



# Mystères du Cerveau et du Temps

## Le Temps, un sixième sens à explorer

Comment le temps est-il représenté dans le cerveau ? Quelles zones cérébrales traitent l'information temporelle ? Nos émotions influent-elles sur notre perception du temps ? Que sait-on du développement des capacités d'estimation temporelle chez l'enfant ? Voyage dans le cerveau à la découverte d'un sens immatériel et subjectif.

### LE MONDE SCIENCE ET TECHNO

| 08.11.2012 à 15h10 • Mis à jour le 13.11.2012 à 09h19 |

Par Marc Gozlan

Le temps fait partie intégrante de notre vie quotidienne, que nous soyons pressés, reposés, sous l'emprise d'une émotion ou en proie à l'ennui. Qu'il s'agisse de marcher, conduire, écouter de la musique, entendre la sonnerie du téléphone, participer à une conversation ou faire du sport, le temps est là : omniprésent et immatériel. Alors que la perception de la vue, du toucher, de l'ouïe, de l'odorat, du goût met en jeu des récepteurs sensoriels spécialisés, il n'existe aucun récepteur spécifique du temps ! Et pourtant le temps est aussi présent en nous, dans le cerveau, véritable machine à traiter le temps.

"Dès le plus jeune âge, le nourrisson est plongé dans un monde avec de nombreuses régularités temporelles. Il apprend alors les durées associées à des actions dont il fait l'expérience au quotidien", souligne la professeure Sylvie Droit-Volet, du Laboratoire de psychologie sociale et cognitive (CNRS, université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand). "Il réagit, en s'agitant ou en pleurant, quand ce qu'il attend n'arrive pas au bon moment : quand le mobile au-dessus de son lit s'arrête de tourner plus tôt que d'habitude, quand sa mère met plus de temps que prévu à faire son biberon", ajoute-elle. Le très jeune enfant "vit dans le temps" avant d'avoir conscience que le temps passe. Il appréhende le temps directement à travers son expérience des actions. Ainsi, note Sylvie Droit-Volet, "pour l'enfant de 3 ans, le temps est multiple, spécifique à chaque action". A 5-6 ans, un enfant devient capable de transposer la durée apprise lors d'une action (appuyer sur une poire en caoutchouc) sur une autre (tirer sur une manette). "Il commence à comprendre qu'un temps unique existe indépendamment des actions", indique-t-elle.

## COMPTER LE TEMPS

La sensibilité au temps s'améliore pendant l'enfance du fait du développement des capacités d'attention et de mémoire de travail chez l'enfant, qui dépendent de la lente maturation du cortex préfrontal. En effet, juger correctement le temps demande non seulement de lui prêter attention, mais aussi de conserver en mémoire le flux de l'information temporelle et de maintenir une attention soutenue. C'est ainsi que les enfants avec un trouble de déficit de l'attention avec hyperactivité éprouvent des difficultés à estimer correctement le temps.

Un moyen d'augmenter la précision des performances temporelles consiste à compter le temps. "A 5 ans, l'enfant n'est pas capable de compter le temps, mais peut le faire si un adulte le demande. Cependant, le comptage ne suit pas vraiment le rythme des secondes. A partir de 8 ans, l'enfant commence à compter tout seul le temps avec régularité, mais il faut attendre l'âge de 10 ans pour qu'il compte le temps spontanément avec régularité, sans l'aide d'un adulte", précise Sylvie Droit-Volet.

Sur la base de notre capacité précoce à estimer le temps, des chercheurs ont imaginé, dès 1963, que le temps perçu par notre cerveau (temps subjectif) est calé sur le tic-tac d'une pendule intérieure, de la même façon que notre vie est rythmée par le tic-tac de notre montre (temps objectif). Ils ont modélisé un mécanisme de mesure du temps, une sorte d'horloge interne. Celle-ci est constituée d'une "base de temps" émettant en permanence des impulsions ("tic-tac") qui sont stockées dans un accumulateur. La durée subjective du temps dépend du nombre d'impulsions accumulées. Quand l'horloge interne s'accélère, le nombre d'impulsions augmente et le temps paraît plus long.

Par ailleurs, dès qu'on détourne son attention du temps, les impulsions sont bloquées et ne parviennent plus à l'accumulateur. Du fait que ces "tic-tac" ne sont pas comptabilisés, le temps est alors jugé plus court qu'il ne l'est objectivement. Utile pour prédire le comportement de sujets dans les recherches en psychologie, l'horloge interne n'est cependant qu'une métaphore, car non plausible sur les plans neurophysiologique et neuroanatomique.

## L'ACTIVITÉ OSCILLATOIRE

Un modèle physiologiquement plus réaliste a été développé au début des années 2000 par le professeur Warren Meck, de la Duke University à Durham (Caroline du Nord, Etats-Unis). Dans ce modèle, baptisé "striatal beat-frequency", la représentation du temps est sous-tendue par l'activité oscillatoire de neurones situés dans les régions superficielles du cerveau (cortex). Chaque neurone oscillateur présente une activité caractérisée par un rythme qui lui est propre. La fréquence des oscillations est détectée par certains neurones du striatum dorsal, sous-structure des "ganglions de la base", terme désignant un ensemble de centres nerveux enfouis profondément sous le cortex.

"Chacun de ces neurones reçoit jusqu'à 30 000 connexions provenant d'un contingent de neurones du cortex oscillant à des fréquences différentes. Ces neurones du striatum seraient à même de lire le code temporel émis par des neurones oscillateurs corticaux. Ils s'activeraient notamment lorsque l'activité oscillatoire correspondrait à des profils d'activité détectés antérieurement et stockés en mémoire", indique Warren Meck.

Parallèlement à ce modèle dans lequel l'activité neuronale est à l'origine de l'estimation du temps, les structures cérébrales impliquées dans le traitement de l'information temporelle diffèrent selon qu'il s'agit d'estimer la durée d'un stimulus ("temps explicite") ou de percevoir la durée qui nous sépare d'un événement dont on s'attend qu'il se produise dans les secondes ou minutes à venir ("temps implicite").

"Pour des durées allant de quelques millisecondes à quelques minutes, le traitement du temps explicite et du temps implicite n'implique pas les mêmes zones neuroanatomiques", souligne Jennifer Coull, chercheuse CNRS au Laboratoire des neurosciences cognitives à l'université d'Aix-Marseille. Ces différences s'expliquent du fait que "le traitement du temps implicite sert presque toujours à réaliser un but sensitivo-moteur - "Avant de participer à une réunion de travail, ai-je ou non le temps de prendre un café ?" -, alors que le traitement du temps explicite vise à estimer une durée en tant que telle", note la spécialiste. Les études sur le temps explicite montrent que deux structures corticales, l'aire motrice supplémentaire, qui coordonne les gestes complexes, et le cortex préfrontal droit, sont constamment activées.

