



Mécanismes numériques et distribués de l'anticipation motrice

Jérémy Fix

Université Henri Poincaré Nancy - I

30 octobre 2008



CORTEX

Apport des neurosciences computationnelles ...

... aux neurosciences

- ▶ Poser des questions aux modèles qui sont plus facilement appréhendables que le système physique modélisé [Rosenblueth, Wiener 1945]
- ▶ Eprouver des hypothèses formulées par les biologistes
- ▶ Identifier les hypothèses minimales permettant de rendre compte des capacités/dysfonctionnements cognitifs

Apport des neurosciences computationnelles ...

... à l'informatique

- ▶ Explorer un paradigme de calcul original qui repose sur des calculs distribués, asynchrones, numériques et adaptatifs :
 - ▶ Généricité du substrat
 - ▶ Parallélisation des calculs
- ▶ S'inspirer du fonctionnement du cerveau pour proposer de nouveaux algorithmes répondant à des problèmes difficiles à résoudre :
 - ▶ Traite et représente de l'information multimodale
 - ▶ S'adapte à un environnement dynamique et bruité
 - ▶ Réalise des tâches complexes (navigation, résolution de problèmes, planification, raisonnement, rédaction ...)

Positionnement thématique

Neurosciences computationnelles

L'attention visuelle

Qu'est ce que l'attention visuelle ?

Recherche visuelle et facteurs bottom-up

Corrélats neurophysiologiques de l'attention visuelle

Un modèle d'attention visuelle

Un modèle de déploiement de l'attention visuelle couvert

Paradigme de calcul

Un mécanisme de sélection

Une mémoire de travail

Intégrer des attributs non spatiaux

Conclusion intermédiaire

Un modèle d'attention visuelle ouvert

Pourquoi s'intéresser aux mouvements oculaires ?

Attention visuelle et contrôle oculomoteur

Anticipation

Parcours séquentiel avec des saccades

Un modèle d'attention visuelle ouvert

Conclusion et perspectives

Positionnement thématique

Neurosciences computationnelles

L'attention visuelle

Qu'est ce que l'attention visuelle ?

Recherche visuelle et facteurs bottom-up

Corrélats neurophysiologiques de l'attention visuelle

Un modèle d'attention visuelle

Un modèle de déploiement de l'attention visuelle covert

Paradigme de calcul

Un mécanisme de sélection

Une mémoire de travail

Intégrer des attributs non spatiaux

Conclusion intermédiaire

Un modèle d'attention visuelle overt

Pourquoi s'intéresser aux mouvements oculaires ?

Attention visuelle et contrôle oculomoteur

Anticipation

Parcours séquentiel avec des saccades

Un modèle d'attention visuelle overt

Conclusion et perspectives

Une définition de l'attention visuelle

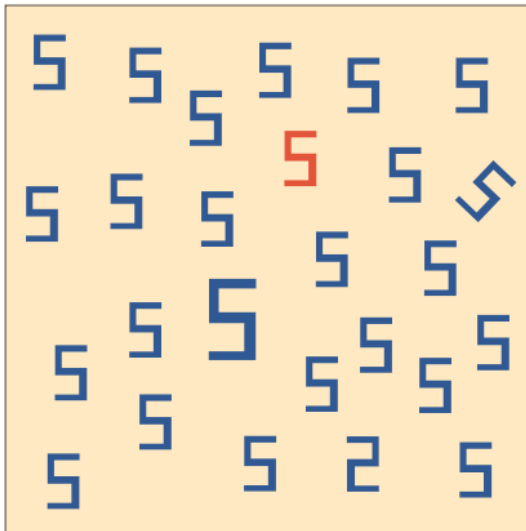
Définition

L'attention visuelle est la capacité du cerveau à sélectionner l'information visuelle pertinente en rejetant celle qui ne l'est pas.

