La renormalisation correspond à une nouvelle métrique

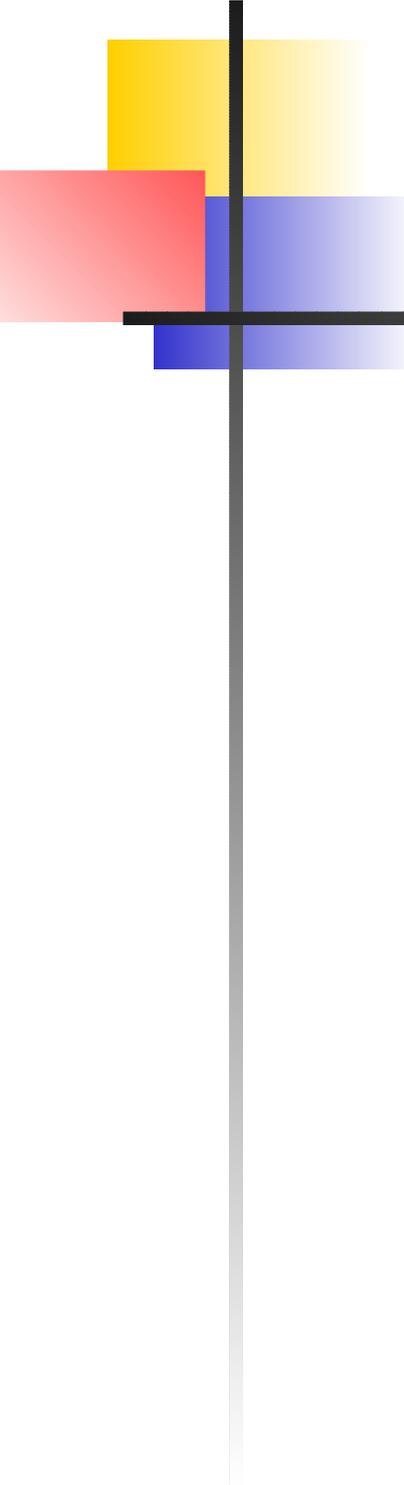


Optimisation statistique

- Déséquilibre suivant les échelles : utilisation de l'égalisation
 - Les courbes sont réajustées, les performances améliorées
 - La renormalisation correspond à une nouvelle métrique
- ⇒ Optimisation découplée de la propagation (voies Magno/Parvo)
- ⇒ Invariant dans les images naturelles



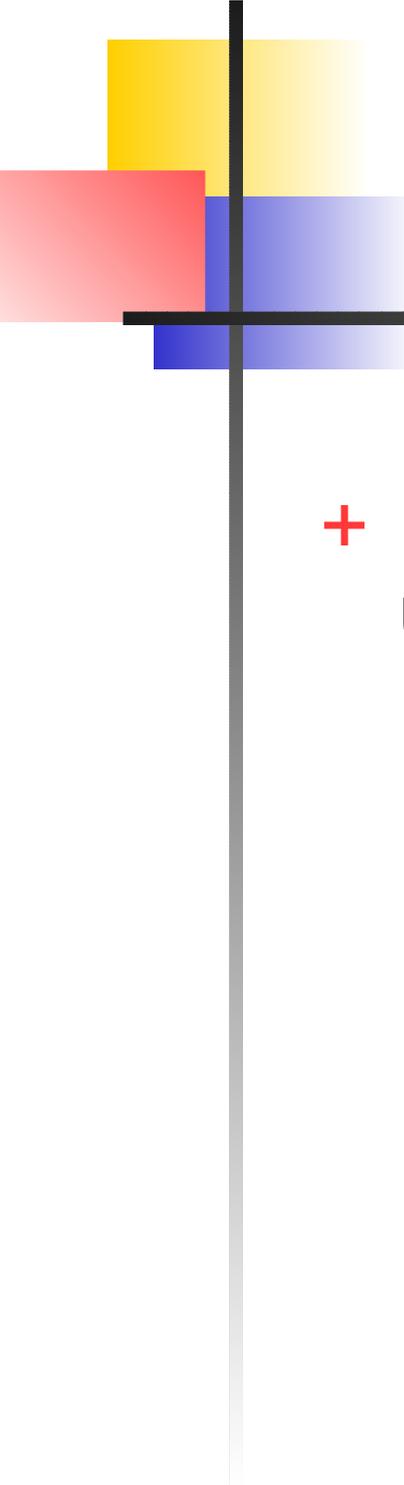
Vers une représentation visuelle sur-complète



Vers une représentation visuelle sur-complète

Choix d'un dictionnaire \mathcal{D} très large

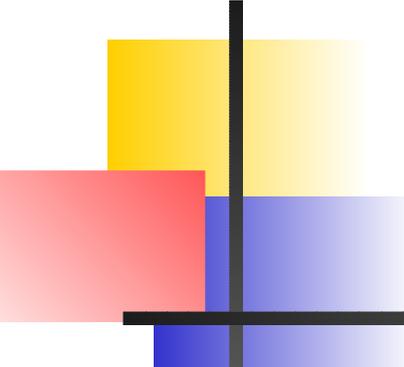
$$I = \sum_{i \in \mathcal{D}} a_i w_i$$



Vers une représentation visuelle sur-complète

Choix d'un dictionnaire \mathcal{D} très large

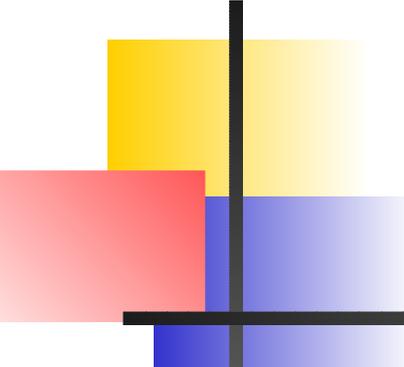
- + Un dictionnaire invariant par translation crée une représentation stable



Vers une représentation visuelle sur-complète

Choix d'un dictionnaire \mathcal{D} très large

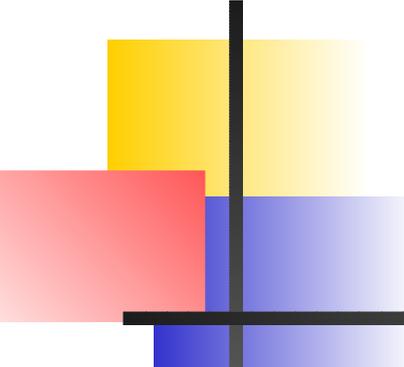
- + Un dictionnaire invariant par translation crée une représentation stable
- + Théoriquement, dictionnaire plus large = code plus *épars* [Olshausen and Field, 1996]



Vers une représentation visuelle sur-complète

Choix d'un dictionnaire \mathcal{D} très large

- + Un dictionnaire invariant par translation crée une représentation stable
- + Théoriquement, dictionnaire plus large = code plus *épars* [Olshausen and Field, 1996]
- La reconstruction par ondelette ne convient pas : un nouvel algorithme est nécessaire

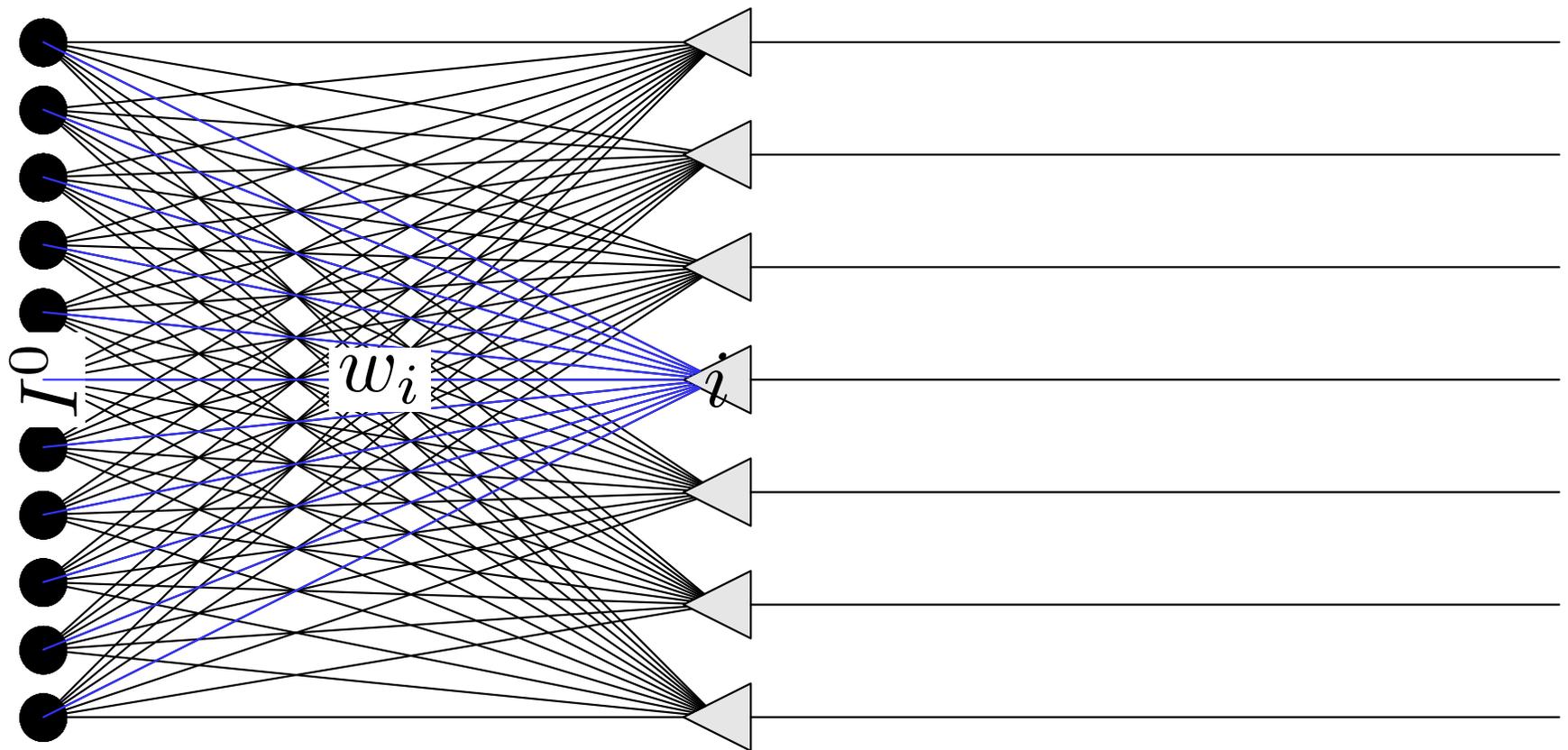


Vers une représentation visuelle sur-complète

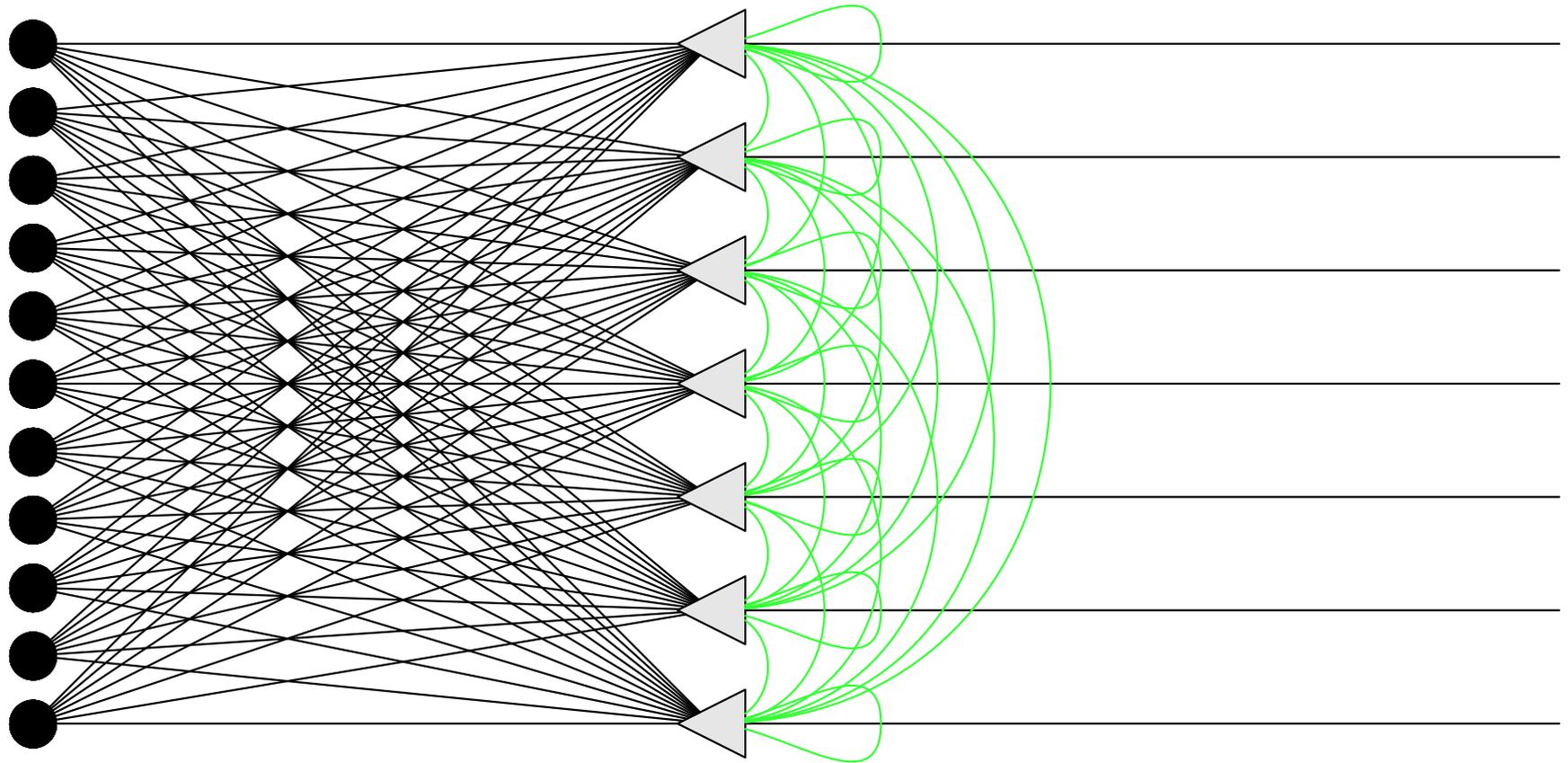
Choix d'un dictionnaire \mathcal{D} très large