### **TIMING IMPLICITE**

Il a été montré que le cervelet joue un rôle majeur dans les tâches motrices nécessitant la perception du temps implicite. D'autres zones du cerveau peuvent être impliquées dans l'estimation du timing implicite, comme le cortex pariétal gauche, qui gère les intentions du mouvement, et le cortex prémoteur gauche, région du lobe frontal dont le rôle est de planifier et d'organiser le mouvement. Il arrive que le cortex préfrontal droit, habituellement impliqué dans l'estimation du temps explicite, soit sollicité pour l'estimation du temps implicite. C'est le cas lorsqu'un événement ne survient pas dans le délai auquel on s'attendait à le voir apparaître, par exemple lorsqu'un feu rouge dure bien plus longtemps que prévu. Il se produit alors une mise à jour par le cerveau des prédictions temporelles avec une nouvelle anticipation du délai d'attente.

Par ailleurs, "les zones cérébrales impliquées diffèrent selon le contexte, et ce d'autant que la durée du stimulus est brève, inférieure à quelques 200 millisecondes", précise Jennifer Coull. On observe que le cortex visuel est activé lorsqu'on évalue la durée d'un stimulus visuel. De même, il se produit une activation du cortex moteur primaire lorsque l'estimation temporelle est associée à une action, et le cortex auditif est sollicité lors de l'estimation de la durée d'un stimulus sonore.

Surtout, la perception du temps par le cerveau met en jeu des processus liés à la mémoire et à l'attention. Pour preuve, la sensation que le temps passe plus vite si on est très occupé, qu'on s'adonne à une activité passionnante ou amusante. Il s'envole même lorsqu'on est amoureux ! A l'inverse, l'eau mettra un temps fou à bouillir si l'on garde les yeux fixés sur la casserole. De même, l'étudiant n'en finira pas de regarder sa montre si le cours lui semble prodigieusement ennuyeux...

"Du fait de la participation conjointe de processus mnésiques et attentionnels, le traitement par le cerveau de l'information temporelle ne peut reposer que sur un réseau fonctionnel, non sur une structure unique. Cela explique sans doute la raison pour laquelle il n'existe pas de maladie neurologique ou psychiatrique uniquement caractérisée par des déficits temporels", note Jennifer Coull.

## **DOPAMINE**

La dopamine est le principal neurotransmetteur impliqué dans le traitement du temps. Les agonistes dopaminergiques, médicaments qui renforcent l'action de la dopamine, ont tendance à accélérer notre perception du temps, qui passe alors plus vite. C'est aussi le cas pour certaines drogues, comme la cocaïne, qui renforcent l'action de la dopamine. A l'inverse, les neuroleptiques utilisés dans la schizophrénie diminuent l'activité de la dopamine, avec pour conséquence la sensation que le temps s'écoule plus lentement.

A ces nouvelles connaissances neuroanatomiques, neurophysiologiques et neurochimiques du traitement du temps sont venus s'ajouter les résultats de récentes recherches en neuropsychologie qui montrent comment, sous l'effet des émotions, le temps perçu est plus court ou plus long qu'il ne l'est en réalité.

Sylvie Droit-Volet et Sandrine Gil, maître de conférences au Centre de recherche CNRS sur la cognition et l'apprentissage (université de Poitiers), ont rapporté, en 2011, que le changement d'état émotionnel induit par certains films affecte la perception du temps. Ces psychologues ont présenté à des étudiants des extraits de films connus pour induire une sensation de peur (films d'horreur : The Blair, Scream, Shining) ou de tristesse (films dramatiques : City of Angels, Philadelphia, Dangerous Mind). Une troisième catégorie de films "neutres" (séquences de prévisions météorologiques ou d'informations boursières) a été utilisée. Il a ensuite été demandé à ces étudiants d'évaluer la durée d'un stimulus visuel.

"La peur provoque une distorsion temporelle, la durée du stimulus étant perçue comme plus longue qu'en réalité", fait remarquer Sylvie Droit-Volet. Le fait d'avoir peur provoquerait un "éveil", une activation physiologique qui accélère le rythme de l'horloge interne. Cet "éveil" se traduit par une dilatation des pupilles, une accélération du rythme cardiaque, une élévation de la pression artérielle, une contraction musculaire. Il est le reflet d'un mécanisme de défense déclenché dans une situation de menace, l'organisme se préparant à agir, en l'occurrence à attaquer ou à fuir. Cette surestimation temporelle dans une situation de menace a également été observée par ces chercheurs chez des enfants de 3 ans.

## **HORLOGE INTERNE**

En revanche, "contre toute attente, la tristesse n'affecte pas la perception du temps, sans doute parce que l'émotion ressentie en regardant un film triste n'est pas assez forte pour provoquer un ralentissement physiologique", note Sylvie Droit-Volet, en ajoutant qu'il conviendrait de travailler sur des états profonds de tristesse dans les épisodes dépressifs majeurs. Son équipe évalue actuellement si l'horloge interne ralentit chez des sujets sains adeptes de la méditation-relaxation. Peut-on, dans cet état, être réellement hors du temps ?

Sandrine Gil et Sylvie Droit-Volet ont également travaillé sur la perception du temps quand l'autre exprime une "émotion secondaire" : une expression faciale de honte. Voir un visage exprimant la honte incite celui qui l'observe à comprendre l'origine de ce sentiment. "Cette activité réflexive entraîne un détournement de l'attention du traitement du temps qui conduit à ce que le temps estimé paraisse plus court qu'il ne l'est en réalité", souligne Sylvie Droit-Volet. Cette sous-estimation temporelle ne s'observe qu'à partir de 8 ans, lorsque l'enfant a appris la notion de honte.

La "théorie de l'esprit incarné" (encore nommée "théorie de la cognition incarnée") explique en quoi la perception des émotions d'autrui modifie notre perception du temps. Elle est sous-tendue par l'existence d'un processus interne de mimétisme ou de simulation de l'état émotionnel de l'autre qui nous permet de nous adapter à l'autre et de bien comprendre de ce qu'il ressent. Ainsi, lorsqu'un adolescent côtoie une personne âgée qui parle et marche plus lentement que lui, son horloge interne ralentit pour se synchroniser sur le temps du senior. Il se produit chez le jeune un ralentissement subjectif du temps qui permet à ces deux personnes de mieux interagir socialement.

## **PROCESSUS DE MIMÉTISME**

Sylvie Droit-Volet et ses collègues ont montré que, si l'on empêche ce processus de mimétisme en bloquant les expressions faciales de l'individu qui observe l'autre en lui mettant un stylo dans la bouche, plus rien ne se passe. L'horloge interne ne change plus de rythme, quelle que soit l'émotion perçue chez l'autre. De même, des études ont indiqué qu'une personne "botoxée" reconnaît moins bien les expressions émotionnelles et ressent moins d'empathie vis-à-vis des autres.