- ▶ Pertinence : facteurs bottom-up et top-down
- ▶ Sélection : facilitation / suppression
- ▶ Guidée par des informations :
 - liées aux caractéristiques visuelles non spatiales
 - spatiales : covert / overt
 - (sur les objets)

Recherche visuelle et facteurs bottom-up

- ▶ Recherche parallèle vs. séquentielle : mise en évidence des attributs visuels qui facilitent le traitement visuel [Wolfe 2005]



Attention guidée par les attributs visuels

Facilitation et suppression par des attributs visuels non spatiaux

- ▶ Influence de la nouveauté (bottom-up) dans LIP
- ▶ Influence des attributs pertinents (top-down)
 - ▶ dans IT : objets complexes (e.g. visage)
 - ▶ dans V4 : attributs simples (e.g. couleur, orientation)
 - ▶ dans MT : mouvement (vitesse et direction)

Facilitation et suppression par une information spatiale

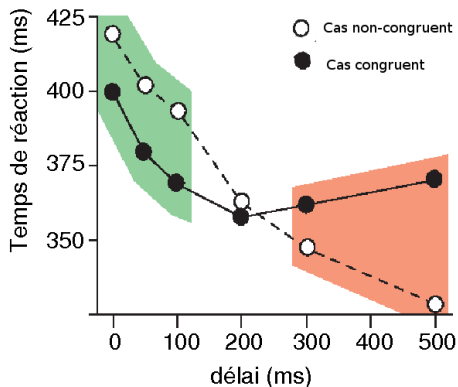
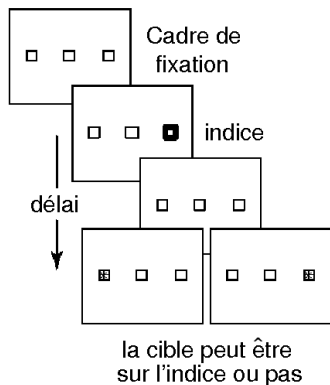
- ▶ dans V4 : “Directing spatial attention to a stimulus increases its effective contrast” [Reynolds et al. 1999]
- ▶ Inhibition de retour [Posner et al., 1980, Klein, 2000]

Revue récente : [Kastner et al. 2000] , [Reynolds et al. 2004], [Knudsen et al. 2007]

Attention guidée par une information spatiale

Inhibition de retour

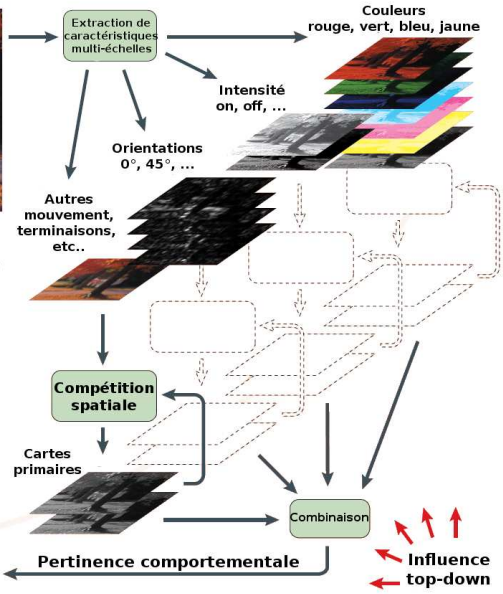
“IOR operates to decrease the likelihood that a previously inspected item in the visual scene will be reinspected [Klein, 2008]”



→ Métaphore du spotlight attentionnel

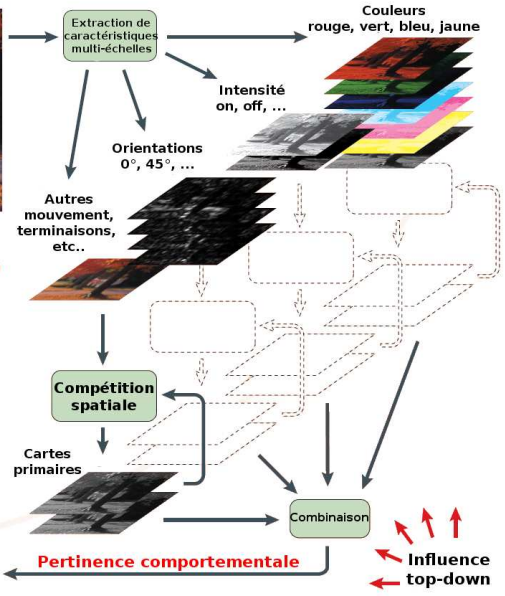
Modèle computationnel [Itti, Koch 2001]

Image



Modèle computationnel [Itti, Koch 2001]

Image



Résumé

Modélisation fonctionnelle de l'attention visuelle

- ▶ Ségrégation fonctionnelle : What et Where
- ▶ L'attention guidée par des attributs visuels non spatiaux facilite le traitement de ces attributs
- ▶ L'attention guidée spatialement facilite le traitement d'une région spatiale
- ▶ L'attention spatiale est déployée séquentiellement
- ▶ L'IOR évite que l'attention spatiale ne soit redéployée sur les mêmes régions

Contraintes de modélisation

Calculs D.A.N.A. :

- ▶ Distribués
- ▶ Asynchrones
- ▶ Numériques
- ▶ (Adaptatifs)

Positionnement thématique

Neurosciences computationnelles

L'attention visuelle

Qu'est ce que l'attention visuelle ?