- + Un dictionnaire invariant par translation crée une représentation stable
- + Théoriquement, dictionnaire plus large = code plus *épars* [Olshausen and Field, 1996]
- La reconstruction par ondelette ne convient pas : un nouvel algorithme est nécessaire
- Recherche combinatoire de la base optimale : problème NP-complet.

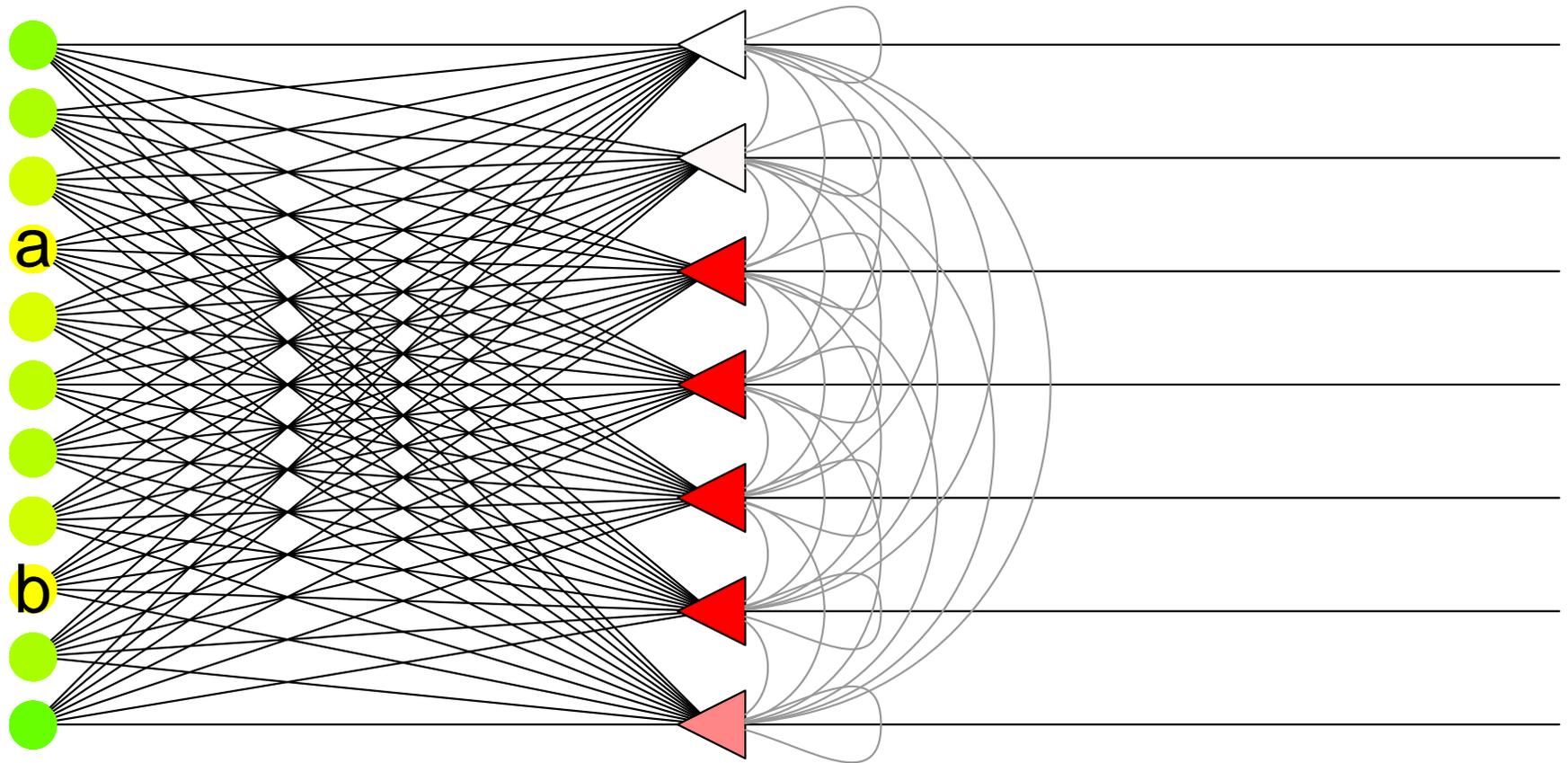
Un modèle du codage neural



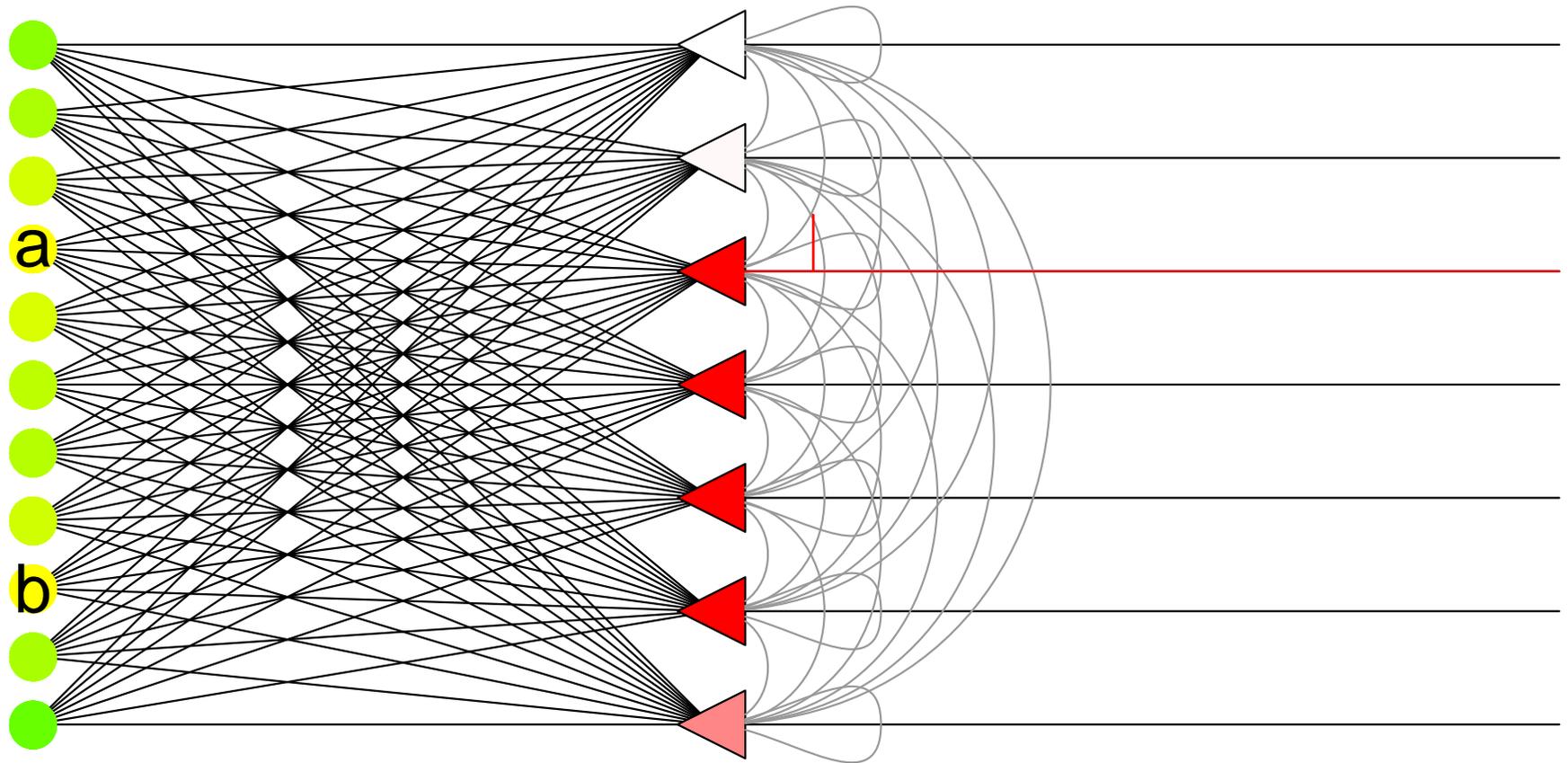
Un modèle du codage neural



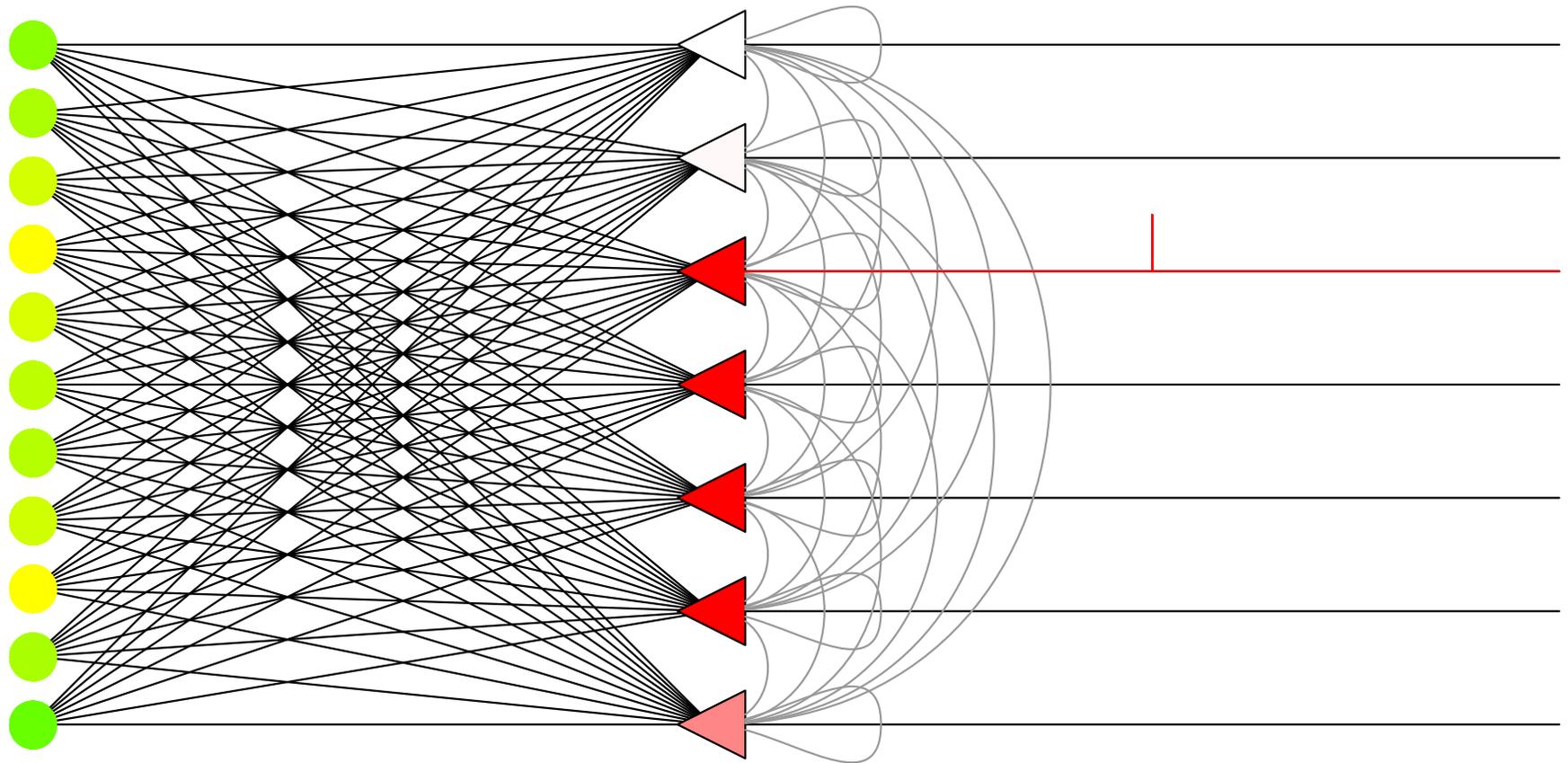
Un modèle du codage neural



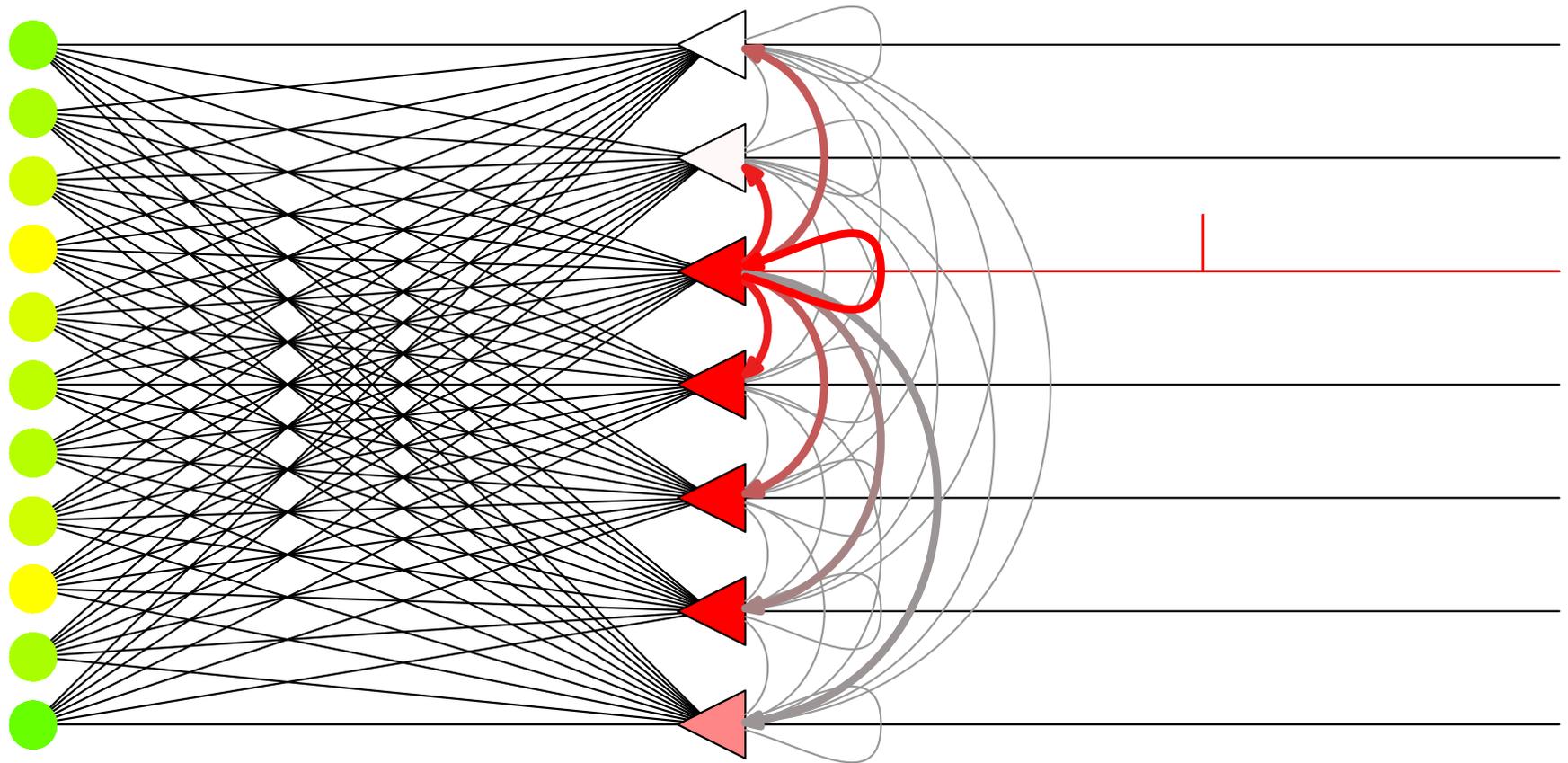
Un modèle du codage neural



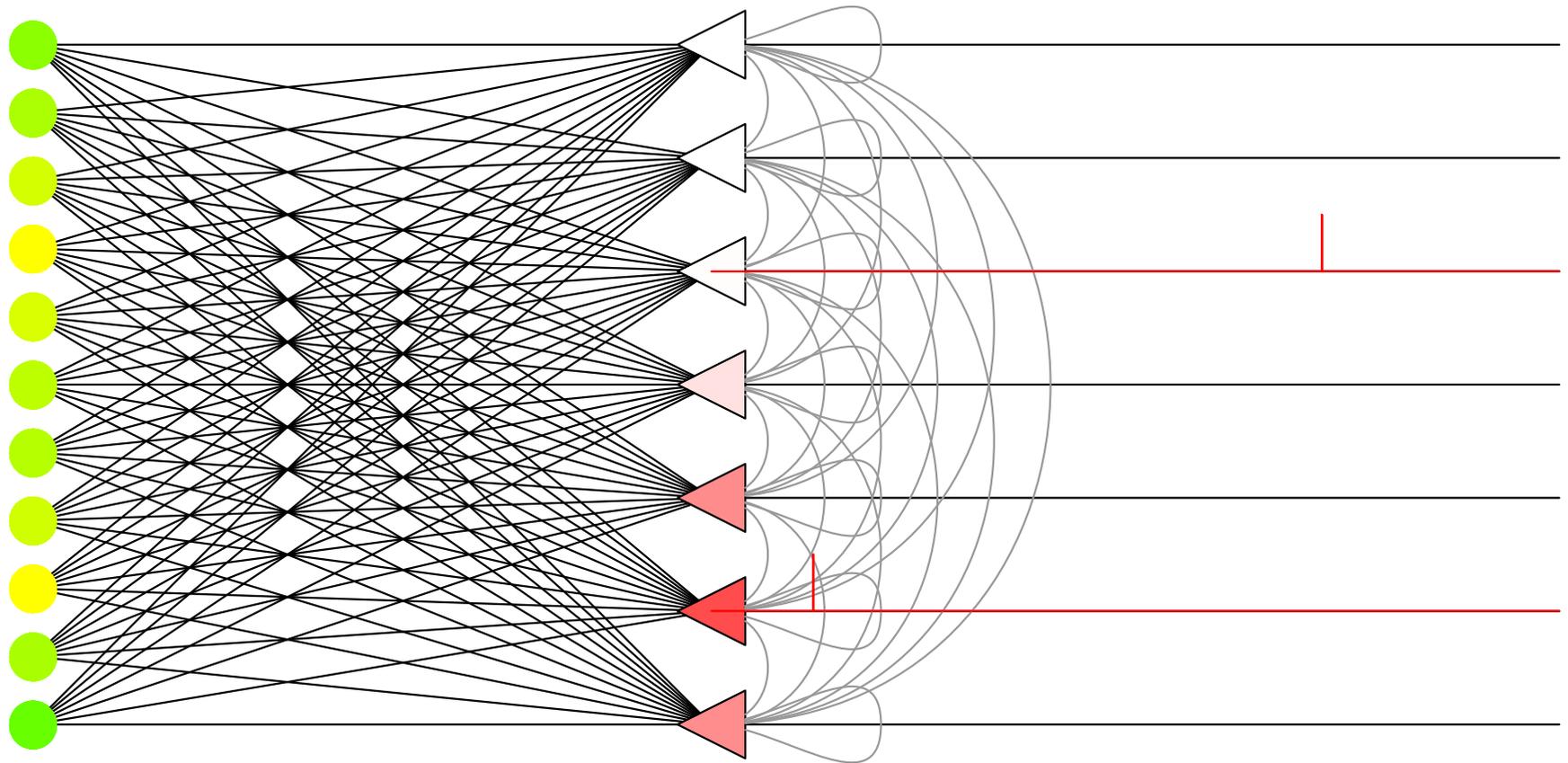
Un modèle du codage neural



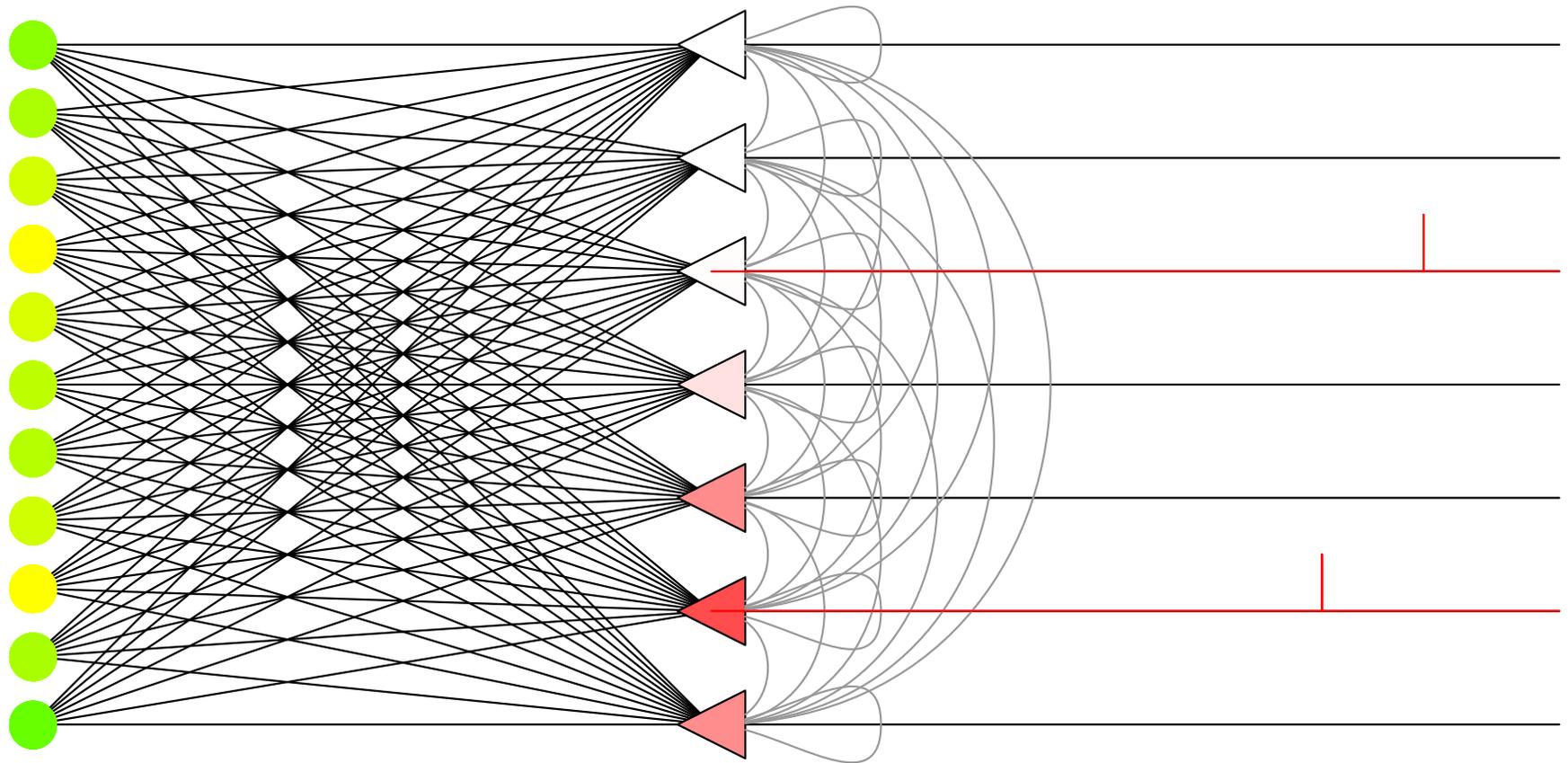
Un modèle du codage neural

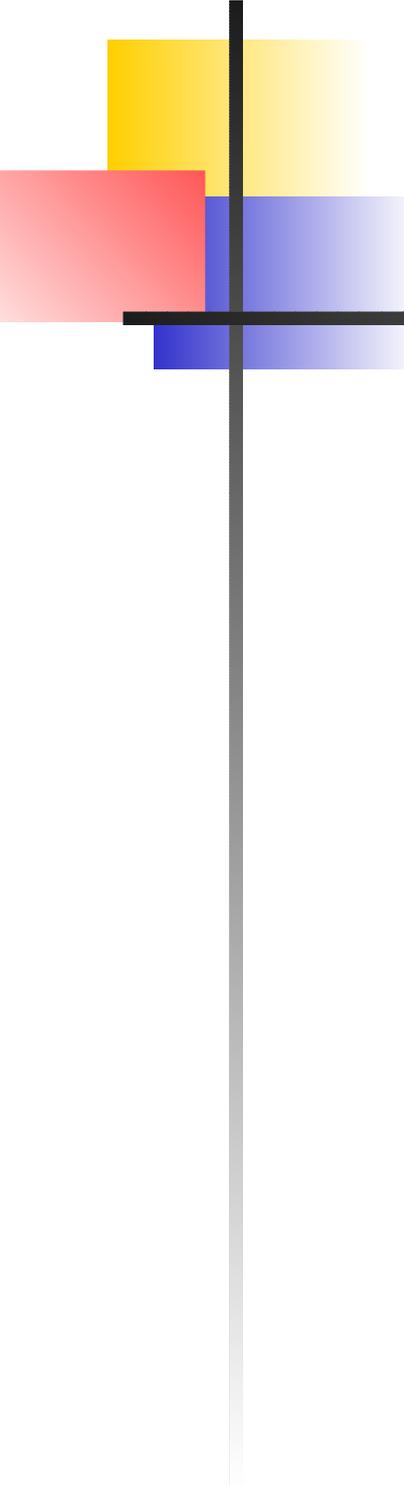


Un modèle du codage neural



Un modèle du codage neural

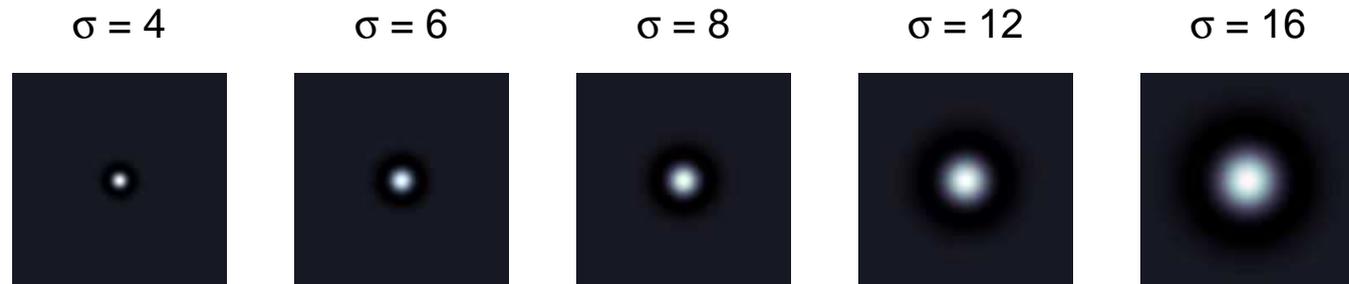




Méthode : la poursuite gourmande

Méthode : la poursuite gourmande

- On définit un dictionnaire $\mathcal{D} = \{w_i\}$ de filtres.
Ex. : Différences de Gaussiennes dilatées et translattées. :



Méthode : la poursuite gourmande

- On définit un dictionnaire $\mathcal{D} = \{w_i\}$:
- Calcul des produits scalaires sur l'image I^0 :
$$C_i^0 = \langle I^0, w_i \rangle = \sum_u I^0(u) \cdot w_i(u)$$

