

M2 – MODULE P1

PERCEPTION VISUELLE

Responsables : **Andrei Gorea** et **Kevin O'Regan**

But général : Présenter l'étude de la perception visuelle par les approches de la psychophysique, des neurosciences et de la modélisation

(en gras: coordinateurs)

Dynamique des Réseaux Sensoriels (neuro) – 13h

Yves Frégnac, Frédéric Chavane, Daniel Shulz & Guy Orban

Neurogéométrie : Modèles des Architectures Fonctionnelles du Système Visuel – 10h (Pré-requis : **Bonnes bases d'algèbre et de calcul différentiel et intégral**)

Jean Petitot

Psychophysique Visuelle (psycho) – 14h

Andrei Gorea, Pascal Mamassian (et Christopher Tyler)

Psychophysiologie de la Vision (psycho-neuro) – 10h

Jean Lorenceau

Dynamique des Réseaux Sensoriels (neuro)

Yves Frégnac, Frédéric Chavane, Daniel Shulz & Guy Orban

Mécanismes cellulaires corticaux impliqués dans la perception des formes et du mouvement, et sa plasticité

- ❖ **Architecture et dynamique fonctionnelle des réseaux corticaux sensoriels**
 - enregistrement intracellulaire
 - imagerie optique
 - imagerie par résonance magnétique fonctionnelle
- ❖ **Le cortex visuel primaire**
- ❖ **Représentations extrastriées du codage du mouvement (éléments)**
- ❖ **Aspects dynamiques depuis la milliseconde à plusieurs semaines**
 - codage, apprentissage, épigénèse

Neurogéométrie : Modèles des Architectures Fonctionnelles du Système Visuel (maths)

Jean Petitot

Algorithmes de structuration géométrique du signal optique par le système visuel de bas niveau

- ❖ **Profils des champs récepteurs**
 - fonctions de transfert, filtres/convolution
 - algorithme de type ondelettes
- ❖ **Modèle géométrique de l'intégration des contours**
 - champs d'association
- ❖ **Analyse géométrique et morphologique multi-échelle des images**
- ❖ **Modèles de la vision entoptique et les hallucinations géométriques**
 - bifurcations de la dynamique d'un réseau de neurones formels possédant l'architecture fonctionnelle de V1

Psychophysique Visuelle (psycho)

Andrei Gorea, Pascal Mamassian (& Christopher Tyler)

Approche psychophysique de la vision de « bas », « moyen » et « haut niveau »

- ❖ **Saillance, attention et perception des textures**
 - interprétation 'cognitive' vs. modélisation du traitement de bas niveau
 - filtres visuels et Théorie de la Détection du Signal
- ❖ **Vision 3D et modélisation Bayésienne**
- ❖ **Conscience perceptive**
 - corrélats neuronaux et psychophysiques
- ❖ **Perception et Arts:**
 - esthétique, psychophysique et théories neuronales

Psychophysiology de la Vision (psycho-neuro)

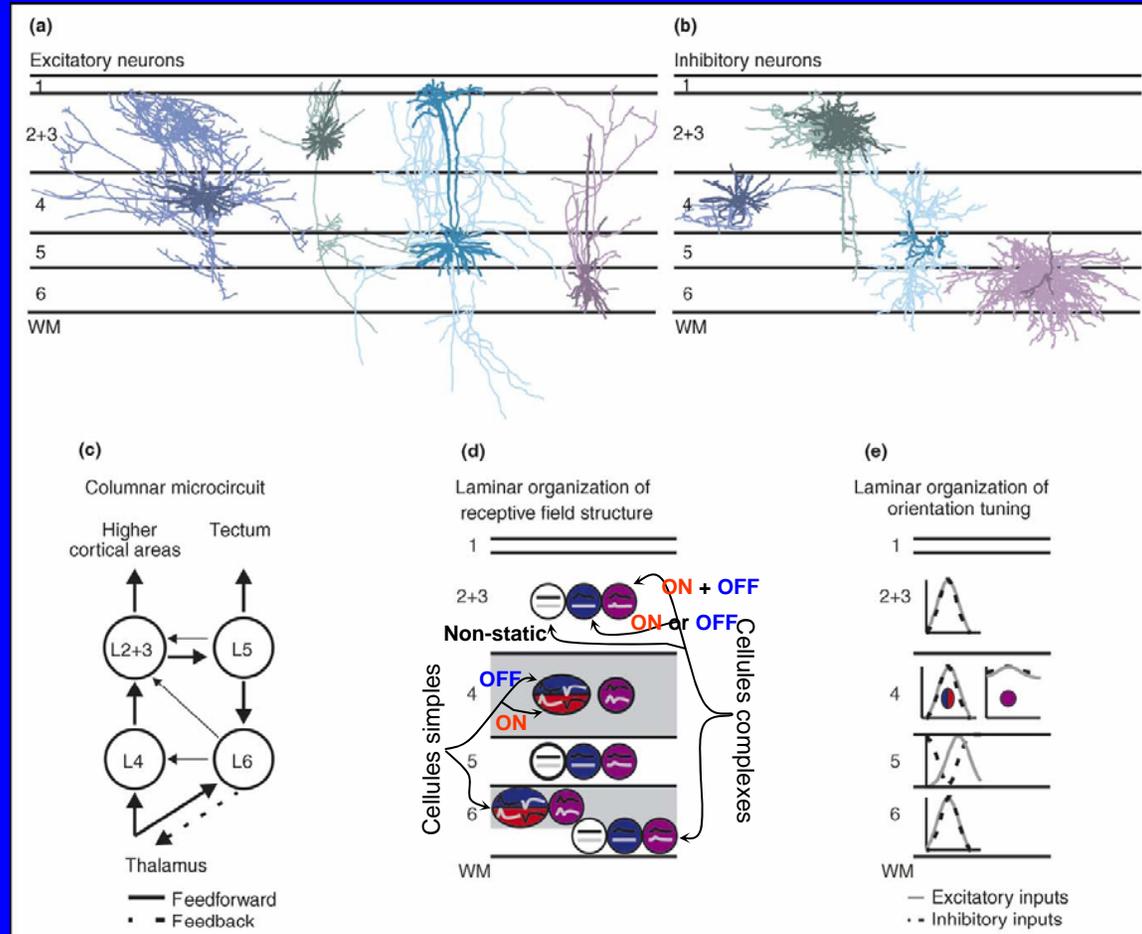
Jean Lorenceau

Exploration des (co)relations entre psychologie expérimentale de la vision et neurophysiologie

- ❖ **Voir, apercevoir, percevoir : approche phénoménologique et méthodologique**
 - psychophysique, anatomie-physiologie
- ❖ **Les grands systèmes de la vision**
 - Diurne/nocturne, magno/parvo, dorsal/ventral, fovéa/périphérie
- ❖ **Architecture fonctionnelle du cerveau visuel**
 - sélectivité, bande passante, module et connectivité; spécialisations fonctionnelles des aires dorsales et ventrales (psychophysique, modélisation, anatomie-physiologie)
- ❖ **De la perception à l'activité neuronale (et réciproquement)**
 - Approches pluridisciplinaires
- ❖ **Liage perceptif : la perception des formes et du mouvement**
 - psychophysique, électrophysiologie, imagerie cérébrale, modélisation
 - perception-action (oculomotricité)

Caractéristique anatomo-fonctionnelles des couches corticales

- (a) Reconstructions of *excitatory* (spiny) cells and (b) *inhibitory* intracellularly labeled cells in primary visual cortex of the cat. Cells in the different layers are different colors; dendrites are darker than axons.
- (c) Schematic diagram of the flow of information through the cortical column. The main route from the thalamus through each cortical layer is traced with a thick line, weaker projections are shown as thin lines and corticothalamic feedback is drawn with a dashed line.
- (d) Distribution of simple and complex cells through the cortical depth, gray bands chart input from the primary layers of the lateral geniculate nucleus. Simple receptive fields are indicated by the ovals filled with red (for On) and blue (for Off) subregions. Complex cells are drawn as circles that are shaded purple (to denote spatially overlapping On and Off responses) or blue (to indicate cells that strongly or exclusively prefer one stimulus contrast) or that are unfilled (to indicate a lack of response to simple static patterns). Stylized time-courses of responses to bright and dark flashed stimuli are superimposed on the symbols for the receptive fields.
- (e) Laminar distribution of orientation tuning. Each inset shows representative tuning curves for excitatory (solid line) and inhibitory (dashed line) inputs. In layer 4, excitatory and inhibitory inputs to simple cells are tuned and share the same orientation preference, whereas both types of input to complex cells are untuned. Excitatory and inhibitory inputs to complex cells in layers 2 + 3 also share the same orientation preference, but in layer 5 the tuning curves for the two types of inputs diverge and can be orthogonal.



La Neurogéométrie

- Elle consiste en l'implémentation neuronale des structures géométriques de la perception visuelle
- Un grand nombre de structures mathématiques ont été proposées pour expliquer la vision "précoce" des scènes naturelles
- Le cours sera focalisé sur
 - les **champs récepteurs** des neurones (V1) et sur l'analyse par ondelettes
 - La **géométrie différentielle** et la **neurogéométrie** de l'aire V1

