

Un nouveau Maglev

Des aimants permanents pour faire léviter un train.

L'avatar moderne du tapis volant est le *Maglev*, le train qui lévite grâce à des forces magnétiques. Dans les années 1970 et 1980, l'Allemagne et le Japon en ont construit des prototypes, mais ces systèmes sont restés beaucoup plus coûteux que les trains à grande vitesse français. Au Laboratoire Lawrence Livermore, le physicien Richard Post et ses collègues relancent l'idée, avec un nouveau principe de sustentation magnétique plus stable et meilleur marché.

Le *Maglev* japonais utilisait un équipement cryogénique coûteux, embarqué, pour refroidir les aimants supraconducteurs à la température de cinq kelvins (-268°C). Le *Maglev* allemand utilisait des électro-aimants classiques, mais le système était instable, parce qu'il était fondé sur une attraction constante des rails et du train. De surcroît, chaque wagon devait être équipé de capteurs et de circuits de rétroactions, qui détectaient en temps réel la distance entre les électro-aimants des wagons et les rails, afin d'ajuster les forces magnétiques nécessaires à la sustentation.

Au Laboratoire Lawrence Livermore, le nouveau dispositif provient de recherches sur des batteries pour voitures et pour camions : les physiciens avaient étudié le stockage de l'énergie sous forme cinétique de rotation dans un volant d'inertie, dont ils réduisaient les frottements en remplaçant les classiques roulements à billes par des paliers magnétiques en sustentation. Ils ont compris qu'on pourrait dérouler leurs systèmes afin de créer un nouveau type de sustentation pour train.

Le dispositif obtenu, nommé *Indutrack*, ne comporte ni aimant supraconducteur, ni électroaimant : les patins des wagons sont une enfilade d'aimants permanents classiques, disposés alternativement dans la direction des rails et dans la direction perpendiculaire (voir la figure). Quand les aimants sont ainsi disposés en «réseaux de Hallbach» (du nom de leur inventeur, Klaus Hallbach), les lignes de champ magnétique se renforcent sous le réseau, tandis qu'elles s'annulent, au-dessus.

Les rails, d'autre part, sont composées d'une série de bobines de fil conducteur ; chaque



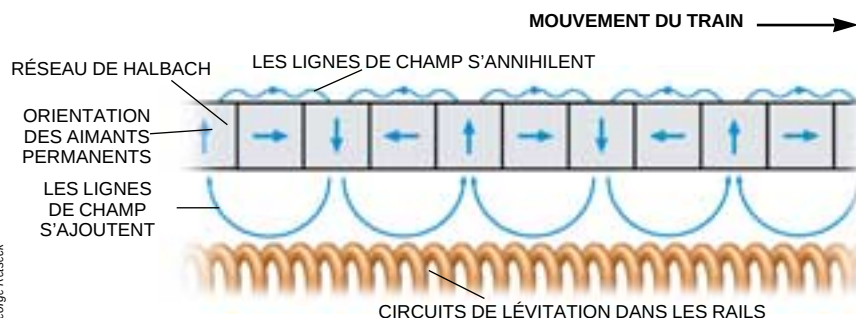
Le prototype du train à sustentation magnétique américain.

bobine est fermée. L'*Indutrack*, comme son nom l'indique (*track* signifie «rail», en anglais) exerce une force de lévitation parce que les aimants permanents embarqués, quand ils sont en translation au-dessus des bobines des rails, y «induisent» des courants électriques ; ces courants induits engendrent alors un champ magnétique qui repousse le réseau d'aimants. Le champ magnétique agit ainsi comme un ressort comprimé : la force de lévitation augmente exponentiellement quand la distance diminue, de sorte que l'*Indutrack* est stable, sans

circuits de contrôle. Les physiciens ont calculé que l'*Indutrack* serait suffisant pour repousser le train à quelques centimètres au-dessus des rails dès les vitesses supérieures à la vitesse d'un homme qui marche.

Ayant perfectionné ce principe, les physiciens américains ont fabriqué un petit prototype et, sur 20 mètres de rails, ils ont fait léviter un chariot pesant 22 kilogrammes. Au départ, le chariot roulait sur des roues rétractables, qui l'ont accéléré jusqu'à une vitesse de 40 kilomètres à l'heure ; puis, à cette vitesse, le chariot a levité et fait la preuve de ses performances.

