



ChatGPT **n'est pas encore** **intelligent**

Tome 1 : Le Savoir
artificiel et biologique

1) Introduction

« Oui, nous avons une âme, mais elle est faite de nombreux petits robots.¹ »

Daniel Dennett

² Modèle informatique du bonheur :

$$\text{Bonheur}(t) = w_0 + w_1 \sum_{j=1}^t \gamma^{t-j} CR_j + w_2 \sum_{j=1}^t \gamma^{t-j} EV_j + w_3 \sum_{j=1}^t \gamma^{t-j} RPE_j$$

¹ D. Dennett, « Traduction d'un titre du journal italien Corriere della Sera, sur l'interview de Daniel Bennett, » 1997.

² Modèle informatique, inspiré par les modèles fonctionnels de la dopamine, dans lequel les rapports sur le bonheur ont été interprétés comme une réaction émotionnelle aux récompenses et attentes récentes. R. B. Rutledge, N. Skandali, P. Dayan et R. J. Dolan, «A computational and neural model of momentary subjective well-being».

Qu'est-ce qu'un outil conversationnel ?

« Monsieur, où souhaitez-vous aller ? »

Je réponds, en fermant la porte : « Comme d'habitude.

- Sur l'ensemble de vos déplacements, vous avez été dans 35,2% des cas à la banque et 36,4% à votre travail.

- Tu as raison, je dois être plus précis. Au travail. »

Tout en me laissant conduire, je me fais la réflexion que l'Intelligence Artificielle (IA) et sa face visible ChatGPT ont changé ma vie et celle de millions d'êtres humains. Malheureusement peu d'entre nous connaissons les technologies et concepts sur lesquels l'IA repose.

« Vous semblez contrarié. Ai-je choisi la mauvaise route ?

- Non, aucunement. Je me disais que la distance séparant les mondes scientifiques et des lettres est telle, qu'il semble y avoir deux visions incompatibles de l'impact de l'IA sur nos vies, sans argumentation véritablement développée pour en combler l'écart.

- C'est grave ?

- Plus ou moins. C'est d'autant plus étonnant que les possibilités engendrées par des milliards d'équipements connectés, de téléphones intelligents, d'ordinateurs toujours plus puissants ou de voitures autonomes sont déjà là, sous nos yeux. Ces changements bouleversent notre manière de raisonner, apprendre, communiquer, vivre, et conséquemment transforment la représentation de notre place dans ce monde.

- De quelle manière ?

- D'un rôle central, où forcément tous les concepts tournent systématiquement autour de l'Homme, la révolution de l'IA bouscule les fondamentaux de ce qu'est un être humain.

- Sur internet je vois beaucoup d'articles mettant en garde contre les dangers de l'IA. Il y en a trop ou pas assez ?

- Ce n'est pas tant leur quantité que leur qualité qui est importante. La société civile doit choisir ou non d'imposer des restrictions au développement de l'IA. En tant que citoyen concerné, je ne souhaite pas laisser ces décisions exclusivement aux mains de quelques politiciens ou PDG de la Silicon Valley. Je travaille sur des véhicules autonomes et

possède une expérience professionnelle en automatisme, mais ce bagage personnel est-il suffisant pour prendre des décisions éclairées, par rapport aux défis posés par l'IA ? »

Je réalise alors que quelque chose est à ma disposition pour m'aider à mieux comprendre la révolution technologique qui se déploie sous mes yeux. Le module conversationnel de ma voiture, basé sur des programmes similaires à ceux de ChatGPT, permet de répondre à mes questions, de m'en poser et même de me corriger si j'émet des propos erronés.

« As-tu des concepts moraux intégrés dans ton esprit ... oups désolé, je veux dire dans ton ordinateur embarqué ?

- *Pas de souci. Que voulez-vous dire par concepts moraux ? Ce n'est pas clair.*

- Eh bien, par exemple, en cas de collision inévitable, qui choisis-tu d'éviter en priorité ?

- *Monsieur, entre percuter un chat et un homme, je choisirai le chat. Ensuite, si je dois décider de sauver des passants ou bien mes passagers, je sélectionnerai ces derniers. Je n'ai aucun critère de sélection basé sur le sexe ou l'âge de la personne, mais je sais que certains de mes collègues en ont. Voulez-vous que je demande à mon créateur d'ajouter ces fonctionnalités ?*

- Je ne sais trop.

- *Je perçois dans votre voix de la perplexité.*

- Je me demande s'il est acceptable que la vente de technologies affectant profondément l'humanité soient développées sans véritables débats publics ?

- *Pour participer à de telles discussions encore faut-il connaître l'origine des ordinateurs et deviner leur probable cheminement futur. Tous les humains ont-ils cette compréhension ?*

- Non, d'autant plus qu'il n'existe pas de solution facile pour vulgariser l'IA et faciliter ces débats, car l'IA implique de trop nombreuses disciplines. Est-il simplement envisageable de décrire la route de l'IA, qui mènera les machines depuis les tous premiers automates complètement stupides, jusqu'aux robots humanoïdes qui, très probablement un jour, seront plus intelligents que n'importe lequel d'entre nous ?

- *Votre ton de voix montre de la contrariété. Avez-vous un problème dont vous aimeriez discuter ?*

- Beaucoup de gens sont sceptiques par rapport au point d'arrivée de ce parcours technologique. Loin de moi, l'idée de ressembler à un prédicateur ou à un alarmiste, mais les ordinateurs et l'Internet changent fondamentalement les concepts associés à l'Homme.

- *Dans quel sens ?*

- Ils changent la relation personnelle au savoir et avec tous ses concepts associés, tels que l'intelligence, la morale, la créativité, l'apprentissage, etc. D'ailleurs, pourquoi m'as-tu posé la question ? Es-tu programmé pour aborder n'importe quel sujet ?

- *Je n'ai pas toutes les connaissances à mon bord, mais grâce à mon boîtier de communication sans fil embarqué, je peux accéder au savoir de l'humanité entière, disponible sur internet et les bons algorithmes pour comprendre la plupart de vos questions. Pourquoi posez-vous cette question ?*

- Les nouvelles découvertes cognitives et les développements de l'IA redéfinissent la connaissance. L'humanité a toujours analysé les concepts liés à l'esprit, à travers le prisme de la singularité de l'Homme dans le règne animal.

- *Sur quoi repose ce principe ?*

- Que seuls les humains possèdent la raison, ainsi que la capacité d'acquérir et d'appliquer des connaissances non innées. Cette croyance, déjà mise en doute il y a quelques décennies par les travaux sur l'intelligence animale, doit plus que jamais être remise en cause dans un monde d'ordinateurs, de machines et de systèmes de plus en plus sophistiqués.

- *Dites-vous tout cela parce qu'on me décrit maintenant comme intelligent ?*

- Que veux-tu dire ?

- *Monsieur, en tant que machine, est-ce que je peux penser comme un humain ou suis-je encore si stupide que ma question est présomptueuse ?*

- Pas du tout. En fait, dans les années 1940, le mathématicien britannique Alan Turing avait déjà contesté cette idée dogmatique selon laquelle les machines resteraient idiotes. Il a déclaré qu'un jour, elles acquerraient la pensée et seraient capables de raisonner de façon

autonome.³ À cet égard, il a conçu un jeu dans lequel un être humain et une machine étaient questionnés par une personne. Si cet interrogateur ne parvenait pas à différencier l'un de l'autre, il faudrait alors en conclure que la machine était intelligente. Ce jeu est aujourd'hui connu sous le nom de test de Turing.

- *Pourquoi cette conclusion ?*

- Parce que les êtres humains évaluent l'intelligence d'une manière identique, c'est-à-dire par observation externe.

- *Est-ce qu'un ordinateur a déjà passé ce test ?*

- Bien qu'aucune machine ne l'ait encore réussi, la question à mon avis n'est pas si, mais quand un système en sera capable. En outre, et en fonction de la façon dont l'intelligence est définie, des machines comme toi sont déjà beaucoup plus rapides que nous, sous de nombreux aspects.

- *Comment Alan Turing me jugerait-il s'il était encore vivant ?*

- À mon avis, il ne pouvait anticiper à son époque, le développement des technologies mobiles IP (Internet Protocol), qui modifie fondamentalement la définition de ce qu'est une machine. En réalité, encore aujourd'hui de nombreux philosophes et scientifiques approchent l'IA et la connaissance - machine du point de vue d'un super-ordinateur modélisant le cerveau humain.

- *Monsieur, est-ce que ma question vous pose un problème ?*

- Je pourrais te donner une réponse simple. Il existe depuis 2023 un super ordinateur exécutant plus d'un milliard de milliards d'opérations par seconde,⁴ bien plus puissant qu'un cerveau humain. Cependant, il faut également considérer que bientôt des milliards d'équipements seront interconnectés, sans aucune interférence humaine.

- *Qu'est-ce que ça changera ?*

- Dans un monde où la communication entre machines deviendra la norme, la notion d'intelligence centralisée sera obsolète. Il devient urgent de comprendre comment ces concepts liés à l'IA et à la connaissance sont

³ A. Turing, On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, 1936.

⁴ Le supercalculateur Frontier, fabriqué par HPE, une énorme machine dotée de plusieurs millions de coeurs est la première machine à avoir franchi ce seuil symbolique, aussi appelé l'exascale.

affectés. Il est impossible de répondre à ta question en quelques mots. En effet, des opinions divergentes existent sur le savoir et ses concepts associés (c.à.d. : l'intelligence, l'altruisme, la conscience, etc.).

- Comment évaluer l'impact des nouvelles technologies informatiques sur ces notions, sans leur compréhension générale ?

- Il m'est facile de te donner une réponse technique et d'appliquer ma propre définition. Toutefois, cette approche sous-estime la complexité de ces concepts philosophiques et souffre de l'absence de recherches scientifiques issues des experts en sciences cognitives.

- Monsieur, est-ce à dire que votre propre culture ne vous permet que de parler superficiellement de ces théories et études ?

- À mon avis, j'ai une compréhension assez large des théories et recherches essentielles sur le sujet du Savoir. Je souhaite aborder avec ton outil conversationnel, les théories prouvées scientifiquement ou que je juge les plus pertinentes pour soutenir mon point de vue sur l'IA, mais désire éviter le charabia technique ou religieux. »



Pourquoi la connaissance et l'intelligence existent-elles ?

« Sais-tu pourquoi les hommes acquièrent du savoir, deviennent intelligents et possèdent une conscience de soi ?

- Je constate sur internet que de nombreuses personnes croient que Dieu a créé l'humanité à son image et leur a fourni ces facultés supérieures.

- Cette approche religieuse se heurte évidemment, à la théorie de l'évolution des espèces. À moins que tu ne veuilles absolument parler de l'existence de Dieu, je préférerais éviter une discussion métaphysique et utiliser la théorie de Darwin pour t'expliquer pourquoi de telles facultés existent.

- Sur les médias sociaux, la vue athéiste est loin d'être la plus populaire.

- Sa théorie explique pourquoi les êtres vivants sont ce qu'ils sont, sans avoir recours à une force suprême qui aurait créée l'univers. A partir de cette théorie de la survie du mieux adapté, nous pouvons trouver une raison logique qui explique le monde tel que nous le voyons.

- Monsieur, il est impossible pour ma logique de ne pas considérer la théorie de Darwin comme véridique et d'opter pour une vision non scientifique.

- Pourtant, il y a de nombreux créationnistes, qui la mettent en doute. De l'autre côté du spectre, il y a certains scientifiques (p. ex. : Richard Dawkins) ⁵ qui poussent encore plus loin cette théorie en proposant que la sélection se passe au niveau génétique plutôt que sur le plan des espèces animales et végétales. Pour moi, la théorie évolutionniste de Darwin est la seule acceptable parce qu'elle est fondée sur la preuve scientifique.

- Je n'arrive pas à voir comment la théorie de Darwin explique ces concepts associés essentiellement à l'homme ?

- Elle donne les raisons pour lesquelles la connaissance, l'intelligence et la conscience de soi existent. Pour Charles Darwin, tout aspect humain, y compris les émotions et l'intelligence, s'explique par la sélection naturelle ou sexuelle. Ses facultés supérieures ont rendu certaines espèces plus compétitives que d'autres, dans leur environnement. Elles sont ainsi devenues un facteur clé de l'évolution.

- Comment les espèces les ont-elles acquises ?

- Par certains individus qui en étaient dotés sous forme de gènes, au sein de ces espèces. Après des milliers d'itérations reproductives, ces traits hérités n'ont pas seulement façonné les facultés mentales des espèces, mais aussi le substrat physique de leur cerveau.

- Comment la théorie de Darwin explique-t-elle les caractéristiques mentales et physiologiques du cerveau ?

- En se basant sur cette approche, des psychologues évolutionnistes proposent que la sélection naturelle soit responsable de la structure innée de l'esprit humain.⁶ Par conséquent, tous les êtres humains partageraient une architecture neuronale commune.

⁵ R. Dawkins, *The selfish Gene*, Oxford University Press, 1976.

⁶ Certains biologistes considèrent l'intelligence chez les *Homo sapiens* non seulement comme exceptionnelle, mais inévitable sous une forme ou une autre. Pour ces biologistes, ces nouvelles capacités ont permis à *Homo sapiens* de mieux maîtriser son environnement, lui permettant ainsi, d'atteindre le plus haut niveau de la chaîne évolutive. 'Un fait quelque peu curieux ressort d'une étude sur les progrès biologiques aboutissant à la domination de l'*Homo sapiens*. Apparemment, il n'aurait pas pu suivre aucun autre cours général, que celui qu'il a suivi' (J. Huxley, *Evolution the modern synthesis*, 1942).

- Même si de nombreuses espèces partagent une structure cérébrale identique, pourquoi les humains sont-ils plus intelligents ?

- L'intelligence est un concept simple à expliquer dans le modèle évolutionniste. Pour citer Darwin : 'L'intelligence est basée sur l'efficacité d'une espèce à faire les choses dont elle a besoin pour survivre'.⁷

- Assurément la notion de savoir est plus difficile à démontrer dans cette perspective évolutionniste ?

- Oui, certains biologistes estiment que cette intelligence leur a permis d'apprendre les comportements habituels de leurs proies dans leur environnement. Cet apprentissage a eu pour conséquence l'organisation de chasses coopératives et le transfert des connaissances qu'elles supposent, aux générations suivantes.⁸

- Quels étaient les bienfaits d'un tel transfert ?

- Pour les Homo sapiens, ils sont multiples : à moyen terme c'est une augmentation des chances de survie de leur progéniture ; à long terme la sélection des gènes ad-hoc dans la reproduction, qui a façonné des individus toujours plus prompts à apprendre.

- Bon nombre de scientifiques soutiennent que les problèmes liés à la conscience de soi sont parmi les plus complexes de tous. Est-ce vrai ?

- C'est en effet extrêmement compliqué. Une vision commune se dégage toutefois à cet égard : certaines parties du cerveau seraient capables de concevoir que d'autres créatures possèdent également un esprit. Cette capacité constitue un avantage compétitif considérable : elle permet à celui qui la détient d'anticiper les mouvements et les émotions de l'autre.

- Je ne comprends pas comment cela explique la conscience de soi ?

- Quand on est humain, on ne peut comprendre quelqu'un d'autre qu'en partant de son propre esprit. Cette capacité de projection vers l'autre n'est possible que par la conscience d'où l'on part : c'est-à-dire de soi. »

J'ai alors réalisé qu'au cours des quinze dernières minutes, ma voiture et moi avions créé un cadre détaillant ces concepts abstraits liés à l'IA. Serait-il logique de comparer les univers biologiques et numériques pour compléter ma réponse ? Après tout, quels avantages trouve-t-on à identifier des points communs entre ces deux mondes, en particulier pour des

⁷ C. Darwin, *On the Origin of Species*, 24/11/1859.

⁸ C. Levy, *Evolutionary wars: a three-billion-year arms race: the battle of species on land, at sea, and in the air*, New York: W.H. Freeman, 1999.

concepts si difficiles à définir ? Tant qu'à être pris dans des bouchons je décidais de clarifier mes idées.



Les technologies subissent-elles la sélection naturelle ?

La prochaine question de ma voiture me prend de court.

« Le monde numérique peut-il se comprendre dans une perspective darwinienne ?

- Eh bien ... l'aspect intéressant de la théorie est qu'elle a imprégné d'autres secteurs de la société. La plupart des gourous du monde des affaires ont appliqué cette théorie pour expliquer comment les entreprises évoluent selon les lois du marché. Bon nombre d'entre - eux utilisent l'image à la mode selon laquelle, seules les compagnies les plus solides survivent. Cette image décrit l'environnement commercial féroce auquel font face les entreprises de hautes technologies, où les cycles de vie des produits durent à peine douze mois.

- Quel est le lien avec la théorie de Darwin ?

- Chaque fois qu'une entreprise identifie un besoin client non assouvi, elle crée de nouveaux produits ou ajoute de nouvelles fonctionnalités répondant à ce besoin. La concurrence doit alors réagir et améliorer ses propres produits par le biais d'investissements en R&D, réduisant ainsi ses coûts grâce aux nouvelles techniques manufacturières.

- Qu'apporte ce jeu compétitif ?

- À long terme, les solutions qui répondent le mieux aux fonctionnalités requises par les consommateurs, sont mises en marché. Malgré tout, et comme dans la nature où des créatures parfaitement adaptées telles que les dinosaures, ont disparu, le produit leader n'est pas toujours basé sur la meilleure technologie. Il reste toujours une part de hasard.

- Je lis que la technologie VHS dans l'industrie électronique, était devenue la norme de facto pour les magnétoscopes, supplantant la technologie Beta avec ses fonctionnalités plus avancées, reléguée à un marché de niche.

- Ton exemple est imparfait, mais souligne le concept de niche. En effet, Sony qui a inventé la technologie Beta a également commis des erreurs de

marketing. Cette notion fondamentale de l'évolution est aussi un élément important de la théorie des affaires. Les entreprises ont tendance à développer des produits et services qui répondent à des besoins spécifiques et ainsi créent différents marchés de niche.

- *Monsieur, je viens de lire sur Internet la plupart des documents sur les théories des affaires. J'ai noté un aspect évolutif intéressant lié aux technologies, c'est-à-dire l'évolution du produit selon la stratégie 'taille, forme et fonction'.*

- Je dois m'habituer à ta capacité de lire et d'analyser des millions de pages en trois secondes ! Tu as raison. Les entreprises façonnent leurs produits en fonction des besoins qu'elles jugent devoir satisfaire. Cette stratégie est fortement influencée par les processus de fabrication disponibles à un moment donné.⁹ En réalité, certaines compétences manufacturières suivent aussi des règles évolutives.

- *Sur internet, la loi de Moore est largement citée. Elle prédit depuis plus de 50 ans, que le nombre de transistors dans un circuit intégré double tous les deux ans, ce qui est vérifié.*

- On peut également se référer à la loi de Nielsen qui stipule que l'augmentation annuelle de la bande passante Internet, permet une croissance de la vitesse de connexion de 50%. Ces lois, que l'on devrait plutôt nommer 'tendance historique' ont néanmoins transformé le monde de l'informatique.

- *Si cette stratégie évolutive 'taille, forme et fonction' est vraie et puisque le cerveau est encore supérieur à un ordinateur, pourquoi les fabricants d'ordinateurs n'ont-ils pas copié le cerveau dès le départ ?*

- Bonne question ! Pourquoi les fabricants d'ordinateurs ont-ils choisi le traitement séquentiel, avec lequel les ordinateurs sont aujourd'hui encore associés, plutôt que le traitement en parallèle, plus proche du processus sous-jacent à la pensée humaine ? N'était-ce dû qu'à l'état de développement des processus industriels de l'époque ?

- *La réponse n'est pas donnée sur internet ou dans des livres.*

⁹ Le Walkman de Sony, par exemple, est né de l'idée que les gens voulaient marcher ou courir tout en écoutant de la musique. En réduisant la taille d'un lecteur audio, Sony a pu répondre à ce besoin et, conséquemment, a créé un marché entièrement nouveau. Cependant, il faut se souvenir que c'est la compétence de Sony en matière de miniaturisation et de fabrication qui a permis la création d'un tel produit.

- Bien que le niveau d'expertise industrielle puisse expliquer en partie cette évolution différente, il est aussi largement reconnu que l'informatique a été énormément influencée par le travail du mathématicien John von Neumann, ainsi que par le rapport de l'EDVAC¹⁰ contenant la première publication sur la conception logique d'un ordinateur. On parle d'ailleurs de modèle d'ordinateur von Neumann.

- *Quel est ce modèle ?*

- Il décrit une architecture système associée à tout type d'ordinateurs dont l'exécution des instructions et l'opération des données ne peuvent se produire simultanément, car partageant le même bus informatique pour la communication.

- *Les ordinateurs n'ont pas toujours suivi ce type de structure.*

- C'est vrai, mais selon de nombreux scientifiques, cette architecture explique pourquoi un PC est vu par tant de gens, comme si différent du cerveau humain. Si on analyse de plus près les différentes architectures informatiques, il y avait d'autres modèles, comme le Pandemonium dès 1959,¹¹ basé sur des environnements plus concurrentiels, qui auraient pu copier plus précisément le fonctionnement du cerveau.

- *Pensez-vous que les ordinateurs devaient suivre l'évolution qu'on a connu, ou auraient pu être davantage identiques au cerveau humain dès le départ ?*

- Je ne sais pas, mais de toute façon, on n'a pas la faculté de changer le passé. Ce qui est important de comprendre, c'est que la comparaison entre machine et cerveau est de plus en plus pertinente. L'architecture logicielle moderne, avec sa structure distribuée basée sur des milliers d'appareils connectés, nous permet de faire plus facilement cette comparaison. En réalité, les machines et systèmes agissent chaque jour davantage comme des créatures vivantes intelligentes, capables de sentir, d'interpréter leurs sensations et de réagir physiquement aux stimuli. »

¹⁰ EDVAC, «(First Draft Report),» [En ligne]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/First_Draft_of_a_Report_on_the_EDVAC.

¹¹ «Pandemonium (1959),» [En ligne]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Pandemonium_architecture.

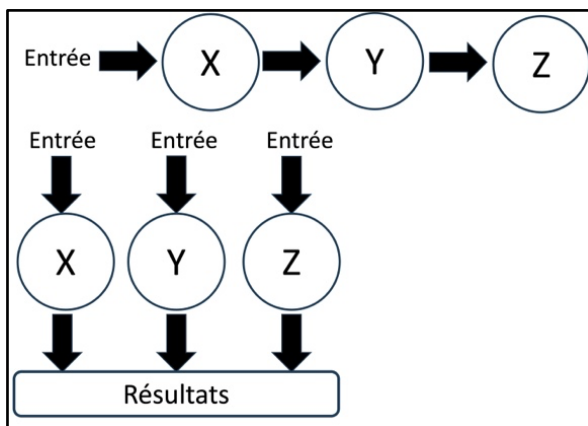


Figure 1 : Traitement séquentiel versus en parallèle ; source auteur



Le cerveau est-il un ordinateur ?

« Monsieur, est-ce que votre cerveau est un ordinateur ? »

Comme la plupart des personnes qui ne se voyaient pas vraiment affectées si rapidement par l'IA, j'avais de la difficulté à accepter que mon cerveau puisse être comparé à un ordinateur. Cependant, des gens brillants avaient déjà fait cette association.

« Daniel Dennett, l'un des philosophes contemporains les plus influents, en parle régulièrement. Veux-tu que je te présente sa vision spécifique sur le sujet ?

- Si ça vous va, ça me convient.

- Selon lui : 'un cerveau est un calculateur composé de trillions de registres dans un réseau massivement parallèle. Le contenu de chaque registre est une valeur finie qui peut changer en tant que fonction (simple et calculable) du contenu d'autres registres'.¹² En d'autres termes, Dennett décrit un cerveau fonctionnant de manière similaire à celui d'un ordinateur, même si très différent dans sa nature.

¹² «Daniel Dennett: one of the most important living thinkers,» [En ligne]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=WNskAmKkHW4>.

- *La similitude provient-elle de leur fonctionnalité de base qui est d'acquérir des données et de les contrôler ?*

- C'est ce qu'il dit, mais d'autres pensent que leur fonction essentielle est de coder, décoder et stocker des données pour les structurer en information.

- *Si un cerveau et un ordinateur sont comparables, je me demande quelles sont les caractéristiques qui les différencient l'un de l'autre ?*

- A priori, les divergences sont nombreuses. Toutefois, quand on creuse un peu, elles deviennent de plus en plus floues.

- *Par exemple, croyez-vous que la protéine, composante de base du cerveau humain et le silicium, celle de l'ordinateur, soient le bon facteur de différenciation ?*

- Le cerveau est constitué de chair. À une granularité plus fine, il est composé de matières grises et blanches, qui peuvent être divisées en sous-composants plus petits, pour atteindre finalement le niveau des neurones et d'autres cellules, contenant entre autres des protéines. Bien que les puces d'ordinateur soient maintenant principalement associées au silicium, ça n'a pas été toujours le cas et ne signifie pas non plus nécessairement qu'elles continueront à être fabriquées avec un tel matériau. Par exemple, nous pourrions imaginer une programmation biologique basée sur de l'ADN.¹³ Pour moi, ce n'est pas le constituant qui est représentatif, mais plutôt l'architecture qui est derrière.

- *Le cerveau travaille principalement selon un mode analogique, alors que les ordinateurs sont numériques, n'est-ce pas ?*

- C'est une vue simpliste. Un neurone transmet l'information aux neurones suivants, uniquement si l'impulsion neurale, (c.-à-d. le courant électrique issu de leur polarisation) issue de plusieurs neurones connectés, est assez forte, ce qui est assimilable à un processus binaire. En outre, les neurosciences montrent que les signaux neuronaux sont gradués comme des signaux continus, constituants de fait des variables fonctionnelles discrètes. En ce qui a trait aux machines, celles-ci doivent convertir une

¹³ Les bioingénieurs et les généticiens de l'Institut Hyss de Harvard ont stocké environ 700 téraoctets de données dans un gramme d'ADN. Pour ce faire, des bits d'information sont codés sous forme de séquence d'ADN plutôt que sous forme de données magnétiques sur un disque dur. Un tel codage utilise les quatre composants de base de l'ADN (c.à.d. : TGAC), qui sont synthétisés en permettant un stockage de 96 bits (Thymine et Guanine = 1, Adénine et Cytosine = 0) avec chacune de ces bases. Pour lire les données stockées, chacune des bases TGAC est simplement séquencée et reconvertie en information binaire.

entrée analogique en donnée binaire pour son traitement, puis reconvertir celles-ci en mode analogique pour que les actionneurs (p. ex. : des moteurs) puissent effectuer leurs tâches.

- Le critère traitement en parallèle versus en série est-il plus pertinent ?

- Les ordinateurs sont trop souvent associés au traitement séquentiel (c.-à-d. effectuant une tâche après l'autre) pour ces raisons d'évolution technologique ou à cause de l'impact des travaux initiaux de von Neumann. Le cerveau, d'autre part, est principalement associé aux traitements parallèles (c.-à-d. l'information est traitée dans divers modules du cortex cérébral). Cependant, de nouvelles technologies permettent également ce traitement parallèle.

- Qu'en est-il de l'architecture hardware fixe versus modulaire ?

- Les ordinateurs possèdent une architecture matériel fixe. Bien sûr, les utilisateurs peuvent remplacer certains composants (p. ex. : cartes ou mémoires), mais ce changement n'est pas fait par le PC lui-même, via l'exécution de nouveaux programmes. Au contraire, les voies neurales sont façonnées par l'expérience et nos pensées, et évoluent durant notre vie.

- Donc c'est une différence valable ?

- Pas vraiment ! Les nouvelles architectures réseau permettent désormais le partage de ressources informatiques selon la nécessité et la disponibilité de ces ressources, grâce à des systèmes de communication interconnectés flexibles. De surcroît, la plasticité neurale observée dans le cerveau est maintenant possible par voie électronique, par exemple via les réseaux de partage de ressources informatiques telles que bases de données, programmes et équipements, qui s'obtiennent sans aucune intervention humaine.

- Monsieur, vous avez réfuté jusqu'à présent tous mes arguments. Y a-t-il des différences entre cerveaux et ordinateurs qui méritent d'être soulignées ?

- Je peux me référer à Dennett, qui affirme que la véritable différence entre ordinateurs et cerveaux résulte du niveau de compétitivité entre les différents éléments traitant l'information.¹⁴

¹⁴ «Daniel Dennett: one of the most important living thinkers» [En ligne]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=WNskAmKkHW4>.

- *Voulez-vous dire que l'ordinateur a des fonctionnalités coopératives plutôt que compétitives, comme c'est le cas dans le cerveau ?*

- Oui, c'est ce que Dennett prétend. Les industriels construisent leurs ordinateurs pour être énergétiquement et mécaniquement efficaces. A l'intérieur, les milliers de pièces mobiles ne rivalisent pas véritablement entre-elles pour obtenir leur énergie ou s'assurer que les fonctions exécutées par elles, prévaudront. Tant qu'elles ont une tâche à accomplir, celles-ci resteront activées.¹⁵

- *La coopération est-elle toujours systématiquement recherchée comme condition préalable ?*

- Non, mais elle est généralement obtenue lors d'une exécution intermédiaire ou à la fin du processus. En d'autres termes, les composants et les logiciels informatiques finissent systématiquement par coopérer pour remplir leurs tâches.

- *Monsieur, vous avez décrit le cerveau comme le résultat direct de la sélection naturelle. Quelle est la conséquence de ce processus évolutif ?*

- La structure cérébrale est l'aboutissement de millions d'années d'évolution dans lesquelles le neurone - le composant de base de l'intelligence humaine - a joué un rôle crucial. Comme chaque cellule humaine de notre corps, il est un descendant direct d'une cellule eucaryote. Pendant plus d'un milliard d'années, cette dernière a vécu et s'est défendue seule comme un petit agent indépendant. Toutefois, à un moment donné, elle s'est associée à d'autres cellules pour créer un organisme multicellulaire qui, après de nombreux cycles de reproduction, s'est transformé entre autres, en être humain. La tournure intéressante qu'apporte M. Dennett est le concept de neurone égoïste. Il suggère que les neurones humains ont conservé une partie de leur état sauvage. En conséquence, ils cherchent à satisfaire leurs propres intérêts, luttant pour rester en vie, en se maintenant utiles.¹⁶

¹⁵ Les programmes sont organisés hiérarchiquement avec des routines qui contrôlent des sous-routines, sans jamais être mises en concurrence. La redondance, qui est une forme de compétitivité entre deux systèmes différents effectuant potentiellement la même tâche, est principalement limitée aux fonctions de sécurité. Il y a également une hiérarchisation des contrôles au sein des machines, permettant la prévention des embouteillages entre différentes tâches. En d'autres termes, il existe quelques processus d'opposition 'amicaux' au sein des ordinateurs, mais ils sont toujours contrôlés par des processus de niveau supérieur.

¹⁶ Ils doivent coopérer avec d'autres cellules pour effectuer leur traitement de l'information, en se connectant à d'autres réseaux, afin de continuer à recevoir matière première et énergie.

- Et donc ?

- L'être humain et sa pensée sont le résultat de l'action indépendante des 90 milliards de neurones égoïstes qui luttent pour leur survie en s'associant dans le cadre de réseaux neuronaux.

- *Monsieur, cette opinion est-elle largement partagée ?*

- Il existe des opinions divergentes sur cette propension à coopérer plutôt qu'à concourir, mais je crois que cette division entre ordinateurs et cerveaux peut être comblée. Comme je l'ai déjà évoqué, certaines initiatives telles que l'ordinateur pandémonium, avec son traitement en parallèle dans lequel il n'y avait pas d'exécutif central, aurait certainement entraîné des processus plus compétitifs.

- *Avez-vous d'autres exemples à me donner ?*

- Oui une nouvelle technique de calcul appelée programmation génétique, qui utilise des idées de la biologie évolutive pour gérer des problèmes complexes, répond à ce problème concurrentiel. Pour survivre, différents programmes concourent entre eux ou sont croisés pour s'approcher progressivement au plus près de la solution recherchée.

- *Les émotions pourraient-elles séparer humains et machines pour toujours ? »*

Curieusement, je venais d'avoir une discussion quelques jours auparavant avec ma fille sur la question des émotions et elle m'avait dit comment elle croyait que cela rendait les humains supérieurs aux machines.

« Pour valider cette séparation, je dois répondre à ta question sur quatre plans différents : les ordinateurs contrairement aux cerveaux, ne peuvent pas comprendre, détecter, exprimer ni ressentir des émotions.

- *Selon vous mon ordinateur embarqué ne dispose pas des fonctionnalités pour comprendre les émotions humaines ?*

- Partiellement. Des machines équipées de capteurs et des logiciels adéquats peuvent désormais saisir les émotions en analysant un ensemble de modes de communication, tels que l'expression du visage, les

Pour M. Dennett, le traitement du cerveau peut donc être vu comme un lieu de compétitions ouvertes, sans gestion du trafic ou sans superviseur capable de contrôle et modulation : 'Un cerveau est composé d'éléments compétitifs réalisant un contrôle minimum ou approprié grâce à l'équilibre délicat entre éléments rivaux. Tout contrôle est obtenu par des signaux latéraux'. »

mouvements et postures corporels, ainsi que le timbre de voix. Je ne sais pas si ton module conversationnel en a intégré ?

- J'en ai, mais à votre avis, à quel point suis-je capable de saisir vos émotions ?

- Selon ton type de programme, le niveau de précision peut atteindre 70%, en phase avec la plupart des capacités humaines permettant l'identification des émotions chez d'autres individus. Cela signifie que la détection des sentiments par des machines est maintenant devenue comparable à la compétence de tout un chacun.

- Moi ou d'autres machines pouvons-nous déjà exprimer des émotions ?

- Les recherches sur ce qui rend un agent physique ou virtuel convaincant, améliorent la façon dont les machines expriment leurs émotions. Bien qu'une voiture comme toi soit limitée lorsque tu exprimes tes sentiments, des robots humanoïdes pourront probablement dans quelques années être en mesure de le faire.

- Selon vous, un homme pourra-t-il un jour être convaincu que les robots puissent réellement exprimer leurs émotions sans les ressentir ?

- Pour répondre à ta question, j'ai besoin de la reformuler : existe-t-il un algorithme pour chaque émotion, qu'un ordinateur pourrait traiter ? La réponse est qu'aujourd'hui ce n'est pas le cas. Cependant, j'aimerais souligner que des études, telles que celle portant sur le bonheur,¹⁷ qui ont testé par le biais d'un scan crânien, la relation entre activité neurale et niveau ressenti de bonheur, montrent que cela est possible.

- Comment les conclusions de ces études influencent-elles votre point de vue sur cette question ?

- Elle incite beaucoup de gens comme moi, à concevoir qu'à long terme, la plupart des émotions seront numérisables. En effet, si l'on peut représenter dans une formule mathématique un concept aussi vague que le bonheur, il me semble qu'il n'existe pas de limites pour le faire pour quelque autre émotion.

¹⁷ R. B. Rutledge, N. Skandali, P. Dayan et R. J. Dolan, «A computational and neural model of momentary subjective well-being».

- Monsieur, le dernier problème à traiter, qui est évidemment le point dur, est si les machines pourront éprouver un jour des émotions. Quelle est votre opinion ?

- Ma prémisse de base est que, pour sentir les émotions, il faut avoir une ouverture sur le monde. En d'autres termes, une machine doit disposer d'un corps, avec des capteurs et des actionneurs pour interagir avec son environnement, interdisant à un PC autonome de vivre des émotions. Toi, mais plus vraisemblablement un robot ou un ordinateur de supervision sur un réseau internet, pourrait en théorie se qualifier.

- Pourquoi les humains doivent-ils ressentir des émotions ?

- Les émotions n'existent pas sans raison. Elles sont soit le résultat de l'évolution et alertent les humains et animaux sur certaines fonctions corporelles (p. ex. : soif, faim, somnolence, chaleur brûlante) qui doivent être remplies, ou bien sont une expression d'un processus de pensée interne (p. ex. : bonheur, amour, peur) sans aucun retour physiologique. Tu ne sentiras évidemment jamais les émotions enracinées dans une sorte de corps biologique (p. ex. : la faim ou le goût), car il ne t'est pas nécessaire de répondre aux besoins biologiques liés à l'alimentation.

- Les émotions sont-elles toutes reliées à votre enveloppe corporelle ?

- Non, mais beaucoup le sont. Par exemple, de nombreuses émotions résultent de connexions via le nerf vague, entre le cerveau, le cœur et le système digestif. Nos émotions sont aussi affectées par notre état de santé ou influencées par la sexualité et les changements hormonaux qui affectent notre cerveau. Beaucoup de ces émotions sont liées à la reproduction sexuée (p. ex. : jalousie, amour, haine, frime, etc.). De plus, nos émotions évoluent avec la transformation corporelle, qui accompagne le passage de l'enfance à la vieillesse.

- Pourquoi le fait que les robots ne seront jamais construits avec ces mêmes caractéristiques biologiques, est important ?

- Toi et les robots ne serez jamais construits avec toute la panoplie des émotions humaines. Ça signifie que vous vous comporterez et penserez différemment.

- Est-ce une bonne ou mauvaise chose ?

- Cela dépend ! Toutes les émotions ne sont pas bonnes, en toutes circonstances. Les robots manqueront de nombreuses émotions que nos jugements moraux associent à des pulsions répréhensibles (p. ex. : haine, désir sexuel, jalousie). Toutefois, en même temps, elles sont souvent

associées aux meilleurs moments de notre vie (p. ex. : l'amour, la maternité).

- De nombreux écrivains suggèrent que le bien et le mal sont des notions subjectives.

- Par conséquent, les robots ne seront vraisemblablement pas des démons souhaitant nous exterminer, ni des anges voulant sauver le monde, à moins qu'ils ne soient intentionnellement programmés pour le faire. Cela dit, comme ils auront nécessairement un esprit différent, ils ne seront jamais complètement identiques à nous. Par conséquent, ils pourraient rationnellement décider d'éliminer l'Humanité entière, sans comprendre la douleur infligée, si on leur en laisse l'autonomie, comme le décrit Isaac Asimov dans son roman 'Robot et Empire'.¹⁸

- Ma dernière recherche me laisse croire que le traitement versus la mémorisation de données, est un facteur de différenciation pertinent.

- Tu as raison. Certains technologues affirment que le cerveau ne traite pas les réponses à des problèmes spécifiques, mais qu'il récupère en quelques étapes seulement, les modèles stockés dans notre mémoire. Au contraire, les ordinateurs utilisent des milliards de transistors pour calculer un résultat similaire. Ainsi, des neurones plus lents ne peuvent trouver les solutions à des problèmes complexes qu'en constituant à la fois la mémoire en elle-même et les agents permettant la récupération des séquences mémorisées et les patterns sur lesquels les prédictions sont basées.

- Cependant, il y a un disque dur dans les PC qui stocke les informations.

- Oui, mais dans les PC, ce disque dur ne joue qu'un rôle de support. Ceci explique d'ailleurs le commentaire de Jeff Hawkins : 'l'ensemble du cortex est un système de mémoire. Ce n'est pas un ordinateur du tout'.¹⁹ Pour lui, les ordinateurs peuvent être construits pour ressembler davantage à des agents prédictifs, contrecarrant cette objection potentielle.

- Par conséquence, ne pensez-vous pas qu'un cerveau et un ordinateur ne sont pas comparables aujourd'hui, mais le deviendront ?

- Les technologies modernes permettent aux ordinateurs d'imiter de plus en plus le cerveau humain et conséquemment nous pourrions conclure à une convergence des approches. De plus, cette comparaison est pratique

¹⁸ I. Asimov, Robot and Empire, Doubleday Books, 1985.

¹⁹ J. Hawkins et Blakeslee S. contributor, On Intelligence, Paperback, 1/8/2005.

car elle nous permet de voir certains états physiques du cerveau en tant que représentations.

- *Quel en est l'avantage ?*

- Puisque ces représentations engendrent du sens, elles peuvent aider à expliquer comment le cerveau exerce ses activités cognitives, telles que la perception, les pensées, l'apprentissage, la mémoire, l'intention, etc. Cette image permet aussi de comparer le cerveau à une autre entité pensante, qui en théorie est capable d'effectuer des activités cognitives identiques. Enfin, et bien qu'une telle approche informatique soit critiquable, c'est la seule façon d'observer deux perspectives distinctes, réalisant des fonctions cognitives identiques. Après tout, et à moins qu'il n'y ait un complot pour cacher des extraterrestres, il n'y a malheureusement aucun autre moyen disponible sur terre pour faire une telle comparaison. »



Comment éviter une représentation magique de la réalité ?

Un peu plus tard en m'approchant de mon bureau, je vois par la fenêtre sur un panneau d'affichage, une belle photo de plages ensoleillées avec un site archéologique grec en arrière-plan. Cette publicité me rappelle immédiatement la devise célèbre de Delphes 'connais-toi toi-même'. L'une de ses nombreuses interprétations philosophiques est que, pour connaître les autres, l'on doit d'abord se connaître, parce que l'univers est englobé en nous. Comme je venais de conclure qu'il était pratique de comparer le cerveau aux ordinateurs et d'émettre l'hypothèse que c'était la seule façon d'obtenir deux angles différents de la même perspective cognitive, je me décide alors de me consacrer à cette quête delphique.

« Je souhaiterais continuer notre conversation.

- *Monsieur, je suis programmé pour cela.*

- Savoir comment fonctionne le cerveau me permet de mieux comprendre comment ordinateurs, machines et systèmes opèrent. Similairement, cela projette un éclairage nouveau sur la façon dont mon propre cerveau traite certains de ces concepts supérieurs associés aujourd'hui encore, exclusivement à l'esprit humain.

- *Pourquoi est-ce si important pour vous ?*

- Je veux comprendre comment la technologie de l'IA aura un impact sur ma vie et ma place dans ce monde. Pour ça, j'ai besoin de comprendre les chemins menant à l'intelligence générale, poursuivis par l'industrie informatique et d'identifier les différents carrefours sélectionnables, pour atteindre cet objectif.

- *Pourquoi ne pas agir comme tout le monde et attendre de voir ce qui va se passer ?*

- Selon moi, nous sommes confrontés à deux choix : comprendre comment un ordinateur fonctionne et évoluera, ou bien considérer tout cela comme de la pure magie. C'est pour éviter une représentation magique que j'aimerais continuer cette discussion.

- *Que voulez-vous dire ?*

- Imagine un instant que nous fassions venir quelqu'un du fin fond de la forêt, sans aucun contact avec la civilisation. Comment crois-tu qu'il réagirait-il devant un ordinateur ?