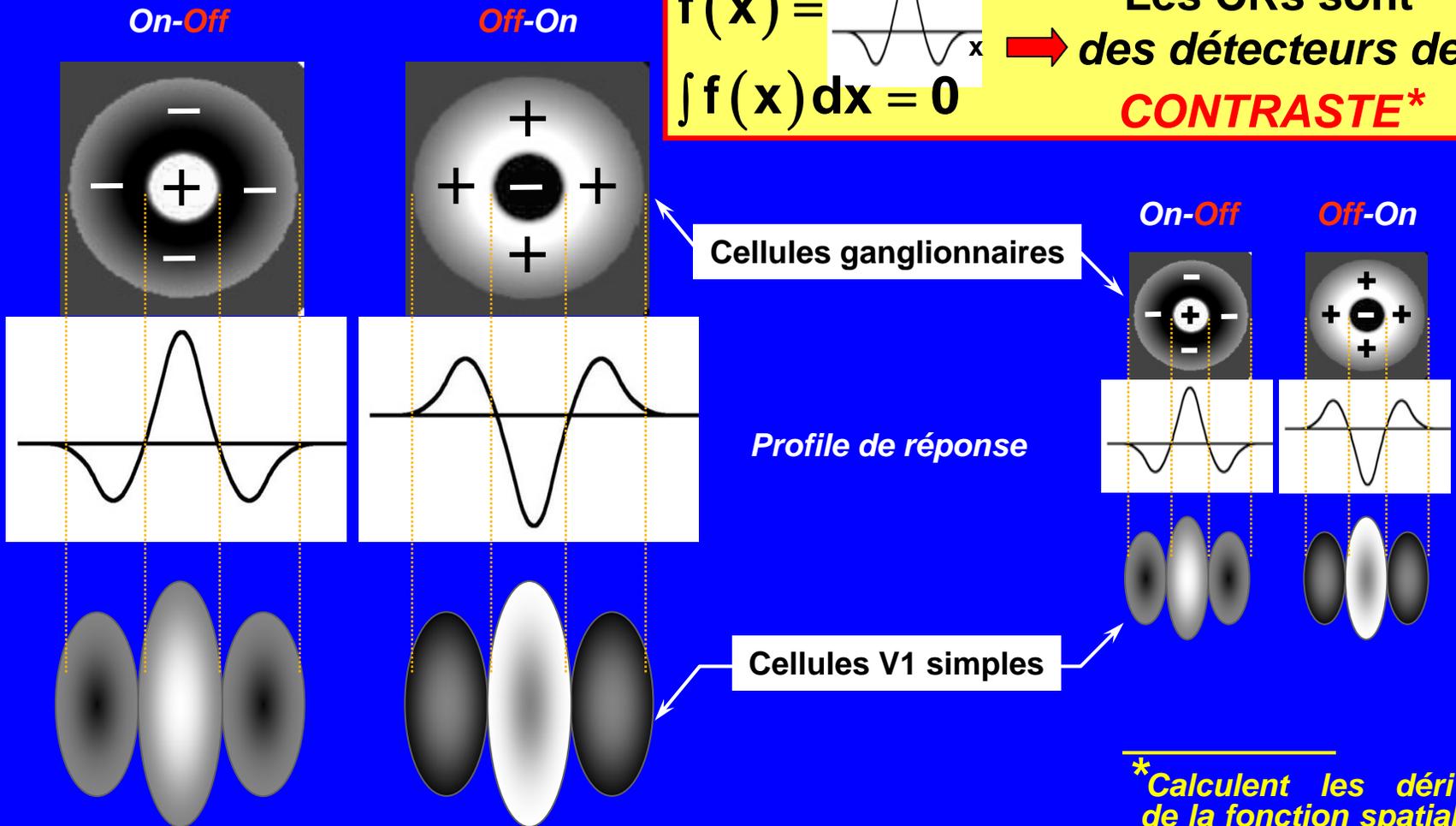
Special issue of *Journal of Physiology-Paris* (Y. Frégnac ed.),
"Neurogeometry of Visual Perception" (J. Petitot, J. Lorenceau eds,
2003).

Le Champ Récepteur (CR)

[opérateurs « pairs », i.e. en $\cos(x)$]

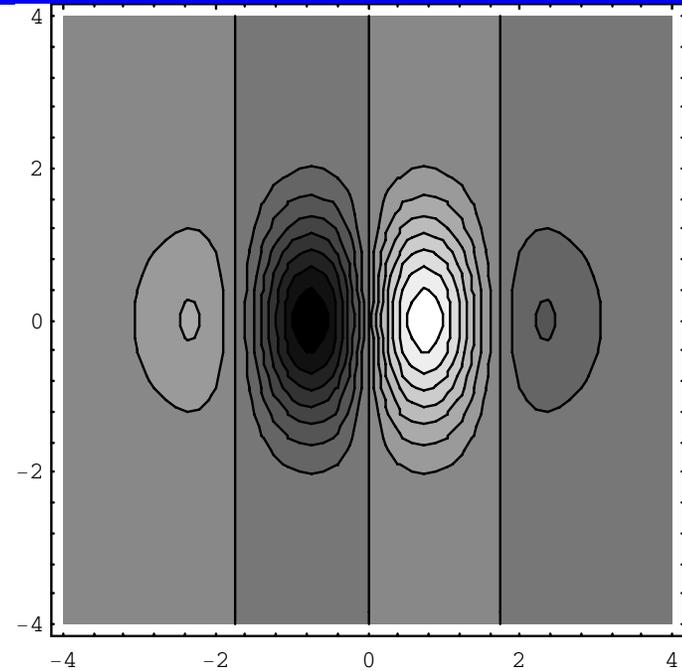
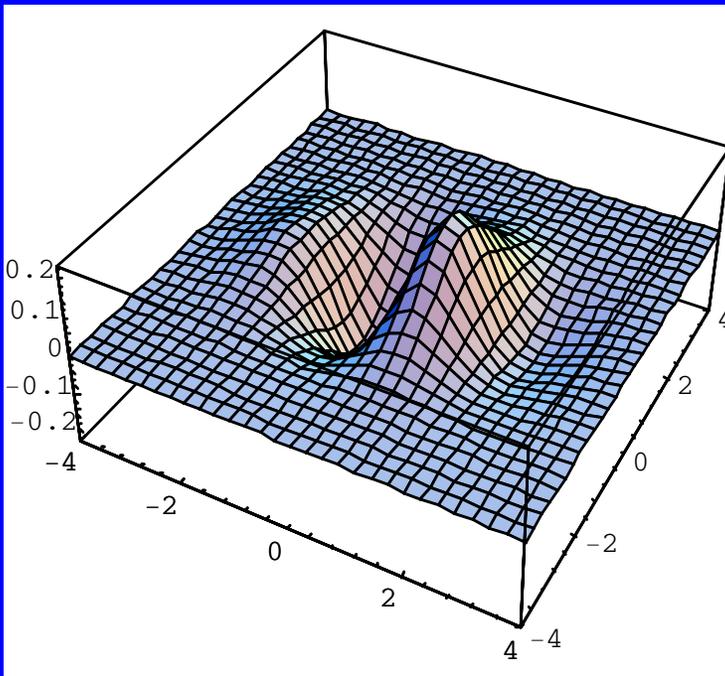
$$f(x) = \int f(x) dx = 0$$

Les CRs sont
des détecteurs de
CONTRASTE*



*Calculent les dérivées de la fonction spatiale de la luminance.

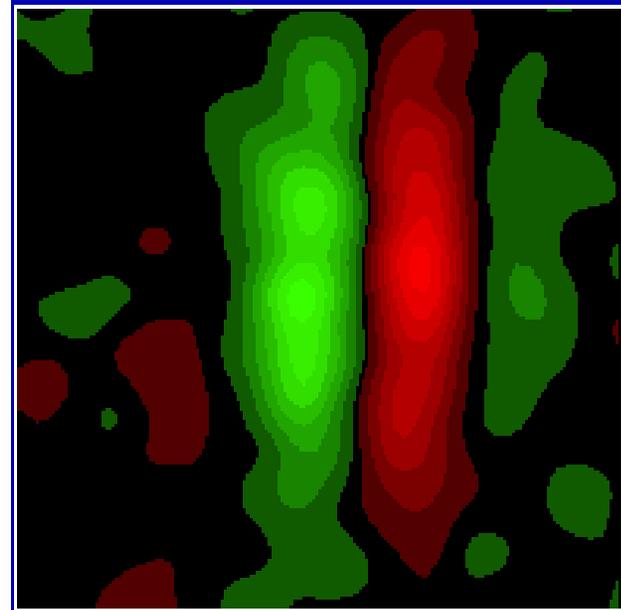
[opérateurs « impairs », i.e. en [sin(x)]]



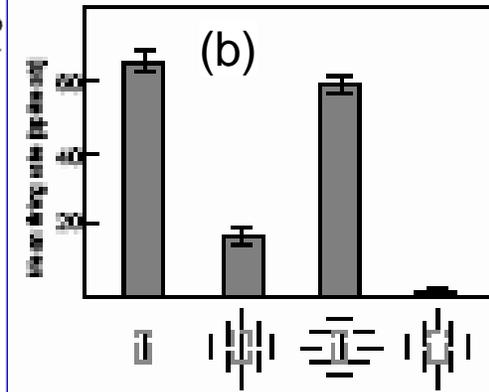
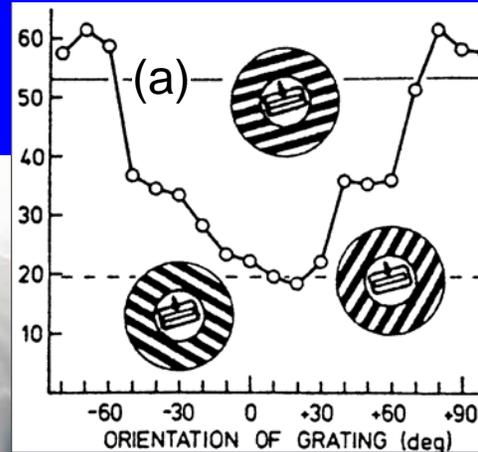
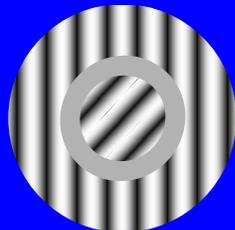
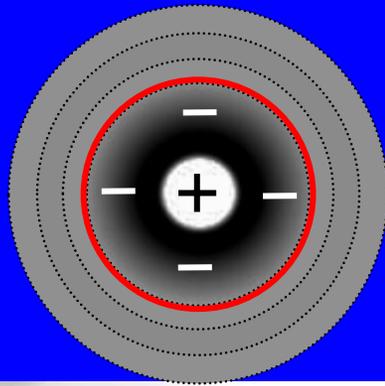
- Le profil du CR, $\varphi(x-x_0, y-y_0)$, opère la convolution du signal $I(x, y)$:

$$I_{\varphi}(x, y) = \int_D I(x', y') \varphi(x' - x, y' - y) dx' dy' = (I * \varphi)(x, y)$$

- Il est la partie linéaire de la *fonction de transfert*.
- Les cellules simples de V1 détectent préférentiellement une orientation donnée (statique ou dynamique).
- Elles mesurent, à une échelle donnée, des paires (a, p) d'une position spatiale (retinienne) a et d'une orientation locale p en a .
- En géométrie différentielle, les paires (a, p) sont appelées des *éléments de contact*.



