



Perception illusoire / illusions perceptuelles



Jacques Bourg

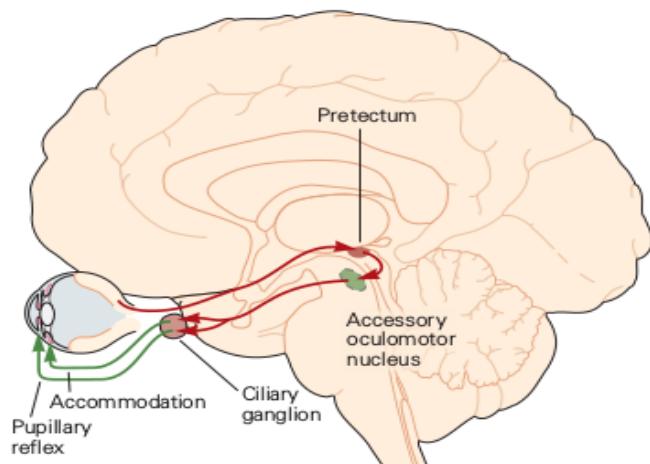
Post-doctorant, laboratoire de dynamique corticale et intégration multisensorielle. CNRS. Gif-sur-Yvette.

4- Le système visuel : anatomie et organisation fonctionnelle

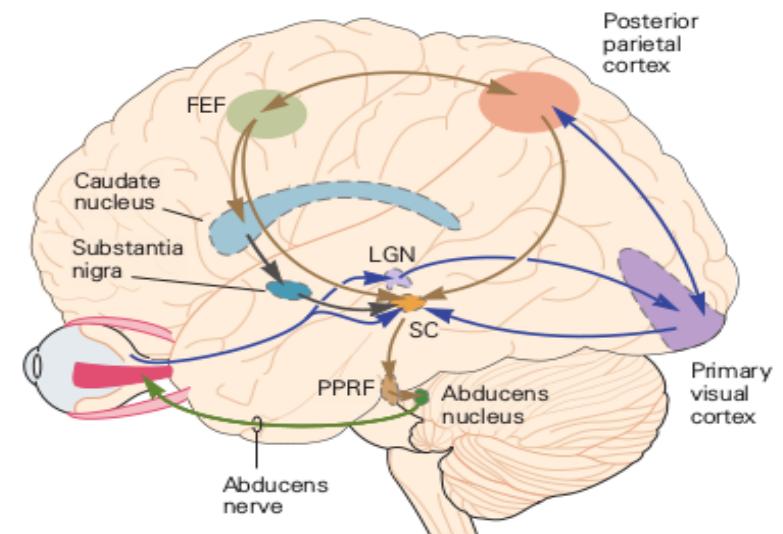
- Théorie des connections ascendantes.
- Théories des connections descendantes.

De la rétine partent trois circuits

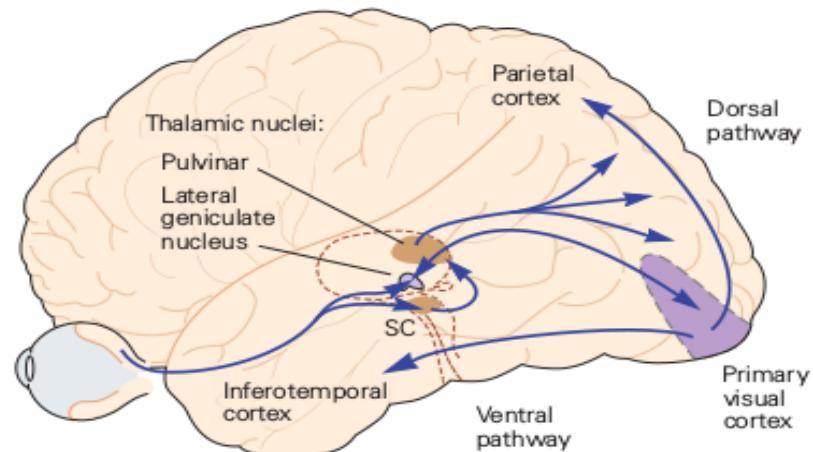
Pupillary reflex and accommodation



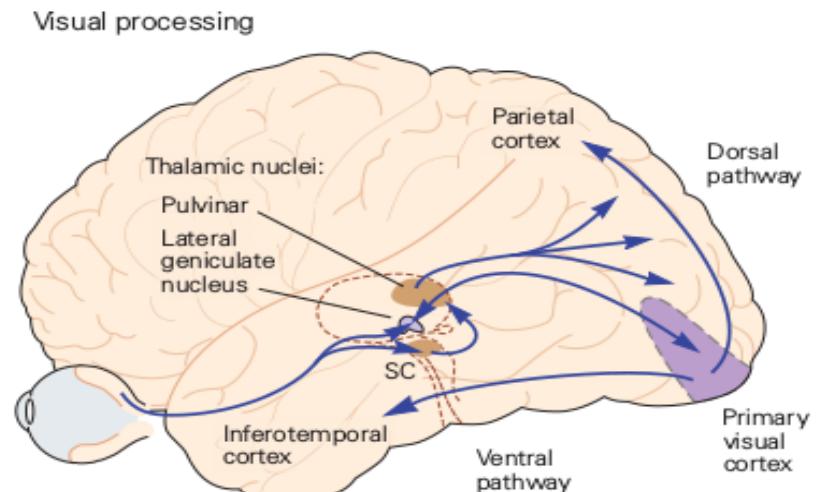
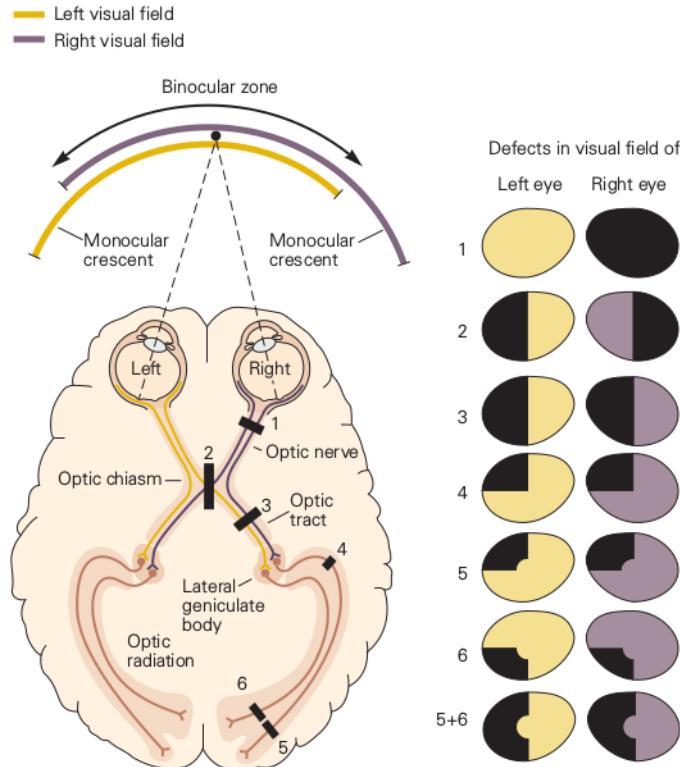
Eye movement (horizontal)



Visual processing

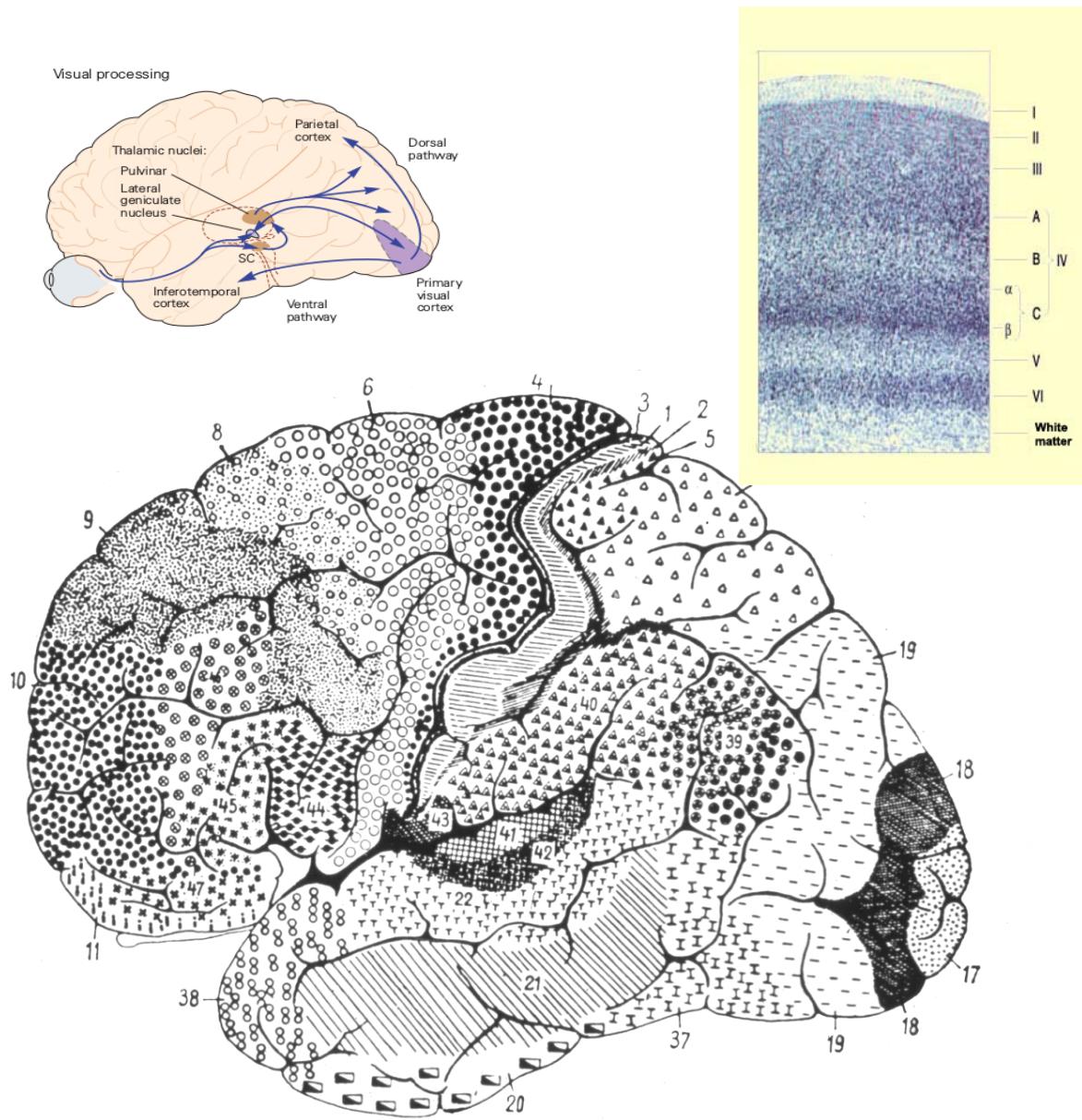


L'information visuelle arrive au cortex primaire



... et du cortex primaire, elle est acheminée vers d'autres parties du cortex

Le cortex est divisé en aires et en couches



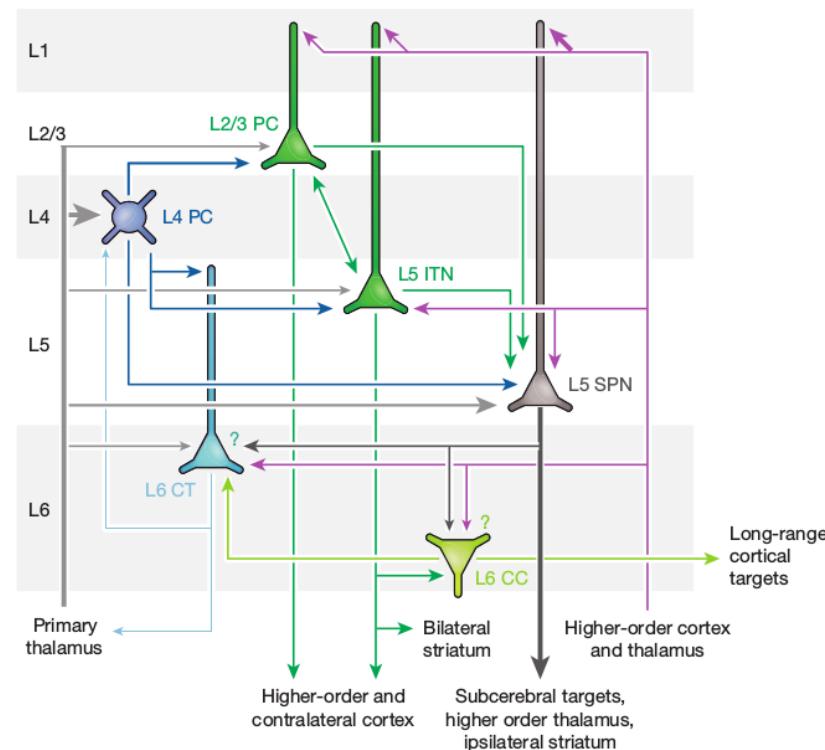
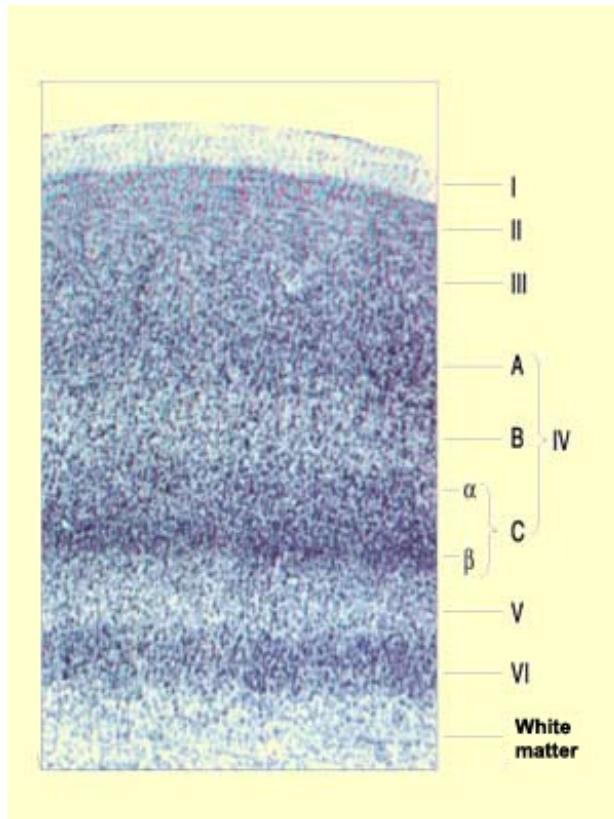
Vers la fin du XIX^e siècle, Broadman a montré que le cortex pouvait être divisé en aires.

Broadman s'est basé sur des critères purement **anatomiques** tels que la taille, la forme ou la densité des neurones dans différentes couches du cortex.

Le nombre d'aires du cortex visuel varient d'une espèce à l'autre.

Le cortex visuel des singes macaques a environ **30 aires visuelles différentes**, et occupe plus de la moitié de tout le cortex.

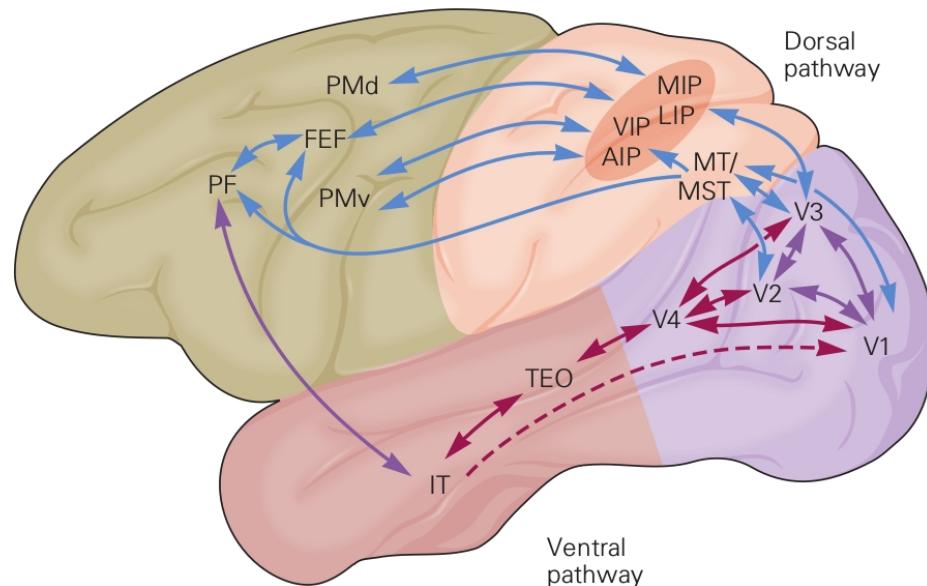
Les connections corticales suivent des “règles” au niveau des couches



Harris et Mrsic Flogel 2013

Du cortex primaire, l'information visuelle est envoyé vers d'autres aires du cortex

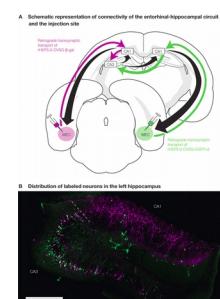
Visual pathways in the macaque monkey



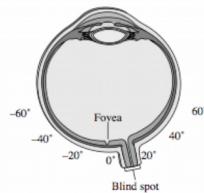
Ces aires sont connectées de façon réciproque.

Les aires visuelles projettent vers des aires **associatives**, liées à la prise de décision et aussi vers les aires motrices.

