

Adèle BOURGEIX  
Gauthier HENON  
Maud SAINT-AMAND

# A Quantitative Map of the Circuit of Cat Primary Visual Cortex

*Tom Binzegger, Rodney J. Douglas, and Kevan A. C. Martin (2004)*



SISN 2018

## Introduction

La principale difficulté dans la cartographie cérébrale n'est pas de distinguer les différents groupes de neurones mais d'établir quels neurones sont reliés et communiquent entre eux. En effet, en 1981, l'expérience de Gilbert & Weisel permet d'élaborer un schéma qualitatif du cortex cérébral d'un chat en supposant que chaque neurone reçoit l'information d'une seule et unique source. Cela constitue une des premières étapes de la cartographie du cortex cérébral.

Le principal enjeu devient alors de considérer le poids de l'information transmise. Par exemple, l'expérience de Ahmed en 1994 a montré que dans le cortex visuel primaire du chat, seulement 5% des synapses sont excitées directement par le corps géniculé latéral (partie du cerveau traitant les informations visuelles provenant de la rétine). L'information reçue est également formée à partir de nombreuses autres synapses.

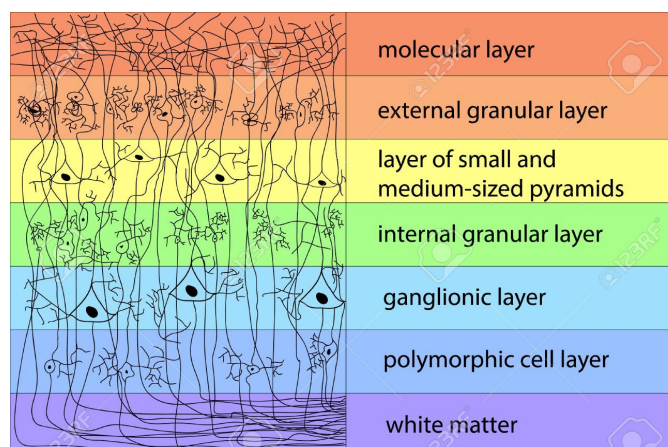
Le but de l'étude menée par Tom Binzegger, Rodney J. Douglas and Kevan A. C. Martin en 2004 est de créer une carte quantitative compréhensible qui approche au mieux le circuit local neuronal du cortex visuel du chat.

## Développement

Pour procéder à l'expérimentation, les chercheurs ont utilisé deux méthodes expérimentales différentes : l'une intracellulaire et l'autre extracellulaire. Pour réaliser une étude intracellulaire *in vivo*, les chats furent anesthésiés.

La première méthode a mieux fonctionné grâce au peroxydase de raifort qui fut introduit (HRP) dans les cellules par ionophorèse, permettant de mettre certaines zones en évidence. Les chercheurs ont ensuite sectionné les zones où le HRP avait été injecté puis révélé au microscope les zones où il s'était diffusé. Ils ont alors pu reconstituer les neurones en 3D (grossissement x400) grâce à des points, ces points étant caractérisés par leurs coordonnées spatiales, leur épaisseur et le type de la structure qu'ils représentent (axone, bouton, dendrite). Les axones et dendrites sont représentés par des courbes linéaires dont l'organisation semble complexe.

Les chercheurs ont ensuite déterminé à laquelle des 6 couches qui composent le néocortex chaque élément de la section appartenait.



Pour les axones de grande taille (>1mm), il a été difficile de trouver une projection correcte pour représenter leur position relative tout en respectant les limites laminaires des couches. Les dendrites peuvent en effet s'étaler sur deux couches différentes.

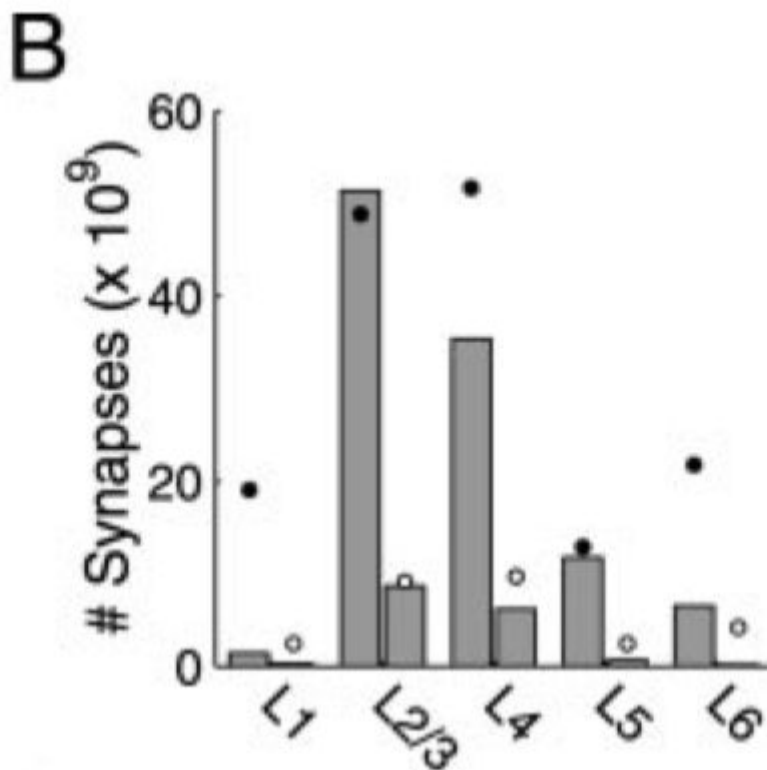
Pour déterminer la proportion de dendrites abritées par chacune des couches, ils découpèrent en segments et comptèrent le nombre de segments dans chaque couche afin de déterminer un ratio. Ils cherchèrent finalement à compter le nombre de neurones par couches en distinguant pour chaque couche le nombre de cellules par millimètre carré dans le néocortex.

