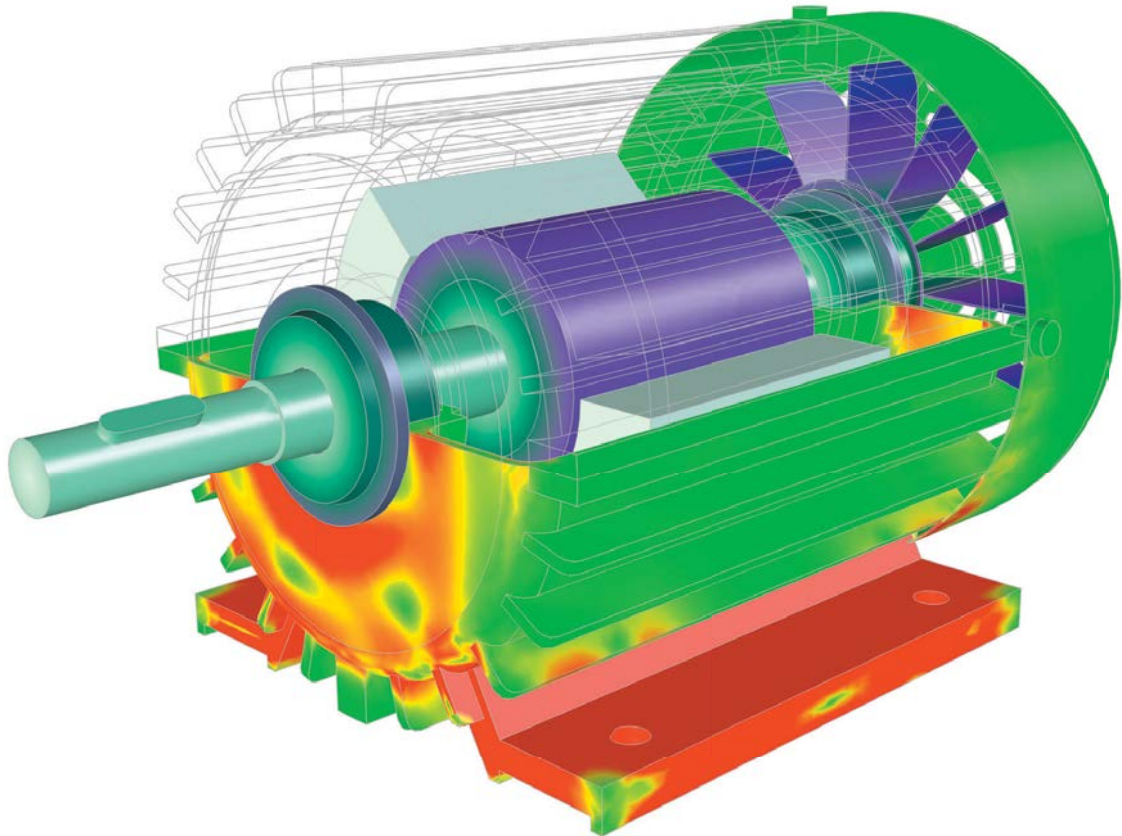


Inventé au 19^{ième} siècle. Optimisé pour aujourd'hui.



Distribution des contraintes de von Mises dans le carter d'un moteur à induction avec prise en compte des effets électromécaniques.

Au 19^{ème} siècle, deux scientifiques ont inventé séparément le moteur à induction AC. Aujourd'hui, c'est un composant commun en robotique. Comment y sommes nous arrivé, et comment les ingénieurs d'aujourd'hui peuvent-ils continuer d'améliorer ces moteurs?

Le logiciel COMSOL Multiphysics® est utilisé pour simuler des produits, des systèmes et des procédés dans tous les domaines de l'ingénierie, de la fabrication et de la recherche. Découvrez comment l'appliquer pour vos designs.