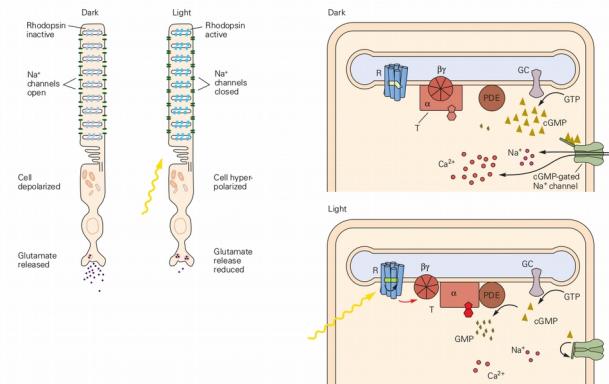
En partant de V1, l'information part en deux directions: vers le **cortex temporel inférieur** et vers le **cortex dorsal**.



Comment est représentée l'information visuelle ?



Le champ récepteur: le sous ensemble de stimuli (espace, temps, modalité, intensité) pour lesquels un neurone répond (Sherrington 1906).



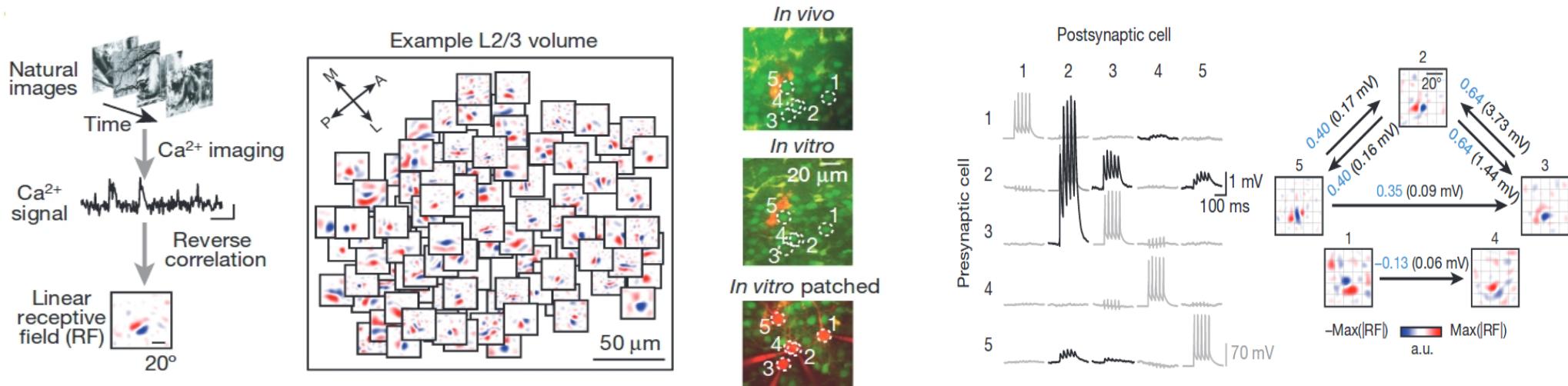
Champ récepteur d'un photorécepteur: la région de la rétine qui doit être illuminée afin d'obtenir une réponse. Les zones illuminées de la rétine sont hyperpolarisées et les zones sombres sont dépolarisées.

A mesure que l'on s'éloigne de la périphérie, on peut toujours définir ce champ récepteur (**encore faut il le trouver !**). Pour un neurone donné, ce champ récepteur est déterminé par la combinaison des champs récepteurs des différents neurones présynaptiques.

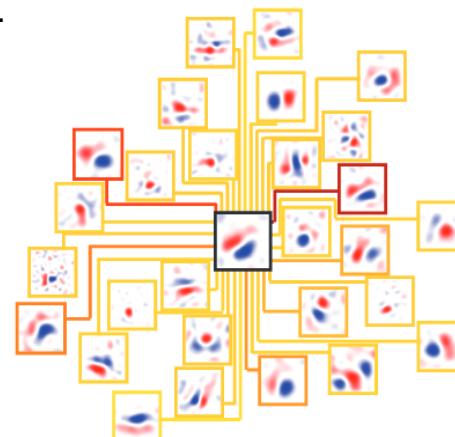
Problème: l'espace des stimuli est infini, et les enregistrements sont assez limités dans le temps.

Comment est représentée l'information visuelle ?

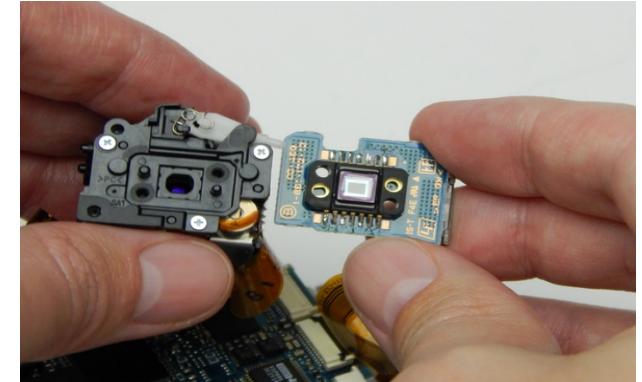
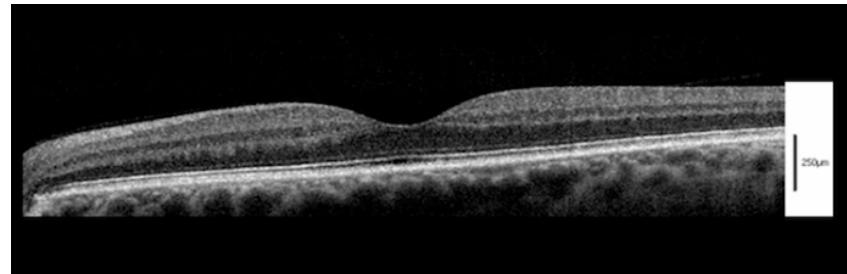
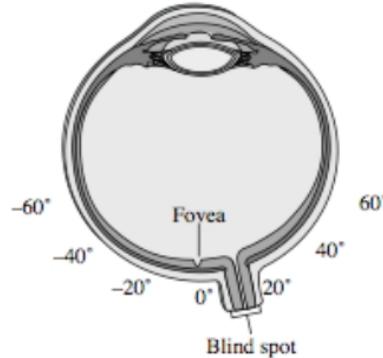
Notion de champ récepteur



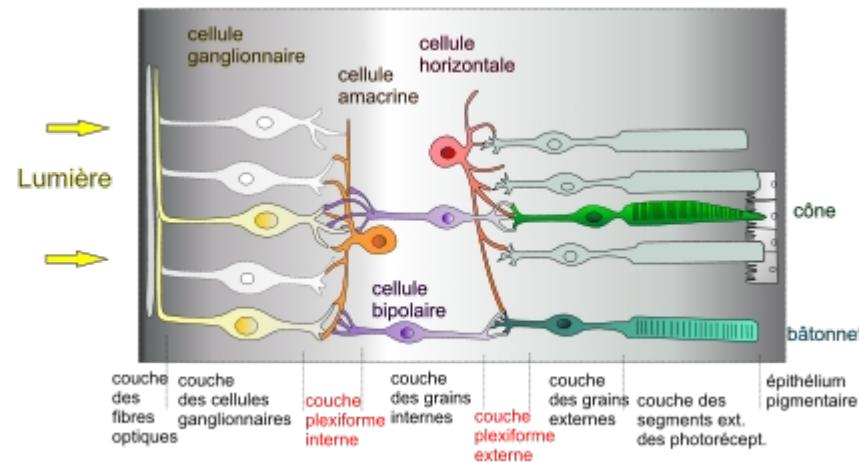
Couche 2/3 V1



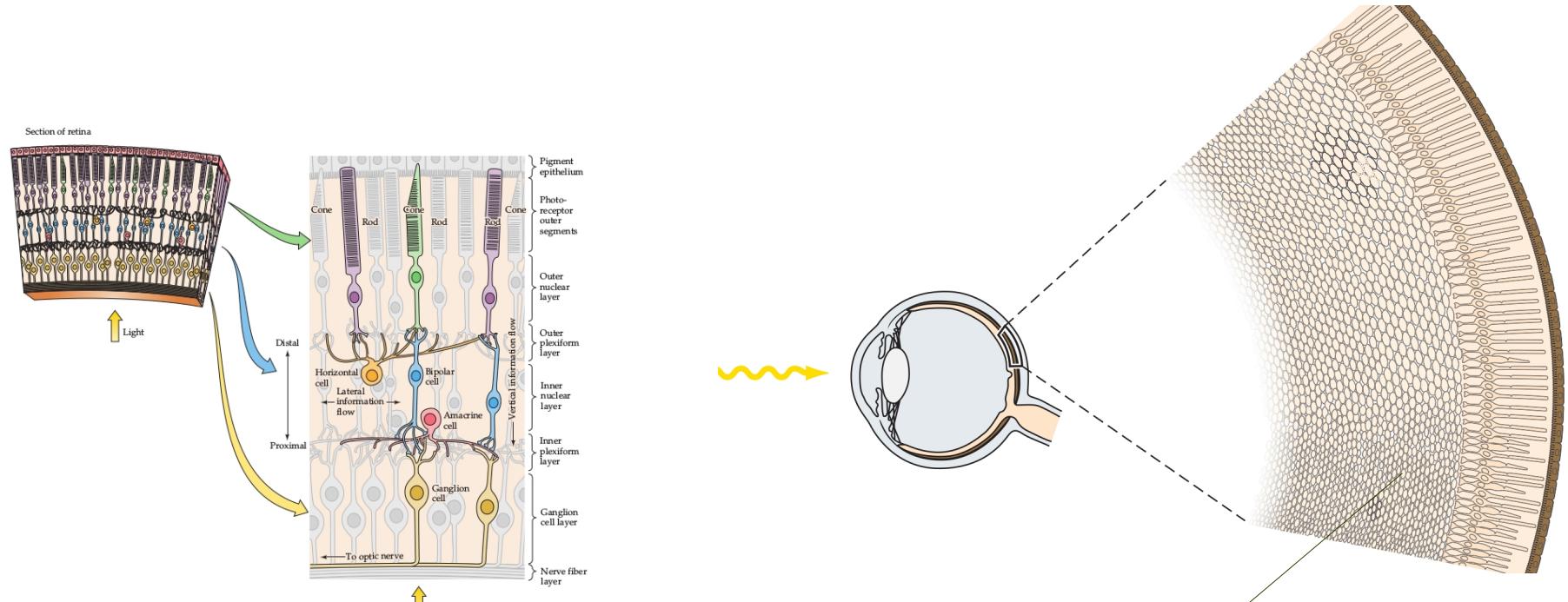
La rétine



La Rétine: 5 grands types de cellules: *photorécepteurs, cellules horizontales, cellules bipolaires, cellules amacrines, cellules ganglionnaires.*

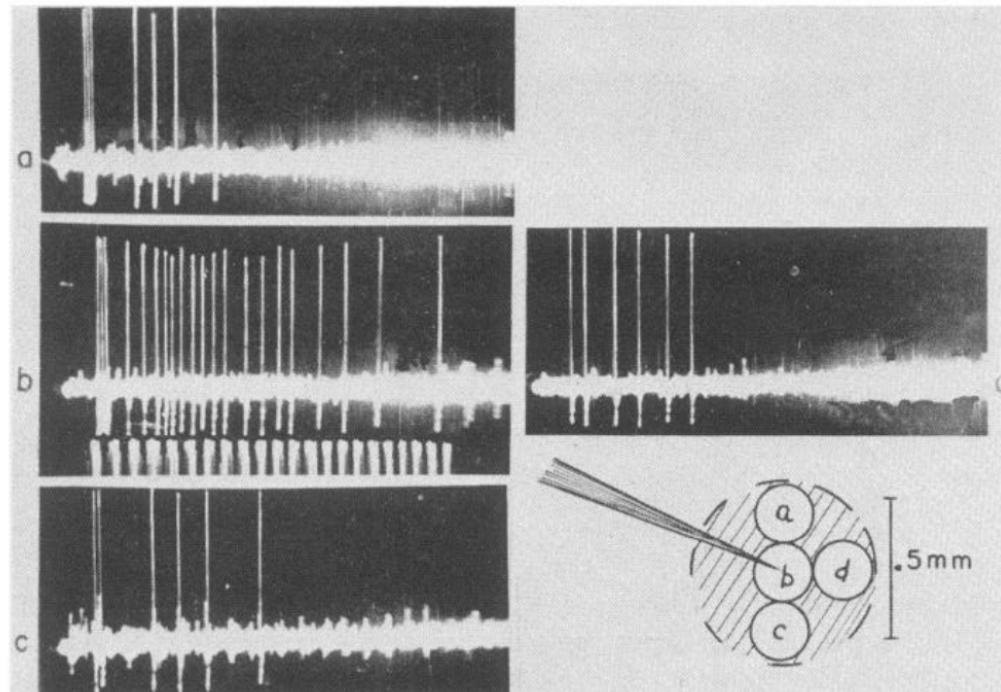


La sortie de l'oeil vers le cerveau: les cellules ganglionnaires



Cellules ganglionnaires

Champ récepteur des cellules ganglionnaires



Kuffler 1951

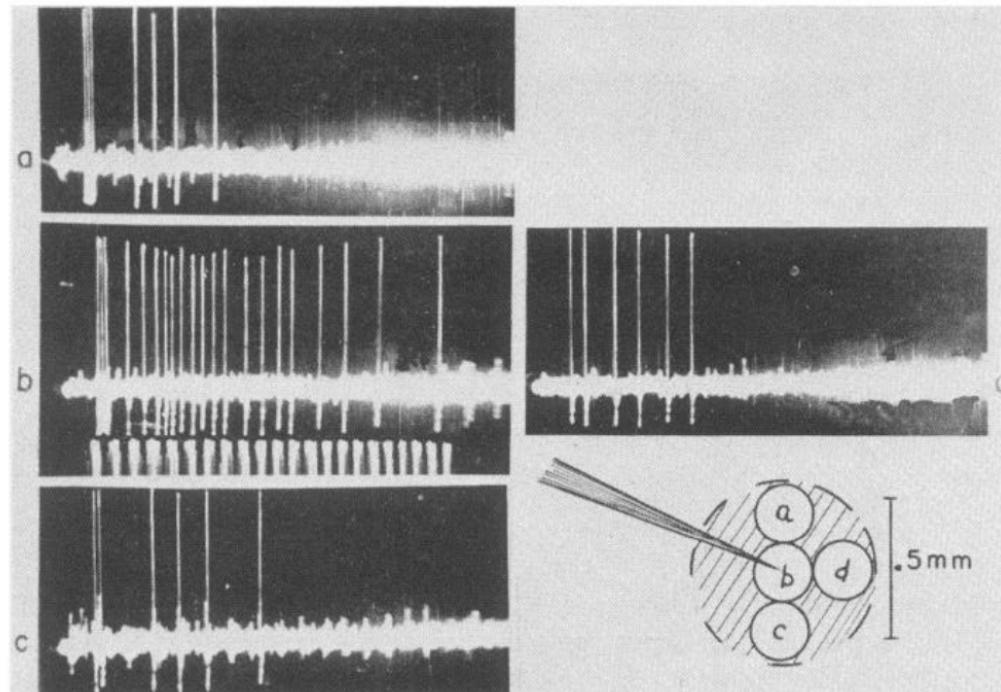
Illumine en:

- **b**: réponse soutenue qui dure autant que la stimulation visuelle.
- **a/d/c** : réponse transitoire.
- **En dehors du cercle**: pas de réponse.
- **Tout le cercle**: pas de réponse.

Illumine **b** et absence de lumière en **a,d,c**: réponse très forte.

En 1953, Hartline et Kuffler ont montré que les champs récepteurs des cellules ganglionnaires ont des aires qui sont **fonctionnellement distinctes: on-off**.

Champ récepteur des cellules ganglionnaires



Kuffler 1951

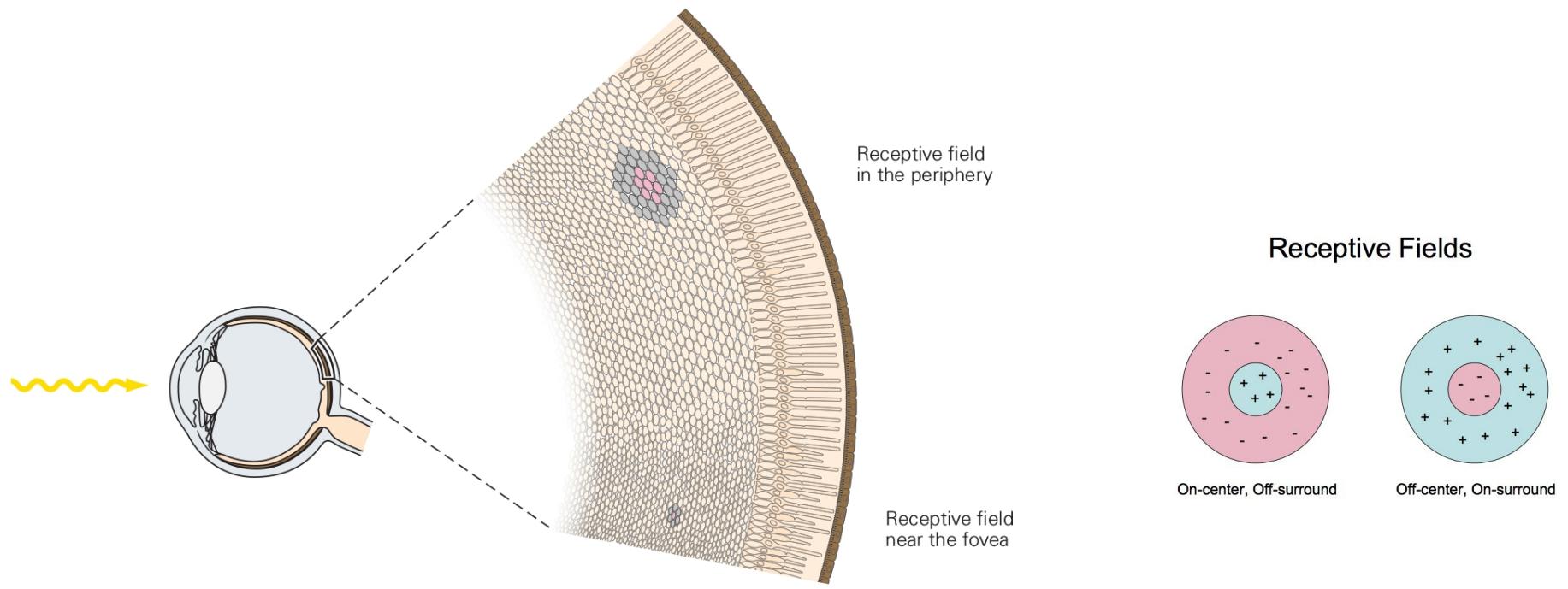
Illumine en:

- **b**: réponse soutenue qui dure autant que la stimulation visuelle.
- **a/d/c** : réponse transitoire.
- **En dehors du cercle**: pas de réponse.
- **Tout le cercle**: pas de réponse.