→ activité initiale des neurones

Méthode : la poursuite gourmande

- On définit un dictionnaire $\mathcal{D} = \{w_i\}$:
- Calcul des produits scalaires sur l'image I^0 :

$$C_i^0 = \langle I^0, w_i \rangle$$



$$\left\{ \begin{array}{l} i^0 = \text{ArgMax}_i(|C_i^0|) \end{array} \right.$$

Méthode : la poursuite gourmande

- On définit un dictionnaire $\mathcal{D} = \{w_i\}$:
- Calcul des produits scalaires sur l'image I^0 :

$$C_i^0 = \langle I^0, w_i \rangle$$



$$\begin{cases} i^0 = \text{ArgMax}_i (|C_i^0|) \\ I^1 = I^0 - \frac{\langle I^0, w_{i^0} \rangle}{\|w_{i^0}\|^2} \cdot w_{i^0} \end{cases}$$

Méthode : la poursuite gourmande

- On définit un dictionnaire $\mathcal{D} = \{w_i\}$:
- Calcul des produits scalaires sur l'image I^0 :

$$C_i^0 = \langle I^0, w_i \rangle$$



$$\begin{cases} i^0 = \text{ArgMax}_i (|C_i^0|) \\ I^1 = I^0 - \frac{C_{i^0}^0}{N_{i^0}^2} \cdot w_{i^0} \end{cases}$$

Méthode : la poursuite gourmande

- On définit un dictionnaire $\mathcal{D} = \{w_i\}$:
- Calcul des produits scalaires sur l'image I^0 :

$$C_i^0 = \langle I^0, w_i \rangle$$



$$\left\{ \begin{array}{l} i^0 = \text{ArgMax}_i (|C_i^0|) \\ I^1 = I^0 - C_{i^0}^0 \frac{w_{i^0}}{N_{i^0}^2} \\ \text{soit } C_i^1 = \langle I^1, w_i \rangle = C_i^0 - C_{i^0}^0 \frac{\langle w_{i^0}, w_i \rangle}{N_{i^0}^2} \end{array} \right.$$