Un train équipé de ce système coûterait un tiers de moins que le *Maglev* allemand ; il resterait de construction plus coûteuse qu'un train à grande vitesse, mais l'énergie consommée pour le propulser serait bien inférieure à celle d'un train classique. Tandis que des équipes étudient ce projet de train, la NASA envisage d'utiliser l'*Indutrack* pour accélérer des fusées sur une rampe inclinée, jusqu'à 0,8 fois la vitesse du son ; les moteurs des fusées prendraient alors le relais, ayant économisé leur carburant.



Dispositif de lévitation mis au point au Laboratoire Lawrence Livermore.

Les plus anciens vertébrés connus...

... sont des poissons chinois datant de 540 millions d'années.

L'histoire des principaux groupes d'animaux est suivie au travers des découvertes fossiles jusqu'au début de l'ère primaire, au Cambrien (de 480 à 550 millions d'années). Hélas, les gisements fossilifères aussi anciens sont rares. L'un des plus connus est celui du schiste de Burgess, au Canada, qui a livré les restes pétrifiés d'éponges, d'arthropodes, d'échinodermes, de possibles céphalocordés, etc. Ce gisement, ainsi que celui de Chengjiang, en Chine, que nous évoquons ici, montrent qu'il existait déjà une grande diversité d'animaux pluricellulaires au Cambrien inférieur et moyen.

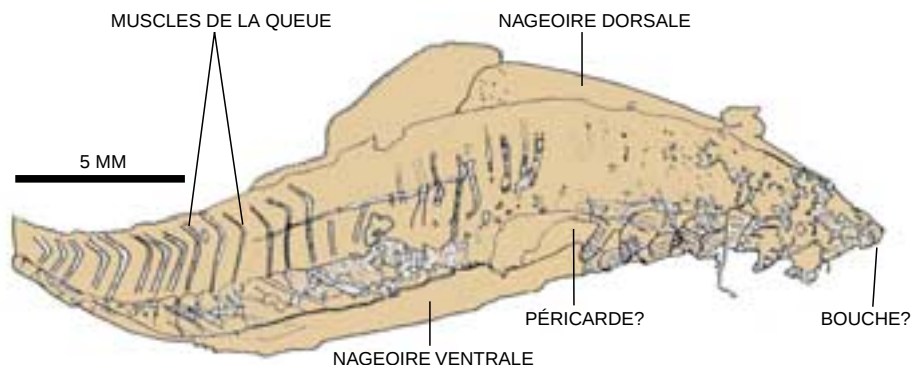
Jusqu'en 1999, un des grands groupes semblait pourtant absent de cette «explosion cambrienne» : les vertébrés. Cet embranchement, dont l'espèce humaine fait partie, était connu avec certitude depuis l'Ordovicien (de 435 à 480 millions d'années). Quelques restes, parmi lesquels des euconodontes, petits fossiles en forme de denticules, dont la parenté est longtemps restée mystérieuse et qui sont aujourd'hui rapprochés des vertébrés, et de petits fragments de carapaces ont été trouvés dans des roches du Cambrien supérieur. Toutefois, les relations de parenté entre ces organismes et les vertébrés sont objet de controverses et ne nous donnent pas d'image précise des premiers poissons.

La situation a évolué grâce à une publication récente, dans la revue *Nature*, de deux chercheurs, chinois et anglais, où sont décrites deux nouvelles espèces de vertébrés provenant du Cambrien inférieur de Chine (~540 millions d'années). La localité fossilifère, Chengjiang, dans le

Yunnan, avait déjà livré d'exceptionnels fossiles dont les tissus mous avaient été partiellement préservés. De probables chordés primitifs, un large groupe qui comprend les vertébrés et l'amphioxus, un petit animal en forme de ver, avaient été signalés dans ce gisement. Cette fois, les nouveaux fossiles découverts se sont révélés être ceux de véritables vertébrés ; il s'agit de deux petites empreintes de moins de trois centimètres de long, où les structures anatomiques apparaissent sous forme de légères traces dans le sédiment. On y observe les muscles de la queue constituant des ensembles en forme de zigzag, un crâne apparemment cartilagineux, des arcs branchiaux, un cœur de grande taille, peut-être enfermé dans un péricarde, et, sur un des deux spécimens au moins, des rayons soutenant les nageoires, autant de caractères typiques des vertébrés.