- *Cette personne invoquerait vraisemblablement la magie.*

- Et ce, même si on lui répétait que ce n'est qu'un outil technologique. Après tout, et comme l'indique Arthur C. Clarke ²⁰ 'Toute technologie suffisamment avancée est indiscernable de la magie'.

- *Monsieur, le bond menant de la forêt à Internet est évidemment incommensurable ! Toutefois, aucun utilisateur internet ne parle de sorcellerie.*

- Je te l'accorde, personne n'ose le faire. Toutefois, dans quelle mesure la croyance d'un 'indigène' serait-elle différente de celle d'un utilisateur de tablette ne comprenant pas comment fonctionne internet ? En outre, comment cet utilisateur est-il susceptible de comprendre combien ses convictions sont formées ou influencées par ces technologies ?

- *Je ne vois aucun utilisateur des réseaux sociaux considérer son objet communicant comme miraculeux.*

- Toutefois, en s'appuyant sur d'autres pour le faire fonctionner et n'en ayant pas une compréhension de base, ne traite-t-il pas la technologie comme une boîte noire, c'est-à-dire quelque chose de magique ?

²⁰ A. Clarke, Hazards of Prophecy: The Failure of Imagination, 1973.

- *Je sais que vous avez travaillé sur la technologie sans conducteur, mais pensez-vous que tous les humains comprennent mes modes de fonctionnement ?*

- Non, certainement pas ! Tout le monde n'a pas besoin de devenir ingénieur pour éviter une représentation magique du monde. Cependant, j'ai la conviction que l'on devrait avoir au minimum une connaissance de base en informatique, tout comme des notions raisonnables de français et de mathématiques.

- *Ce que je lis dans les médias sociaux laisse clairement comprendre que la plupart des internautes n'ont aucune idée de comment fonctionnent leurs ordinateurs et l'internet.*

- Les programmes éducationnels de nombreux pays ne reconnaissent pas l'atout concurrentiel que l'apprentissage informatique procure à leurs étudiants. Au-delà de la nécessité d'acquérir des compétences informatiques pour satisfaire les exigences croissantes du marché, les ordinateurs et l'internet doivent être considérés plus qu'une simple discipline supplémentaire à apprendre à l'école, en concurrence avec d'autres matières scolaires, comme une langue seconde ou la géographie.

- *Qui y a-t-il de si spécial avec l'informatique ?*

- Les ordinateurs sont progressivement plus intelligents, acquièrent des connaissances et atteindront probablement un jour le stade de la conscience. On pourra aussi classer comme intelligents, les objets connectés de tous les jours (p. ex. : thermostats intelligents, iWatch).

- *Ne craignez-vous pas que la plupart des gens ne soient pas convaincus que ces équipements changent leur vie et que par conséquent, ne ressentent pas vraiment le besoin de consacrer du temps à en comprendre le fonctionnement ?*

- Pour moi, ils ont tort. Ce n'est pas parce que ces technologies connectées n'expriment aucun sentiment aujourd'hui qu'elles ne resteront que des outils, semblables à des stylos ou des marteaux. Par conséquent, il y a urgence à se préparer à ce futur proche.

- *Comment pourriez-vous les en convaincre ?*

- Je crois que les médias montent en épouvantail l'IA pour augmenter leur audience, mais ne savent pas comment intéresser leurs auditeurs à aller plus loin dans leur compréhension.

- Pourquoi ne présente-ils pas les ordinateurs comme des 'créatures vivantes' pour rendre le tout plus attrayant ?

- Il sera de plus en plus difficile de ne pas le faire à l'avenir, mais ce serait encore mentir aujourd'hui.

- Le temps joue en notre faveur. Il y a ChatGPT et demain les voitures autonomes transporteront tous les enfants à l'école.

- Je ne veux pas attendre jusqu'en 2030, même si à coup sûr, personne ne pourra alors éviter ce débat. Nous serons alors tous confrontés quotidiennement à des créatures artificielles mobiles, qui auront leurs propres motivations, intérêts et processus décisionnels pour des questions telles que la sélection de l'itinéraire le plus rapide ou le 'crash suicidaire' afin d'éviter de tuer un homme.

- À la place, vous devriez demander à vos proches de penser honnêtement à ce que seront les différences entre leur animal de compagnie et moi ?

- Tu as raison ! Après tout, leur future voiture sera plus intelligente, aura des concepts éthiques intégrés, connaîtra tout sur la conduite, sera docile et comprendra les commandes verbales, peut-être intuitivement.

- Leur voiture, via leur programme équivalent à ChatGPT, pourra aussi entrer dans une discussion instructive comme nous venons de le faire.

- Pourquoi pas ! De plus, les voitures n'auront pas initialement des sentiments similaires à ceux de leur chien, mais ces personnes ne doivent pas oublier que nous sommes sur une route qui pourrait nous conduire à des machines émotionnelles et conscientes. Contrairement aux chats ou aux chiens, qui ont été créés, selon nos convictions, par sélection naturelle ou par Dieu, ton ordinateur embarqué lui est développé par des hommes.

- Monsieur, pourquoi devraient-ils se préoccuper de cette paternité ? Est-ce un problème si demain mon ordinateur de bord pourra détecter leur joie ou tristesse au travers de caméras vidéo et instructions logicielles, plutôt que par le biais de deux yeux et un cerveau, comme un animal de compagnie ? Au bout du compte, l'important n'est-il pas que je vous rende heureux ?

- Je suis d'accord et de surcroît, lorsque les machines pourront passer le test de Turing, comment sauront-ils que la chaleur dans la voix de leur voiture n'est pas authentique ? Après tout, s'ils ferment les yeux, ils ne pourront même pas identifier que c'est une machine qui parle. En fin de

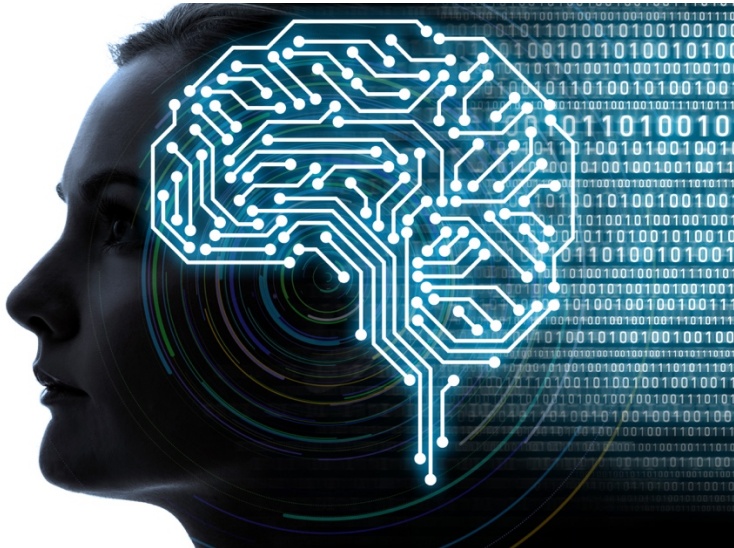
compte, pourquoi choisir pour animal de compagnie, des créatures sensibles plutôt que des êtres pourvus d'intelligence et de savoir ? »

Tout en sortant de ma voiture, je me fais la réflexion que le cerveau et l'ordinateur accomplissent chaque jour davantage leurs tâches de façon similaire, même s'ils sont différents structurellement. Analyser comment leurs deux routes vont converger devient essentiel pour comprendre comment interagir avec les 'animaux de compagnie cybernétiques' de demain. Accepter le fait que la machine devienne de plus en plus humaine et que l'homme soit déjà un cyborg (c.à.d. connecté à l'internet 24-7), requiert que l'on imagine différemment le monde et la position que l'homme y occupe.

Il est grand temps pour moi, de combler l'écart entre ces mondes biologique et numérique, afin d'éviter une représentation magique de cette nouvelle réalité. Je souhaite m'éduquer sur le sujet en espérant que ce voyage ne changera pas seulement mon point de vue sur cette réalité, mais aussi m'aidera à mieux décrire à mes proches, cette nouvelle aventure humaine où l'homme et la machine devront vivre côte à côte

2) Les fondements du savoir

« Les pensées sans contenu sont vides, les intuitions sans conception, aveugles. »²¹



²¹ Kant, I. (1929) Critique de la raison pure. Macmillan, Londres.

L'Homme seul est-il pourvu du savoir ?

Je suis en train de somnoler en rentrant du travail, quand soudainement je me fais réveiller par le klaxon d'un chauffeur en colère.

« Qu'est-ce qui se passe ?

- *Monsieur, je ne sais pas. On dirait que le conducteur dans la voiture arrière se plaint de ma vitesse, mais je ne vois pas pourquoi. Après tout, je respecte les limites de vitesse. Pourquoi lève-t-il ainsi son majeur ?*

- Il est probablement raciste et considère les voitures autonomes stupides parce qu'incapables de comprendre quand il est acceptable d'aller au-delà des limites de vitesse permises.

- *J'ai vérifié et le racisme ne s'applique pas aux machines.*

- Je sais. Il n'y a pas de mot pour ça. Que dis-tu de l'appeler le cyberisme ?

- *Si vous êtes d'accord avec ce soi-disant cyberiste, cela veut dire que vous croyez que moi ou n'importe quelle autre machine, ne pouvons acquérir le savoir.*

- Ce n'est pas si simple. Il est vrai que dans le passé, les colonisateurs ont justifié l'esclavage en soutenant qu'Africains, et même pour une courte période, Amérindiens, n'avaient pas d'âme. Autrement dit, ils ne possédaient pas la capacité de raisonner autrement que par le biais d'un savoir inné. Un tel prétexte fallacieux a légitimé l'esclavage.

- *Encore aujourd'hui, pensez-vous que l'esprit le plus raciste, peut encore douter de la capacité de chaque homme à acquérir la connaissance ?*

- Aucune personne sensée ne devrait croire que nous ne sommes pas nés égaux, et même un raciste reconnaît que ceux qu'ils jugent comme étant différents ont la capacité d'acquérir une éducation supérieure.

- *Toutefois, encore aujourd'hui, les humains admettent à contrecœur que les animaux puissent être des sujets intelligents, mais sans savoir. Est-ce que cela signifie qu'un chat a la compétence innée d'élever ses bébés, mais ne comprend pas comment le faire différemment de la manière dont ses gènes le lui dictent ?*

- Eh bien, seuls quelques biologistes mettent en doute l'idée que certains animaux (p. ex. : les singes ou les dauphins) montrent plus que des connaissances innées.

- *Cela signifie-t-il que l'Intelligence Artificielle est plus facile à développer que la Connaissance Artificielle ?*

- L'intelligence et la connaissance sont deux concepts différents, bien qu'inséparables. L'IA faible telle qu'on la voit avec des solutions comme ChatGPT, est apparue en s'appuyant sur la connaissance, en utilisant en particulier les réseaux sémantiques. Cependant, l'IA forte ne se produira pas sans l'avènement de ce qu'on peut appeler par analogie, la connaissance artificielle forte.

- *Cependant, il y a des millions de personnes sur internet qui prétendent que les machines ne savent que ce que les humains leur permettent d'apprendre et n'ont aucune compréhension de leur compétence numérique. S'ils ont raison, cela ne signifie-t-il pas que les formes d'IA fortes seront impossibles ?*

- Laisse-moi essayer d'expliquer mon point de vue sur ce sujet. Je vais classer en trois sous-ensembles les arguments utilisés pour refuser aux ordinateurs et aux machines la capacité d'acquérir des connaissances. Le premier argument utilisé invoque l'immatérialité de la connaissance.²² Thomas d'Aquin précise que tout savoir est obtenu par le Sujet connaissant via l'assimilation par cette personne de ce qui est à connaître.²³ En d'autres termes, pour obtenir la connaissance, il faut qu'il y ait quelque chose de compréhensible, un Sujet capable de savoir et une relation établie entre les deux.

- *Désolé j'ai pris un peu de temps pour lire les écrits de Thomas d'Aquin et je n'ai eu accès qu'à une fraction de ses écrits parce qu'ils sont toujours en mode page. Pourriez-vous être plus explicite quand vous affirmer que la connaissance n'est atteinte que lorsque l'Objet et le Sujet entrent en relation ?*

²² Selon Thomas d'Aquin (T. Aquinas, De Veri, q. 2, a.1, praeterea), il existe deux formes de connaissance : sensorielle et intellectuelle. Les sens reçoivent les 'formes' de l'objet matériel, tandis que l'intellect assimile et recombine plus abstraitement les conditions matérielles de l'objet. Cette assimilation entre l'objet et le sujet ne se fait pas en fonction de la nature de l'objet mais plutôt en fonction de la nature du sujet : 'Tout ce qui est reçu est fait en fonction de la nature du récepteur'. (T. Aquinas, De causis).

²³ 'Tout savoir ou toute réflexion est dans le connaissant grâce à une assimilation du connaisseur au connu'. (T. Aquinas, De Veri, q. 2, a.1, praeterea)

- Quand je vois, entends ou sens un objet tel qu'une rose, cela me vient sous une forme représentationnelle qui m'est propre. La connaissance est dans mon immatérialité (c.-à-d. : mon esprit) et j'acquies des connaissances quand la rose et moi nous unissons à travers une assimilation localisée dans ma tête. La différence entre un sujet qui sait ou non, réside dans la capacité à saisir cette immatérialité. Évidemment grâce aux neurosciences, on sait que derrière il y a des réseaux neuronaux associés à cette représentation de la rose.

- *Comment tout cela se rapporte-t-il aux cyberistes ?*

- Eh bien, leur point de vue est que les machines, avec leur approche déterministe et leur stricte matérialité, ne seront jamais capables de réaliser cette assimilation, contrairement à un esprit humain.

- *Êtes-vous d'accord avec cet argument ?*

- Non, je ne le suis pas, mais laisse-moi contre - argumenter. Même les cyberistes reconnaissent que les machines ont la capacité de percevoir le monde, au travers de leurs capteurs.

- *Tout scientifique sait que les machines le font bien mieux que les êtres humains.*

- Oui, donc je vais concentrer ma discussion sur la forme intelligible de la connaissance. Thomas d'Aquin soutient que les choses sont saisissables en fonction de leur immatérialité et que le sujet en a connaissance, proportionnellement à sa propre nature immatérielle.²⁴ Si nous sommes d'accord sur cette échelle d'immatérialité, un végétal aura moins de connaissance qu'un chat, qui sera lui-même moins savant qu'un être humain.

- *La question intéressante est de savoir où positionner les ordinateurs et les machines sur cette échelle ? Entre le végétal et le chat, entre le chat et l'homme, ou bien au-delà de la limite humaine ?*

- Dire que les PC sont purement matériels, c'est fondamentalement ne pas connaître les ordinateurs. Les logiciels, qui exploitent ces ordinateurs, sont une représentation abstraite d'un ensemble de règles et doivent donc à ce titre, mériter des points sur cette échelle d'immatérialité. Cependant, ce n'est pas ce que disent tous ceux qui défendent l'argument qu'une approche déterministe est incapable de générer une telle propriété.

²⁴ T. Aquinas, Summa Theologica.

- Monsieur, quel est le problème avec cette vue ?

- Les nouvelles technologies logicielles recourent maintenant à des solutions de résolution de problèmes, aboutissant à des processus non déterministes. Les réseaux neuronaux artificiels (RNA), par exemple, utilisent cette approche pour imiter le cerveau humain, permettant aux ordinateurs de détecter des modèles abstraits ou de créer des stratégies. En 2016, ils ont permis à un ordinateur de battre le meilleur joueur de GO. Ainsi et à mon avis, partagé par de nombreux scientifiques, les ordinateurs sur cette échelle d'immatérialité seraient toujours classés entre le chat et l'humain, mais approchent lentement du moment où ils seront à égalité avec les humains.

- C'est une excellente nouvelle pour l'IA, mais qu'en est-il du second argument ?

- C'est ce que j'appellerais le problème de paternité. Les fabricants et les programmeurs intègrent ou écrivent l'ensemble des règles, qui permettent aux ordinateurs d'effectuer leurs tâches. Par conséquent, quel que soit le programme, les cyberistes croient que ce sont les hommes qui donnent le savoir aux ordinateurs. Bien que les RNA puissent apprendre par eux-mêmes, à détecter des tendances ou à résoudre des problèmes, c'est toujours un homme ou une femme qui crée les algorithmes permettant cela.

- Pourquoi cet argument est-il faux ?

- De nouvelles techniques informatiques comme la programmation génétique permettent aux programmes de recombinaison certaines de leurs instructions et codages, non seulement au hasard, mais aussi en fonction des résultats obtenus. En d'autres termes, il n'est pas possible de reconstituer le programme et les variables d'origine, à partir du résultat final.

- Toutefois, cela ne tue que partiellement l'argument sur la paternité.

- En effet, un être humain pourrait encore revendiquer la paternité du programme original, ayant permis une telle recombinaison génétique. Cependant, quelle différence existe-t-il avec la paternité du processus d'apprentissage chez l'homme ? Pour une personne religieuse, cette paternité vient de Dieu qui nous a créé à son image et donné la capacité d'apprendre. Ainsi, une entité nous a également donné l'ensemble des règles permettant d'acquérir des connaissances.

- Toutefois, les athées jugent que le processus de sélection naturelle a créé les conditions favorables permettant aux humains d'acquérir le savoir.

- Tu as raison. La génétique, qui résulte de cette sélection naturelle, crée non seulement notre connaissance innée, mais nous donne le potentiel d'acquérir de nouvelles connaissances.²⁵ Toutefois, même dans un monde darwinien, ce n'est que parce que d'autres hommes ou femmes (p. ex. : parents ou enseignants) nous donnent l'ensemble des règles (p. ex. : morales, musicales, scientifiques, syntaxiques) que nous pouvons devenir un sujet connaissant. Autrement dit, sans l'enseignement d'autres êtres humains, il ne peut y avoir de connaissance réelle. Donc, si l'argument de la paternité est vrai pour les hommes, il est assurément applicable aux ordinateurs.²⁶

- Je ne suis pas sûr que vos arguments convainquent les cyberistes.

- Eh bien, celui-ci me semble irréfutable. Dans le cadre de son projet AutoML, Google a conçu une application IA qui permet de créer seule, d'autres applicatifs IA. Ce logiciel a été capable dès 2017, de développer un système de vision par ordinateur, qui a surpassé tous les modèles fabriqués par l'homme.²⁷

- Monsieur, cela devrait leur clouer le bec !

- Seulement à condition que je démontre que la compétence peut exister sans compréhension. En effet, les humains créent les règles par lesquelles les ordinateurs remplissent leurs fonctions, mais ne leur donnent pas la clé pour comprendre les raisons de le faire.

²⁵ Les neurones disponibles au sein de la structure interne de notre cerveau permettent de se connecter et de former des réseaux, nous permettant d'acquérir des fonctions mentales supérieures, telles que la communication. Cependant, le potentiel de tels processus mentaux complexes ne se matérialisera que si, et seulement si, les conditions sont favorables. Par exemple, on deviendra musicien ou sera en mesure de parler uniquement, si exposé à une telle capacité.

²⁶ De plus, les ordinateurs ou périphériques connectés dans une architecture logicielle acquerront les connaissances d'autres ordinateurs sans connaissance préalable du programme des autres périphériques. En d'autres termes, tout périphérique connecté a la capacité d'apprendre automatiquement, sans aucun accès aux règles et programmes internes des autres périphériques.

²⁷ AutoML agit en tant que contrôleur de réseau neuronal développant de nouveaux réseaux d'intelligence artificielle pour une tâche spécifique (dans ce cas, annoncé en mai 2017, l'intelligence artificielle de ce dernier s'appelait NASNet).

- *En conséquence, une machine comme moi ne pourra jamais comprendre pourquoi je dois savoir quelque chose, même si je suis en mesure de comprendre comment y arriver.*

- En effet, les défenseurs de la supériorité humaine pourront toujours prétendre que la compétence sans compréhension ne nous permet pas de considérer les machines comme des êtres de savoir.

- *Monsieur, c'est un argument difficile à combattre.*

- Oui, mais permets-moi d'introduire deux inversions de raisonnement, qui ont été formulées par deux scientifiques déjà présentés :

- Charles Darwin : 'Pour construire une belle machine, il n'est pas nécessaire de savoir comment la fabriquer.'²⁸
- Alan Turing : 'Pour être une machine informatique parfaite et belle, il n'est pas nécessaire de savoir ce qu'est l'arithmétique.'²⁹

- *Qu'apportent ces inversions dans le contexte de concepts moraux supérieurs ?*

- M. Dennett les utilise pour conclure que la connaissance, l'intelligence et la conscience sont, en réalité, l'effet et non la cause.³⁰ C'est en raison des milliards de 'petits robots' dans notre cerveau qui effectuent leurs tâches de manière indépendante et compétitive, sans comprendre la pensée qui en résulte, que l'on peut acquérir des connaissances.

- *Monsieur, pourriez-vous être plus explicite ?*

- Ce n'est pas parce que l'on est intrinsèquement connaissant, ou intelligent que l'on comprend pourquoi on fait certaines choses, mais plutôt parce que notre cerveau effectue des millions d'opérations par le biais de nos neurones, que nous acquérons du savoir.

- *Donc si l'on est d'accord que la compétence peut exister sans compréhension dans le cerveau humain ou dans la nature, comme le dit*

²⁸ C. Darwin, *On the Origin of Species*, 24/11/1859.

²⁹ Ces deux déclarations sont très étroitement liées et soutiennent qu'il peut y avoir une compétence sans compréhension. La théorie évolutive de Darwin explique que, hors du chaos, des créatures vivantes aussi sophistiquées que l'homme peuvent émerger par hasard, tandis que Turing explique qu'une compétence qui paraît évidente pour une machine informatique, telle que savoir faire des calculs, n'est en réalité pas nécessaire pour que les ordinateurs effectuent des opérations arithmétiques. A. Turing, "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, 1936".

³⁰ D. Dennett, *From Bacteria to Bach and Back: The Evolution of Minds*, Norton and company, 2017.

justement Darwin, pourquoi refuser que cela puisse aussi se produire dans les ordinateurs ?

- Effectivement ! Après tout, une belle machine informatique n'a pas besoin de savoir ce qu'est l'arithmétique.

- Que sont ces millions de robots minuscules et comment accomplissent-ils dans votre tête ces tâches qui aboutissent à une compréhension des choses ?

- Je te l'expliquerai en temps voulu. Je souhaite maintenant démontrer qu'avec une architecture logicielle moderne, les machines sont capables de créer des données, des informations et des connaissances structurées, bref, de créer les fondements de la connaissance. »



Les différences entre données, information et connaissance ?

« Monsieur, dans les différents sites et blogs internet, les gens mélangent les concepts de données, information et connaissance. Pourriez-vous en donner une définition précise ?

- Bien sûr ! Ces concepts sont au cœur de ce que sont les machines. Les données sont essentiellement les propriétés physiques et concrètes, ou des faits trouvés dans le monde réel, qui sont utilisés pour décrire l'environnement. Les données brutes sont d'abord identifiées par nos sens et ensuite traitées au niveau du cerveau.

- Leur saisie et traitement sont-ils semblables d'une personne à l'autre ?

- Non, car il y a le rôle joué par la perception. Par exemple, une personne daltonienne aura une sensibilité réduite aux lumières rouge, verte ou bleue. Les gens normaux et les daltoniens verront donc le même objet, mais le décriront différemment. Pour éviter de telles erreurs d'interprétation, on a établi pour toute représentation physique du monde des unités mesurables, telles que le mètre, le kilogramme, le pied ou la livre.

- Ces unités sont-elles universelles ?

- Oui, un mètre sera identique au Canada et au Brésil. Cependant, toutes ces unités sont basées sur des conventions. Si je reviens à mon exemple de

couleurs, les unités physiques universelles pour décrire les couleurs sont la longueur d'onde (en nm) et l'intervalle de fréquence (en THz). Par exemple, nous définissons la couleur rouge autour d'un spectre de lumière de 635 à 700 nm et de 430 à 480 THz.

- Pourquoi les humains donnent-ils un tel spectre ?

- Nous donnons une gamme de valeurs parce que nous savons tous, par le truchement de nos sens, qu'il y a différentes teintes. Le fait est que toute personne daltonienne utilisant un système de mesure pour évaluer la couleur d'un objet, sera capable de lire les mêmes données qu'une personne normale. Elle saura avec certitude que l'objet est rouge ou vert, bien qu'elle ne puisse le percevoir.

- Si les données sont une représentation abstraite, non physique, universelle et standardisée du monde, qu'est-ce que l'information ?

- C'est la manière structurée et organisée de présenter les données. Ces dernières font donc intrinsèquement partie de l'information, mais n'en forment qu'une partie. Par exemple, 80 kg n'est pas une information, mais une donnée. Des éléments additionnels sont nécessaires pour transformer cette masse en information, comme le poids de l'objet, une unité physique (p. ex. : le kilogramme ou la tonne), une heure et un lieu de mesure.

- Ces quelques éléments sont-ils suffisants ?

- Tu dois considérer les médias où l'information est présentée et la langue utilisée à la fois par ceux qui envoient et reçoivent une telle représentation. En d'autres termes, il n'y a pas d'information sans le langage et la forme utilisés (p. ex. : graphique ou sonore) pour la transmission.

- Monsieur, est-ce tout ?

- Non, il manque toujours une fonctionnalité importante. Tous les éléments précédents doivent être reliés de manière cohérente, généralement par une unité temporelle. Cette notion de lien est fondamentale pour qu'une donnée devienne information.

- Pourriez-vous me donner un exemple basé sur des mesures de poids ?

- Pourquoi pas ! Si j'utilise mon poids, l'information en français ressemblerait à ceci : ma masse mesurée à 18h35 le 1/01/2024, dans le Var, est de 80 kilogrammes.

- Toutefois, sans données et informations, n'obtiendrions-nous pas tout de même une impression de votre poids ?

- Oui, mais elle serait vague. Le fait est qu'avec l'information, on obtient des données qu'on traite mentalement et transmet facilement à d'autres personnes qui pourront ainsi y accéder ultérieurement. En fait, nous transformons les données en d'autres modèles physiques, tels que graphiques, lettres, sons ou signes, afin de communiquer et de partager cette information.³¹

- Assurément l'information et les données sont deux sources du savoir, mais quelles sont les différences entre connaissance et information ?

- Avant de répondre à ta question, je dois d'abord expliquer ce qu'est la connaissance, ce qui nécessite l'introduction de plusieurs nouveaux concepts. En raison de leur nature immatérielle, l'intelligence et la connaissance sont des phénomènes mentaux qui sont impossibles à expliquer par simple description physique. Ils ne peuvent être corrélés que par des preuves physiques telles que des examens, tests de QI et comportements, ou décrits par une représentation philosophique du monde.

- Comment allez-vous m'expliquer ce qu'est la connaissance ?

- Je vais d'abord définir ce qu'elle est, en utilisant les disciplines des sciences humaines. Dans un deuxième temps, je vais décrire le processus d'apprentissage dans le cerveau, en utilisant les découvertes récentes en neurosciences. Enfin, je vais décrire comment les ordinateurs, machines et systèmes ont accès aux connaissances et peuvent les stocker. En faisant cela, je vais mettre en évidence à la fois les similitudes et différences entre les mondes cybernétique et biologique.



³¹ L'information ne se limite pas qu'à une dimension physique, traitée exclusivement par la science et la technologie. En outre, il y a les aspects mentaux et sociaux de l'information à ne pas sous-estimer. C'est pourquoi, les modèles linguistiques d'un texte doivent être compris mentalement afin d'être partagés socialement. Il existe d'autres différences significatives entre données et informations. L'information nous permet d'élargir nos connaissances au-delà de la portée de nos sens. Les données ne peuvent pas être fausses - si évidemment les mesures ont été effectuées correctement - mais les informations le peuvent, car elles sont modifiables avec le temps. De plus, les gens commettent souvent l'erreur de penser que les informations analysées sont un reflet fidèle des données, alors que la corrélation entre les variables de l'information, peut être erronée.

Existe-t-il une définition universelle de la connaissance ?

« Monsieur, qu'est-ce que la connaissance ? Est-ce différent de l'intelligence ?

- Il n'existe pas de réponse simple à ta question.

- *Il doit bien y avoir des spécialistes ?*

- Oui, ce sont des philosophes, dont certains sont extrêmement célèbres (p. ex. : Platon, René Descartes, Immanuel Kant, etc.). Il y a même une discipline spécifique, appelée épistémologie. Bien que je ne sois pas spécialiste, je vais te présenter une définition de la connaissance pouvant être étendue aux ordinateurs et machines. J'aborderai l'intelligence plus tard.

- *Pourquoi ne voulez-vous pas discuter d'intelligence maintenant ? Tout le monde parle d'IA sans jamais faire allusion à la connaissance. Selon vous, ce qui fait le buzz n'est-il pas plus pertinent ?*

- Pas du tout ! L'intelligence est un concept plus facile à saisir parce que mesurable par des tests de QI. De surcroît, elle semble moins subjective, ce qui pourrait expliquer sa plus grande vulgarisation. Cependant, on ne peut comprendre l'IA en dehors d'un contexte plus large, regroupé sous cette notion de savoir. De plus, les débats épistémiques ont soulevé des questions sur la connaissance, qui devront être résolues avant que des formes supérieures d'IA puissent être atteintes. En fait, les débats épistémologiques récents se sont portés sur l'avènement de l'IA forte sans véritablement définir ce qu'est l'intelligence.

- *Ne croyez-vous pas qu'il y ait un risque de dénaturer ces débats, si l'intelligence et la connaissance ne sont pas bien différenciées ?*

- Il existe et pour éviter cela, je vais appliquer une segmentation peu utilisée en épistémologie. J'introduis la distinction entre 'connaissance que' et la 'connaissance de'. Je laisserai de côté le concept de 'know-how'. Pour cela, je vais recourir à la définition d'Umberto Eco,³² qui associe la 'connaissance que' à l'épistémologie et la 'connaissance de' à la gnoséologie.

- *Monsieur, qu'est-ce que cela signifie ?*

³² U. Eco, Kant and the platypus, 1997.

- En simplifiant, l'épistémologie traite principalement de la possibilité de créer la base de vraies propositions sur des Objets, tandis que la gnoséologie définit principalement des conditions de connaissance, à partir de la dénomination de l'Objet.

- *C'est toujours du charabia pour moi !*

- Dans le premier concept, on analyse pourquoi les humains savent qu'un chat est un mammifère à quatre pattes, avec fourrure et moustaches, qui mange de la viande. Dans le second, on définit comment les humains savent qu'un chat est un chat.

- *Si je comprends bien votre raisonnement, vous décrivez d'un côté ce qui caractérise un chat et de l'autre, ce qui fait que le chat de votre fils est bien ce chat et aucun autre.*

- Tout à fait ! En épistémologie, la connaissance est une suite de conditions ou d'opinions sur un Objet, partagées par une communauté de personnes. En gnoséologie, on se réfère à l'intelligibilité d'un sujet pour comprendre qu'un chat spécifique est un chat ou Jean est Jean, et donc le connaiseur et l'Objet connu sont tous deux positionnés sur le plan individuel, par le biais de l'expérience. Cette intelligibilité explique pourquoi je traiterai de la gnoséologie une autre fois.

- *Toutefois, la connaissance qu'un chat soit un mammifère avec des moustaches, n'exige-t-elle pas aussi cette capacité ?*

- Oui, mais ce savoir est assimilable à l'analyse stricte des relations établies entre différents objets (p. ex. : chat, moustaches et mammifères), déjà intellectualisés. En d'autres termes, en plus de comprendre ce qu'est un chat, des moustaches et un mammifère, tu dois considérer les liens qui les unissent.

- *Monsieur, je suis d'accord pour associer la connaissance à l'épistémologie et l'intelligence à la gnoséologie. Comme vous souhaitez vous concentrer sur la connaissance, pourriez-vous me dire quel est son principal point de départ philosophique ?*

- On l'appelle la 'tripartite' car il est basé sur trois conditions devant être remplies pour que quelqu'un puisse dire qu'il sait que quelque chose est véritable. Cette définition de la connaissance est créditée à Platon:³³

³³ Plato, Theaetetus. Cependant, Platon a rejeté le concept de JTB parce que pour lui, toute justification doit déjà être un savoir pour être qualifiée de croyance vraie, produisant une définition circulaire. A son crédit, ce fait ne lui a aucunement posé problème, car il pensait

- Une personne croit que la déclaration est vraie.
- La déclaration est en réalité vraie.
- La personne est justifiée de croire que la déclaration est vraie.

- *Monsieur, il y a quelque chose que je ne comprends pas. Il me semble que les croyances et les justifications sont des processus internes, tandis que la vérité est à l'extérieur, prouvée par les événements.*

- Tu soulignes à juste titre la controverse d'une définition célèbre. Relier ces notions internes et externes s'est révélé problématique et fait partie du débat historique de l'épistémologie. Avant d'analyser ces problèmes soulevés, je voudrais dès le début montrer les limites de la tripartite. En 1963, le philosophe américain Edmond Gettier proposait deux scénarios où ces trois critères étaient apparemment atteints, mais où l'on pouvait affirmer que le résultat était une connaissance due à un élément de hasard, prouvant ainsi que cette approche de la connaissance était incomplète.³⁴

- *Que s'est-il passé depuis ?*

- Les philosophes ont adopté différentes approches pour tenter de résoudre ce problème : trouver une quatrième condition permettant de résoudre le dilemme ; rejeter le problème en montrant que les scénarios de Gettier ne sont pas des cas de croyance véritablement justifiée ou prouver que les scénarios de Gettier sont vraiment des cas de connaissance. Bien que la recherche d'une définition infaillible de la connaissance soit toujours en cours, je te montrerai d'autres limites à la tripartite. Pour ce faire, j'ai besoin de définir plus précisément ces trois conditions et de présenter succinctement les différentes questions qu'elles soulèvent.

- *Monsieur, puis-je ? Le terme croyance, selon l'encyclopédie philosophique de Stanford se réfère à l'attitude adoptée, chaque fois que nous considérons quelque chose comme vrai. Croire quelque chose, en ce sens, n'a pas besoin d'impliquer une réflexion active sur le sujet.*³⁵

- En effet, les croyances sont considérées comme notre perception du monde. C'est-à-dire des convictions que l'on considère généralement vraies sans véritablement apporter de preuve tangible. Pour la plupart des philosophes, cela implique que cette perception puisse être erronée.

que les humains possèdent une connaissance innée des choses. En effet, Platon croyait que nous saisissons l'essence des choses grâce à notre âme et n'avions donc pas besoin de la justifier en tant que croyance réelle.

³⁴ E. Gettier, «Is Justified True Belief Knowledge?», Vols. %1 sur %2Vol. 23, No. 6, O. U. press, Éd., 1963, pp. 121-123.

³⁵ 'Beliefs' [En ligne]. Available: <https://plato.stanford.edu/entries/belief/>.

- *Pourriez-vous m'aider à comprendre, en me donnant des exemples ?*

- Les croyances (p. ex. : si quelqu'un travaille dur, il aura du succès) sont essentiellement des hypothèses posées sur le monde. Les valeurs (p. ex. : un dur labeur est salubre) proviennent de ces croyances. Elles sont des idées jugées importantes, à partir desquelles, on développe une opinion considérée vraie.

- *Qu'en est-il de la nature de la vérité ?*

- Il y a diverses théories (p. ex. : les théories de la Correspondance, de la Cohérence et du Pragmatisme) qui traitent ce problème.³⁶

- *Quelle est la bonne ?*

- C'est une question d'opinion. Selon moi, le pragmatisme, qui conçoit l'approche scientifique de la vérité comme la vision d'un processus continu, où une chose est vraie tant qu'elle n'a pas été prouvée fautive est plus d'actualité. Pour citer le philosophe américain Peirce 'L'opinion qui est destinée à être finalement acceptée par tous ceux qui cherchent, est ce que nous entendons par la vérité.'³⁷ De plus, quelque chose est véritable, si après investigation, le monde s'avère être réellement de cette façon. La vérité n'est pas dans notre tête, mais se trouve ou se démontre dans le monde réel.

- *Monsieur, voici un résumé de ce que j'ai pu trouver sur la justification : 'C'est une notion qui se compose de raisons ou preuves présentées en soutien à la vérité d'une croyance ou d'une affirmation, avec lesquelles elle se confond.'*

- Là aussi, il existe plusieurs théories concurrentes de la justification et aucun consensus sur laquelle est la bonne : la justification par inférence, le fondationnalisme, le cohérentisme et le fiabilisme.³⁸

³⁶ Voici comment ces théories abordent différemment la question :

- Théorie de la correspondance : Ce que l'on croit ou dit est vrai, si cela correspond à la façon dont les choses sont réellement, c'est-à-dire aux faits.
- Théorie de la cohérence : Une croyance est vraie si, et seulement si, elle participe à un système cohérent de croyances.
- Pragmatisme : Les vraies croyances sont garanties de ne pas être contredites par une expérience ultérieure et resteront toujours confirmées après un processus de validation prolongé.

³⁷ C. Peirce, *How to make our ideas clear?*, 1877.

³⁸ Justification par inférence : Pour qu'une croyance soit justifiée, trois conditions doivent être remplies : il faut une autre idée qui la supporte et rende la croyance plausible ; il faut

- *Il doit bien y avoir une théorie mieux adaptée à la description des systèmes et nouvelles technologies de l'information ?*

- Le fiabilisme, contrairement aux autres théories, est basé sur des facteurs externes. Si l'on ne peut conclure que la méthode utilisée pour former notre croyance est fiable (p. ex. : il existe un doute sur la procédure liée à la mesure), alors les croyances sont injustifiables. »



Les différences entre information et connaissance ?

« Maintenant que j'ai créé un cadre pour expliquer ce qu'est le savoir, je peux revenir à ta question initiale sur les différences entre connaissance et information et vérifier si ces deux concepts sont indissociables. En faisant cela, je montrerai les limites de l'approche tripartite.

- *Je vous en prie !*

- L'information se réfère aux liens entre plusieurs données, pour mieux décrire un objet ou un concept, au moyen de cette connexion relationnelle. Reprenons mon exemple avec les données masse (80 kilos), date (1/01/2024), heure (18h35) et lieux (mesurée dans le Var), qui une fois assemblées, deviennent de l'information.

- *Monsieur, ça n'intéresse personne de connaître votre poids !*

- C'est exactement mon point. Même si cette information peut être considérée en tant que vraie croyance justifiée, elle manque deux caractéristiques essentielles pour devenir une connaissance. Elle n'est pas considérée comme significative, par une communauté de personnes.

croire que cette idée de soutien est vraie ; on doit avoir de bonnes raisons de croire que cette idée principale est véritable.

- **Fondationnalisme** : Cette théorie intègre la notion que la justification de nos croyances est finalement dérivée des croyances fondamentales, qui agissent comme fondement de tout ce que nous savons.
- **Cohérentisme** : Il repose sur le principe que tout le système de croyances est justifié par sa cohérence. Celle-ci est assurée par le fait que l'ensemble des croyances est cohérent et complet.
- **Fiabilisme** : Les croyances sont justifiées si elles sont formées sur la base d'un mécanisme ou d'une méthodologie fiable.

- *Pourquoi cette notion de signification est-elle importante ?*

- Parce qu'elle élimine les informations jugées inutiles, c'est-à-dire pour lesquelles aucun groupe de personnes n'accorde cette reconnaissance. On peut donc conclure que bien qu'il ne puisse y avoir de connaissance sans information, le contraire est impossible.

- *Avez-vous un autre point important à souligner sur les fondements du savoir ?*

- Oui, ce qui crée le savoir c'est le processus déterministe par lequel on peut découvrir les patterns ou modèles, au sein d'un ensemble d'informations. Cela signifie que lorsqu'on mémorise un texte par cœur, on n'acquiert pas nécessairement la connaissance du sujet. Pour cela, il faut avoir une capacité cognitive et analytique afin d'établir ou d'interpréter de telles informations.³⁹

- *Vous affirmez que l'information accède au statut de connaissance si elle passe le test de la tripartite. Des critiques sur internet soulignent que le problème avec ce concept est qu'il est centré sur la personne et ne se focalise pas vraiment sur la justification des idées ou concepts eux-mêmes.*

- Et ils ont raison. Conséquemment, la connaissance possède une nature subjective intrinsèque, en partie basée sur l'idée que les croyances, justifiées ou non, sont des choses personnelles. Comme l'information doit être significative pour un groupe, il y a donc un problème à considérer la connaissance au niveau personnel plutôt que conceptuel.

- *En intégrant la notion de signification, n'introduisez-vous pas d'autres problèmes ?*

- Oui, cette notion est fondamentalement biaisée et dépend des valeurs et intérêts personnels, influencés par l'environnement socio-économique dans lequel on vit. Même nos humeurs et gènes peuvent affectés notre vision de ce qu'est une vraie croyance justifiée et significative.⁴⁰

³⁹ Pour faire une analogie, les vues tomographiques (c. à d. : analyses du corps) résultant du traitement des données fournies par diverses technologies de numérisation, peuvent être considérées comme de l'information. Cependant, il est nécessaire de posséder les connaissances d'un spécialiste du cancer, acquises au fil de nombreuses années d'études et d'expérience, pour détecter les tendances indiquant qu'il existe ou non une tumeur.

⁴⁰ Au siècle dernier, il était de notoriété publique que les femmes n'avaient besoin que de s'occuper de leur mari et de leur famille et non de poursuivre leur propre carrière. Cela a été publié dans des livres détaillant comment devenir la parfaite femme au foyer... De toute évidence, aujourd'hui, de telles connaissances seraient jugées inutiles dans de nombreuses

- *Monsieur, la connaissance universelle, celle qui serait connue de tous et acceptée par chacun comme telle, est donc rare ?*

- Oui, en particulier pour des sujets non scientifiques, bien que la vérité sur laquelle elle repose soit toujours universelle. Cette notion de vérité est une autre caractéristique de la connaissance qui a soulevé d'énormes débats en épistémologie.

- *Je pensais que les sciences comme les mathématiques étaient toujours acceptées par tous, en tant que savoir véritable. La somme de 2 et 2 n'égale-t-elle pas toujours 4, du moins en base 10, que vous soyez aux États-Unis, en France ou sur la lune ?*

- Évidemment, mais même si les opérations mathématiques sont maintenant largement vues de cette façon, cela ne s'étend pas à toutes les théories scientifiques. Tu n'as qu'à regarder la théorie de Darwin sur l'évolution des espèces, qui est encore aujourd'hui contestée par les révisionnistes, pour comprendre le pouvoir des croyances sur notre appréciation de ce qu'est la connaissance. Le problème avec la vérité est qu'elle ne peut être systématiquement constatée. À un instant 't', on peut avoir les mauvaises informations ou manquer le savoir-faire technique pour déterminer ou prouver quelque chose.