comsol.blog/induction-motor

www.pourlascience.fr

170 bis boulevard du Montparnasse - 75014 Paris
Tél. 01 55 42 84 00

GROUPE POUR LA SCIENCE

Directrice des rédactions: Cécile Lestienne

HORS-SÉRIE POUR LA SCIENCE

Rédacteur en chef adjoint: Loïc Mangin

Maquettiste: Pauline Bilbault

POUR LA SCIENCE

Rédacteur en chef: Maurice Mashaal

Rédactrice en chef adjointe: Marie-Neige Cordonnier

Rédacteurs: François Savatier, Sean Bailly

Développement numérique: Philippe Ribeau-Gésippe

Community manager: Aela Keryhuel

Conception graphique: William Londiche

Directrice artistique: Céline Lapert

Maquette: Pauline Bilbault, Raphaël Queruel,
Ingrid Leroy

Révisseuse: Anne-Rozenn Joubert

Marketing & diffusion: Arthur Peys

Direction du personnel: Olivia Le Prévost

Direction financière: Cécile André

Fabrication: Marianne Sigogne et Olivier Lacam

Directeur de la publication et gérant: Frédéric Mériot

Anciens directeurs de la rédaction: Françoise Pétry
et Philippe Boulanger

Conseiller scientifique: Hervé This

PRESSE ET COMMUNICATION

Susan Mackie

susan.mackie@pourlascience.fr • Tél. 01 55 42 85 05

PUBLICITÉ France

stephanie.jullien@pourlascience.fr

ABONNEMENTS

Abonnement en ligne: <http://boutique.pourlascience.fr>

Courriel: pourlascience@abopress.fr

Tél.: 03 67 07 98 17

Adresse postale: Service des abonnements

Pour la Science - 19 rue de l'Industrie - BP 90053

67402 Illkirch Cedex

Tarifs d'abonnement 1 an (16 numéros)

France métropolitaine: 79 euros - Europe: 95 euros

Reste du monde: 114 euros

DIFFUSION

Contact kiosques: À Juste Titres ; Stéphanie Troyard

Tél. 04 88 15 12 43

Information/modification de service/réassort:

www.direct-editeurs.fr

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in chief: Mariette DiChristina

President: Dean Sanderson

Executive Vice President: Michael Florek

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou les documents contenus dans la revue « Pour la Science », dans la revue « Scientific American », dans les livres édités par « Pour la Science » doivent être adressées par écrit à « Pour la Science S.A.R.L. », 162 rue du Faubourg Saint-Denis, 75010 Paris.

© Pour la Science S.A.R.L. Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le nom commercial « Scientific American » sont la propriété de Scientific American, Inc. Licence accordée à « Pour la Science S.A.R.L. ».

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation du droit de copie (20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

Origine du papier : Italie

Taux de fibres recyclées : 0%

« Eutrophisation » ou « Impact sur l'eau » :

Ptot 0.008kg/tonne

Ce produit est issu de forêts gérées durablement
et de sources contrôlées.



ÉDITORIAL



LOÏC MANGIN
Rédacteur
en chef adjoint

Vous êtes un phénomène !

« **J**e suis convaincu depuis des années que le sujet qui fascine le plus les gens, qui concerne ce qui est commun à tous les êtres humains, c'est le cerveau. » Peter Brook s'exprime ainsi, en 1998, à l'occasion de sa pièce *Je suis un phénomène*. Elle raconte l'histoire de Salomon Cherechevski, un russe hypermnésique, à la mémoire infinie, et du neuropsychologue Alexandre Luria qui l'a suivi au début du xx^e siècle. Et le metteur en scène britannique d'ajouter : « La mémoire est le secret du cerveau. »

Un secret de mieux en mieux compris grâce aux nouvelles techniques d'exploration du cerveau. Imaginez. On peut désormais suivre en direct la mémoire se former ou bien modifier des souvenirs grâce à de simples « interrupteurs » ! On découvre également que notre mémoire est par essence orientée vers le futur en ce qu'elle nous aide à anticiper, sur la base du passé, ce qui pourrait advenir.

Ces progrès de la connaissance se font dans un monde qui change à toute vitesse et met à rude épreuve notre propre mémoire, individuelle et collective. Elle s'échappe dans nos dispositifs numériques, toujours plus nombreux, et sur lesquels on compte trop. Nous négligeons, ou sous-estimons, nos propres capacités de mémorisation.

Ce sont toutes ces mutations, et d'autres encore, dont il est question dans ce hors-série. Elles rappellent le titre du livre où Luria décrit Cherechevski : *L'Homme dont le monde volait en éclat*. Vous avez en main un numéro indispensable pour vous aider à recoller les morceaux et faire de chacun de vous, en vous invitant à prêter plus d'attention à votre mémoire, un phénomène ! ■

SOMMAIRE

POUR LA
SCIENCE
HORS-SÉRIE

N° 102

Février-Mars 2019

LE FUTUR DE LA MÉMOIRE

Constituez
votre collection
de *Hors-Séries*
Pour la science
Tous les numéros
depuis 1996

pourlascience.fr



En couverture :
© Sofia Bonati

P. 6

Repères

Glossaire, atlas, grands principes...
l'indispensable pour apprécier ce numéro.