Comme c'est souvent le cas quand on découvre des fossiles d'espèces très primitives, certains des détails observés sur les deux nouveaux poissons soulèvent des questions inopinées. La première des deux espèces, *Mylokunmingia fengjiaoa*, ou «le joli poisson de Kunming», montre apparemment une double nageoire ventrale en forme de ruban, alors que les paléontologues supposaient jusqu'alors que cet organe était apparu bien plus tard dans l'évolution des poissons. La seconde espèce, *Haikouichthys ercaicunensis* (son nom fait référence à deux localités proches du lieu de la découverte) présente des rayons soutenant sa nageoire dorsale qui sont étrangement orientés vers l'avant, alors qu'ils sont généralement orientés vers l'arrière chez les autres poissons (voir les deux figures). Est-ce une spécialisation propre à cette espèce, un caractère primitif des vertébrés ou une déformation *post mortem*?

L'extrême rareté des fossiles de vertébrés dans le gisement de Changjiang par rapport aux autres organismes indique que ces petits poissons étaient probablement capables de nager pour échapper aux coulées de boue qui ont recouvert les organismes avant leur fossilisation.



BRÈVES

Une pléiade de pommes de terre

À la fin du mois de juin, les villageois du Pérou et de Bolivie scrutent le ciel, et particulièrement l'amas des Pléiades, dans la constellation du Taureau.

Plus la luminosité de ces étoiles est faible, plus la plantation des pommes de terre, sensibles à la sécheresse, est retardée. Superstition? Non, empirisme que des climatologues de l'Université de Columbia ont confirmé en



comparant la couverture nuageuse au-dessus des Andes, l'abondance des récoltes, les précipitations et les oscillations climatiques dues au phénomène El Niño : pendant les années de sécheresse, les nuages d'altitude sont plus nombreux : presque invisibles, ils diminuent néanmoins la visibilité des Pléiades.

La solitude du trou noir

À l'aide du télescope spatial *Hubble*, enfin réparé, les astronomes ont découvert le premier trou noir isolé. Jusqu'ici, tous les trous noirs connus étaient dans des systèmes doubles. Ainsi, conformément aux théories stellaires, les trous noirs n'auraient pas besoin d'interaction avec un compagnon pour se former. Lors de leur formation, ces trous noirs solitaires sont éjectés à grande vitesse et passent devant quantité d'étoiles. C'est un effet de microlentille gravitationnelle due au passage du trou noir devant une étoile, qui se trouve alors momentanément plus lumineuse, qui a permis cette découverte. La chasse aux trous noirs solitaires est ouverte. Dans quelle mesure contribuent-ils à la matière noire de notre Galaxie?

Les hormones du père

Au cours des neuf mois que dure sa grossesse, une future mère subit des transformations hormonales notables, mais... le futur père aussi. Chez la future mère, les concentrations sanguines en prolactine, qui déclenche la lactation, en cortisol, qui favorise l'instinct maternel, et en œstradiol, hormone femelle, augmentent, pour diminuer après la naissance. L'étude de prélèvements sanguins de futurs pères a révélé que les concentrations hormonales évoluent aussi au cours de la grossesse de leur compagne : moins, mais dans le même sens. La testostérone chute notablement après la naissance. Est-ce un signe du renforcement du comportement paternel?

Des traces moléculaires

Selon des archéologues de l'Université de Philadelphie, les convives du banquet funèbre de Midas, roi de Phrygie au VIII^e siècle avant notre ère, avaient bon appétit. En analysant les traces de molécules organiques présentes sur la vaisselle retrouvée dans la tombe du roi malmené par les légendes, ils ont reconstitué le menu : la nature et la quantité des triglycérides et des acides gras saturés et insaturés indiquent une viande de mouton et de chèvre grillée, désossée avant d'être assaisonnée. Dans les verres, l'acide tartrique, l'oxalate de calcium et la cire d'abeille attestent un mélange fermenté de raisin, de bière d'orge et d'hydromel, le *kykeon*.