La règle de Peter fut une notion importante pour le déroulement de leur étude. Celle-ci établit qu'une synapse dans la couche u formée par les neurones de type j distribue de manière égale les potentiels aux neurones de la couche u. Cette règle fut généralisée par les scientifiques pour leur permettre de répondre aux problèmes de leur étude. De par cette règle, il en ont déduit une formule donnant le nombre moyen de synapses que chaque neurone de type i reçoit dans la couche u.

Il est alors nécessaire de distinguer le cas des cellules Chandelier et des autres pour perfectionner la formule. Grâce à cela, le nombre moyen de synapses formées entre les neurones dans différentes couches fut estimé. A noter que les cellules Chandelier sont des cellules constituant des synapses symétriques avec le segment initial axonal des cellules pyramidales. Elles sont localisées principalement dans les couches 2 et 3. En moyenne on compte 32 synapses sur le segment initial axonal formé par des cellules Chandelier.

Pour estimer le nombre moyen de synapses formés entre les différentes couches, ils ont eu besoin d'estimer trois ensembles de paramètres (c'est-à-dire, les modèles laminaires des "nuages" synaptiques et les arbres dendritiques) et le nombre de neurones de chaque type de cellules (smooth, spiny, et autres non catégorisables). Ensemble par ensemble, une étude approfondie a été réalisée pour déterminer tous ces paramètres nécessaires au calcul.

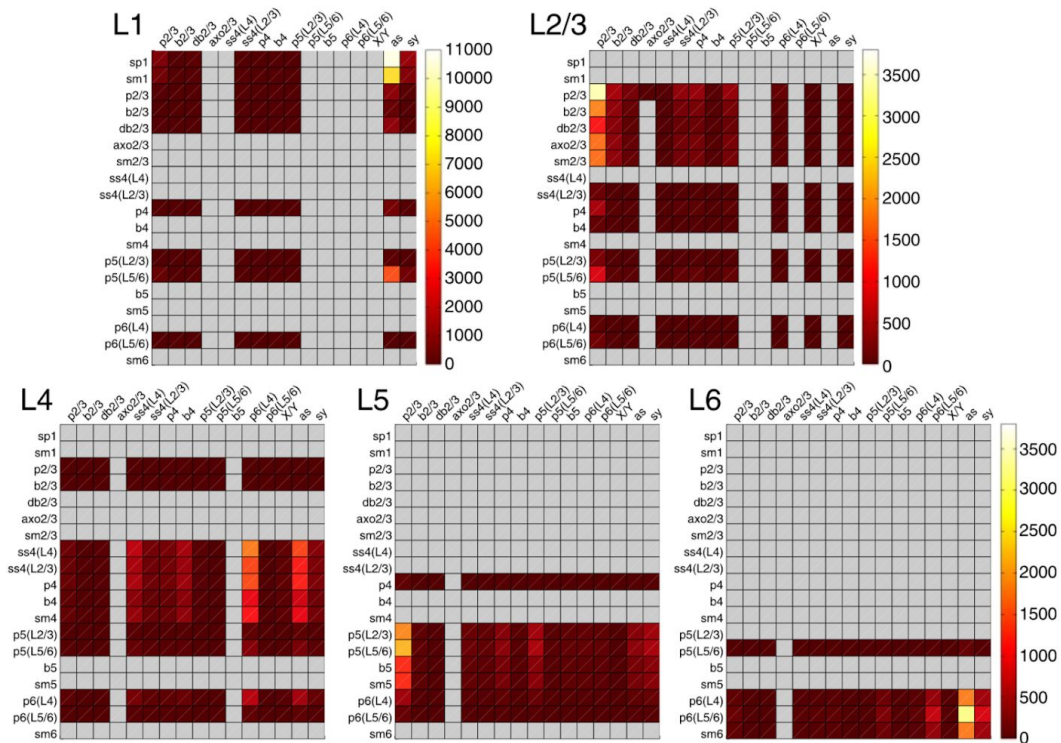
Grâce à la formule précédente désormais paramétrée, ils ont alors été en mesure d'estimer le nombre moyen de synapses que les neurones d'un type de cellule forment avec un neurone individuel et ce pour chaque couche.