P. 10

Avant-propos

BERNARD STIEGLER

« La mémoire humaine est
intégralement conditionnée
par les dispositifs
de mémorisation externes »



P. 16

Une mémoire en mode survie

Patrick Bonin et Aurélia Bugaïska

Bonne nouvelle: notre mémoire fonctionne
encore comme à l'âge de pierre.

P. 20

Un ballet de neurones en direct

Alcino Silva

On peut désormais observer des souvenirs
se former dans les neurones du cerveau.

P. 28

Dormir pour mieux se souvenir

Ken Paller et Delphine Oudiette

Apprendre en dormant? Nous le faisons tous,
au plus profond de notre sommeil.

P. 36

Ne rien oublier, une précieuse malédiction

Daniela Zeigeb

On commence à percer les secrets
des champions de la mémoire.



INCROYABLE PLASTICITÉ



ATTENTION, DANGER!

P. 44

Alzheimer, traitement en vue ?

Laura Poupon

Aujourd'hui, plusieurs molécules contre la maladie d'Alzheimer sont au banc d'essai.

P. 52

Le zapping de la mémoire

Pierre-Marie Lledo

Gommer le souvenir d'une rupture amoureuse, se créer une enfance heureuse: c'est possible.

P. 60

Attention aux faux souvenirs

Gérard Lopez

Certaines personnes s'inventent des souvenirs fictifs. Comment démêler le vrai du faux?

P. 66

Une meilleure résilience face aux catastrophes

Emmanuel Garnier

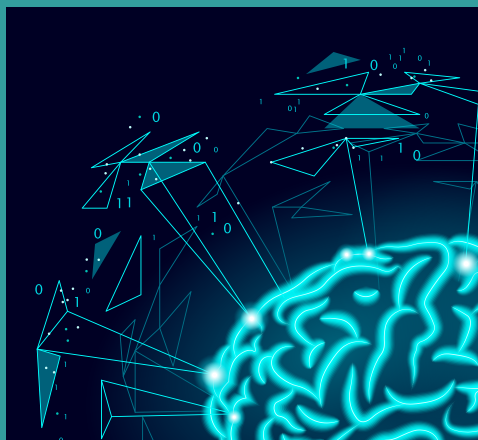
Comment mieux se souvenir d'événements extrêmes et s'y préparer? Grâce aux historiens!

P. 70

Apprendre par cœur ou comprendre ?

Alain Lieury

Il faut valoriser l'apprentissage par cœur, mais sans négliger la compréhension.



DEMAIN, VOUS VOUS SOUVENEZ?

P. 78

La mémoire à tous les temps

Francis Eustache

La mémoire n'est pas uniquement tournée vers le passé, elle est aussi orientée vers le futur.

P. 86

Les fausses promesses du numérique

Jean-Gabriel Ganascia

Les changements opérés par le numérique modifient notre projection vers le futur.

P. 92

L'explosion mémorielle change la donne

Gilles Dowek

L'essor des mémoires numériques annonce des transformations profondes de la société.

P. 98

Des souvenirs à la carte

Robert Jaffard

Des molécules de l'oubli seront-elles bientôt disponibles?

P. 102

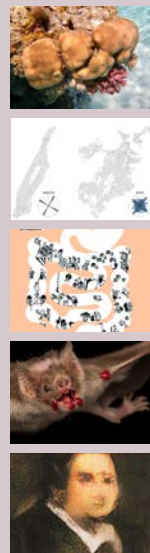
Les futurs possibles de la mémoire

Denis Peschanski

Que peut faire l'historien face aux trajets de la mémoire entre passé, présent et futur?

P. 108

À lire en plus



RENDEZ-VOUS

par Loïc Mangin

P. 110

Rebondissements

Une algue en promenade • Apprentissage profond au cœur des poumons • Quand la musique est bonne... contre l'autisme • Venir à bout des résistances tumorales

P. 114

Données à voir

Comment rendre compte de l'anarchie de l'urbanisme dans les villes?

P. 116

Les incontournables

Des livres, des expositions, des sites internet, des vidéos, des podcasts... à ne pas manquer.

P. 118

Spécimen

Les curieux enfants de Dracula.

P. 120

Art & Science

Intelligence et art artificiel

Le mémo des mémoires

La mémoire est l'ensemble des processus biologiques et psychologiques dédiés au codage, au stockage et à la récupération des informations. Ses composantes sont multiples, des plus globales, telle la mémoire sensorielle, aux plus spécifiques, telle la mémoire des chiffres. L'activation de ces composantes, souvent intriquées, implique plusieurs

modules répartis dans tout le cerveau (*voir les figures ci-contre pour les principales zones concernées*) et divers réseaux de neurones. Aujourd'hui aucun « arbre généalogique » des mémoires ne fait consensus. Ce glossaire (par ordre alphabétique) des mémoires mentionnées dans ce numéro n'est qu'un panorama pour s'y retrouver un peu mieux dans... le dédale des mémoires.