Remède de grand-mère

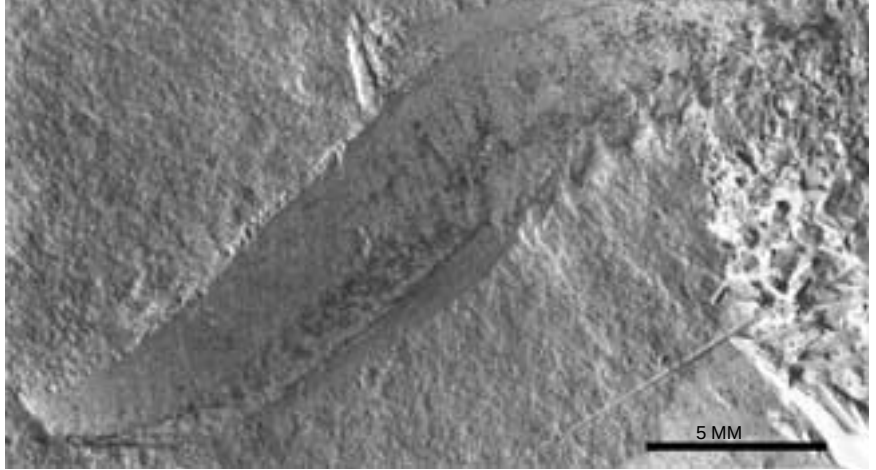
L'huile de foie de morue a été une panacée pendant des décennies. Si les enfants qui l'ingurgitaient avec dégoût avaient connu ses vertus, la cuillerée aurait été plus facile à avaler. Une équipe anglaise

vient de montrer que l'huile de foie de morue contient des substances qui inhibent la douleur et les phénomènes inflammatoires liés à l'arthrite ; l'huile contient des acides gras qui lui sont spécifiques et qui inhibent l'activité de certaines enzymes dans le cartilage, notamment

d'une enzyme responsable de la synthèse de substances inflammatoires et qui entretiennent la douleur. Heureusement, aujourd'hui l'huile de foie de morue est disponible sous forme de comprimés.

Clonage d'un primate

Le premier primate cloné, un petit singe rhésus, vient de naître. C'est une femelle, nommée Tétra, qui est en bonne santé. D'autres mammifères ont déjà été clonés, notamment des souris et la brebis Dolly, mais Tétra est plus proche de l'homme. Elle a été obtenue à partir d'un embryon de huit cellules qui ont été disloquées mécaniquement. Chaque groupe de deux de ces cellules a été introduit dans un œuf dépourvu de son contenu, lequel a été implanté sur une mère porteuse. Deux des quatre embryons identiques se sont implantés, mais seul un jeune a vu le jour. Même si le taux de réussite est assez faible, cette méthode donnera des modèles animaux très proches de l'homme, qui permettront de combler le fossé qui sépare la souris transgénique de l'homme malade.



Les poissons forment un ensemble hétérogène de vertébrés. Aujourd'hui, la majorité d'entre eux est classée dans le groupe des gnathostomes, les vertébrés à mâchoires. Les seules exceptions sont les myxines et les lampiroies, qui ont une bouche sans mâchoire articulée, et constituent le groupe primitif des agnathes. À l'ère primaire, les agnathes étaient beaucoup plus abondants et diversifiés qu'aujourd'hui, et c'est sans surprise que les deux petits poissons chinois entrent dans ce groupe. Or l'étude plus précise des relations de parentés montre qu'une de ces deux formes, *Haikouichthys ercaicunensis*, serait plus proche des lampiroies que de n'importe quel autre type de poissons. Ce résultat étonnant indique que le groupe des lampiroies se serait individualisé extrêmement tôt dans

l'histoire des poissons et, par conséquent, que l'origine commune de l'ensemble des vertébrés est à rechercher encore plus loin dans le passé. Mais des organismes aussi anciens, dépourvus de squelette ou de carapace dure propice à la fossilisation, sont extrêmement rares.

On connaît quelques gisements fossilifères du Précambrien supérieur, notamment celui d'Édiacara, en Australie, où des organismes très étranges ont été décrits. Le malheur pour le paléontologue est qu'aucun d'entre eux n'a été actuellement reconnu comme un ancêtre possible des vertébrés. L'image de cet ancêtre est pour l'instant une construction de l'esprit, une sorte de chimère alliant des caractères de larve de lampiroie et d'amphioxus.

Lionel CAVIN

Connectique neuronale

Outre les connexions entre relais visuels, des connexions silencieuses «horizontales» modulent en permanence l'activité du cortex.

Comment naît la perception ? Dans son *Traité de l'Homme*, René Descartes imagine que les organes des sens, notamment la rétine, dans le cas du système visuel, se projettent «verticalement», par l'intermédiaire de relais cérébraux, jusqu'au siège ultime de la perception visuelle. La formation d'une image neuronale se ferait par une projection ordonnée respectant, à chaque étape du traitement, l'ordre défini dans la rétine.