"Notre perception du temps est un bon révélateur de notre état émotionnel", résume Sylvie Droit-Volet, qui souligne que les distorsions temporelles émotionnelles ne résultent pas d'un dysfonctionnement du système de l'horloge interne mais, au contraire, de son excellente capacité à s'adapter aux événements de notre environnement. Selon elle, "il n'existe pas un temps unique, homogène, mais plutôt de multiples temps dont on fait l'expérience. Nos distorsions temporelles sont le reflet direct de la façon dont notre cerveau et notre corps s'adaptent à ces temps multiples, ces temps de la vie".

Le philosophe André Bergson n'avait-il pas raison quand il expliquait, dans son ouvrage *Durée et simultanéité*. A propos de la théorie d'Einstein, que l'"on doit mettre de côté le temps unique, seuls comptent les temps multiples, ceux de l'expérience" ? Autre façon de dire que le temps perçu est on ne peut plus relatif.

## **Lexique**

**Temps explicite** : il consiste à juger de façon consciente la durée d'un stimulus, d'un événement ou d'une action, de l'ordre par exemple de deux secondes ou d'une demi-heure, ou encore la durée séparant deux stimuli, comme deux pincements.

**Temps implicite** : il consiste à utiliser de façon inconsciente la durée apprise d'un stimulus ou d'une action afin de pouvoir réagir efficacement à un événement, en l'occurrence pour anticiper la survenue de ce dernier dont on sait qu'il va inmanquablement se produire. C'est le cas d'un automobiliste qui attend que le feu rouge passe au vert et se prépare à démarrer.

**Distorsion temporelle** : elle correspond au fait que le temps subjectif, c'est-à-dire le temps estimé, ne correspond pas au temps objectif, celui mesuré par une montre. On distingue la surestimation et la sous-estimation temporelle (temps estimé respectivement plus long et plus court qu'il ne l'est en réalité).

[https://www.lemonde.fr/sciences/article/2012/11/08/un-sixieme-sens-a-explorer\\_1787998\\_1650684.html](https://www.lemonde.fr/sciences/article/2012/11/08/un-sixieme-sens-a-explorer_1787998_1650684.html)



## **Cerveau et notion du temps :**

**découvrez pourquoi le temps passe si vite dans certaines situations**

### **Le temps.**

Si la notion était déjà complexe pour Albert Einstein, elle l'est d'autant plus pour le cerveau de chacun d'entre nous. Celui-ci a en effet une notion très variable du temps qui s'écoule, et sa perception sera ainsi largement modifiée en fonction des circonstances dans lesquelles il en prend la mesure.

Tout d'abord, sachez que notre cerveau possède plusieurs mesures du temps : nous avons plusieurs horloges biologiques internes, de celle qui mesure le temps qui passe de notre naissance à notre mort, à celle qui détecte les fractions de seconde et qui nous permet de mesurer le moment où notre raquette de tennis doit toucher la balle pour la renvoyer d'un sévère coup droit. Notre horloge de tous les jours est une boucle partant du cortex préfrontal, vers les noyaux gris centraux, puis vers la substance noire (locus niger) avant de retourner vers le cortex préfrontal. Un message nerveux parcourt ainsi ce chemin à la vitesse moyenne d'un mètre par seconde. Il faut donc environ un dixième de seconde pour que ce message fasse une fois la boucle.

Mais une caractéristique très intéressante nous en dit long sur notre perception du temps : la vitesse de l'impulsion nerveuse s'accélère lorsqu'il fait chaud. En 1930, le physiologiste Hudson Hoagland remarque que son épouse, qui était fiévreuse, surestimait la durée du temps : elle pensait qu'il avait quitté la maison une heure, tandis qu'il n'était parti que 40 minutes. Il décida alors de mener l'expérience sur des cobayes à qui il posa des bobines chauffées autour du crâne et constata que leur horloge interne tournait 20% plus vite qu'elle ne le faisait dans des conditions normales. Le même phénomène se produit aussi sous l'effet de l'adrénaline, donc sous l'effet du stress.

Ainsi, lorsque notre horloge accélère, notre perception du temps ralentit, et cela peut aller loin. Certaines victimes d'accidents racontent que, durant leur accident, tout semblait se produire au ralenti ; mais ce sont elles, en réalité, qui réfléchissaient à toute vitesse.

Un autre phénomène quotidien provoqué par notre rythme interne est intéressant à observer : les raccourcis inconnus sont plus longs que le trajet habituel. Lorsque notre conducteur nous dit "je connais un raccourci", vous vous crispez et ajoutez automatiquement deux heures à votre trajet, et pour vous, vous aurez raison : ce raccourci vous a bel et bien paru plus long. Et pourtant... vous vous méprenez.

En effet, lorsque l'on vous propose de prendre un raccourci que vous ne connaissez pas, vous ne voulez pas finir en Papouasie, et vous stressez (vous voyez où je veux en venir, n'est-ce pas ?). Mais le stress seul (qui accélère déjà votre horloge interne et ralentit donc votre notion du temps) ne suffit pas à donner le coup de grâce : vérifier que et vous demander si votre conducteur ne vous emmène pas au bout du monde vous demande de l'énergie et l'appréhension de ce nouveau trajet demande à vos neurones d'imprimer beaucoup de nouvelles informations. Or, nous l'avons vu précédemment avec l'exemple de la crème glacée : un souvenir met du temps à s'inscrire efficacement dans notre mémoire, il faut le répéter. Schématiquement, l'information d'un premier souvenir est lente à circuler à travers nos neurones.

La prochaine fois que vous prendrez ce raccourci, ça ira beaucoup mieux, vous serez moins angoissé(e), votre horloge tournera à un rythme normal, et vous retrouverez des points de repère qui permettront la fortification de votre souvenir et une plus rapide circulation du message nerveux à travers vos neurones. Il faudra donc l'emprunter plusieurs fois pour qu'un raccourci ressemble réellement à un raccourci.

Cela explique un phénomène largement similaire : le chemin du retour est toujours moins long que celui de l'aller : la première fois que vous empruntez un itinéraire, tout est nouveau et différent, tout vient remplir les cases vides de votre mémoire. Le cortex fourmille d'impressions nouvelles. Le chemin du retour sera moins chargé et plus facile, il vous semblera ainsi plus court.

### **Mais alors, pourquoi le temps peut-il passer plus vite pour nous qu'en réalité ?**

Notre appréhension du temps dépend aussi d'une autre donnée : l'attention qu'on lui porte ! Vous vous souvenez sans doute de vos ennuyeuses heures de cours durant lesquelles vous ne faisiez qu'une chose : regarder l'heure toutes les minutes. Eh bien, si vous aviez porté plus d'attention au cours et moins au temps qui passe, vous auriez trouvé que le temps passait plus vite. Ainsi, tout comme l'on ne voit jamais l'eau bouillir lorsqu'on reste devant la casserole à la regarder, si l'on fait trop attention au temps qui passe, l'on trouve que celui-ci prend, justement, tout son temps. A l'inverse, lorsque vous vous amusez, vous ne cherchez pas à faire attention au temps qui passe, et celui s'écoule sans que vous ne vous en rendiez compte.