Méthode : la poursuite gourmande

- On définit un dictionnaire $\mathcal{D} = \{w_i\}$:
- Calcul des produits scalaires sur l'image I^0 :

$$C_i^0 = \langle I^0, w_i \rangle$$



$$\begin{cases} i^t = \text{ArgMax}_i(|C_i^t|) \\ C_i^{t+1} = C_i^t - C_{i^t}^t \frac{\langle w_{i^t}, w_i \rangle}{N_{i^t}^2} \end{cases}$$

avec
$$I^{t+1} = I^t - \frac{C_{i^t}^t}{N_{i^t}^2} \cdot w_{i^t}$$

Méthode : la poursuite gourmande

- On définit un dictionnaire $\mathcal{D} = \{w_i\}$:
- Calcul des produits scalaires sur l'image I^0 :

$$C_i^0 = \langle I^0, w_i \rangle$$



$$\begin{cases} i^t = \text{ArgMax}_i(|C_i^t|) \\ C_i^{t+1} = C_i^t - C_{i^t}^t \frac{\langle w_{i^t}, w_i \rangle}{N_{i^t}^2} \end{cases}$$

avec $I^T = \sum_{t=1}^T \frac{C_{i^t}^t}{N_{i^t}^2} \cdot w_{i^t}$

Méthode : la poursuite gourmande

- On définit un dictionnaire $\mathcal{D} = \{w_i\}$:
- Calcul des produits scalaires sur l'image I^0 :

$$C_i^0 = \langle I^0, w_i \rangle$$

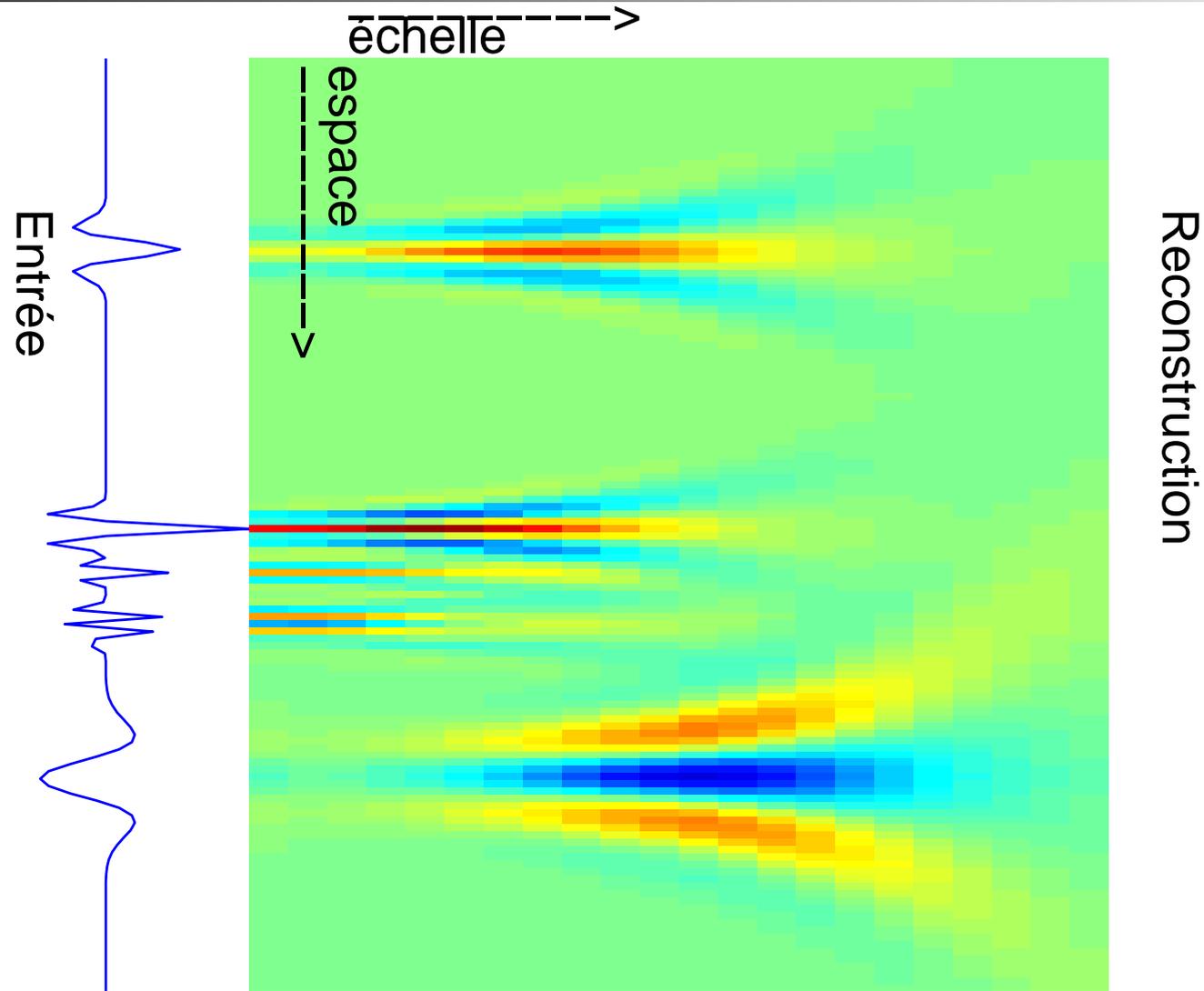


$$\begin{cases} i^t = \text{ArgMax}_i(|C_i^t|) \\ C_i^{t+1} = C_i^t - C_i^t \frac{\langle w_{i^t}, w_i \rangle}{N_{i^t}^2} \end{cases}$$

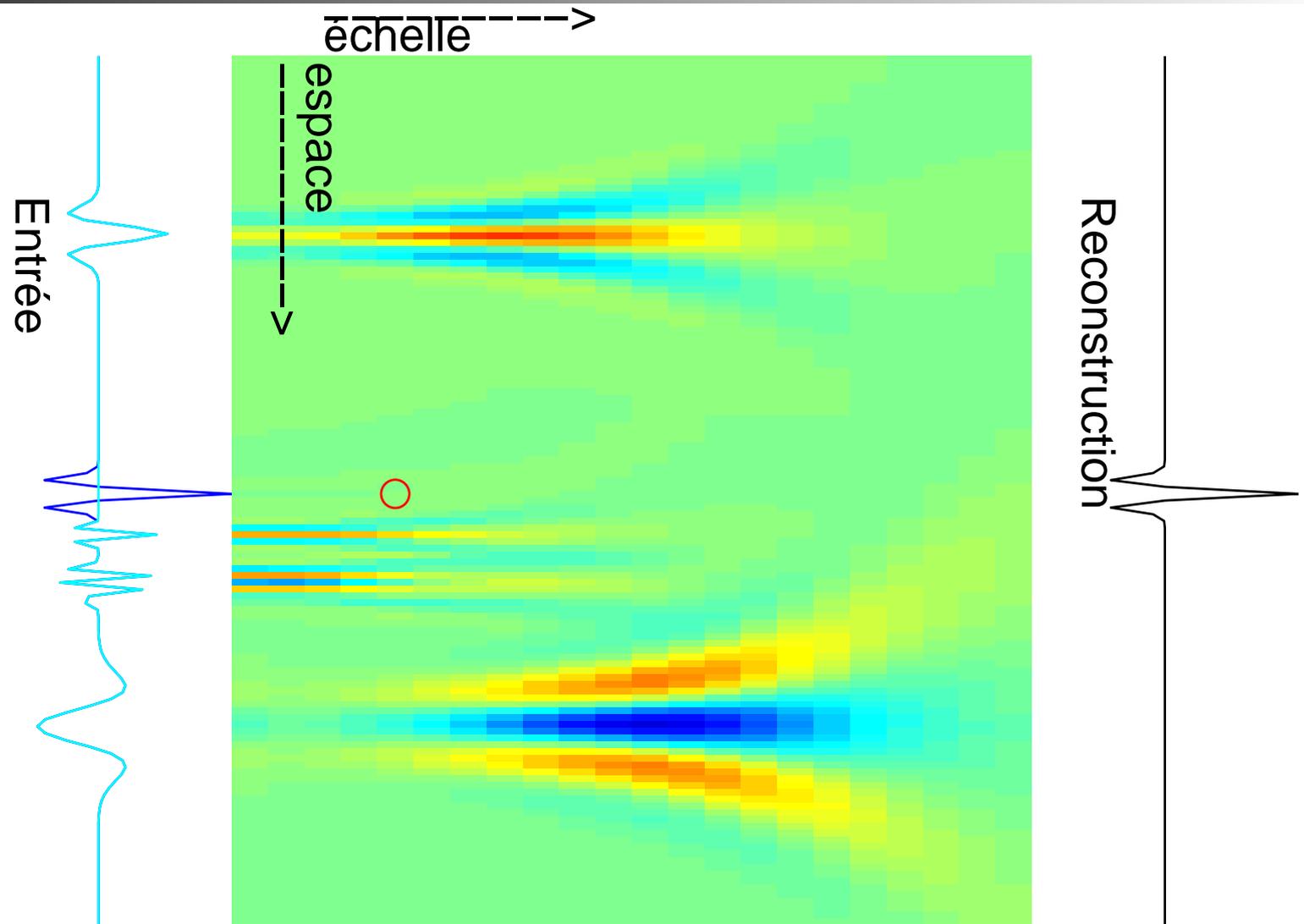
avec $I^T = \sum_{t=1}^T \frac{C_{i^t}^t}{N_{i^t}^2} \cdot w_{i^t}$