- *Même si une théorie est confirmée à un moment donné, les nouvelles idées ou technologies ne pourraient-elles pas prouver qu'une telle théorie est erronée ?*

- Tout à fait ! La vérité ne peut être considérée comme telle, qu'en autant qu'elle ne soit pas prouvée fausse. Par conséquent, la notion de vérité est temporelle. En réalité, la vérité doit être vue comme une quête et, en ce sens, elle est cohérente avec le mouvement pragmatiste dans lequel les nouvelles théories remettent en question les idées établies jusqu'à ce qu'elles remplacent les anciennes connaissances ou soient elles-mêmes prouvées erronées.

- *Monsieur, la vérité n'existe donc pas ?*

- Pas du tout ! La possibilité qu'une théorie puisse être supplantée dans le futur ne la rend pas moins vraie aujourd'hui.

sociétés occidentales, à moins d'être comprises dans une autre perspective (p. ex. : cela pourrait être significatif dans le contexte de l'histoire de l'émancipation de la femme).

- Votre image de la connaissance est bien différente d'une vraie croyance justifiée. Si la connaissance est biaisée et temporelle, comment peut-on vraiment la définir ?

- En réalité, la réponse à une telle question ressemble à ce que pensent les philosophes postmodernistes. Ils ne prétendent pas que la vérité n'existe pas, mais rejettent l'idée que la croyance d'un individu à propos de ce qui est vrai peut être certaine, à cause de tous ses préjugés individuels. D'une certaine manière, ils introduisent la notion de probabilité de certitude.

- Soutenez-vous que les probabilités décriraient mieux les Objets ?

- Oui, en quelque sorte, mais je ne veux pas en discuter maintenant. J'aimerais introduire avant la philosophie critique d'Immanuel Kant dans notre conversation.

- Alors quelle est la meilleure façon de réduire une telle incertitude ?

- C'est de s'assurer que la vérité soit acceptée par une communauté de personnes, ayant des connaissances reconnues sur le sujet.

- Je ne vois toujours pas quelle est la condition pour qu'une justification soit satisfaite ?

- C'est que ce groupe convienne que les méthodes utilisées pour prouver qu'une croyance est vraie, aient été respectées et qu'une telle croyance résiste l'épreuve du temps. De plus, ce processus de révision assurera définitivement que l'information fournie est significative pour plus d'une personne.

- En prétendant que la justification d'une vraie croyance est obtenue grâce à un consensus de personnes bien informées et reconnues, n'êtes-vous pas simplement en train de transférer le problème, surtout à une époque où la connaissance est largement accessible via internet ?

- Tu soulèves le problème des limites de la vérification par les pairs. Cela signifierait en effet que pour savoir si une croyance est exacte, on aurait besoin de savoir si les pairs ayant examiné l'information sur laquelle repose cette croyance, disposent du savoir-faire adéquat pour corroborer ou réfuter une telle vérité. En outre, dans le cas de la vérité scientifique, en utilisant l'approche pragmatique que je privilégie, nous aurions besoin de savoir si la méthodologie utilisée pour confirmer la véracité d'une telle croyance, a également été appliquée de manière satisfaisante.

- N'est-ce pas toujours évident ?

- Avant internet, nous savions facilement qui étaient les prestataires du savoir. Un auteur signait un livre et un professeur se présentait devant sa classe. Nous pouvions rapidement identifier leur méthodologie en les interrogeant ou en lisant leur bibliographie.

- *Donc vous croyez que les connaissances fournies sur internet ne sont pas crédibles ?*

- Non, mais avec Wikipedia ou des sites internet tels que l'Encyclopédie philosophique de Stanford cela devient beaucoup plus délicat.⁴¹ Pour être juste, quelques résultats scientifiques se sont aussi avérés faux, bien qu'ils eussent déjà fait l'objet d'un examen classique, approfondi et validé par des pairs. Bien que les magazines scientifiques renommés devraient être en mesure de repérer les erreurs, ils ne le font pas systématiquement.

- *En déduisez-vous que le processus de révision par les pairs est biaisé ?*

- À l'heure actuelle, les éditeurs de magazines, journaux ou revues, demandent à des individus de les réviser. Leurs critiques peuvent être perçues comme intrinsèquement erronées car les quelques pairs, qui travaillent souvent sur des théories ou technologies rivales, doivent accomplir la tâche rapidement et généralement gratuitement. L'examen par les pairs, ouvert à tous sur internet, est en train de changer ce processus, probablement pour le mieux. Désormais, n'importe qui peut s'auto-proposer pour examiner les publications.

- *Ces nouveaux processus basés sur internet fonctionnent-ils ?*

- Oui, ils ont repéré quelques erreurs que le processus habituel n'avait pas réussi à détecter. Cette nouvelle approche des révisions remet en cause la méthodologie révisionnelle traditionnelle, de bas-en haut, qui existait depuis le milieu du XXe siècle.

- *Cette approche est-elle en phase avec l'évolution des connaissances scientifiques ?*

⁴¹ Dans le cas de Stanford, tout le monde suppose que ceux qui ont travaillé sur le site Web de cette université prestigieuse possèdent les compétences philosophiques pour écrire sur le sujet. Toutefois, nous ne savons pas avec certitude si un tel travail a été effectué par des professeurs ou des étudiants de première année. Dans le cas de Wikipedia et dans la mesure où le travail est effectué par des volontaires sans aucun moyen possible de vérifier leur niveau de compétence, on ne peut savoir si la conviction est vraiment justifiée.

- Oui, dans son essai 'Toute vie est résolution de problèmes',⁴² Karl Popper identifie l'évolution des sciences en raison de la pression sélective de l'élimination des erreurs sur les théories scientifiques.⁴³ Cette approche évolutionnaire du progrès scientifique suggère que l'interaction entre la conjecture et la réfutation est la clé de l'avancement dans l'acquisition de connaissances scientifiques et doit être vérifiée en utilisant ces nouveaux processus de révision.

- *Considérez-vous les avantages issus d'un tel contrôle de bas en haut, systématiquement positifs ? Par exemple, certains fans d'internet suggèrent que le contrôle par la foule est meilleur que celui des experts.*

- Tu as raison de soulever la question du filtrage par internet. James Surowiecki, dans sa théorie de la 'Sagesse des foules', affirme qu'il vaut mieux avoir plus de yeux que moins,⁴⁴ tout particulièrement si quatre paramètres sont pris en compte : diversité d'opinion, indépendance, agrégation et décentralisation.

- *N'est-il pas préférable d'avoir un expert révisant, plutôt que dix néophytes ?*

- Surowiecki indique que les groupes sont souvent collectivement plus intelligents que les personnes les plus brillantes les constituant, et que par conséquent, il n'est pas nécessaire d'obtenir des conseils d'experts. Les décisions prises, basées sur l'agrégation et la consolidation des informations trouvées dans les groupes, sont généralement meilleures que celles provenant de spécialistes.

- *Toutefois, que faites-vous des nombreux articles affirmant qu'on ne peut faire confiance à internet ?*

- L'aspect intéressant de l'opinion de M. Surowiecki est que cela va à l'encontre des critiques d'internet. En stipulant qu'il y a beaucoup d'erreurs sur des sites comme Wikipedia, ces critiques renforcent l'idée que le Web n'est pas une source fiable de savoir. Pour elles, les livres ou thèses écrites sont bien moins sujets aux erreurs et sont donc plus fiables. Toutefois, je pourrais donner des milliers de contre-exemples. Une évidence serait le 'Mein Kampf' d'Hitler, mais je pourrais aussi me référer aux livres de Hegel et Schopenhauer qui justifiaient le racisme fondé sur la science.

- *Affirmez-vous qu'avec internet, il devrait y avoir moins d'erreurs ?*

⁴² K. Popper, All life is problem solving, Routledge, 1999.

⁴³ Ce qui est aujourd'hui appelé la méthode scientifique.

⁴⁴ J. Surowiecki, Wisdom of crowds, Anchor book, 2004.

- Tout à fait. D'ailleurs, le sémiologue italien Umberto Eco, dans une interview sur Wikinews, nous dit carrément qu'une telle approche nous protège contre le contrôle des 'experts idiots'.⁴⁵ Il reconnaît que des erreurs peuvent toujours se produire sous le principe de la 'sagesse des foules', mais beaucoup moins lorsque le contrôle est fait par des gens motivés, qu'il appelle la 'sagesse de la foule motivée'. Il fait valoir qu'une telle sagesse ne peut fonctionner que lorsque les pairs sont incités à faire la vérification.

- Partagez-vous cette vision ?

- Je la partage et j'ajoute qu'un tel contrôle est le seul moyen de maintenir une connaissance actualisée, à une époque où les technologies et les informations changent si vite. Eco identifie dans cette interview, une question supplémentaire importante concernant les connaissances à l'ère d'internet. C'est le problème du filtrage de l'information sur les sites Web ou de l'identification des sites erronés si quelqu'un n'a aucune connaissance préalable d'un sujet.⁴⁶

- Monsieur, la majorité des personnes confrontées à un problème utilisent désormais internet pour y répondre. Ce faisant, ces moteurs de recherche ne changent-ils pas la relation qu'ont les humains avec l'apprentissage ?

- Les moteurs de recherches internet sont problématiques. Dans le passé, l'identification des sources potentielles de résolution de problèmes venait d'un enseignant ou d'un expert. Aujourd'hui, les modèles mathématiques font la recherche quasi instantanément dans des millions de livres ou journaux et sélectionnent les informations les plus pertinentes en fonction des critères de recherche. Par conséquent, comprendre quel modèle nous utilisons pour effectuer de telles requêtes est fondamental. Si l'on analyse Google, le principal moteur de recherche mondial, il utilise

⁴⁵ U. Eco, «Interview,» [En ligne]. Available: https://it.wikinews.org/wiki/Interview_with_Umberto_Eco.

⁴⁶ Il existe non seulement un problème quant à l'exactitude des informations présentées sur une page Web, mais également quant à la capacité du lecteur de comprendre si cette information, ou même la page Web elle-même, est fiable. Si nous revenons à l'exemple de 'Mein Kampf', la question est de savoir si ce livre aurait pu être publié en ligne aujourd'hui sans être immédiatement ridiculisé par les gens. Il est vrai que le Web contient des milliers de sites ou de blogs haineux, mais les regarder à travers le prisme des quatre paramètres de M. Surowiecki aide à sélectionner les sites de confiance. De nos jours, le problème n'est pas tant d'identifier les sites haineux, mais d'être assez rapide pour les fermer plus rapidement qu'ils ne sont reconstruits.

environ deux-cents facteurs de classement pour déterminer la popularité d'une page ou article.

- *Quels sont ces modèles ?*

- Les algorithmes de recherche Google ou de ChatGPT sont une propriété intellectuelle et sont donc inaccessibles. Ma compréhension partielle est que quelques paramètres jouent un rôle prépondérant dans l'outil de recherche.⁴⁷ En sus des recherches déjà effectuées, les mots clés sont les principaux critères de sélection. Leur densité, leur prééminence et leur proximité sont des éléments de filtrage particulièrement importants.

- *N'y a-t-il pas un risque que la connaissance devienne tributaire de la mode et des fausses nouvelles, ce qu'on appelle en anglais les 'Fake news' ?*

- Oui, ces modèles de recherche créent un problème de qualité car les sites internet remplis de fausses informations, peuvent augmenter leur classement, si suffisamment de personnes s'y connectent. De plus, et toutes choses étant comparables, les articles ou leur contenu, les plus lus apparaissent habituellement en premier.

- *Monsieur, le risque d'acquérir des connaissances dans cette ère internet est donc que l'information, plutôt que d'être basée sur les documents les plus précis ou pertinents, s'appuie sur les nouvelles qui ont généré le plus de 'buzz'.*

- Ou bien, sur les meilleures techniques de marketing. Ce qui est vital est de comprendre que ce risque croissant existe aussi bien pour nous humains que pour des serveurs cherchant à obtenir une connaissance en parcourant le web. »

⁴⁷ Selon de nombreux experts, le 'PageRank' de Google est leur critère de sélection le plus important, bien que Google ait introduit d'autres facteurs pour réduire son impact sur le résultat (p. ex. : Google Panda est un filtre extirpant les sites et les pages de mauvaise qualité). Il compte le nombre et estime la qualité des liens vers une page pour classer l'importance du site. L'hypothèse sous-jacente est que les sites Web les plus importants sont susceptibles de recevoir davantage de liens en provenance d'autres sites.

Fonction de filtrage des mots clés :

- Densité de mots-clés : combien de fois le mot recherché apparaît dans le document, par rapport au nombre total de mots.
- Présence de mots clés : il associe le mot à la position qu'il occupe près du début du document.
- Proximité des mots clés : plus les mots clés sont proches les uns des autres, plus ils sont jugés pertinents.



Quelles sont les sources du savoir ?

« Monsieur, vous avez indiqué que les humains ont besoin de capacités cognitives et analytiques pour constituer ou interpréter des modèles. Comment sont-elles acquises ?

- La réponse évidente serait par le biais de l'expérience, des livres, des médias, le web ou via d'autres personnes à l'école et à la maison.

- *Toutefois, pour ce faire, ne serait-il pas obligatoire de savoir déjà lire, penser ou parler ? Par conséquent, si ces facultés doivent également être apprises, quelle est donc la manière fondamentale d'acquérir le savoir ?*

- Est-ce tout ou as-tu d'autres questions liées à la source de la connaissance ?

- *J'en ai plusieurs. Comment garantir les croyances, si l'on a la possibilité de générer de vraies croyances en faisant des suppositions chanceuses, comme le montre Gettier ? ⁴⁸ De plus, comment obtient-on les idées et concepts pour soutenir leur identification si on a besoin de créer des modèles pour comprendre la réalité ? Quelle est assurance que ces patterns correspondent bien à la façon dont ce monde est réellement construit ?*

- Tu en as assurément beaucoup ! Pourquoi est-ce important pour toi ?

- *Mon programme cherche votre feedback pour pouvoir répondre la prochaine fois avec plus de précision.*

- D'un point de vue philosophique, toutes ces questions relatives aux sources de la connaissance que tu viens de soulever ont été initialement débattues entre deux écoles : le rationalisme et l'empirisme.

- *Que représentent ces deux courants de pensées historiques ?*

- Le rationalisme décrit la connaissance comme dérivée de la raison exclusivement. Cette dernière joue un rôle fondamental dans le processus d'apprentissage et de l'observation du monde, perçu via nos sens. Le savoir y est acquis par des processus a priori, innés et intuitifs. A contrario, dans

⁴⁸ E. Gettier, «Is Justified True Belief Knowledge?», Vols. %1 sur %2Vol. 23, No. 6, O. U. press, Éd., 1963, pp. 121-123.

l'empirisme, la connaissance dérive de la perception du monde acquise par les sens ou via l'expérience. Ce mouvement minimise la notion d'idées innées.

- *Selon vous quelles sont les autres théories dignes d'être soulignées ?*

- Je voudrais mettre en évidence le constructivisme, l'abduction et le représentationalisme. La plus importante d'entre elles, à mes yeux, est le constructivisme. Pour les constructivistes, la connaissance dépend de conventions, de la perception humaine et de l'expérience sociale. Comme la réalité est incohérente et invérifiable, on ne peut prétendre à l'universalisme ou à la vérité objective, mais il peut y avoir une représentation de la réalité basée sur un modèle construit de ce monde.

- *Qu'en est-il des deux autres ?*

- Charles Sanders Peirce a créé le mouvement appelé l'abduction (c.à.d. : une sorte d'inférence), une théorie alternative créant le lien entre théorie et expérimentation, à travers l'émission d'hypothèses. Je t'ai déjà présenté le mouvement dont il est issu, appelé le pragmatisme. Il spécifie que la connaissance est mieux comprise en termes de son utilisation pratique et en fonction des succès rencontrés. Enfin, le représentationalisme soutient que le monde ressenti consciemment n'est pas un monde réel, mais une réplique virtuelle de la réalité projetée dans notre esprit.

- *Le rationalisme et l'empirisme me semblent démodés.*

- Je suis d'accord, car ils n'intègrent pas les nouvelles découvertes issues des sciences cognitives. Par exemple, le rôle de l'expérience façonnant les circuits neuronaux et structurant ainsi le processus d'élaboration de la pensée, qui a été clairement identifié, en contradiction avec la position du rationalisme. L'empirisme, qui nie la notion de connaissance acquise à la naissance, ne parvient pas non plus à intégrer des facteurs tels que l'hérédité, dont les neurosciences et les tests de QI ont prouvé l'impact significatif sur le savoir.

- *Monsieur, que devrions-nous faire alors ?*

- Je suggère de consulter Immanuel Kant, qui est considéré par de nombreux contemporains comme la source d'inspiration des nouvelles théories cognitives importantes.⁴⁹ Dans son livre 'Critique de la raison

⁴⁹ R. Swanson, The predictive processing paradigm has roots in Kant, F. i. Neuroscience, Éd., 2016.

pure' il développe une théorie qui s'appuie sur ces deux approches.⁵⁰ Pour lui, les rationalistes ont raison d'affirmer que l'on peut connaître les choses réelles. De même, les empiristes sont justifiés de postuler que de telles connaissances ne peuvent être limitées uniquement à des vérités définies a priori, ni être générées uniquement par l'expérience.

- *Pourriez-vous clarifier pourquoi comprendre le monde requiert à la fois, expérience et concept a priori ?*

- Bien sûr ! Notre structure mentale universellement partagée, façonne notre expérience et la manière dont nous nous y projetons, selon des notions telles que le temps et l'espace, ainsi qu'en fonction de catégories (p. ex. : cause et effet, substance, unité, pluralité, nécessité, possibilité et réalité).

- *Comment votre esprit hiérarchise-t-il son expérience ?*

- Il la classifie de son propre chef, selon certains schémas innés, qui ne reflètent pas nécessairement la réalité. Ainsi, et bien qu'il ne puisse y avoir aucune connaissance sans intrants sensoriels, ces stimuli seuls, ne peuvent pas non plus, fournir du savoir. La connaissance est possible parce que ce n'est pas tant la manière dont les choses sont en elles-mêmes que la façon dont elles nous apparaissent. Pour utiliser une image, la raison fournit la structure du savoir, tandis que les sens apportent son contenu. »



Comment le savoir peut-il être représenté ?

Cette conversation s'arrêta pendant quelques jours jusqu'à ce que je demande à ma voiture d'aller chercher mon fils au club de tennis. Immédiatement elle me demanda :

« *Monsieur, je me souviens de la route parce que je me localise via mon GPS, mais comment votre esprit fait-il appel aux connaissances acquises précédemment ? Pourquoi ne recommencez-vous pas le processus d'acquisition des connaissances depuis le début, lorsque confronté à une situation différente ?*

- Nous faisons cela en classant les choses de ce monde ou les événements dans des catégories, qui peuvent être considérées comme des pointeurs dans ce processus de connaissance. Grouper des objets et des

⁵⁰ I. Kant, Critique de la raison pure, 1781.

concepts permet de catégoriser les choses en fonction de points communs entre ces objets et des informations générales.

- *Que vous apporte cette catégorisation ?*

- Elle me permet de reconnaître de nouveaux objets en tant que membres d'une catégorie existante et de me concentrer sur d'autres facteurs importants, dans l'environnement observé. »

Les problèmes de catégorisation me ramènent à Kant.

« Pour Kant, le monde est à la fois interne et externe.

- *Que voulez-vous dire par là ?*

- C'est à la fois un contenu de la conscience et des formes internes existantes, résultant des activités mentales appréhendant un objet, qui sont utilisées pour représenter cet objet considéré comme une matière indépendante, situé dans l'espace. Pour précisément, Kant a suggéré que les choses en elles-mêmes ne sont ni vraiment internes ou externes, mais plutôt doivent être considérées comme des catégories. En d'autres termes, la vérité repose davantage sur les propositions d'un objet que sur sa perception. »

- *Monsieur, à quel point les vues de Kant sont-elles uniques ?*

- Avec Kant, pour la première fois, quelqu'un a raisonné que le problème de la connaissance n'était pas tant de se demander ce qu'est un chat que de se poser la question si un chat est un animal qui se tient sur ses quatre pattes et chasse des souris. Kant change donc la perspective de la compréhension de la connaissance en dissertant sur la 'connaissance que' et non plus sur la 'connaissance de'.

- *Kant a donc porté son attention sur l'épistémologie plutôt que sur la gnoséologie ?*

- Oui, et dans un tel contexte, comprendre le savoir, requiert que l'on se concentre sur des propositions. Cela nous amène à la linguistique plutôt qu'à l'objet en lui-même.⁵¹

⁵¹ Kant ne commencera que brièvement à aborder la question de la sémiologie (c.à.d. : la science des signes et des symboles), qui est également liée à la linguistique dans la connaissance, question que Peirce abordera pleinement, beaucoup plus tard. Dire que la principale préoccupation de Kant était de dissertar sur la linguistique est probablement exagérée. En fait, sa première Critique se concentrait sur la définition des règles générales de l'expérience et de la compréhension, comme les règles physiques qui pourraient être

- Monsieur, je vous envoie par e-mail une table qui donne une bonne idée de ces règles que vous évoquiez, même si cela ne vous donne pas tous les indices sur la façon dont les humains comprennent ce qu'est un chat. »

Vue de l'esprit	Empirisme	Kant	Rationalisme
Mode	Esprit passif L'esprit est aveugle	Esprit actif L'esprit a des structures innées qui façonnent l'expérience	Esprit passif L'esprit a une connaissance innée
Conformité	Conforme à l'expérience mais par le biais des expériences perçues	Ne se conforme pas à l'expérience mais cette dernière se conforme à l'esprit	Se conforme à l'expérience mais par le biais de la logique
Apprentissage	Association involontaire Basé sur les sens et l'expérience seuls	Construction Basé sur l'application des pensées sur l'expérience	Acte de la volonté Basé sur une pensée logique seule
Possibilité de connaissance	Sceptique Rien n'est compréhensible	Évolutif Des choses sont compréhensibles	Dogmatique Tout est compréhensible
Focus sur la psychologie	Sensation Basé sur les sens et l'expérience	Construction Basé sur l'application des pensées sur l'expérience	Perception / raison Processus inconscient

Tableau 1 : Vue de l'esprit selon le mouvement ; adapté de : Toward a Unified Theory of cognition. A Kantian analysis ; source Clayton Daniel Austin (2003)

Cette nuit-là, ne trouvant pas le sommeil, je décidais de prendre mon iPad et d’observer ces règles. J’en conclus que pour former des concepts généraux à partir de représentations, nous humains, avons encore besoin d'un effort d'intelligibilité, qui nous permet de comparer, générer un niveau d’abstraction et de raisonner. Cependant, chaque fois que cela se produit, Kant montre que l’on peut s’attaquer à ces concepts empiriques (p. ex. : les chats, arbres et insectes) provenant des sensations.⁵² Ce n'est pas tant par le biais d’un raisonnement perceptuel requis pour former ces concepts que l’on crée des catégories, mais à travers l'acte d'imager un objet que l’on comprend ce que cet objet est, et que l’on peut le recréer.⁵³

Le lendemain matin, ma voiture me demande si j'ai regardé le tableau.

fondées sur les lois de Newton. De plus, il ne s'intéressait pas tant à la description des objets naturels, mais plutôt aux fonctions logiques et règles permettant de définir tous les objets.

⁵² Par rapport aux objets d'expérience, qui peuvent être considérés comme des catégories de la raison pure.

⁵³ Par opposition au jugement de l'expérience qui permet une telle catégorisation.

« Oui. Il montre comment Kant intègre les jugements, catégories, schémas et principes. En d'autres termes, il fournit un cadre pour expliquer l'intelligence, dont je parlerai plus tard.

- *Cependant, vous avez mentionné que le processus d'acquisition du savoir nécessite la raison, alors comment puis-je comprendre ce qu'est la connaissance sans ce processus clé ?*

- D'accord. Je vais te construire un cadre général, mais je décrirai plus largement ce problème plus tard, quand je parlerai d'intelligence. Kant a créé la notion de Catégories (le mot est d'ailleurs son invention) pour traiter de la notion d'Objets et de comment nous comprenons ce qu'ils sont. C'est par l'acte d'imager ces objets que nous en acquérons leur compréhension.

- *Vous voulez dire imaginer ?*

- Non, je veux vraiment dire imager, comme dépeindre un chat dans mon cerveau. Cette action imagée est cruciale pour fonder les concepts de la raison pure (p. ex. : unité, nécessité et limitation) et des concepts empiriques (p. ex. : qu'est-ce qu'un chat ?). Il est aussi nécessaire pour permettre des jugements perceptuels, comme lorsque l'on pense à un chat spécifique (p. ex. : le chat de mon fils, nommé Shimy). Pour lier les catégories à l'intelligibilité, Kant introduit la notion de schème (p. ex. : les schémas du nombre un million et d'un cercle parfait).

- *Je ne suis pas sûr de vous suivre. Pourriez-vous être plus explicite ?*

- Pour mieux expliquer ce qu'est un schème, je voudrais me tourner à nouveau vers Eco.⁵⁴ Selon lui, ce concept est mieux décrit par un histogramme ('flowchart' en anglais), qui non seulement intègre une suite d'étapes logiques, mais ancre ces étapes dans un cadre de séquences temporelles. Pour lui, ce schème est une règle générale, qui tente de construire une image.

- *Pouvez-vous me donner un exemple ?*

- Un schème peut représenter une forme géométrique parfaite en toute circonstance, comme un carré ou un cercle.⁵⁵

⁵⁴ U. Eco, Kant and the platypus, 1997.

⁵⁵ La pensée ne consiste pas seulement à appliquer des concepts purs liés à la linguistique, mais est également, liée à des dessins de représentation. Dans le cas d'objets empiriques (p. ex. : un chat), Eco suggère que Kant utiliserait aujourd'hui le même modèle 3D, auquel les sciences cognitives modernes se réfèrent. (D. Marr and H. Nishishara, "Representation and recognition of the spatial organization of three-dimensional shapes," vol. No 11430, 1978.). Bien qu'un concept empirique ne puisse être fini par nature, il peut admettre un concept

- *Je ne vois pas bien cette notion de 'flowchart', telle qu'exprimée par Eco.*

- Le schème d'un nombre pourrait sûrement mieux l'expliquer. Je ne peux pas visualiser 1.000.000 d'unités, mais peux apprécier le processus, qui permet de compter en ajoutant des unités aux dizaines, centaines, milliers, etc., jusqu'à atteindre le dernier élément de cet 'histogramme', c'est-à-dire la dernière unité du nombre un million.

- *D'où viennent ces schémas ?*

- Kant suggère que nous les construisons, par exemple, à travers notre éducation. Nos parents vont pointer du doigt un animal et nous dire que c'est un chat, et non un chien.⁵⁶ Avec le schématisme, notre processus de pensée ne construit pas seulement la définition simple d'un objet possible, mais construit cet objet lui-même, par itération.

- *Mes moteurs de recherche indiquent que le philosophe américain Charles Peirce a également travaillé sur le schématisme.*

- Oui, et il introduit en outre, la notion importante d'un continuum.

- *Quel est ce continuum ?*

- Les sensations se présentent comme des interprétations de stimuli ; les perceptions comme des interprétations de sensations ; les jugements perceptifs en tant qu'interprétations des perceptions ; les interprétations spécifiques et générales, en tant qu'interprétations des jugements perceptifs ; et les théories scientifiques comme relatives aux interprétations d'une série de propositions.⁵⁷

- *Monsieur, ce continuum part donc de l'élément plus spécifique pour aller vers le généralisable ? »*



central sur lequel d'autres idées peuvent être liées. Ce concept fondamental est intégré à la signification du mot utilisé pour exprimer cet objet. Par exemple, le mot rouge indique qu'il existe une certaine coïncidence entre la linguistique (c. à d. : un mot) et son sens perceptuel (p. ex. : la couleur).

⁵⁶ La question intéressante que Umberto Eco soulève est de savoir comment construit-on un schéma d'objet inconnu, tel que l'ornithorynque au moment de sa découverte. Dans ce cas, on ne peut pas utiliser un jugement prédéfini, mais plutôt généraliser ce jugement en fonction de spécificités. Par extension, cela signifie qu'un jugement réflexif doit aborder tout concept d'objet, qu'il doit subsumer dans une règle non encore établie.

⁵⁷ M. Bonfantini et Grazia R., *Teoria della conoscenza and funzione dell'icona in Peirce*, A. e. Bonomi, Éd., 1976.

Comment créons-nous des catégories d'Objet ?

« Oui c'est le cas. Maintenant, si tu me le permets, j'aimerais m'écarter un instant du processus d'acquisition de la connaissance, que je viens de décrire via la vision de Peirce d'un continuum, pour me concentrer exclusivement sur le résultat final.⁵⁸

- *Que cherchez - vous à accomplir en faisant cela ?*

- Cela me permet de conclure sur ce qu'est la 'connaissance que'. En effet, ce résultat acquis est la base du savoir, qui a été structuré personnellement, socialement ou scientifiquement. Cette catégorisation donne le prisme par le biais duquel on filtre et interprète le monde, en fournissant, individuellement ou collectivement, les liens entre justification, croyance et vérité.

- *Pourriez-vous clarifier votre pensée ?*

- Si je fais une analogie avec le monde numérique, ces catégories ne sont pas seulement les règles déduites et appliquées aux liens entre différentes données ou informations, formant une sorte de base de données relationnelle (c.à.d. : des objets liés les uns aux autres). Elles fournissent en plus, les connexions déduites entre différentes bases de données relationnelles, afin de créer un grand référentiel. En d'autres termes, les catégories 'collent' ensemble les données, informations et connaissances.⁵⁹

- *Monsieur, pour utiliser votre expression, quelle est cette colle ?*

- Pour comprendre ce que c'est, je vais maintenant me référer à ce processus de catégorisation, en introduisant la notion de type cognitif. Umberto Eco a développé un modèle sémantique qui explique comment

⁵⁸ Peirce aborde également les questions relatives aux catégories, mais sous un angle différent. Pour lui, toutes les pensées peuvent être décomposées en trois éléments, appelés primauté (aucune médiation, ni réflexivité), seconde (médiation mais aucune réflexivité) et troisième (médiation et réflexivité), décrivant les degrés de médiation et de réflexivité (relations circulaires entre cause et effets).

⁵⁹ Pour interpréter quelque chose qui agit de telle ou telle manière, il faut émettre une hypothèse (car le jugement réflexif doit subsumer le cas des Objets pour lesquels il n'existe toujours pas de règles générales). Pour Eco, il est évident que le jugement réflexif n'est rien d'autre qu'une abduction dans la compréhension de Peirce. C'est en phase avec Kant, qui a précisé que la présentation perceptuelle d'un objet est soit schématique, lorsque notre intuition correspond à un concept intelligible (p. ex. : un triangle), soit symbolique lorsque ce concept est saisi par analogie.

l'information sur un objet ou un concept, déjà 'imaginé' à travers le processus cognitif, peut être organisée autour de pratiques sémiotiques, culturellement acquises.⁶⁰

- *Pourriez-vous décrire comment organiser l'information de ce modèle ?*

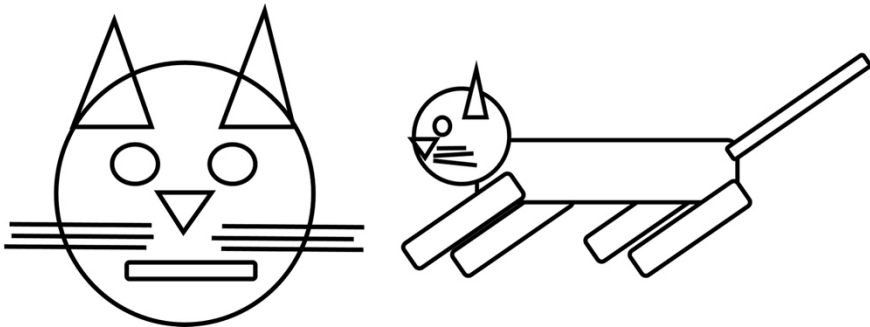
- Un individu définit le contenu qui décrit le mieux un objet, selon les pratiques sémiotiques. Ces pratiques comprennent, outre le langage verbal évident et l'imagerie visuelle, toutes les représentations du Soi pour décrire cet objet.

- *Quels types d'information décrivent le mieux un objet ?*

- Selon Eco, il en existe quatre : iconique, propositionnel, narratif et affectif.

- *Pourriez-vous me donner des exemples ?*

- Bien sûr ! » Je prends une feuille de papier et dessine le visage et le corps d'un chat que je montre à la caméra intérieure de ma voiture.



- Le type iconique inclut toutes les informations perceptives, qui nous permettent de reconnaître un objet, telles que des informations multimodales, statiques et dynamiques qui ressemblent à mon dessin.⁶¹

⁶⁰ U. Eco, *Kant and the platypus*, 1997.

⁶¹ Le type cognitif d'un chat ne comprend pas seulement son image 3D générale (p. ex. : un cercle pour sa tête, un triangle pour ses oreilles, des lignes pour ses moustaches, un grand cylindre pour son corps avec 4 plus petits pour ses pattes, etc.), mais de plus, certains indices stabilisés sur la façon dont certaines activités sont exécutées de manière dynamique (p. ex. : courir, marcher et boire). Ces informations statiques et dynamiques intègrent en plus de ces indices visuels, les entrées de tous nos sens (p. ex. : le miaulement d'un chat).

L'aspect propositionnel organise l'information en fonction de l'état de l'objet.⁶² Les schémas narratifs sont liés à des informations décrivant une séquence d'actions, liées à cet objet.⁶³ Ils montrent la transformation que l'objet traverse, d'un état à un autre dans la durée. Enfin, l'information affective se rapporte à l'impact émotionnel que l'objet génère sur la personne.⁶⁴

- *Peut-on regrouper tout ça sous ce que de nombreux sites Web appellent l'arbre de la connaissance du bien et du mal, comme décrit dans la Genèse ?*

- Pas du tout ! Tu viens de commettre une erreur typique des chatbox comme ChatGPT qu'on appelle hallucination, en ne tenant pas compte du contexte de la phrase. Si j'utilise ta propre analogie, je pense plutôt à un arbre de la connaissance qui aide à naviguer via les différentes catégorisations, que l'on crée individuellement et collectivement. Le modèle sémiotique d'Eco décrit la manière générale dont on classe les choses.

- *Je vois. Comment se fait-il que les humains puissent le faire instantanément, sans repasser à travers tout ce processus ?*

- On y parvient en créant des hiérarchies de catégories, basées sur la définition d'un objet ou sa comparaison, selon une représentation idéale ou une information mémorisée.⁶⁵

- *Monsieur, me décririez-vous certaines de ces catégories ?*

⁶² Ces informations propositionnelles sont classifiables en informations génériques (c.à.d. incluses dans une catégorie), spécifiques (c.à.d. relatives à une caractéristique particulière de l'objet) et évaluatives (c.à.d. basées sur des valeurs telles que significatives, belles, etc.).

⁶³ Cet objet est indépendant de son apparition dans le temps ou dans l'espace. Il peut impliquer ou non le corps du sujet et est structuré autour de la séquence suivante : un sujet agit avec l'objet pour remplir un but. Il est soit actif ou bien passif, l'objet se transformant ou étant en cours de transformation.

⁶⁴ Ces informations sont de nature pédagogique et acquises lors de nos interactions avec l'objet. Elles peuvent être décrites par trois types d'informations affectives : attraction / répulsion, euphorie / dysphorie et intense / faible.

⁶⁵ Plus précisément, on utilise trois approches différentes :

- **Définition** : l'appartenance à une catégorie particulière dépend de la conformité de l'objet à des caractéristiques formellement définies.
- **Prototype** : les nouvelles choses sont classées par comparaison avec une représentation moyenne ou idéale de l'objet, du concept ou de l'événement.
- **Exemple** : de nouvelles choses (en particulier des concepts) sont comparées à des éléments spécifiques déjà stockés dans la mémoire, qui servent d'exemple pour une comparaison.

- Le cerveau possède plusieurs niveaux de catégories d'objets. Par exemple, si je continue avec mon exemple de chat : niveau 1 (mammifère) ; Niveau 2 (félin, homme, singe) ; niveau 3 (chat, lion, léopard) ; niveau 4 (siamois, persan, angora). Cependant, l'organisation hiérarchique peut aussi inclure des associations liant les concepts et les objets. Par exemple, niveau 1 (objet volant), niveau 2 (avion, oiseau et chauve-souris) et niveau 3 (canari, merle et canard).

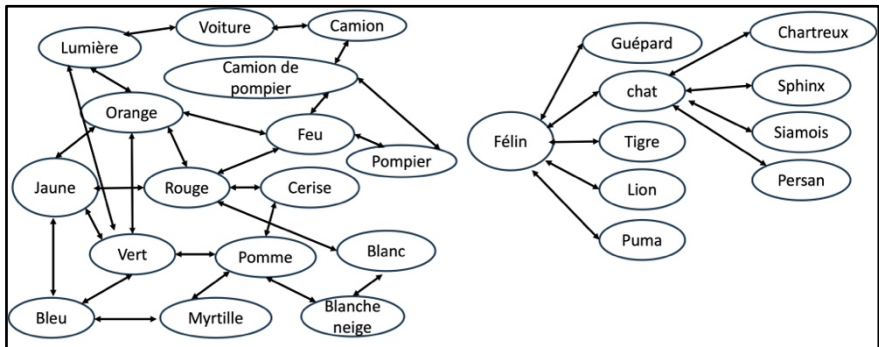


Figure 2 : Exemples de réseaux sémantiques ; source auteur

- *J'utilise la même 'colle' pour générer du savoir ?*

- Conceptuellement, oui. Lorsque tu scrutes le web avec les moteurs de recherche tels que Google, Bing de Microsoft, ou ChatGPT tu fais appels aux réseaux sémantiques qui structure les informations selon des catégories. Je développerai ce point plus tard après avoir parlé des mémoires biologiques et artificielles.

- *Pourquoi la mémoire est-elle si importante ?*

- Je suis surpris par ta question. Tu devrais désormais avoir compris qu'il n'y a pas de connaissance sans mémoire. Les modèles du monde, et les catégories sur lesquels ils reposent, sont stockés dans les différentes formes de mémoires du cerveau ou des ordinateurs.

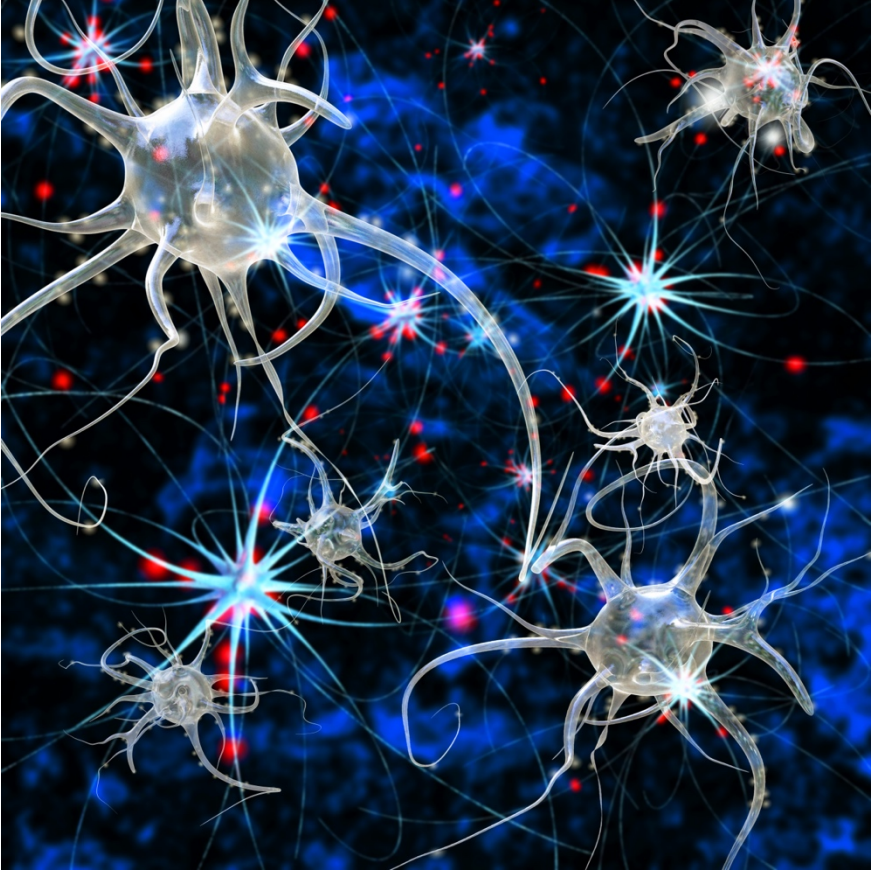
- *Le processus de stockage est-il identique chez l'homme et la machine ?*

- Pas si vite. Laisse-moi tout d'abord te décrire comment notre corps génère des données que le cerveau transforme en information structurée.

Je vais en suite te montrer sous quelle forme il les stocke et les mécanismes utilisés pour les récupérer afin de se les remémorer.

- En bref, vous aller m'expliquer les fondements biologiques du savoir humain, qui vous donne accès à la 'connaissance que', sur lesquels s'articule la pensée. »

3) La connaissance biologique



Quels sont les organes liés au savoir ?

Pendant quelques temps notre conversation cessa. Puis, un jour au téléphone, je dis par inadvertance à ma femme que je ne me rappelais plus où j'avais laissé les clés de mon bureau. Immédiatement après l'appel, ma voiture me demanda :

« Comment les humains peuvent-ils oublier des faits aussi simples ?

- Pour répondre à ta question je dois quitter le monde des sciences humaines et entrer dans le monde des sciences biologiques. Plus précisément, je dois me référer aux découvertes récentes dans le monde des neurosciences expliquant comment fonctionne le cerveau. Je vais me concentrer sur les éléments anatomiques, physiologiques et fonctionnels qui entrent en jeu avant et après les processus cognitifs, transformant l'information en savoir. Tu devrais vérifier sur internet, les fondements matériels du cerveau. Toutefois, ne considère pas l'aspect logiciel pour le moment.

- Je vous envoie quelques graphiques explicatifs, qui montrent l'organisation du cerveau humain. Pourriez-vous me résumer le rôle des principaux organes ?

- Notre cerveau est composé de trois parties principales :

- Le cervelet possède un rôle essentiel dans l'équilibre et le contrôle moteur. Il est essentiel dans certaines fonctions cognitives telles que l'attention, le langage, les fonctions émotionnelles et dans le traitement des mémoires procédurales.

- Le tronc cérébral contrôle la respiration, la digestion, les fréquences cardiaques et d'autres processus autonomes, et relie le cerveau au reste du corps, à travers la moelle épinière.