Pour résumer, notre notion du temps dépend principalement du rythme de notre horloge interne, de la vitesse d'appréhension des messages nerveux par nos neurones et de l'attention qu'on porte à sa perception. Vous comprenez maintenant pourquoi le temps passe si vite quand on s'amuse !

Hugo Gervex

<https://www.apprendrelementalisme.com/2016/11/29/cerveau-notion-temps-decouvrez-temps-passe-vite-on-samuse/>



## **5 mystères sur la perception du temps expliqués**

**Que pensez-vous de la perception du temps ? Le temps existe-t-il dans son propre droit, ou est-il juste dans nos esprits ?**

Le philosophe allemand Immanuel Kant a proposé que le temps ne soit pas, après tout, hors de la perception humaine comme faisant partie de l'univers extérieur, mais qu'il pourrait éventuellement être, avec l'espace, un produit de l'esprit lui-même.

### **1. Qu'est-ce que le temps ?**

Le temps semble être une condition de changement et de mouvement. Mais on ne sait pas exactement ce que le temps est : si il est intégré dans la structure de l'univers, existant en dehors de la perception humaine, ou s'il s'agit simplement d'une structure dans l'esprit humain, avec l'espace, avec lequel les êtres humains mettent les événements en ordre et les maintiennent en relation les uns avec les autres.

Les horloges atomiques sont la mesure la plus précise du temps que nous avons. Elles fixent l'heure normale dans notre âge. Les horloges atomiques fonctionnent en utilisant un oscillateur électronique à fréquence micro-ondes, de la même manière qu'une horloge de grand-père avec un pendule, mais au niveau atomique. Les chercheurs ont suggéré que le cerveau contient une sorte d'horloge primitive, composée d'un stimulateur cardiaque et d'un accumulateur. Il y a une pulsation interne mesurée par l'accumulation d'impulsions.

### **2. Pourquoi le temps semble-t-il aller plus vite à mesure que nous vieillissons ?**

Peut-il être possible que le temps, partagé par les adultes et les enfants simultanément, puisse se déplacer plus rapidement pour un groupe d'âge que pour l'autre ?

Encore une fois, cela soulève la question de savoir si le temps n'existe que dans la perception, ou si c'est quelque chose qui existe en dehors de celle-ci. Mais, les expériences ont clairement montré que les gens dans des situations émotionnellement désagréables, par exemple, perçoivent le temps comme plus lent, tandis que les personnes dans la même situation ayant une expérience agréable, perçoivent le temps passer rapidement. Il semble que des facteurs tels que le confort physique ou émotionnel pourrait affecter la façon dont nous percevons le temps.



Le temps est également marqué par des événements et des actions qui peuvent affecter un intervalle de temps particulier à la mémoire. L'attention portée au passage du temps par son lien avec les événements et les activités pourrait affecter notre perception de la rapidité avec laquelle le temps passe. Le psychologue William James a suggéré que le temps semble accélérer à mesure que nous vieillissons parce qu'il est accompagné progressivement par moins d'événements mémorables.

### **3. Pourquoi les drogues psychédéliques altèrent-elles la perception du temps ?**

Les substances qui altèrent l'esprit peuvent nous donner un aperçu de la façon dont les états altérés de la perception due à l'activité dans le cerveau peuvent affecter la perception du temps. Les gens qui prennent des drogues psychédéliques éprouvent le temps comme modifié. Une expérience, utilisant 20 volontaires sous l'influence du LSD, et la surveillance de l'activité du cerveau avec des scanners du cerveau, a montré que le LSD a un effet observable sur la région du cerveau associée avec le passé. Le LSD modifie la perception du temps en supprimant cette partie de notre cerveau qui amène des souvenirs du passé. Les personnes qui prennent du LSD, par conséquent, vivent beaucoup plus dans le présent et l'avenir que dans le passé.

### **4. Pourquoi les expériences changent-elles notre perception du temps ?**

Quand nous avons peur et que le temps semble ralentir, y a-t-il une raison à cela ? Peut-être, notre perception du temps pourrait ralentir pour nous aider à agir d'une certaine manière. D'autre part, ce pourrait simplement être le fait que nous sommes dans une situation désagréable qui rend chaque moment insupportable. Nous avons déjà vu plus haut que les études avaient démontré que les personnes dans des situations émotionnellement inconfortables perçoivent le temps comme allant plus lentement que ceux qui passent un bon moment. Il semble que le temps ralentit lorsque nous sommes mal à l'aise puisque la souffrance nous rend plus attentifs à chaque sentiment et événement.

### **5. Comment les différentes émotions affectent-elles la perception du temps ?**

Ce n'est pas simplement que les émotions négatives ralentissent le temps, ou les émotions positives qui l'accélèrent. Considérez le stress, c'est une émotion négative qui, cependant, rend notre perception du temps plus rapide. Selon les chercheurs, les humains n'ont pas d'instrument sensoriel réel pour recevoir des informations sur le temps. Ils conviennent, cependant, que le cerveau est intrinsèquement capable de traiter le temps. Ils ont posé l'idée d'une horloge interne du corps, qui fonctionne, comme nous l'avons vu plus haut, en mesurant la pulsation et l'accumulation d'impulsions. Il y a deux mécanismes à l'œuvre qui affectent la perception du temps en fonction de cette horloge corporelle. Il y a le mécanisme d'attention et le mécanisme d'éveil. Dans le cas du mécanisme d'attention, lorsque l'attention est retirée du traitement du temps, le temps semble aller plus vite. Dans le mécanisme d'éveil, ils croient que le stimulateur physiologique accélère, en ligne avec l'activation physiologique de l'organisme. Plus d'impulsions sont comptées, ce qui fait que le temps semble accélérer dans ce cas aussi.

Il semble que la perception du temps dépende d'un certain nombre de facteurs psychologiques et externes. En fin de compte, nous ne pouvons pas savoir ce qui est plus intégral au temps : l'esprit ou le monde extérieur.