Illumine **b** et absence de lumière en **a,d,c**: réponse très forte.

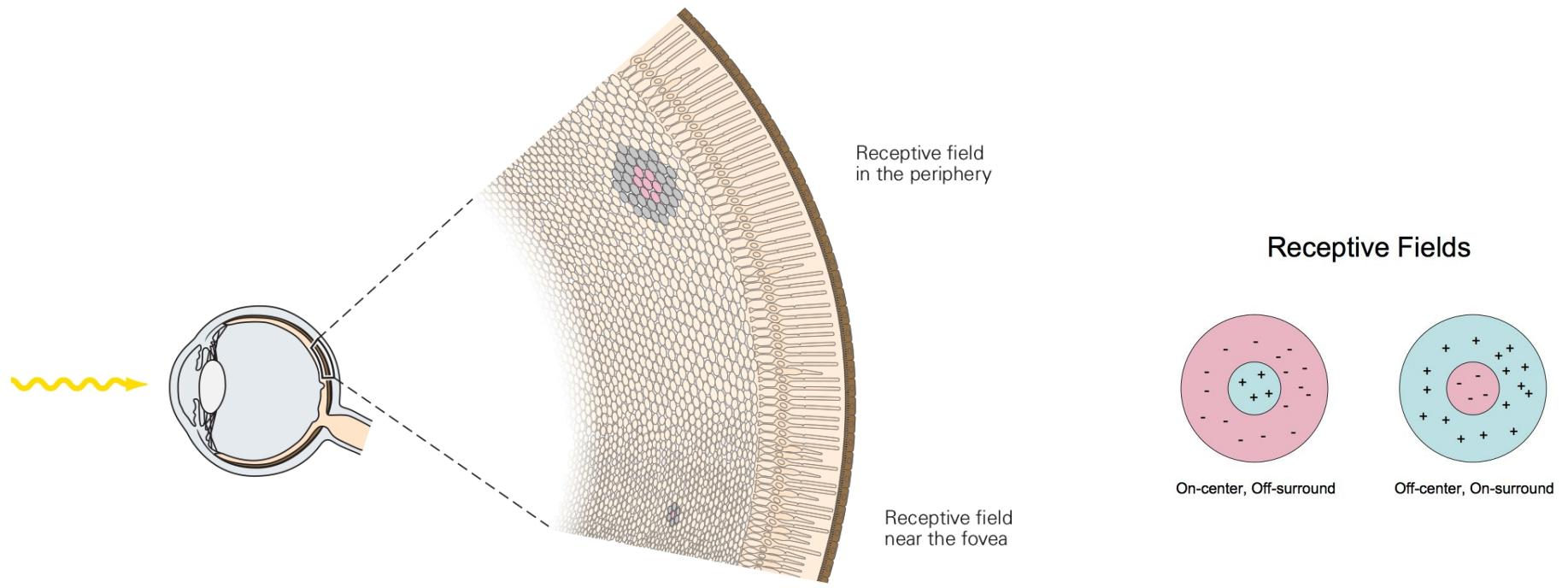
En 1953, Hartline et Kuffler ont montré que les champs récepteurs des cellules ganglionnaires ont des aires qui sont **fonctionnellement distinctes: on-off**.

Les cellules ganglionnaires ont des champs récepteurs on-off et off-on



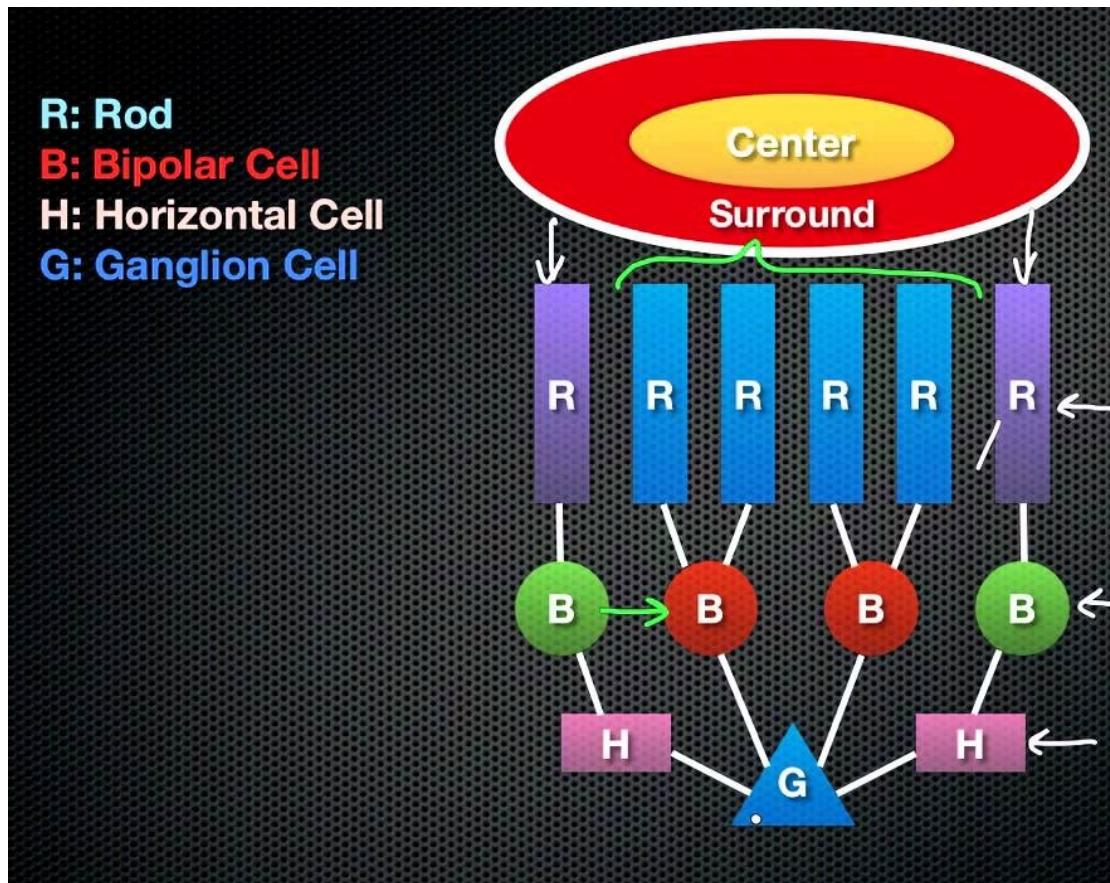
Pour les cellules on-off comme pour les cellules off-on, **le centre et la périphérie de leur champs récepteurs ont un effet mutuellement inhibitoire**; localement la rétine code le contraste local entre le centre du champ récepteur et sa périphérie.

Les cellules ganglionnaires ont des champs récepteurs on-off et off-on

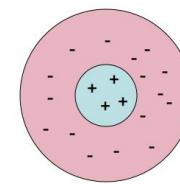


La taille du champ récepteur se mesure en angles visuels. Il est d'environ 0.1° près de la fovéa et de 10° à la périphérie de la rétine.

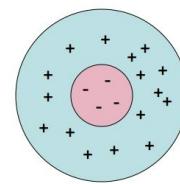
La connectivité des cellules retiniennes explique cette selectivité



Receptive Fields

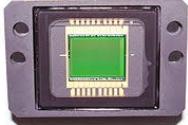


On-center, Off-surround

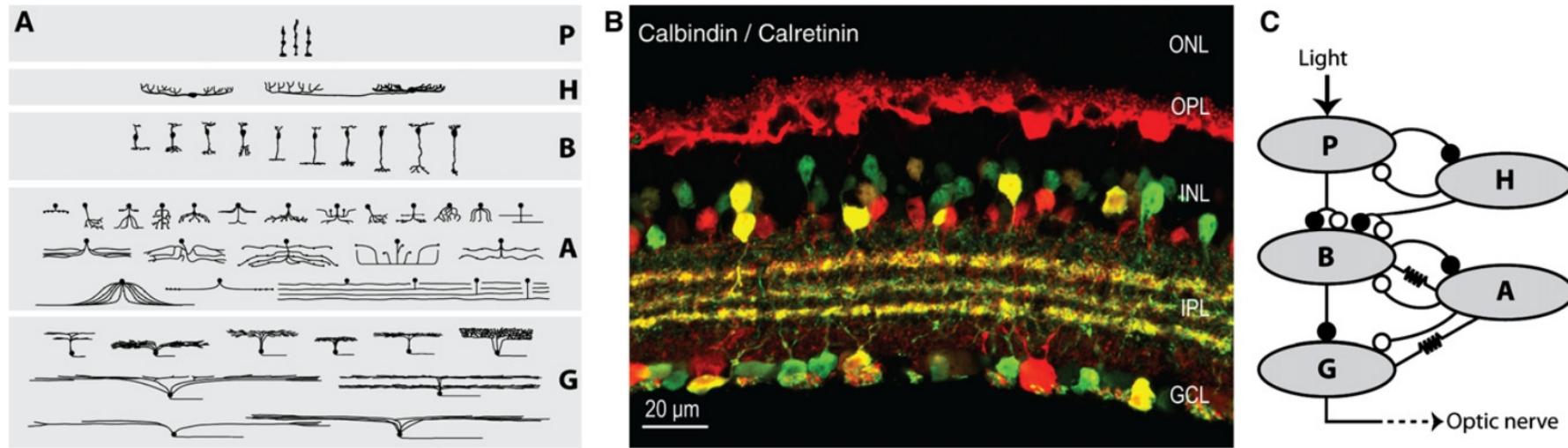


Off-center, On-surround

Rôle prépondérant des cellules **inhibitrices** dans la **selectivité** du champ récepteur.



La rétine est bien plus qu'une caméra CCD



Il y a **15** types différents de cellules ganglionnaires:

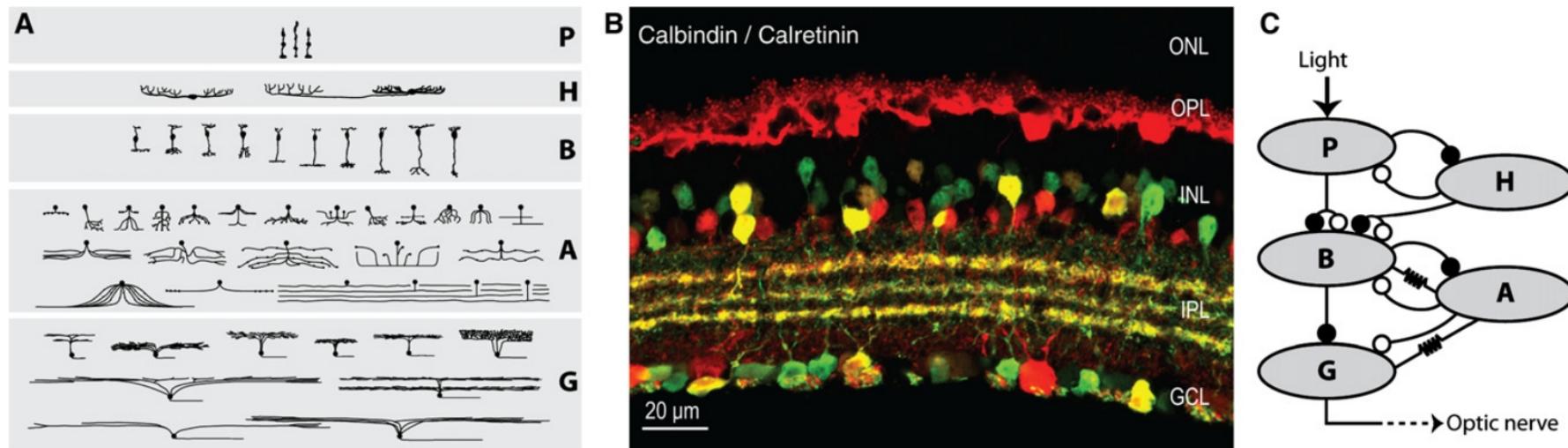
- chaque type de cellule ganglionnaire couvre toute la rétine.
- chaque type de cellule ganglionnaires possède des réponses temporelles différentes.

Eye Smarter than Scientists Believed: Neural Computations in Circuits of the Retina. Neuron 2010.
107
Gollish and Meister.

Voir: Heller Lecture - Markus Meister: Neural computations in the retina (youtube)



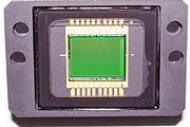
La rétine est beaucoup plus qu'une caméra CCD



En fait dans la rétine, il y a 50 types différents de cellules. Pourquoi une telle complexité si la rétine ne fait que de l'inhibition latérale ?

Eye Smarter than Scientists Believed: Neural Computations in Circuits of the Retina. Neuron 2010.
108
Gollish and Meister.

Voir: Heller Lecture - Markus Meister: Neural computations in the retina (youtube)

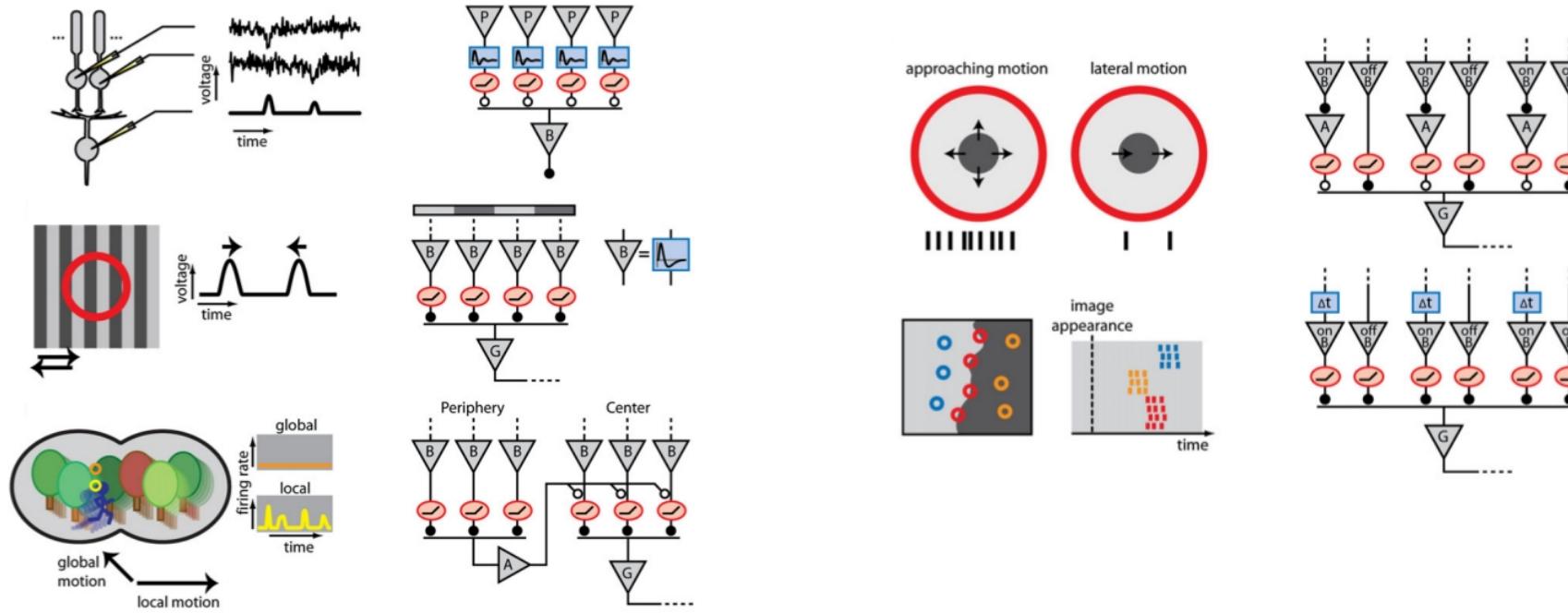


La rétine est bien plus qu'une caméra CCD

Il y a **15** types différents de cellules ganglionnaires:

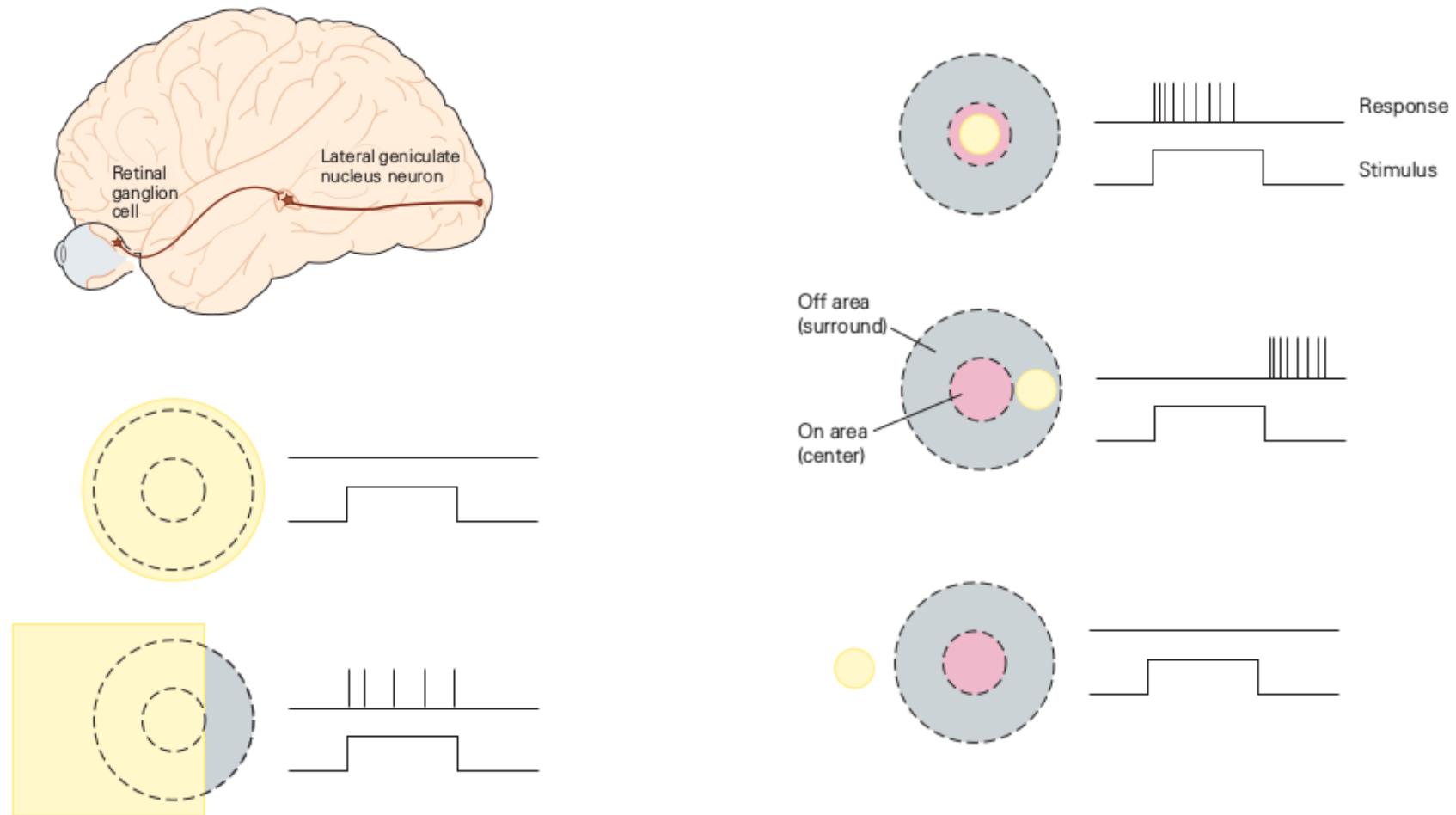
- chaque type de cellule ganglionnaire couvre toute la rétine.
- chaque type de cellule ganglionnaires possède des réponses temporelles différentes.

Markus Meister



Chaque type de cellule ganglionnaire envoie en parallèle une image différente au cerveau.

Les cellules du thalamus visuel ont des champs récepteurs on/off, et off/on

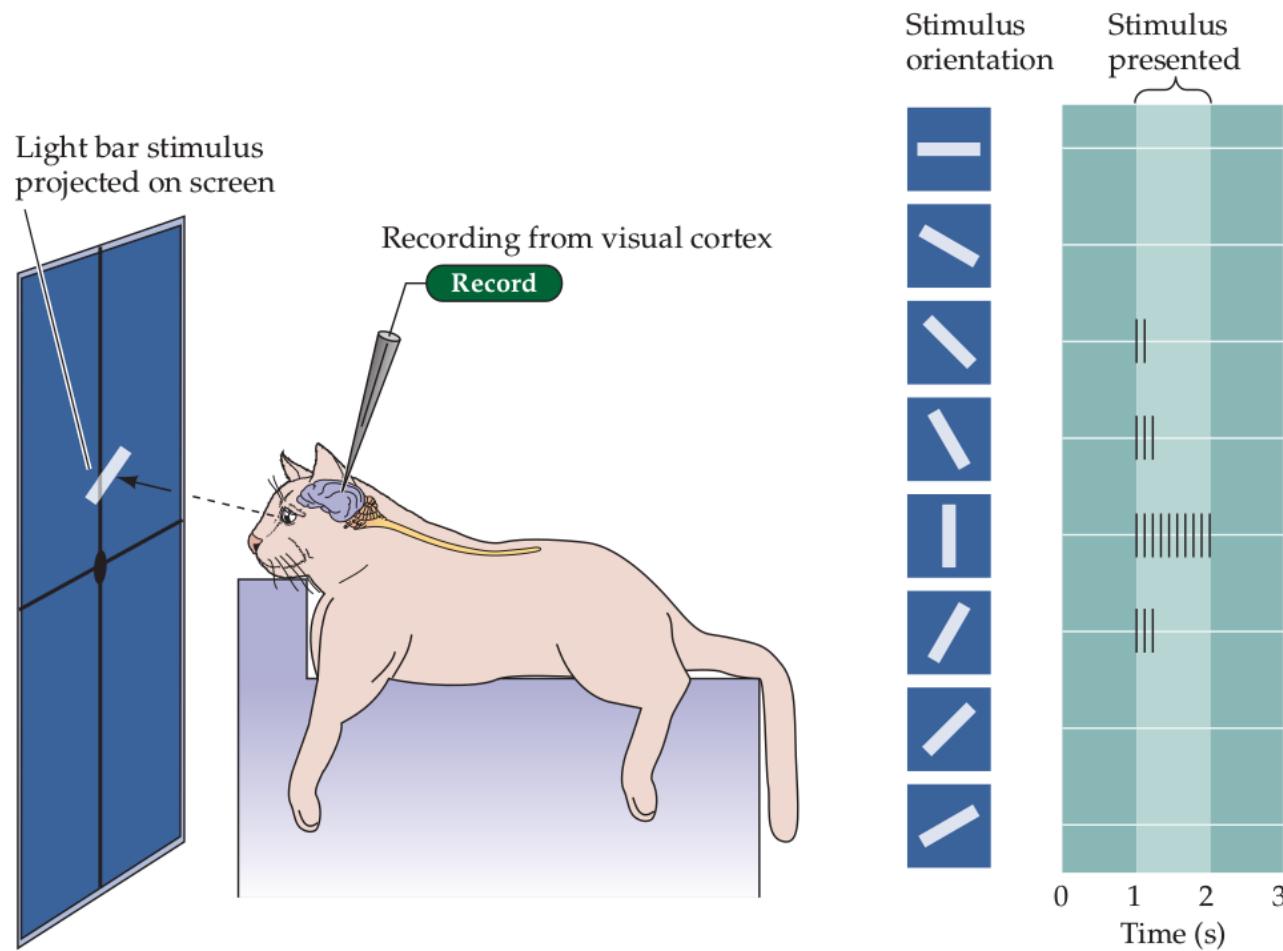


Les cellules du thalamus visuel “héritent” des champs récepteurs des cellules ganglionnaires.

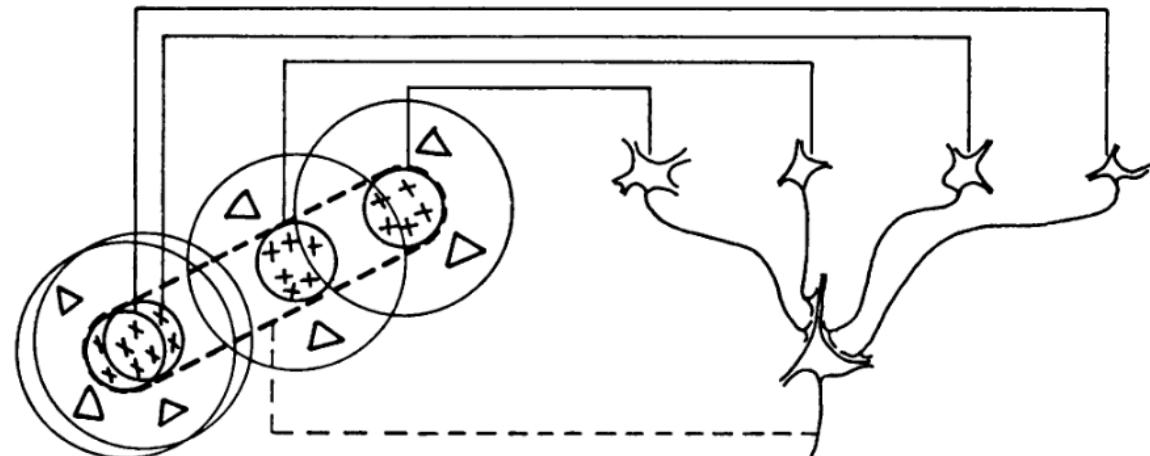
L'expérience de Hubel et Wiesel



L'expérience de Hubel et Wiesel



Quelle connectivité peut engendrer ces champs récepteurs ?



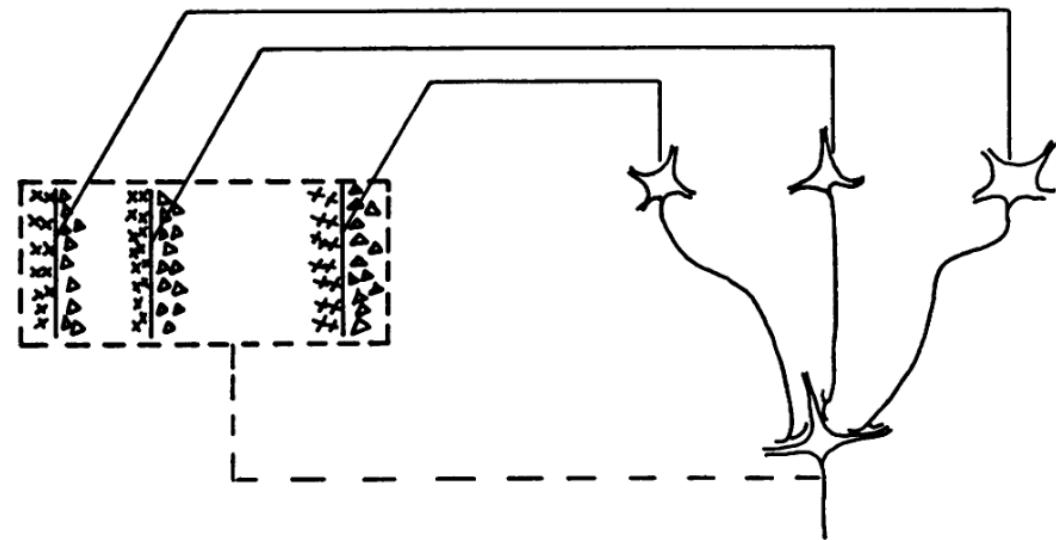
Cellule simple

Hubel et Wiesel 1952



Wiesel et Hubel¹¹³

Quelle connectivité peut engendrer ces champs récepteurs ?

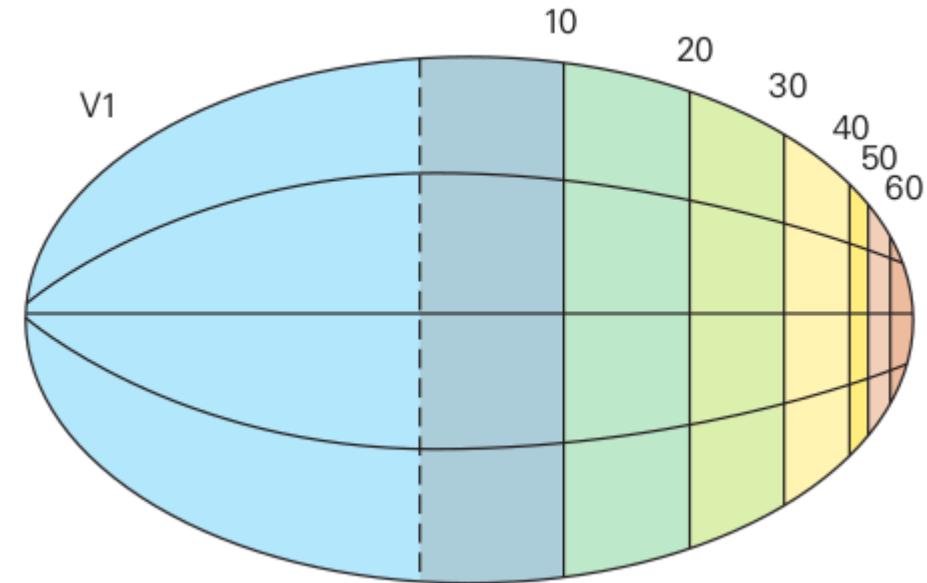
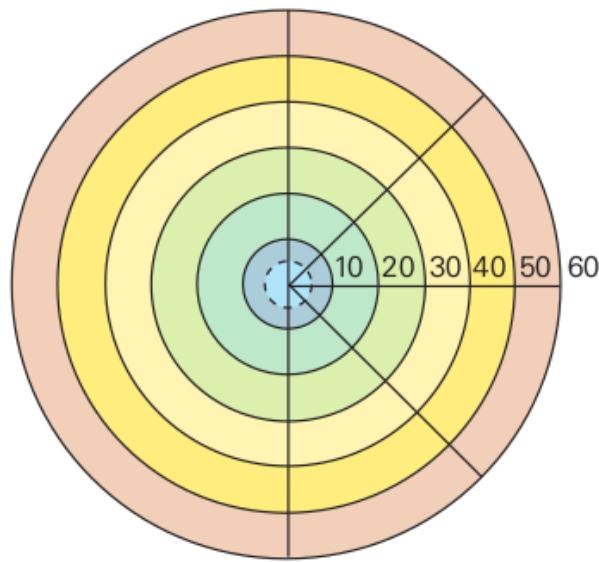


Cellule complexe

Hubel et Wiesel 1952

Selectivité et invariance !

La topographie du champ visuel est représentée le long de la surface du cortex primaire (V1)

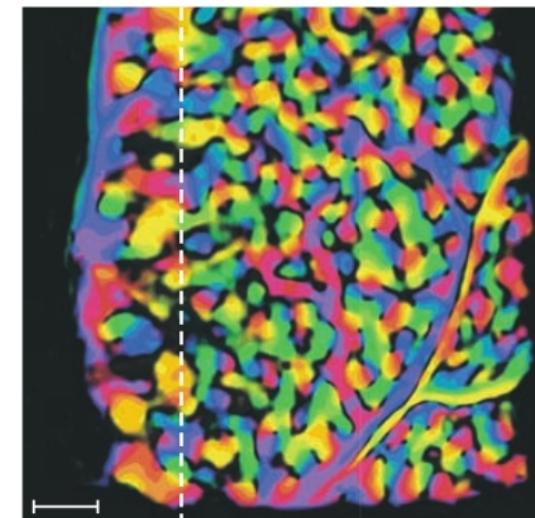
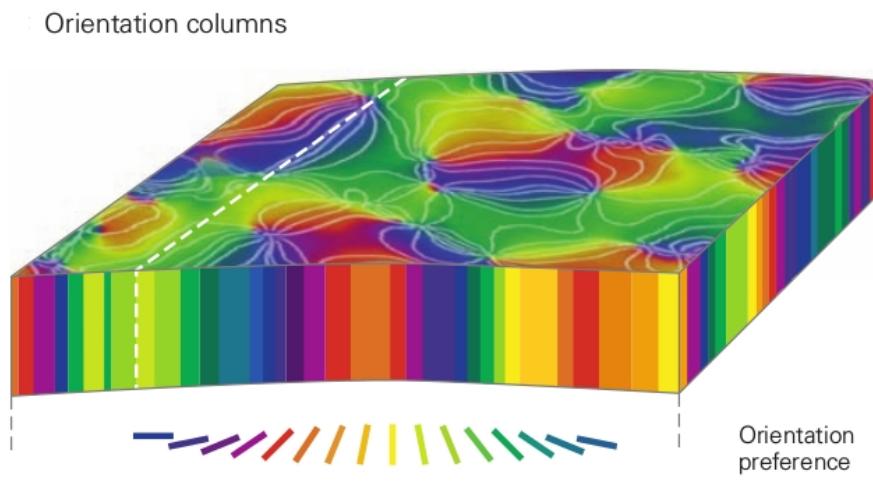


Excentricité rétinienne

Visuotopie

Plan de la surface corticale dédiée à chaque aire du champ visuel: **magnification corticale**