Recherche visuelle et facteurs bottom-up

Corrélat neurophysiologiques de l'attention visuelle

Un modèle d'attention visuelle

Un modèle de déploiement de l'attention visuelle couvert

Paradigme de calcul

Un mécanisme de sélection

Une mémoire de travail

Intégrer des attributs non spatiaux

Conclusion intermédiaire

Un modèle d'attention visuelle ouvert

Pourquoi s'intéresser aux mouvements oculaires ?

Attention visuelle et contrôle oculomoteur

Anticipation

Parcours séquentiel avec des saccades

Un modèle d'attention visuelle ouvert

Conclusion et perspectives

Paradigme de calcul : les champs neuronaux

Champs neuronaux

- ▶ Proposé par [Beurle, 1956, Wilson, Cowan, 1972,1973, Amari, 1977]
- ▶ Modèle d'une population de neurones basé sur des considérations statistiques
- ▶ Equation discrétisée utilisée pour la simulation :

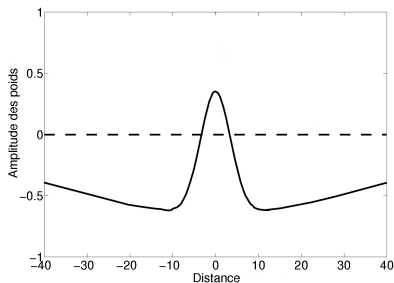
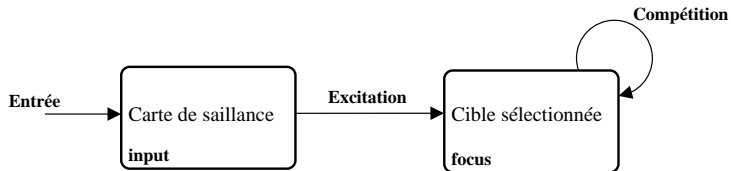
$$\tau \cdot \Delta u(x, t) = -\alpha u(x, t) + \sum_y w(x, y) \cdot u(y, t) + I(x, t) + h$$

$$u(x, t + 1) = f(u(x, t) + \Delta u(x, t))$$

- ▶ Calcul distribué, asynchrone, numérique

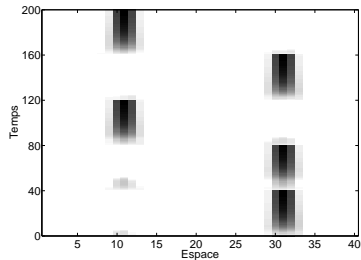
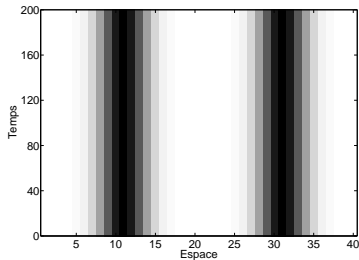
Un mécanisme de sélection

Mécanisme de sélection : différence de gaussiennes globale



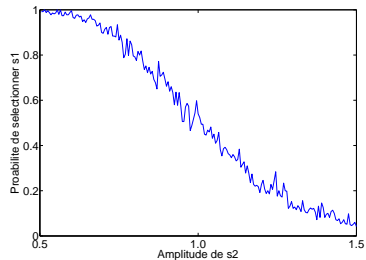
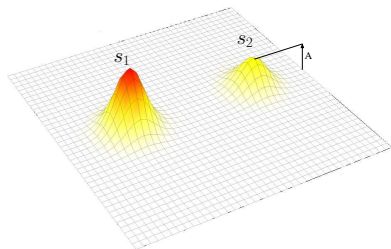
Un mécanisme de sélection