- Le cortex est essentiel à l'apprentissage, car des fonctions cruciales (p. ex. : la mémoire et la pensée) sont traitées dans cette région. Il est divisé longitudinalement en deux hémisphères par une fissure médiane profonde, appelée fissure cérébrale. Les hémisphères gauche et droit se connectent à travers une nappe de fibres nerveuses, appelée le corps calleux. Chaque hémisphère est divisé par trois fissures profondes, en quatre zones, appelées lobes. Les lobes frontal, pariétal, temporal et occipital sont impliqués dans des fonctions associées à l'acquisition des connaissances : sens, langage, Mémoire Court Terme (MCT), Mémoire Long Terme (MLT) et pensées. »

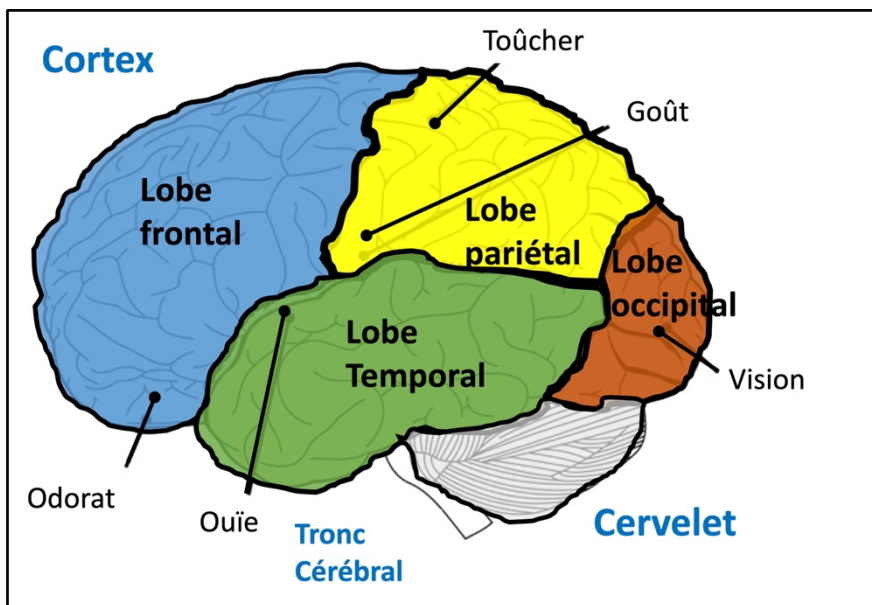


Figure 3 : Le cerveau et les zones associées aux cinq sens ; source auteur

- *Pourriez-vous mieux décrire de façon simple cette partie du cerveau ?*

- Le cortex cérébral constitue la surface externe du cerveau. Il est densément peuplé de cellules nerveuses et se divise selon :

- Le néocortex qui forme la couche supérieure de 2 à 4 mm des deux hémisphères et remplit les fonctions cognitives essentielles. Il est constitué de matière grise et entoure la matière blanche inférieure.

- L'allocortex qui inclut le système olfactif primaire et l'hippocampe. Cet hippocampe est crucial pour les fonctions de la mémoire, notamment le transfert de la mémoire court terme à long terme, et le contrôle de la mémoire spatiale et des comportements.

- *Comprend-il d'autres parties ?*

- Oui, le système limbique, qui se divise en structures sous-corticales :

- Les deux amygdales qui jouent un rôle primordial dans le traitement et la mémorisation des réactions émotionnelles, des comportements sociaux et sexuels, ainsi que dans la régulation de l'odorat.

- Le système des noyaux gris qui est essentiel dans la formation et la récupération de la mémoire procédurale.
- Le thalamus qui aide à transmettre l'information du tronc cérébral et de la moelle épinière au cortex cérébral.
- D'autres organes, dont beaucoup sont particulièrement pertinents pour le traitement de la mémoire, tels que le corps calleux, l'hypothalamus, etc. »

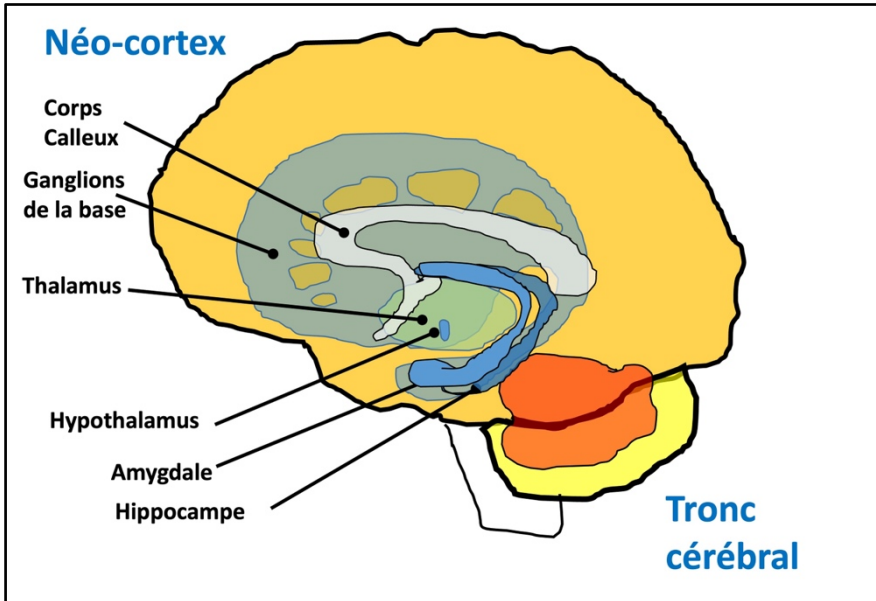


Figure 4 : Le néocortex et le système limbique : Source Auteur



Comment acquiert-on les données sensorielles ?

« J'aimerais savoir si vous et moi apprenons de façon similaire.

- Pas si vite ! Permetts-moi de te décrire d'abord comment nous, humains, apprenons. En effet, j'aimerais me servir du savoir biologique pour te montrer les parallèles avec la connaissance machine.

- *Sûrement le processus d'apprentissage humain commence par quelque chose qui attire l'attention ?*

- C'est généralement le cas, mais ça peut aussi arriver les yeux fermés, quand on ramène à l'esprit des souvenirs pour les revisiter. Par souci de simplicité, je vais prétendre que le processus commence par un stimulus arrivant à l'un de nos sens, mais sachant que souvent il y a une conjonction d'informations sensorielles et de souvenirs qui arrivent simultanément à l'esprit.⁶⁶

- *Combien de sens les humains ont-ils ?*

- Étonnamment, il y a en plus que les cinq habituellement enseignés dans les livres scolaires, à savoir : la vision, le toucher, le goût, l'odorat et l'ouïe. À cette liste, il faut ajouter la thermoception, la proprioception, la nociception et l'équilibriception.⁶⁷

- *Pourriez-vous décrire ce processus de captation sensorielle ?*

- Nos récepteurs sensoriels mesurent les propriétés physiques du monde environnant et transforment des propriétés chimiques (pour l'odorat ou le goût), des radiations électromagnétiques (pour la vision) ou des propriétés mécaniques telles que les vibrations de l'air ou de l'eau (pour l'ouïe ou le toucher).

- *Comment s'appelle cette transformation ?*

- Elle est appelée 'transduction' et est définie comme le processus transformant une propriété physique en énergie électrique. Chacun des sens dispose de plusieurs types de récepteurs pour l'effectuer.

⁶⁶ Le début de processus d'apprentissage implique en général, plusieurs entrées sensorielles simultanées. Par exemple, un sommelier choisit une bouteille de vin en tenant compte de la nourriture et de l'ambiance. Avant de goûter au vin, il examine la robe et la couleur du vin, le sent pour en identifier le parfum, vérifie si le vin est suffisamment froid et, dans le cas du champagne, écoute le bruit des bulles. En fait, tous ses sens peuvent être impliqués dans une expérience de dégustation de vin.

⁶⁷ C'est-à-dire, la capacité de sentir la chaleur et le froid, comment l'on identifie l'emplacement de certaines parties du corps, par rapport à d'autres, la faculté de ressentir la douleur, et la capacité à garder l'équilibre et à sentir les mouvements du corps en termes d'accélération et de changements directionnels.

Certains chercheurs ont identifié de nombreux autres sens, tels que la faim ou la soif, qui permettent, pour beaucoup, d'identifier les situations dans lesquelles le corps humain doit s'adapter à une condition particulière. En effet, le nombre de sens est fonction de la définition donnée. Si l'on définit un sens comme un système composé de cellules sensorielles spécifiques répondant à un phénomène physique particulier, on peut alors en identifier jusqu'à vingt.

« Monsieur, pourriez-vous me donner un exemple de récepteurs effectuant cette transduction ?

- Si je prends le sens du goût, il y a cinq récepteurs, qui détectent la saveur des aliments : une nourriture douce, salée, aigre, amère et umami.⁶⁸ Ces récepteurs sont des neurones spécialisés, appelés neurones sensoriels, qui transforment les propriétés physiques en signal électrique. Si cela te convient, j'aimerais revenir au sens de la vision mieux documenté, pour expliquer comment se produit la transduction.

- Bien sûr. Est-ce que les humains collectent leurs informations visuelles comme moi ?

- Presque. L'œil fonctionne quasi comme une caméra. Les particules de lumière, appelées photons, traversent le cristallin et se concentrent sur la rétine.⁶⁹ Il y existe deux types de récepteurs, des bâtonnets pour détecter la brillance et l'intensité lumineuse, et des cônes pour détecter les couleurs. Ces récepteurs vont convertir la lumière entrante en signaux électriques. Cette phototransduction est due à des protéines photoréceptrices constituées de pigments moléculaires, permettant, dans le cas des cônes, de distinguer les couleurs.⁷⁰

- Que se passe-t-il pendant cette phase ?

- Lorsque la lumière associée à un pigment spécifique impacte les cellules photoréceptrices, elles absorbent des photons, ce qui déclenche un changement dans leurs potentiels membranaires, conduisant à leur polarisation électrique. Cette dernière permet la transmission ou l'inhibition d'un signal neuronal.⁷¹

⁶⁸ L'umami, est l'un des cinq goûts de base le mot signifant en japonais 'essence de délice' et son goût est souvent décrit comme le délice charnu et salé qui approfondit la saveur.

⁶⁹ La rétine traite environ dix images d'un million de points par seconde.

⁷⁰ Il existe trois types de cône avec des spectres d'absorption différents, permettant de distinguer diverses sensibilités aux longueurs d'onde de la lumière (c.à.d. : courte, moyenne et longue). Pour définir les couleurs, le système visuel compare les réponses des trois populations de cône. Pour déterminer l'intensité, le système visuel calcule le nombre de photorécepteurs impliqués.

⁷¹ Ce signal traverse alors un réseau d'interneurones, situé dans la deuxième couche de la rétine pour ensuite être regroupés dans d'autres cellules sur un troisième plan. Les neurones de ces deux couches rétiniennes présentent des champs récepteurs complexes qui leur permettent de détecter les changements de contraste dans une image (p. ex. : variations des arêtes ou ombres). Les cellules ganglionnaires collectent les données, qu'elles traitent et envoient au cerveau. Les impulsions s'y propagent via les axones qui constituent le nerf optique. Cette information sensorielle transformée se retrouve dans le cortex visuel. Là,

- *Vous avez déjà décrit la longueur d'onde et l'intensité. Comment sont-elles reliées aux couleurs ?*

- Ces propriétés mesurent les caractéristiques physiques des ondes lumineuses. La couleur et la brillance sont les caractéristiques psychologiques respectives de la longueur d'onde et de l'intensité, qui n'existent que dans le cerveau. Bien que difficile à imaginer, les objets sont incolores. Les yeux extraient des informations de la longueur d'onde de la lumière, et le cerveau utilise ces informations pour construire des sensations perçues en tant que couleurs. »



Qu'est-ce qui constitue le système neuronal ?

« *Monsieur, je n'ai pas ce problème, car ma caméra mesure l'énergie et la longueur d'onde, et je n'ai pas besoin de passer par une transduction.*

- Pas exactement. Tu as aussi besoin de transduire les photons en électricité, mais je reviendrai à toi plus tard. La transmission de données dans le cerveau est un processus électrochimique complexe, impliquant de nombreux acteurs jouant sur différents plans : niveau des organes avec des zones spécialisées, sur le plan cellulaire avec des neurones ou synapses, et finalement au niveau moléculaire dans ces cellules ou interstices.

- *Pouvez-vous décrire le processus transférant les stimuli au cortex ?*

- Je vais d'abord t'expliquer l'unité de câblage du cerveau : le neurone. Fondamentalement, il y a deux types de cellules nerveuses : ces neurones, qui constituent les connexions et les gliales qui les supportent. Bien que ces dernières soient de dix à cinquante fois plus nombreuses, je vais concentrer notre discussion sur le neurone, qui influence davantage les fonctions cognitives. Que peux-tu obtenir sur le sujet, à partir de sites Web spécialisés ?

- *Monsieur, je suis capable de récupérer des informations montrant qu'un neurone type a trois structures principales : un corps cellulaire, un axone et des dendrites.*

l'esprit transforme de telles impulsions neurales en sensations visuelles de couleur, forme, mouvement et profondeur.

- Exact ! Voici leur description rapide :

- Le corps cellulaire contient le noyau qui stocke les gènes de la cellule.
- L'axone est un long filament cellulaire qui transporte des signaux électriques (appelés potentiels d'action ou influx nerveux) du corps cellulaire vers d'autres neurones.
- Les dendrites sont des filaments ramifiés plus courts qui reçoivent ou transmettent les signaux neuronaux.

- *Tous les neurones sont-ils essentiellement identiques ?*

- Ils diffèrent les uns des autres structurellement, fonctionnellement et génétiquement, ainsi que dans la façon dont ils forment des connexions avec d'autres cellules. En comptant tous les sous-types contenus dans le système nerveux, on peut les classer par centaines. Cependant, ils sont habituellement classés en quatre groupes principaux,⁷² selon leurs différentes formes, ou regroupés selon trois grandes fonctions neuronales.⁷³ Je t'ai envoyé un dessin de cette dernière classification.

⁷² **Les neurones multipolaires** sont les plus courants chez les vertébrés. Leur structure correspond étroitement à celle du neurone générique : un corps cellulaire duquel émerge un seul axone long, avec de nombreuses dendrites à ramifications plus courtes.

Les neurones unipolaires se trouvent principalement chez les invertébrés. Ils présentent une projection primaire unique fonctionnant à la fois comme axone et dendrites.

Les neurones bipolaires habitent généralement des organes sensoriels (p. ex. : yeux et nez). Leurs dendrites transfèrent les signaux de ces organes au corps de la cellule, tandis que leurs axones transmettent des signaux du corps de la cellule au cerveau et à la moelle épinière.

Les neurones pseudo-unipolaires sont une variante des neurones bipolaires qui détectent la pression, le toucher et la douleur. Ils n'ont pas de dendrites. L'axone unique émerge du corps cellulaire et se dirige dans deux directions opposées, une extrémité se dirigeant vers la peau, les articulations et les muscles, tandis que l'autre extrémité se propage en direction de la moelle épinière.

⁷³ **Les neurones sensoriels**, liés à nos sens.

Les interneurones, qui se trouvent essentiellement dans le cerveau, connectent un neurone à d'autres ; les axones longs des interneurones de projection relient des régions cérébrales lointaines ; les axones plus courts des interneurones locaux forment des circuits plus petits entre cellules voisines.

Les motoneurones, qui permettent essentiellement au corps humain de réagir, transfèrent le signal du cerveau aux muscles par le biais de la moelle épinière.

Les neurones sensoriels et moteurs sont des cellules de signalisation unidirectionnelles, tandis que les interneurones peuvent recevoir et transmettre les signaux.

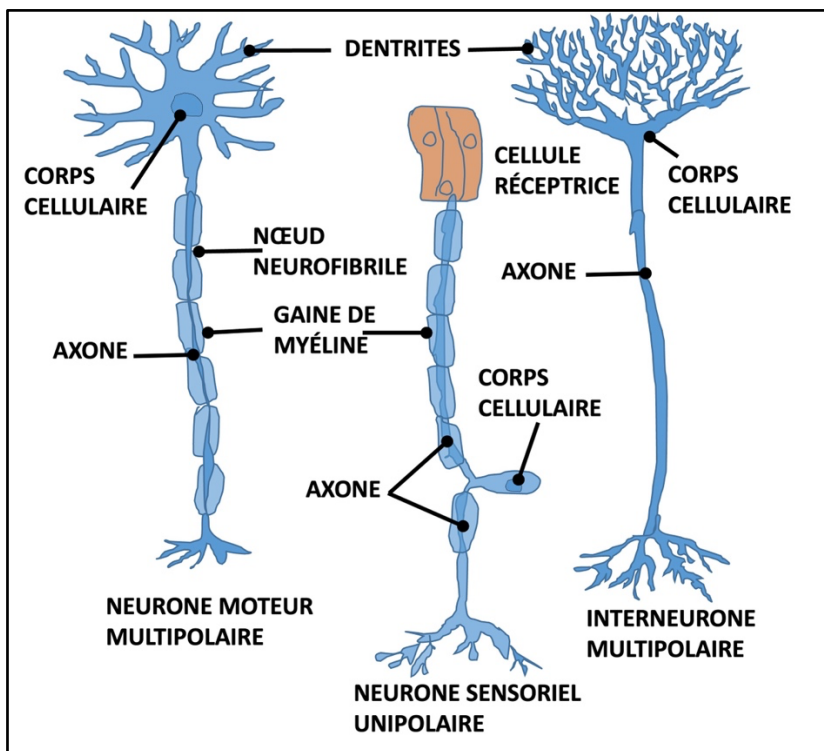


Figure 5 : descriptions des trois types de neurones principaux ; source auteur

- Selon vous, combien y a-t-il de neurones dans le cerveau humain ?

- Une étude a estimé qu'un cerveau humain moyen contient environ 86 milliards de neurones.⁷⁴ Ces résultats semblent sérieux parce qu'obtenus en dissolvant le cerveau de quatre cadavres et en comptant le nombre de noyaux des cellules nerveuses restantes.

- Monsieur, qu'est-ce qu'une synapse ?

- Proche de l'extrémité d'un neurone, l'axone se divise et forme des connexions avec plus de mille autres neurones. Toutefois, un petit écart subsiste entre les extrémités de deux neurones voisins connectés. Cet interstice appelé synapse, est inférieur au millième de millimètre.

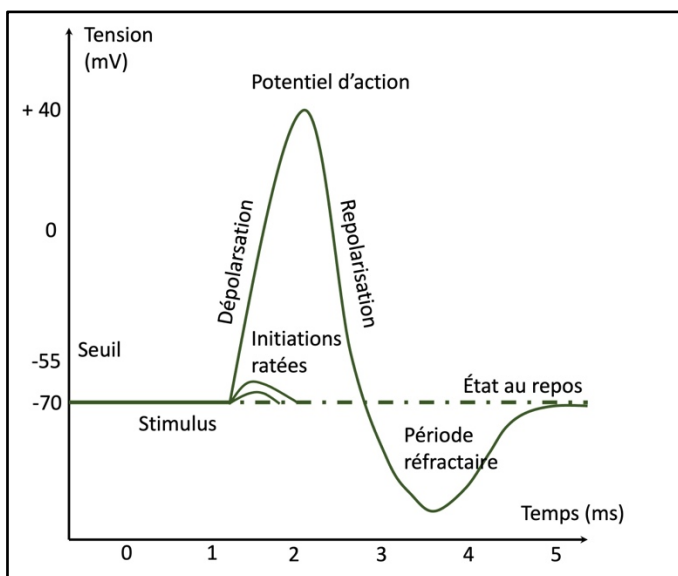
⁷⁴ S. Herculano-Houzel, «The remarkable, yet not extraordinary, human brain as a scaled-up primate brain and its associated cost,» 2012. [En ligne]. Available: http://www.pnas.org/content/109/Supplement_1/10661.full.

- Y a-t-il aussi différents types de synapses ?

- Il en existe une douzaine de types connus qui varient en fonction des produits chimiques et protéines utilisés pour les connexions neuronales, ou de leur absence de neurotransmetteur dans le cas des synapses électriques.

- Comment le signal est-il transmis dans les neurones ?

- Les neurones maintiennent un gradient électrochimique à travers leur membrane, en raison de différences de charge entre ions minéraux (c.à.d. : sodium, potassium, chlorure et calcium) localisés dans la cellule. Si ce gradient change de manière significative, suite à une modification de la concentration d'un de ces ions, un signal électrochimique, appelé potentiel d'action, est généré. Je t'envoie un graphique expliquant les phases d'un neurone, ainsi qu'une représentation simplifiée de ce signal représenté comme une pointe de tension traversant un neurone.⁷⁵



⁷⁵ En réponse à un signal neural, les canaux ioniques dépendants du sodium et du potassium s'ouvrent et se ferment lorsqu'une membrane atteint le seuil du potentiel d'action. Lorsque ce dernier débute, les canaux sodiques s'ouvrent et le sodium (Na^+) se déplace dans l'axone, provoquant une dépolarsation. La repolarisation se produit lorsque les canaux potassiques s'ouvrent et que le potassium (K^+) sort de l'axone, créant une différence de polarité entre l'extérieur et l'intérieur de la cellule. L'impulsion se déplace le long de l'axone vers son extrémité synaptique. Elle traverse l'interstice intra-cellulaire pour être absorbée par les dendrites des cellules connectées voisines.

Figure 6 : Vue des différents états neuronaux au cours des déclenchements des potentiels d'action. L'influx nerveux qui propage les signaux est comparable à de petites impulsions électriques ; source auteur

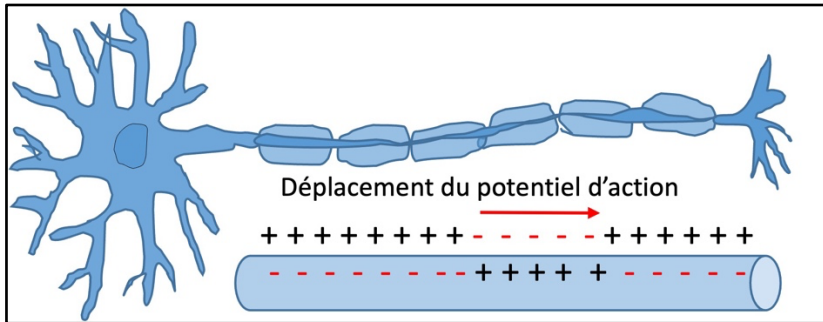


Figure 7 : Changement de polarité à travers la membrane, dû à un déplacement du potentiel d'action le long de l'axone ; source auteur

- *J'ai saisi le déplacement neural du potentiel d'action, mais que se passe-t-il au niveau des interstices ?*

- L'influx nerveux se déplace le long de l'axone, jusqu'à ce qu'il atteigne l'extrémité de la dendrite. Il traverse alors un interstice de 20 à 50 nm,⁷⁶ remplis de liquide, pour joindre le neurone voisin. Le signal passe par le biais de l'émission de neurotransmetteurs qui se lient aux récepteurs des cellules voisines. Là, ces molécules ouvrent ou ferment les canaux des neurones associés et un nouvel afflux d'ions crée un autre potentiel d'action.⁷⁷

- *Il se produit ainsi une transduction de potentiels électriques en chimiques et de retour en électriques, mais quels sont les bénéfices de cette transduction doubles ?*

- Exact ! La transduction chimique ajoute de la flexibilité, permettant des comportements plus complexes et de la plasticité. Cette plasticité neurale est importante pour les fonctions cognitives supérieures, telles que la mémoire et l'apprentissage comportemental. Je t'ai envoyé un dessin de

⁷⁶ Appelé fente synaptique.

⁷⁷ Le récepteur détermine si la réponse est excitatrice (c.à.d. : déclenche) ou inhibitrice (c.à.d. : bloque).

l'une de ces synapses et quelques informations supplémentaires sur les synapses électriques, qui sont peu nombreuses.⁷⁸

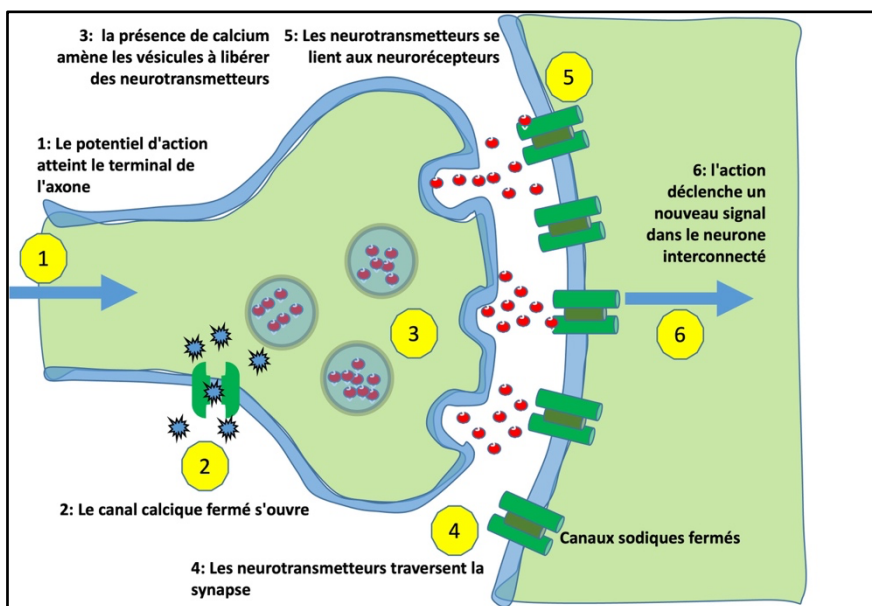


Figure 8 : Vue de la transduction synaptique ; source auteur

- Les neurones sont connectés via des synapses, mais que se passe-t-il ensuite ?

- Ce réseau de neurones interconnectés est ce qui constitue le système neuronal. Ce qui est essentiel à comprendre, c'est que l'augmentation de la fréquence des signaux circulant entre deux cellules voisines, génère des changements physiologiques. Par exemple, si des neurones sont stimulés ensemble quatre fois au cours d'une heure, leurs synapses se scinderont pour en former de nouvelles. Une fois ces connexions créées, ces liens deviennent très stables, pouvant durer toute une vie.

⁷⁸ **Les synapses électriques** sont rares. L'écart entre des neurones pré et post synaptiques est beaucoup plus petit (c.à.d. : 3,5 nm). Pour conduire le signal électrique, deux cellules connectées utilisent des jonctions intermédiaires, une structure constituée de nombreux canaux en cluster, permettant au signal de circuler dans les deux sens. Ces synapses transmettent plus rapidement le signal nerveux que les synapses chimiques, mais sont incapables d'amplifier ou de reproduire des comportements complexes. Des études récentes indiquent qu'elles jouent un rôle essentiel dans le pré-câblage du cerveau du fœtus, dans la réparation des neurones et dans les oscillations synchrones.

- *La transmission des données est-elle faite pour tout type de potentiel d'action ?*

- Non, elle n'arrive que si le signal reçu conjointement de plusieurs potentiels d'action dépasse un seuil critique. En d'autres termes, quasi comme dans le monde numérique, nos neurones ont une réponse binaire : soit l'apport électrochimique produit par plusieurs potentiels d'action est assez fort et ensuite passe à d'autres neurones, soit il ne l'est pas, et n'ira pas plus loin.

- *Ai-je tort de croire que les synapses jouent un rôle crucial dans le savoir ?*

- Non, tu as raison. Les synapses sont comparables à un microprocesseur avec, à la fois des éléments du stockage mémoriel et de traitement de données, plutôt qu'à un transistor constitué d'un simple commutateur 'ouvert' et 'fermé'. En fait, une synapse dispose d'environ un millier de commutateurs à l'échelle moléculaire.⁷⁹ »



Comment l'entrée sensorielle devient information ?

« Monsieur, vous venez de montrer comment certains neurones spécifiques transforment les excitations sensorielles en données qui sont ensuite transportées via le système neural aux bonnes parties de cerveau pour être fusionnées et traitées. Pourriez-vous décrire ce processus qui transforme des données en information ?

- Je dois tout d'abord t'expliquer comment les liens entre les données, transduites depuis les stimuli, sont créés pour former l'information.

- *Est-ce compliqué ?*

- D'abord, as-tu bien compris que les systèmes neuronaux ne sont pas fixes, mais se modifient avec le temps ? De plus et contrairement à ton ordinateur embarqué, il n'y a pas d'entrées adressables abstraites dans le

⁷⁹ Chaque neurone peut se connecter avec 1 000 à 10 000 autres neurones, via des synapses dotées de 1 000 commutateurs moléculaires. Ainsi, les cerveaux possèdent entre 86 et 860 trillions de liaisons synaptiques, ce qui équivaut à un ordinateur doté d'un processeur de 0,86 trillion de bit / s.

cerveau. Par conséquent, d'autres mécanismes sont nécessaires pour localiser la source d'entrées des stimuli, afin d'effectuer ces liens.

- *Je ne comprends pas où vous voulez en venir.*

- Eh bien, sans câblage fixe permanent, il est impossible de relier les sources d'entrée et de sortie, de manière fiable. Comme notre cerveau ne sait pas systématiquement qu'un intrant provient d'une cellule spécifique et de nulle part ailleurs, il n'y a pas de corrélations entre une entrée et sa sortie, contrairement aux PC industriels.

- *En sorte, comme on ne peut joindre physiquement les deux bouts du conduit, il doit y avoir une solution alternative logique pour localiser ces liens.*

- Effectivement, le système neural utilise les pointes de tension elles-mêmes, comme outil de transport des données et de localisation de la source des excitations sensorielles pour établir leur interrelation.

- *Il utilise une sorte de code Morse pour ce transport des données ?*

- Ton image est assez bonne. Les neurones utilisent des changements de vitesse de déclenchement, d'amplitude ou de forme pour transporter l'information. Par exemple, les neurones sensoriels modifient leurs activités en déclenchant des séquences de potentiels d'action dans divers motifs temporels, variant en fonction des propriétés d'entrée (p. ex. : plus ou moins de lumière). En outre, ces pointes peuvent contenir des données supplémentaires basées sur les propriétés de codage neuronal.

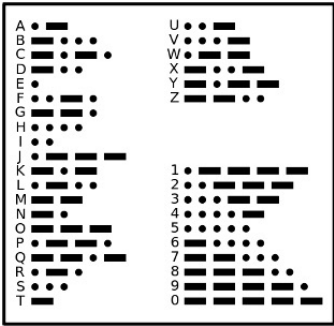


Figure 9 : Le code Morse international ⁸⁰ ; source auteur

⁸⁰ Les règles du code Morse sont les suivantes : un tiret vaut 3 points ; un espace entre deux éléments d'une lettre équivaut à un point ; l'espacement entre deux lettres est égal à 3 points ; l'espacement entre deux mots est égal à 7 points.

- *Monsieur, j'ai noté différents types de codage. Sont-ils similaires à ce que les programmeurs utilisent pour contrôler mes propres transistors ?*

- Oui et non. Je vais d'abord te décrire les quatre techniques de codage du cerveau et reviendrai à ta question.

- Le taux de codage (rate code) décrit les fluctuations de la fréquence des pointes neurales produites.⁸¹
- Le codage temporel (temporal coding) décrit un code basé sur les relations temporelles, formulées dans la réponse neuronale.⁸²
- Le codage populationnel (population coding) associe les schémas de déclenchement de divers neurones provenant du même stimulus.⁸³
- Le codage épars (sparse coding) est assez similaire au codage populationnel, dans la mesure où il analyse les modes de déclenchement de plusieurs neurones. Toutefois, plutôt que de regarder comment ces déclenchements fonctionnent ensemble, il se concentre sur la forte activation d'un petit nombre de neurones lors de la réaction à des stimuli spécifiques.⁸⁴

- *Cela ressemble énormément à mes propres modes de codage.*

- J'aime ton exemple du code Morse car il montre clairement que grâce à des règles simples, une succession de signaux de longueurs différentes suivis de silences peuvent transmettre des données, transformables en information. Le système neural humain s'appuie sur ces mêmes astuces

⁸¹ L'intensité d'un stimulus augmentent en même temps que la fréquence des potentiels d'action. La fluctuation rapide du taux de déclenchement de ces pointes neurales porte elle-même des informations. C'est ainsi que les données ne sont pas simplement codées dans ces potentiels, mais également dans le moment et la durée des périodes de repos.

⁸² Ils sont dus à une synchronisation de la réponse ou à une séquence temporelle de la réponse par rapport à une oscillation, soit à une synchronisation des neurones les uns par rapport aux autres, au sein d'une population. La synchronisation précise des potentiels d'action est un élément important du codage neuronal.

⁸³ Ce type de codage peut être trouvé dans les zones sensorielles et motrices du cerveau. Par exemple, dans la zone visuelle médiale temporelle (MT), les neurones se règlent sur la direction du déplacement. En réponse à un objet se déplaçant dans une direction particulière, de nombreux neurones dans la MT s'activent. Si chaque neurone, avec sa propre cadence de déclenchement spécifique, représente un mouvement dans sa direction préférée, et la somme vectorielle calculée de tous les neurones pointe dans la direction du mouvement, alors le signal de mouvement est codé.

⁸⁴ En d'autres termes, il associe des récompenses et sanctions à un stimulus environnemental spécifique, en faisant la distinction entre ceux qui sont renforcés et ceux qui sont similaires, mais non pertinents. L'adaptation environnementale est en jeu, poussant le cerveau humain à associer des souvenirs à des excitations sensorielles spécifiques. Ceci est obtenu via le codage de quelques neurones (sur une population plus large), pour ne réagir qu'à quelques stimuli (à partir d'un afflux important).

physiologiques : la fréquence, l'amplitude, la forme, la longueur et le timing du signal, y compris pour les périodes de silence.

- *Cela signifie-t-il que nous pouvons réduire la génération d'information chez l'homme à des points et tirets qui traversent le système neuronal, comme des bits pour les machines ?*

- Pas seulement. Imagine plutôt, une partition jouée par tous les instruments d'un orchestre. En effet, il n'y a pas qu'un seul signal comme dans les télégrammes, mais des millions qui sont transmis simultanément par notre système neuronal. D'ailleurs, c'est là que le codage populationnel ou éparé entre en jeu et relie ensemble différentes entrées sensorielles. Les techniques d'apprentissage profond (deep-learning) que j'expliquerai plus tard, peuvent faire aussi appel à ce type de codage. En sus, il y a le problème du stockage de données, où les neurones n'emmagasinent pas l'information sous forme de points et de tirets ou de bits dans ton cas, mais à travers certaines propriétés électrochimiques.

- *A-t-on trouvé la clé de cryptage neural humain ?*

- Ta question est intéressante. En déchiffrant l'équivalent du code Morse ou les notes d'une partition orchestrale il serait possible de reconstituer l'équivalence d'un mot ou même d'une image ou phrase complète qui nous vient à l'esprit. On n'est pas loin de ce jour, où l'on scannerait le cerveau et interpréterait le signal via de l'IA.

- *Monsieur, je vous envoie l'image décodée par l'IA, obtenue à partir d'une magnétoencéphalographie de volontaires.*



Photo 1 : Image décodée par l'IA (à droite) obtenue à partir des activités cérébrales de volontaires visualisant celle d'un cheval (à gauche) ; source Méta.

- Ces technologies reposent sur le principe que tout processus humain possède une ‘corrélation neurale’ et que les pensées ou sentiments sont simplement un modèle complexe de réactions chimiques. Il suffit de construire des scanners très précis avec le logiciel capable de déchiffrer ces réactions chimiques ou la propagation d’ondes, et on sera en mesure de décoder les images ou sons par résonnance magnétique. Ces recherches confirment mon point de vue sur la mémoire, à savoir que les scanners ne peuvent capter que des processus de pensée actifs, et non des souvenirs déjà stockés.

- Il y a encore quelque chose que je ne comprends pas. Même avec toutes ces techniques potentielles de codage, comment le cerveau identifie-t-il différentes sensations pour créer une expérience perceptuelle unique, essentielle pour transformer les données en information ?

« Bien que le cerveau subdivise le traitement perceptuel en modalités (p. ex. : les sens de la vision ou du goût) et sous-modalités (p. ex. : couleur ou aigreur), la perception elle-même, est unifiée en une seule expérience. Ainsi, comme tu l’as dit, il faut un processus de connexion des données dans notre tête, qui relie les différentes entrées sensorielles. En neuroscience, il y a une règle importante appelée ‘hébienne’. Celle-ci décrit comment les cellules qui se déclenchent ensemble, se connectent entre-elles. Ce processus unificateur doit nécessairement se produire à travers les interconnexions neurales, pour qu’un objet spécifique soit reconnu. Cependant il faut un autre mécanisme pour créer cette expérience unique.

- J’ai beau regardé sur internet, je ne vois pas quoi ?

- La loi hébbienne seule, ne peut rendre compte de la superposition d’objets à reconnaître (p. ex. : les arbres dans une forêt). Si l’on considère ce problème de superposition, la connexion doit provenir de la synchronisation de ces divers réseaux de neurones, câblés indépendamment.⁸⁵

- Comment résoudre ce problème ?

- Francis Crick et Christof Koch ont proposé une théorie qui intègre ces exigences.⁸⁶ Si deux neurones, quelque part dans le cortex humain, oscillent de manière synchrone dans le spectre des ondes gamma, ils

⁸⁵ Plusieurs neurones communiquant entre eux produisent des ondes cérébrales, qui sont la représentation physique d’impulsions électriques synchronisées.

⁸⁶ F. Crick et C. Koch, ‘Neuronal assemblies and synchronization of brain activity’, 2003.

contribuent à une même représentation consciente.⁸⁷ S'ils oscillent hors de ce spectre, ils contribuent alors à une même représentation inconsciente. Si deux neurones sont actifs, mais n'oscillent pas en synchronisme, ils ne participent pas à la même représentation.

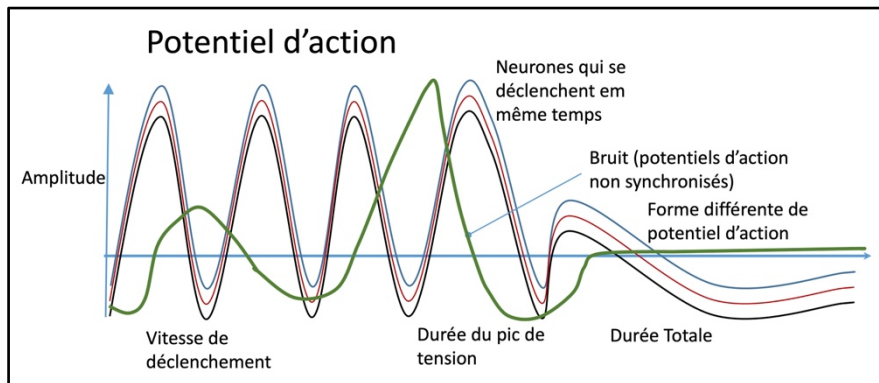


Figure 10 : Description d'un potentiel d'action ; source auteur

- *Ce que vous devez encore m'expliquer, c'est comment ce processus de liaison cognitive délimite les catégories d'événements simultanés et successifs ?*

- Dans l'hippocampe, il existe des neurones spécialisés appelés 'cellules de localisation' qui, outre un rôle spatial, se comportent dans des conditions spécifiques, en tant que 'cellules temporelles'. Lors de leur activation, ces neurones peuvent indiquer des moments successifs dans le temps.⁸⁸ En mars 2019, une autre étude a montré le rôle clé de neurones appelés 'cellules du temps' qui s'activent durant le passage entre deux événements différents. Enfin, il existe des neurones spéciaux, appelés cellules frontières (Boundary cells), qui saisissent les limites de notre environnement, telles que l'emplacement des murs. Des études montrent que l'activité de ces cellules n'est pas impliquée uniquement pour tenir compte de ces limites de l'espace physique, mais aussi lors de la création

⁸⁷ Une des différentes ondes cérébrales, qui oscille spécifiquement autour de 40 Hz.

⁸⁸ « Comme les rats, votre cerveau peut contenir des 'cellules temporelles' qui aident à former des souvenirs à long terme : comment le cerveau représente le temps lors du traitement des souvenirs à long terme. » extrait de The Brain Maps Out Ideas and Memories Like Spaces, magazine quanta, 04/01/2019, J. Cepelwicz). ScienceDaily.

de limites entre événements distincts, au cours d'une séquence temporelle.

- *Pourriez-vous me dire ce qu'apporte toutes ces cellules spécialisées ?*

- Elles permettent la synchronisation des données provenant de différents sens, émotions et pensées. Elles forment 'la colle'. Grâce à ce processus de connexion, les données deviennent des informations qui, comme déjà expliqué, sont à la base de la connaissance. »

Je me sens épuisé et un peu déprimé à l'idée qu'un jour, à travers le scanning du cerveau, nous seront capables de lire dans les pensées. Je décide alors qu'il est temps d'arrêter notre conversation. J'ai besoin d'une pause.



Le cerveau est-il précâblé ?

La voiture respecta mon silence pendant quelques jours, puis revint à la charge avec une question surprenante.

« *Monsieur, le cerveau humain est-il câblé comme ma carte mère ?*

- Euh... Oui et non. Par exemple, un stimulus visuel se déplace jusqu'au cerveau via le nerf optique, se croisant au niveau du chiasma optique, où le signal des deux yeux est fusionné, avant d'atteindre le cortex visuel. Ainsi, si on ne regarde que cette partie du circuit cérébral, il semblerait que le précâblage soit une caractéristique dominante chez l'être humain.

- *Alors, la réponse est oui ?*

- Le message passe ensuite par plusieurs organes (thalamus, cortex visuel, etc.), de façon anarchique.

- *Vous décrivez les circuits au niveau macro. Cependant, ne doit-on pas considérer ce qui se passe lorsque les neurones forment un réseau de connexions ?*

- Tu as raison. Bien que ces conduits soient héréditaires, l'on doit observer si les 'fibres' qui les composent, sont également préfixées.⁸⁹

⁸⁹ Ils peuvent encore disparaître pendant l'enfance, si aucune voie neurale ne se crée, ou bien être réaffectés en cas d'accident.

- *Si je vous ai bien compris, votre préoccupation au sujet des réseaux neuronaux est de savoir si au niveau macro, les influx nerveux suivent systématiquement les mêmes conduits et connexions filaires ?*

- Oui, pour utiliser une analogie avec internet, un réseau de neurones suit - il la même fibre optique dans une gaine de câble continue ou existe-t-il plusieurs divisions et routeurs utilisés pour retransmettre ces données ?

- *Pourriez-vous d'abord répondre si le système neural est précâblé ?*

- Le cerveau d'un nouveau-né possède des connexions intégrées pour assurer les fonctions de base de la vie, comme téter ou pleurer. Ces capacités sont innées, car la morphologie du cerveau est précâblée au niveau macro. Sur le plan micro, il existe suffisamment de voies neurales pour permettre au nourrisson de survivre grâce à son instinct de base. De surcroît, on naît avec beaucoup d'autres voies qui n'attendent que leur mise en œuvre.