MÉMOIRE AUDITIVE

La mémoire auditive est une mémoire sensorielle de courte durée (2,5 secondes) qui stocke les caractéristiques acoustiques des informations auditives, permettant, par exemple, de se souvenir si une voix était féminine ou masculine, grave ou aiguë.

MÉMOIRE AUTOBIOGRAPHIQUE

La mémoire autobiographique comporte des souvenirs **épisodiques** et des connaissances **sémantiques** personnelles.

MÉMOIRE DES CHIFFRES

Il existe une mémoire des chiffres, qui est phénoménale chez certaines personnes, des calculateurs prodiges.

MÉMOIRE DÉCLARATIVE (OU EXPLICITE)

La mémoire déclarative n'est pas une mémoire spécifique. Elle représente la reconnaissance et le rappel conscients des faits et événements : ce sont les mémoires **lexicale**, **sémantique**, **épisodique**, des images, des visages...

MÉMOIRE ÉPISODIQUE

C'est la mémoire des souvenirs. Elle permet d'enregistrer et d'intégrer à notre mémoire les souvenirs des événements personnellement vécus situés dans leur contexte d'acquisition, avec l'impression de revivre l'événement.

MÉMOIRE LEXICALE

Elle intègre les caractéristiques morphologiques associées à un mot, c'est-à-dire les propriétés phonétiques et orthographiques. On considère que le sens est stocké dans une autre mémoire, ce qui explique le phénomène du « mot sur le bout de la langue », où l'on cherche le nom d'un personnage dont on a le « sens » (par exemple, c'est un acteur, un journaliste).

MÉMOIRE À LONG TERME

Ensemble des mémoires qui ont une longue durée de vie. Ces mémoires sont spécialisées : les informations sont enregistrées en fonction de leur niveau d'abstraction. On peut distinguer quatre grands « étages » : les mémoires **sensorielles** (mémoire iconique) ; les mémoires symboliques (mémoire lexicale, mémoire imagée) ; la mémoire la plus abstraite, la mémoire **sémantique** ; la mémoire **épisodique**, ou mémoire des souvenirs.

MÉMOIRE MUSICALE

Cette mémoire **sensorielle** auditive discrimine les sons musicaux des bruits. Elle nous donne accès à tout notre répertoire de chansons et de mélodies.

MÉMOIRE OLFACTIVE

Peu développée chez l'homme, elle permet pourtant de mémoriser plusieurs centaines d'odeurs. Mais moins d'une dizaine d'odeurs évoquent des souvenirs spécifiques de notre vie.

MÉMOIRE PHONOLOGIQUE

Les phonèmes (syllabes) et leur association sont stockés dans une mémoire spécifique.

MÉMOIRE PROCÉDURALE (OU IMPLICITE)

Il existe deux systèmes de mémoire reposant sur des structures neurobiologiques distinctes : la mémoire **déclarative** (ou **explicite**) et la mémoire procédurale (ou **implicite**). Cette dernière concerne principalement les apprentissages, lesquels sont automatisés quand ils sont acquis (faire du vélo, du piano...), et les conditionnements.

MÉMOIRE SÉMANTIQUE

Elle représente l'ensemble des connaissances sur le monde et sur soi. Elle stocke les concepts des mots, leur sens. La mémoire sémantique est considérée comme un réseau d'associations, parfois hiérarchique, reliant le mot et le concept (par exemple « canari » et « oiseau »). Cette mémoire est généralement la plus durable, correspondant au sens d'un livre ou d'un film restant après plusieurs années. La mémoire encyclopédique fait partie de la mémoire sémantique. Elle représente le stock immense des connaissances spécialisées (histoire, géographie, mathématiques...) et se chiffre par dizaines de milliers de données, par exemple près de 20 000 concepts et mots en fin de classe de troisième.

Les lobes cérébraux externes

MÉMOIRE SENSORIELLE

Elle stocke des informations codées par les organes sensoriels, par exemple la couleur (on parle de mémoire iconique, pour la mémoire sensorielle **visuelle**) ou le son de la voix (**mémoire auditive**). Les mémoires sensorielles sont éphémères si le contenu n'est pas recodé verbalement. Il existerait une mémoire sensorielle **visuelle** (iconique), **auditive**, olfactive, tactile et kinesthésique (codant le mouvement).