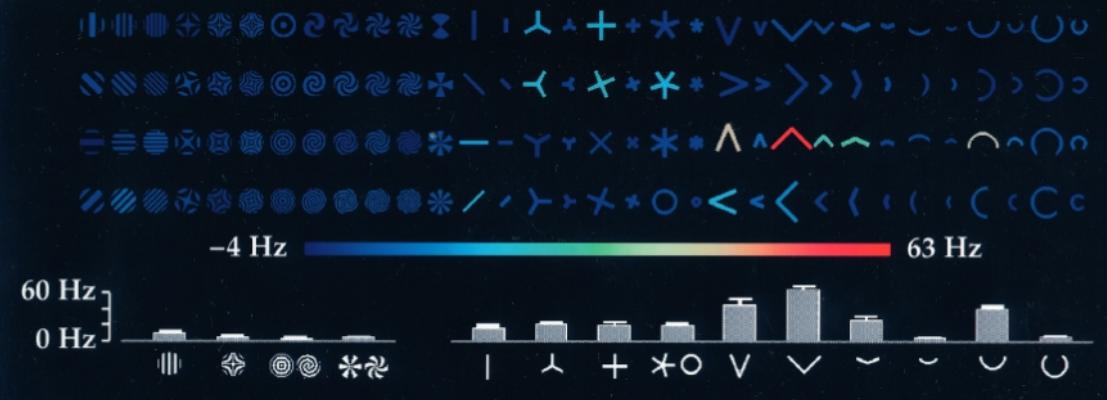
La surface du cortex visuel primaire -V1- est organisée en colonnes de neurones spécialisés



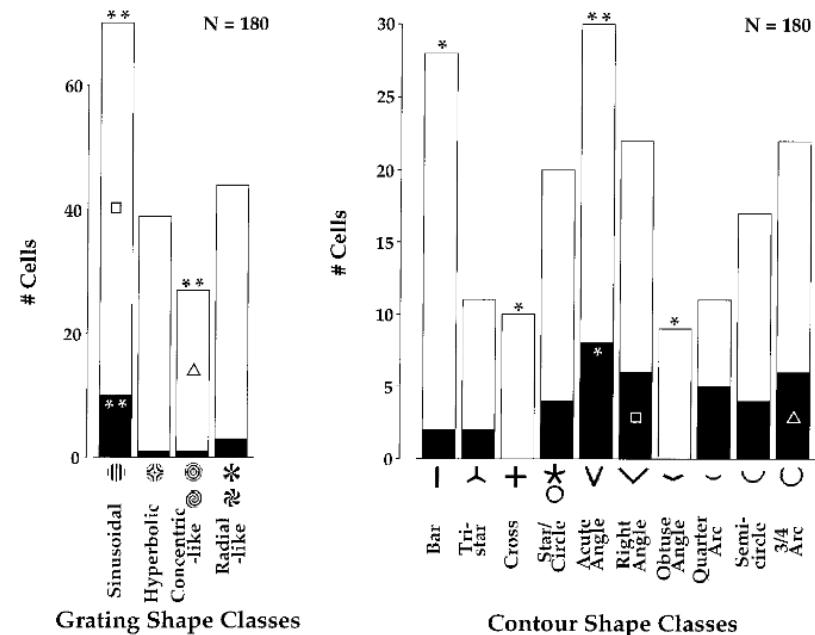
En se déplaçant le long des couches corticales - perpendiculairement à la surface de V1- les neurones ont des champs récepteurs très similaires (sélectifs à une orientation donnée).

Et en V2 ?

A. Cell ITC29G1

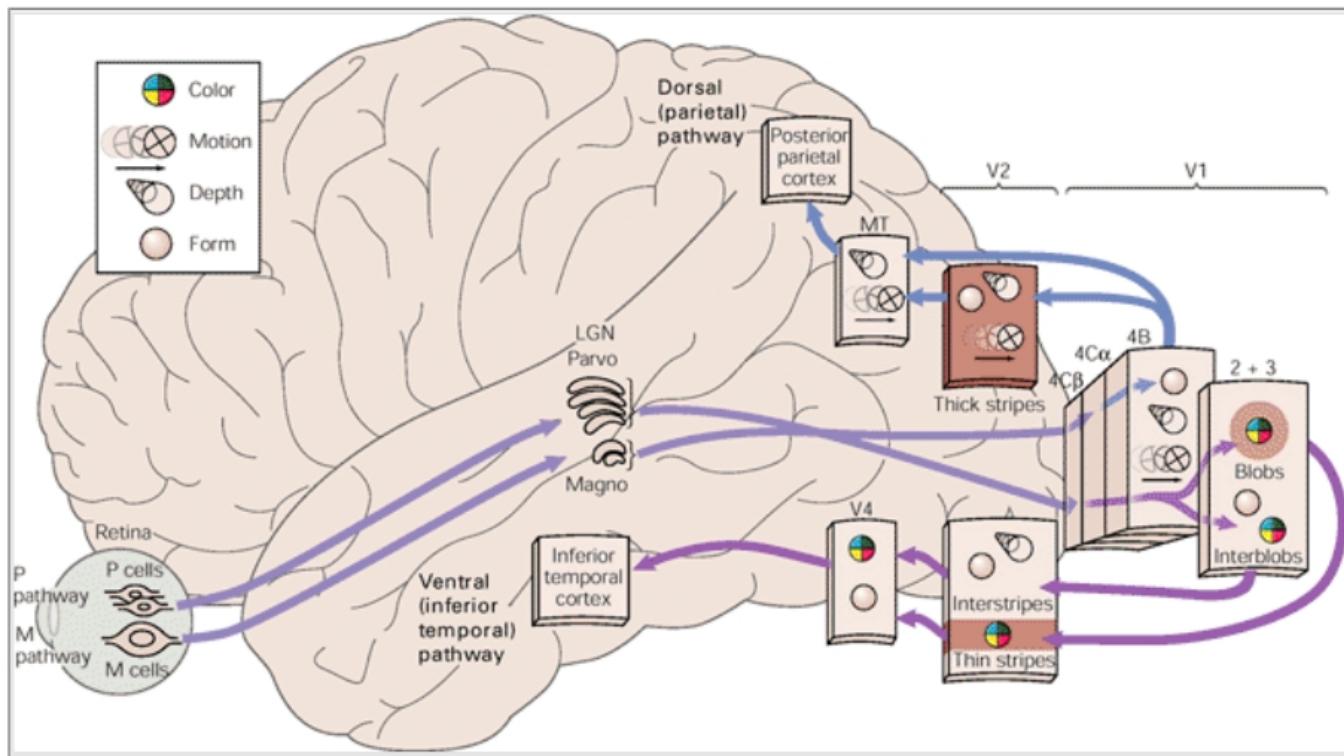


B. Cell ITC16G4



Hegdé et Van Essen 2000

Et après ?

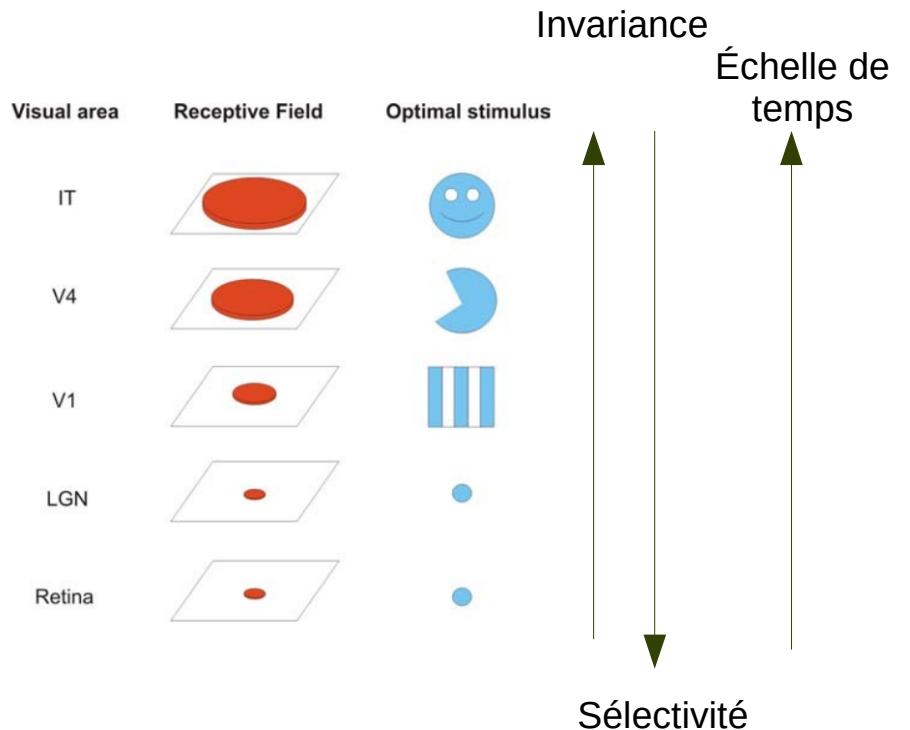
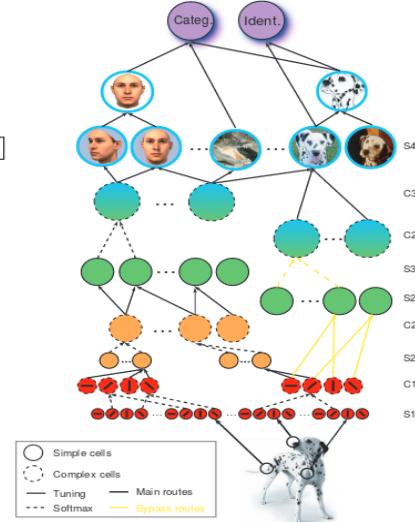
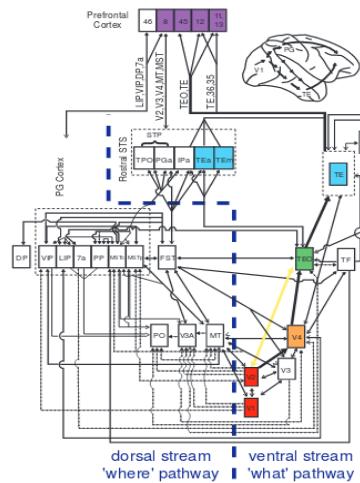


Deux chemins : le “où” et le “quoi”.

4- Le système visuel : anatomie et organisation fonctionnelle

- Théorie des connections ascendantes.

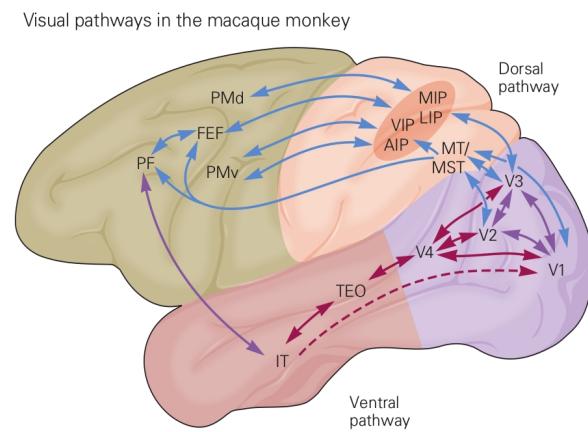
Le modèle hiérarchique de reconnaissance des formes



A partir des expériences de Hubel et Wiesel, on a postulé la reconnaissance des formes devait se faire selon une **organisation hiérarchique des champs récepteurs**.

Les neurones répondant à des stimuli visuels de spécificité croissante et stimulant des portions de plus en plus grandes de la rétine.

La théorie de la cellule “grand-mère”



Dès 1938 Kluver et Bucy ont montré que l'ablation des lobes temporels inférieurs entraînait - entre autres symptômes - **l'incapacité pour les singes de reconnaître des objets, apprendre des nouveaux et s'en rappeler.**

En 1967 Letwin, postule l'existence de cellules de **cellules qui s'activeraient seulement en présence de la combinaison de traits qui caractérise une grand mère**. Il cite un roman de Philip Roth "Portnoy's Complaint", dans lequel un chirurgien fait une ablation de toutes les cellules mères de la tête de Portnoy. Dans le roman Portnoy pert complètement le concept de sa mère.

La théorie de la cellule “grand-mère”

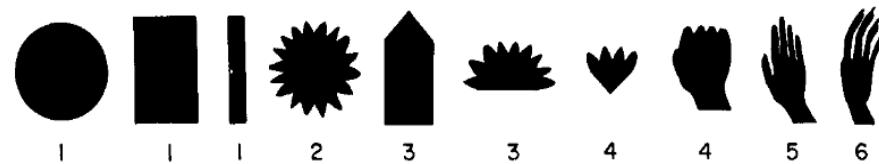
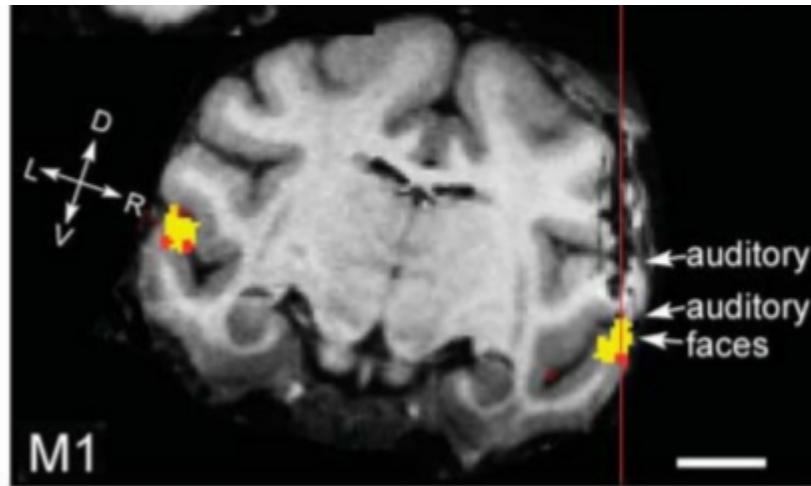


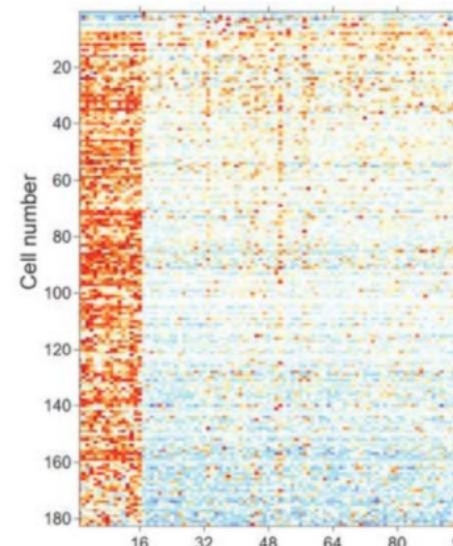
FIG. 6. Examples of shapes used to stimulate a group TE unit apparently having very complex trigger features. The stimuli are arranged from left to right in order of increasing ability to drive the neuron from none (1) or little (2 and 3) to maximum (6).

Charles Gross 1972

IT

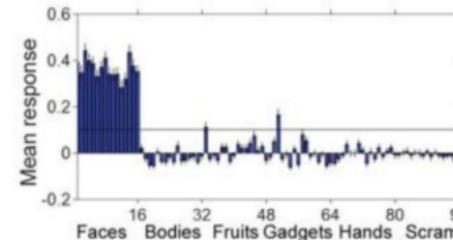


Zone très selective aux visages



Doris Tsao
2006

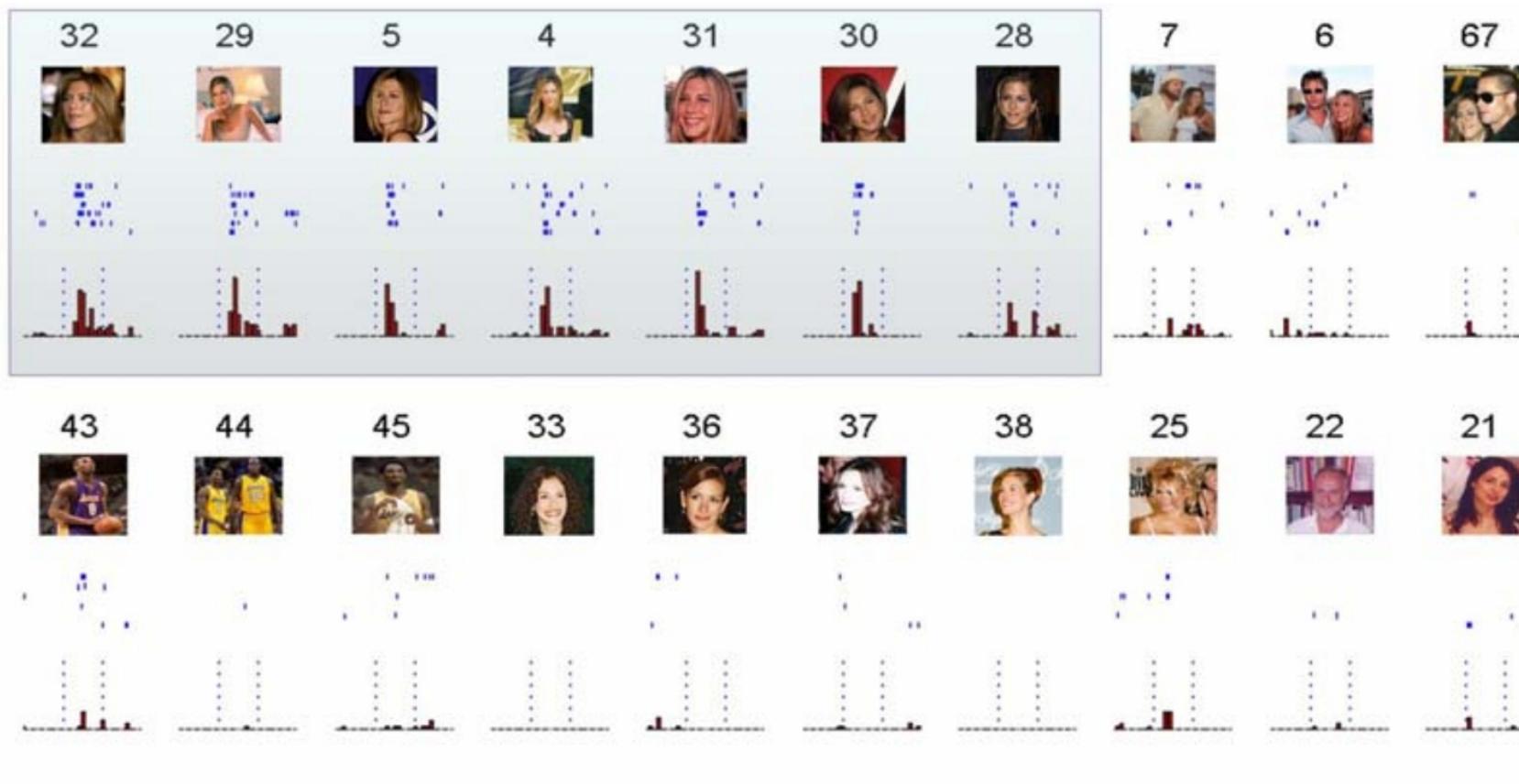
IT



La théorie de la cellule “grand-mère”