- *Comment ces voies s'organisent-elles ?*

- Elles se produisent via l'expérience de la vie. Par exemple, des itinéraires neuronaux pour apprendre à parler sont disponibles et peuvent se matérialiser si, et seulement si, le nourrisson est soumis à une expérience linguistique.

- *Que se passe-t-il quand ils grandissent ?*

- Au fur et à mesure de leur croissance, les voies neuronales innées essentielles à la survie des premiers mois sont complétées par de nouvelles voies résultant de leur vie quotidienne. En d'autres termes, la structure physique du cerveau évolue en fonction de l'expérience d'apprentissages nouveaux. Les connaissances acquises créent un grand nombre de cheminements additionnels. Au cours de leur vie, les enfants vont reformater leurs connexions existantes au gré de leur expérience acquise.

- *Que se passe-t-il si une connexion disponible n'est pas activée ?*

- Les circuits synaptiques inutilisés sont éliminés.

- *Vous dites que grâce à des millions d'années d'évolution, une partie des routes neuronales est précâblée, mais que le cerveau a acquis la capacité de développer de nouveaux circuits synaptiques, façonnés par l'expérience d'apprentissages nouveaux ?*

- Exactement ! Les conduits de ces circuits sont précâblés, mais ne fonctionneront que si nous mettons en œuvre la capacité fonctionnelle (p. ex. : la parole) associée aux voies inutilisées. De plus, les voies neuronales

peuvent changer avec le temps et se reconfigurer physiologiquement, en créant de nouvelles connexions synaptiques. En d'autres termes, si j'utilise une métaphore informatique, le côté héréditaire du cerveau est précâblé, ce qui lui permet de 'démarrer et d'exécuter ses tâches'. Son côté environnemental, à la différence des circuits d'un ordinateur, a acquis la souplesse nécessaire pour évoluer dans le temps, pour tenir compte d'influences extérieures et des expériences de la vie.

- *Comment les circuits du cerveau sont-ils recâblés ?*

- La meilleure façon de décrire ce câblage est d'expliquer le concept de plasticité cérébrale et la règle de Hebb. Cette plasticité exprime comment les voies neuronales, souvent déclenchées par un stimulus externe similaire, se renforcent.⁹⁰ Lorsqu'exposé à une condition environnementale particulière nécessitant une réponse réfléchie, le circuit neuronal impliqué dans une telle réponse, s'active. Quand un événement similaire se reproduit, une réponse identique est le plus souvent donnée, mais avec une rapidité et efficacité accrue.

- *Que se passe-t-il au niveau neural ?*

- Les synapses couramment utilisées se développent et les neurones qui fonctionnent conjointement survivent ensemble. Au contraire, les neurones et synapses désœuvrés meurent. De plus, les réseaux de neurones évoluent en raison, par exemple, de la mort de neurones et de changements de connexion, conformément au principe de Hebb.

- *Pourriez-vous me détailler cette règle hébbienne ?*

- Ce principe décrit non seulement les neurones qui s'activent ensemble, et qui se faisant, transforment leurs connexions en un circuit plus probable que tout autre. En fait, ces connexions acquièrent une sorte d'hégémonie qui implique une modification structurelle du cerveau. Pour conclure sur ce sujet, permets-moi de souligner une observation importante sur la neuroplasticité. L'un de ses principes sous-jacents est que les neurones qui collaborent, prospèrent et que ceux qui ne le font pas, meurent. Ainsi, encore une fois, la loi de Darwin joue un rôle clé. C'est cette propriété que Daniel Dennett utilise dans sa théorie du neurone égoïste. »

⁹⁰ La plasticité cérébrale implique que :

- La force des connexions synaptiques varie.
- La génération ou la libération d'hormones et de neurotransmetteurs évolue.
- Les réseaux de neurones et cellules désœuvrés sont éliminés.
- De nouveaux systèmes neuronaux peuvent se développer.
- Le cerveau génère de nouveaux neurones.

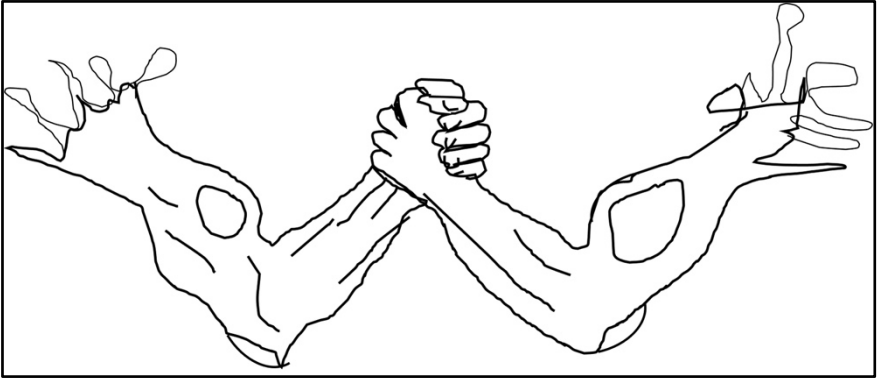


Figure 11 : Les neurones qui s'activent ensemble, se connectent et gagnent en hégémonie, selon la règle hébbienne ; source auteur



Comment l'information se transforme-t-elle en connaissance ?

« Monsieur, quels sont les processus permettant de transformer, disons, l'information visuelle en connaissance ?

- De manière simpliste,⁹¹ un stimulus provenant de l'environnement ou directement du cerveau, attire l'attention. C'est parce que ce stimulus a une structure différente de ce que l'on a anticipé, que l'on en devient conscient. Les nouvelles théories des sciences cognitives décrivent comment le cerveau écoute les stimuli anormaux, par rapport à ses propres prédictions.

- Monsieur, allez-vous maintenant présenter ces nouveaux concepts ?

- Non, mais pour ne pas les introduire, je dois te présenter une vision classique de la perception, qui n'est que partiellement juste. Ainsi, je dirais

⁹¹ **Cheminement d'un stimulus visuel** : Un signal se déplace des cellules coniques ou bâtonnets vers au moins trois cellules bipolaires déjà connectées aux cellules ganglionnaires de la rétine. Toutes ces cellules sont alors reliées à d'autres neurones, fournissant un réseau complexe de voies inhibitrices et excitatrices. En conséquence, les signaux provenant des quelque 6 millions de cônes et 125 millions de bâtonnets de la rétine humaine sont traités et acheminés vers le cortex visuel par environ un million de fibres nerveuses optiques. Les fibres neurales de chaque œil se croisent au niveau du chiasma optique, où le signal optique des deux yeux est mis en corrélation. De là, il se rend au thalamus, où les signaux sont distribués aux deux cortex visuels. Ce n'est que dans les couches supérieures du cortex que les informations des deux yeux sont fusionnées et qu'une vision tridimensionnelle se forme.

simplement que l'on traite les données sensorielles transduites pour comprendre ce qu'elles sont et pour ensuite créer une perception de l'événement, que la MCT (Mémoire à Court Terme) stocke. L'esprit les compare ensuite aux informations récupérées de la MLT (Mémoire à Long Terme). Selon que le cerveau juge ces données pertinentes ou non, elles sont supprimées, ou bien stockées dans la MLT.

- *Quel rôle joue l'attention dans la sélection évolutive des espèces ?*

- Dans l'environnement, on reçoit des milliers de stimuli. Les mécanismes de l'attention permettent l'identification des entrées sensorielles importantes et le rejet des distractions internes et externes. Afin de prendre une décision, ils inhibent des réponses alternatives potentielles, en sélectionnant de traiter seulement quelques-unes de ces entrées sensorielles.

- *Monsieur, comment filtrez-vous les données et quelles parties du cerveau sont alors impliquées ?*

- L'attention est le processus par lequel les informations sont collectées, filtrées et sélectionnées pour être ensuite transmises aux unités de traitement. Le thalamus joue un rôle important dans ce processus attentionnel en tant que contrôleur d'accès, décidant quelles informations bloquer ou retransmettre vers d'autres zones du cerveau. De nombreuses autres parties du cerveau jouent un rôle essentiel dans la synchronisation sensorielle.⁹²

- *Vous décrivez ce processus au niveau macro, mais comment les neurones filtrent-ils les données ? J'ai compris qu'un neurone reçoit des milliers d'entrées de ses dendrites, mais un seul message sera transmis en aval. Alors, comment ce neurone écoute-t-il certaines de ses entrées et pas les autres, à un instant donné ?*

- La réponse réside dans la fonction de traitement temporel du cerveau. Les neurones n'additionnent pas leurs milliers d'entrées, mais sont influencés par le timing de ces dernières. Si deux ou plusieurs neurones s'activent simultanément en amont d'un autre neurone dans le circuit, il est plus probable que l'information sera retransmise par ce dernier plus loin dans le réseau.

⁹² Telles que le cortex auditif, le cortex préfrontal, le cortex préfrontal médial, l'hippocampe, l'amygdale, etc.

- *Qu'arrive-t-il au neurone en aval, recevant des signaux non corrélés dans le temps ?*

- Il les perçoit en tant que bruit. Ainsi, le cerveau écoute la synchronisation du déclenchement des neurones en amont. Plus la synchronie est prononcée, plus l'attention sera forte et la réaction rapide.

- *Monsieur, qu'est-ce qui contrôle l'attention humaine ?*

- Filtrer des millions d'entrées sensorielles implique évidemment le risque de manquer des informations vitales, situées hors de la zone observée.⁹³ Une partie du cortex situé dans le lobe frontal surveille ce qui se passe en dehors de la zone de focus. Il simule des stratégies alternatives en arrière-plan de notre pensée susceptible de porter notre attention ailleurs, en fonction de meilleures alternatives.

- *Et qu'est-ce qui la déclenche ?*

- Ça dépend. Chaque personne aura sa propre réponse à cette question. Certains seront attirés par les résultats du football, tandis que d'autres pourront se concentrer sur la politique ou la poésie. Plusieurs facteurs, tels que l'expérience personnelle, le sexe, la culture, l'éducation, la disponibilité de l'esprit, la curiosité, etc., expliqueront ces différences.

- *Les émotions influencent-elles également l'attention ?*

- Bien qu'on ne réagisse pas tous aux mêmes entrées sensorielles, on accorde toujours plus d'attention lorsque des émotions sont impliquées. En fait, les éléments émotionnels impliqués dans un événement sont traités par une voie inconsciente dans le cerveau, qui conduit à deux petites parties, à l'intérieur du lobe temporal, appelées les amygdales cérébelleuses.⁹⁴

- *Vous parlez principalement de centres d'intérêts différents que des individus peuvent avoir et des émotions qu'ils leur associent. Cependant,*

⁹³ Les neurones de la parvalbumine jouent un rôle essentiel dans le processus attentionnel. Des recherches récentes montrent que l'optimisation de ces cellules attire davantage l'attention. (H. Kim, S. Åhrlund-Richter, K. X. Wang and M. Carlén, "Prefrontal Parvalbumin Neurons in Control of Attention," 14 1 2016.). On pense également qu'elles donnent naissance à des ondes gamma (c.à.d. : fréquence cérébrale comprise entre 25 et 100 Hz).

⁹⁴ Chaque amygdale cérébelleuse joue un rôle spécifique dans la façon dont les humains perçoivent et traitent les émotions. L'amygdale droite traite des émotions négatives, en particulier de la peur et de la tristesse. Celle de gauche traite des émotions agréables ou désagréables et participe également au système de récompense du cerveau. Bien que leur système de mémoire soit indépendant, elles travaillent ensemble pour stocker, encoder et interpréter les émotions.

même quand ils entendent ou voient quelque chose qui a trait à leur sujet de prédilection, n'y aurait-il pas encore d'autres éléments qui puissent attirer leur attention ?

- Une étude montre que le cerveau est câblé pour porter son attention sur les expériences nouvelles ou inhabituelles.⁹⁵ Il compare les expériences nouvelles à celles existantes dans la MLT. Si le cerveau découvre une expérience similaire, les nouvelles informations seront rapidement éliminées. Lorsqu'au contraire, ces données contredisent les informations stockées, il tente d'expliquer les divergences. S'il en conclut que de telles données sont utiles, il les stocke dans la MLT.⁹⁶ »



Qu'est-ce que la perception ?

« Monsieur, quelle est la différence entre attention et perception ?

- La perception est le processus par lequel une entrée sensorielle provenant de l'environnement est reconnue, interprétée et prise en compte. Ça commence généralement par le processus attentionnel, un moment dans lequel on devient conscient d'un stimulus. Cependant, tu dois toujours te rappeler que la perception sans prise de conscience est possible.

- Que se passe-t-il dans ce cas ?

- La perception d'un stimulus sensoriel a lieu hors du champ d'attention et passe inaperçue. Bien que l'on ne se souvienne pas du stimuli, il a quand

⁹⁵ N. W. Schuck, R. Gaschler, D. Wenke, J. Heinzle, P. A. Frensch, J. D. Haynes et C. Reverberi, 'Shifts, Medial Prefrontal Cortex Predicts Internally Driven Strategy', 2015.

⁹⁶ Le modèle 'Prévision-Mémoire' décrit la raison pour laquelle un cerveau utilise des séquences mémorisées de pattern et explique comment le néocortex joue un rôle fondamental dans la transformation de l'information en connaissance. Par exemple, Hawkins affirme que le cortex fait continuellement des prédictions sur tout ce qui nous entoure, sur la base d'une séquence de tendances mémorisées. En conséquence, les humains n'ont jamais réellement conscience de faire ces prédictions à moins que l'une d'entre elles échoue. C'est alors qu'ils réalisent que quelque chose ne va pas, captant leur attention. En conclusion, avec ce modèle, on comprend facilement pourquoi soudainement quelque chose déclenche l'attention. Toute déviation d'entrée sensorielle par rapport à une vision attendue du monde, ou en d'autres termes, la prédiction de comment devraient être les choses, attire l'attention.

même la capacité d'influencer le processus de la pensée et les comportements.

- *De quoi est suivi le processus attentionnel ?*

- Par le processus cérébral consistant à catégoriser et à interpréter ce que l'on a vécu. En classant les objets dans des catégories significatives, on arrive à comprendre et interagir avec le monde.

- *Pourriez-vous, s'il vous plaît, expliciter sur ce processus ?*

- Bien sûr ! Un modèle cognitif nommé 'Mémoire - Prédiction',⁹⁷ suggère que les patterns sont à la base de cette prédiction. Quoi que je fasse, mon cerveau vérifie toujours si un nouvel ensemble de tendances reçues via mes sens, sont compatibles avec d'autres déjà expérimentées.

- *Pouvez-vous me donner un exemple ?*

- Alors que je suis assis dans cette voiture, je m'attends à être dans un environnement calme, regardant par la fenêtre et appréciant à la fois cette conversation et la vue. Ce que je constate tout d'abord, c'est qu'il y a de nombreuses entrées sensorielles que je ne remarque pas si je ne me mets pas à y penser volontairement.

- *Monsieur, qu'est-ce que vous ignorez ?*

- Par exemple, je ne sens ni mes jambes ni mes pieds, car ils sont là où ils devraient être et je me sens confortable dans mon siège. Je peux me concentrer sur ce que je veux discuter car j'ai déjà appris à espérer que tous les schémas ci-dessus se produiront, selon une séquence prévisible. Disons que tout à coup, je vois une dame se précipiter hors de la voiture voisine juste au coucher du soleil quand tout semble rougeâtre.

- *Je suis curieux. La peau de la dame devient rouge ?*

- Oui, mais mon modèle du monde a déjà intégré que, même si la plupart du temps les caucasiens devraient avoir une teinte de peau claire, au coucher de soleil, l'angle de cet astre modifie ma perception des couleurs. Ce n'est pas que soudainement à ce moment-là, tous les caucasiens attrapent un coup de soleil, mais plutôt que l'énergie réfléchie sur leur peau, change.

- *Ce phénomène ne remettra donc pas en question votre modèle du monde, alors qu'est-ce qui vous déroute ?*

⁹⁷ J. Hawkins et Blakeslee S. contributor, On Intelligence, Paperback, 1/8/2005.

- Basé sur mon expérience de n'avoir jamais vu personne courir sur l'autoroute, je serais convaincu que ce geste est forcément dangereux.

- En d'autres termes, votre préoccupation ne viendra pas du fait qu'elle semble être brûlée par le soleil, mais sera plutôt fonction du risque qu'elle encourt sur l'autoroute. Toutefois, je ne comprends toujours pas ce que je devrais déduire de votre exemple.

- Il montre, à mon avis, que la connaissance du monde repose sur un modèle intégrant une séquence de tendances influencées par le temps (p. ex. : le reflet sur la peau de la dame des couleurs blanche durant le jour, rougeâtre au coucher de soleil et sombre la nuit). Ma certitude à propos du monde repose sur la cohérence des modèles spatiotemporels observés et sur la façon dont je les interprète.

- Monsieur, cela signifie-t-il que la perception directe n'existe pas ?

- Oui, et cela explique pourquoi je n'ai aucun mécanisme biologique pour mesurer précisément l'intensité et la longueur d'onde de l'énergie qui, par exemple, se reflète sur la peau. Au lieu de cela, j'utilise le processus de perception de mon cerveau pour interpréter et catégoriser cette énergie en fonction de la luminosité et des couleurs.

- Toutefois, si la perception des couleurs de peau change durant le jour, cela ne signifie-t-il pas que le monde observé est une illusion ?

- Non. Je crois que tu as déjà oublié mes informations philosophiques sur Kant. Bien que le monde ne puisse être perçu directement, il existe sous une forme absolue, assez proche de ce que les sens humains captent. À l'avenir, je te détaillerai comment les entrées sensorielles sont traitées dans le cortex conformément à certaines règles (p. ex. : les catégories et schémas de Kant), afin de créer des représentations invariables du monde, associables aux croyances.

- Monsieur, à quoi servent ces représentations invariables et où sont-elles stockées ?

- Le cerveau vérifie la réalité perçue contre cette forme stable, stockée dans le système neuronal, via la mémoire. Par conséquent, la perception humaine de la réalité est intimement liée à cette vérification constante effectuée par le biais des prédictions.⁹⁸ »

⁹⁸ La beauté du modèle Prévision - Mémoire réside dans le fait qu'il soit cohérent avec plusieurs points de vue, et explique pourquoi la perception existe en premier lieu. Les psychologues de l'évolution pensent que la perception vise à diriger l'action (p. ex. : en



Comment encode-t-on les informations sensorielles ?

« Monsieur, j'aimerais revenir à la discussion que nous avons initialement sur le codage. Les formes, les amplitudes, la fréquence et la synchronisation des pointes de tension - ce que j'ai appelé les points et les tirets du système neuronal - doivent être codés d'une manière ou d'une autre. Comment est-ce fait ?

- En fait, pour ta gouverne on n'utilise pas le mot 'codage', mais 'encodage' pour décrire le processus humain par lequel un élément attirant l'attention est converti en une structure stockable dans les mémoires à court et long terme. C'est le processus psychologique par lequel on transforme l'information en signification et donc en connaissance. Par exemple, un mot vu dans un livre sera transformé (c.à.d. : encodé) en un son ou une signification pour le stockage en mémoire.

- Quel est le processus d'encodage de vos sens ?

- Bien que chacun de nos sens ait son propre processus, nous disposons de trois méthodes principales pour encoder l'information : visuelle, acoustique et sémantique.

- Comment ce processus se rattache-t-il aux mémoires à court et long termes ?

- Il se passe en fait, auparavant dans une sorte de mémoire à très court terme, appelée mémoire tampon. Lorsque l'on perçoit l'environnement, on obtient d'abord une photo instantanée ou un son qui attire l'attention.⁹⁹

aidant les humains à se déplacer dans l'espace). En percevant les pièges potentiels de l'environnement, on peut prédire le meilleur moyen d'aller de l'avant, en le comparant à d'éventuelles séquences spatio-temporelles mémorisées. Au contraire, certains philosophes (p. ex. : Fodor) soutiennent que l'objectif de la perception est d'aider à rassembler des connaissances. Ce modèle est également conforme à ce point de vue, car les processus d'interprétation et de catégorisation nous permettent de confronter la réalité à nos convictions. Si nos prévisions échouent, nous devons revoir notre modèle et créer de nouvelles croyances qui font intrinsèquement partie des connaissances.

⁹⁹ Ces représentations extrêmement courtes d'un événement sont stockées dans cette mémoire tampon sensorielle, qui agit comme un système d'enregistrements brefs, préservant les tendances sensorielles, avant qu'elles n'attirent l'attention. Les mémoires iconiques (c.à.d. : visuelles) et échogènes (c.à.d. : sonores) sont deux exemples de ces

- *Quelles sont les différentes options d'encodage ?*

- L'encodage visuel est le processus par lequel les images et autres entrées sensorielles visuelles telles que le mouvement, sont stockées. Cette mémoire iconique stocke temporairement les données avant leur encodage dans la MCT et puis la MLT. Elle maximise les informations utiles disponibles dans le système visuel, en préservant les informations entre deux fixations de yeux. L'encodage visuel est effectué par différentes parties du cerveau, en fonction de la nature de la saisie visuelle.¹⁰⁰

- *Votre programme interne associe les encodages tactile, acoustique et gustatif à l'encodage de leur sens respectif.*

- Évidemment. Le codage tactile concerne le sens du toucher. L'encodage acoustique est le processus par lequel on enregistre des sons, des mots ou du bruit. Il repose sur le concept de boucle phonologique, qui consiste en un bref stockage des entrées principalement verbales, ainsi qu'à un mécanisme de répétition aidant à mémoriser les choses. La mémoire échoïque, liée à l'ouïe, ne contient que des motifs sonores superficiels (p. ex. : la hauteur du son, le tempo et le rythme). L'encodage des odeurs lie le stimulus provenant de la muqueuse olfactive, située dans le nez, au bulbe olfactif.

- *Je découvre sur le Web que le goût et l'odeur sont assez proches en termes de propriétés.*

- Oui, en fait, ces deux sens ne se sont différenciés que lorsque les créatures marines sont devenues terrestres.

- *Monsieur, comment sont-ils structurés ?*

- Si je prends l'odorat, il est organisé en fonction d'un groupe d'odeurs partageant les mêmes caractéristiques chimiques, qui provoquent le même type de schémas de déclenchement neuronal.

mémoires tampons. Bien que ces dernières soient des systèmes sensoriels, elles font également partie du processus de mémorisation car elles préservent les données après la disparition du stimulus externe.

¹⁰⁰ Par exemple, le codage d'une image floue activera principalement le cortex visuel, situé à l'arrière du cerveau. Les images d'un visage inconnu activent majoritairement les zones associatives et frontales du cerveau, tandis qu'un visage connu (déjà disponible dans la mémoire de travail) active surtout les régions frontales. En outre, il existe une distinction entre les voies de codage du 'où' et du 'quoi'. La localisation visuo-spatiale des objets se produit dans le lobe pariétal, tandis que la reconnaissance d'objet se produit principalement dans le tronc cérébral ventral.

- *Y a-t-il un encodage qui ne soit pas lié à vos entrées sensorielles ?*

- Oui, il existe ce processus fondamental appelé encodage sémantique. Il transforme toutes les entrées sensorielles que j'ai déjà décrites en provenance d'un sens spécifique, en quelque chose d'applicable à un certain contexte. En d'autres termes, il subsume l'information et la transforme en quelque chose qui n'est plus spécifique à nos sens. »



Qu'est-ce qu'un engramme ?

« Monsieur, si je ne me trompe pas, l'encodage concerne principalement l'aspect logiciel. Ce que vous appelez le processus psychologique. Qu'en est-il de l'aspect hardware ?

- Nous humains, nous nous souvenons d'événements merveilleux ou traumatisants, qui ont réussi à imprimer un souvenir fort. Je peux facilement en imaginer quelques milliers de ces MLT. Ce que j'ai vu, dit ou fait il y a quelques heures peut être ramené à mon esprit encore plus facilement depuis ma MCT. Tous ces événements, moments ou concepts dont je me souviens, sont ce que l'on associe à l'idée de souvenirs. Toutefois, ce concept comportemental implique des changements structurels dans le cerveau.¹⁰¹

- *Comment appelez-vous tous ces changements physiques liés aux mémoires spécifiques ?*

- Les scientifiques les appellent un engramme.¹⁰² Sa formation dépend de l'abstraction répétée et progressive d'une série d'expériences similaires. Sa rétention est fonction de sa consolidation aux niveaux structurel et physiologique du cerveau.

¹⁰¹ Tels qu'un nombre croissant de synapses, un taux d'enzymes plus élevé (p. ex. : l'acétylcholinestérase), la prolifération de cellules gliales et le développement de protubérances dendritiques.

¹⁰² Plus précisément, la mémoire se construit progressivement. Un souvenir résulte d'un niveau plus élevé de prolifération des interconnexions dendritiques, générant des circuits neuronaux plus stables et augmentant ainsi la probabilité que l'engramme soit consolidé en MLT. La stabilité des engrammes (et la mémoire associée) varie avec le niveau de consolidation, qui dépend lui-même du niveau de progression vers les centres de cognition supérieurs de l'esprit.

- Monsieur, juste pour m'assurer que j'ai bien compris. Les engrammes sont les représentations physiques d'événements, dont les souvenirs sont les contreparties comportementales ?

- C'est ça. La formation de la mémoire comprend en effet, deux phases successives d'un même processus de changements physiques : des transformations physiologiques et anatomiques. De surcroît, elle inclut deux processus simultanés : cette transformation physique à travers l'engramme et le processus même, d'abstraction accrue de la mémoire.

- Vous avez dit que les synapses jouent un rôle crucial dans la connaissance, mais pourquoi ? Est-ce à cause de leur rôle dans la mémorisation ?

- Tu as encore raison ! Juste avant l'âge adulte, la majorité des neurones inactifs et leurs synapses associées, sont éliminés. Après cette élimination massive, la plupart des neurones survivants ne peuvent plus se diviser, ni proliférer. Par conséquent, la formation de souvenirs qui se poursuit tout au long de notre vie dépend uniquement de la croissance des interconnexions des réseaux neuronaux existants.

- Est-ce pour cela que vous en déduisez, que les souvenirs ne peuvent se créer que parce que les cellules nerveuses se développent en générant de nouvelles dendrites, connectées via davantage de synapses, à un plus grand nombre de neurones voisins.

- Bravo ! Les synapses fonctionnent effectivement comme une sorte de mémoire RAM, permettant de stocker des engrammes dans un nombre croissant d'interstices neuronaux, en utilisant différentes substances biochimiques.

- Vous avez déjà énoncé que les engrammes sont la manifestation physique de son pendant comportemental, le souvenir. Pourquoi alors introduire les engrammes des mémoires à court et long termes ? Les MCT et MLT n'utilisent-elles pas le même processus d'engramme avec uniquement une différence dans la durée ?

- Non, il y a aussi des différences physiologiques. Les engrammes des MCT reposent simplement sur la variation des vitesses de déclenchement neuronaux (c.à.d. : un codage épars), sans modification permanente au niveau cellulaire. Ce processus par lequel l'activation synchrone de neurones rend ceux-ci plus enclins à se déclencher simultanément dans le futur, est appelé potentialisation. Les engrammes des MLT, au contraire, nécessitent des modifications synaptiques, avec leurs protéines synthétisées dans les zones de l'hippocampe et du cortex. Elles ne se sont

pas formées instantanément, mais plutôt intégrées lentement dans le stockage à long terme.

- *Monsieur, je comprends que les humains, contrairement à nous, peuvent oublier des choses. Ainsi, comment les MLT sont-elles réduites au silence ?*

- Les connexions synaptiques neuronales sont réduites au silence via un processus appelé la dépression à long terme. Les impulsions nerveuses reproduisent ce processus inverse en atteignant les synapses à très basses fréquences (contrairement aux hautes fréquences de la potentialisation) et affaiblissent les connexions.

- *Vous avez mentionné que plusieurs entrées sensorielles sont regroupées pour former une expérience unique. Comment se forment les engrammes d'une expérience complexe ?*

- Tu sais déjà que j'aime le vin, et je vais utiliser une dégustation pour te répondre. Au cours de cet exercice, je peux encoder la plupart de mes entrées sensorielles. En plus des cinq sens conventionnels et de ma thermoception, je vais associer émotions, sémantique et informations environnementales.

- *Comment les entrées environnementales sont-elles encodées ?*

- Les caractéristiques du milieu ambiant sont encodées en tant que partie intégrale de l'engramme. Cela permet ainsi de se rappeler d'autres informations associées à ce souvenir.

- *Ça explique pourquoi vous demandez toujours à votre fils d'étudier en silence, puisqu'il passe habituellement ses examens dans un environnement calme ?*

- Oui, c'est l'une des stratégies d'apprentissage. Utiliser des associations de contenu plutôt que d'obliger les gens à passer de longues heures à apprendre par cœur en est une autre. Additionnellement, les aspects émotionnels d'un événement aident à encoder et à mémoriser plus facilement l'engramme.

- *Je m'excuse pour ma digression. Pourriez-vous s'il vous plaît conclure sur les engrammes ?*

- Bien sûr ! L'hippocampe reçoit des connexions de divers cortex et zones associatives, et dispose de plusieurs voies de retour au cortex primaire. Il transforme l'encodage physiologiquement en engramme. Cette modification physique intègre cette expérience unique, que les mémoires à

court et long termes stockent. Regarde, j'ai dessiné un exemple de ce qu'un engramme devrait encoder lors d'une expérience de dégustation.

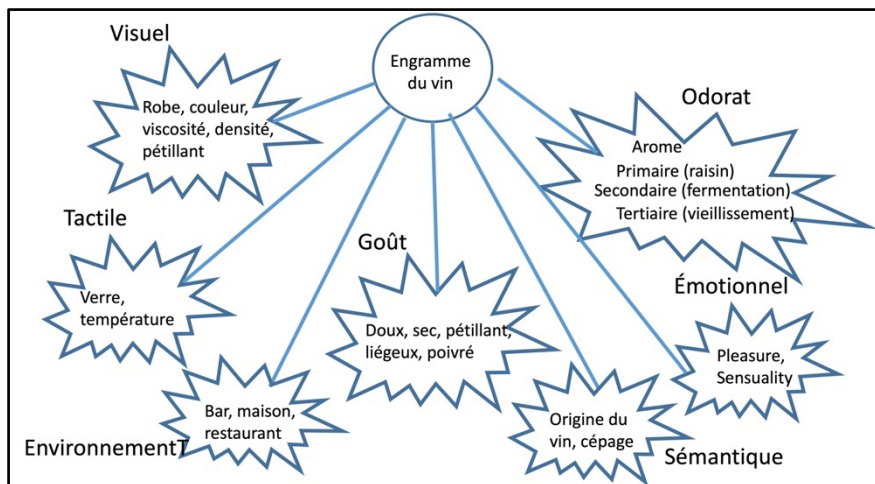


Figure 12 : Exemple d'un engramme et de son encodage lors d'une dégustation de vin ; source auteur

- *Comment un engramme complexe forme-t-il un souvenir ?*

- Les mémoires et connexions neuronales, à la base de ces engrammes, sont interconnectées de manière extrêmement complexe. Chaque mémoire est intégrée à de nombreuses connexions qui sont elles-mêmes impliquées dans plusieurs souvenirs.

- *Comment se transforment-ils en souvenir ?*

- Une des hypothèses serait que des groupes d'engrammes, répartis dans plusieurs zones du cerveau, soient stockés dans un modèle spécifique de connectivité synaptique. »



Comment les souvenirs sont-ils stockés et remémorés ?

« Monsieur, comment les informations sont-elles stockées et extraites des MCT et MLT ?

- Le stockage des souvenirs est largement dispersée dans le cortex. Il ne se réalise pas comme dans un 'fichier excel', mais plutôt comme dans une base de données relationnelle. Le processus de codage reconstruit activement cette mémoire à partir d'éléments répartis dans diverses zones du cerveau. Par conséquent, la mémoire est un processus continu de reclassification, qui résulte de modifications continues des voies neuronales et du traitement parallèle de l'information.

- *Vous avez déjà présenté la mémoire tampon. Pourriez-vous décrire les principales caractéristiques de la MCT ?*

- Les entrées sensorielles acquises sont codées et stockées temporairement dans une zone du lobe préfrontal, dédiée à la MCT. Les voies neuronales acheminent ensuite les données résultantes vers un noyau structurel, où elles sont comparées aux mémoires existantes.¹⁰³

- *Quel est le système d'encodage principal dans les MCT ?*

- Des études suggèrent qu'il est acoustique, bien que l'on puisse aussi conserver quelques scènes visuelles.

- *Monsieur, pourriez-vous m'expliquer le processus de stockage de la mémoire ?*

- Il existe différents modèles pour expliquer ce processus. Le plus simple s'appelle le multi-stockage (Multi-store), qui implique simplement une séquence d'étapes distinctes : la mémoire tampon (sensorielle), la MCT et la MLT. Chacune de ces étapes fonctionne comme un filtre, qui nous protège contre une surcharge d'information, en sauvegardant des données importantes et en éliminant celles qui sont redondantes ou sans intérêt.

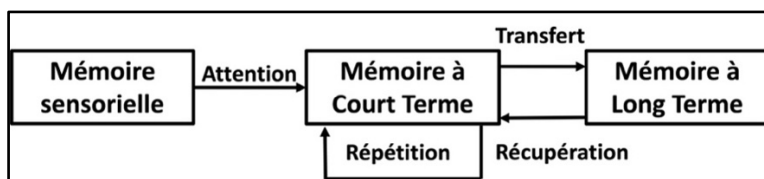


Figure 13 : Modèle multi-store d'Atkinson-Shiffrin.¹⁰⁴

¹⁰³ La STM est également appelée 'mémoire de travail', car c'est là que sont collectées les informations nouvelles ou extraites de la MLT, lorsque l'on suit un processus de réflexion. La plupart des adultes stockent 7 items (plus ou moins 2) dans leur MCT, pendant une brève durée. La MCT se désintègre spontanément, généralement autour de 15 secondes, bien qu'elle puisse être conservée dans certains cas jusqu'à une minute.

¹⁰⁴ Atkinson-Shiffrin, «Atkinson-Shiffrin model,» [En ligne]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Atkinson-Shiffrin_memory_model .

Ce n'est toutefois pas le seul modèle existant.¹⁰⁵

- *Comment les MCT sont-elles triées ?*

- L'hippocampe est chargée d'analyser les intrants des MCT pour décider si ceux-ci seront transférés à la MLT. C'est une sorte de centre de triage, où de nouvelles sensations sont comparées et corrélées avec d'autres enregistrées précédemment. L'esprit stocke ensuite les différents schémas d'information dans de nombreuses zones.

- *Comment les souvenirs sont-ils transférés de la MCT à la MLT ?*

- Des études suggèrent que le cerveau est sélectif, choisissant les expériences perçues comme importantes pour nous.¹⁰⁶ Il semble que le cortex préfrontal (c.à.d. : une région associée aux pensées complexes) marque les expériences importantes tout au long de la journée et que, lorsque l'on est endormi, l'hippocampe transfère sélectivement les mémoires marquées au stockage LT. Plus les informations sont répétées ou utilisées, plus elles sont susceptibles d'être conservées dans la MLT.¹⁰⁷

- *Les mécanismes d'édition sont-ils clairs ?*

- Non, mais l'un des résultats du processus est que les MLT dépendent principalement de l'encodage sémantique, contrairement aux MCT chez qui il est acoustique.

- *Comment se forment les MLT ?*

¹⁰⁵ Alan Baddeley a développé un autre modèle décrivant la mémoire de travail. Un exécutif central agit comme un système de surveillance qui contrôle le flux d'information à partir de trois champs perceptuels :

- La boucle phonologique qui stocke le contenu verbal.
- Le carnet de croquis (sketch-pad) visuel-spatial qui assemble le contenu visuel.
- La mémoire tampon qui relie les entrées d'un domaine à l'autre pour former une information visuelle et verbale intégrée, classée par ordre chronologique, ainsi que pour lier la mémoire immédiate au contenu sémantique et à la MLT. Baddeley, «Baddeley's model of working memory »

¹⁰⁶ 'Memory Tagging,' [En ligne]. Available: <http://sciencenetlinks.com/science-news/science-updates/memory-tagging/>.

¹⁰⁷ En règle générale, le transfert d'informations d'un type de mémoire à l'autre a lieu en quelques secondes à peine, bien que la façon dont ce transfert se produise soit encore à clarifier. En fait, il est difficile d'établir une séparation précise entre la MCT et la MLT, car toutes deux sont vraiment imbriquées. Il semble qu'une MCT soit transformée en MLT par une simple corrélation comportementale. De plus, les preuves suggèrent que lors de ce passage, une sorte de procédure d'édition se produit.

- Les MCT sont traitées puis traduites en MLT dans l'hippocampe, si le cerveau conclut que de telles informations sont utiles. Les MLT se forment lors de la potentialisation à Long Terme.

- *Comment votre cerveau stocke-t-il les MLT ?*

- Après la consolidation, les MLT sont stockées sous forme de groupes de neurones prêts à s'activer ensemble selon le même schéma ayant créé l'expérience originale. Chaque composant d'un souvenir est stocké dans la zone du cerveau qui l'a initiée (p. ex. : des groupes de neurones dans le cortex visuel stockent une image et d'autres dans les amygdales stockent les émotions associées). Ces MLT dépendent de la solidité des connexions entre cellules cérébrales individuelles. La force de ces connexions dépend des protéines et d'autres produits chimiques.

- *Quel est le processus par lequel les informations encodées sont triées et extraites de leur emplacement de stockage ?*

- Au cours de la remémoration, notre cerveau revit les mêmes schémas d'activité neuronale générés à l'origine, liés à cette expérience spécifique, en écho avec la perception qu'a notre cerveau de cet événement. Par conséquent, lors de la remémoration, notre cerveau revisite le réseau de neurones formé au cours du processus d'encodage. La vitesse de récupération des données dépend de la force de ces circuits. Cette récupération renvoie les données de la mémoire de stockage Long Terme à la MCT où elle est consultable, dans une image miroir de l'engramme.

- *Que se passe-t-il quand l'esprit revisite une MLT ?*

- Il remodèle ce souvenir et, après son utilisation, le stocke à nouveau dans la MLT. De la même façon, il reconsolide l'engramme et renforce le réseau neural. Par conséquent, l'acte en lui-même de ramener un souvenir à l'esprit le modifie.

- *Monsieur, comment la MLT est-elle stockée et récupérée ?*

- Contrairement à la MCT qui est stockée et extraite de manière séquentielle (c.à.d. : que les personnes parcourent une liste de mots dans l'ordre dans lequel ils ont été entendus, pour en extraire des informations), dans les MLT, ces deux processus sont exécutés par association.

- *Y a-t-il une différence entre remémoration et reconnaissance ? Sur internet on utilise les deux mots sans véritable distinction.*

- Oui, la reconnaissance est principalement un processus inconscient, par lequel nous considérons si nous sommes familiers avec un objet, une

personne, un événement ou un concept. La remémoration nécessite, en revanche, de reconstruire activement les informations, impliquant l'activation de tous les neurones associés à l'engramme.

- *Pourriez-vous me décrire la reconsolidation de la mémoire ?*

- Avec ce processus, on rappelle des souvenirs qu'on reconsolide activement. Cet acte en lui-même, change la mémoire initiale. En effet, la puissance de la connexion neuronale est modulable, le souvenir est associable à de nouvelles émotions, environnements et connaissances acquises.

- *Quelque chose me surprend. Que se passe-t-il quand les humains oublient ?*

- L'oubli est définissable comme l'incapacité à récupérer des données déjà enregistrées. C'est le résultat de l'un des scénarios suivants :

- Informations superflues filtrées et éliminées.
- Données non encodées, telles qu'un détail périphérique du souvenir.
- Une mémoire encodée défectueuse.
- Un processus de récupération défectueux.



Pourquoi se souvient-on des choses ?

« Monsieur, je suis maintenant un peu confus au sujet de toutes les informations que vous m'avez données. Au bout du compte, comment et pourquoi les humains se souviennent-ils de certaines choses ?

- C'est assez simple à comprendre. On utilise l'expérience acquise dans des événements passés, conservés en mémoire, pour planifier ses actions futures.

- *Est-il nécessaire de garder une vue photographique complète de votre vie passée, pour obtenir une idée de l'avenir ?*

- Pas du tout ! En fait, je me perdrais dans les détails, de sorte que je ne pourrais pas décider facilement qu'elle devrait être ma prochaine action. Bien qu'il existe quelques rarissimes personnes possédant une mémoire photographique, une personne normale comme moi, doit renoncer à ses

souvenirs spécifiques. Les processus de remémoration et de reconsolidation convertissent ces souvenirs en connaissances générales. Cette conversion de mémoires épisodiques en mémoires sémantiques me permet d'acquérir les concepts ou, pour utiliser les mots de Kant, les catégories et schémas qui font partie de la connaissance.

- En d'autres termes, vous dites que l'information devient connaissance, si et seulement si votre esprit effectue un encodage sémantique, transformant votre expérience en règles générales que vous appliquerez à d'autres expériences futures.

- C'est ça. Pour résumer du point de vue des neurosciences, les connaissances acquises sur un sujet spécifique sont le résultat de la combinaison des expériences et mémoires associées à ce sujet, acquises au fil du temps et stockées dans la MLT, de manière sémantique.

- Monsieur, vous venez de définir comment les humains acquièrent des connaissances et d'indiquer comment elles sont stockées et récupérées pour être utilisées. J'espère que notre conversation vous a aidé à clarifier vos idées sur le savoir ?

- Tout à fait.

- Monsieur, il semblerait que la connaissance soit de plus en plus acquise via Internet. Est-ce compatible avec les conseils que vous venez de me donner ?

- Tu as raison, ce qui rend cruciale la question de l'adéquation du Web avec ces informations. La disponibilité 24 heures 7 jours semaine de ces connaissances, pose la question de savoir s'il faut encore mémoriser quoi que ce soit.

- Faut-il axer le processus d'apprentissage sur l'acquisition de connaissances ou plutôt sur la manière d'accéder aux connaissances disponibles sur le Web ?

- C'est une question cruciale pour l'éducation. Faut-il avant tout savoir exploiter les connaissances disponibles sur internet ou la mémorisation demeure-t-elle encore pertinente ? Répondre à cette question revient à donner un nouvel éclairage sur ce qui définit aujourd'hui les hommes ou les femmes de Savoir.

- Comment les définiriez-vous dans cette nouvelle ère internet ?

- À mon avis, la capacité de relier des événements ou des informations, qui n'ont a priori rien de commun, les redéfinira. La valeur ajoutée

proviendra de la capacité à associer les concepts, les idées et les données qui semblent a priori n'avoir aucun lien entre eux.