MÉMOIRE SPATIALE

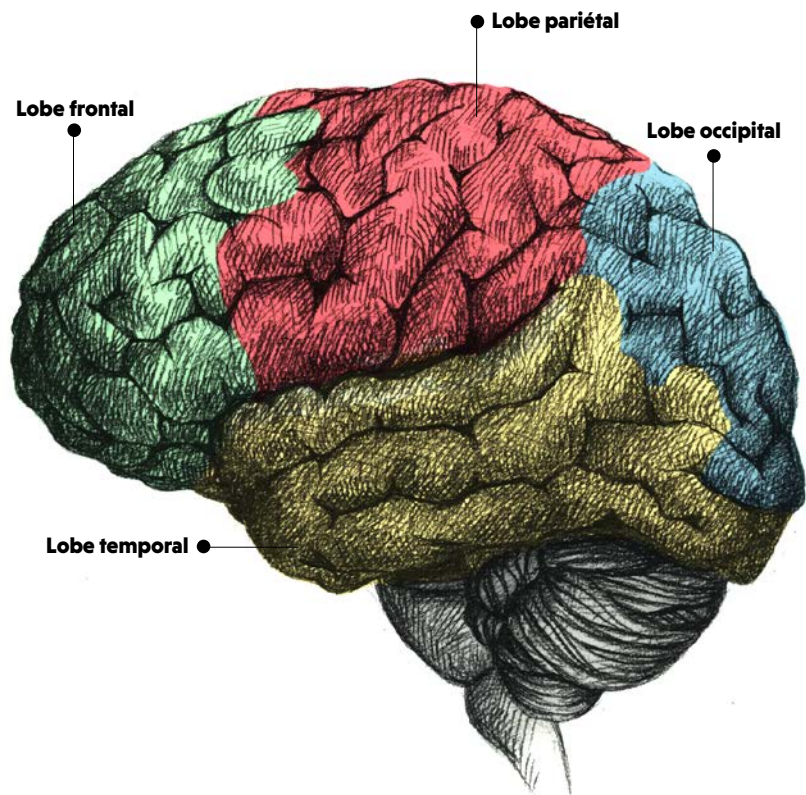
La mémoire spatiale, ou visuospatiale, permet de mémoriser la localisation de différents éléments (provenant d'autres mémoires), formes géométriques ou images, par exemple.

MÉMOIRE DE TRAVAIL

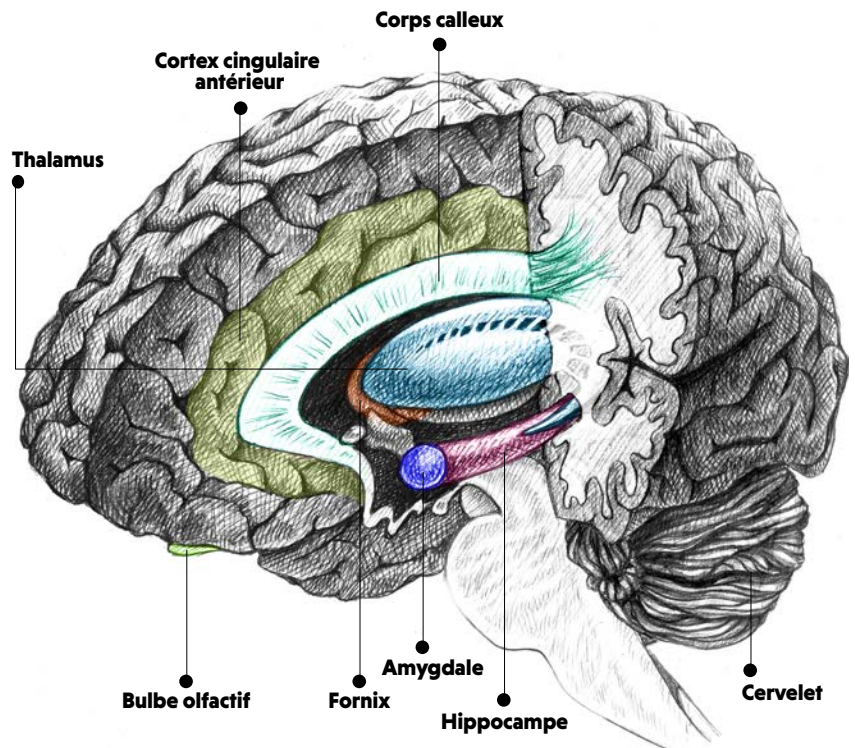
Son contenu est limité (environ sept mots familiers) et rapidement effacé à court terme (au bout de vingt secondes environ). Elle est qualifiée de mémoire de travail, car elle joue un rôle actif dans certains processus de mémorisation, tels que l'autorépétition, l'organisation ou la récupération des souvenirs. Elle fut également qualifiée de mémoire primaire.