Mécanisme de sélection : différence de gaussiennes globale



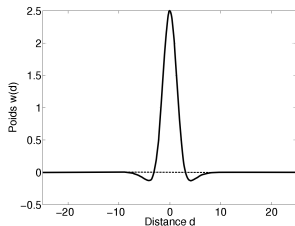
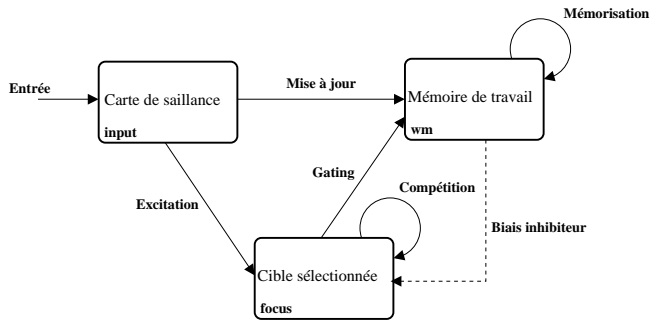
Un mécanisme de sélection

Probabilité de sélection et amplitude des cibles



Une mémoire de travail

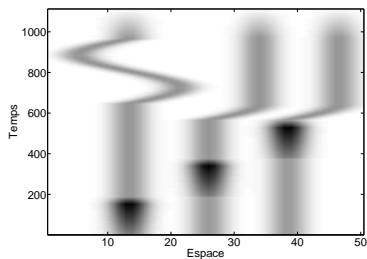
Mémoire de travail : différence de gaussiennes locales



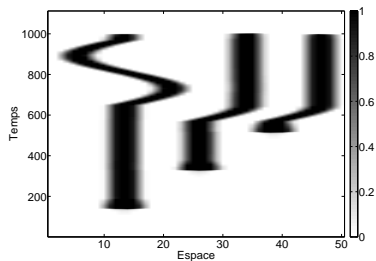
Une mémoire de travail

Mémoire de travail seule

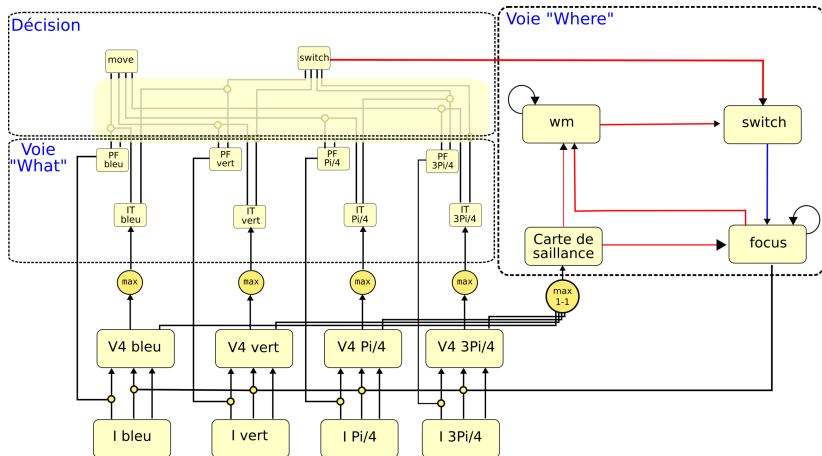
Entrée



wm



Intégrer des attributs non spatiaux



Inspiré des travaux de [Hamker, 2005]

Intégrer des attributs non spatiaux

Trouver la barre bleue orientée à 45°

Conclusion intermédiaire

Une modélisation fonctionnelle de l'attention visuelle couvert
Une étude empirique des champs neuronaux

- ▶ La sélection d'une cible est une propriété émergente d'un champ neuronal, avec des interactions latérales inhibitrices
- ▶ Robustesse au bruit et aux distracteurs [Vitay, 2006]
- ▶ La mémoire de travail spatiale est une propriété émergente d'un champ neuronal, avec des interactions latérales localement excitatrices
- ▶ Ce modèle simple permet de rendre compte du déploiement séquentiel de l'attention visuelle spatiale
- ▶ Étendu pour inclure la modulation par des attributs visuels non spatiaux

→ Comment intégrer un mouvement oculaire / de caméra ?

Positionnement thématique

Neurosciences computationnelles

L'attention visuelle

Qu'est ce que l'attention visuelle ?

Recherche visuelle et facteurs bottom-up

Corrélat neurophysiologiques de l'attention visuelle

Un modèle d'attention visuelle

Un modèle de déploiement de l'attention visuelle covert

Paradigme de calcul

Un mécanisme de sélection

Une mémoire de travail

Intégrer des attributs non spatiaux

Conclusion intermédiaire

Un modèle d'attention visuelle overt

Pourquoi s'intéresser aux mouvements oculaires ?