- Poursuite de correspondance (Matching Pursuit, MP) [Mallat and Zhang, 1993]

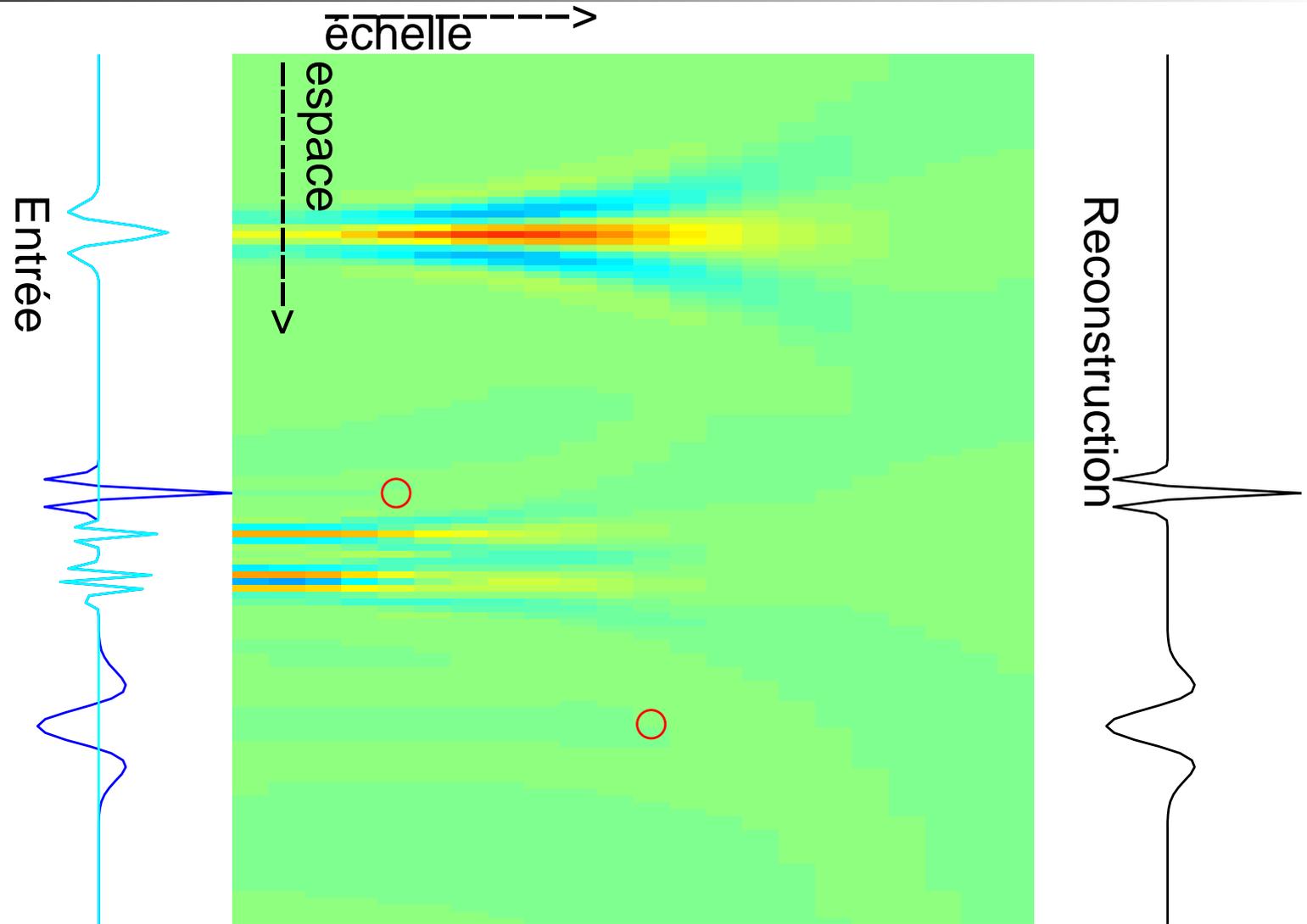
Mais que fait la poursuite ?



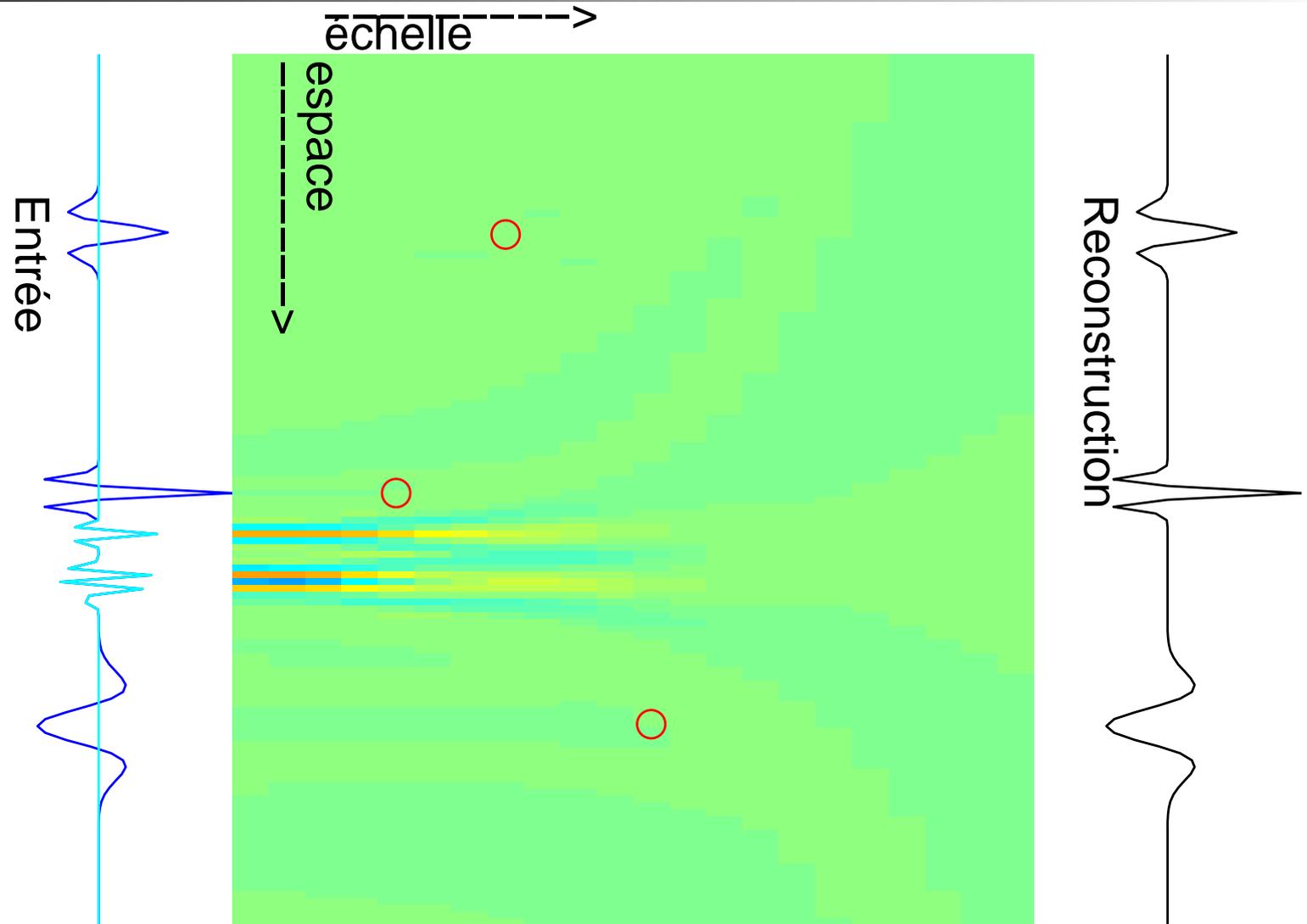
Mais que fait la poursuite ?



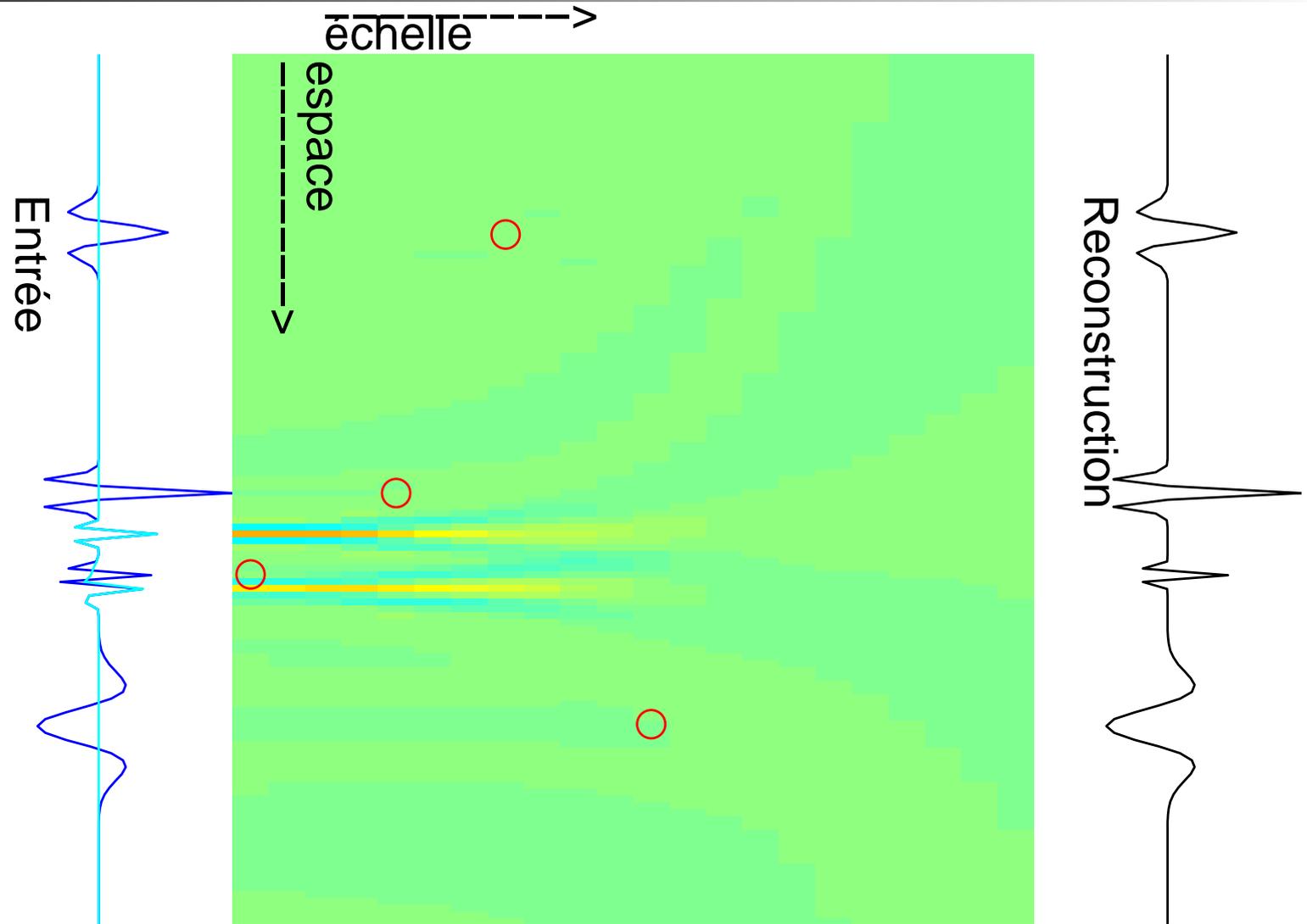
Mais que fait la poursuite ?