MÉMOIRES VISUELLES

On a dénombré jusqu'à trente-quatre aires visuelles dans le cortex visuel du singe. On distingue la mémoire iconique (**sensorielle**), la mémoire imagée (objets, animaux, plantes), la mémoire des visages, la mémoire graphique (orthographe), la mémoire visuelle au sens strict concernant les formes, et la mémoire visuospatiale. Il existe vraisemblablement une mémoire qui code et stocke les formes de base (géométriques, par exemple). La mémoire iconique désigne la mémoire sensorielle visuelle. La mémoire imagée serait le stock des images idéalisées de la nature et des objets qui nous entourent. Ces images ne sont pas des photographies, mais des objets virtuels, qui peuvent être transformés mentalement par l'imagination ou le rêve.



Le système limbique



La construction du souvenir

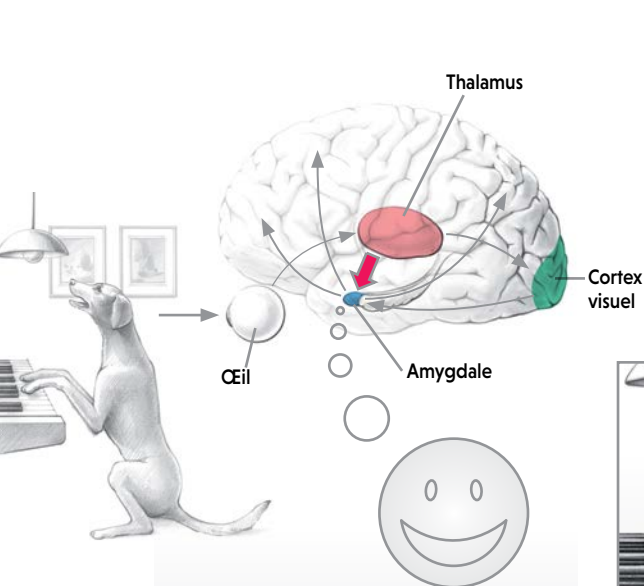
Chaque jour, notre cerveau reçoit des milliers d'informations. Les rares qui s'y graveront durablement devront suivre un parcours en plusieurs étapes.

Texte : Christof Kuhbandner / Graphisme : Martin Müller

< 0,1 seconde ► Émotion

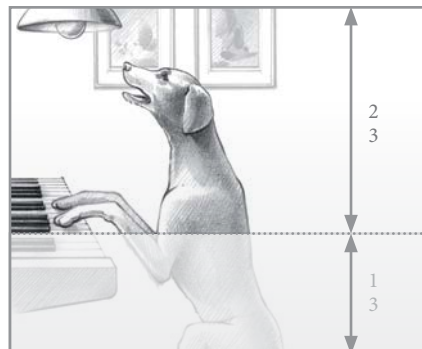
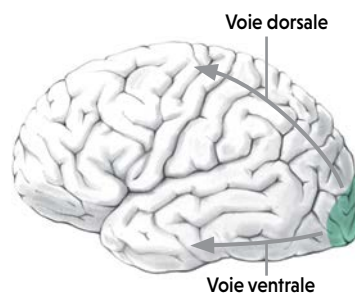
0,1 seconde ► Perception

0,3 seconde ► Attention



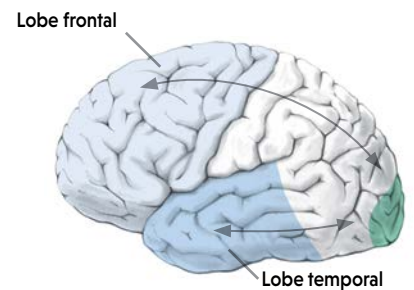
MÉMOIRE ÉMOTIONNELLE

L'image du chien qui joue du piano est transmise de façon grossière sous forme d'esquisse, de l'œil au thalamus puis à l'amygdale, la plaque tournante des émotions dans le cerveau. Celle-ci décide si la scène observée provoque une émotion. Elle module ensuite l'activité de différentes parties du cortex. Si l'épisode est par exemple amusant, l'impression en résultant est incorporée dans une banque de données émotionnelles. Ce classement peut avoir lieu avant même que nous percevions la situation consciemment. Il ne reste alors d'elle, dans notre mémoire, que sa connotation affective.