MTL

Rodrigo Quijan Quiroga
2005

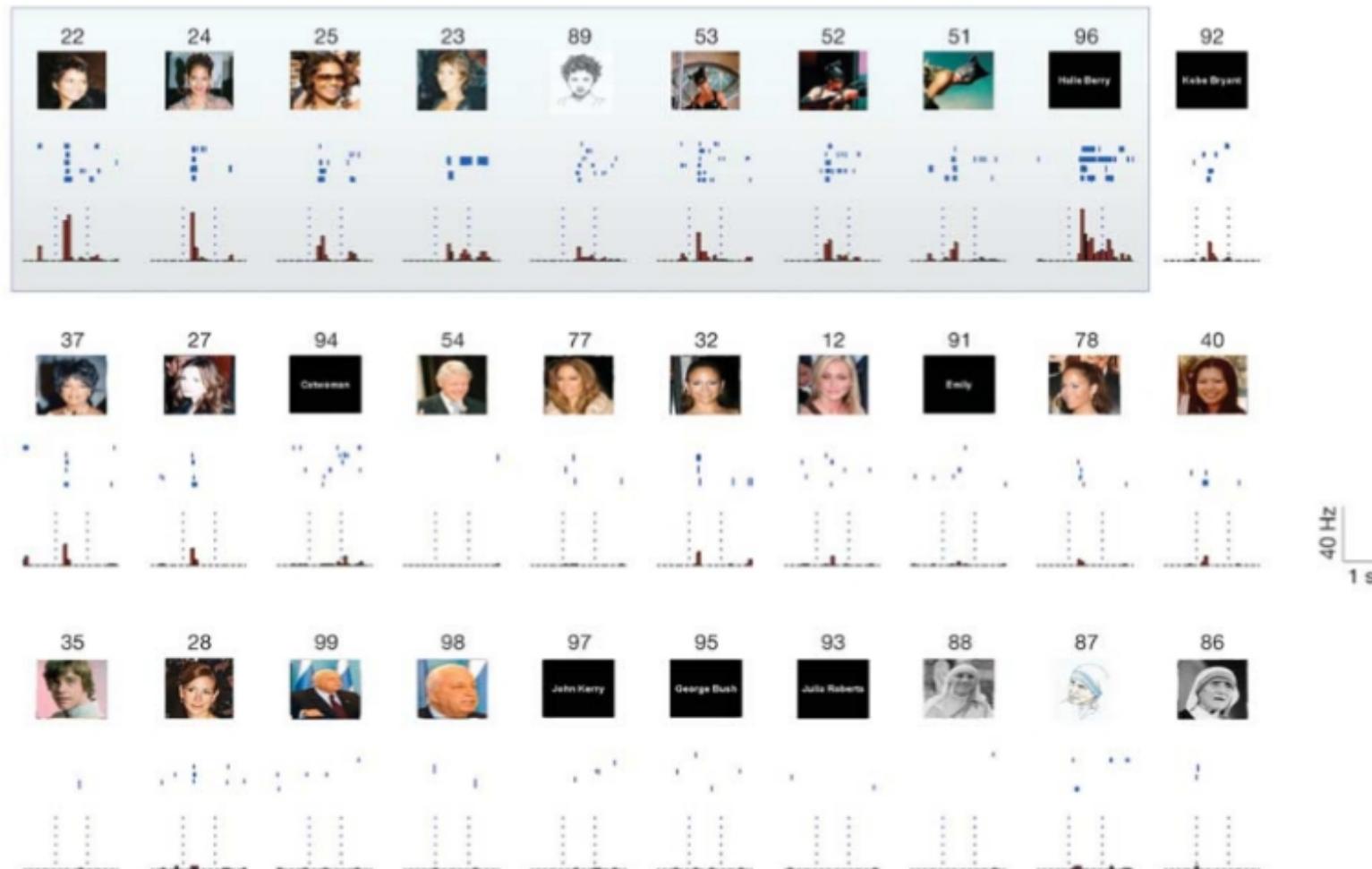


Cellule “concept”

123
Cellule “Jennifer Aniston”

La théorie de la cellule “grand-mère”

Rodrigo Quijan Quiroga
2005

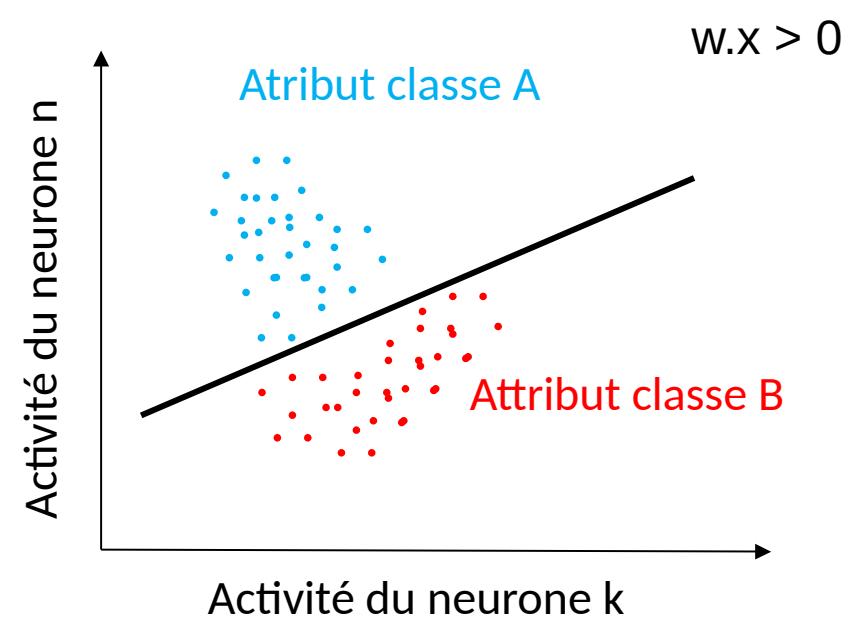
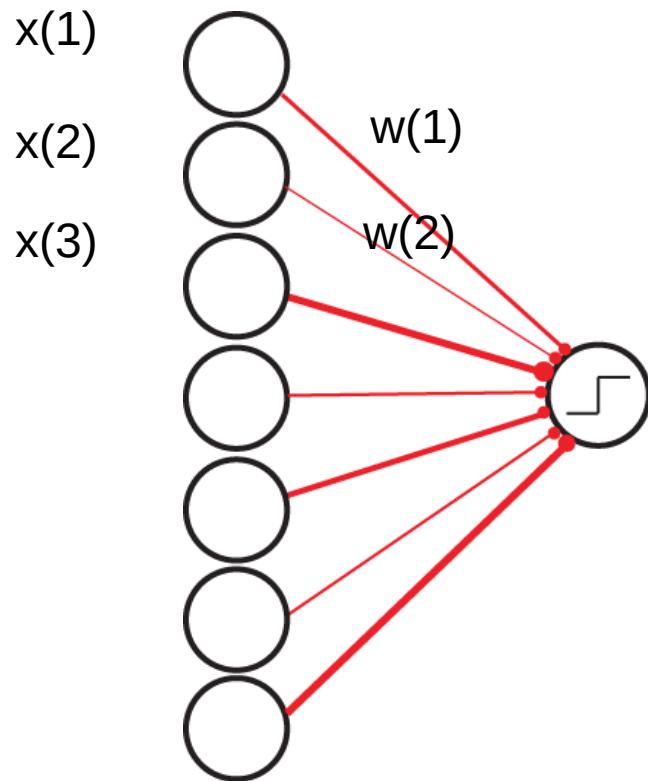


Hippocampe antérieur droit

Cellule “Halle Berry”¹²⁴

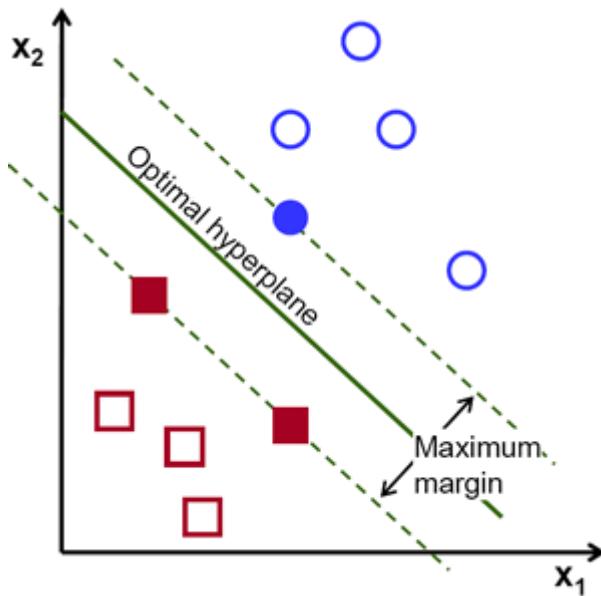
Homologie avec les réseaux de neurones

Le perceptron (Rosenblatt 1957)

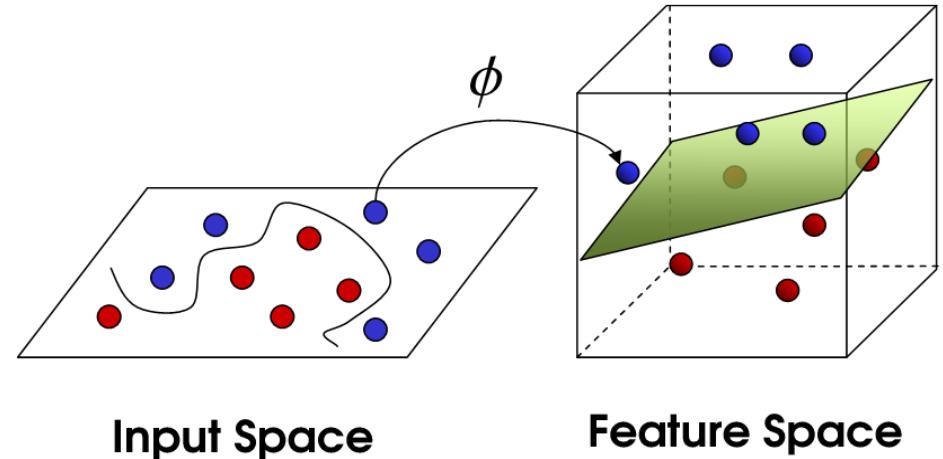


Hyperplan dans un espace sensoriel
multidimensionnel

Homologie avec les réseaux de neurones

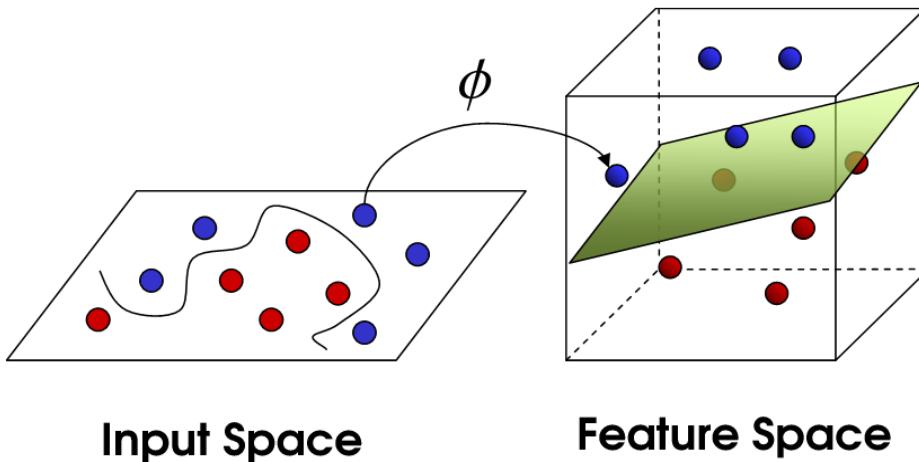


L'hyperplan optimal est bien défini, s'il existe. ("Linear Support Vector Machine")



Generally, there is no optimal hyperplane. It must therefore call for non-linear transformations to make the problem linearly separable.

Homologie avec les réseaux de neurones



Generally, there is no optimal hyperplane. It is therefore necessary to call upon non-linear transformations **non-linéaires** to make the problem linearly separable.

Etre capable d'assigner dans une même catégorie des objets très différents, et d'assigner dans des catégories différentes des objets avec des caractéristiques physiques très proches.

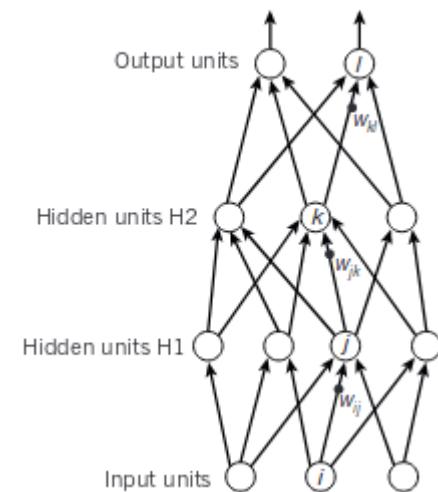
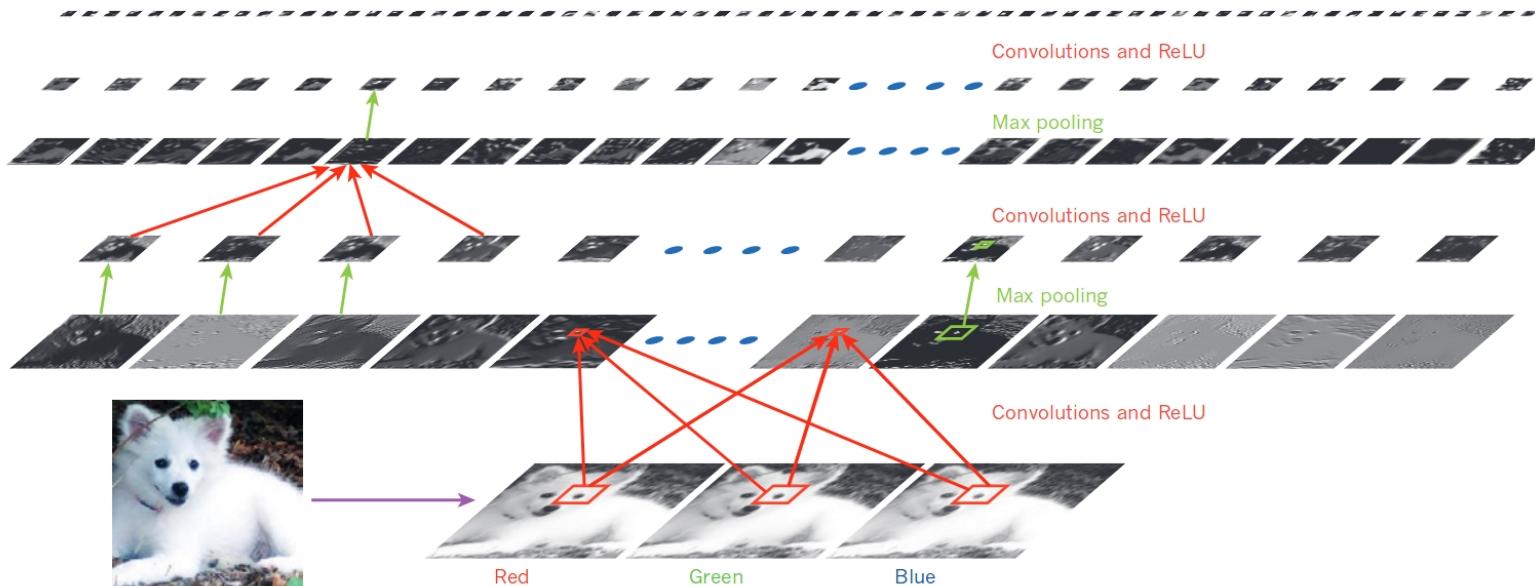


Homologie avec les réseaux de neurones: **l'invariance et la selectivité**

Le plus grand problème algorithmique en reconnaissance d'images est d'obtenir de **l'invariance** et de préserver la **sélectivité**: la reconnaissance doit être capable de **discriminer** entre des objets ou des classes et en même temps **être tolérant** à des transformations telles que l'échelle, la translation, l'illumination, les changements de point de vue, les changements de contexte, l'obstruction et la variations dans la forme.