Le Champ Récepteur non Classique (étendu)

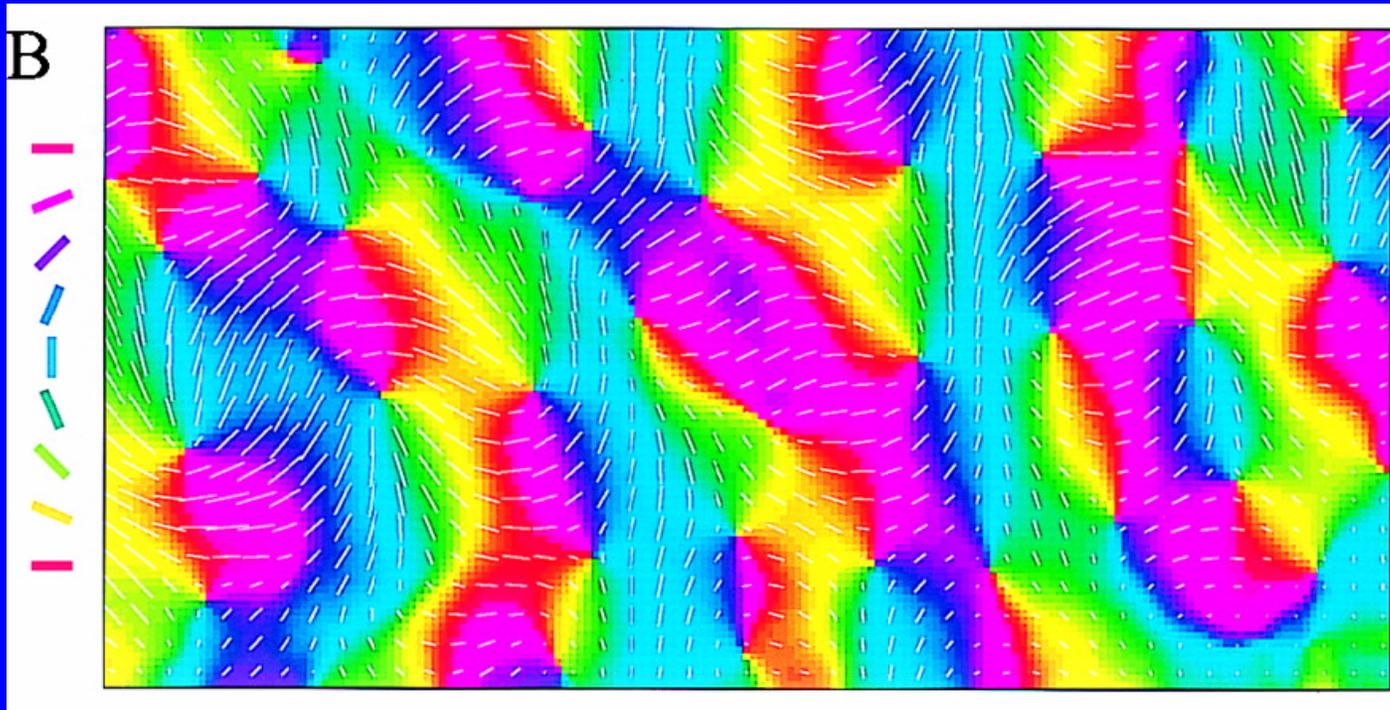


(a) Response of a neuron to a stimulus composed of a single bar of optimal orientation in the CRF (central circle) and a grating of varying orientation outside the CRF [1]. The inhibition by the surrounding grating is strongest when its orientation coincides with the orientation of the optimal stimulus. (b) Responses of a visual neuron to various stimuli (from left to right): a single bar of optimal size and orientation inside the CRF (delineated by a dotted rectangle), an optimal bar stimulus in the CRF surrounded by other bars of the same orientation outside the CRF, an optimal bar in the CRF surrounded by bars of orthogonal orientation, no optimal stimulus in the CRF [2].

[1] Blakemore & Tobin (1972). *Exp. Brain Res.*, 15, 439–440.

[2] Nothdurft, Gallant & van Essen (1999). *Vis. Neurosci.*, 16, 15–34.

Pinwheels: Organisation des CRs

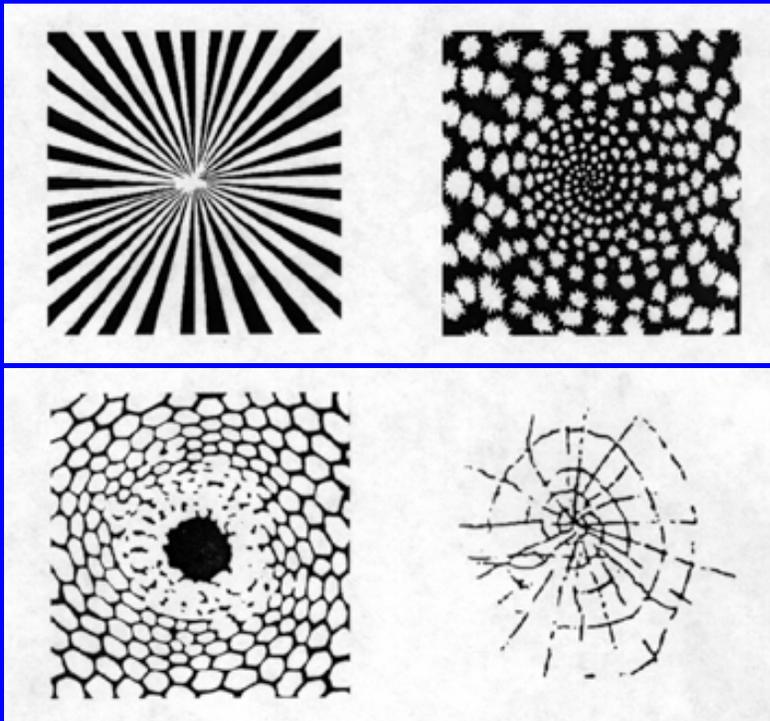


- Les *hypercolonnes* sont des structures géométriques qui associent à chaque position rétinienne a de la rétine R un exemplaire complet P_a de l'espace P des orientations p en a .
- Cette architecture fonctionnelle est le support de la *fibration* $\pi : R \times P \rightarrow R$ avec *base* R , *fibre* P , et *espace total* $V = R \times P$
- Les hypercolonnes sont organisées géométriquement en *pinwheels* [roue à picots]
 - La couche corticale consiste en une réticulation de *points singuliers* qui sont les centres des pinwheels.
 - Localement, autour de ces points singuliers, chaque orientation est représentée par un rayon de la "roue"
 - et l'ensemble de ces roues forme une structure globale unitaire.

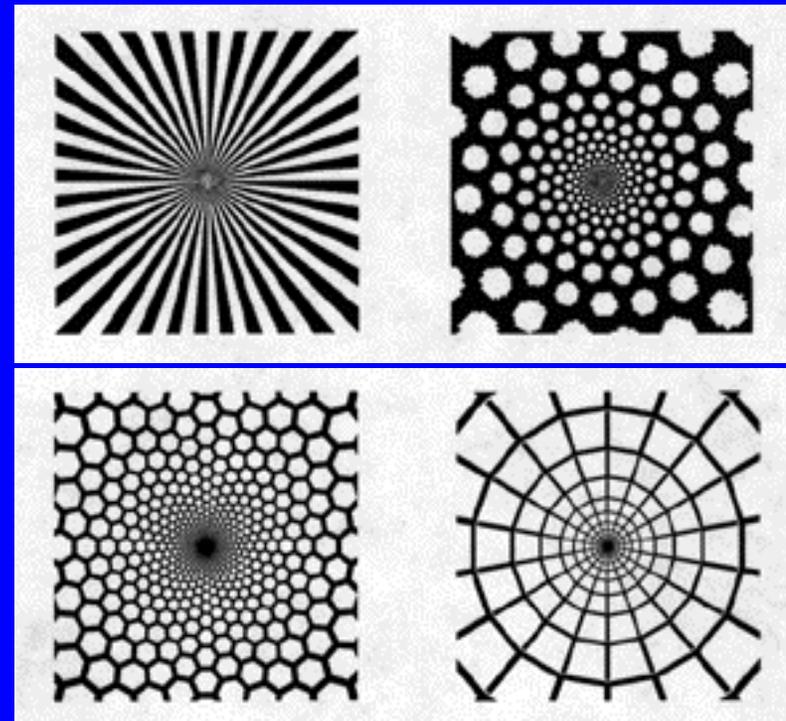
Application de la *neurogéométrie* à la perception des formes visuelles géométrique spontanées

- La géométrie de l'architecture fonctionnelle de V1 est une structure riche contraignant la physique de l'activité neuronale et la dynamique de propagation des ondes
- Une belle application de cette approche concerne la *vision entoptique* (images n'ayant pas de cause externe au cerveau).