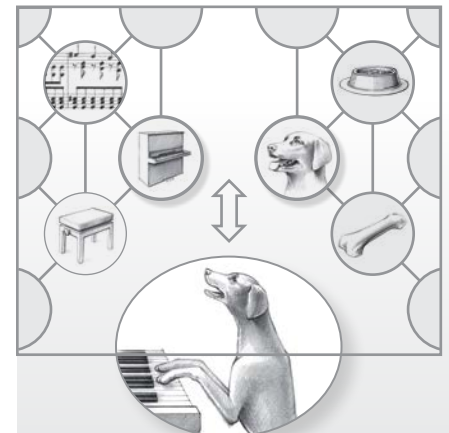


MÉMOIRE SENSORIELLE

L'étape suivante du traitement de l'information a lieu dans les aires sensorielles du cerveau. Ces dernières captent en premier lieu les données brutes fournies par nos sens, lesquelles sont ensuite traitées le long d'une voie dite ventrale qui identifie les objets (un chien, un piano), et le long d'une voie dorsale qui repère leur emplacement (le chien est assis devant le piano !). La mémoire sensorielle peut traiter d'immenses quantités d'informations, mais elles sont ensuite vite oubliées. De l'ensemble de l'épisode ne restera qu'un instantané, dont deux tiers apparaîtront détaillés et un tiers plutôt vague.



Réseau de connexions visuelles



MÉMOIRE À COURT TERME

Le cerveau compare l'image du chien jouant du piano avec des « réseaux de connexions visuelles » dans le lobe temporal, réseaux au sein desquels sont stockés des objets ayant été perçus ensemble par le passé – par exemple, un chien avec un os et une écuelle, ou un piano avec une partition et un tabouret. Des zones du cortex temporal activent ces représentations de façon transitoire. Un premier souvenir à court terme de la scène est créé par la mobilisation de ces images mentales qui sont combinées les unes aux autres.



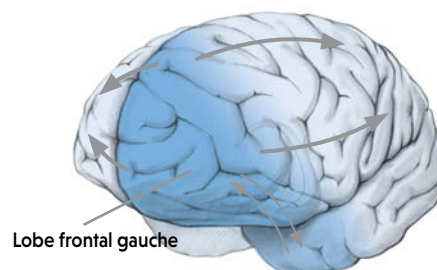
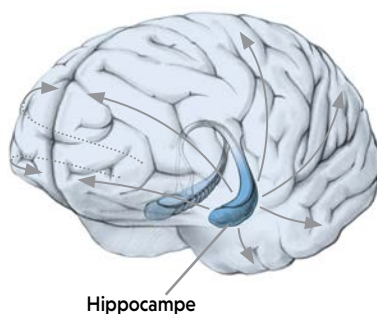
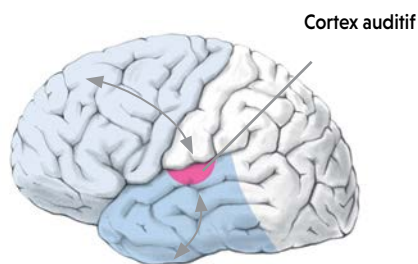
À quel moment un événement se grave-t-il dans notre mémoire ?

Chaque stimulus doit passer par plusieurs niveaux de traitement dans le cerveau, depuis la toute première perception jusqu'à son appréciation consciente et rationnelle. Chacun de ces niveaux mobilise un système de mémoire relativement indépendant des autres. Mais l'événement vécu ne s'ancrera en mémoire que s'il possède une valeur de nouveauté qui le distingue en partie des contenus déjà stockés. C'est ainsi qu'un chien qui rapporte un bâton ne laissera généralement pas de trace marquante dans notre mémoire, ce que réussira pourtant à faire un chien jouant du piano.