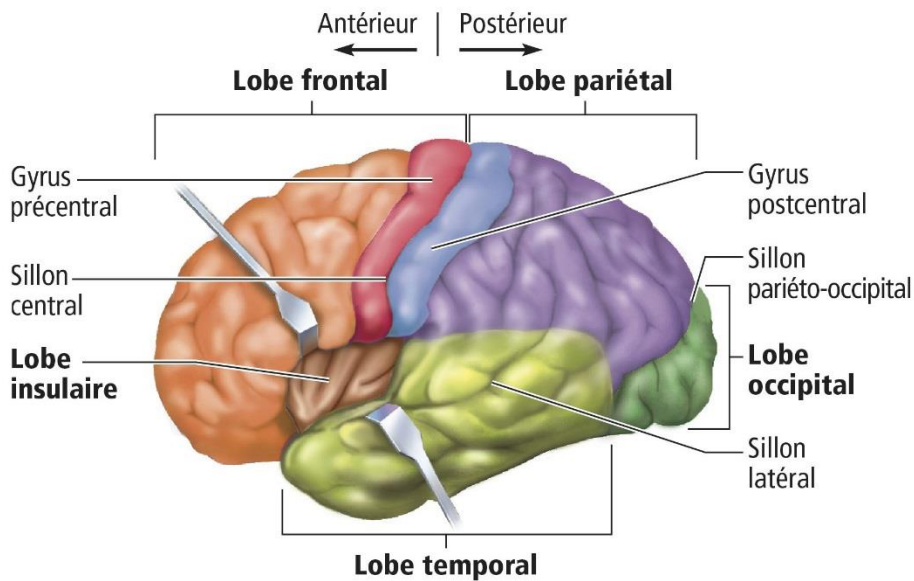


FIGURE 8.11 Lobes, gyrus et sillons du cerveau

Biologie humaine © 2009 Chenelière Éducation Inc.

## Quelques mystères du cerveau

Les dysfonctionnements du cerveau constituent 35% de toutes les maladies en Europe, pour un coût annuel de 400 milliards d'euros, largement plus que les coûts engendrés par les maladies cardiovasculaires et le cancer. Ce n'est pas étonnant. A structure complexe, dysfonctionnements nombreux.

Lundi 3 octobre 2011 Bernard Esambert

1500 grammes en moyenne, c'est le poids de l'organe qui nous permet de nous mouvoir, de sentir, d'agir, d'aimer, de penser, de réfléchir... 100 milliards de neurones et 10 millions de milliards de connexions entre eux via les synapses, si bien qu'un millimètre cube de notre cerveau abrite un demi-milliard de connexions logées pour l'essentiel sur les presque deux mètres carrés que mesure l'étendue déployée du cortex. Voilà l'univers à explorer, où s'ouvre un champ de découverte sans limite. Si l'on ajoute que le cerveau n'est pas une machine électronique moléculaire au sens moderne du terme, que la transition d'une synapse est probablement analogique et qu'elle propage un nombre très élevé de stimuli d'entrées, que sa connectique est sélective, que seule une partie des neurones fonctionnent à un instant donné, ce qui permet de limiter la puissance nécessaire "consommée", on comprendra mieux que nous ne percevons qu'une toute petite partie du centre de notre action dans le monde. Comment un tel monument peut-il tenir dans les 1500 millimètres cubes d'un crâne humain? Pour étudier cette architecture infiniment complexe, le chercheur a longtemps été contraint d'examiner tantôt l'arbre (le neurone isolé), tantôt la forêt (les réseaux de neurones). Grâce à des outils nouveaux comme le microscope bi-photonique (qui ralentit le flux des neutrons) on peut désormais examiner les deux à la fois. Ces vingt dernières années, la recherche sur le cerveau a connu une véritable révolution grâce aux progrès technologiques en bioinformatique et en imagerie. Comprendre le fonctionnement normal et altéré (les maladies neurologiques et psychiatriques) du système nerveux représente pour nos sociétés un enjeu fondamental de connaissance et de santé.

## **L'esprit et la matière**

Décrire ici les mystères de cette terra incognita est une gageure. On se bornera à évoquer quelques grandes questions toujours en cours de déchiffrement, qui éclairent la complexité des lieux, à titre d'illustration. Réalisons d'abord que le siège de notre intelligence et de notre conscience est également partie intégrante de notre corps, qui exerce sur lui une emprise dont il ne peut se défaire. Et que notre cerveau est plus en prise avec les fonctions les plus élémentaires de la vie qu'avec notre intellect.

Le premier mystère, la première surprise, c'est le temps que la science a pris pour comprendre l'importance du cerveau. Il a fallu attendre le XIV<sup>e</sup> siècle pour que le cerveau soit mis à sa place, c'est-à-dire à la source de l'expression humaine. Le cœur a eu longtemps la préférence même si de grands médecins, Hippocrate et quelques autres, ont fait du cerveau l'organe central des sensations et de la conscience. Hippocrate y loge en particulier le siège du "mal sacré" (l'épilepsie). Plus tard Galien disséquera des cerveaux de bœufs et de cochons et décrira entre le cœur de l'homme et son crâne un réseau "admirable" transportant l'énergie vitale de la chaudière cardiaque jusqu'à la base inférieure du cerveau où elle se transformait en principes spirituels.

Shakespeare, lui, choisit de ne pas choisir: "Dis-moi où siège l'amour, dans le cœur ou dans la tête?" demande un héros du Marchand de Venise. Au début du XVI<sup>e</sup> siècle, Léonard de Vinci prend pour la première fois un moulage en cire des ventricules cérébraux mais la voie du cérébrocentrisme n'est pas encore née pour autant. Même Descartes n'attribue au cerveau qu'un rôle mécanique.

Il faut attendre Galvani pour en finir avec les esprits animaux grâce à la découverte d'une électricité animale qui fait le lien entre le cerveau et les muscles. Avec la découverte de "l'énergie spécifique des nerfs" va démarrer la grande aventure des localisations cérébrales. Après trente siècles de règne "cardiocentriste".

## **La vie des neurones**

Le deuxième mystère du cerveau résidait jusqu'à une époque récente dans la croyance que peu après notre naissance, les neurones ne se renouvelaient absolument plus, à la différence des autres cellules du corps humain. Notre plasticité cérébrale découlait uniquement du changement des connexions synaptiques entre les neurones. Depuis quelques années seulement, la preuve a été apportée que de nouveaux neurones naissent dans le cerveau adulte tout en s'intégrant dans les circuits nerveux préexistants, précisément dans le bulbe olfactif ainsi que dans l'hippocampe, une structure jouant un rôle clé dans la mémorisation.

Cette neurogenèse est actuellement au cœur de recherches très actives. On ignore en effet si ces nouveaux neurones ont une fonction et s'ils sont à même d'être orientés pour assumer la mission qu'on leur aurait assignée pour guérir certaines pathologies. Mais grâce à la découverte de ce "kit de reconstruction", un dogme enseigné à des générations d'étudiants en médecine est tombé, et avec lui le mythe du déclin inexorable de la population neuronale.

Ce qui nous amène tout naturellement à un troisième mystère du cerveau. Contrairement à ce que l'on imaginait encore récemment le vieillissement normal n'est pas associé à une mort neuronale.

Ce concept excessivement pessimiste est désormais contredit par des comptages précis de cellules nerveuses dans plusieurs zones du cerveau. Il est aujourd'hui probable que les cellules nerveuses ne meurent pas au fil du temps, elles subsistent mais perdent une partie de leurs capacités fonctionnelles en abandonnant une partie de leurs connexions. Cela limite les informations qui circulent et les fonctions qui en découlent. Le vieillissement est donc plus une affaire de perte de synapses que de mort neuronale. Les pistes de recherches envisagées consistent à identifier des facteurs neurotrophiques (l'équivalent d'un "engrais") régénérant l'activité des neurones. Bref, au cours du vieillissement, le neurone sait se défendre et survit dans un combat permanent entre affaiblissement et vitalité.