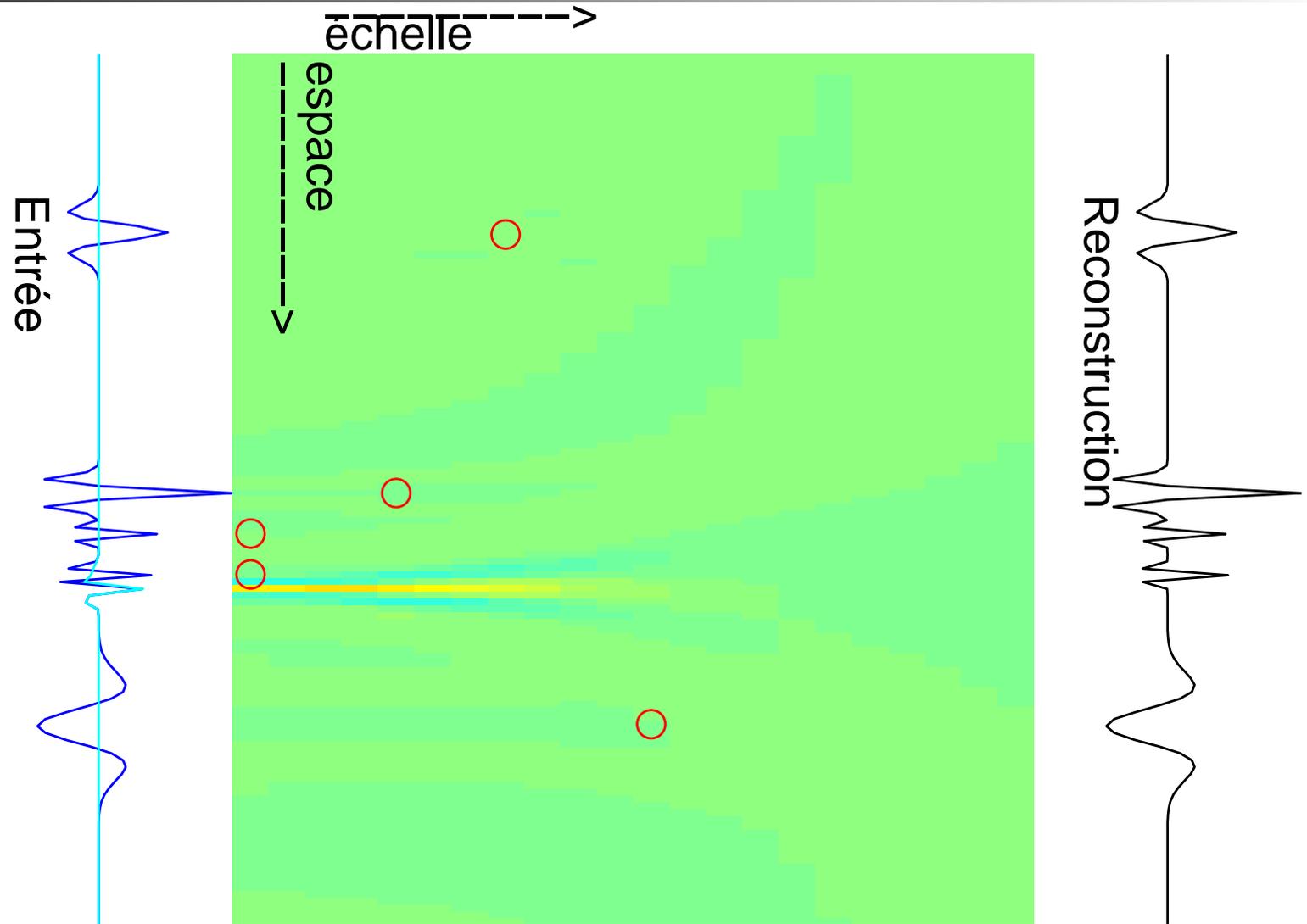
Mais que fait la poursuite ?



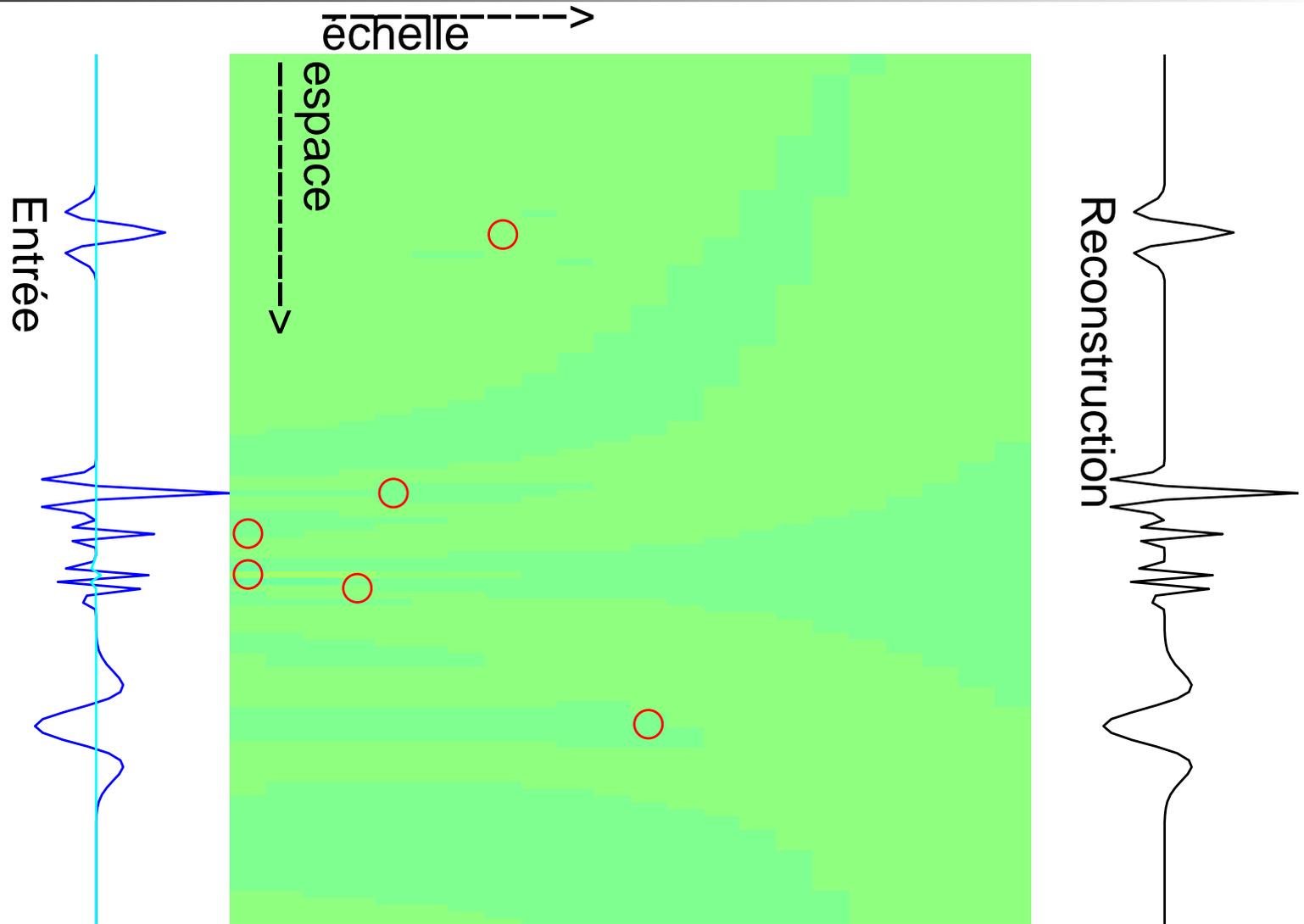
Mais que fait la poursuite ?

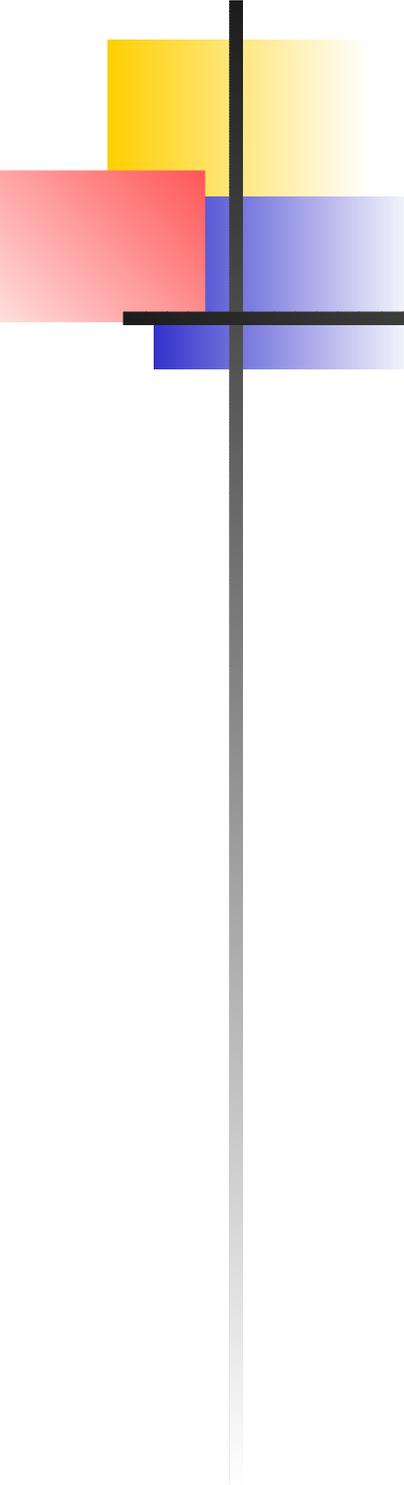


Mais que fait la poursuite ?

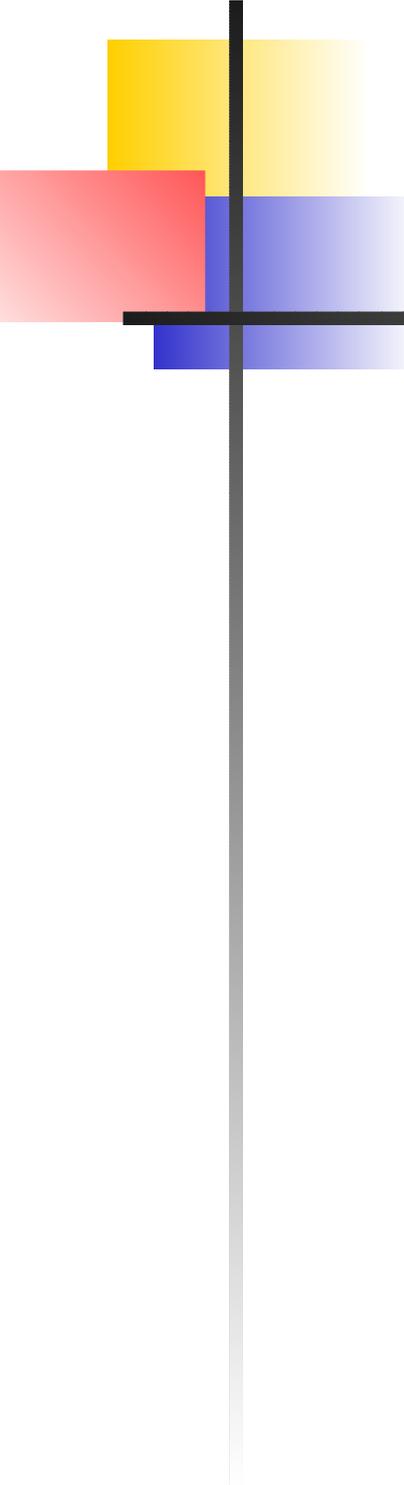


Mais que fait la poursuite ?