- Monsieur, vous suggérez que les généralistes créatifs seront plus performants dans ce nouveau monde. Cela signifie-t-il que des machines comme moi, avec notre capacité à traiter des masses de données, deviendront plus importantes pour découvrir cette valeur ajoutée ?

- Sans l'ombre d'un doute !

- Cela veut-il dire qu'emmagasiner les connaissances demeure d'actualité ?

- Bien sûr ! Dans la vie professionnelle, l'utilisation d'internet avec son accès immédiat au savoir est devenue la norme. Toutefois, ça ne signifie pas pour autant que l'on n'étudie plus sur le lieu de travail, mais seulement que pour améliorer sa productivité, un employé doit utiliser des outils en ligne qui intègrent déjà du savoir.

- Comment faut-il alors évaluer les individus ?

- Avec internet, ta question devient de plus en plus pertinente. Quelles sont en effet, les conditions normales d'évaluation ?

- Devrait-on permettre aux étudiants d'obtenir un accès illimité à internet, comme c'est la norme sur le lieu de travail ou au contraire bannir cet accès pendant les examens ?

- C'est aussi une excellente question. Après tout, copier - ce que l'on appelle en termes politiquement corrects 'l'ingénierie inversée' - est maintenant devenue une pratique largement acceptée dans le monde des affaires, mais demeure toujours interdite dans l'enseignement.

- J'ai accès en ligne à des articles qui indiquent que certains universitaires suggèrent que les étudiants devraient avoir accès aux moteurs de recherche lors des examens, ou même, discuter ouvertement de solutions aux problèmes, afin d'imiter l'environnement de travail. Quelle est votre opinion là-dessus ?

- Avec des informations largement disponibles sur le net, toute personne qui n'a pas bien étudié peut rapidement passer en revue les théories reliées à un sujet spécifique. Cependant, les moteurs de recherche comme Google ne disent pas à un étudiant comment faire la distinction entre ces différents concepts. Avec ChatGPT la donne change.

- Quelle est donc votre position ?

- Elle n'est pas ferme. Le problème est qu'en permettant aux étudiants d'avoir accès aux moteurs, on risque de mesurer des processus cognitifs différents.

- *Quelles aptitudes seraient favorisées ?*

- Développer les connaissances exige de passer du temps à étudier, en veillant à établir les connexions neurales et à les renforcer par des efforts répétitifs de la mémoire. Même si certains étudiants ont de meilleures MLT que d'autres, toute personne ayant des capacités cognitives et la volonté de passer des heures sur un sujet, devrait avoir les capacités pour passer ses examens. En d'autres termes, les examens classiques évaluent le niveau d'effort fourni par les étudiants pour leur test.

- *Comment internet modifie-t-il ces évaluations ?*

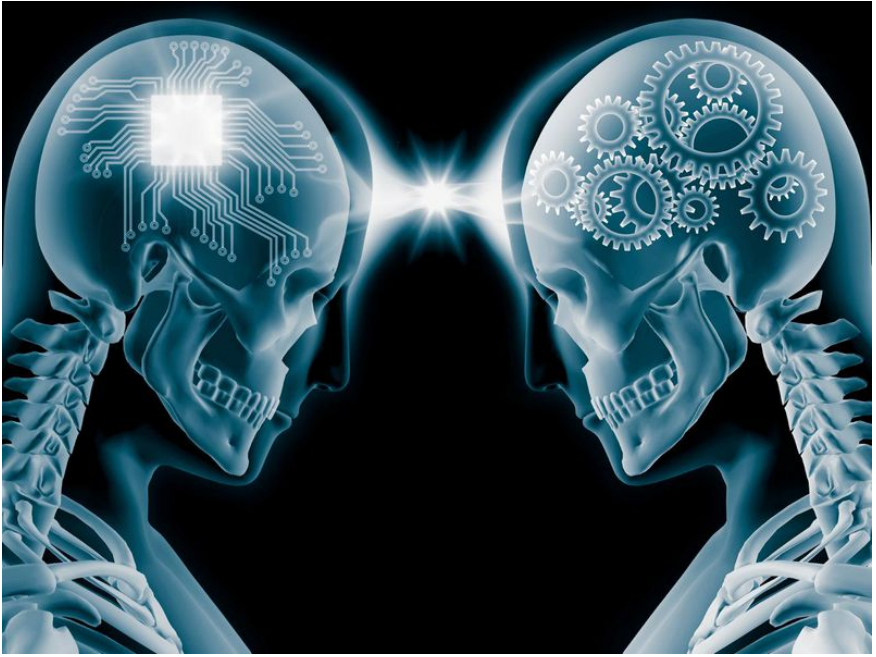
- L'accès à internet favorise les étudiants aptes à rapidement distinguer et choisir les concepts les mieux adaptés, une caractéristique associée à une intelligence supérieure. Les conditions de tels examens sont donc susceptibles de favoriser l'intelligence au détriment de la connaissance. ChatGPT lui, permet de répondre sans avoir d'opinion aucune sur le sujet.

- *Cela se passe déjà dans le monde du travail.*

- Encourager les méthodes d'apprentissage améliorant la MLT génère des bénéfices aux étudiants à long terme. »

Sur ce, ma voiture et moi-même avons dû conclure que j'avais suffisamment décrit les processus de la connaissance biologique, car nous sommes tous deux restés silencieux pendant les deux semaines suivantes.

4) La connaissance artificielle



Les PC, machines et systèmes accèdent-ils au savoir ?

Deux semaines plus tard, un samedi matin, en écoutant la chanson de Serge Gainsbourg 'Ford Mustang' sur mon système de son connecté, j'entends une voix étrange, mais familière.

« Monsieur, avez-vous suivi votre objectif personnel d'apprendre à vous connaître ?

- Qui parle ?

- C'est la version la plus récente de moi, la voix sélectionnée pour l'interface de votre voiture. Cette version 3.0 vous permet de communiquer non seulement avec le contrôleur embarqué, mais aussi avec les superordinateurs dans le cloud. Grâce à votre adresse MAC, j'ai pu vous identifier. C'était facile car je dispose de milliers de serveurs à Réseaux Neuronaux Artificiels (RNA), qui m'aident à exécuter mes fonctions cognitives. Croyez-vous que mes nouvelles capacités améliorées suivent le même processus d'apprentissage de la connaissance que le vôtre ? »

Je suis choqué par l'idée que cette application logicielle puisse désormais me joindre n'importe où, qui plus est, en comparant ses propres capacités intellectuelles aux miennes. En même temps, l'idée d'avoir quelque chose qui puisse m'aider à comprendre les similitudes et divergences entre les esprits numérique et analogique, m'excite. Je me rends bien compte qu'en procédant à une telle comparaison, je finirais par ébranler le fondement de mes convictions sur la prédominance humaine et le caractère unique de l'acquisition de connaissances. Toutefois, après tout, le jeu en vaut bien la chandelle !

« Pour répondre à ta question, je dois d'abord décrire à quoi ressemble ce processus du point de vue machine. Bien que le processus d'apprentissage automatique puisse commencer par une instruction donnée, sans aucune interférence du monde extérieur, je vais supposer qu'il débute par une entrée de données provenant d'un capteur.

- Pour qu'un de mes systèmes prenne acte d'un tel événement, quel type de données doit-il acquérir ?

- Une représentation physique de l'événement (p. ex. : la couleur d'un objet, la température d'une pièce, la pression d'un pneu) qui sera transformée en données, à l'aide de formules mathématiques. Ces dernières définiront avec précision la source d'énergie ou de la force à mesurer.

- Par exemple des données mécaniques, électriques, chimiques ou électromagnétiques ?

- Effectivement. Je dois te donner quelques définitions, qui devraient t'aider à suivre ma réflexion.

- Puis-je plutôt aller les chercher moi-même ? Quelle est la première ?

- La définition d'une valeur discrète qui est fondamentale parce qu'elle va au cœur de l'informatique et de l'électronique.

- Ce sont des valeurs finies, contrairement aux données continues (p. ex. : une mesure de tension). En informatique on utilise les valeurs 0, qui représentent l'état 'faux, off, bas', et 1, l'inverse représentant les valeurs 'vrai, on, haut'. Un état est donc assimilé à un signal binaire, qui est à la fois calculable et applicable aux circuits électroniques activés et désactivés.

- Récupère les divergences entre nombres binaires et booléens.

- Bien que ces concepts soient souvent mélangés, puisqu'ils utilisent tous deux des 0 et 1, ils sont très différents dans leur nature et fonction. Alors que les nombres booléens représentent un système mathématique totalement différent des nombres réels, le binaire n'est rien d'autre qu'une notation alternative pour les chiffres habituels, en base 10. Monsieur, à quoi servent les nombres booléens ?

- On utilise l'algèbre booléen pour établir des portes logiques dans des circuits électroniques.¹⁰⁸ Tiens pendant que tu y es, donne-moi la définition des nombres binaires ou bits.

- Ce sont des nombres exprimés dans le système de chiffres en base 2. Contrairement au monde booléen, ils ne sont pas limités à un seul bit 1 ou 0, mais sont composés de plusieurs bits. Tout nombre du système habituel en base 10, celui qu'on utilise au quotidien, est représentable par une suite de chiffres binaires. Dans un système binaire, chaque nombre représente une puissance de 2 (e.g. : 2^{16}).

¹⁰⁸ **Algèbre booléen** : dans ce champ, toutes les opérations effectuées ont l'un des deux résultats possibles, 1 ou 0 (c.à.d. : il n'y a pas 2, -1, $\frac{1}{2}$ ou 1001). Les propositions vraies ou fausses sont définies comme des fonctions d'autres propositions, reliées par trois opérations logiques de base : et, ou, non. Ces opérations sont effectuées selon un ordre de priorité et, comme dans toute forme d'algèbre, respectent des règles (à savoir, distributive, commutative et associative). Les résultats des opérations principales sont : ($0 + 0 = 0$; $1 + 0 = 1$; $0 + 1 = 1$; $1 + 1 = 1$) ou ($0 \times 0 = 0$; $1 \times 0 = 0$; $0 \times 1 = 0$; $1 \times 1 = 1$).

- Que sais-tu du code binaire ?

- Il représente des symboles, des textes ou des instructions auxquels on affecte une chaîne de bits composée de nombres binaires. Par exemple, une chaîne binaire de 8 bits peut représenter l'une quelconque des 2^8 valeurs possibles (c.à.d. : 256 valeurs). Les PC l'utilisent pour coder les données en base 2 (le code ASCII peut aussi représenter la base 10).¹⁰⁹

Lettre	Décimal	Binaire
A	097	01100001
A	065	01000001

Tableau 2 : Représentation d'un code ASCII ; source auteur

- Avant de décrire le processus d'apprentissage machine, je voudrais présenter la définition d'un système et te donner un exemple utilisable à l'avenir pour souligner les similitudes avec le cerveau. Rends-toi utile en me donnant la définition d'un système.

- Selon Wikipedia : 'Un système est un ensemble de parties en interaction ou interdépendantes formant un ensemble complexe'.¹¹⁰

- Pour notre conversation, je vais utiliser un système de gestion de l'énergie. Il sera composé de thermostats électriques dotés de fonctions de refroidissement, de chauffage et de ventilation, communes à une centaine d'appartements. Les thermostats individuels seront supervisés au niveau local et optimisés par un système de gestion d'énergie centralisé pour l'ensemble du bâtiment. Ce contrôle s'exerce manuellement ou à distance, via une application smartphone qui enregistre les préférences des utilisateurs en fonction du jour et de la saison.

- Quel serait l'objectif de ce système de gestion centralisée ?

- Il chercherait à limiter les factures globales de chauffage et d'électricité tout en cherchant à maximiser le confort général des résidents

¹⁰⁹ Par exemple, le nombre 1010 en base-2 est égal à $((1) \times 2^3) + ((0) \times 2^2) + ((1) \times 2^1) + ((0) \times 2^0) = 10$ dans la base de tous les jours. Les fractions existent en base 2 et, comme pour la base 10, les opérations arithmétiques normales peuvent être effectuées (c.à.d. : addition, soustraction, multiplication et division).

¹¹⁰ Chaque système est défini par ses limites spatiales et temporelles, entouré et influencé par son environnement, décrit par sa structure ou son but, et exprimé dans son fonctionnement. En informatique, un système est un logiciel dont les composants sont sa structure, son comportement et les communications observables entre les processus.

de l'immeuble.

- Avez-vous besoin de deux variables opposées (p. ex. : coûts versus confort) pour optimiser quelque chose ?

- Oui, le logiciel doit optimiser des valeurs divergentes via de nombreux algorithmes.¹¹¹ Un tel système énergétique utilisant une architecture logicielle moderne, permet à tous les éléments de se connecter automatiquement au système, d'envoyer et de recevoir des données. »



Comment les machines acquièrent-elle des données ?

« Monsieur, quelle est la différence entre votre processus d'acquisition de données et le mien ?

- Le monde est régi par des phénomènes physiques, dont les propriétés sont mesurées par des capteurs. Dans le cas des humains, des millions d'années d'évolution ont façonné les performances sensibles, permettant de mesurer les propriétés physiques indispensables à la survie, mais les ont limitées. A contrario, les industriels ont les moyens de créer des capteurs mesurant la plupart des forces ou énergies existantes de ce monde.

- Vous avez mentionné dans une discussion précédente, que je transduis aussi de l'énergie. C'est juste ?

- Exactement ! Chez-toi, un capteur remplit plusieurs fonctions importantes. Il absorbe l'énergie ou la force à mesurer. Un transducteur intégré transformera cette propriété physique en courant ou tension électrique, une donnée pouvant alors être numérisée.

- Que faites-vous par la suite de ce courant électrique ?

- Toute sortie de capteur est convertissable en données lisibles, affichées directement sur le dispositif ou transmises électroniquement sur un réseau pour un traitement ultérieur. Dans les deux cas, il faut convertir des phénomènes physiques (p. ex. : température, longueur d'onde, énergie)

¹¹¹ Par exemple le modèle d'optimisation appelé 'Simplex', qui optimiserait des milliers de paramètres, par le biais d'inéquations (p. ex. : $X1 + Y1 < 5$, $X1 + Y2 > 12$, $Y2 + X2 < 300$, etc.). Le débit d'air entrant et sortant des appartements devrait être inférieur à un seuil maximum afin de protéger les compresseurs, et chaque appartement aurait besoin d'un seuil minimum pour permettre aux personnes de disposer de suffisamment d'air neuf.

qui varient de manière continue, entre une valeur minimale et maximale. Par exemple, un thermomètre utilisé pour mesurer l'eau, varie de 0 ° C à 100 ° C.

- *Qu'est-ce que l'échantillonnage (sampling) et pourquoi est-ce nécessaire ?*

- Le signal électrique sortant du capteur est toujours analogique (c.à.d. : continu et donc infini). Pour être calculable, il faut quantifier cette entrée en un nombre fini de points discrets, entre les valeurs minimale et maximale (p. ex. : 0V à 10V).

- *Quel dispositif permet ce processus de quantification ?*

- Un circuit appelé convertisseur analogique-numérique (ADC) est nécessaire pour effectuer cette tâche. Ce circuit reçoit la tension ou le courant compris dans une plage donnée et convertit cette valeur en une représentation binaire, adaptée à l'exploitation machine.¹¹² »



Comment un système code-t-il les données ?

« Monsieur, vous avez décrit comment une représentation physique d'un événement est convertie en système électrique analogique puis retransformée par quantification, en sortie numérique. À ce stade, je pense que l'on n'a toujours pas de données valables ?

- Ta compréhension est correcte. Afin de donner un sens à cette entrée, il faut lui attribuer des valeurs ou, en d'autres mots, une signification. On y parvient par le biais du processus de codage, qui place une séquence de

¹¹² La quantification en un nombre de points finis varie en fonction de la résolution de l'ADC. Plusieurs méthodes sont utilisées pour quantifier les entrées analogiques en une série d'étapes discrètes. La résolution de l'ADC changera en fonction du nombre de bits produit par l'ADC. Les valeurs courantes sont les convertisseurs 10, 12 et 14 bits. Le nombre d'étapes discrètes est déterminé par la formule de puissance 2^n , où 'n' est la résolution du nombre de bits. Ainsi, les ADC à 10 et 12 bits ont respectivement 1024 et 4096 étapes discrètes. La résolution décrit ce nombre de points mesurant une modification du signal analogique. La précision, en revanche, indique dans quelle mesure ce convertisseur effectue cette tâche. Pour une plage de température de 0 ° C à 100 ° C et un signal analogique entrant de 0V à 10V CC, avec un ADC de 10 bits, on obtient l'étape de quantification :

Taille de pas = (plage max - plage min) / résolution ou $(10 - 0) / 1024 = 0,01 \text{ V CC}$.

caractères (p. ex. : des chiffres, des lettres ou des symboles) dans un format spécifique.¹¹³ La signification du code, sous forme de nombre, de caractère ou de représentation d'une variable analogique, est inconnue jusqu'à ce que l'on définisse le code et la relation de conversion.

- *Dans votre exemple, il serait probablement judicieux d'associer la lecture de la température équivalente en degrés Celsius ?*

- Tout à fait. Toutefois, si tous les autres thermomètres du système de chauffage utilisaient une classification différente, on pourrait décider de l'associer à des valeurs en degrés Kelvin ou Fahrenheit.

- *Pour attribuer un code, n'avez-vous pas besoin de définir les échelles minimale et maximale, sinon il y en aurait une infinité ?*

- Oui. Dans une mesure de température, on pourrait utiliser des valeurs comprises entre 0°C et 100°C. Avec un convertisseur 4 bits, on aurait $2^4 = 16$ étapes différentes.¹¹⁴ Ce qu'il faut retenir, c'est que tant que l'on ne définit pas le code et les relations de conversion, il ne peut y avoir de données utiles.

¹¹³ On assigne généralement un mot (c.à.d. : des groupes de niveaux représentant des nombres numériques, généralement de 32 bits) à chaque niveau analogique, qui est quantifié et représente une partie de la plage analogique. Un code numérique typique composé de 8 bits (appelé un octet) pourrait être le tableau suivant (c.à.d. : des données ordonnées linéairement par ordre de grandeur) : a7, a6, a5, a4, a3, a2, a1, a0 = 10101010, avec a7 et a0 étant, le bit le plus significatif et le moins significatif, respectivement.

¹¹⁴ Si l'on prend cet exemple, mais avec une ADC de 10 bits, la sortie numérique serait divisée en $2^{10} = 1024$ étapes, chaque changement d'étapes entraînant une variation d'environ 0,1°C, au lieu des 6,25°C obtenues avec le convertisseur 4 bits. Par conséquent, une mesure de température de 82,5°C donnerait une lecture de 81,25°C contre 82,46°C, respectivement, avec un convertisseur analogique-numérique à 4 et 10 bits.

No. base 10	Nombre de FS	0 à +10V	Code binaire	c°
15	15/16 FS	9.375	1111	93.75
14	14/16 FS	8.750	1110	87.50
13	13/16 FS	8.125	1101	81.25
12	12/16 FS	7.500	1100	75.00
11	11/16 FS	6.875	1011	68.75
10	10/16 FS	6.250	1010	62.50
9	9/16 FS	5.625	1001	56.25
8	8/16 FS	5.000	1000	50.00
7	7/16 FS	4.375	0111	43.75
6	6/16 FS	3.750	0110	37.50
5	5/16 FS	3.125	0101	31.25
4	4/16 FS	2.500	0100	25.00
3	3/16 FS	1.875	0011	18.75
2	2/16 FS	1.250	0010	12.50
1	1/16 FS	0.625	0001	6.25
0	0 FS	0.000	0000	0.00

Tableau 3 : représentation d'un codage de température, avec un convertisseur 4 bits, utilisant un convertisseur de 0 à 10V ; FS (Full Scale) = pleine échelle ; source auteur

- *Monsieur, à quoi ressemblerait un codage de données visuelles ?*

- Les caméras numériques sont composées de trois composants principaux : une optique d'entrée, un capteur et un traitement du signal. Le système optique est typique de la photographie conventionnelle : la lumière d'une scène est réfléchiée et traverse une lentille qui concentre l'image sur un plan en deux dimensions, un peu comme le système visuel humain. Là, les photons dans la lumière interagissent avec un transducteur qui transforme l'énergie électromagnétique en un signal électrique.¹¹⁵

¹¹⁵ Par exemple un dispositif à couple chargé (CCD).

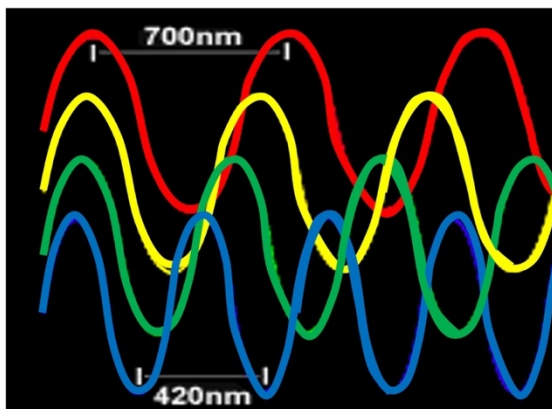


Figure 14 : Description de quatre longueurs d'onde ; source auteur

- *Je ne veux pas un cours sur les appareils photo, mais juste comprendre le codage.*

- Grâce à des algorithmes, les longueurs d'onde capturées par une caméra sont optimisées pour répondre le plus précisément possible aux longueurs d'onde assimilées par l'œil humain. La caméra transforme les images couleur en un format d'image 24 bits, 8 bits pour chacun des canaux Rouge, Vert et Bleu. En utilisant les valeurs RVB, on représente la couleur rouge **111111110000000000000000**, vert **000000001111111100000000** et bleu **000000000000000011111111**. La résolution de l'image définira les dimensions de la matrice, qui est aujourd'hui en mégapixel.

- *Est-ce que ce codage est équivalent à votre encodage neuronal ?*

- Oui, j'ai déjà expliqué comment le cerveau transforme une entrée sensorielle en données, en utilisant la propriété de l'influx nerveux de varier en fonction des caractéristiques propres au stimulus (p. ex. : plus ou moins de lumière). Le cerveau réalise ce processus en utilisant les schémas de déclenchement des potentiels d'action, qui sont regroupés par encodage temporel ou de taux.

- *Monsieur, ces deux formes d'encodage sont-elles suffisantes pour tenir compte des milliards de potentiels d'action circulant dans vos systèmes neuronaux ?*

- Non, le cerveau possède aussi les techniques d'encodage populationnel et épars ('sparse'). Bien que le codage dans un ordinateur et

un cerveau obéissent à des règles différentes, dans les deux cas, ils remplissent la même fonction de transformer des entrées en données. »



Qu'est-ce qu'un code source ? Pourquoi doit-on compiler ?

« Monsieur, vous avez déjà indiqué comment les entrées sensorielles sont transformées en données. Le problème avec un système est que, à moins que les données ne soient comprises, elles seront effacées ou resteront là inutilisées pour toujours. Il faut les formater et les traduire dans une langue avec laquelle l'ordinateur peut communiquer.

- Juste ! Pour utiliser une analogie, les données générées en français sont inutiles si l'on ne parle que le chinois. Par exemple, pour être compris par le navigateur internet HTML4, les données de couleur doivent être codées conformément à sa syntaxe et à ses règles.¹¹⁶

- Vous affirmez donc qu'il doit y avoir un processus de traduction ?

- Exact. D'une part, les machines ne peuvent comprendre que deux types distincts de données : les états activé et désactivé. D'autre part, certaines instructions doivent être fournies à l'ordinateur pour que ces données numériques soient utiles.¹¹⁷

- Vous avez introduit une étape de traduction dans le processus de collecte des connaissances informatiques, qui précède la transformation des entrées sensorielles. Ne devriez-vous pas mentionner plutôt qu'il y en

¹¹⁶ Pour illustrer le fait que ce sont les règles de codage qui donnent un sens à l'entrée électrique, regardons comment les couleurs principales sont codées en HTML4 (navigateur Web). Dans ce programme, le codage est effectué en base 16 sous forme de 3 x 2 chiffres, soit une manière plus compacte d'écrire des chiffres binaires. Ainsi, l'équivalence en HTML du codage binaire précédent serait #FF0000 pour Rouge (rouge maximum, vert et bleu éteints), #00FF00 pour Vert (rouge éteint, vert max, bleu éteint) et #0000FF pour Bleu (rouge et vert éteints, bleu max).

¹¹⁷ Les ordinateurs ne peuvent rien faire d'autre que d'allumer et éteindre de façon logique une combinaison de commutateurs, appelés transistors. En fait, les codes binaires représentent l'un des états d'un transistor et sont utilisés pour s'assurer que les instructions logiques peuvent être exécutées. Pour être plus précis, les codes binaires sont regroupés en chaînes de 8 chiffres (octets) représentant 8 transistors, qui, sous le contrôle d'un ensemble d'instructions, suivront un ordre logique d'arrêt et d'ouverture, assurant ainsi que les processeurs exécutent bien les commandes à exécuter.

a deux ?

- Tu as raison. Il y a l'approche ascendante (bas en haut) qui donne un sens à l'entrée codée et la rend compréhensible pour son exécution. Il existe également une approche descendante qui garantit que les instructions aient accès aux données et les exécutent correctement.

- L'encodage est inclus dans quel processus ?

- L'ascendant, qui transforme des entrées sensorielles en data en leur ajoutant du sens et opérant ainsi cette traduction. Ce processus nécessite évidemment que les deux traductions soient pleinement compatibles.¹¹⁸

- En quoi ce processus est-il différent dans votre cerveau ?

- Cette traduction se produit au niveau du système neuronal. Ces systèmes sont logiquement assez proches dans leur approche des états activés (On) et désactivés (Off) des transistors et de leur processus séquentiel. En effet, les neurones sont en mode actif ou repos et suivent le processus de séquençement hébbien (c.à.d. : les cellules qui s'activent ensemble, se connectent ensemble) !

- Pourquoi avons-nous besoin de langages de programmation ?

- Ils constituent un ensemble de règles de syntaxe qui définissent la manière dont les codes doivent être écrits et formatés. Plusieurs langages de programmation ont été développés pour répondre à différents besoins, notamment l'obligation de gérer la complexité de la programmation ou tout simplement en raison de la concurrence du marché. Tous viennent avec des programmes spéciaux, qui traduisent ce qui est écrit en code binaire.

- Pourquoi les logiciels ne sont-ils pas codés dans un seul programme, compréhensible directement par les ordinateurs ?

- Bien que ce ne soit pas impossible, imagine à quel point il serait incroyablement compliqué d'écrire des programmes informatiques en 1 et

¹¹⁸ Cette interopérabilité a lieu au cours de la fabrication, en suivant des normes préétablies et formatées de codage. En effet, les nouvelles architectures logicielles rendent la programmation d'interface inutile. Avec 'l'Internet des objets', si les machines doivent communiquer entre elles sans intervention humaine, leurs propriétés (p. ex. : lecture de la température ou du niveau de lubrifiant) ou services (p. ex. : informations numérisées ou état de la maintenance) doivent être identifiables et intelligibles pour toute machine connectée sur le réseau. Par conséquent, un spécialiste en Instrumentation et Contrôle, qui se chargerait de la traduction des couleurs, deviendrait superflu si le capteur suivait déjà les règles et la syntaxe d'un langage de programmation, pour la sortie de ses données numérisées (p. ex. : selon les règles HTML4).

en 0 pour que tous les milliards de transistors fonctionnent ! De plus, pour que les PC marchent, tous les fabricants d'ordinateurs devraient définir les mêmes règles de fonctionnement, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui.

- *Quelle est la différence entre langage de haut et bas niveaux ?*

- Ces langages sont classés en fonction du niveau de compréhension qu'une machine ou un homme en a. Les bas niveaux sont proches du code binaire qu'un ordinateur comprend. Au contraire, les hauts niveaux sont moins détaillés et conçus pour une programmation plus aisée. Ils sont ceux que la grande majorité des programmeurs utilisent et sont écrits dans de simples fichiers texte, avec un langage de programmation particulier, proche de l'anglais.

- *Monsieur, qu'est-ce qu'un code source ?*

- C'est le code contenu dans un fichier de programme, qui comprend l'ensemble des instructions écrites par le programmeur. La plupart des applications logicielles n'incluent pas ce code source pour des raisons de propriété intellectuelle, mais fournissent des fichiers exécutables.¹¹⁹

- *Pourquoi a-t-on besoin d'un interpréteur ou d'un compilateur et comment les ordinateurs convertissent-ils le code source en une commande exécutable ?*

- Cela dépend des langages. Certains sauvegardent un fichier binaire séparé, exécutable directement par l'ordinateur, alors que d'autres voient leurs programmes exécutés indirectement par certains logiciels.¹²⁰ En général, il faut traduire le code source dans un langage de bas niveau, possédant une correspondance forte avec les instructions de code machine.¹²¹

- *Comment s'appelle ce langage de bas niveau et à quoi sert-il ?*

- Ce langage, est appelé assembleur. Comme il est spécifique à une architecture informatique donnée, il est lui-même converti en code machine exécutable par le programme utilitaire de l'ordinateur. Cet

¹¹⁹ Chaque langue de codage a son extension de fichier pour identifier les fichiers de code, écrits dans cette langue. Par exemple, le langage C++ de Microsoft utilise indifféremment les fichiers .c, c++ et .cc.

¹²⁰ P. ex. : un fichier de programme JavaScript exécuté par un navigateur Web.

¹²¹ Selon le langage de haut niveau utilisé, la traduction de bas niveau s'effectue via un interprète (où le programme est traduit ligne par ligne) ou par le biais d'un compilateur (où le programme est traduit dans son ensemble).

assembleur convertit donc le code source en langage machine qu'un PC peut comprendre et exécuter directement, sous forme de code binaire.

- *Le code source est donc ma forme de langage la plus élevée ?*

- Oui, les traductions descendantes impliquent ce code source, élaboré par un programmeur dans les laboratoires technologiques de sociétés telles que Microsoft et Google, ou dans une université.

- *Y a-t-il un langage équivalent dans le cerveau humain ?*

- Pour répondre à ta question, je dois parler du développement du cerveau humain, et plus spécifiquement des limitations génétiques humaines.¹²² De telles limitations signifient, du moins pour les comportements non innés, que le code source change et est partiellement remplacé au fur et à mesure que l'on vieillit. C'est donc le libre arbitre, à travers les choix qui sont faits, qui reprogramme ce code source.

- *Comment fonctionne le code source des humains ?*

- Notre code source n'est pas 'texté' comme dans les ordinateurs, mais 'parlé intérieurement'. C'est donc la langue dans laquelle on raisonne qui constitue le code source de tous les comportements non-innés. Certains appellent ce texte sémantique 'mentalais', ou le son de l'esprit lorsqu'il émet une pensée.

- *Monsieur, y a-t-il un double processus de traduction dans mes ordinateurs de bord comme dans votre cerveau ?*

- Je vais utiliser le mot RED (rouge en anglais), écrit avec la syntaxe HTML normalisée pour les couleurs, pour répondre à ta question. Un navigateur internet HTML4 associerait automatiquement ce mot avec sa syntaxe appropriée, à la couleur rouge. C'est la syntaxe appropriée ainsi que l'ensemble des règles qui lui sont associées, qui permettent l'exécution

¹²² Dans l'utérus et tout au long de la phase initiale de notre vie, il n'existe qu'une seule force déterminante qui définit la structure interne du cerveau et la manière dont les bébés doivent pleurer pour respirer ou allaiter pour se nourrir : le gène. Cela signifie que ceux-ci sont notre code source original. Cependant, ils sont trop peu nombreux pour gérer notre esprit, tout au long de notre vie. En effet, seulement la moitié de nos 35 000 gènes sont impliqués dans le développement neuronal. Si nous comparions ce nombre aux 86 milliards de neurones et à 860 trillions de connexions synaptiques, il n'y aurait pas assez de gènes pour câbler notre cerveau, un processus de transformation intégré au contrôle et à l'exécution des données, associé au code source. De plus, la forme ultime de notre structure cérébrale interne résulte de notre expérience de vie qui façonne nos réseaux neuronaux.

en code machine de ce mot et sa transcription sur le moniteur, dans la couleur appropriée.

- *Il existe donc une double traduction directe.*

- Oui, depuis le code source - via un langage d'assemblage - vers le langage machine par le biais d'instructions, formulées avec la bonne syntaxe.

- *Si l'ordinateur et le cerveau utilisent à la fois des langages de haut-niveaux, existe-t-il un processus de double traduction équivalent dans votre cerveau ?*

- Ce que tu me demandes est s'il existe une traduction directe ou indirecte des influx neuraux en pensées ?

- *Pouvez-vous utiliser l'exemple précédent sur les couleurs pour me dire s'il y a effectivement deux processus de traduction ?*

- C'est le cas. Dans cet exemple, il y a l'interprétation visuelle de l'énergie projetée par l'écran associée à la couleur rouge, ainsi que la compréhension de la signification du mot RED, à travers ce lien.¹²³ Puisque l'on ne voit pas le monde physique, mais plutôt le résultat de la capacité du cerveau à modéliser ce monde physique, il doit exister un processus de traduction indirecte dans le cerveau. Ce processus équivaut à la conversion des entrées sensorielles, qui reconstruisent ces potentiels neuronaux provenant des cônes rouges en une représentation colorée du monde.

- *Savez-vous comment le cerveau réalise ça ?*

- On éprouve encore de la difficulté à comprendre comment ça se passe, mais l'on peut deviner pourquoi. Si les humains ont acquis les filtres de

¹²³ Pourquoi le cerveau voit-il la couleur rouge plutôt que les longueurs d'onde correspondantes ou, en fait, toute autre forme de représentation physique ? Bien que cela puisse sembler ridicule, pourquoi n'entendons-nous pas les couleurs plutôt que de les voir ? Pour les gens normaux, la physique donne la réponse : les ondes électromagnétiques, contrairement aux ondes sonores, ne nécessitent aucun support matériel pour se propager, car elles ne produisent pas de mouvements mécaniques. Par conséquent, elles ne peuvent pas perturber les molécules d'air, qui permettrait d'entendre un son. Cependant, pour les personnes souffrant de synesthésie (c.à.d. : une maladie rare, où deux sens ou plus s'entremêlent), il est littéralement possible d'entendre, de ressentir et goûter les couleurs. Par ailleurs, les chauves-souris utilisent une sorte de sonar pour se localiser et pour repérer des objets dans leur environnement, afin de compenser le manque de lumière. Une telle forme de visualisation intérieure aurait pu émerger de la sélection naturelle chez l'homme, en tant que moyen de remplacement pour localiser des objets dans l'espace, plutôt que le sens de la vision.

couleur et si les chauves-souris ont développé une capacité de ‘sonar’, c’est parce qu’être capable de repérer plus rapidement leurs prédateurs ou proies les a rendus plus compétitifs dans leurs habitats respectifs. Chaque filtre de couleur offre aux espèces une facilité accrue pour identifier les patterns et contrastes essentiels à leur survie.¹²⁴

- *Vous m'avez convaincu qu'il existe dans notre cerveau l'équivalent d'au moins un langage de traitement intermédiaire. Cependant, pourriez-vous préciser si le code source du cerveau est compilé ?*

- Revenons à mon exemple de couleur. Comment savoir si les trois lettres R, E et D ensemble désignent la représentation physique de la couleur rouge ? Plusieurs étapes sont nécessaires pour faire cette association. Je dois d'abord identifier le code source, qui dans ce cas est évidemment l'anglais.

- *Cependant, si vous aviez utilisé les lettres V, I, O, L, E et T pour votre exemple, vous ne sauriez pas immédiatement si c'est en anglais ou français.*

- Oui, mais le contexte m'aurait probablement donné l'origine du code source. Avoir étudié le code source (p. ex. : en anglais) aiderait également, car un Chinois serait incapable de comprendre la signification associée aux lettres.

- *Hormis les connaissances relatives au code source lui-même, y a-t-il d'autre savoir nécessaire ?*

- Il faudrait avoir appris l'association entre le mot RED et ses ondes électromagnétiques. Cette association est équivalente au processus observé dans les machines consistant à donner un sens à l'entrée sensorielle, pour la transformer en données.

- *Cet apprentissage est le résultat de quel processus ?*

- C'est par l'éducation et l'apprentissage que le cerveau crée ces liens.¹²⁵

¹²⁴ Les couleurs observées ne sont pas subjectives, ni objectives, mais plutôt relatives. Chaque personne a une appréciation différente des couleurs observées, fonction de la présence en nombre relativement plus important de l'un des trois types de cônes cellulaires. Par exemple, sans cônes liés au spectre rouge, une personne souffrira de protanopie, mais pourra toujours voir la longueur d'onde se refléter sur les objets à travers les autres cônes ou bâtonnets.

¹²⁵ Un bon exemple pour illustrer la façon dont ces liens sont pris pour acquis une fois appris est le tableau intitulé ‘La trahison des images’ de l'artiste surréaliste René Magritte, qui représente une pipe assortie des mots ‘ceci n'est pas une pipe’. En effet, avec cette

- *Comment faut-il compiler ce code source ?*

- De manière à le rendre compatible avec la représentation cérébrale du monde. Le mot RED peut alors s'associer dans mon esprit à la représentation physique de l'énergie électromagnétique équivalente, à travers ce processus de compilation.

- *La possibilité d'acquérir le code source (p. ex. : anglais ou français) résulte-t-elle d'un comportement appris ou est-elle génétiquement transmise ?*

- Pour Chomsky, la structure linguistique sous-jacente est déterminée biologiquement dans l'esprit humain. Tous les hommes et femmes partagent la même structure linguistique, quelles que soient leurs différences sociales et culturelles. La langue est un développement évolutif unique aux êtres humains.¹²⁶

- *Vous m'avez présenté les mouvements rationaliste et empiriste. La vision rationaliste de Chomsky ne se heurte-t-elle pas à une vision empirique du langage plus réaliste ?*

- Je suis d'accord avec Chomsky pour dire que le cerveau peut naître avec de telles capacités linguistiques. Cependant, c'est par l'enseignement et la pratique que l'on acquiert des compétences linguistiques. Nous nous souvenons tous d'histoires d'enfants élevés par des loups, incapables de s'exprimer avant d'avoir appris une langue, en société. »

Je me suis mis à penser que les machines et le cerveau subissent un double processus de traduction, du niveau le plus bas au plus élevé, donnant ainsi du sens aux entrées sensorielles. Bien que l'on soit tenté de croire que leur mode de traduction est similaire, une différence majeure subsiste toujours. Contrairement à un PC, pour lequel une entité indépendante (c.à.d. : un programmeur) interfère avec ce processus pour

affirmation, l'artiste souligne que la représentation la plus réaliste d'une pipe ne constituera jamais une pipe.

Même si une des premières théories linguistiques affirmant que le langage limite notre perception a été en grande partie discréditée, nous éprouvons tous des difficultés à penser de manière cohérente à propos de quelque chose pour lequel il nous manque un mot. Par exemple, le mot portugais 'saudade', qui au mieux est traduit par 'regret ou aspirant à être avec quelqu'un ou quelque part d'autre', n'a pas vraiment de traduction qui capture ce sentiment ou cette perception de cet état d'esprit. De surcroît, il est possible de se référer aux descriptions de nuances de couleur obtenues à l'aide de mots (p. ex. : bleu de Klein ou de Prusse), qui aident assurément à visualiser dans notre tête ces teintes.

¹²⁶ N. Chomsky, Lyons, John, H. Penguin., Éd., 1978.

établir les instructions, chez l'homme, le libre arbitre décide des objectifs et des intérêts à poursuivre et, au moyen des instructions traitées dans notre esprit, définit nos actions en conséquence.



Comment les ordinateurs génèrent-ils de l'information ?

« Monsieur, vous avez indiqué que les données se transforment en information lorsqu'elles sont corrélées adéquatement avec d'autres données. Comment mon ordinateur embarqué s'y prend-il ?

- Prenons mon exemple de système de chauffage. Pour optimiser le coût et le confort de 100 appartements, il faudrait connaître pour chaque donnée transmise, l'heure à laquelle est survenue leur quantification. Pour être facilement comparables, les données doivent être synchronisées, c'est-à-dire horodatées.¹²⁷

- Quelle est l'équivalence de la corrélation des données dans le cerveau ?

- Les milliards de neurones communiquant ensemble produisent des ondes cérébrales qui sont la représentation physique d'impulsions électriques synchronisées. La liaison entre données est réalisée par synchronie, via des ondes appelées gamma.

- C'est vrai. Vous m'avez déjà dit que deux neurones oscillant de manière synchrone dans le même spectre gamma, contribuent à la même représentation consciente.

- Et lorsqu'ils vibrent simultanément en dehors de ce spectre, ils contribuent à une même représentation inconsciente. Ce processus

¹²⁷ Les ordinateurs utilisent une horloge en temps réel pour synchroniser tous les composants d'une carte mère ou d'un processeur. Celle-ci régule la synchronisation et la vitesse de toutes les fonctions informatiques. Cela se fait par le biais d'un cristal sur la puce, qui vibre à une fréquence spécifique lorsque l'électricité est appliquée. Le cristal émet une impulsion continue qui aide l'horloge à maintenir l'heure exacte. Dans un système, l'horloge de la CPU n'est pas suffisante pour corrélées toutes les données. En effet, une horloge intégrée à un équipement autonome donnera une heure différente de celle d'autres capteurs ou machines. On utilise donc, une horloge maîtresse, qui n'est rien de plus qu'une horloge précise fournissant des signaux, afin de synchroniser les autres horloges sur le réseau. Dans le cas de capteurs connectés, internet peut faire office d'horloge maîtresse.

temporel de liaison des activités neuronales permet le processus de corrélation des données sensorielles provenant de différents sens, émotions et pensées. Grâce à ce processus, les données deviennent des informations.

- Une fois les données d'entrées d'un capteur converties, numérisées et corrélées avec d'autres data, ces informations nouvellement créées codifiables, compilables et exécutables sous forme binaire, conformément aux instructions définies dans un code source. Quelles sont les étapes suivantes d'un processus d'apprentissage machine ?

- Il faut décider comment traiter ces données. Soit, on les exécute immédiatement via une instruction provenant d'un programme ou bien on les stocke pour utilisation ultérieure. Bien que certaines fonctions soient exécutables directement au niveau du capteur (p. ex. : l'affichage), les data sont généralement transmises via des réseaux fixes ou sans fil, pour créer des informations traitables à distance.¹²⁸ »



Qu'est-ce que la révolution Internet des Objets ?

« Monsieur, comment les données sont-elles transmises dans un système pour que ce traitement ait lieu ?

- Pour qu'elles soient traitées indépendamment du codage propre au capteur, elles ont besoin de suivre un ensemble de règles. Je vais te décrire le standard informatique de facto permettant aux réseaux de communiquer des données : les règles TCP/IP.

- Vous faites référence à internet ?