Au contraire, d'autres philosophes envisagent un mécanisme collectif, réparti dans l'écorce cérébrale sensorielle, et résultant de la comparaison et de la sommation «horizontale» d'activités locales. De cette façon, le système visuel reconnaît un objet quel que soit la localisation

de son image sur la rétine. Yves Frégnac et ses collègues de l'Équipe Cognisciences, à l'Institut Alfred Fessard, au CNRS de Gif-sur-Yvette, qui étudient *in vivo*, les mécanismes cellulaires responsables du traitement des informations sensorielles, ont mis en évidence qu'au cours de la perception visuelle, ces deux processus coexistent. La stimulation d'un point de la rétine active une région précise du cortex, puis donne lieu à une vague d'activation qui se propage dans le cortex et qui autorise l'établissement de relations privilégiées entre des neurones analysant des régions éloignées du champ visuel.

Lorsque le cerveau s'ouvre au monde visuel afin de restituer son environnement, il analyse les informations issues de milliers d'images passant simultanément à travers des filtres qui sélectionnent, les uns la couleur, les autres la forme, l'orientation ou encore la texture. Chacune de ces caractéristiques est à son tour subdivisée selon des critères plus précis : pour la détection de la forme, certains neurones sont sélectivement activés par l'orientation particulière d'un contour (verticale, horizontale ou oblique). Ce sont les neurones du cortex visuel

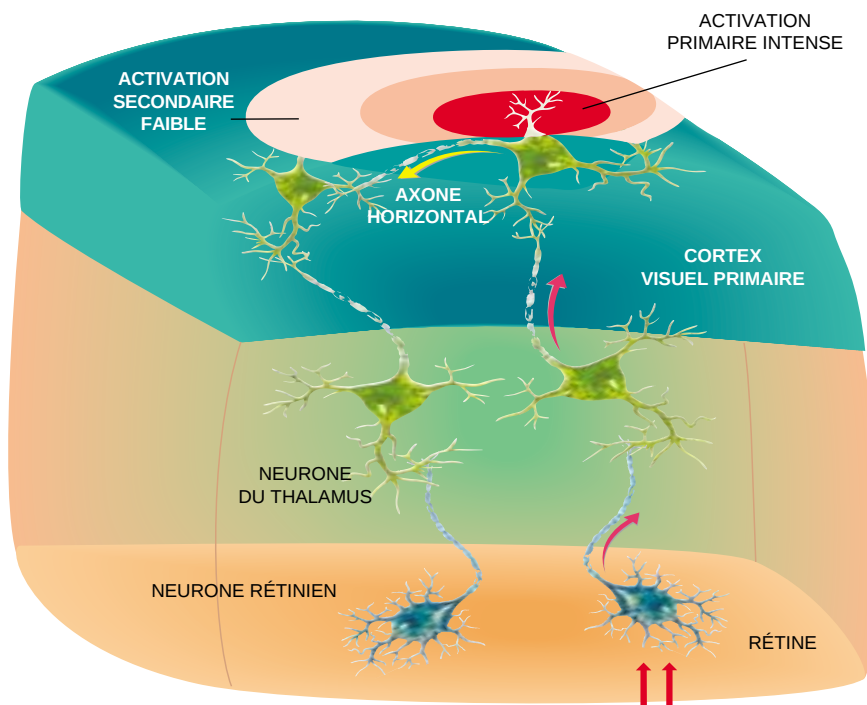
primaire, qui sont responsables de cette décomposition sélective et qui codent les différents attributs visuels d'une image.

Quel est le chemin suivi par une information visuelle au sein du cerveau ? Toute image qui parvient à l'œil est captée par la rétine, laquelle traduit les photons en un message nerveux. Ce message, constitué par des signaux électriques, nommés potentiels d'action, émis par les cellules ganglionnaires de la rétine, se propage le long du nerf optique et parvient, après un passage dans le thalamus, jusqu'aux aires visuelles primaires du cortex, en se transmettant de neurone à neurone par les synapses (les connexions entre neurones).