Serre, Riesenhuber et Poggio

Homologie avec les réseaux de neurones : l'apprentissage profond



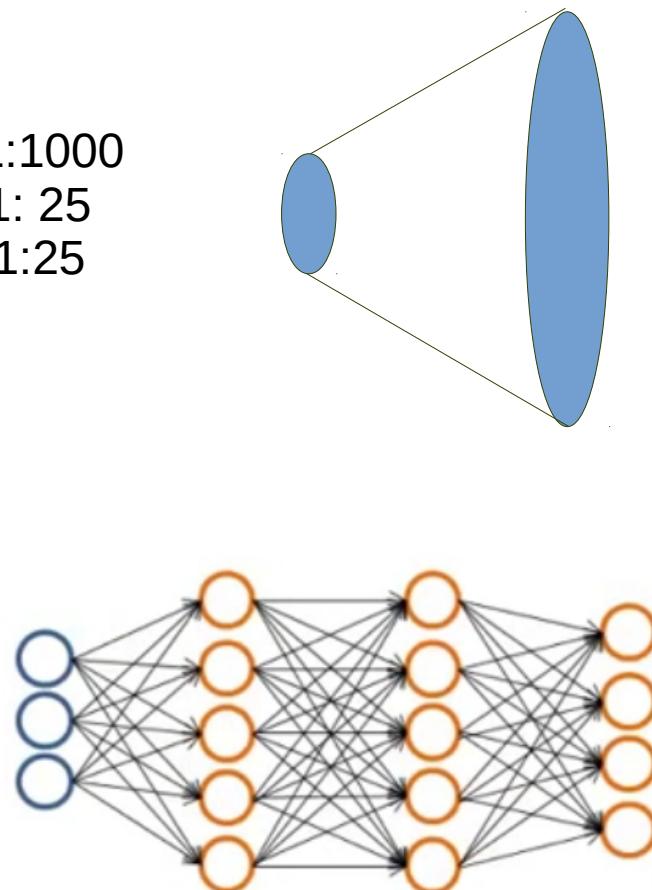
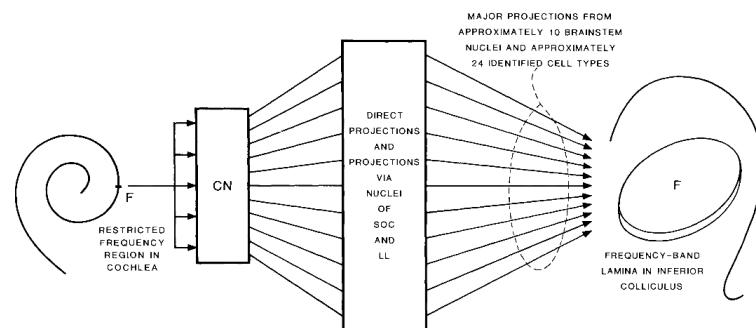
Le Cun Nature 2015

Les méthodes d'apprentissage profond “Deep-learning” sont des méthodes avec de multiples niveaux de représentation, obtenus en composant **non-linéairement** des modules simples qui transforment la représentation à chaque niveau en une représentation à un niveau un peu plus abstrait.

Homologie avec les réseaux de neurones : l'expansion de la dimensionnalité

Bulbe olfactif des rongeurs → cortex piriforme
LGN → V1 chat
MGN → A1 souris

1:1000
1: 25
1:25



En augmentant la dimension, il est plus facile de classifier des signaux !

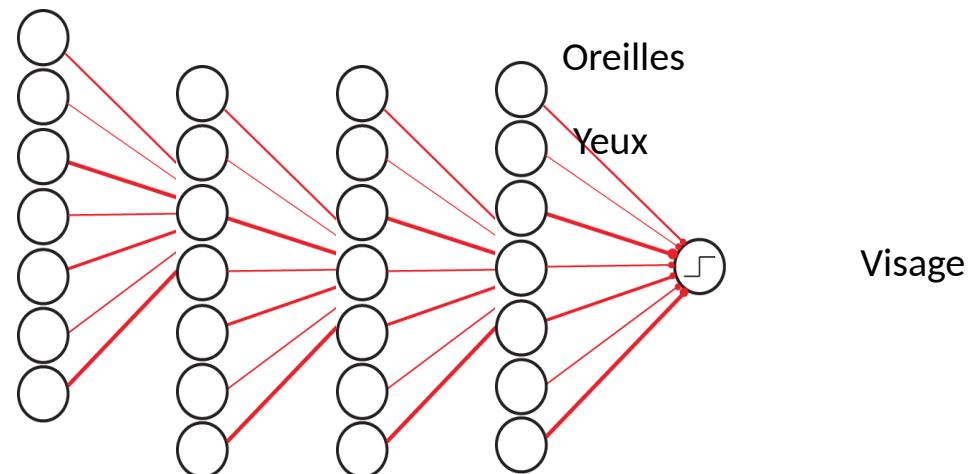
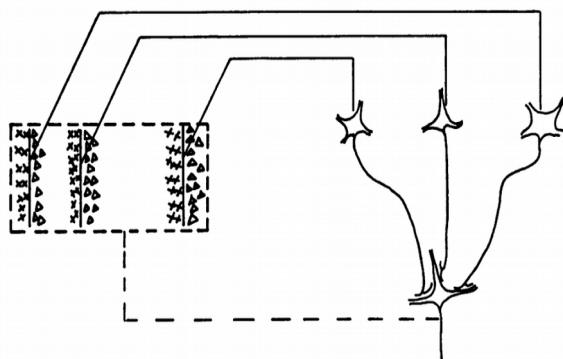
Geometrical and statistical properties of systems of linear inequalities with applications in pattern recognition

Cover

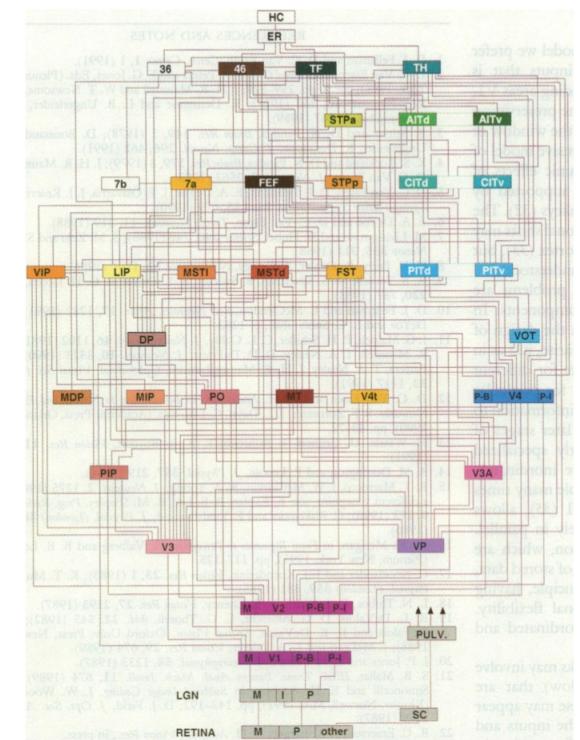
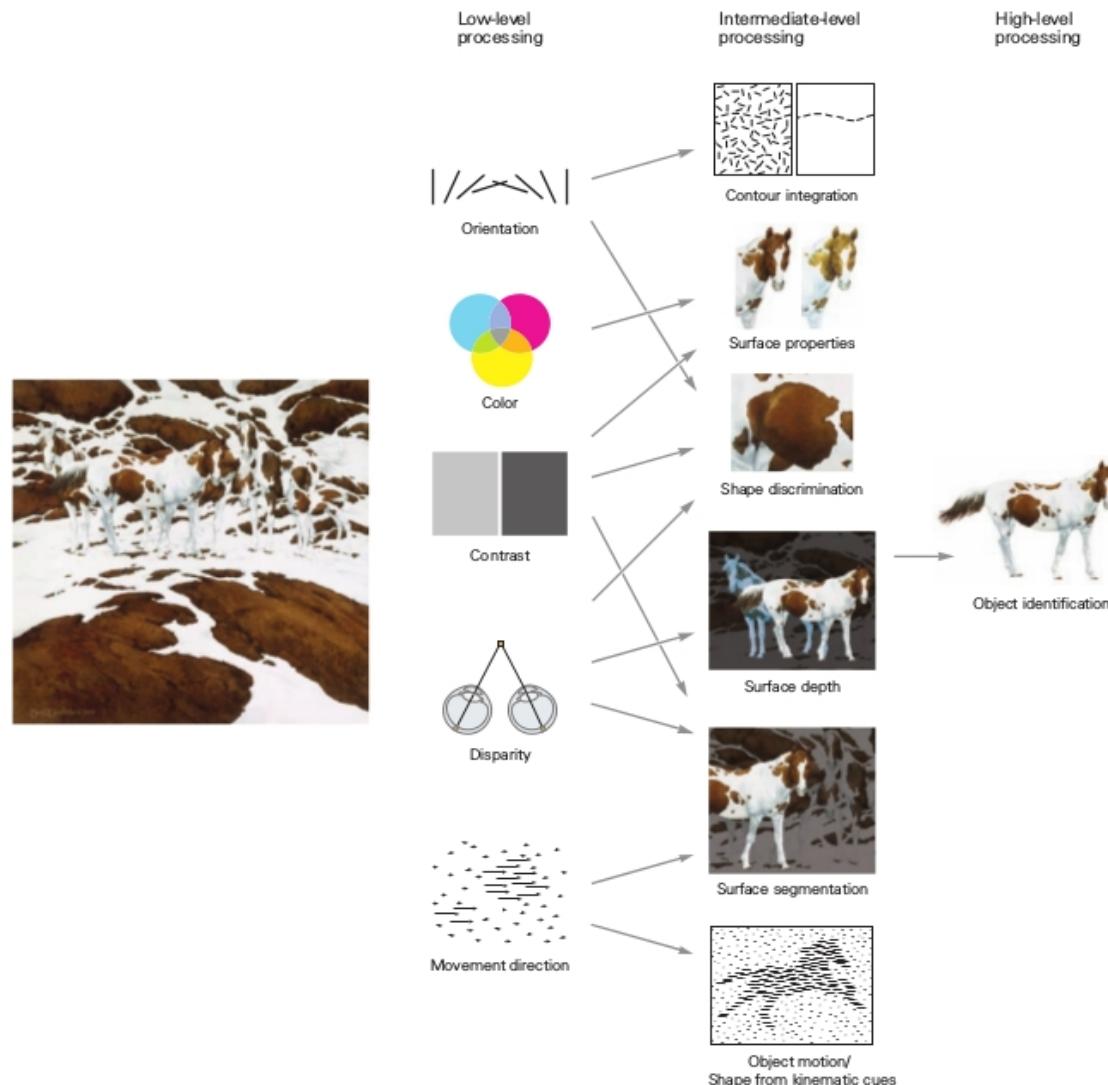
Sparseness and Expansion in Sensory Representations Babadi & Sompolinsky

Homologie avec les réseaux de neurones: l'aspect hiérarchique

La hiérarchie du réseau permet d'apporter une solution au problème de la reconnaissance invariante d'objets (compromis selectivité-invariance), en décomposant une tâche complexe en une hiérarchie de sous-tâches où le problème est **partiellement** résolu.



Le système visuel est structuré de façon hiérarchique



Felleman et Van Hessen
1991



Apprend-on à voir ?

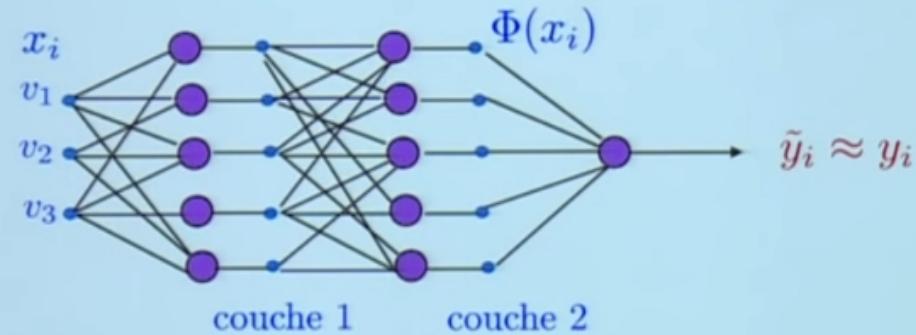
Acquis/ inné

Structure apprise/ structure apprenante

Statistiques du monde / méchanismes et structures d'apprentissage ← évolution



Réseaux de Neurones



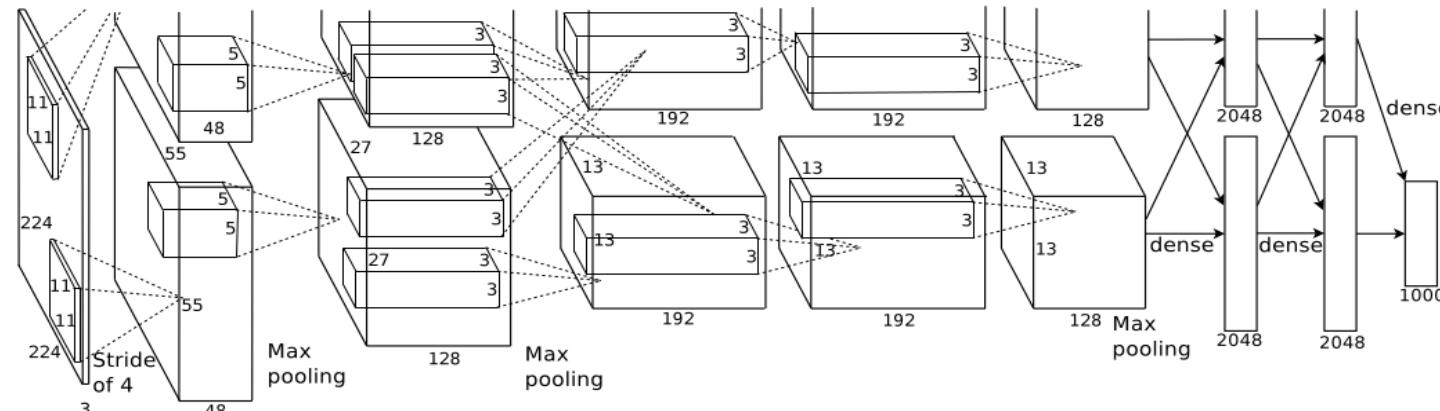
Apprentissage: optimise les **paramètres** pour minimiser les erreurs sur les exemples. Problèmes difficiles d'optimisation.

Information à priori: elle est dans l'architecture du réseau.



Stéphane
Mallat

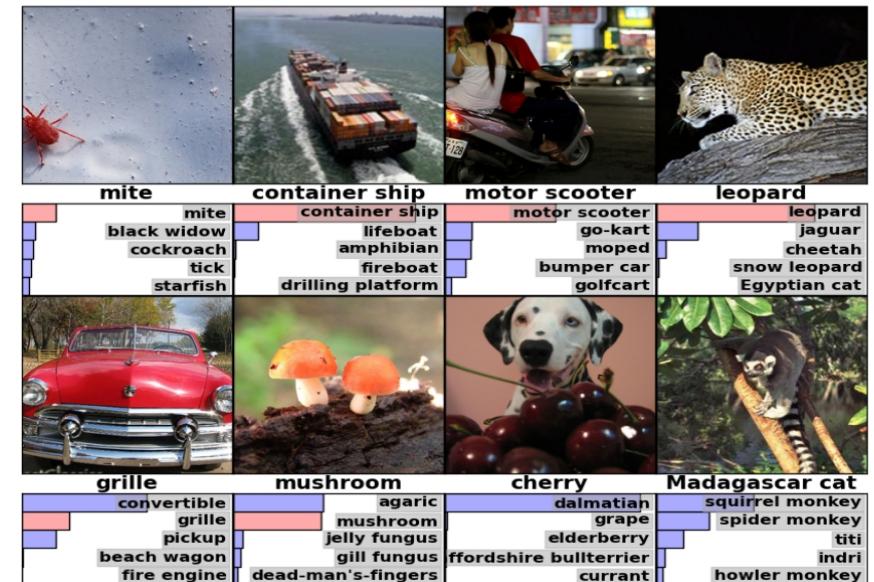
Le réseau de neurones qui a récemment battu les humains en termes de reconnaissance d'images, a une architecture purement “feed-forward”



ImageNet. groupe de G. Hinton



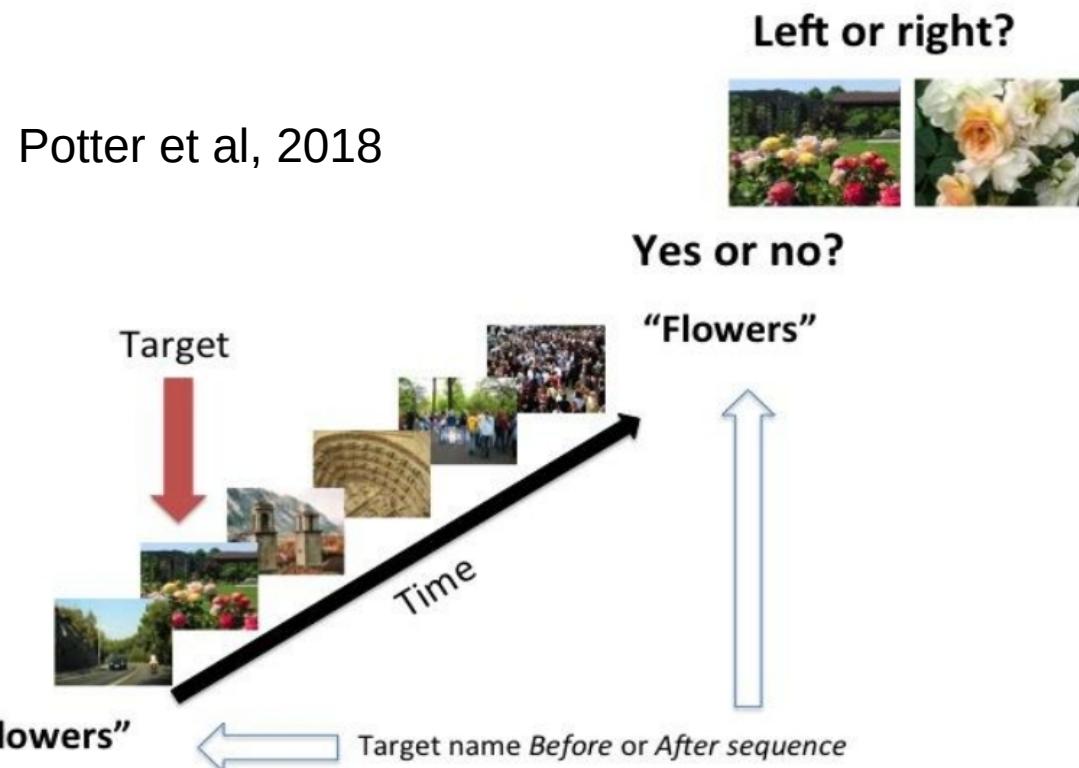
Première couche de filtres !