On passera pratiquement sous silence cet autre mystère suivant lequel la forme du contenant éclairerait sur la qualité du contenu. Il s'agit bien sûr de la géométrie du crâne qui a fait couler beaucoup d'encre depuis que les mesures anthropométriques existent. En réalité notre merveilleux tapis cérébral, sa matière blanche, notre cerveau limbique... peuvent trouver leur place dans un cerveau de dimension suffisante quels qu'en soient les traits saillants. Le lobe frontal représente le tiers du cerveau et il présente des aires multiples qui permettent de faire cohabiter intelligence, pensées abstraites, mémoire à court terme, prises de décisions, planifications. Pour autant, il ne s'abritera pas derrière un front bombé dit "intelligent" et sa façade n'était pas spécialement avantageuse chez Einstein ou chez Diderot. Grâce aux feuillets et aux circonvolutions, la feuille cérébrale sait se loger discrètement.

### **Un organe social?**

Un cinquième mystère du cerveau résulte de la découverte dans les années 1990, par une équipe italienne, des "neurones miroirs", sorte d'effecteurs d'un "cerveau social" construit sur la base de comportements d'imitation de l'autre. Sous les yeux d'un singe un homme prend dans sa main quelques olives. Dans le cortex de l'animal un neurone "miroir" se met à fonctionner. Le singe simule le geste de l'autre "dans sa tête". Ce qui vaut pour le quadrumane vaut pour le jeune enfant dont on soupçonne que les neurones miroirs s'activent devant son image dans la glace. Il comprend ainsi que celui qu'il imite derrière le miroir n'est autre que lui-même. Mais c'est aussi en codant les représentations des autres à l'intérieur de notre cerveau que nous nous comprenons mutuellement. Il y a ainsi partage et apprentissage de l'expérience lorsqu'elle surgit au quotidien.

Ainsi, chacun reconnaît l'existence d'autres "moi". De là à considérer que cette modalité fondamentale de la connaissance est à l'origine de la compassion, il n'y a qu'un pas. Ce qui est en tout cas évident, c'est que l'on se construit au contact de l'autre, des autres et que la solitude débouche sur l'incomplétude. En déduire que le cerveau est un organe social n'est pas dénué de fondement. Le lien social aide très probablement à maintenir les facultés cognitives du cerveau. Les gérontologues prévoient même qu'une vie professionnelle prolongée retarde l'apparition de la maladie d'Alzheimer.

### **Un bricolage évolutif**

Sixième mystère: au fait, d'où vient notre cerveau? D'un "bricolage évolutif", pour reprendre l'expression de François Jacob. Les données les plus récentes sont en accord avec la théorie générale de l'évolution. Nous avons tendance à faire instinctivement des choix qui correspondent au rappel d'un acquis au sein d'une enveloppe génétique propre à l'espèce humaine.

Mais au-delà de cet acquis qui nous rappelle la préséance du corps, notre parenté avec les autres espèces animales et l’empreinte d’une origine inférieure, notre cerveau conservant ainsi les traces des expériences du passé, notre originalité est la très longue période d’apprentissage qui suit la naissance. Car au-delà de notre enveloppe génétique, la plasticité structurale et fonctionnelle des connexions synaptiques permettent à l’environnement et à notre vie en société, le dépôt de véritables empreintes du vécu sensoriel. Ces connexions sont façonnées par les stimuli liés à notre activité et à nos contacts avec les autres. L’évolution a probablement commencé par créer des systèmes aveugles sans aucune liberté. La complexité a permis la création d’individus libres de choisir.

Le septième mystère du cerveau est sa plasticité, précisément. Cette plasticité autorise la réorganisation des connexions nerveuses. Elle est liée aux bases moléculaires et cellulaires du cerveau. Tout au long de l’existence, l’organe cerveau connaît des modifications permanentes, mais sa capacité de réorganisation est beaucoup plus élevée chez l’enfant que chez l’adulte. Et le cortex a horreur de la jachère. Un territoire abandonné est aussitôt colonisé par les aires voisines. Ce sont ces phénomènes de plasticité cérébrale qui permettent de récupérer au moins partiellement certaines fonctions après un accident vasculaire cérébral (AVC) par exemple, même si pour certaines aires dites “éloquentes”, les déficits sont généralement lourds et irréversibles.

En sens inverse, des études épidémiologiques montrent que la très grande majorité des patients opérés de tumeurs lentement infiltrantes ne présentent pas de déficits fonctionnels identifiables et exercent une activité professionnelle normale. De même est-il admis que les maladies neuro-dégénératives présentent une longue phase prodromique, asymptomatique, la plasticité masquant la dégénérescence qui ne s’exprime au plan clinique que lorsque le nombre de neurones détruit est tellement important qu’il ne peut plus être «compensé» par les neurones restants, c’est-à-dire vraisemblablement plusieurs dizaines d’années après le début de la maladie. Bref, le processus adaptatif est à géométrie variable et sa dynamique nécessite la mise en œuvre d’approches multidisciplinaires.

### **Comment fonctionne-t-il?**

Huitième mystère: le cerveau humain ne fonctionne absolument pas comme un ordinateur. La mémoire, pour prendre un exemple, n’est pas stockée comme dans un ordinateur car nous réinventons sans cesse nos souvenirs et sommes programmés pour disposer d’une certaine liberté. Mais surtout, notre cerveau ne fonctionne pas sur le mode entrée / sortie. En permanence, l’homme anticipe, simule des actions à venir, bâtit des représentations du monde faites d’anticipations de calculs, de désirs et d’espérance. Mais le cerveau humain est aussi une partie du monde. Il façonne la réalité extérieure en y projetant ses désirs, ses intentions, ses perceptions. Notre cerveau est donc projectif. C’est aussi un comparateur. Il compare l’état du monde avec ses hypothèses, ce qui déclenche tour à tour la peur, le regret, la joie.

Neuvième mystère: le cerveau et les théories du chaos. C’est l’épilepsie qui nous donne une nouvelle interprétation du fonctionnement du cerveau. Lors d’une crise d’épilepsie certains réseaux neuronaux sont hyperactivés et synchronisés et déclenchent en quelque sorte une décharge électrique qui neutralise l’activité du cerveau sur son chemin, provoquant les différentes formes que revêt l’absence épileptique. Un jeune mathématicien a imaginé que la crise d’épilepsie provenait ainsi du passage du désordre (des micro-courants électriques dans tous les sens) à l’ordre (la synchronisation de centaines de millions de neurones conduisant à la création d’un courant électrique d’une intensité ravageuse pour le cerveau). A l’aide d’un “attracteur” il a pu remonter jusqu’au moment où le “passage à l’ordre” déclenche la crise.