Attention visuelle et contrôle oculomoteur

Anticipation

Parcours séquentiel avec des saccades

Un modèle d'attention visuelle overt

Conclusion et perspectives

Pourquoi s'intéresser aux mouvements oculaires

Enjeux

- ▶ D'un point de vue biologique, c'est la manière la plus naturelle d'explorer le monde visuel
- ▶ De plus en plus de travaux soulignent le lien entre déploiement de l'attention visuelle et mouvement oculaire
- ▶ Nécessite de s'interroger sur la manière dont l'information spatiale est représentée et traitée dans le cortex
- ▶ D'un point de vue informatique :
 - ▶ confronter le paradigme de calcul à un problème plus complexe (applications en robotique autonome)
 - ▶ concentrer le traitement sur une région restreinte du champ visuel
 - ▶ vision passive vs. vision active

Attention visuelle et contrôle oculomoteur

Référentiel de la mémoire spatiale

- ▶ Indépendant de la position des yeux :
 - ▶ Pas de mise à jour
 - ▶ Doit être transformé dans un référentiel centré-œil
- ▶ Centré-œil :
 - ▶ Nécessite d'être mise à jour
 - ▶ Est déjà dans un référentiel centré-œil dans lequel s'opère la sélection de la prochaine cible

→ Mécanisme de champs de gains

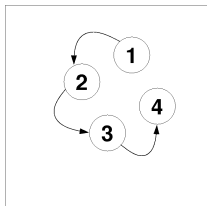
Anticiper pour prendre en compte les saccades oculaires

Objectif

Anticiper les conséquences d'une saccade sur l'état de la mémoire de travail

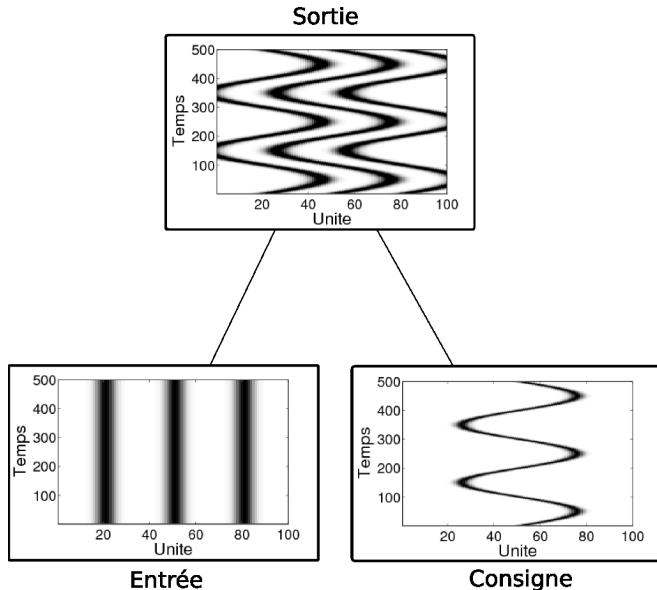
Principe

- ▶ L'une des conséquences des saccades oculaires : changement brutal des informations traitées par la rétine