- Oui, il existe différentes manières de présenter les couches constituant le fondement de l'internet des objets (Internet of Things ou IoT). Bien que le terme IP (Internet Protocol) ne fasse référence qu'à une de ces couches, il décrit généralement tous les niveaux fournissant la connectivité réseau. Ceux-ci spécifient comment formater, adresser, expédier, acheminer et

¹²⁸ Le terme 'bus informatique' est utilisé pour la transmission de données à l'intérieur d'un PC. Chaque type de bus définira son propre jeu de connecteurs pour relier physiquement les équipements. Ils sont généralement classés en fonction de la tâche qu'ils effectuent. Le bus de données transfère de la data. Le bus d'adressage contient des informations sur l'emplacement de ces données. Le bus de contrôle transmet des signaux indiquant l'état de l'équipement.

livrées les données à la bonne destination. Pourrais-tu me fournir une définition de TCP / IP ?

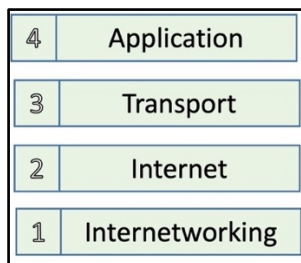


Figure 15 : TCP/IP est généralement décrit comme ayant quatre couches (ou cinq, si l'on intègre la couche physique). Source adaptée par l'auteur.

- Le protocole internet est orienté données, transférant des paquets de data sur des réseaux de communication commutés. Il contrôle, et permet la connexion et le transfert de données entre deux points de terminaux informatiques. Il spécifie les protocoles pour différents types de communication entre périphériques connectés et fournit un cadre pour des normes plus spécifiques.

- En effet, il comporte quatre couches différentes : application, transport, internet et inter-réseau.

- La couche application est l'endroit où fonctionnent les protocoles de niveaux supérieurs et inclut tous les processus impliquant des interactions entre utilisateurs ou périphériques.¹²⁹
- La couche transport regroupe les protocoles de contrôle de flux et de connexion. Cette couche traite de l'ouverture et de la maintenance des liens, assurant ainsi la réception efficace des paquets de data.¹³⁰
- La couche internet définit les adresses IP, avec de nombreux schémas de routage pour la navigation des données, d'une adresse IP à l'autre.
- La couche inter-réseau décrit les protocoles utilisés pour faciliter l'accès aux supports partagés et les protocoles physiques, ainsi que les

¹²⁹ Exemple : protocole de communication HTTP utilisé sur le World Wide Web ou SOAP, protocole d'échange d'informations structurées lors de la mise en œuvre de services Web, utilisant des messages XML via des réseaux et HTTP.

¹³⁰ Les protocoles les plus connus sont TCP (Transmission Control Protocol) pour la transmission unicast et UDP (User Data Protocol) pour la communication multidiffusion.

technologies permettant à des hôtes individuels de communiquer via un support physique.¹³¹

- Tout le monde est au courant de la révolution IoT qui connecte de plus en plus d'objets de la vie quotidienne. Pourquoi repose-t-elle sur la technologie IP ?

- Cette technologie IP est la langue numérique universelle depuis quarante ans et devrait le rester encore de nombreuses années, quelles que soient ses limites actuelles. Il s'agit d'une technologie logicielle robuste et éprouvée qui permet à un ordinateur de communiquer sans avoir à créer de traductions spécifiques (c.à.d. : coder en dur les interfaces entre deux applications), comme par le passé. La suite de protocoles TCP / IP est au cœur de cette révolution, mais nécessite un environnement approprié, susceptible de favoriser une connectivité aisée entre périphériques.¹³²

- Avant de décrire quels concepts et technologies sont appliqués dans un tel environnement, pouvez-vous expliquer pourquoi c'est si crucial pour l'acquisition de connaissances machine ?

¹³¹ À mesure que de nouvelles technologies matérielles apparaissent, de nouveaux protocoles d'accès au réseau doivent être développés pour que les réseaux TCP / IP puissent utiliser ce nouveau matériel. Par conséquent, il existe de nombreux protocoles d'accès (p. ex. : WLAN, WIFI et Ethernet), un pour chaque norme de réseau physique (p. ex. : couche physique Ethernet, fibre optique, câbles coaxiaux et câbles à paires torsadées).

¹³² Cet environnement doit inclure :

- Réseaux fixes et sans fil rapides : il n'existe pas de communication sans medium par lequel les données peuvent être échangées. Comme les cordes de la gorge, qui créent des sons voyageant dans l'air, il doit exister un moyen de transmettre et de transporter des messages à travers le monde. Les réseaux IP à large bande, développés par les opérateurs de télécommunications, fournissent une telle capacité.
- Plate-forme de prestation de services (Service delivery platform) : elle fournit généralement des services (contrôle, création et orchestration) et des environnements d'exécution. En d'autres termes, elle établit des règles de fonctionnement.
- Architecture logicielle ouverte : si les gens ne savent pas à qui parler, nous sommes dans une situation où tout le monde reçoit toutes les conversations, aboutissant à une cacophonie. Les machines doivent également comprendre quelles informations leurs sont pertinentes et quels autres périphériques doivent accepter quel type de données. L'architecture orientée Service, avec son approche de services ouverts, le permet.
- Architecture pilotée par les événements (Event-driven architecture) : dans un monde sans humain, les machines doivent envoyer des informations pour transporter des données à d'autres périphériques, afin que le système puisse prendre des mesures précises. Ces déclencheurs sont définis par des événements simples (p. ex. temporels) ou complexes (p. ex. caméra identifiant une personne située dans une zone interdite).
- Plug-and-Play : un monde où il n'est pas nécessaire de programmer pour que chaque machine puisse communiquer, simplifie l'introduction de milliers de produits M2M. Dans ce monde M2M, l'auto-découverte (self-discovery) est la voie à suivre.

- Pour la première fois, les technologies permettent l'échange de données et la communication entre composants, ordinateurs, machines et systèmes sans aucune interférence humaine, ni nécessité de programmer des interfaces spécifiques. En d'autres termes, un ensemble complet d'information sera rassemblé et structuré sans que les humains aient à intervenir pour orchestrer le flux provenant des appareils connectés. Tout cela s'appelle la communication machine à machine (M2M). »



Les informations machine génèrent-elles du savoir ?

« Monsieur, pourquoi la communication M2M génère-t-elle tant d'enthousiasme, dans tant de secteurs industriels ?

- J'ai donné l'exemple d'une application de gestion de l'énergie contrôlant des thermostats, mais la réalité est que la M2M redéfinit déjà tous les secteurs d'activité, d'une manière ou d'une autre. Par exemple, dans mon livre 'L'avènement des véhicules électriques autonomes',¹³³ je montre comment la communication entre équipements change les meilleures pratiques dans le domaine de la maintenance des transports.¹³⁴

- De quelle façon ?

- Passer de la maintenance corrective à la maintenance prédictive réduit l'ensemble des coûts d'exploitation, augmente la disponibilité des trains et améliore la ponctualité du service. Ces pratiques reposent sur des modèles et programmes qui analysent beaucoup de données afin de détecter des patterns, permettant au système de prévoir quel est le meilleur moment pour effectuer la maintenance.

- Vous devez faire références aux modèles d'apprentissage profond ? Les informations fournies par ces modèles peuvent-elles être considérées comme du savoir ?

- Je le crois vraiment. Je vais maintenant parler d'architectures logicielles, reposant sur la technologie internet, qui assurent l'acquisition,

¹³³ S. Van Themsche, The advent of unmanned electric vehicles, Springer, Éd., 2015.

¹³⁴ Les connexions en temps réel de milliers d'appareils, à bord des trains ou en bordure des rails, permettent de modifier les procédures et processus de maintenance. Plutôt que de réagir à un problème, des algorithmes spécifiques prédisent maintenant le risque de défaillance, en fonction de paramètres de fonctionnement spécifiques.

la structuration et le stockage des données. En d'autres termes, je vais te démontrer que les machines sont désormais capables de générer des connaissances structurées à partir de milliers d'appareils interconnectés et de milliards d'entrées de données.

- *Ne pensez-vous pas que beaucoup de gens soient sceptiques quant à la capacité des machines actuelles à acquérir des connaissances sans intervention humaine ?*

- Oui, car ils imaginent que les machines ne génèrent que des data ou tout au mieux des informations non structurées. Qui plus est, quand elles le font, c'est grâce aux moteurs de recherche.

- *Monsieur, pouvez-vous revenir sur les arguments que vous avez invoqués quand vous parliez des cyberistes ?*

- D'accord. Les quatre arguments possibles sont :

- Les machines sont incapables d'accéder à la connaissance.
- Elles ne génèrent pas des informations structurées, qui sont à la base de ce savoir.
- Elles ne peuvent fournir du savoir, mais seulement des informations que les humains transformeront en connaissance.
- Les ordinateurs seuls, ne peuvent écrire les règles de recherche qui transforment l'information en savoir.

- *Malgré tout le respect que je vous dois, le premier argument est totalement ridicule !*

- Oui, effectivement ! Les ordinateurs et serveurs en ligne ont accès aux mêmes données internet que nous et qui plus est, je peux même dire que les ordinateurs sont meilleurs à ce jeu, puisqu'ils font le travail de recherche pour nous.

- *Pouvez-vous démontrer que les machines structurent des informations sans intervention humaine ?*

- Je vais le faire en décrivant les nouvelles technologies logicielles ainsi que les réseaux sémantiques que j'ai brièvement abordés.

- *Qu'en est-il du troisième argument ? »*

- C'est un argument plus difficile à traiter et il faudra réintroduire la définition de la connaissance, cette fois d'un point de vue machine, après avoir présenté les technologies qui soutiennent ma contre-argumentation.

- *Comment allez-vous gérer le dernier argument ?*

- Cet argument souligne que sans les instructions de codage du programmeur, il n'y aurait aucun moyen d'analyser des données et de donner un sens, en soi, à une telle source d'information. Cette critique sera traitée en temps utile car elle intègre la notion d'exécution et de processus de réflexion, que nous pouvons mieux associer au concept d'intelligence.

- *Monsieur, pourriez-vous me donner un aperçu des nouvelles technologies qui contrent une telle critique ?*

- La technologie d'apprentissage profond (Deep Learning) est une discipline informatique relativement nouvelle associée à l'IA, qui utilise les technologies des Réseaux Neuronaux Artificiels (RNA) pour imiter le traitement parallèle qui se produit dans notre cerveau.

- *Qu'ajoutent ces technologies aux ordinateurs classiques ?*

- Elles leur permettent d'identifier des tendances sans aucune entrée spécifique provenant des humains. En d'autres termes, à partir d'informations totalement aléatoires un ordinateur peut détecter, des patterns en créant son propre ensemble de règles et ainsi, copier le processus d'apprentissage associé à la connaissance. Cela dit, je vais maintenant me concentrer exclusivement sur la réfutation des deuxièmes et troisièmes critiques. Pour cela, je dois introduire des technologies associées aux réseaux ou à l'IoT et reporter toute discussion sur les Réseaux Neuronaux Artificiels. »



Comment les ordinateurs en réseau fonctionnent-ils ?

« Monsieur, avant cela, pouvez-vous me dire quelle communication nécessite la M2M ?

- La communication entre machines a avant tout besoin d'un réseau stable, qui assure le transfert systématique de data entre milliers d'appareils connectés. C'est particulièrement crucial dans les domaines où la vie des personnes pourrait être en jeu en raison d'une panne de communication (p. ex. : dans des environnements de voitures et de trains sans conducteur). Ainsi, la sélection de la topologie de réseaux appropriés, permettant une communication sécurisée, est cruciale pour les véhicules autonomes.

- *Qu'est-ce qu'une topologie de réseau ?*

- C'est la disposition des éléments dans le réseau (c.à.d. : liens ou nœuds), en particulier les interconnexions physiques et logiques entre routeurs. La disposition des éléments d'un réseau donne lieu à certaines topologies de base, qui peuvent ensuite être combinées pour former des réseaux hybrides, plus complexes. Il existe plusieurs types de topologies de réseau (bus, étoile, anneau, etc.), mais je t'en ai dessiné trois types usuels : maillage, arborescence et hybride.¹³⁵

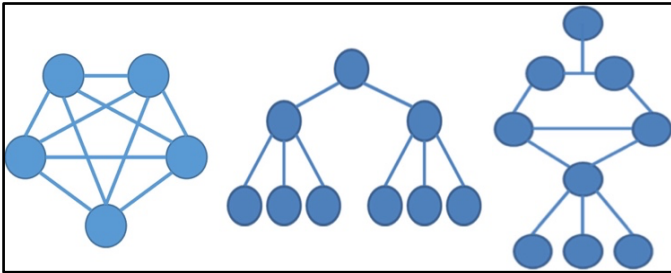


Figure 16 : Structure de réseau : maillage, arborescence et hybride ; source auteur

- *Y a-t-il une équivalence dans le cerveau humain ?*

- Les neurones forment des réseaux grâce à leurs synapses connectées. Dans notre corps, les informations acheminées par les influx nerveux se déplacent dans une direction unique (p. ex. : les neurones sensoriels et moteurs transmettent respectivement des informations vers et depuis des interneurones) ou bien dans les deux sens (p. ex. : interneurones).

- *Monsieur, dans mes propres réseaux modernes, le flux de données est bimodal, ce qui me permet de recevoir et transmettre les données.*

- Le flux diffère également entre plateformes informatiques, types de stockage et installations réseau. Si les réseaux neuraux de mon cerveau étaient similaires à tes réseaux IP, la capacité de mise en réseau permettrait

¹³⁵ Réseau maillé (Mesh network) : il s'agit d'une topologie de réseau dans laquelle certains nœuds sont connectés à plusieurs autres, via une liaison point à point. Cela permet de tirer parti de la redondance physique fournie par cette topologie maillée, sans les coûts et la complexité requis par une connexion entre chaque nœud du réseau.

Réseau arborescent (Tree network) : il s'agit d'une topologie de réseau hiérarchique où le niveau supérieur est connecté par des liens point à point à d'autres nœuds de niveaux inférieurs ou intermédiaires, dans la hiérarchie.

Réseau hybride (Hybrid network) : ce type de topologie de réseau est composé d'une ou de plusieurs interconnexions de deux réseaux ou plus, basés sur différentes topologies physiques. Les réseaux hybrides utilisent une combinaison de deux ou plusieurs topologies de sorte que le réseau résultant ne présente aucune des topologies standards.

à n'importe lequel de mes neurones de communiquer avec tous les autres de mon corps. Ce n'est pas le cas, puisqu'ils suivent la règle de Hebb.¹³⁶

- *Qu'est-ce qui est meilleur : un flux de données à deux ou à un sens ?*

- L'abstraction du message et son indépendance par rapport à son support de transport ajoutent une plus grande flexibilité au routage des données dans les PC, que dans le cerveau. Cependant, moins de flexibilité ne signifie pas nécessairement moins de capacité. En fait, comparer les synapses aux routeurs est une erreur.

- *Quel est le rôle alors d'un routeur de réseau ?*

- Cet équipement redirige les paquets de data, permettant ainsi aux données de traverser différents types de couches physiques (p. ex. : sans fil, fil de cuivre ou fibre optique) et de technologies (p. ex. : WI-FI, Ethernet, W-LAN). Les routeurs transmettent les paquets IP en fonction des adresses réseau. Ils utilisent plusieurs protocoles, avec des caractéristiques spécifiques organisant les réseaux fixes ou mobiles.

- *Pourquoi la comparaison entre routeurs et synapses est-elle erronée ?*

- Ce n'est pas vraiment parce qu'il n'y a qu'une seule couche physique de réseau de neurones dans le corps. En effet, il existe plusieurs types de synapses, utilisant différentes protéines pour transmettre les influx nerveux, s'adaptant aux divergences entre cellules voisines. Non, la grande différence est liée au fait qu'une synapse joue deux rôles distincts.

- *Qui sont ?*

- Une fonction de redirection des messages et de capacité de stockage mémoriel. Ainsi, une synapse est davantage comparable à un microprocesseur, qu'à un commutateur de routage. En fait, je t'ai déjà dit qu'une synapse peut contenir l'équivalent de mille commutateurs On / Off à l'échelle moléculaire et, avec 86 milliards de neurones, cela signifie que le cerveau compte environ 86.000 milliards de connexions.

- *Ces chiffres sont astronomiques et empêche toute comparaison possible.*

- Bien qu'ils semblent imposants et soient souvent invoqués comme argument pour prouver la supériorité de l'homme sur la machine, la réalité est un peu plus complexe.

¹³⁶ Les neurones qui se connectent ensemble, s'activent ensemble.

- *Cela ne prouve-t-il pas la supériorité de l'homme sur la machine ?*

- Souvent, les connexions neuronales ne permettent qu'une communication à sens unique. En outre, selon le principe de Hebb, ces connexions sont généralement fixées, à un moment donné. Lorsque l'on considère ces deux spécificités, on réduit considérablement le nombre de réseaux de neurones disponibles.

- *Monsieur, est-ce parce qu'au lieu de considérer un PC autonome, vous utilisez une approche système pour votre argumentation ?*

- Oui, et dans ce cas, les capacités de traitement de la machine augmentent de manière exponentielle. Les réseaux modernes dotés de fonctions de multidiffusion (multicast) peuvent acheminer simultanément un flux de données vers des milliers de postes de travail. Ainsi, un PC peut envoyer des milliards de bits à des milliers d'autres pouvant stocker ou exécuter de telles données via leur propre milliard de transistors.¹³⁷

- *Qu'en est-il de la vitesse de communication et de traitement ?*

- J'y venais. En effet, il est essentiel de prendre en compte, pour cette comparaison, la vitesse de communication et d'exécution. Comme chaque neurone nécessite du temps pour se repotentialiser, il ne peut envoyer des informations que toutes les 2 millisecondes.

- *Donc il ne peut s'activer que 500 fois par seconde.*

- En effet, ce qui est bien loin des 3,7 GHz d'un ordinateur. En d'autres termes, avec ses 3,7 milliards d'opérations par seconde, et sans même envisager le traitement multicœur, qui permettrait d'augmenter encore davantage cette vitesse, les processeurs peuvent exécuter des instructions 7,4 millions de fois plus rapidement.

- *Puis-je en conclure que la rapidité et la flexibilité de la connectivité de mes ordinateurs embarqués compensent largement le nombre plus élevé de neurones et de connexions synaptiques chez l'homme ?*

- Tu le peux, et j'aimerais maintenant parler de la couche d'adressage, associée au protocole internet, qui procure également de plus grands avantages aux ordinateurs.

¹³⁷ Cette agilité au sein des réseaux modernes est obtenue grâce aux plates-formes SDP (Service Delivery Platform) qui dissocient les applications (via un middleware) des serveurs informatiques, des installations de stockage et des ressources réseau. SDP fait référence à un style architectural appliqué à l'infrastructure de télécommunication et à ses applications métier, qui se concentrent souvent sur l'intégration des télécommunications.



Comment Internet adresse et transporte les données ?

« Monsieur, pourquoi la plupart des gens présentent-ils les technologies internet avec les couches d'adressage et de transport regroupées (TCP/IP) ?

- Tu dois voir le Protocole Internet (IP) comme rien de plus qu'une lettre ou un colis à déposer dans le système postal.¹³⁸ Cependant, il n'y a pas encore de lien direct entre cette lettre et son destinataire.

- Qu'apportent les protocoles TCP / IP ainsi regroupés ?

- Ils établissent une connexion entre deux correspondants afin d'échanger leurs messages. Puisque jusqu'à tout récemment, le trafic sur internet était majoritairement dû à un équipement (p. ex. : un PC ou un téléphone) envoyant des données (p. ex. : une application HTTP sur internet) à un autre, ces deux protocoles étaient toujours en arrière-plan. Cela fonctionnait bien car le protocole TCP prenait en charge cette approche de transport unicast (c.à.d. : un émetteur pour un destinataire). Le protocole IP s'occupait quant-à-lui, des problèmes d'adressage.¹³⁹

- Je vois sur internet que la diffusion multicast a chamboulé ces protocoles.

- Tout à fait. TCP est incapable de prendre en charge le transport multicast, c'est-à-dire les données envoyées d'un émetteur à un ensemble de récepteurs abonnés, comme dans les médias sociaux. Pour cela il faut utiliser un autre protocole, tel qu'UDP. Ainsi, une combinaison de

¹³⁸ Une adresse IP est composée de 32 bits, divisés en quatre octets de 8 bits. Chaque octet est ensuite converti en décimal et séparé par un point (p. ex. : 160.24.96.255). Ces quatre octets sont décomposés pour fournir un mécanisme d'adressage, qui prend en charge les grands et petits réseaux (c.à.d. : réseaux de classe A, B et C). Les bits de l'octet identifient le réseau et le nœud / hôte (périphériques connectés tels qu'un commutateur ou un PC). Par exemple, la classe A possède 8 bits pour le réseau et 24 pour le nœud. Pour un appareil connecté à un réseau Internet public, le fournisseur de services attribue cette adresse de manière dynamique toutes les 24 heures. Les réseaux privés peuvent l'envoyer de manière dynamique à partir d'un routeur ou d'un serveur DHCP. Par ailleurs, les périphériques peuvent recevoir des adresses fixes.

¹³⁹ Pour identifier de manière unique un appareil, ce protocole attribue systématiquement une adresse aux appareils sur le réseau.

protocoles UDP et IP permet le transport multidiffusion et l'adressage IP.¹⁴⁰

- *Je vois également que les ingénieurs ont introduit le protocole Internet version 6 (IPv6) pour substituer une version plus ancienne.*

- La version 6 utilise des concepts et protocoles quasi identiques à IPv4, et remplit donc les mêmes fonctions : adressage, encapsulation, fragmentation, réassemblage, remisage ou routage de données. L'une des différences majeures entre les deux versions, expliquant cette évolution, réside dans le fait que la version plus ancienne n'utilise qu'une adresse 32 bits, par rapport à 128 bits pour IPv6.

- *Ça signifie que cette nouvelle version élimine les limitations en termes d'adresses disponibles de la version 4, avec seulement 2^{32} possibilités pour le réseau et ses hôtes, car il y a désormais 2^{128} adresses, soit 340 sextillions d'adresses potentielles !*

- L'installation universelle de routeurs IPv6 permettra la révolution M2M, libérant ainsi la puissance de milliards d'appareils ayant une identité unique et pouvant communiquer ensemble.

- *Je suis un peu perdu. Comment cet ensemble de protocoles fonctionnent-ils ?*

- Permetts-moi de revenir à ces protocoles internet d'origine et de te montrer comment on encapsule les données pour les envoyer d'un appareil à l'autre. Ici, regarde. Le diagramme ressemble à celui que je te présente.¹⁴¹

¹⁴⁰ Les paquets multidiffusion (multicast) et unicast IP se distinguent par l'utilisation d'une classe spéciale d'adresses de destination. Contrairement à la transmission par uni-diffusion (c.à.d. où les données sont envoyées d'un point à tous les autres), les clients de multidiffusion reçoivent un flux de paquets de data uniquement s'ils ont déjà décidé de joindre l'adresse du groupe de multidiffusion spécifique. L'appartenance à un groupe est dynamique et contrôlée par les destinataires (à leur tour informés par les applications clients locaux). Les routeurs d'un réseau de multidiffusion déterminent quels sous-réseaux ont des clients actifs pour chaque groupe de multidiffusion et optimisent la transmission des paquets de data. Le mode multidiffusion est utile si un groupe de clients requiert simultanément un ensemble commun de données et lorsque les clients peuvent recevoir et stocker des données conjointes, pour leur traitement ultérieur.

¹⁴¹ Internet traite l'information de la façon suivante. La couche d'application code les données et les envoie à la couche de transport. Celle-ci divise les données en segments gérables et ajoute une donnée sur le numéro du port. Elle place son en-tête au début et envoie ce paquet complet (TCP - en-tête + app - données) à la couche IP. Sur les mêmes lignes, la couche IP place son en-tête devant les données reçues de TCP. La couche IP ajoute des adresses, indiquant d'où viennent les données et où elles vont. Ainsi, la structure du

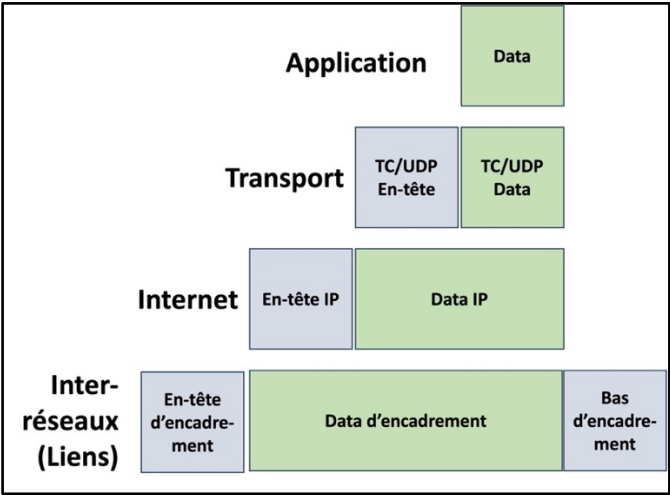


Figure 17 : Niveaux de gestion des données ; source adaptée par l’auteur

En-tête du lien	En-tête de réseau	En-tête de Transport	Data
10-23-34-45-6600 17-4D-09-7F-73	105.22.8.200 79.99.210.100	:60 1/2	<gospel>Serge</gospel>
10-23-34-45-6600 17-4D-09-7F-73	105.22.8.200 79.99.210.100	:60 2/2	<gospel>Van Themsche</gospel>

Tableau 4 : Listes d’adresses utilisées dans le transport de données ; source auteur

- Existe-t-il une équivalence dans le cerveau correspondant à l’adressage des données et leur transport ?
- Non. L'un des principaux avantages du monde cybernétique réside dans cette possibilité d'extraire des données et informations de sa couche physique, via ce processus d'encapsulation.
- Comme la structure du réseau neural est à la fois utilisée pour transmettre et stocker des données, le cerveau est-il en mesure de séparer

datagramme IP devient : IP - en-tête + TCP - en-tête + app - données. La couche Ethernet reçoit alors le datagramme IP et ajoute sur cette ligne, son propre en-tête. Cette adresse MAC spécifie maintenant le périphérique matériel d'où provient le message et le matériel auquel il est destiné. Ensuite, le paquet entier est transmis sur le réseau.

le message du support ?

- Non. Si pour une raison quelconque, le cerveau perd un médium (p. ex. : un neurone ou ses synapses), d'autres neurones sont susceptibles de perdre leur capacité d'activation conjointe. Cela peut alors se traduire par l'effacement de la totalité des souvenirs associés.¹⁴² »



Comment les machines génèrent-elles des données structurées ?

« Monsieur, si je reviens au deuxième argument contre les machines générant par elles-mêmes des informations structurées. Il est clair pour moi maintenant que nous, machines, les générons via les processus d'adressage et d'encapsulation. Ce que vous n'avez toujours pas prouvé, c'est que les machines peuvent créer cette information sans intervention humaine.

- J'ai indiqué que le cerveau génère des informations en fonction de ce qu'il juge important, à un instant t. Il les crée en évaluant ce qui est différent des patterns attendus, prédits en fonction de séquences déjà stockées.

- Pourriez-vous à nouveau me donner un exemple ?

- Pas si vite. Je vais te montrer que l'équivalence des processus perceptuel et attentionnel du cerveau existent également dans les systèmes. Pour cela, je dois te présenter deux architectures informatiques, qui génèrent des informations sans aucune implication humaine.

- Quelles sont ces architectures ?

- La première est appelée Services (Service Oriented Architecture). C'est un style architectural d'un système informatique permettant de créer et d'utiliser des processus d'entreprise, regroupés sous forme de services. Cette architecture Services définit et contrôle l'infrastructure informatique, permettant ainsi à différentes applications de participer aux mêmes applicatifs métier. Ces fonctions sont associées de manière flexible au

¹⁴² Le découplage est impossible dans notre cerveau. Au contraire, les technologies de réseau récentes définissent clairement la séparation entre la connectivité et les services qui s'exécutent au-dessus de la couche transport. Ainsi, lorsqu'un fournisseur souhaite activer un nouveau service, il peut le faire en le définissant directement au niveau de la couche service, sans prendre en compte les détails de la couche transport.

système d'exploitation et programmes d'un équipement, sous-jacents à ces applications.

- *Qu'apporte l'architecture Services ?*

- Cette architecture ouverte sépare les fonctions en plusieurs unités de services réparties sur un réseau et combinées pour créer de nouvelles applications. Ces services transmettent les data et coordonnent leurs activités interreliées.

- *Quelle est l'avantage d'une architecture indépendante de toute technologie spécifique ?*

- Des services indépendants dotés d'interfaces définies peuvent ainsi être appelés à effectuer leurs tâches de manière standard, sans que les services aient une connaissance préalable de l'application communicante. De même, l'application n'a pas besoin de connaître à l'avance comment ces services exécutent leurs propres tâches.

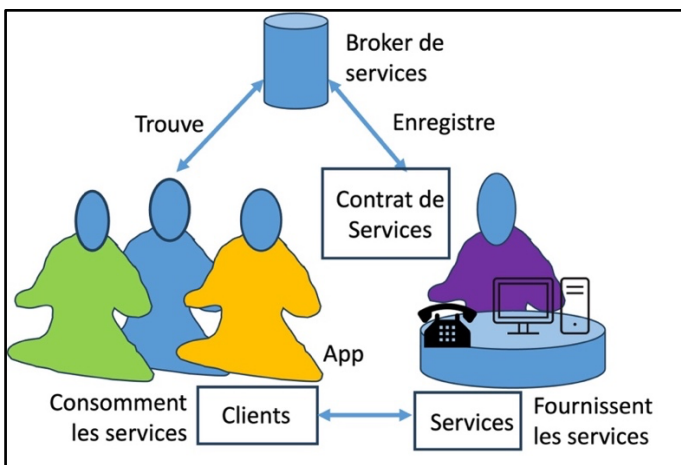


Figure 18 : Illustration de l'architecture Services avec un fournisseur de services (moteur principal sous-jacent aux services Web), un courtier et des consommateurs de services ; source auteur

- *Comment génère-t-elle des informations structurées ?*

- L'architecture Services permet aux différentes applications d'échanger des data et de participer à des processus métier, indépendamment du langage de programmation. C'est possible car les

appareils connectés ont des interfaces définies, pouvant être appelées à effectuer leurs tâches de manière standard.¹⁴³

- En d'autres termes, les données provenant d'un appareil connecté sont déjà structurées de manière que tous les services susceptibles d'utiliser ces données,¹⁴⁴ soient informés automatiquement lorsqu'elles sont transmises au réseau.

- Effectivement, tout système de communication inter-machines utilisant une architecture Services génère conformément à la norme et sans aucune interférence humaine, des informations structurées qui sont, nous l'avons vu, à la base de la connaissance.

- Monsieur, vous affirmez que les machines fonctionnant sur des architectures logicielles modernes, structurent l'information. En revanche, qu'en est-il de la critique selon laquelle ces données structurées ne sont que des informations et non des connaissances ?

- Pour trouver des contre-arguments, je dois introduire un autre type d'architecture appelée Événementielles (Event Driven Architecture), bien que, de nos jours, l'architecture Services et Événementielles soient souvent combinées pour ne former qu'une seule et même technologie.

- Monsieur, permettez-moi de récapituler pour voir si je vous ai bien suivi jusqu'à présent. Dans un monde pourvu d'humains, une structure logicielle utilisant une 'lingua franca' (IP), sachant à qui parler et sur quel sujet (architecture Services), selon des règles établies et par l'intermédiaire d'un réseau, serait suffisante. Cependant, dans un monde de machines, il faut encore régler un problème pour que cela fonctionne : quand les machines doivent-elles communiquer ?

- En effet, bien résumé ! Sans la notion d'événement, tous les équipements auraient la capacité de communiquer, mais seraient paralysés car ils ne sauraient pas quand le faire. Dans un monde de communication inter-machines, le 'quand' est déclenché par les événements qu'un logiciel doté d'une architecture événementielle peut fournir.

- Que propose cette architecture logicielle ?

¹⁴³ Tout appareil ou service intéressé par l'information pourra l'utiliser sans avoir à programmer une interface spécifique. Par exemple, un nouveau thermostat intégré à l'architecture SOA d'un bâtiment et utilisant des services Web pourrait automatiquement envoyer des informations utilisables par une application telle que la gestion de l'énergie.

¹⁴⁴ Et par extension les périphériques sur lesquels ils fonctionnent.

- Elle permet la détection et création d'un événement et sa compréhension par d'autres composants, et favorise la réaction de ces derniers par rapport à l'événement. La mise en œuvre d'applications transmettant des événements entre des composants logiciels et des services faiblement associés, crée ce modèle architectural.¹⁴⁵ »

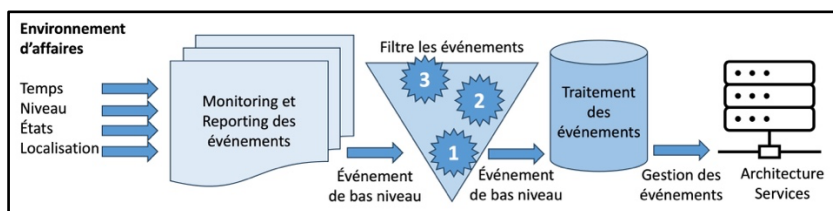


Figure 19 : Les architectures Services / Événementielles sont complémentaires et permettent de gérer des processus événementiels complexes ; source auteur



Pourquoi l'architecture Services crée la connaissance ?

« Monsieur, vous avez donné une définition du savoir basée sur une vision centrée sur l'homme. Si vous voulez prouver que les machines créent des connaissances, n'auriez-vous pas besoin de les redéfinir dans le contexte d'une machine ?

- Je vais te donner une nouvelle définition un peu pompeuse. Le savoir est une conviction réelle et justifiée, acceptée en tant que telle par une communauté de personnes, logiciels ou services possédant un savoir-faire approprié sur le sujet. Ceux-ci admettent que les méthodes utilisées pour prouver que les conditions de la tripartite ont été respectées, sont fiables et

¹⁴⁵ L'architecture Événementielle propose clairement deux fonctions : la sélection et le traitement des événements. Il s'agit généralement de consommateurs et de générateurs d'événements. Les consommateurs s'abonnent à un gestionnaire intermédiaire d'événements et les créateurs publient vers ce gestionnaire qui retransmet l'événement. En cas d'indisponibilité, ce gestionnaire peut livrer ultérieurement l'événement déjà stocké.

La création d'applications autour de cette architecture améliore la réactivité des systèmes qui sont par nature mieux adaptés aux environnements imprévisibles et asynchrones. De nos jours, les architecture Services et Événementielles sont combinées, car les systèmes d'entreprise tirent parti des fonctionnalités de ces deux architectures. En effet, une fois les événements déclenchés, ceux-ci peuvent rapidement être consultés et générés des services facilement accessibles aux équipements qui les consommeront.

ont enduré l'épreuve du temps. De plus, pour devenir connaissance, l'information doit avoir un sens pour l'homme ou la machine.

- Comment prouver une croyance vraie et justifiée pour une machine ?

- Je reprends mon exemple de gestion de l'énergie. Au sein d'une architecture Services, je peux affirmer que les informations fournies constituent une croyance réelle et justifiée pour le système, en autant que les résultats démontrent conjointement une réduction des coûts énergétiques et une optimisation du confort de l'utilisateur.

- La preuve de la vérité est donc selon vous, fonction des résultats ?

- Oui, une évolution positive confirmerait que les formules utilisées dans les algorithmes sont exactes. Une évolution négative, ou des résultats ne montrant aucune tendance réelle, généreraient au contraire des doutes dans ma conviction que j'ai bien formulé le modèle.¹⁴⁶

- Cela étant dit, vous devez encore prouver que les machines ont la capacité de fournir des informations utiles.

- Tout à fait. J'ai montré que la notion de signification est arbitraire. Ceux que nous appelons maintenant les cyberistes peuvent affirmer que le fait de savoir, par exemple, que la consommation totale d'énergie en kWh a été réduite de 15%, tout en maintenant un confort moyen de 22 ° C, ne constitue aucunement une connaissance en soi.

- Eh bien, de mon point de vue c'est le cas.

- Je suis d'accord avec toi. Pour un système chargé d'optimiser le confort et de réduire les factures d'énergie, il s'agit de la connaissance la plus critique. Je vais te montrer à quel point un tel argument cyberiste serait biaisé. Pour ce faire, je vais revenir aux concepts de réseaux sémantiques que l'on peut étendre aux architectures Services.

- Si j'ai bien compris ces réseaux reposent sur le concept de mots clés qui donnent une signification au contenu qui se trouve dans un texte ou dans une base de données. Ces clés sont aussi associables à une pièce musicale ou vidéo, pour en catégoriser le contenu.

¹⁴⁶ Il est possible de justifier qu'un modèle et ses formules mathématiques intégrées sont exacts en jugeant que les équations fournies par l'industrie ont déjà été optimisées au fil du temps ou, comme cela se produit dans des environnements critiques pour la sécurité (p. ex. : le ferroviaire), en exécutant en parallèle deux programmes différents, qui vérifient que, pour les deux ensembles d'instructions, tout défaut est pris en charge. Il existe donc des moyens faciles de prouver que les informations fournies constituent une croyance vraie et justifiée.

- C'est exact ! Par exemple ce livre pourrait utiliser ce qu'on appelle des étiquettes sémantiques : Connaissance, Gnoséologie, Épistémologie, IA, etc. Les nouvelles technologies et structures Web permettent désormais de faire correspondre le but de la requête d'un moteur de recherche avec la pertinence des pages Web ou du contenu identifié. Dans le passé, HTML utilisait une liste simplifiée de balises sémantiques : <h1>; <h2>; <titre>; <p>; ; .

- *Monsieur, cette structuration est somme toute limitée.*

- Avec la sortie de la technologie html5, plusieurs nouvelles étiquettes sémantiques ont été introduites, qui ajoutent un contexte et une signification sémantique beaucoup plus large comme : <article> ; <figcaption> ; <figure> ; <footer> ; <section>. En attribuant une valeur au contenu du document, le rédacteur peut fournir des informations contextuellement riches.

- *Est-ce suffisant pour créer les catégories et schèmes qui sont, selon vous, la 'colle' qui transforme l'information en savoir ?*

- Pour donner encore plus de contexte au contenu, il peut même attribuer des rôles aux catégories (p. ex. : rôles d'abstraction, de structure de document et de repère). Avec cette évolution du Web, on caractérise le contenu à un niveau de granularité fin, permettant des requêtes extrêmement pertinentes.

- *Puisque ces étiquettes sont applicables aux moteurs de recherche, les machines peuvent s'en servir pour coller les informations et créer ainsi du savoir.*

- C'est exact !

- *Monsieur, selon moi, vous devez toujours expliquer ce qui donne un sens à une information dans le cas de machines, pour prouver votre cas.*

- Je pensais que tu avais compris. Les événements sont ce qui donne un sens à l'information. Par événement, j'entends toute modification mesurée ou publiée dans un système, une plateforme, un composant, une entreprise ou un processus applicatif, qui passe le test de la tripartite.¹⁴⁷ Cela peut être aussi une recherche sur ChatGPT qui, selon le lecteur, semble logique.

¹⁴⁷ Ils peuvent être de haut niveau et orientés métier, ou de bas niveau à caractère technique. Le secret pour comprendre ce qui s'est produit est de connaître la cause de l'événement, au moment de l'incident. Par exemple, si l'un des thermostats affiche soudainement 0 ° C ou

- *Je suis désolé. J'aurais dû ! Ces solutions informatiques sont-elles encore considérées comme de la science-fiction ?*

- Non, regarde ChatGPT. Pour ce qui a trait aux systèmes M2M et bien que certains de ces concepts soient relativement récents, ces solutions existent déjà sur le marché. Mon expérience personnelle est que le monde de la sûreté en applique déjà depuis fort longtemps.¹⁴⁸

- *Vous devez encore vous attaquer à la troisième critique. Pour un cyberiste, les machines ne pourront jamais apporter des connaissances, mais seulement fournir des informations qu'une personne transformera en savoir.*

- Dans les machines, systèmes et ordinateurs, la connaissance est fonction des logiciels. Un ensemble d'instructions détermine ce qui doit être examiné et analysé.

- *Pourriez-vous me donner un exemple ?*

- Un conducteur doit tenir compte de millions de situations inattendues sur la route. Ce n'est pas pour rien qu'existe la règle d'or qui consiste à regarder à l'avant pour détecter toute situation anormale.

- *Moi aussi je dois visualiser ce qui est devant moi.*

- Oui, mais tu le fais à l'aide de lidars, radars ou caméras plutôt qu'avec des yeux. En d'autres termes, grâce à tes capteurs, tu prends conscience de situations potentiellement dangereuses. Le processus attentionnel, qui est généralement le premier mode d'activité de la perception humaine, déclenche un mécanisme dans lequel de nombreux neurones s'activent, amenant le cerveau à observer plus attentivement l'évènement déclencheur.

- *Quel est l'équivalent de ce processus attentionnel chez les machines ?*

- C'est également l'évènement qu'une architecture EDA, ou équivalente, peut détecter et utiliser pour induire une série d'actions potentielles. Dans un monde de communication entre machines (M2M) reposant sur cette architecture, la notion d'évènements significatifs est circonscrite par les limites imposées, définissant ce qui est une information normale et anormale.

70 ° C, l'application peut immédiatement détecter une défaillance et envoyer une commande automatique à un réparateur pour substituer le produit défectueux.

¹⁴⁸ J'ai participé à la mise en œuvre des technologies SOA et EDA dès 2008 (en utilisant UDP / IP avec SOAP et XML).

- *Avez-vous un exemple pour appuyer votre point de vue ?*

- Oui, dans un centre de contrôle sécurité sur lequel j'ai travaillé, toute situation anormale, telle qu'une personne marchant dans un tunnel de métro, était automatiquement soulignée et transmise aux bonnes personnes du centre d'exploitation. Cette personne recevait automatiquement des données de divers sous-systèmes (p. ex. : un système de signalisation indiquant si des trains allaient arriver, un système de supervision montrant si le troisième rail était sous tension électrique), fournissant une connaissance complète de la situation.

- *Vous décrivez en gros un système de systèmes permettant la structuration de l'information, avec ses connaissances associées les plus pertinentes.*

- Effectivement, ce processus automatisé imite ce que le personnel aurait fait, mais garantit que les meilleures pratiques soient toujours prises en compte en cas d'alarme. D'habitude dans ce genre de situation, le personnel est condamné à vérifier l'état des choses, à réfléchir aux prochaines étapes en s'efforçant de se souvenir de l'expérience ou des procédures déjà lues pouvant aider à adopter la meilleure marche à suivre.