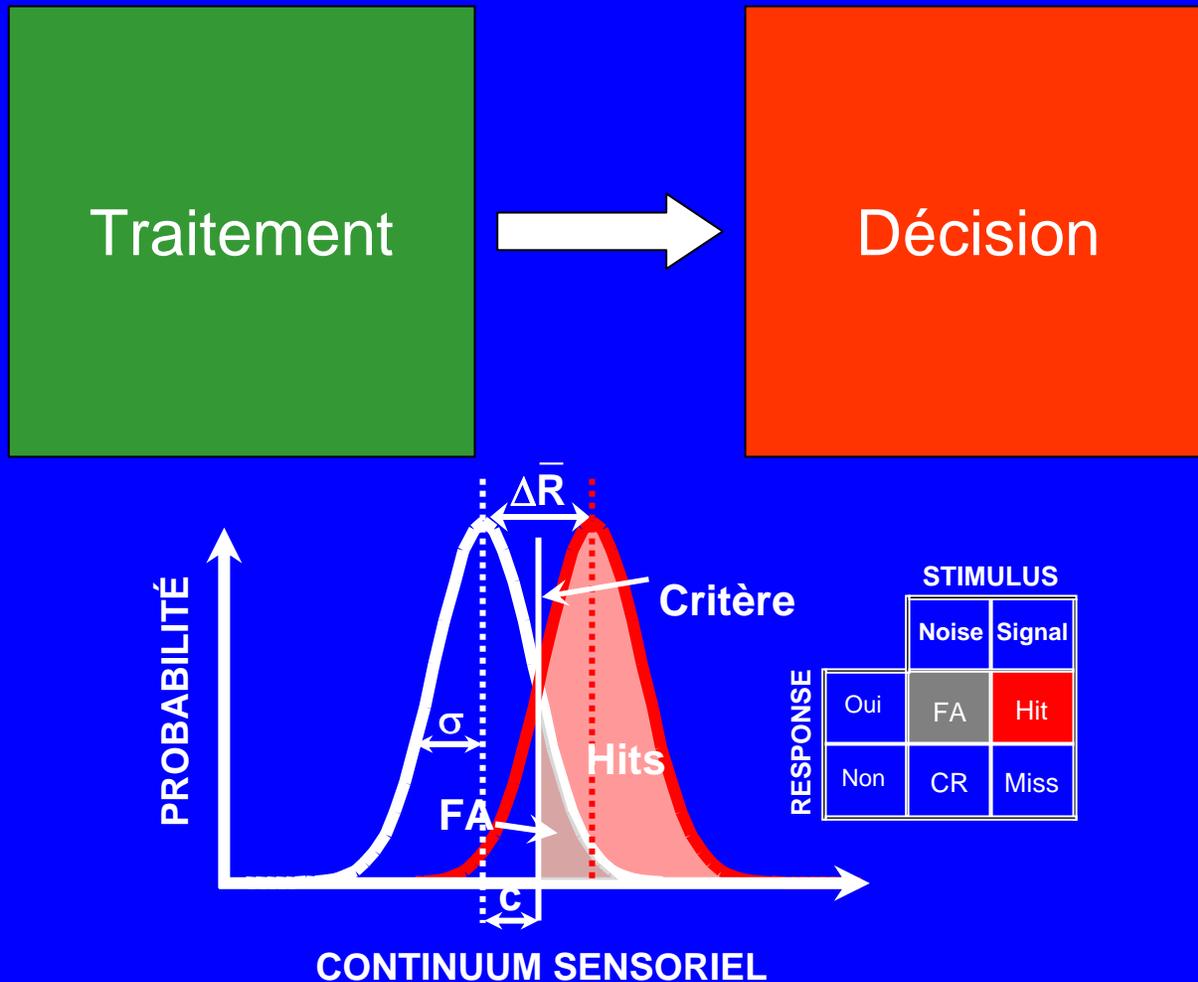
Hallucinations visuelles



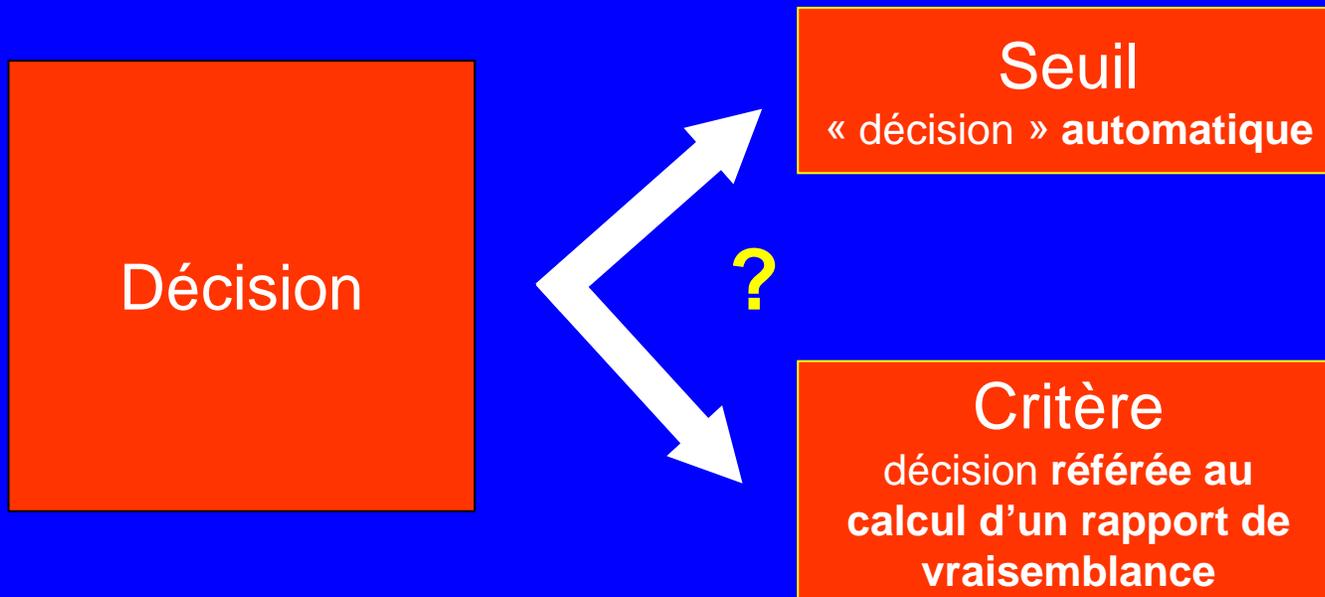
Leur modélisation neurogéométrique



Modélisation : « Block-diagram » de l'approche psychophysique



Un débat non résolu de la psychophysique



L'approche psychophysique : Paradigmes et Mesures

DIMENSIONS, STIMULI, PROBLEMATIQUES



PARADIGMES (Psycho-Anatomie)



TECHNIQUES DE MESURE



TÂCHES ET PERFORMANCES

- ATTRIBUT / DIMENSION (Couleur, Forme, Mouvement, Disparité binoculaire...)
- STIMULUS (Flashes, Barres, Gabors, Textures, Images naturelles...)
- PROBLEMATIQUE (Segmentation/Fusion – sommation d'attributs, liage – Modularité/Interaction des traitements...)

- ADAPTATION SELECTIVE
- MASQUAGE
- AMORÇAGE
- INTERACTIONS BINOCULAIRES
- MANIPULATION ATTENTIONNELLE

- SUBJECTIVES (Ajustement, Méthode des limites, Appariement/Nulling, Scaling...)
- OBJECTIVES (Choix multiple, Oui/Non combinés avec Stimuli constants, Escalier psychophysique...)

- TÂCHES (Détection, Discrimination, Reconnaissance, Egalisation, Similarité, Pointage...)
- PERFORMANCES (% Réponses Correctes – Hits, FA... –, Fonction Psychométrique, «Seuil», Point d'Egalisation Subjective, Temps de Réponse, Trajectoires...)

Visual search

Trouver un couvre-chef vert parmi tant de rouge et d'orange, c'est facile...



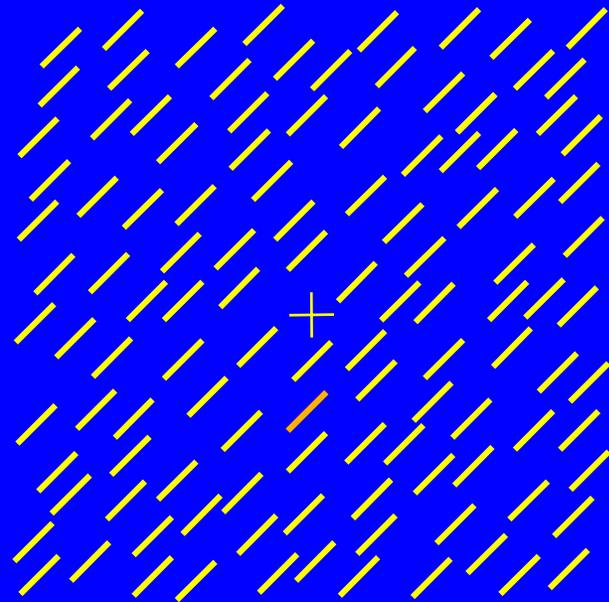
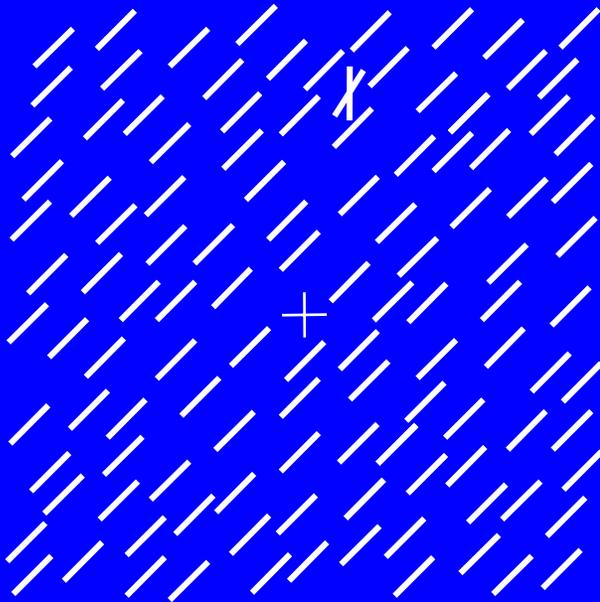
Visual search

Mais des calvities parmi tant de foule, ce l'est bien moins...



Visual search

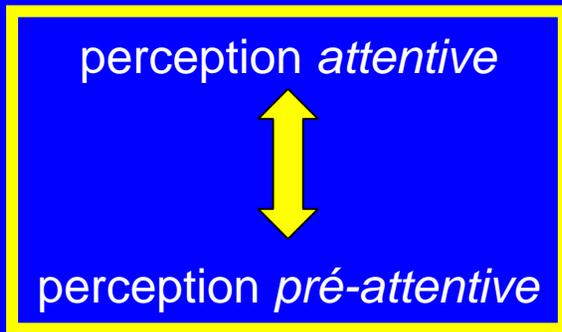
Dans le laboratoire, couvre-chefs et calvities sont remplacés par des orientations, couleurs, etc.



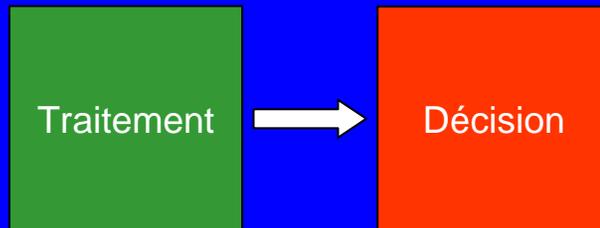
*La perception et la discrimination des *textures* est un domaine de recherche en soi.

Visual search

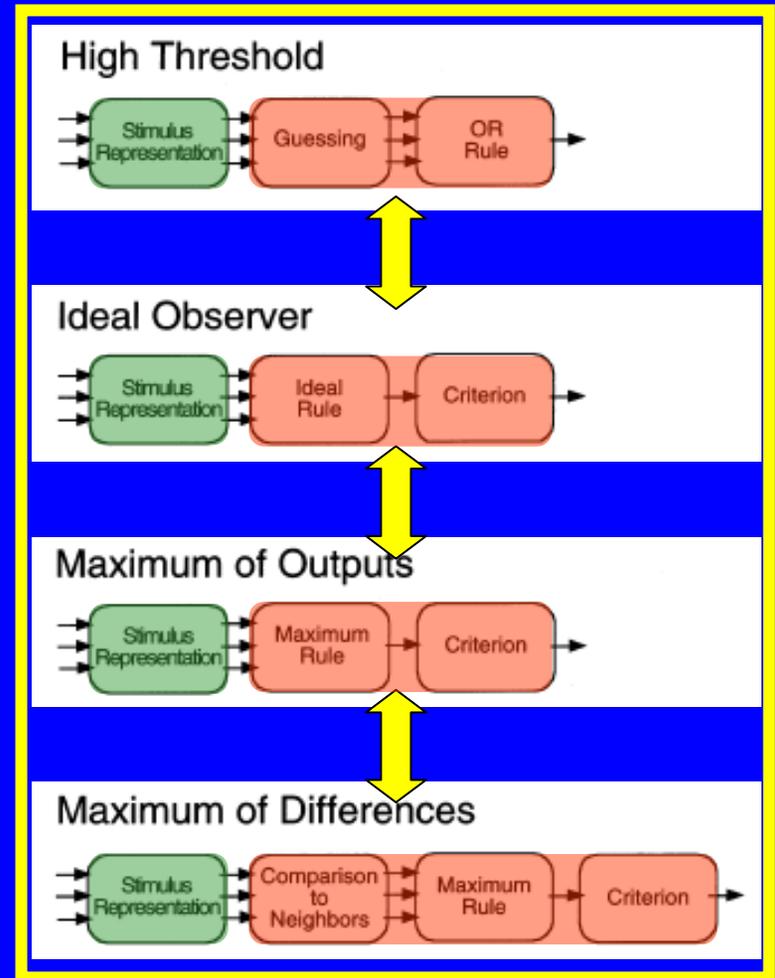
Approche « cognitive » :
attributs + attention
(Feature integration theory)



Tresiman & Gelade (1980). *Cog. Psychol.*, 12, 97-136.