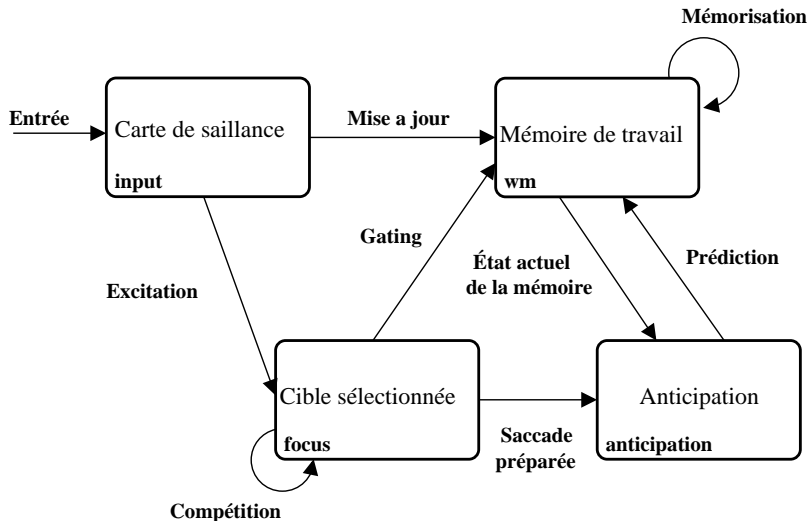


Anticiper pour prendre en compte les saccades oculaires

Un mécanisme d'anticipation avec des neurones sigma-pi



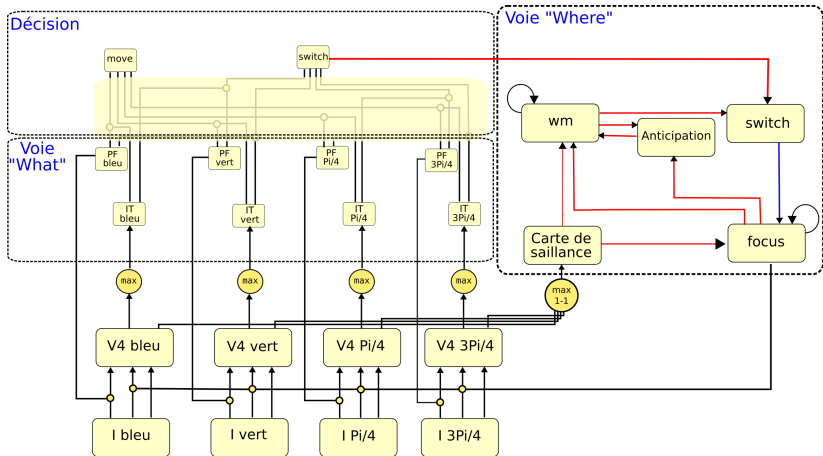
Parcours séquentiel avec des saccades



Parcours séquentiel avec des saccades

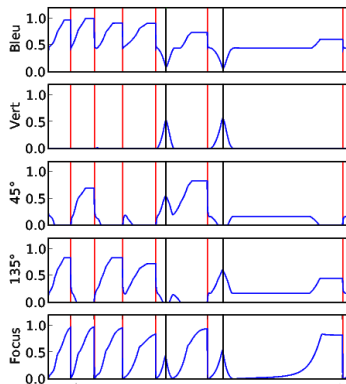
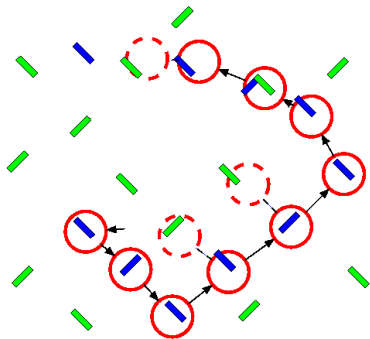
Un modèle d'attention visuelle covert et overt

Architecture du modèle



Un modèle d'attention visuelle covert et overt

Simulation et résultats



Synthèse

- ▶ Ségrégation fonctionnelle de deux voies de traitement de l'information visuelle
- ▶ L'attention guidée par les attributs facilite le traitement des attributs pertinents
- ▶ L'attention guidée spatialement facilite le traitement de la région pertinente
- ▶ Une mémoire spatiale empêche l'attention d'être redéployée sur les mêmes régions
- ▶ Cette mémoire est mise à jour par anticipation pour rester cohérente malgré les mouvements oculaires
- ▶ Le déploiement de l'attention visuelle spatiale (covert et overt) et guidée par les attributs est obtenu grâce au même substrat

Conclusions

- ▶ Paradigme de calculs distribués, asynchrones, numériques et adaptatifs
- ▶ Le comportement de recherche visuelle émerge de l'interaction de cellules élémentaires simples
- ▶ Analyse séquentielle des régions d'intérêt par un substrat de calculs distribués

Intérêts pour les biologistes :

- ▶ Connaître facilement l'état du système :
 - ▶ d'un point de vue extérieur : études comportementales (e.g. temps de réaction, parcours saccadique)
 - ▶ d'un point de vue intérieur : études physiologiques (e.g. déploiement covert de l'attention)
- ▶ Interaction avec le système : inactivation temporaire ou lésion (e.g. anticipation)

Perspectives

Reboucler sur la biologie

- ▶ Déterminer le domaine de validité du modèle
biased competition, contrast gain model [Hamker, 2004]
- ▶ Et proposer des prédictions vérifiables expérimentalement, définies au niveau de granularité du modèle
Lien entre IOR, mémoire spatiale et saccades
- ▶ ce processus pourrait imposer d'aller plus loin qu'une modélisation fonctionnelle