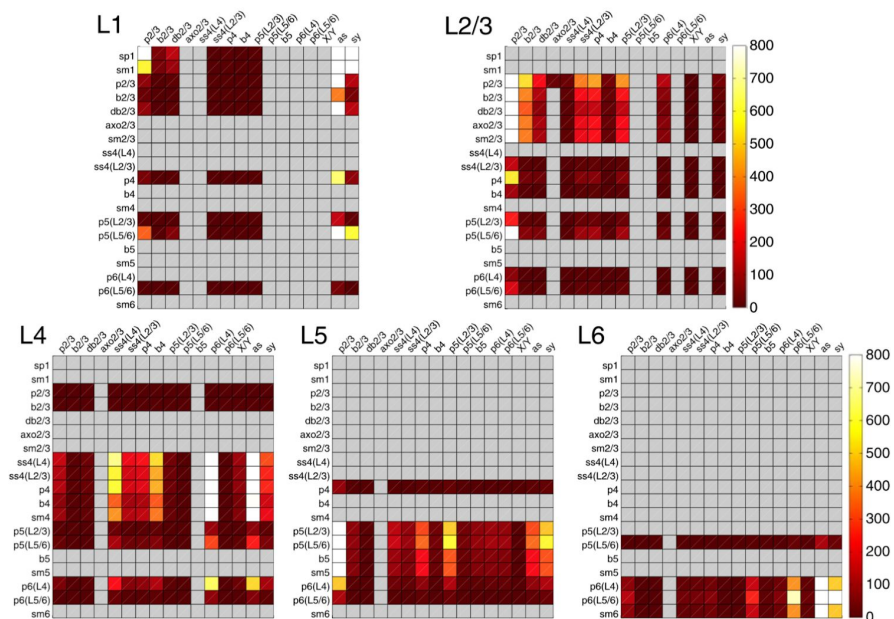
*Nombre de synapses par couche*

L'un des problèmes de cette étude est qu'elle prend en compte les résultats de nombreuses autres études, notamment celle de Beaulieu et Colonnier, mais aussi des approximations comme celles du nombre de neurones pour un type de cellule donnée. Les estimations ne sont pas basées sur des mesures expérimentales mais sur des résultats relatifs qui ne sont pas des mesures absolues.

Grâce à la règle de Peter, il a ensuite été possible de réaliser, pour chaque couche, un quadrillage représentant la densité de neurones connectés à un type de cellule présynaptiques en abscisse et postsynaptiques en ordonnées. Voir ci-dessous.



A partir de ces résultats, on peut distinguer deux types de projections de réseaux d'axones et dendrites sur les couches du néocortex : des projections faibles (qui représentent la majorité des projections) et des projections fortes (en minorité). Les projections faibles correspondant à un nombre réduit de synapses (de l'ordre de  $98 \pm 78$  synapses pour un neurone particulier) tandis que les projections fortes correspondent à de plus grandes proportions. Par exemple, les neurones de la couche 5 reçoivent  $2121 \pm 1018$  synapses des cellules pyramidales de la couche 2/3.



*En couleur, les projections faibles. En blanc, les projections fortes.*

Par utilisation de la simple règle de connectivité de Peter, les chercheurs ont réussi à générer un réseau complexe de neurones. Ce modèle quantitatif et objectif prend en compte les différents principaux types de cellules.

Dans cette étude, les chercheurs ont cependant négligé de distinguer les poids accordés aux synapses des différents types de cellules. Un poids spécifique n'a donc pas pu être affecté aux projections pour chaque type de cellules.

## **Conclusion**

Il existe finalement des zones qui n'ont pas pu être cartographiées (matière noire du cortex), des synapses dont l'origine reste inconnue. S'il est possible d'estimer la source pour certaines parties, toutes les cellules smooth n'ont pas encore été rencontrées et leur absence dans cette étude en constitue une de ses lacunes principales. Il est donc indispensable dans le futur de compléter les données manquantes sur les cellules smooth chez le chat.

Le circuit réalisé décrit la connectivité moyenne entre les différents types de neurones. Cependant, les calculs de connectivité réalisés s'appuient sur le cas particulier des cellules Chandelier qui ne prennent pas en compte les axones de certains neurones smooth. Les modèles futurs pourraient donc amener des précisions à ce modèle une fois que des données suffisantes seront disponibles.

Pour finir, une estimation du nombre de synapses formées entre les neurones placés horizontalement est une future étape importante de cette caractérisation quantitative du circuit néocortical du chat.