Ainsi est-il arrivé à prévoir la survenue d'une crise d'épilepsie temporale avec une avance de quelques minutes et on peut imaginer que dans quelques années les patients atteints de cette forme d'épilepsie, grâce à un appareil d'enregistrement, à un micro-ordinateur et à une pompe à injection d'un produit antiépileptique, miniaturisés, pourront ne plus déclencher d'absences. Des micro-stimulateurs intelligents capables à la fois de détecter le basculement vers une crise et de la bloquer sont probablement pour après-demain. Mais cette découverte aura peut-être aussi des conséquences sur la modélisation mathématique des signaux cérébraux.

### **De la musique avant toute chose**

Dixième mystère: notre cerveau serait-il musicien? De nombreuses études confortent cette idée, allant jusqu'à juger probable que nous ayons exploité notre cerveau dans des activités de vocalisation bien avant de l'utiliser pour la parole. Les aphasiques, les enfants dyslexiques, les personnes atteintes d'une maladie d'Alzheimer, d'une maladie de Parkinson semblent bénéficier d'effets cliniques ayant pour cause directe l'écoute de la musique ou sa pratique. De nombreuses études tendent à montrer que la musique exerce une influence sur le comportement qui va au-delà de ces simples aspects esthétiques ou affectifs. Aux bases neurales de la *curiosa mathematica* du mystère précédent on peut rapprocher celle de la musique.

Sans doute la présence des circuits neuronaux essentiels à la même musique dans les régions temporales supérieures et la proximité entre réseaux de la musique et réseaux du langage expliquent-ils que l'on soit désormais en mesure d'envisager des actions "musico-thérapeutiques".

Au terme de cet examen du fonctionnement de notre cerveau on se gardera d'aborder des thèmes comme ceux de l'intelligence, des émotions et de la conscience. La conscience relève-t-elle d'un compartiment, d'un département du cerveau d'un traitement sériel plutôt que parallèle de l'information? Si l'on sait où se mélangent émotions et raison dans le lobe frontal, le reste relève d'hypothèses sur lesquelles chaque chercheur a son opinion.

A fortiori percer les secrets de l'âme relève de l'utopie. Embrasse-t-elle l'ensemble du cerveau plutôt que l'une de ses régions? Ne relève-t-elle pas d'un ensemble plus vaste avec lequel des relations d'une certaine intensité se sont établies? Ne se dilue-t-elle pas au niveau de tous ceux, présents et à venir, qui auront gardé une trace de notre passage?

### **L'enjeu de la recherche**

Ce qui est certain c'est que de nombreux domaines extraordinaires restent à défricher et qu'ils relèvent tous d'une totale interdisciplinarité et de la prise en compte des dysfonctionnements du cerveau qui en permanence permettent d'ouvrir des fenêtres sur cet organe. Ainsi des recherches sur l'épilepsie ont-elles permis de localiser plusieurs centres du rire. C'est ensemble que chercheurs en neurosciences, biologistes, neurologues, neuropharmacologues, mathématiciens, physiciens, chimistes, spécialistes de l'imagerie médicale, mais aussi psychiatres (la psychiatrie relevant pour une part des sciences dures et pour l'autre de la psyché), sans oublier les sciences humaines et sociales, devront unir leurs connaissances et leurs intuitions.

Comprendre le cerveau suppose un effort immense de recherche faisant appel à la génétique, à la biologie moléculaire et cellulaire générale, à l'imagerie, à l'étude de l'environnement physique et social, grâce aux efforts unis de ces représentants de nombreuses disciplines. C'est la tâche à laquelle se consacre la Fédération pour la recherche sur le cerveau.

Près d'un quart de la population européenne est atteint d'une ou plusieurs pathologies du cerveau, pour un coût de 400 milliards d'euros par an, largement plus que les coûts engendrés par les maladies cardiovasculaires et le cancer. Au même moment les moyens financiers investis dans la recherche sur le cerveau en Europe s'élèvent à 4 à 5 milliards d'euros, c'est-à-dire 1% des coûts engendrés. Aux Etats-Unis et au Japon, les deux dernières décennies ont été celles du cerveau. Souhaitons que la France et l'Europe lui attribuent enfin la priorité qui convient, celle d'une cause essentielle.

Bernard Esambert



## Perception du temps

**La perception du temps désigne la perception subjective que l'on a de l'écoulement du temps.**

Si nous possédons des yeux pour voir, des oreilles pour entendre et un nez pour sentir, nous n'avons pas de récepteurs sensoriels dédiés à la perception du temps. Or nous semblons pourtant capables de percevoir l'écoulement du temps. L'étude de la perception du temps se confronte donc à ce qui peut sembler un paradoxe renvoyant à la nature même du temps où se rencontrent les expériences psychologiques, les réflexions philosophiques et les mécanismes fondamentaux du cerveau.

La perception temporelle a fait l'objet de nombreux travaux depuis les premières études psychophysiques au XIXe siècle jusqu'aux explorations en imagerie cérébrale les plus récentes. Les expérimentateurs se sont attelés à distinguer différents types de phénomènes qui relèvent tous de la perception du temps :

- la perception des durées ;
- la perception et la production de rythmes ;
- la perception de l'ordre temporel et de la simultanéité.

La question reste posée de savoir si ces différents domaines de la perception temporelle procèdent des mêmes mécanismes ou non, en particulier d'autres distinctions ont été introduites sur la base de l'échelle de temps considérée. Ainsi selon le psychologue français Paul Fraisse<sup>1</sup>, il convient de distinguer la perception temporelle (pour des durées relativement brèves jusqu'à quelques secondes) de l'estimation temporelle qui désigne notre capacité à appréhender des durées longues (supérieures à plusieurs secondes jusqu'à des heures ou davantage).

### **Études expérimentales de la perception du temps**

L'étude scientifique de la perception du temps remonte aux travaux du psychologue allemand Johann Czermak qui en 1857, publie une série de résultats sur ce qu'il appelle le "sens du temps" (Zeitsinn). Au moyen des méthodes de la psychophysique naissante, il entreprend de mesurer : le plus petit intervalle de temps perceptible dans les différentes modalités sensorielles (vision, audition et toucher)

comment une même durée est perçue par les différents sens

comment varie la perception de la vitesse d'un objet en fonction de la perception de l'espace

Ces questions posent les jalons de l'étude expérimentale du « temps psychologique ». À la même époque et pendant toute la deuxième moitié du XIXe siècle, Ernst Mach, Karl Vierordt, Wilhelm Wundt ou Gustav Fechner mènent eux aussi des expériences visant à tester si la perception du temps possède des caractéristiques communes avec la perception d'autres grandeurs physiques, par exemple si elle obéit à la loi de Weber ou non. L'une des premières conclusions de ces travaux fut de montrer que la perception temporelle suit approximativement une loi de Weber sur certaines gammes de durées dont l'étendue varie suivant les conditions expérimentales.