Pour l'informatique

- ▶ Travailler sur des images plus complexes
Traitements préattentifs plus élaborés (e.g. Itti et al.)
- ▶ Apprentissage des attributs pertinents et reconnaissance visuelle
vision passive vs. vision active

Perspectives

Rôle de l'apprentissage

- ▶ à partir d'une architecture déjà contrainte
- ▶ en relâchant ces contraintes
apprentissage incrémental
émergence de territoires fonctionnels distincts

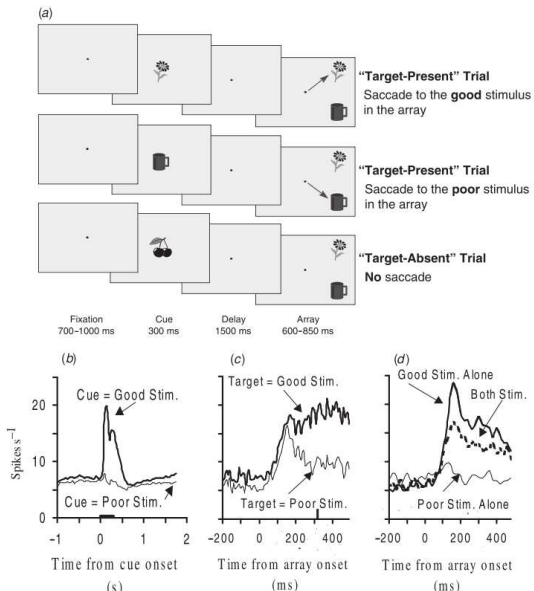
Je vous remercie pour votre attention.

Table des matières

- ▶ Electrophysiologie : [Chelazzi et al 1998](#)
- ▶ Electrophysiologie : [Motter et al 1994](#)
- ▶ Electrophysiologie : [Reynolds et al.](#)
- ▶ Champs de gains : [Lien](#)
- ▶ Mécanisme de sélection : [Lien](#)
- ▶ Simulation : sélection + mémoire de travail : [Lien](#)
- ▶ Résultat préliminaire sur des images naturelles : [Lien](#)
- ▶ Exemple de script DANA : [Lien](#)
- ▶ Evaluation synchrone / asynchrone : [Lien](#)

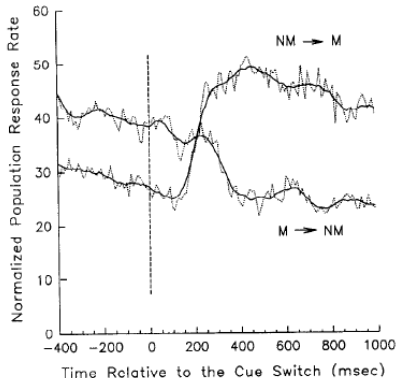
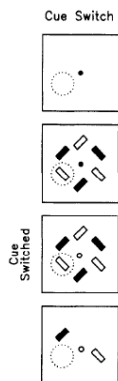
Attention guidée par les attributs visuels

Dans le cortex inférotemporal [Chelazzi, 1993,1998]



Attention guidée par les attributs visuels

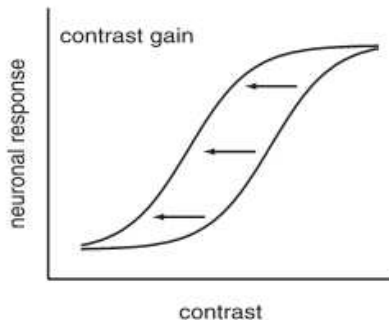
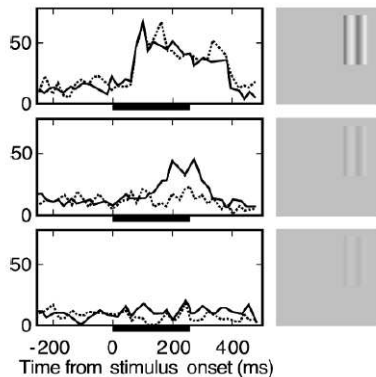
Dans l'aire visuelle extrastrée V4 [Motter, 1994]



Attention guidée par une information spatiale

Attention spatiale \sim Augmenter le contraste du stimulus dans le champ récepteur

\rightarrow contrast gain model



Modèle encore en débat [Williford, 2006]