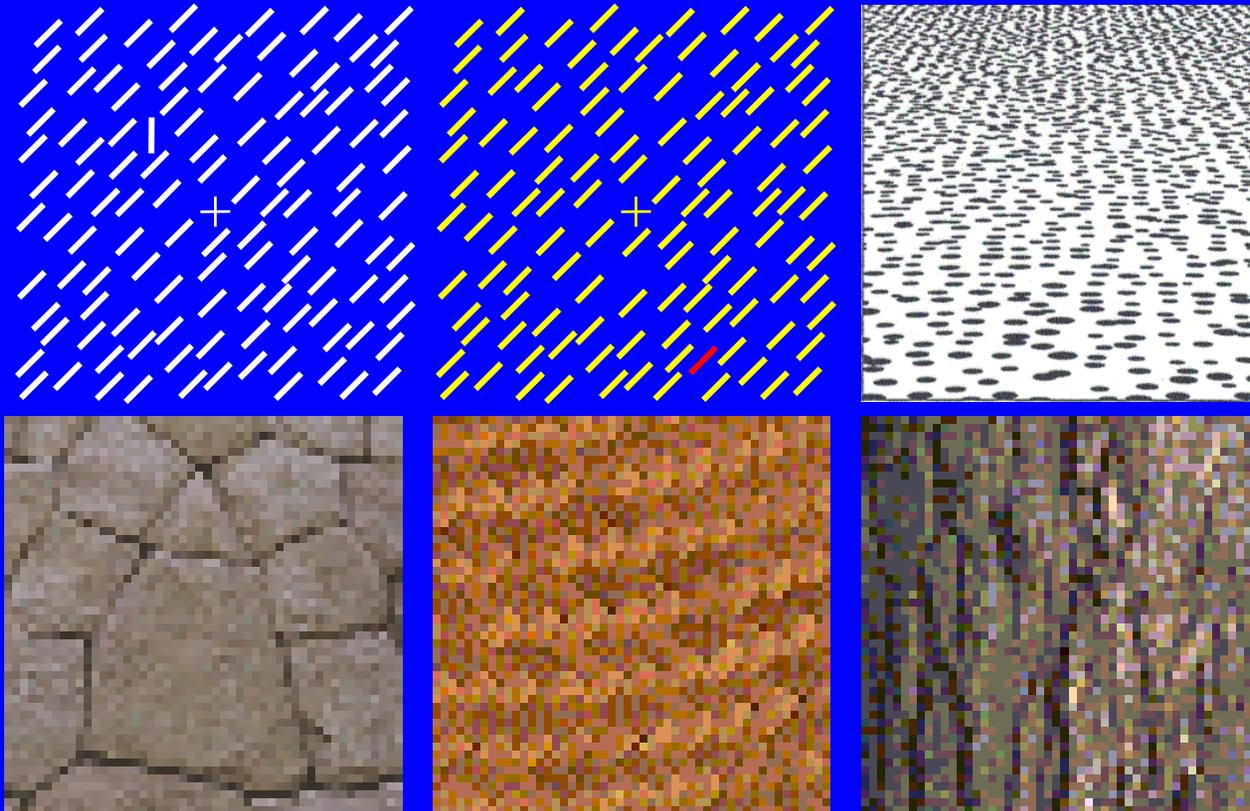
Approche psychophysique *filtrage*
 + *décision*



Palmer, Verghese & Pavel (2000). *Vision Research*, 40, 1227–1268.

Perception des textures

La discrimination d'éléments d'une image d'autres éléments est souvent le « prélude » de leur groupement en *textures**...

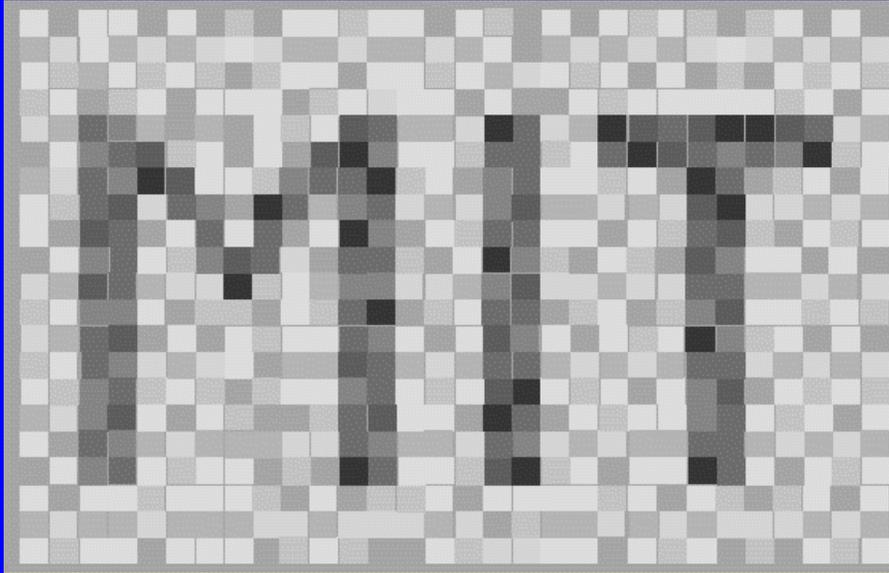


*La perception et la discrimination des *textures* est un domaine de recherche en soi.

Perception des textures

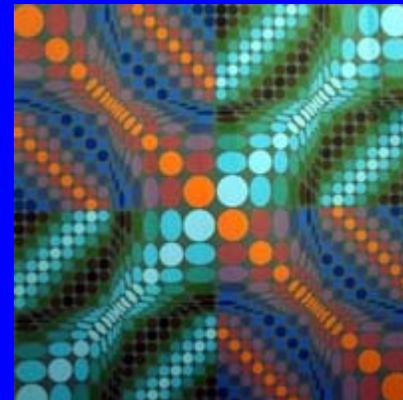
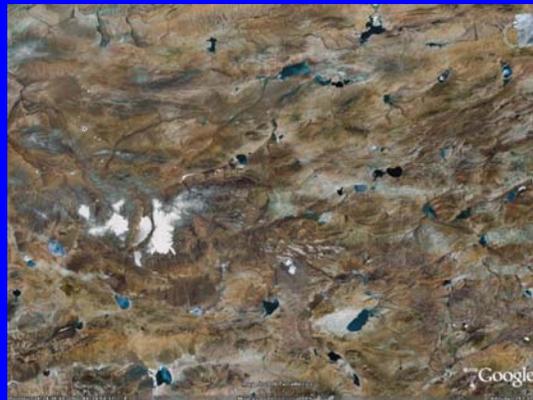
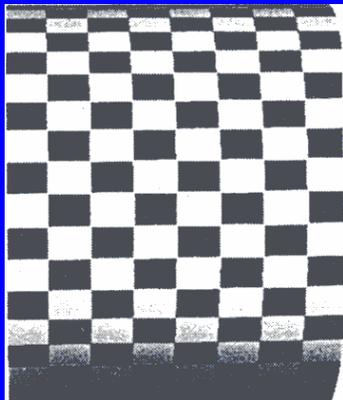
...mais aussi en *formes**

2D



Yvaral, 2001

3D

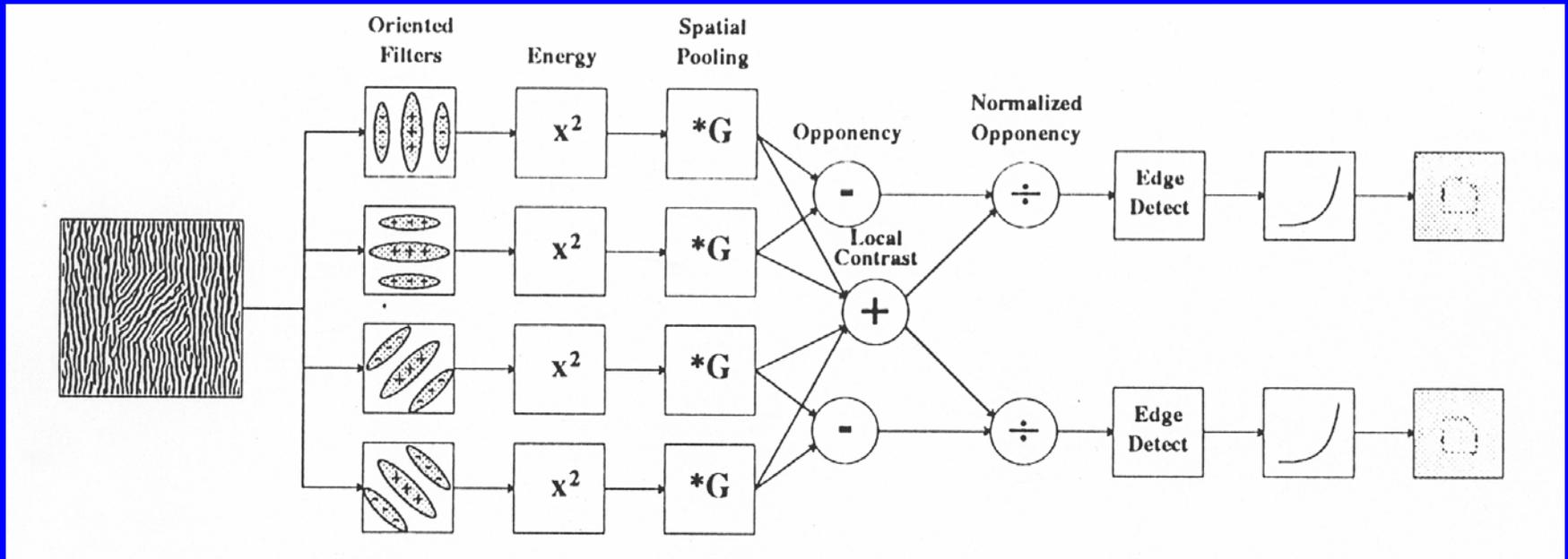


Vasarely, 1979

*Un domaine de recherche qui est loin d'être épuisé..