Au cours du XXe siècle, la psychologie expérimentale poursuit l'étude de la perception du temps chez l'homme au moyen de paradigmes nouveaux en la comparant avec les données obtenues chez l'animal. Au moyen de procédures adaptées, il a rapidement été montré que les animaux de laboratoire (rat, pigeon, chat et singe principalement) étaient sensibles aux relations temporelles entre les événements. Déjà, les expériences de Pavlov sur le conditionnement indiquait qu'un chien habitué à recevoir de la nourriture à un délai fixe après une sonnerie salivait en anticipation de ce stimulus appétitif. L'un des protocoles ayant permis de mettre en évidence les capacités chronométriques de l'animal est la peak procedure : dans ce type d'expérience, l'animal est entraîné à attendre une certaine durée avant de faire un geste donné (par exemple appuyer sur un levier) afin recevoir une récompense. S'il appuie trop tôt, aucune récompense n'est délivrée. Or les animaux non-humains sont parfaitement capables d'effectuer cet exercice, prouvant en cela qu'ils possèdent eux aussi un sens du temps. Par la suite, des expériences similaires ont permis de montrer que les performances temporelles des animaux se conforment elles aussi à la loi de Weber. Si bien que, même si les sensibilités sont différentes d'une espèce à l'autre, il semblerait que la perception du temps chez l'homme et l'animal soient fondée sur les mêmes bases neurobiologiques. Parallèlement, la psychopharmacologie a permis d'aborder ces questions sous un angle plus biologique : de multiples travaux ont montré que certaines molécules psychoactives pouvaient perturber la perception du temps, humaine comme animale. C'est ainsi que le système dopaminergique semble jouer un rôle critique, au moins s'agissant des durées "supra-secondes" (i.e., supérieures à quelques secondes) pour lesquelles des paradigmes expérimentaux analogues ont pu être explorés chez l'humain et chez l'animal.



Comme dans d'autres domaines de la psychologie expérimentale, l'informatique joue désormais un rôle important dans les laboratoires de recherche. La rapidité des systèmes électroniques permet en effet de mieux contrôler la présentation des différents stimuli (visuels, auditifs...), un aspect évidemment critique des expérimentations sur la perception temporelle. Mais plus généralement, l'informatique facilite le recueil et l'analyse des données. Les systèmes informatiques sont aussi des éléments centraux des outils d'imagerie cérébrale qui sont employées dans les neurosciences cognitives contemporaines. Parmi ces techniques, l'électroencéphalographie (EEG) a joué et continue de jouer un rôle important dans l'étude expérimentale de la perception du temps car cette technique donne accès à l'activité cérébrale avec une précision inférieure à la milliseconde. On a ainsi pu mettre en évidence des ondes électriques dites lentes (comme l'onde CNV, contingente negative variation) qui apparaissent lorsqu'un individu attend un stimulus se produisant après un délai donné.

Par ailleurs, l'augmentation des capacités de calculs permet de modéliser les mécanismes supposés afin d'en tirer certaines prédictions que l'on peut ensuite vérifier empiriquement sur des données réelles. Les modélisations sur la base de réseaux neuronaux ont ainsi montré que, sous certaines conditions, le traitement de l'information temporelle peut être un phénomène émergent de la circuiterie neuronale, sans qu'il ne soit nécessaire d'évoquer un mécanisme spécifique, telle une "horloge centrale".

### Mécanismes physiologiques

On peut distinguer plusieurs mécanismes de perception du temps, selon l'échelle à laquelle on se place :

	<b>Rythme circadien (cycle jour/nuit)</b>	<b>Interval timing</b>	<b>Millisecond timing</b>
<b>Effets sur le comportement</b>	Appétit, Cycles Sommeil-Veille	Anticipation, Prise de décision, Estimation du temps consciente	Langage parlé, Musique, Contrôle moteur
<b>Structures cérébrales impliquées</b>	Noyaux suprachiasmatiques	Circuits cortico-striataux, Neurones dopaminérgiques	Cervelet
<b>Mécanisme</b>	Boucles de régulation transcriptionnelle/traductionnelle	Détection de coïncidence, <i>Long term polarization</i>	Peu connus

### Modèles d'horloge interne

Jusqu'à présent plusieurs hypothèses s'affrontent sans pour autant être contradictoires. d'une part le modèle dit de pacemaker-accumulateur proposé en 1984 par Gibbon, Church et Meck<sup>2</sup>. Inspiré du mouvement cognitiviste, ce modèle postule l'existence d'un pacemaker qui délivre des impulsions de manière régulière. Ces impulsions sont "stockées" dans un accumulateur. Lorsqu'il s'agit par la suite d'effectuer un jugement temporel, comparer la durée de deux stimuli par exemple, l'accumulateur communique le nombre d'impulsions comptabilisées lors de la première durée dans ce qui est appelé une "mémoire de référence". Lors de la seconde durée, le contenu de l'accumulateur est transféré en mémoire de travail et est comparé à la mémoire de référence. En fonction de la différence relative, le sujet testé peut répondre (avec une certaine erreur) si la première durée est plus longue ou plus courte que la seconde.

Dans les années qui ont suivi la présentation de ce modèle, de nombreuses tentatives furent menées pour assigner des bases neurobiologiques à ces différents opérateurs intervenant dans le modèle de pacemaker-accumulateur. Dans les versions les plus courantes de ce modèle, il existerait ainsi des zones cérébrales spécialisées dans le traitement de l'information temporelle, indépendamment de la modalité sensorielle du stimulus par exemple. Meck a ainsi suggéré que le système des ganglions de la base pouvaient jouer le rôle de pacemaker-accumulateur, tandis que d'autres comme Richard Ivry défendait plutôt l'idée que le cervelet (en particulier le vermis) était central dans la perception temporelle-

d'autre part le modèle de l'encodage spatial du temps, tenant compte de la dynamique des réseaux neuronaux. Le principe est le suivant : lorsque l'on perçoit un stimulus, il va y avoir activation d'un certain nombre de neurones au sein d'un réseau. On peut voir le réseau de neurones comme une grille. Ainsi l'information temporelle est encodée par le nombre et la position des neurones activés. Des neurones "extérieurs" peuvent décoder cette information grâce à un renforcement des synapses spécifiques des neurones détectés. Pour qu'un tel modèle soit possible, il faut cependant qu'un stimulus déclenche toujours la même cascade d'évènements, ce qui semble être le cas d'après des études de modélisation informatique. d'autres hypothèses sont également prises en compte, incluant des "neurones oscillateurs" ou des différences dans l'activation des neurones.

## Références

1. ↑ "Perception et estimation du temps", Fraisse P. in Fraisse P., Piaget J. Traité de psychologie expérimentale Tome IV PUF Paris 1967
2. ↑ Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W.H. (1984). Scalar timing in memory. In J. Gibbon & L. Allan (Eds.), Timing and time perception (pp. 58-87). Annals of New York Academy of Sciences.

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Perception\\_du\\_temps](https://fr.wikipedia.org/wiki/Perception_du_temps)