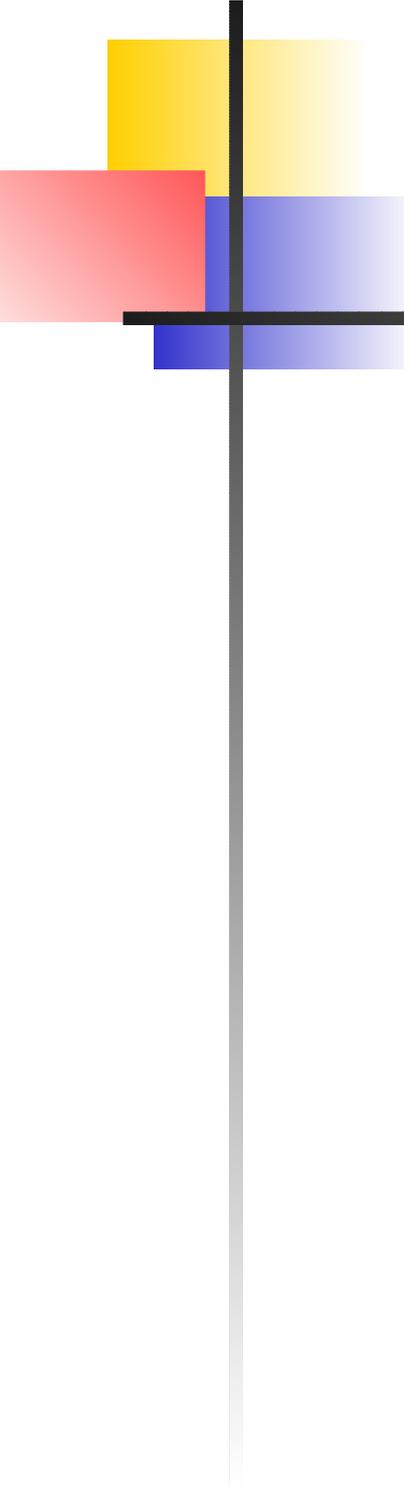




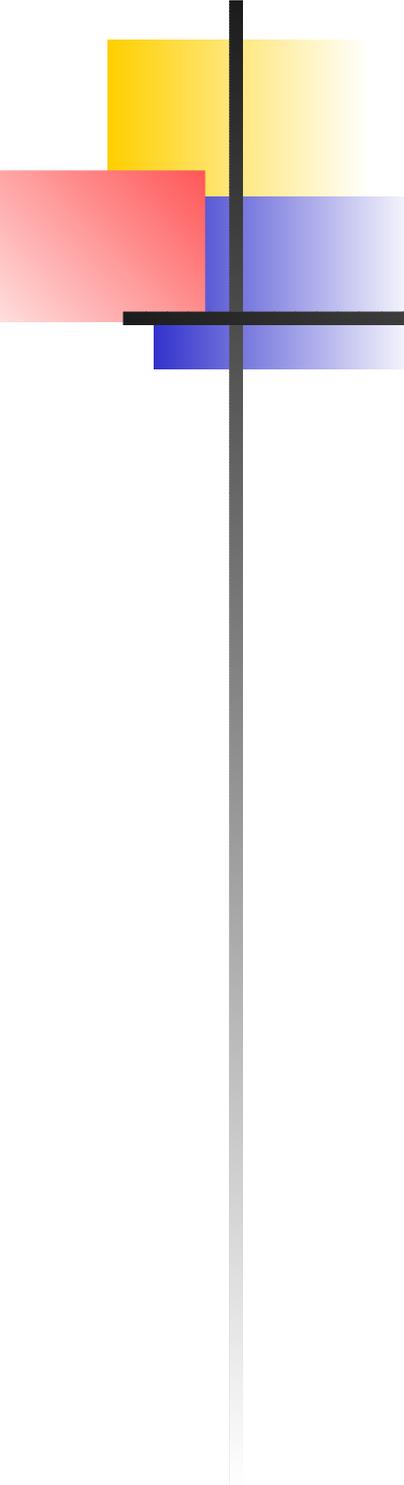
Applications : propagation



Applications : propagation

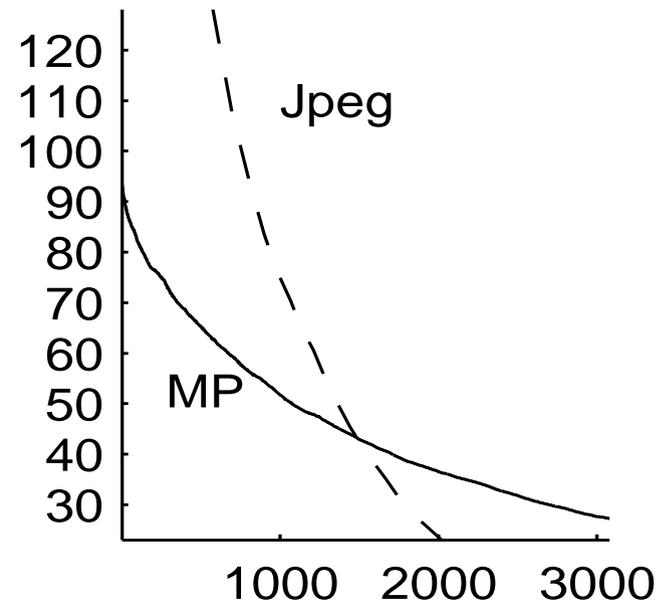
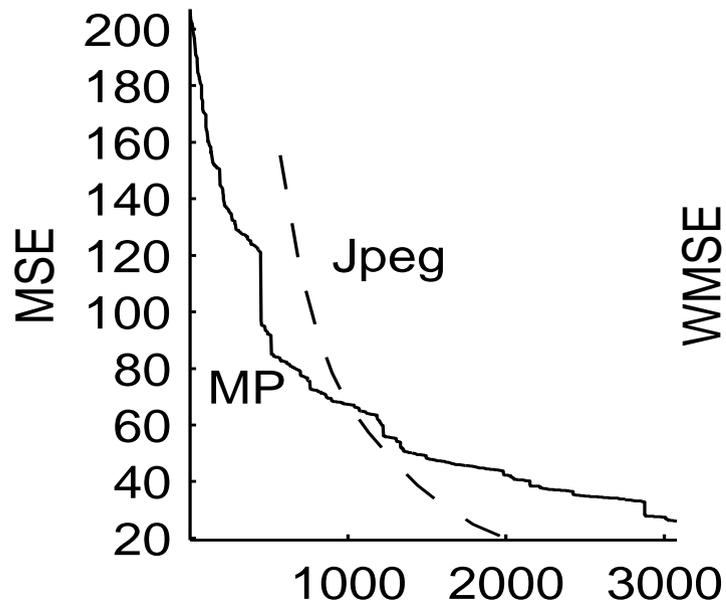


Applications : propagation



Applications : propagation

Applications : propagation



Applications : modèle de poursuite de saillance

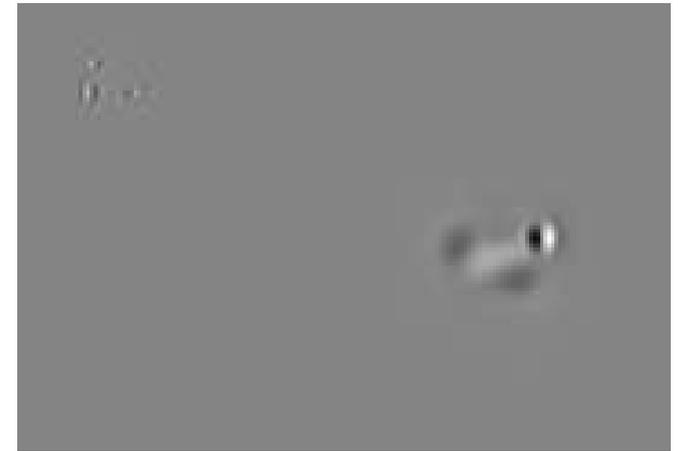


Modification de la propagation par la saillance
[Itti et al., 1998]

Applications : modèle de poursuite de saillance



carte de saillance

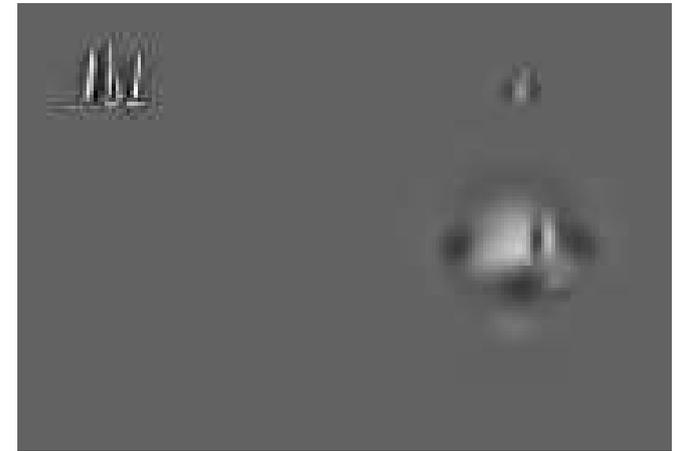


reconstruction

Applications : modèle de poursuite de saillance



carte de saillance



reconstruction

Applications : modèle de poursuite de saillance



carte de saillance

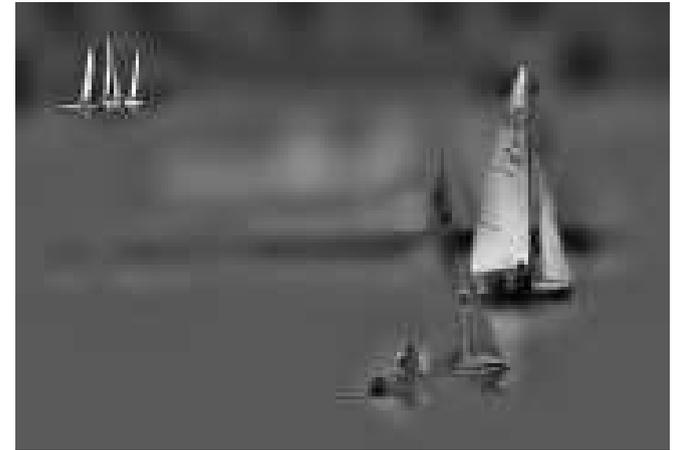


reconstruction

Applications : modèle de poursuite de saillance



carte de saillance



reconstruction

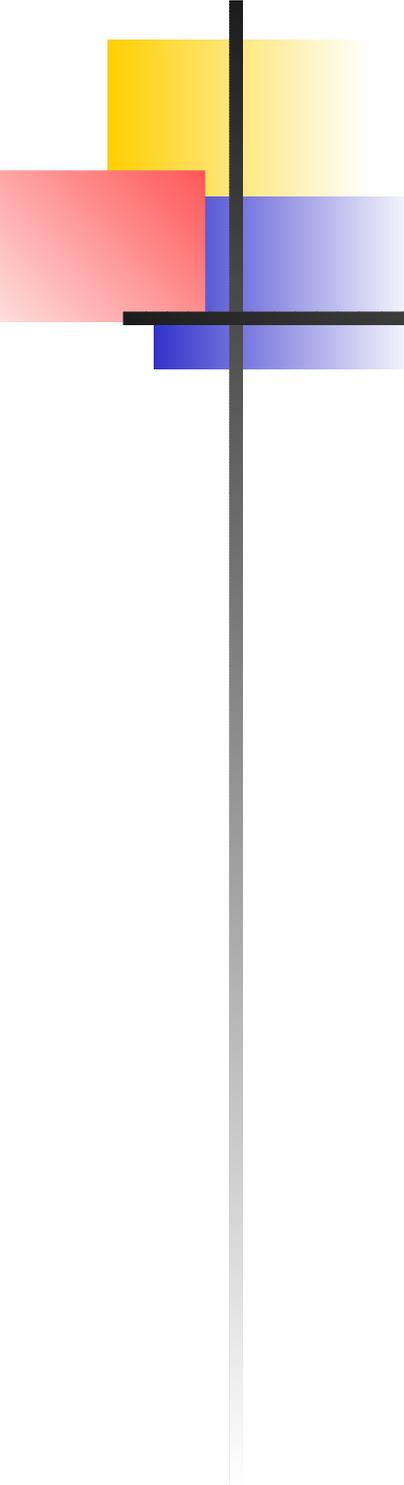
Applications : modèle de poursuite de saillance