Perception des textures

« Block diagram » d'un modèle d'analyse des textures



Perception 3D



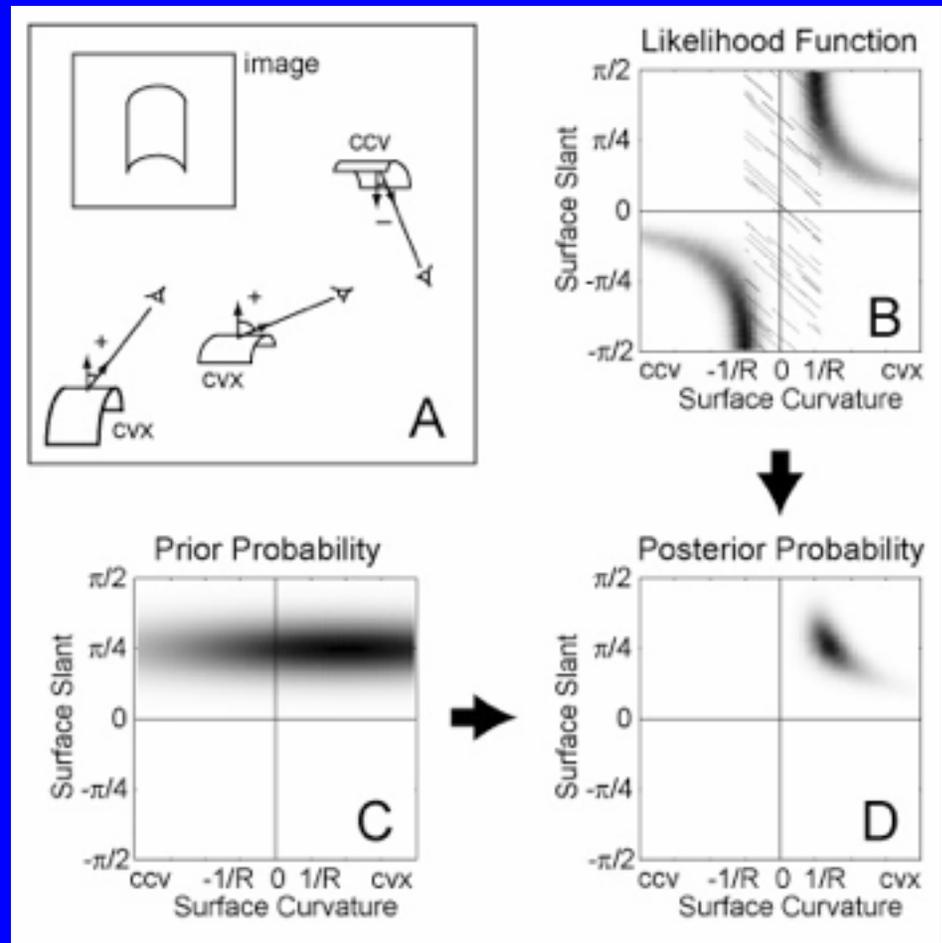
En rapport aux multiples indices utilisés pour percevoir en profondeur,

- dans quelle mesure le système visuel humain est-il capable d'utiliser ces indices ?
- comment ces indices interagissent-ils (quels sont leurs poids respectifs) ?
- existe-t-il une représentation unique de l'espace 3D dans le cerveau ?

Modélisation Bayésienne

Toute image est ambiguë. Un modèle Bayésien repose sur :

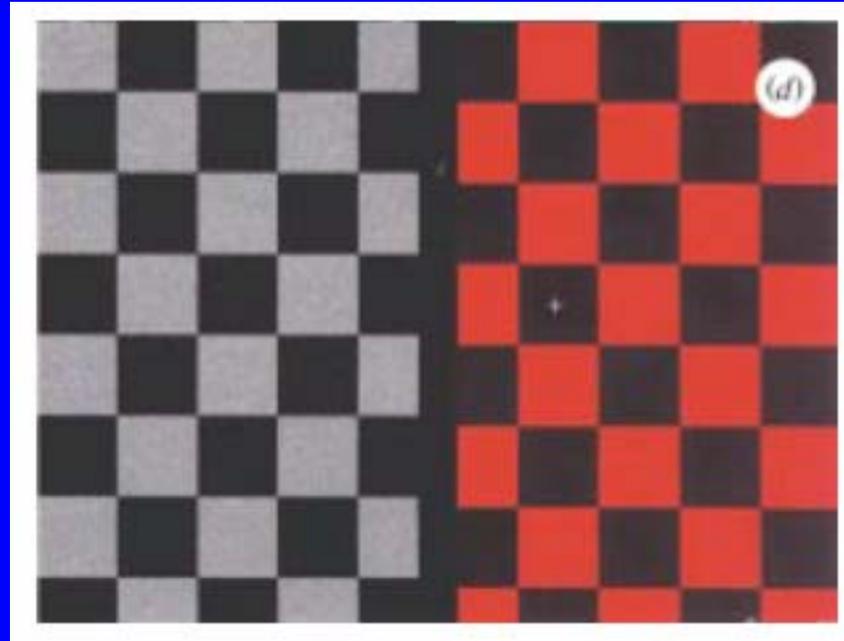
- une fonction de vraisemblance (information dans l'image) ;
- une distribution de probabilités *a priori* (par ex. connaissance de notre monde naturel) ;
- une règle de décision qui s'applique sur une distribution *a posteriori*.



Conscience Perceptive

mouvement

haut / bas



couleur

vert / rouge

- Comment prédire la synchronie perceptive entre attributs visuels ?
- Quelle est la dynamique de la perception bistable ?
- Quels sont les corrélats neuronaux de la conscience perceptive ?

Arts Visuels et Perception



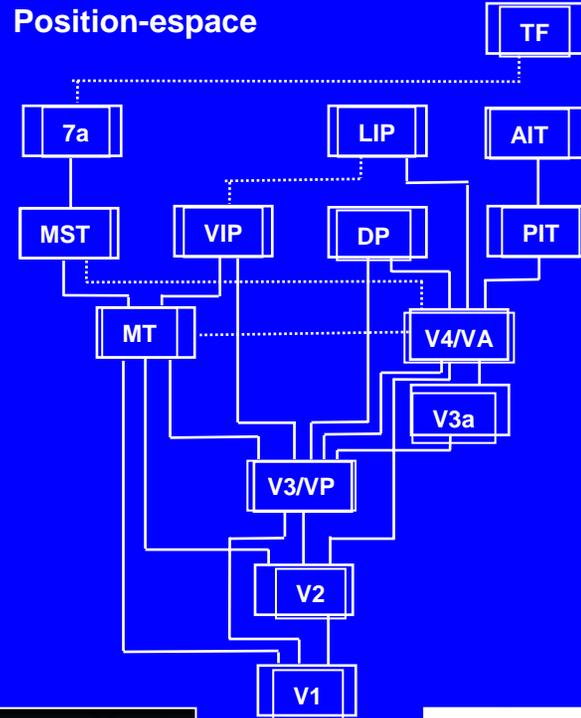
- Quelles sont les conventions utilisées par les artistes ?
- Quelles sont les libertés que se donnent les artistes ?
- Existe-t-il des règles d'esthétisme ?

Perception & Architecture Fonctionnelle des Aires Cérébrales dédiées à la Vision

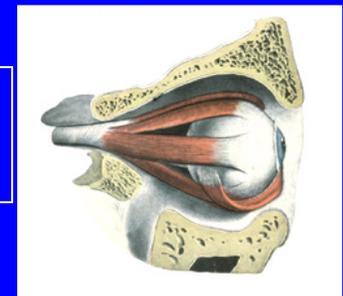
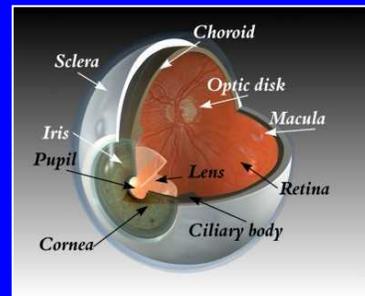