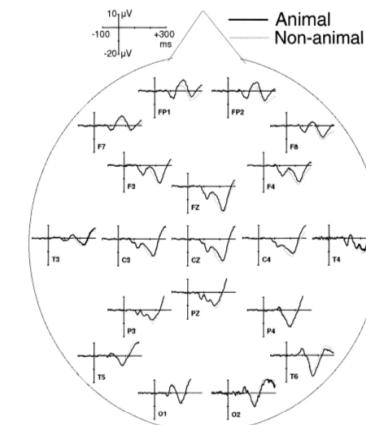
La reconnaissance des catégories (et pas des détails) se fait de façon ascendante “feed-forward”, comme dans les réseaux de neurones

Thorpe et al 1996 (250 ms)

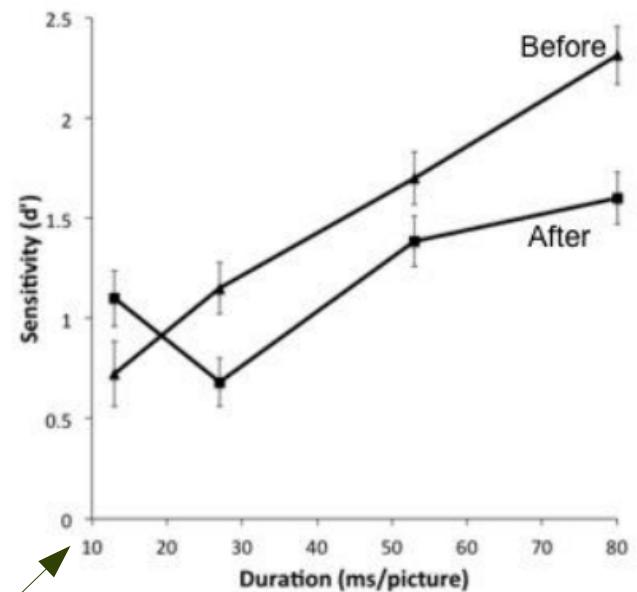
Potter et al, 2018



En 13 ms un humain peut reconnaître une image !



Detection



La reconnaissance des catégories (et pas des détails) se fait de façon ascendante “feed-forward”, comme dans les réseaux de neurones

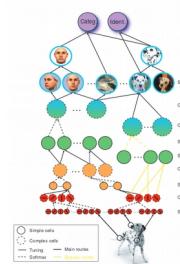
La reconnaissance feed-forward se fait de façon **automatique** et **implicite**...

La perception initiale est de haut niveau, **catégorique**... on perçoit “la forêt avant les arbres”



Tâches: présentation visuelle rapide et serielle (PVRS): 10/16 photos par seconde...

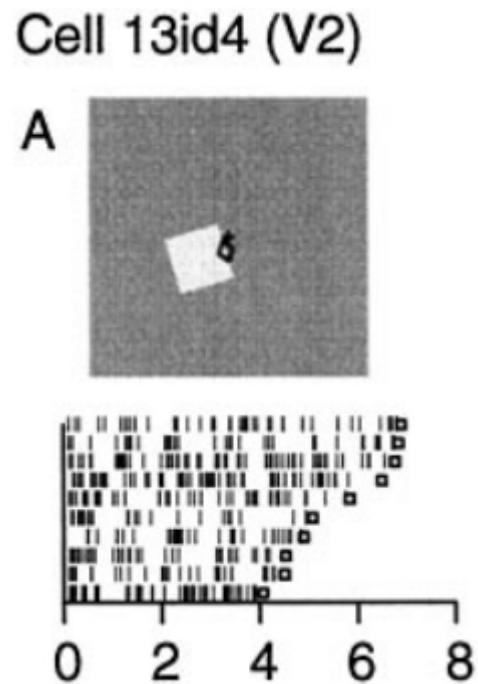
Les études montrent que les personnes sont incapables de rendre compte des détails, ou de voir de grands changements entre deux photos.



Si la conscience a accès aux représentations de haut niveau, ces représentations sont par définition invariantes à la position spatiale, la taille, le point de vue... et donc leur activité indique seulement leur présence, et pas leurs détails.

Réponses de champs récepteurs “non classiques”

Zhou “Coding of border ownership in monkey visual cortex” JN 2000.

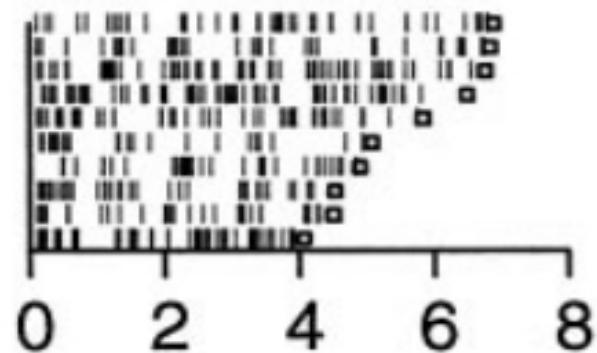
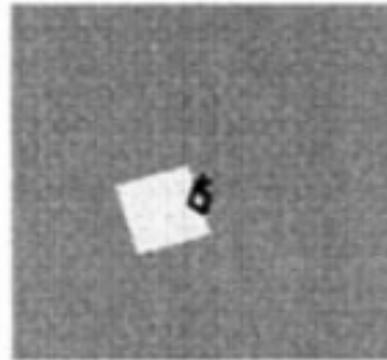


Réponses de champs récepteurs “non classiques”

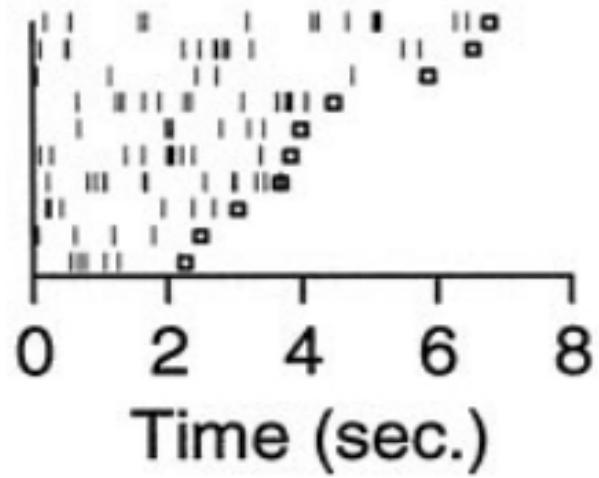
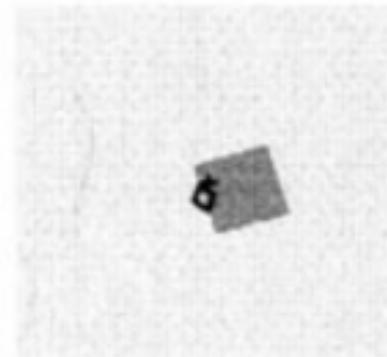
Zhou “Coding of border ownership in monkey visual cortex” JN 2000.

Cell 13id4 (V2)

A

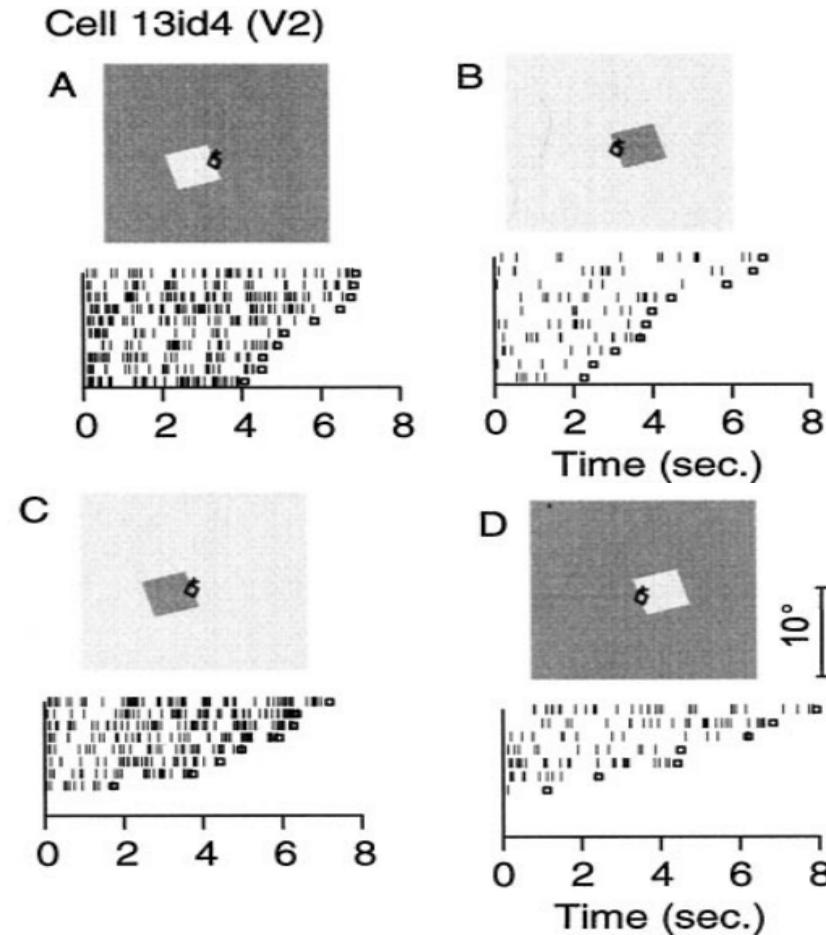


B



Réponses de champs récepteurs “non classiques”

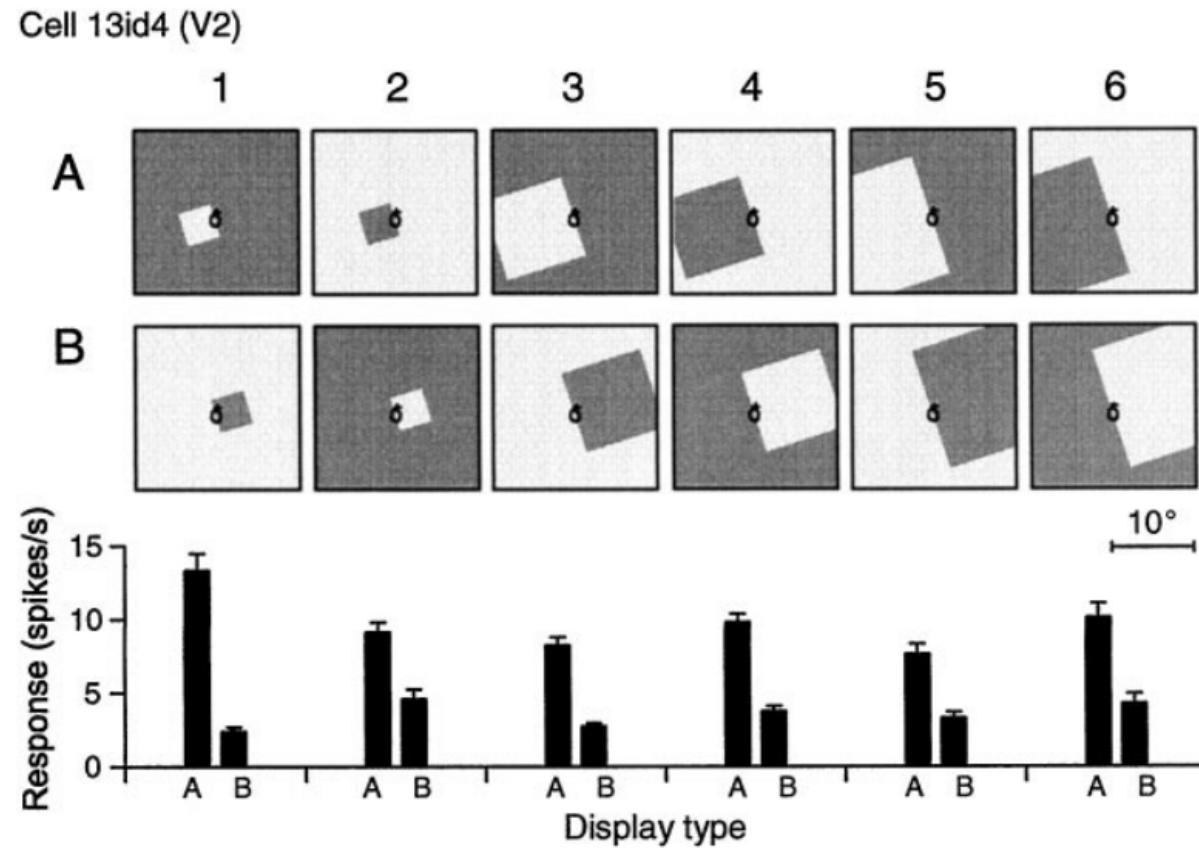
Zhou “Coding of border ownership in monkey visual cortex” JN 2000.



Ce neurone semble coder pour l'appartenance au bord d'un objet

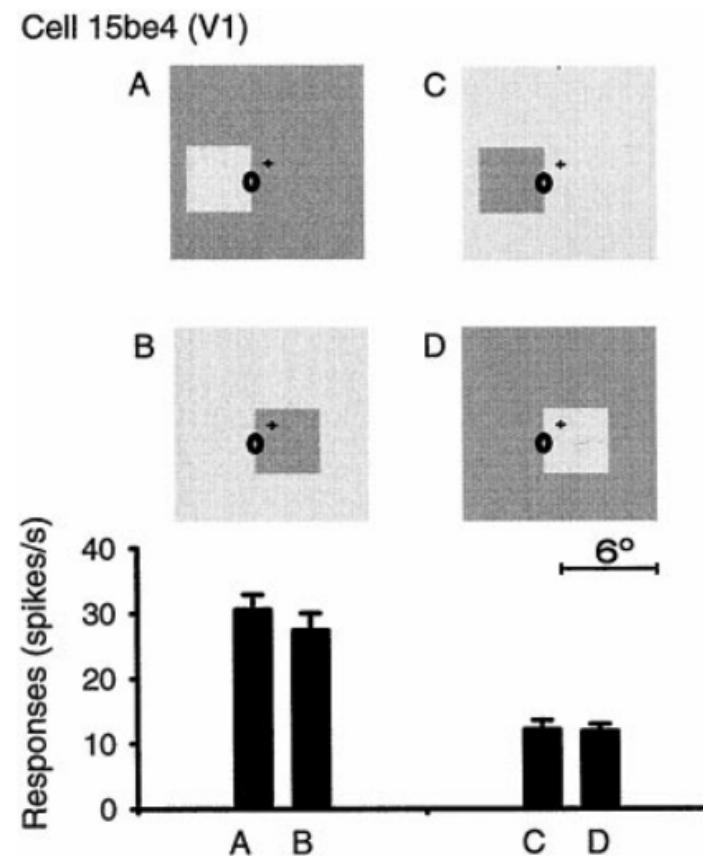
Réponses de champs récepteurs “non classiques”

Zhou “Coding of border ownership in monkey visual cortex” JN 2000.



Réponses de champs récepteurs “non classiques”

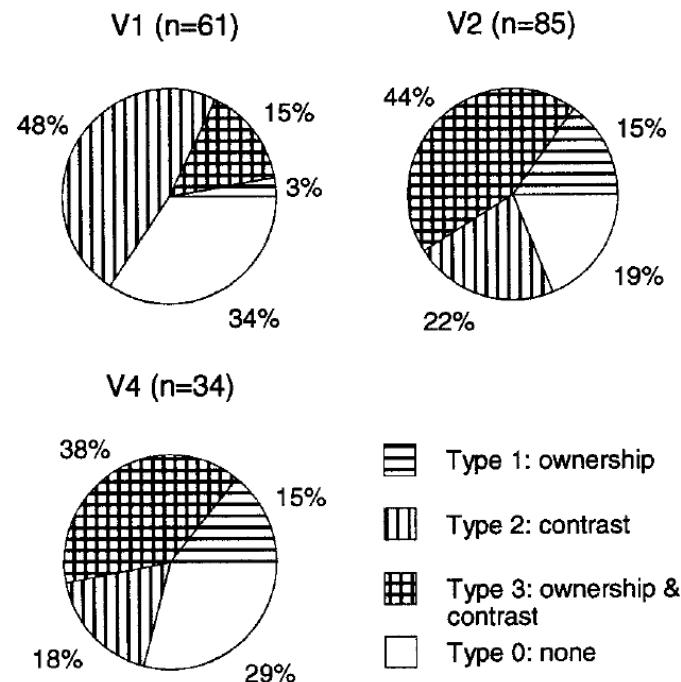
Zhou “Coding of border ownership in monkey visual cortex” JN 2000.



Sélectivité à la polarité locale du contraste

Réponses de champs récepteurs “non classiques”

Zhou “Coding of border ownership in monkey visual cortex” JN 2000.



Cette étude montre que les neurones en V1, V2 et V4 peuvent être influencées par une région qui va bien au delà du voisinage du champ récepteur.