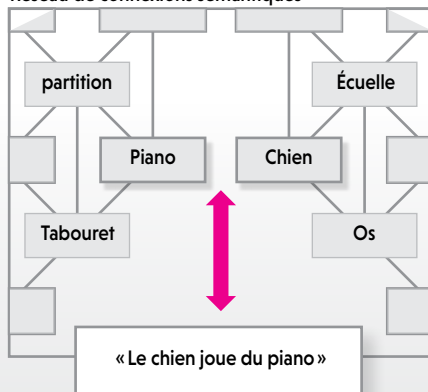
0,5 seconde ► Recodage

30 secondes ► Connexions temporaires

Toute la vie ► Consolidation

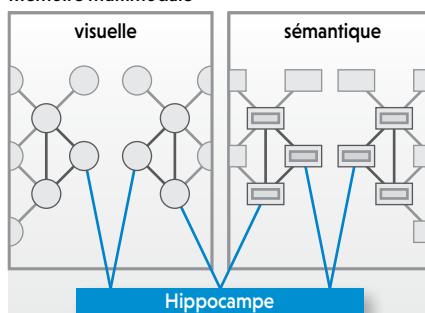


Réseau de connexions sémantiques



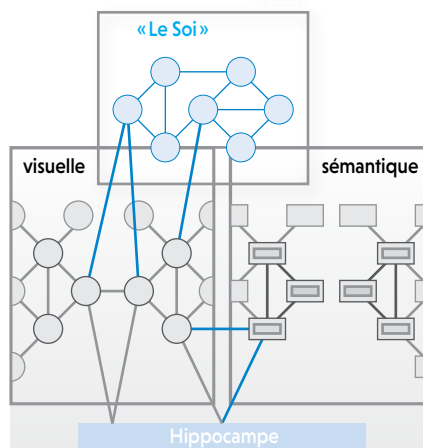
Un souvenir est à la fois visuel et verbal. Pour apporter cette dimension linguistique qui donne un sens à un événement (de surcroît, un événement inattendu), les objets représentés visuellement sont codés verbalement par des réseaux de connexions sémantiques situés dans le lobe temporal. Des boucles neuronales entre le cortex auditif et le lobe frontal maintiennent les mots présents à la conscience. À cause de la faible capacité de stockage du cortex frontal, toutefois, il ne subsiste finalement de cette situation que quelques mots.

Mémoire multimodale



MÉMOIRE ÉPISODIQUE

Pour stocker l'épisode à plus long terme, des connexions entre les réseaux sémantiques et visuels, jusqu'alors disjointes, s'établissent. L'hippocampe joue ce rôle de rassembleur, mais il stimule aussi de nouvelles connexions à l'intérieur de chaque modalité. Ainsi, le souvenir devient à la fois multimodal et plus riche, davantage personnalisé.



MÉMOIRE AUTOBIOGRAPHIQUE

Si les neurones connectés de manière indirecte via l'hippocampe sont activés souvent de façon simultanée, il se crée dans le cortex des connexions directes qui aboutissent à une consolidation du souvenir. Notre cerveau possède toutefois une particularité : il stocke dans le lobe temporal des connaissances sur nous-mêmes et les met en relation avec les réseaux visuels et sémantiques. À l'aide de notre lobe frontal gauche, nous pouvons examiner cette connaissance de nous-mêmes, par une réactivation des mots et images préalablement enregistrés. Nous voyageons mentalement vers l'événement passé.

BERNARD STIEGLER



« La mémoire humaine est intégralement conditionnée par les dispositifs de mémorisation externes »



Commençons par un peu d'histoire. En 1987, vous étiez commissaire de l'exposition « Mémoires du futur », au centre Pompidou, à Paris. Quel en était le principe ?

Bernard Stiegler : À l'époque, je travaillais au Collège international de philosophie, où je donnais un séminaire autour de mes réflexions d'alors sur les rapports entre la mémoire humaine et la technique. Un colloque s'est ensuivi, au château de Vincennes. En pleine préparation du dixième anniversaire de l'établissement, Jean Maheu, le président du centre Pompidou m'a ensuite proposé d'organiser une exposition sur ce que serait la culture du *xxi*^e siècle. Avec Catherine Counot, de la Bibliothèque publique d'information, nous nous sommes attachés à figurer l'avenir des bibliothèques dans un contexte où j'étais

BIO EXPRESS

1^{er} AVRIL 1952
Naissance à Villebon-sur-Yvette (Essonne).

1993
Thèse de philosophie sous la direction de Jacques Derrida.

2002
Directeur de l'Ircam.

2006
Directeur de l'Institut de recherche et d'innovation (IRI) du centre Pompidou.

2018
La Technique et le Temps, vol. 1, 2 et 3, Fayard, 2018.

2018
Qu'appelle-t-on penser ? L'immense régression, Les liens qui libèrent, 2018.

convaincu que la mémoire collective allait devenir l'enjeu central du développement industriel. Ni moi ni personne ne savait ce que serait la bibliothèque du *xxi*^e siècle. J'ai donc proposé de montrer ce que je souhaitais qu'elle soit.

Pendant plus de deux ans, nous avons travaillé avec des historiens, des archéologues, des informaticiens, des spécialistes des bibliothèques et de la « documentique »... C'était le début des bases de données, et le succès en France de la télématique.

L'exposition, tout en jouant sur une mise en perspective où l'on remontait le temps, mettait en regard le temps réel et le temps différé : d'un côté, des télécopieurs de l'AFP et leur flot de dépêches, des chaînes de télévision du monde entier... ; de l'autre, les premiers CD-Rom, le *Trésor de la langue française informatisé*, qui était une production du CNRS, les archives de l'INA, notamment.