Voie Mouvement
Position-espace

Voie Forme/Couleur

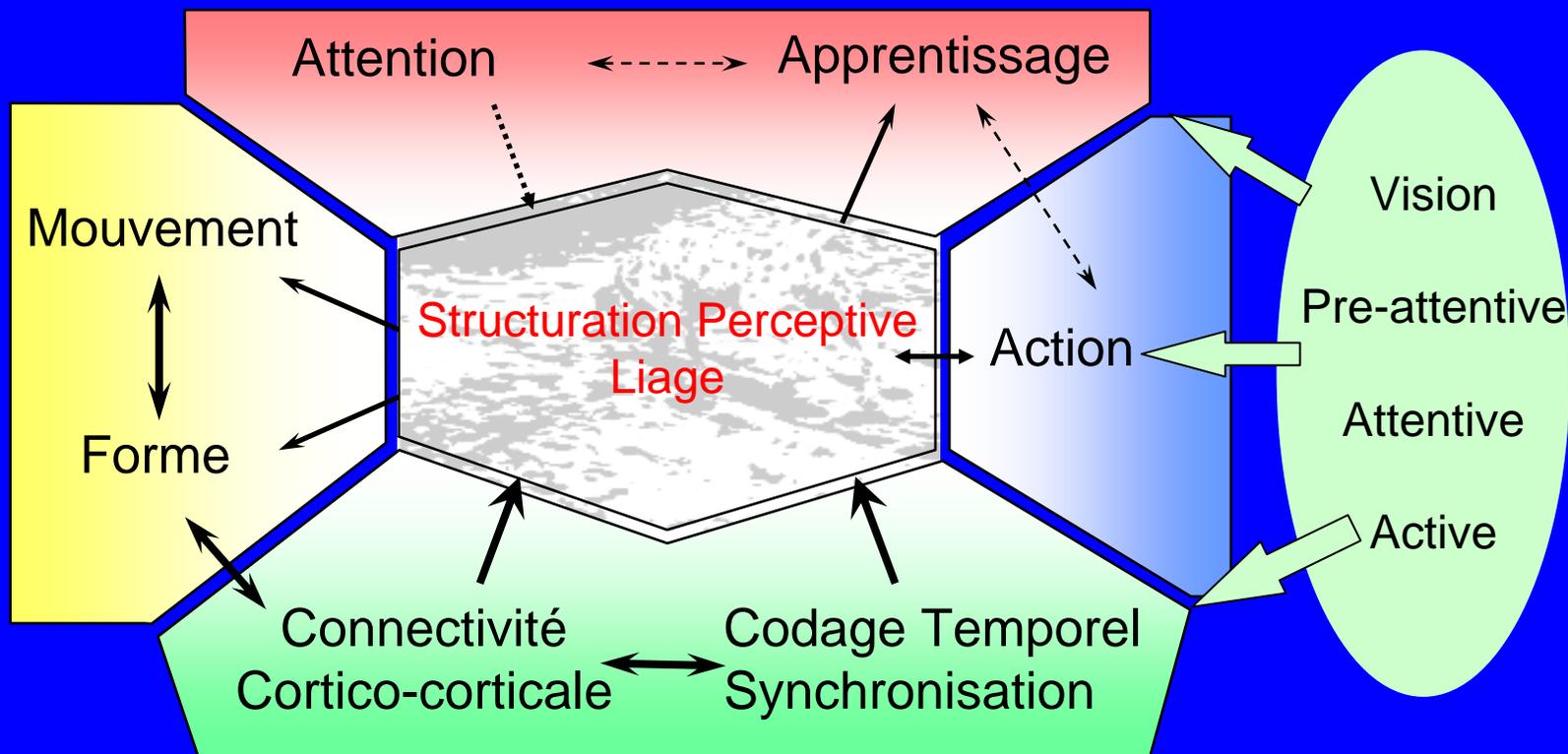


CGL
magno parvo
Rétine

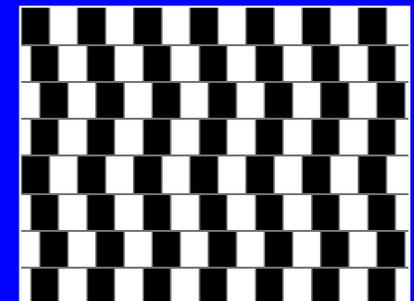
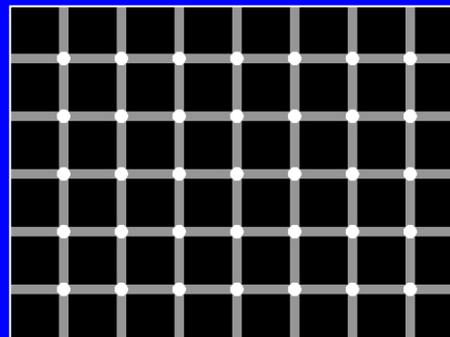
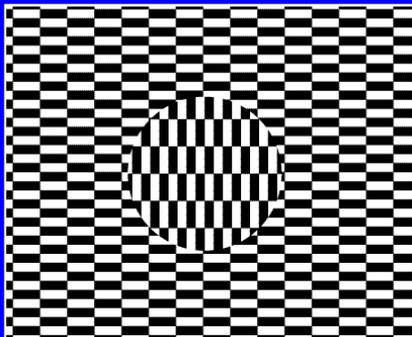
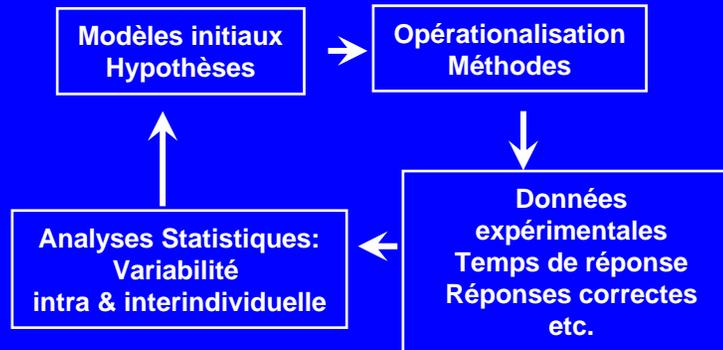
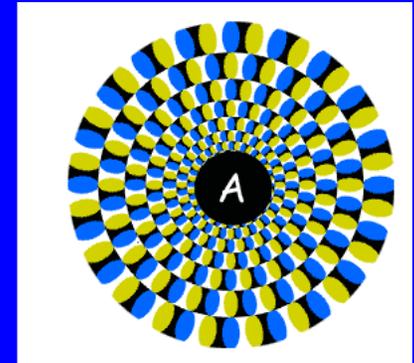
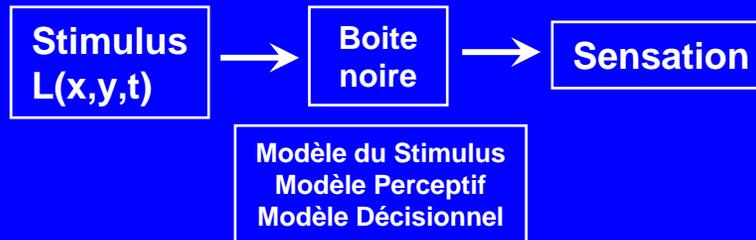


Structuration perceptive

La distribution des traitements visuels dans des « modules » spécialisés pose la question du « liage perceptif » des résultats de ces traitements, de l'influence de divers processus (attention, plasticité, action,..) sur ce liage, et des théories computationnelles qui sont proposées pour en rendre compte.



Voir, apercevoir, percevoir



Les grands systèmes de vision : diurne/nocturne, magno/parvo, fovea/périphérie

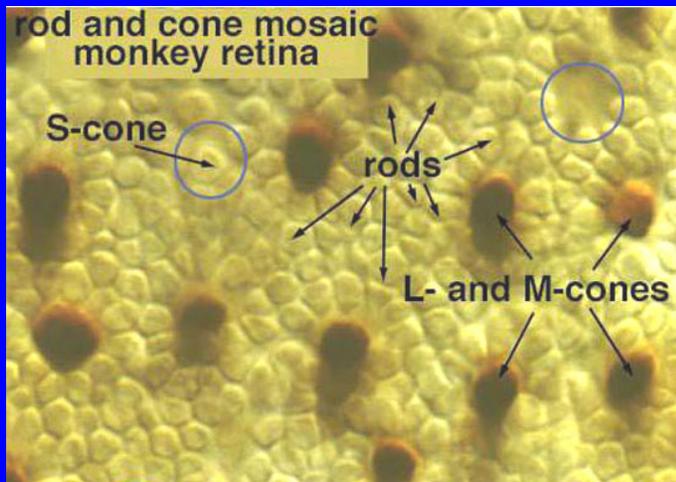


Fig. 1. Light micrograph of the primate photoreceptors. Closely packed, small diameter rods separate the large diameter cones. Unstained cones are blue cones.

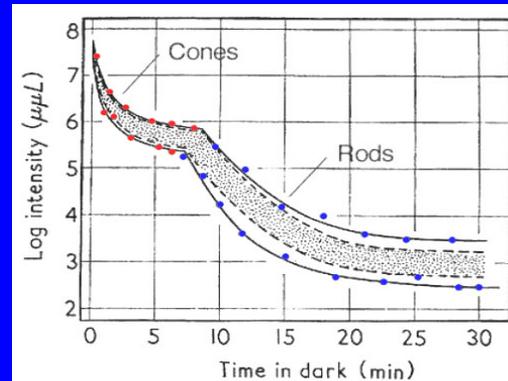
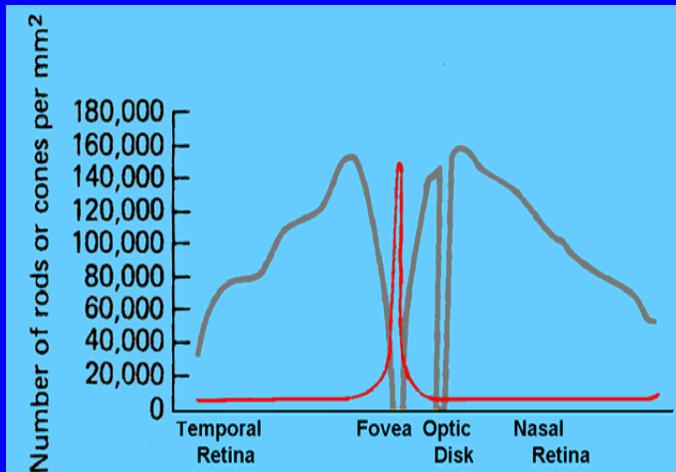
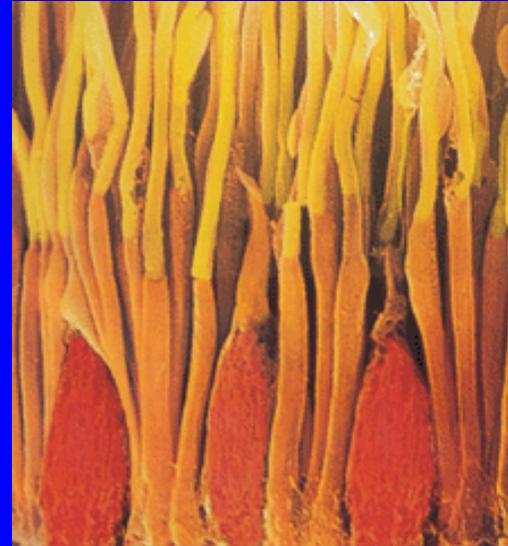
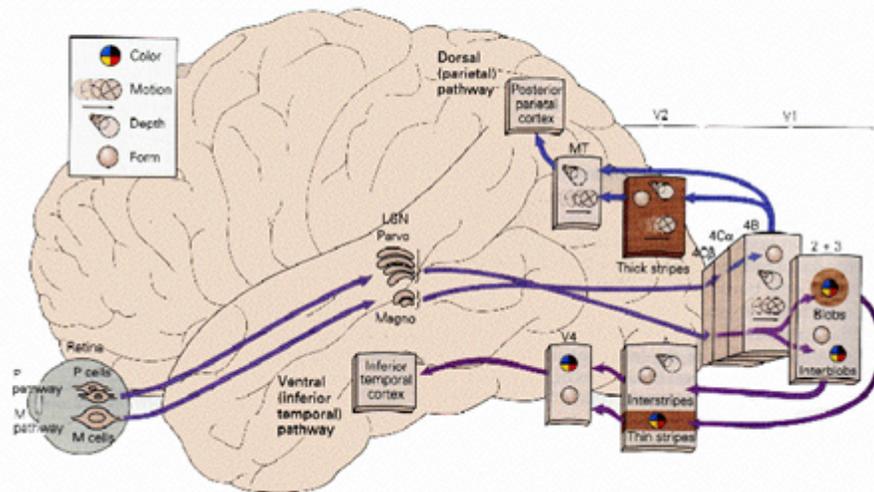


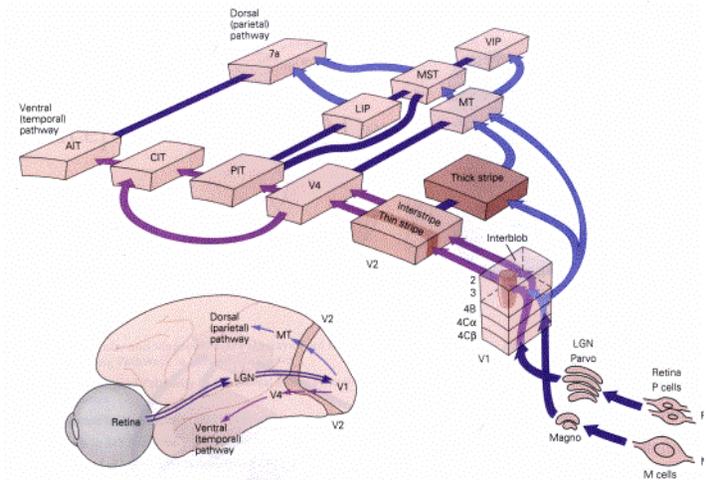
Figure 1. Dark adaptation curve. The shaded area represents 80% of the group of subjects. Hecht and Mandelbaum's data from From Pirenne M. H., *Dark Adaptation and Night Vision*. Chapter 5. In: Davson, H. (ed), *The Eye*, vol 2. London, Academic Press, 1962.