Mécanisme de champs de gains

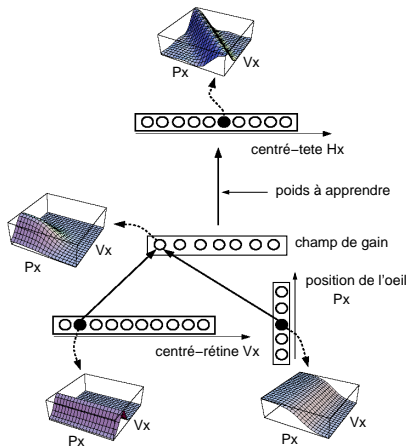
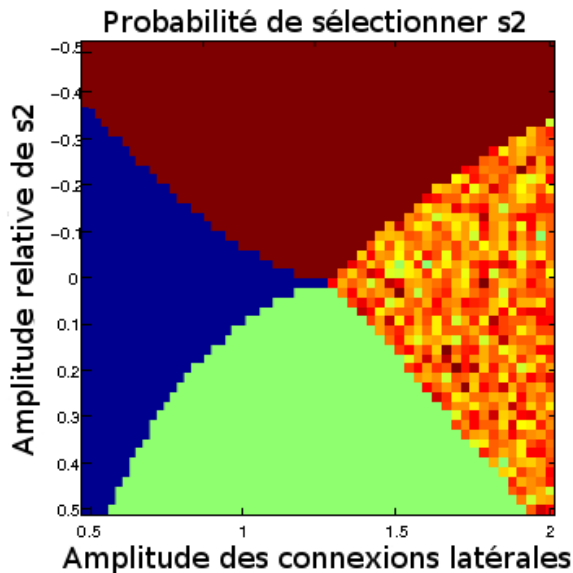


Table des matières

Mécanisme de sélection

Connexions latérales inhibitrices



Un modèle simple d'attention spatiale

Application sur des images naturelles

Extension du filtrage préattentif par les mécanismes de Itti et al.



Champ visuel



Table des matières

Exemple de script DANA

```
#!/usr/bin/env python

# Import
import dana.core as core
import dana.cnft as cnft

import dana.projection as projection
import dana.projection.distance as distance
import dana.projection.density as density
import dana.projection.shape as shape
import dana.projection.profile as profile

# Create a new network
model = core.Model()
net = core.Network()
model.append(net)
width = 40
height = 40

# Maps
input = new_map('input', width, height, 0, 1, core.Unit)
focus[] = new_map('focus', width, height, 1, 0, cnft.Unit)

p = projection.Projection()
p.distance = distance.Euclidean(False)
p.density = density.Full(1)

# input to focus
p.profile = profile.Gaussian(1.0, 2.0/width)
p.shape = shape.Disc(2.5*2.0/width)
p.src = input[0]
p.dst = focus[0]
p.connect()

p.profile = profile.DoG(0.65, 5.0/width, 0.65, math.sqrt(2.0))
p.shape = shape.Disc(2.5)
p.src = focus[0]
p.dst = focus[0]
p.connect()

### Unit specs
focus.spec.baseline = 0.0
focus.spec.alpha = 7.0

# Show network
fig = Figure()
win, fig = glwindow(size=(800, 600), title="Selective Attention", has_terminal=True, namespace=locals(), fig=fig, ure=fig, fps=25)
fig.network(net, style='flat', show_colorbar=False, show_label=False)
win.show()
```

Calculs synchrones / Calculs asynchrones (avec ou sans remise)

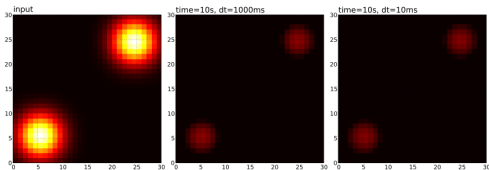


Figure 1. Symetric input, synchronous evaluation

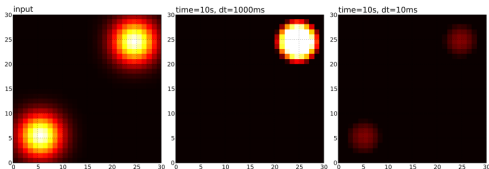


Figure 2. Symetric input, uniform asynchronous evaluation

Discrétisation d'Euler : $\forall i \in [1..n], \Delta x_i(t) = \Delta t \cdot f_i(x_j, j \in [1..n])$
Conjecture : $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \text{asynchrone} \sim \text{synchrone}$ [Rougier, Hutt 2008]