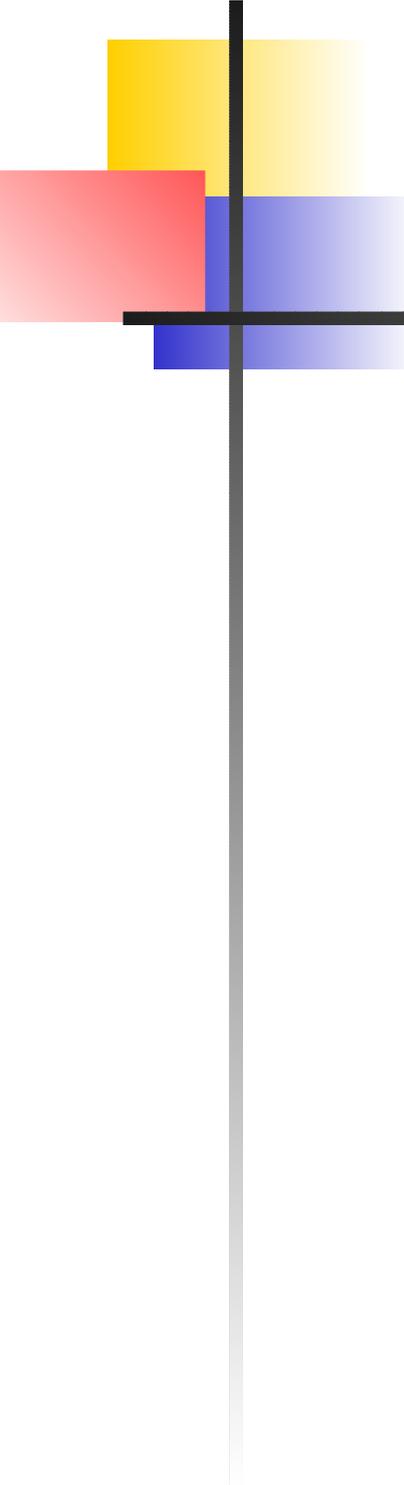
carte de saillance



reconstruction

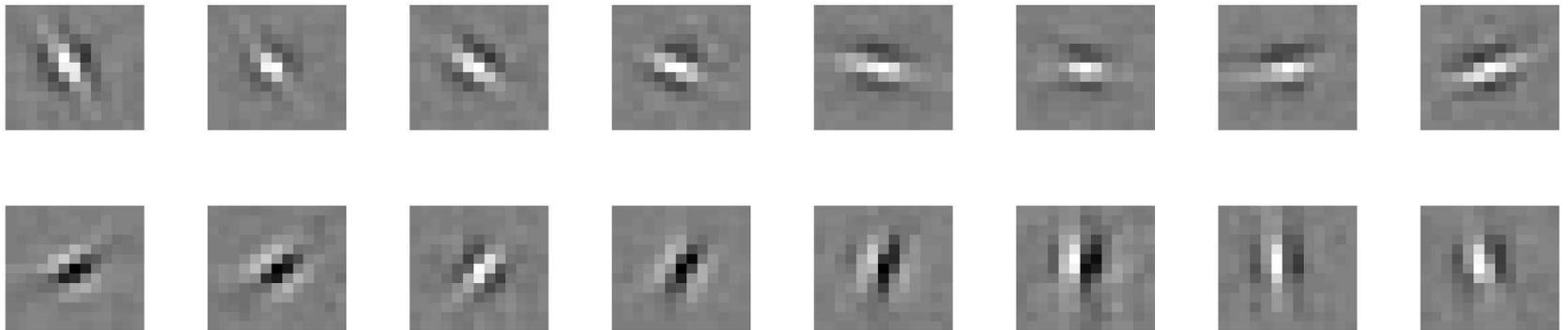


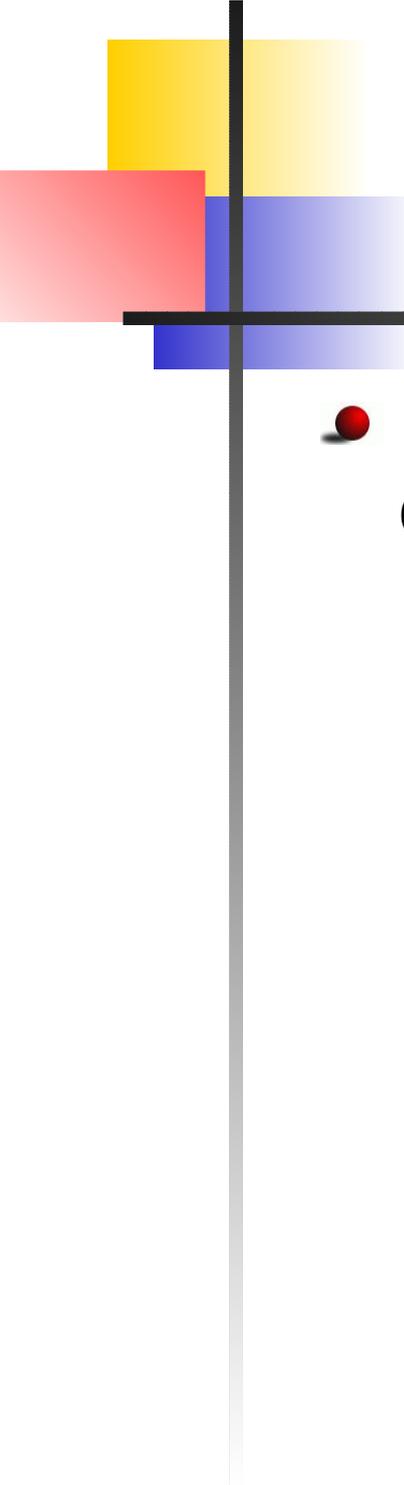
Apprentissage



Apprentissage

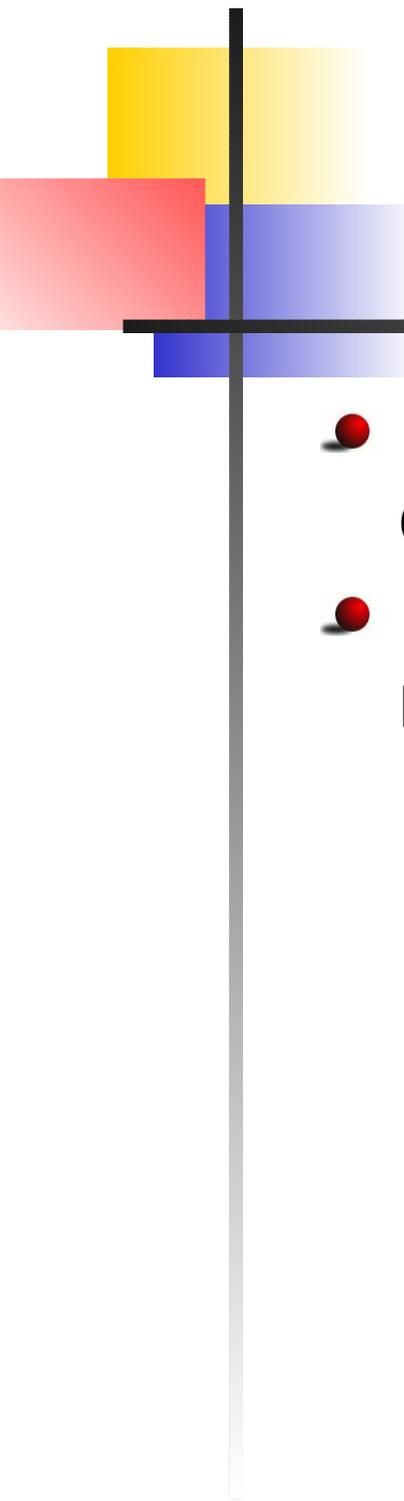
Apprentissage





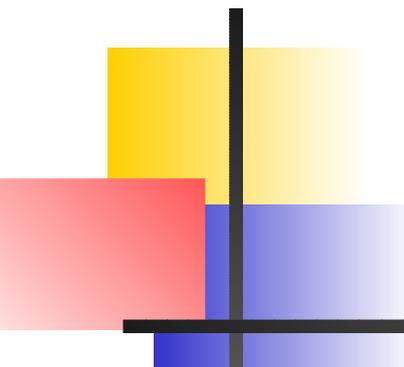
Conclusion

- Il existe des alternatives au paradigme du codage par la fréquence de décharge



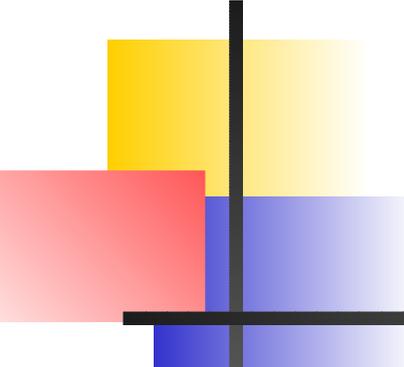
Conclusion

- Il existe des alternatives au paradigme du codage par la fréquence de décharge
- Applications de la statistique des images naturelles : recherche d'invariants



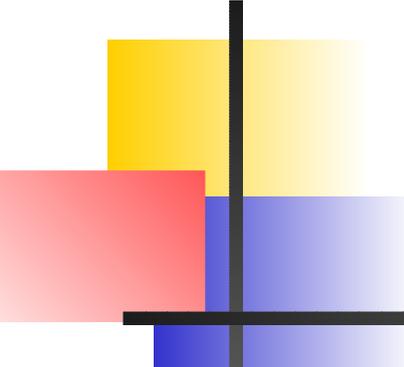
Conclusion

- Il existe des alternatives au paradigme du codage par la fréquence de décharge
- Applications de la statistique des images naturelles : recherche d'invariants
- Modèle de représentation sur-complète dans un code impulsionnel



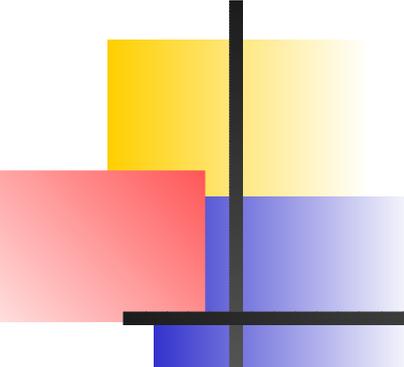
Conclusion

- Il existe des alternatives au paradigme du codage par la fréquence de décharge
- Applications de la statistique des images naturelles : recherche d'invariants
- Modèle de représentation sur-complète dans un code impulsionnel
 - Aires visuelles primaires



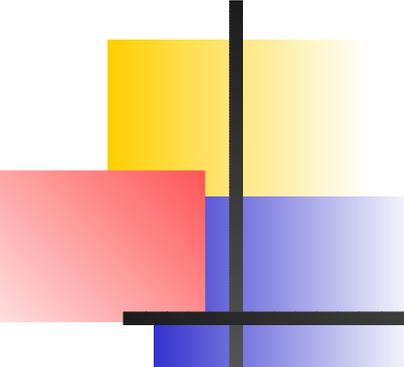
Conclusion

- Il existe des alternatives au paradigme du codage par la fréquence de décharge
- Applications de la statistique des images naturelles : recherche d'invariants
- Modèle de représentation sur-complète dans un code impulsionnel
 - Aires visuelles primaires
 - Multi-couche, calcul événementiel



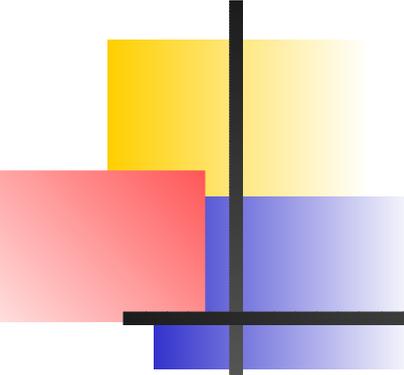
Conclusion

- Il existe des alternatives au paradigme du codage par la fréquence de décharge
- Applications de la statistique des images naturelles : recherche d'invariants
- Modèle de représentation sur-complète dans un code impulsionnel
 - Aires visuelles primaires
 - Multi-couche, calcul événementiel
 - Apprentissage non-supervisé du dictionnaire



Conclusion

- Il existe des alternatives au paradigme du codage par la fréquence de décharge
 - Applications de la statistique des images naturelles : recherche d'invariants
 - Modèle de représentation sur-complète dans un code impulsionnel
 - Aires visuelles primaires
 - Multi-couche, calcul événementiel
 - Apprentissage non-supervisé du dictionnaire
- ⇒ Vers un modèle dynamique du flux visuel



Merci !

Documentations et codes source sur : <http://laurent.perrinet.free.fr/>

Typographie \LaTeX : `paquetage Prosper`

Références

- A. Delorme, L. Perrinet, S. J. Thorpe, and M. Samuelides. Network of integrate-and-fire neurons using rank order coding B : spike timing dependant plasticity and emergence of orientation selectivity. *Neurocomputing*, 38-40(1-4) :539–45, 2001. URL laurent.perrinet.free.fr/publi/delorme01.pdf.
- L. Itti, C. Koch, and E. Niebur. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(11) : 1254–1259, 1998. URL citeseer.nj.nec.com/itti98model.html.
- S. Mallat and Z. Zhang. Matching pursuit with time-frequency dictionaries. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 41(12) :3397–3414, 1993.
- B. Olshausen and D. J. Field. Natural image statistics and efficient coding. *Network*, 7 : 333–339, 1996. URL citeseer.nj.nec.com/olshausen96natural.html.
- L. Perrinet and M. Samuelides. Coherence detection in a spiking neuron via hebbian learning. *Neurocomputing*, 44–6(C) :133–9, 2002. URL <http://laurent.perrinet.free.fr/publi/perrinet02.pdf>.
- S. J. Thorpe, D. Fize, and C. Marlot. Speed of processing in the human visual system. *Nature*, 381 :520–2, 1996.