Les grands systèmes de vision : diurne/nocturne, magno/parvo, fovea/périphérie

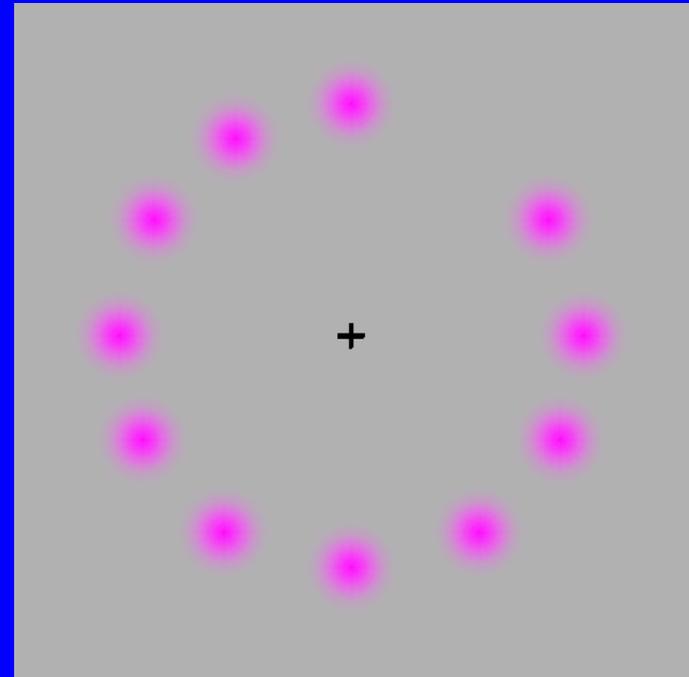
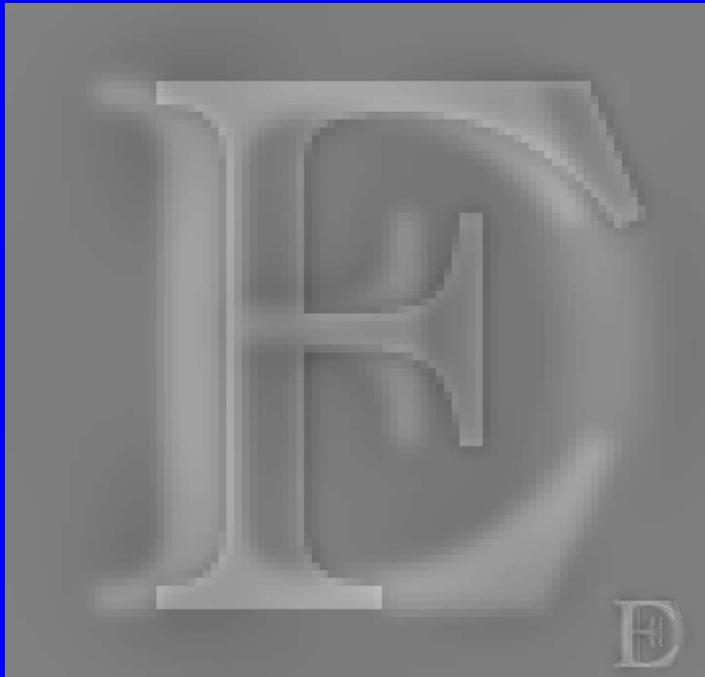
Extra-striate pathways



Dorsal and ventral streams



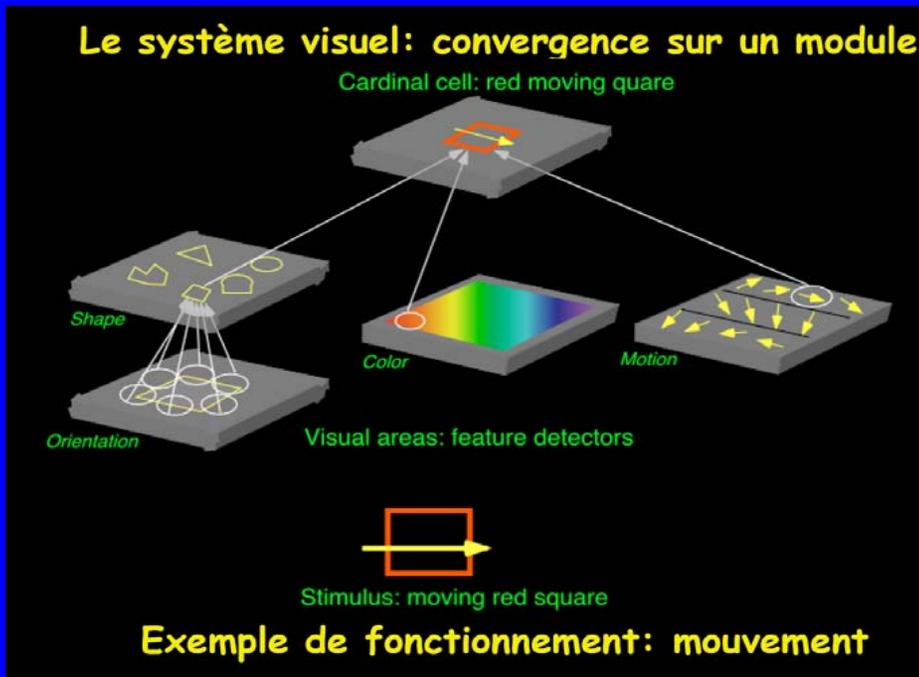
Perception des formes et du mouvement



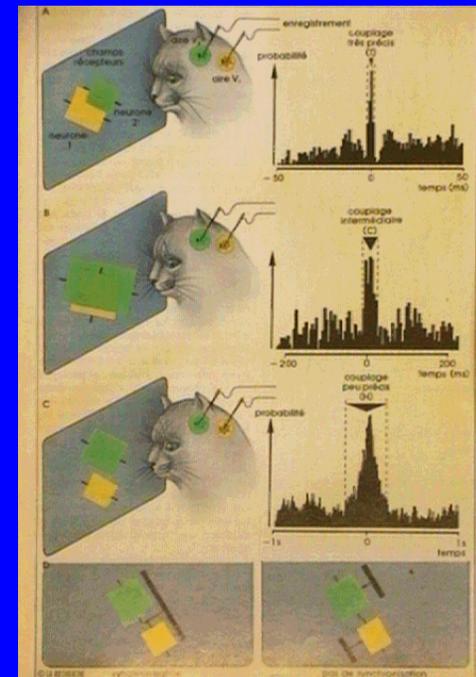
Le liage perceptif

<http://web.mit.edu/persci/demos/Motion&Form/master.html>

La clôture



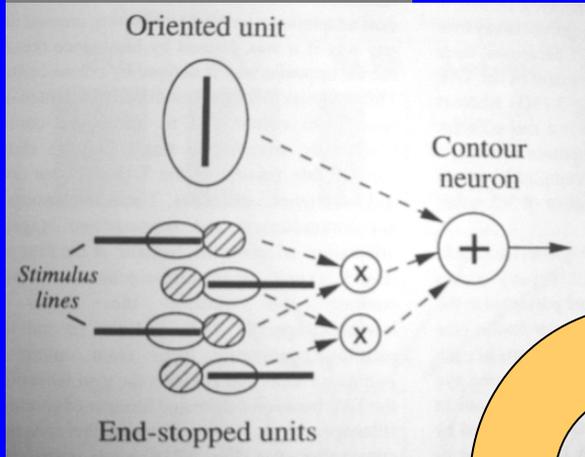
Synchronisation de l'activité électrique (Potentiels d'actions) entre neurones



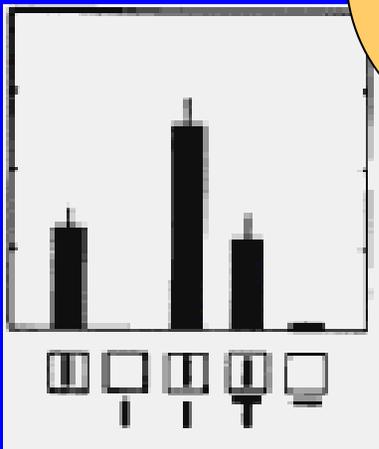
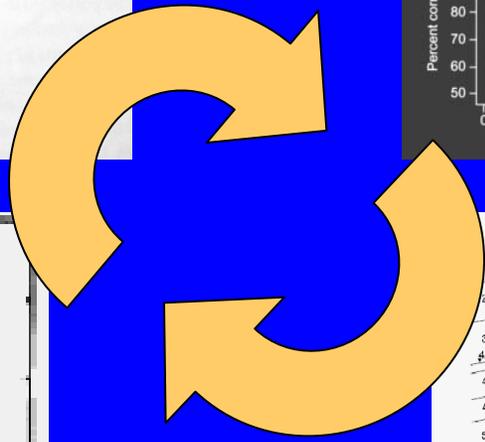
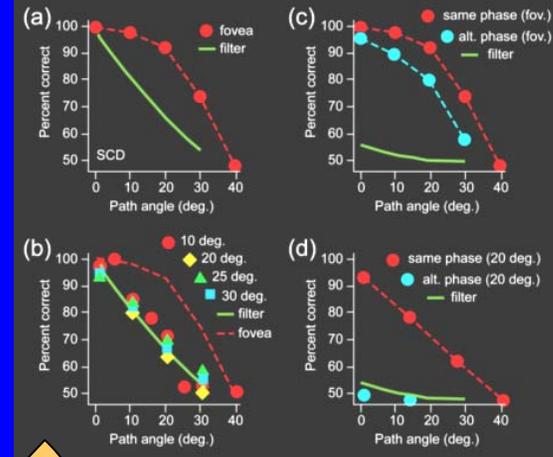
Gray & Singer (1989).

Approches pluridisciplinaires en vision

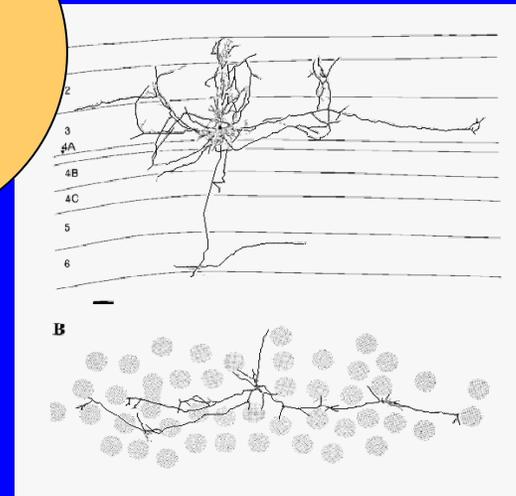
Modelisation



Psychophysique



Physiologie



Anatomie