Le cortex lui-même comporte plusieurs couches de neurones ; chaque neurone ne transmet qu'une brique de l'information, caractéristique du groupe dont il fait partie (et qui est dédié à la détection d'un trait ou d'une orientation, ou à l'extraction d'un contour sur le fond, par exemple). L'ensemble des neurones corticaux concernés par un caractère commun (la détection de l'orientation, par exemple) forme une colonne. Ainsi, à chaque point de la rétine, sont associés une zone corticale et un ensemble de colonnes, dont chacune traite un caractère spécifique. De surcroît, par l'intermédiaire de leurs axones (les longs prolongements issus des corps cellulaires et le long desquels les potentiels d'action sont propagés jusqu'aux terminaisons synaptiques), les neurones d'une colonne établissent aussi des liens à longue distance avec des neurones du cortex visuel primaire qui ont des compétences fonctionnelles voisines, et qui fournissent le cadre visuel global à l'information traitée localement.

EXCITATIONS ET RUMEURS

Pour visualiser l'action du réseau global sur un neurone, les physiologistes de Gif-sur-Yvette sélectionnent, dans les aires corticales visuelles primaires de vertébrés, un neurone cortical analysant la fovea (la zone centrale de la rétine) ; ils observent *in situ* les réactions de ce neurone à la lumière, au moyen d'électrodes implantées dans le cortex cérébral. Les unes pénètrent dans le corps cellulaire du neurone et mesurent les signaux électriques résultant d'une excitation supérieure à un certain seuil. Les autres électrodes adhèrent à la membrane du corps cellulaire ou d'une dendrite, et détectent des courants très faibles qui reflètent la «rumeur synaptique» de l'ensemble du réseau. L'influence du réseau est généralement insuffisante pour déclencher un potentiel d'action dans la cellule étudiée : le



Lorsqu'un stimulus active un neurone de la rétine, le signal est transmis au thalamus, puis au cortex visuel primaire. Cette activation (flèches rouges) résulte en une projection point par point qui respecte l'arrangement topographique rétinien. L'information se propage alors (flèche jaune) au sein du cortex par le biais d'axones «horizontaux» qui se prolongent dans les couches du cortex. Les liaisons horizontales permettent de lier les informations provenant d'objets spatialement éloignés.

réseau reste «silencieux», mais il est en état de veille.

Y. Frégnac et ses collègues ont ainsi établi des cartes d'activation visuelle qui montrent les diverses zones du champ visuel (donc de la rétine) qui agissent sur le neurone observé. Le champ récepteur de chaque neurone englobe la zone de la rétine où l'application d'un stimulus déclenche un potentiel d'action, ainsi qu'une zone périphérique silencieuse, où l'on observe des fluctuations de faible amplitude du potentiel de membrane, qui ne déclenchent aucun potentiel d'action. Ces régions «silencieuses» autour du champ de décharge modulent le potentiel de membrane du neurone étudié, d'autant plus qu'elles en sont proches. Ces modulations prennent naissance dans le cortex et sont transmises par des axones corticaux.

Quand la valeur du signal global résultant de ces modulations est supérieure au seuil de réaction du neurone, le réseau autorise le renforcement de la réaction et une salve de potentiels d'action se déclenche ; au contraire, quand la valeur du signal global reste inférieure à ce seuil, il n'y a pas d'émission de potentiel d'action. Les différentes expériences de l'équipe de Gif-sur-Yvette sont les premiers travaux d'électro-physiologie qui démontrent, *in vivo*, au niveau synaptique, l'existence d'une activité sensorielle silencieuse, liée à des connexions

locales et/ou horizontales dans le cortex visuel, qui module la décharge des neurones corticaux.

Ainsi, l'intervention du réseau confère à chaque neurone un champ d'activation beaucoup plus étendu qu'on ne le soupçonnait. Cette coopération des neurones corticaux opérant de concert laisse espérer des voies thérapeutiques qui pallieraient les déficits profonds dus à des atteintes rétinienues. Lorsque les neurones du cortex sont privés des liaisons directes verticales, comme dans le cas de la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) qui inactive la transmission des informations issues du centre de chaque rétine, la collecte horizontale constitue la seule source d'informations pour les neurones corticaux qui analysent normalement cette région ; encore faut-il que cette information soit efficace, c'est-à-dire qu'elle déclenche un signal. Dans la mesure où les neurones sont dotés d'une certaine plasticité, on peut espérer qu'un jour, des techniques d'apprentissage performantes chez les personnes atteintes de dégénérescence maculaire liée à l'âge permettront une activation préférentielle de certaines voies horizontales et restaureront l'activité des neurones fonctionnellement déconnectés en leur permettant d'analyser les informations en provenance de la bordure de la zone dégénérative.

Marie-Thérèse Landousy