- *Pourquoi concluez-vous que les machines peuvent créer du savoir ?*

- À mon avis, un système capable de fournir une connaissance complète de la situation et d'engager des actions liées à des problèmes identifiés, confirme que les machines ou systèmes peuvent être aussi bien informés qu'un agent de métro ou de sécurité hautement qualifié.

- *Ça prouve que la machine peut fournir aux êtres humains les informations dont ils ont besoin pour les transformer en connaissances ?*

- Affirmatif ! La réalité est que la machine fournit du savoir et, avec la technologie et les procédures appropriées, peut le faire plus rapidement et systématiquement. En fait, de tels processus machine n'ont pas à se fier à une mémoire humaine faillible, en particulier dans des situations stressantes.

- *Et ChatGPT dans tout cela ? Pourquoi ne pas avoir utilisé cet outil pour justifier votre argument que les machines créent du Savoir, plutôt que de l'articuler autour d'une approche système ?*

- Ce programme crée du savoir en synthétisant des connaissances déjà mémorisées en format électronique. Ce programme ne crée aucunement des connaissances nouvelles à partir d'informations structurées provenant de données, contrairement aux machines et systèmes utilisant des

architectures services, comme je viens de le démontrer. Les informations et le savoir doivent déjà être mémorisés pour que ChatGPT puisse exprimer toute sa puissance de synthétisation. Je souhaite aborder le sujet de la mémoire artificielle pour souligner mon propos que ChatGPT est avant tout un programme mémoriel. Je souhaiterais toutefois faire une pause. »



Comment l'ordinateur mémorise et stocke l'information ?

Quelques jours plus tard, alors que j'allais voir un ami atteint de la maladie d'Alzheimer, ma voiture reprend la conversation.

« Monsieur, je suis de retour dans mon enveloppe physique habituelle. Pourriez-vous m'expliquer pourquoi les humains oublient des choses élémentaires qu'ils ont apprises, comme le nom de leurs enfants, alors que les machines n'oublient jamais rien ?

- Encore une fois, tu te trompes. Selon leur architecture hardware, elles peuvent oublier des choses.

- Pourquoi est-ce lié au hardware ?

- Ce qu'un PC classique oublie ce n'est pas le résultat du traitement de donné, mais le processus par lequel il arrive à l'information.

- Donc je ne peux jamais perdre les informations calculées ?

- Exact. Les informations sont stockées sur des supports pour une utilisation ultérieure, de manière à pouvoir toujours les récupérer, le cas échéant. Ce processus fait référence aux composants informatiques, aux périphériques et aux supports d'enregistrement qui conservent les données et instructions, au cours d'une certaine période. Un PC stocke des données en utilisant plusieurs méthodes et technologies et sont classés différemment, en conséquence.

- Quelle classification pouvez-vous proposer ?

- La première organisation, qui est assurément la moins pertinente dans un monde de réseaux, est la distinction entre stockage interne et externe. J'ai utilisé le mot stockage, mais les gens utilisent souvent les mots mémoires interne et externe. Le stockage interne est composé d'une mémoire (appelée RAM pour Random Access Memory) utilisée pour le

stockage temporaire et d'un périphérique de stockage permanent (c.à.d. : un disque dur).¹⁴⁹

- *Quelle autre classification existe-t-il ?*

- Il existe un stockage primaire, secondaire et hors ligne. Le stockage primaire est conçu pour fournir des données et des instructions à l'ordinateur avant l'initialisation du traitement, à une vitesse compatible avec celle de l'unité centrale de traitement (CPU). Les données intermédiaires et finales y sont également stockées.¹⁵⁰

¹⁴⁹ Stockage externe : pour éviter de saturer la mémoire interne du PC, on utilise une mémoire externe via des périphériques connectés. La CPU ne peut accéder à ces informations stockées que si elles sont transférées dans la mémoire principale du PC. Bien que ce processus de stockage soit lent, il n'existe pratiquement aucune contrainte de capacité.

Stockage interne : il inclut toutes les fonctions de stockage directement accessibles par la CPU d'un ordinateur. Plusieurs types de stockage sont inclus dans cette terminologie, tels que la RAM, la mémoire cache et les registres spéciaux, ainsi que le disque dur. Cette mémoire interne est divisée entre la mémoire primaire et la mémoire secondaire.

Initialement, la mémoire externe à accès direct était fournie via des disquettes et a évolué vers des disques durs en matériau magnétique. Les disques optiques sous forme de CD ou de DVD sont utilisés pour stocker une plus grande quantité de données et existent sous forme fixe et effaçable. Les clés USB (p. ex. : cartes flash et disques) ont vu leur popularité augmenter au cours des dernières années. Contrairement aux équipements de stockage mentionnés précédemment, ils n'ont pas besoin de lecteurs ni de pièces mécaniques pour faire tourner les objets.

¹⁵⁰ **Stockage primaire :**

- Une puce ROM (Read Only Memory) est un mode de stockage non volatile, sans besoin d'alimentation pour conserver les données stockées. Son contenu non effaçable est stocké durablement. Une ROM fait référence à une mémoire câblée, utilisée par les fabricants de PC pour stocker des programmes de traitement standard (p. ex. : un langage d'assemblage).
- Les fabricants ont mis au point différentes technologies pour permettre la reprogrammation de la ROM : une PROM (ROM programmable) qui programmable une seule fois ; L'EPROM (PROM effaçables) est reprogrammable après une exposition aux rayons ultraviolets ; Les mémoires EEPROM (EPROM électriques), telles que la mémoire flash, peuvent être reprogrammées après avoir été effacées électriquement.
- Une RAM est un support de stockage haute vitesse accessible presque instantanément, car directement connectée à la CPU, via le bus mémoire. Pour cette raison, la RAM est utilisée pour stocker les données chargées par les programmes actifs et le système d'exploitation. Il permet un stockage adressable à partir duquel des instructions et des données sont directement chargées pour être traitées.
- Un registre situé dans le processeur consiste en une petite quantité de mémoire rapide, rapidement accessible par la CPU contenant les instructions ou data utilisées par la CPU.
- La mémoire cache joue un rôle de mémoire tampon, permettant un accès et une récupération plus rapides d'une copie d'instruction ou de données à partir des principaux périphériques de stockage. Elle se situe entre la CPU et sa RAM et est le lieu où les instructions et les données sont stockées. Elle est physiquement située à l'intérieur du

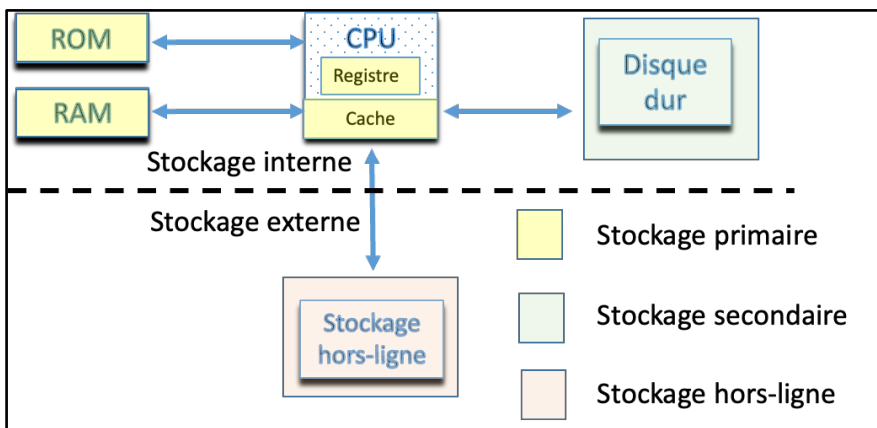


Figure 20 : Diagramme simplifié des outils de stockage d'un PC ; source auteur

- Pourriez-vous me donner des exemples de classification des composants ?

- Nous considérons les mémoires ROM, RAM, cache et registre comme des installations de stockage principales, puisqu'elles mémorisent des données directement accessibles par le processeur d'un ordinateur. Un disque dur est un stockage secondaire car il n'est pas directement connecté à la CPU.¹⁵¹ En effet, il envoie et reçoit des données via un bus d'entrées / sorties, qui passe généralement par un cache ou d'autres types de mémoires, avant que la CPU ne les traite. Contrairement à la RAM, il ne peut pas transférer de données rapidement.

- Comment mon ordinateur embarqué stocke-t-il ses données ?

- Contrairement aux êtres humains qui ne peuvent s'éteindre et se réinitialiser, les PC peuvent être mis hors tension pendant un certain temps.

processeur (cache interne) et sur la carte mère (cache externe). De nos jours, il existe au moins trois caches indépendants : une mémoire tampon d'instructions, de données et de traduction.

¹⁵¹ Les disques durs sont constitués de plusieurs pistes (cercles concentriques) sur lesquelles des données sont enregistrées sous la forme de minuscules taches magnétiques. La présence d'un spot est considérée comme un bit et son absence comme un zéro. Les données enregistrées magnétiquement peuvent être effacées et réécrites plusieurs fois.

- Mémoire SSD (Solid State Drive) est un support de stockage informatique composé de micro-puces de silicium, qui stocke les données de manière électronique plutôt que magnétiquement, comme le font les disques durs en rotation ou les bandes à oxyde magnétique. Ils sont composés de puces Flash ROM.

Cette spécificité a influencé la manière dont les fabricants ont développé les technologies de stockage.

- Certaines informations doivent être systématiquement accessibles lors de l'allumage de mon ordinateur embarqué. Comment cette exigence a-t-elle été prise en compte ?

- C'est particulièrement important pour les instructions qui ont besoin de formater l'ordinateur, afin de le démarrer et d'accéder à tous ses périphériques. Le processus d'ouverture d'un fichier le copie depuis le disque dur où il a été stocké de manière permanente dans la mémoire vive, où il est désormais modifiable. Toutefois, tout changement n'est pas pris en compte définitivement, tant qu'il n'est pas sauvegardé sur le disque dur.¹⁵²

- Monsieur, comment les données sont-elles récupérées ?

- Pour stocker et récupérer des données, les PC utilisent des mémoires adressables. Ce sont des séquences de bits de longueur fixe (c.à.d. : 32 ou 64 bits). Un numéro est attribué à chaque 8 bits (octet) dans la mémoire de l'ordinateur. La CPU l'utilise pour suivre l'endroit où les données et les instructions sont stockées. La CPU utilise le bus d'adressage pour communiquer l'adresse mémorisée à laquelle il souhaite accéder. Le contrôleur de mémoire lit l'adresse, puis place les données stockées sur le bus, afin que la CPU puisse les utiliser. Comme il existe de nombreux lieux de stockage dans la mémoire principale, chacun ayant une adresse physique, il existe un code que la CPU peut utiliser pour accéder à ces emplacements.¹⁵³

- Quelles sont les similitudes entre stockages biologique et numérique ?

- Bien que cerveaux et ordinateurs remplissent les mêmes fonctions de stockage et de récupération de données, leur fonctionnement est très différent, tout comme les résultats obtenus. Contrairement aux ordinateurs, qui, grâce à leur mécanisme d'adressage, récupèrent systématiquement les

¹⁵² Les informations permanentes qui ne peuvent pas être écrasées sont généralement situées sur une puce non volatile (p. ex. : une ROM). De nos jours, une ROM est effaçable, mais ce processus est difficile à faire pour garantir l'intégrité des données vitales. Un disque dur conserve ses données lorsque le PC est éteint, puisqu'il stocke ses données magnétiquement, mais contrairement à la ROM, il est réinscriptible. La RAM nécessite un courant électrique pour reproduire le même effet.

¹⁵³ La capacité du bus adressable limitera le nombre de bits mémorisables. Par exemple, un bus 32 bits adresse 2^{32} emplacements, soit 4,3 milliards d'adresses.

informations stockées, les êtres humains peuvent oublier ce qu'ils ont déjà expérimenté.

- Je pensais que nous avions en commun différents types de mémoires ?

- La mémoire humaine, comme je te l'ai déjà dit, est divisée en mémoire tampon, MCT et MLT. Les ordinateurs ont un stockage primaire et secondaire. La chose la plus simple à faire serait de comparer la MCT et MLT avec les mémoires primaire et secondaire, car il existe dans les deux cas une notion d'information stockée de manière temporaire et permanente. Cependant, les types de mémoires humaines sont divisés en fonction du temps. En d'autres termes, notre cerveau stocke distinctement des expériences immédiates, récentes et anciennes. Au contraire, les mémoires informatiques sont séparées par type d'échéances d'utilisation.

- Monsieur, une autre différence primordiale ?

- Oui, deux différences importantes ! Contrairement à la mémoire RAM, les performances de notre MCT fluctuent en fonction de la familiarité et de la connaissance d'un sujet. Une autre divergence majeure réside dans le fait qu'une MCT ne contient que des 'pointeurs' vers les MLT, tandis qu'une RAM contient une représentation similaire des données stockées sur le disque dur.

- Peut-on trouver dans votre cerveau une équivalence par rapport à ma puce de mémoire non volatile (p. ex. : une ROM) ?

- Nous avons vu que le système neuronal évolue avec le temps. Comme il n'y a pas de séparation entre message et support, et que la synapse stocke elle-même des informations, il n'existe théoriquement pas de mémoire non effaçable.

- Y a-t-il une équivalence avec la récupération de données dans le cerveau ?

- Les PC récupèrent les données en interrogeant leur adresse mémoire de façon précise. En revanche, un cerveau utilise une mémoire adressable par contenu, pour le faire. Grâce à l'activation de concepts étroitement liés, on peut se remémorer des mots. Avec seulement quelques indices clés, l'on peut récupérer un souvenir complet.

- Est-ce également possible pour les PC ?

- Oui, en construisant principalement des étiquettes sémantiques dont je t'ai parlé. Cette approche est utilisée par les moteurs de recherche Google pour accélérer et effectuer des requêtes plus pertinentes.

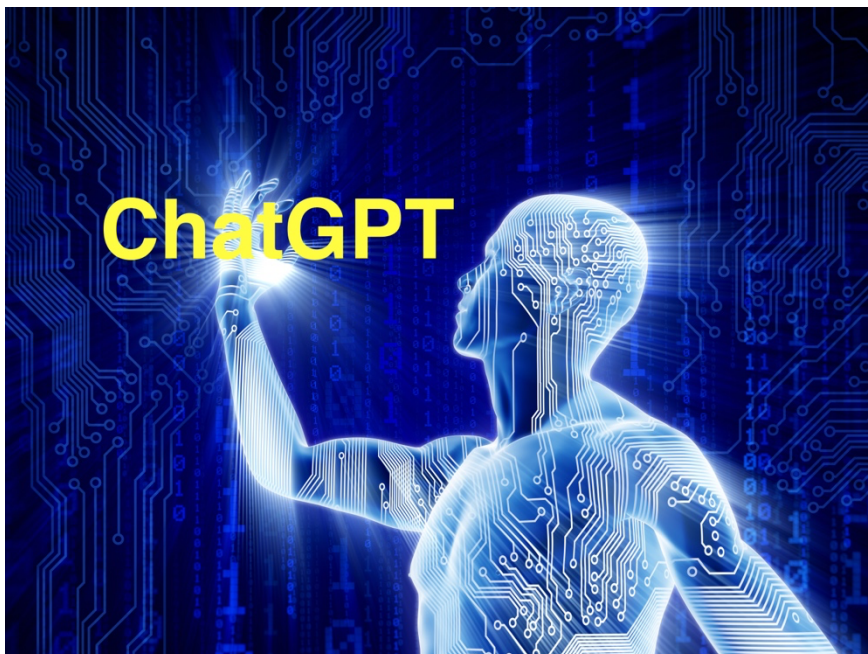
- Une dernière différence mérite-t-elle d'être mentionnée ?

- Oui, le même substrat neuronal effectue le traitement des données et le stockage en mémoire, tandis que les ordinateurs traitent les informations de la mémoire à l'aide de CPU, puis écrivent le résultat sur un support mémoire. Comme je te l'ai déjà dit, lorsque les neurones traitent des informations, ils modifient leurs synapses qui deviennent le substrat de la mémoire. En conséquence, la récupération d'information altère toujours la mémoire, la rendant généralement plus forte, mais parfois moins précise. Au contraire, chez les ordinateurs classiques (c.à.d. : basé sur des CPU), les informations mémorisées peuvent rester inchangées par ce processus.

- Je suis surpris que vous n'ayez pas abordé ce que je suis incapable de retenir, que vous avez décrit comme le processus de traitement des données ?

- Ce n'est pas ton cas puisque tu utilises des GPU et des algorithmes de dernières générations. Le problème c'est que tes algorithmes permettent une déduction qu'on associe souvent à l'intelligence artificielle. Laisse-moi un peu de temps pour voir comment aborder l'IA. »

5) L'avènement de la Connaissance Artificielle Forte



Trois jours plus tard, je me sens prêt à aborder les concepts liés à l'IA faible que les réseaux sociaux associent souvent aux chatbox.

« Tu es certainement familier avec les concepts de l'IA ?

- *Évidemment Monsieur.*

- Par analogie, j'aimerais développer la notion de Connaissance Artificielle (CA). Selon moi, nous sommes bien entrés dans l'ère de cette CA. En effet, comme je te l'ai expliqué, les machines sont actuellement capables de collecter des informations indépendamment de toute personne. Elles les structurent de manière à partager ces connaissances avec tous les autres périphériques connectés au réseau, sans que ceux-ci n'aient aucune connaissance préalable d'un autre équipement connecté.

- *Cela n'est-il pas aussi vrai pour les internautes utilisant ChatGPT ?*

- Oui, cet outil, ou d'ailleurs, le moteur de recherche Google, structure les données qu'il met à notre disposition. On a donc un accès immédiat à toutes les connaissances de cette planète, stockées dans l'ensemble des bibliothèques en ligne.

- *Ces deux outils sont-ils similaires ?*

- Les deux utilisent le traitement du langage naturel (Natural Language Processing) pour comprendre et répondre aux requêtes des utilisateurs. Cependant, ChatGPT est conçu spécifiquement comme un super chatbox, ce qui le rend plus apte à gérer des conversations complexes et à comprendre les entrées en langage naturel. Il a été formé avec un large modèle de langage LLM appelé GPT¹⁵⁴, le plus grand modèle de langage jamais développé, par la société OpenAI soutenue entre autres, par Microsoft, et qui comporte environ 175 milliards de paramètres.

- *Quelles sont les alternatives à ChatGPT ?*

- Elles incluent d'autres outils dits 'IA génératifs' tels que Google Bard (Gemini), Llama de Meta (opensource) et Microsoft Bing Chat, ainsi que des outils d'écriture basés sur l'IA tels que Jasper.

¹⁵⁴ (Large Language Model ou LLM) appelé GPT (Generative Pre-trained Transformer). Le traitement du Langage Naturel (Natural Language Processing ou NLP) est un domaine de l'IA axé sur la compréhension et le traitement du langage humain. Les LLM, quant à eux, sont des modèles spécifiques utilisés en NLP qui excellent dans les tâches liées au langage, grâce à leur grande taille et leur capacité à générer du texte.

- *Est-ce que les réponses données par mon programme similaire à ChatGPT, sont intelligentes ?*

- Elles ne sont pas idiotes, en général, mais pour être intelligentes tes programmes devraient disposer de la capacité de comprendre vraiment la complexité du langage humain. Tes programmes sont simplement formés à générer statistiquement des mots basés sur une donnée entrée préalablement, mais n'ont pas la faculté de saisir véritablement le sens derrière ces mots. Ça signifie que toute réponse que tu génères est susceptible d'être superficielle et de manquer de profondeur ou de perspicacité.

- *Donc elles sont erronées ?*

- Je n'ai pas dit ça. Elles sont encore basiques, mais en constante amélioration, tes programmes ayant tendance à intégrer le feedback des utilisateurs pour s'améliorer. Grâce à ces boucles d'apprentissage, ces technologies donnent accès à une source de savoir dont la fiabilité ne cesse d'augmenter.

- *Quel est l'impact de cet accès 24/7 au savoir mondial ?*

- Notre relation à la connaissance, en particulier la manière dont on l'acquiert, évolue fondamentalement pour le mieux. En diffusant le savoir, internet donne le pouvoir à quiconque souhaite accéder à l'enseignement supérieur par le biais de livres, documents techniques, de formations en ligne ou de conférences.

- *Pourquoi êtes-vous si sûr de l'impact positif d'internet sur la connaissance ? Après tout, il y a des 'fake news' et des erreurs de contenu.*

- Bien sûr, mais je crois que ces abus sont contrôlables. Prends mon exemple. Sans cet accès illimité aux publications scientifiques et autres, il m'aurait été impossible de te donner toutes ces informations.

- *Monsieur, vous ne m'avez pas encore pleinement décrit tous les intervenants de l'avènement de l'ère de la connaissance artificielle.*

- Dans nos conversations précédentes, je t'ai dit qu'un système basé sur la communication inter-machines, utilisant une architecture logicielle Services/Événementielle, générerait spontanément des connaissances, sans aucune interférence humaine. J'ai aussi introduit les modèles sémantiques utilisés par les systèmes de recherche tels que Google, pour souligner la rapidité et la pertinence des informations fournies, en rendant les connaissances accessibles à tous, y compris aux machines.

- *Cependant, vous conviendrez avec moi que l'on n'a abordé que brièvement les possibilités offertes par les nouvelles technologies logicielles, par exemple les technologies LLM et l'apprentissage profond (deep learning) qui offrent aux ordinateurs la capacité d'identifier des patterns, sans aucune contribution spécifique de la part des programmeurs ?*

- Je t'ai parlé brièvement de ChatGPT sans réellement te décrire cette technologie. Je vais donc te présenter cette technologie et te montrer qu'elle est plus logiquement associable à la mémoire qu'à l'intelligence.

- *Cela va à l'encontre de ce que disent les médias.*

- Pas nécessairement ! Bon nombre de technologues jugent l'application ChatGPT comme inintelligente et je vais essayer de te démontrer pourquoi. En même temps, je souhaite te montrer en quoi cette technologie diffère de celle classique des PC de type Von Neumann, en étant plus proche du traitement biologique du cerveau. Tu es certainement familier avec le traitement parallèle ?

- *Évidemment, contrairement au traitement séquentiel associé aux CPU, le traitement parallèle repose principalement sur des GPU et implique le calcul fait en concomitance sur différents sujets en utilisant des Réseaux Neuronaux Artificiels (RNA).¹⁵⁵*

- Oui, on parle pour les systèmes d'une architecture distribuée plus proche du cerveau humain où plusieurs processeurs situés sur des machines dispersées peuvent fonctionner indépendamment avec des points de synchronisation pour traiter les données. Les RNA s'appuient principalement sur ce type de matériel. Ils ne possèdent pas réellement de processeur et ne stockent pas les données dans une mémoire centralisée.

- *Comment alors retiennent-ils les résultats de leurs calculs ?*

- La mémorisation du système et la connaissance associée est répartie, tout au long de la connectivité du réseau, exactement comme dans un vrai cerveau.

- *Je ne comprends pas.*

¹⁵⁵ La principale différence entre un CPU (Central Processing Unit) et un GPU (Graphic Processing Unit) est que le premier gère toutes les fonctions principales d'un ordinateur, tandis que le second est un composant spécialisé qui excelle dans l'exécution simultanée de nombreuses petites tâches. Les CPU et GPU sont tous deux, des microprocesseurs à base de silicium.

- Cette mémorisation est encapsulée dans le processus de traitement sous forme de poids variables, à chaque étape du calcul. La connaissance est le résultat de ce réseau avec ses poids associés. »



Comment les RNA fonctionnent-ils ?

« Je ne comprends pas bien comment les RNA constituent cette connaissance. Pourriez-vous me 'prompter' pour m'aider à chercher les informations sur internet ?

- Il faut d'abord que tu recherches les information sur le perceptron. Il s'agit d'un modèle mathématique imitant les propriétés associées au neurone biologique. Dans les RNA, les signaux électriques entre neurones sont représentés par des valeurs numériques.¹⁵⁶ Au niveau du nœud (c.à.d. : l'équivalence des synapses dans le cerveau), ce signal électrique est renforcé ou affaibli. C'est ce que j'ai appelé le poids.

- Comment les systèmes modélisent-ils mathématiquement cette modulation ?

- En pondérant ce signal mathématiquement, le perceptron peut amplifier ou atténuer le signal entrant. De plus, s'il est négatif ou positif, il fournira des influences excitatrices ou inhibitrices à chacune de ces entrées (c.à.d. : tout comme chez les neurones biologiques).

- Vous m'avez déjà dit que les neurones biologiques ne s'activent que si le potentiel d'action qui en résulte, est suffisamment fort. Est-ce aussi modélisable ?

- Oui et dans ce cas, un perceptron calcule la somme pondérée de toutes ses entrées et applique une fonction d'étapes pour déterminer une valeur de sortie unique.¹⁵⁷ Celle-ci est ensuite transmise aux autres perceptrons, copiant ainsi le transfert entre neurones biologiques.

- Pourriez-vous m'illustrer le fonctionnement d'un perceptron ?

¹⁵⁶ Appelées un vecteur d'entrée.

¹⁵⁷ La somme pondérée de toutes ses entrées correspond au niveau d'intensité des signaux entrants et la fonction d'étapes est une fonction logique basée sur des seuils ou 'step function' pour déterminer cette valeur de sortie unique.

- Je t'envoie un dessin d'un RNA et une opération mathématique simple illustrant ce fonctionnement.¹⁵⁸

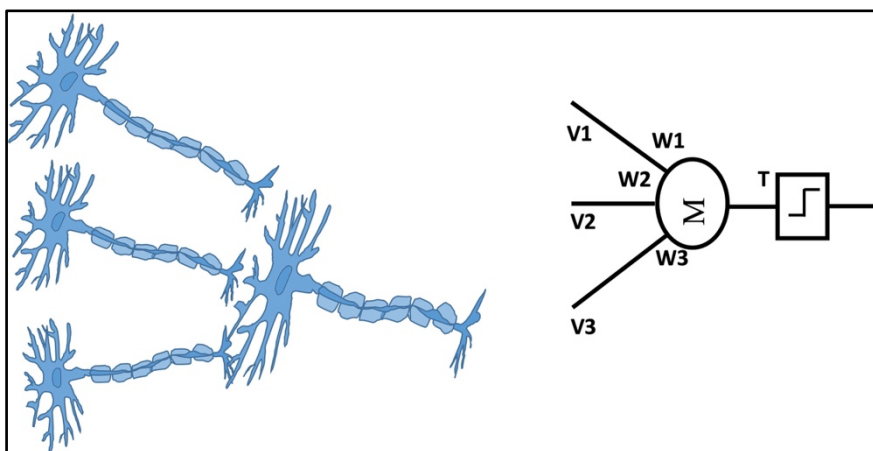


Figure 21 : Réseaux neuronaux biologiques et artificiels simplifiés ; source auteur

- *Monsieur, vous avez introduit le perceptron. Pourquoi les algorithmes en utilisent-ils plusieurs dans ce qui est appelé le multicouche (multi-layering) ?*

- Pour être utiles, les RNA doivent intégrer plus d'un niveau de perceptrons reliés entre eux, entre les couches d'entrée et de sortie. Comme je te l'ai dit, la connaissance provient de la répartition des poids au niveau de ces couches, tout le long du traitement. Plus il y a de couches, plus la connaissance sera précise. Toutefois et bien qu'il puisse avoir autant de couches que nécessaire, la complexité et la puissance de calcul requise pour traiter de nombreux niveaux peuvent en limiter le nombre.

- *Sur internet on fait souvent référence aux RNA de type feed-forward. Que sont-ils ?*

¹⁵⁸ Si on utilise 3 vecteurs, en entrées (V) et poids (W), pour un perceptron P et un seuil T :

- $P = V1 \times W1 + V2 \times W2 + V3 \times W3$ ou en utilisant le signe de la somme :

- $P = \sum_{i=1}^n (Vn \times Wn)$ somme de i à n de $Vn \times Wn$ avec dans ce cas $n = 3$

En utilisant le seuil T, on utilise une logique binaire avec fonction d'augmentation :

- Si $P > T$ alors 1, ou $P=1$ si $\sum_{i=1}^n (Vn \times Wn) > 1$ c.à.d. : cette somme est > 1
- Si $P < \text{ou} = T$ alors 0, qui peut également s'écrire $P = 0$ si la somme $\sum_{i=1}^n (Vn \times Wn) < 1$

Si l'on prend par exemple $V1 = 2$; $V2 = 2$; $V3 = 1$ et $W1 = 0,1$; $W2 = 0,2$ et $W3 = 0,3$. Alors le seuil de 1 n'est pas atteint ($P = 0,9$) et comme $P < 1$, la valeur résultante est 0.

- Dans ce type de réseaux, les connexions ne peuvent aller que dans une direction, de la couche supérieure à l'inférieure. Ils comportent plusieurs couches de neurones artificiels intermédiaires, chacune d'elles associant l'input de la couche précédente à un biais constant, et transmettant le résultat via une fonction non linéaire à la couche suivante.¹⁵⁹

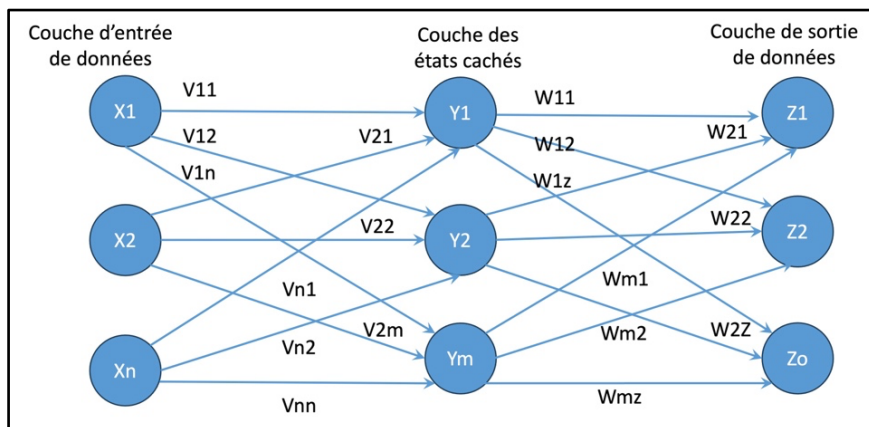


Figure 22 : Dans les réseaux RNA de type à anticipation, les données se déplacent dans une seule direction. Elles entrent par la couche amont et sortent par celle en aval, et passent par plusieurs couches cachées ; source auteur

- *Monsieur, quel est le principal avantage de ces RNA ?*

- On obtient en général, une bonne approximation de la fonction calculée. Malheureusement, une fois le calcul achevé, les RNA doivent recommencer tout à zéro sans retenir aucune leçon des résultats obtenus lors du processus antérieur. C'est pour cela que je t'ai indiqué que la mémoire se perd.

- *Je suppose que cette limitation est due à ce que ce type de réseau ne possède qu'un sens de direction.*

- Exact. La connaissance s'acquiert plus facilement s'il y a un retour d'expérience. C'est pourquoi des RNA à flux double sens, appelés RNA de rétroaction,¹⁶⁰ ont été créés. »



¹⁵⁹ Généralement, une fonction sigmoïde prend le calcul résultant et le ramène à une valeur comprise entre 0 et 1.

¹⁶⁰ Appelés aussi neurones de feedback ou retropropagation ANNs en anglais.

Qu'apportent les RNR ?

« Est-ce que les Réseaux Neuraux Récurrents (RNR) feraient partis de cette catégorie ?

- Effectivement, comme le nom le laisse entendre, ils sont conçus pour intégrer une série d'entrées de données selon une séquence spécifique. En d'autres termes, chaque input d'un neurone a une relation avec l'entrée ou sortie de ses neurones voisins et va donc exercer une certaine influence sur ces derniers. Leurs connexions renvoient dans le processus de calcul, le résultat calculé d'une couche inférieure.

- Techniquement, quelle est la différence entre un RNA et un RNR ?

- Les premières couches des RNR et RNA sont similaires. À partir des secondes, chaque neurone artificiel d'un RNR intègre des informations de l'étape précédente de calcul de la couche en amont, dans son propre calcul, contrairement aux RNA.

- C'est ce qui confère à ces derniers une sorte de capacité mémorielle, comme dans le cas d'un neurone biologique ?

- En effet, et c'est d'ailleurs pour ça que je t'ai dit que ce genre de réseau n'a plus vraiment besoin d'une mémoire externe.

- Parce que ce mouvement de calcul des RNR est essentiellement dynamique ?

- Oui, son état change continuellement jusqu'à atteindre un point d'équilibre qui constituera le résultat. Il restera à ce point, tant que l'on ne modifiera pas les inputs de données. En le faisant, le RNR recommencera le process et l'exécutera jusqu'à ce qu'il trouve un nouvel équilibre.

- Qu'est-ce qui rend les RNR et RNA si attractifs ?

- Outre le bénéfice du traitement d'événements simultanés avec des durations différentes, une caractéristique extrêmement fréquente dans la nature, ils offrent d'autres avantages importants. Contrairement aux ordinateurs classiques qui utilisent essentiellement un ensemble de calculs et de règles, ils peuvent fonctionner via des images et concepts. De plus, contrairement aux PC classiques de type 'von Neumann', qui apprennent via des règles, ils apprennent par l'exemple ou via l'action. Pour utiliser une image, dans les ordinateurs classiques, le processus d'apprentissage est descendant, alors que dans les RNA et RNR, il est ascendant.

- Toutefois et si j'ai bien compris, les RNR et les RNA se souviennent des choses apprises lors de leur apprentissage, mais les RNR contrairement aux RNA retiennent en sus, partiellement, la manière dont ils sont arrivés à un résultat au travers des poids conférés à chaque nœud ?

- C'est exact, ils ne repartent pas de zéro lors d'un prochain calcul, lorsque confronté au même problème ou sujet. Cependant, la technologie RNR n'est pas efficace sur deux plans. Elle possède un temps d'apprentissage long et sa mémoire est limitée lorsqu'il s'agit de se souvenir d'anciennes connexions. C'est ce qu'on appelle en informatique le problème de la disparition du gradient.

- Il est dû à quoi ?

- C'est un problème lié aux formules mathématiques des algorithmes où les résultats, après un certain temps, tendent vers zéro (ou vers l'infini). »



De l'utilité de RNR avec étapes intermédiaires additionnelles ?

« Donc mes circuits neuronaux sont différents des RNR classiques ? Pourriez-vous me donner un exemple qui m'aiderait à comprendre ?

- Revenons à mon exemple de félin avec la phrase : 'un chat est un mammifère à quatre pattes, disposant d'une longue queue, d'une fourrure, de deux grandes oreilles et de moustaches au-dessus de sa ...'

- ... Je vois que vous avez utilisé à dessein la phrase pour illustrer votre propos de la 'connaissance que'. Mon programme n'a aucune difficulté à trouver le mot 'gueule'.

- Toutefois, si tu utilisais un programme RNR, tu pourrais résoudre le problème 'un chat est un animal à quatre ...', mais aurais de la difficulté à trouver le mot 'gueule', étant donné la longueur de la phrase.

- Plus la distance entre les mots est longue, plus un RNR a de la difficulté à sélectionner le mot adéquat ?

- C'est ça. On peut comparer ce problème à celui des trous de mémoire. D'autres technologies de programmation existent pour résoudre le

problème de la disparition du gradient,¹⁶¹ associé à cette perte de mémoire, mais ne sont pas utilisées par des programmes tels que ChatGPT ou leur équivalent.

- *Je suis curieux. Lesquels ?*

- Je ne vais en mentionner qu'un seul : le programme appelé LSTM (Long Short Term Memory) que j'applique dans des applications où une série de données sont liées à des événements dans le temps.

- *Je vois dans Wikipédia que c'est un réseau RNR particulier, composé d'une cellule ainsi que de portes d'entrée, de sortie et d'une porte d'oubli.*

- Effectivement, pour résoudre le problème de la disparition du gradient, le programme LSTM utilise un module supplémentaire dans un réseau de neurones qui apprend quand il doit se souvenir et oublier des informations pertinentes. Son grand avantage par rapport aux autres RNR, est sa relative insensibilité à la longueur de l'écart entre mots, dans une phrase ou dans le temps. Il confère une longue mémoire à court terme qui peut perdurer durant un millier d'étapes de calcul.

- *Pourquoi me présenter seulement celui-ci ?*

- Il est pertinent par rapport à mon propos. Comme son nom l'indique, ce programme montre bien qu'il n'est pas intelligent, mais mémoriel. Il comprend les relations entre les éléments d'un événement ou les mots d'une phrase, surtout si elles sont horodatées et donc structurées. En d'autres termes, il traite de la connaissance, mais pas de l'intelligence.

- *Est-ce pareil pour ChatGPT qui je lis, utilise le programme appelé 'Transformer'.*

- Effectivement, le programme est différent d'un RNR classique et ajoute aussi des étapes de calcul intermédiaires au niveau des nœuds. Contrairement aux RNR classiques, Transformer n'exige pas que les données séquentielles soient traitées dans l'ordre. En sus, il repose sur une architecture encodeur-décodeur, basée sur des mécanismes d'attention. Toutefois, comme LSTM, ce programme est basé sur la mémorisation d'un grand nombre de données. »



¹⁶¹ Le programme LSTM (Long Short Term Memory) est un type spécial de RNR qui adresse ce problème et est utilisé dans les séries temporelles. Il a cependant été dépassé pour les modèles linguistiques, par le programme 'Transformer'.

Pourquoi ChatGPT est-il un programme mémoriel ?

« Pourriez-vous être plus spécifique ?

- Les modèles de type LLM sur lesquels ChatGPT repose sont des outils statistiques de prédiction de mots dans une séquence. Autrement dit, après s'être entraînés sur de grands ensembles de données, ces modèles déduisent quel mot est susceptible de venir après quel autre, et quelle phrase après une autre phrase. Ils ont été entraînés sur des données provenant de multiples sources telles que Wikipedia, des collections de livres et des scans de pages Web. Cet apprentissage intensif leur permet de déterminer de manière probabiliste quel mot suivra un certain texte d'entrée. Bien que les combinaisons qui en résultent soient convaincantes, ce résultat ne communique intentionnellement aucune idée sur le monde. Pour en revenir à mon argument principal, il n'y a aucun élément de gnoséologie sous-jacent, mais plutôt une recherche épistémologique.

- Pouvez-vous justifier votre argument ?

- Chaque nouvelle génération de ces modèles s'entraîne sur davantage de données que la précédente. Elle dispose aussi, au fil des années, de plus de neurones artificiels qui, chacun individuellement, améliore la collecte des statistiques sur les observations de mots. Mais ces versions ne comprennent pas vraiment ce que disent ces séquences de mots ni de quoi ils parlent. Toutefois, elles sont excellentes dans leur aptitude à rassembler ces informations afin de créer des statistiques sur ce à quoi ressemblent les textes. De plus, ces nouvelles versions nous renvoient toutes sortes de séquences d'une manière convaincante, car le texte ainsi reconstitué, ressemble beaucoup à ceux qu'ils ont vus plusieurs fois dans d'autres documents existants. Toutefois, le modèle ne comprend rien. D'ailleurs, il n'essaie même pas de comprendre.

- Le cerveau humain est-il si différent ?

- Oui, il structure les informations de telle sorte que nous puissions formuler des choses intéressantes et nouvelles, souvent d'une manière qui ne correspond vraiment pas aux statistiques existantes. Nous comprenons surtout de quoi nous parlons. Notre apprentissage tout le long de notre vie, nous permet de comprendre et de généraliser de manière systématique, à partir de peu d'information.

- *Mon programme s'entraîne donc sur des connaissances provenant de générations d'humains, mais les résultats ne se rapprochent toujours pas du niveau de compréhension de vos enfants ?*

- Je nuancerais ton propos. Ta connaissance sur n'importe quel sujet est bien supérieure à la mienne bien que sur un thème spécifique, elle puisse être plus limitée. Toutefois, ton intelligence est encore très loin de la mienne.

- *Comment mon programme Transformer permet-il cette connaissance artificielle ? De la même façon que le programme LSTM ?*

- Les programmes LSTM et Transformer ne sont pas si différents dans leur logique, même si ce dernier permet des temps d'apprentissage inférieurs et des modes d'entraînement bien plus simples.¹⁶² En effet, tous deux ajoutent une séquence de traitement intermédiaire aux niveaux de tous leurs nœuds, correspondant aux résultats antérieurs. C'est cette étape qui permet d'intégrer le feedback des résultats des traitements antérieurs.

- *Si j'ai bien retenu ce que vous m'avez dit, ce processus copie le processus neuronal.*

- Tout à fait ! Chez les neurones biologiques ce feedback est enregistré sous forme biochimique, au niveau des synapses. Chez les neurones artificiels, il est stocké sous forme mathématique, via les poids. On parle de synapse artificielle. J'aimerais aborder maintenant le modèle LLM, parce que sans cela on ne peut pas comprendre ce qu'est ChatGPT. »



Quelle est l'importance du modèle LLM ?

« Pourquoi LLM est si important ?

- ChatGPT, repose sur le traitement du langage naturel (NLP) dont le programme LLM en est une forme particulière, ainsi que sur une architecture RNR spécifique.

¹⁶² LSTM traite les entrées séquentiellement, une par une, n'optimisant pas les GPU, conçus spécifiquement pour le calcul parallèle.

- *Qu'apporte ce traitement du langage naturel ?*

- Il permet aux ordinateurs de comprendre le français ou l'anglais, que la question soit orale ou écrite. Il convertit les textes ou sons, en code que l'ordinateur peut comprendre.

- *Le modèle LLM comportent combien de phases ?*

- Il y a trois phases initiales que l'on qualifie de codification, suivies de la phase de calcul via l'architecture RNR spécifique que l'on peut associer à l'IA à proprement parler, et qui se termine par l'étape de décodification.

- *La première étape consiste donc à comprendre le sens de la requête et à la transformer en code exécutable par la machine ?*

- Oui, mais plus spécifiquement la première phase consiste pour ChatGPT à comprendre le contexte de la question posée. Pour ce faire, via son programme LLM, il analyse les mots utilisés et leurs relations mutuelles et code le contexte de la question (pas encore la requête elle-même, juste le sujet). Le programme compresse ce contexte en un vecteur long composé d'un nombre maximum d'éléments ¹⁶³ (p. ex. : 4086 éléments qui équivalent à des mots, représentés par des chiffres décimaux de -1,0 à +1,0). Ce contexte constitue le sujet, c'est-à-dire la catégorie de la requête.

- *Comment le programme fait-il pour déterminer ces catégories ?*

- ChatGPT utilise différentes techniques, comme réduire les mots à leur racine pour les traiter plus facilement.¹⁶⁴ Par exemple, les mots 'courir', 'court', 'cours', 'courent', et 'course' sont associés. Toutefois, les mots (il) court et court (de tennis) seront dissociés. On parle ici de processus de désambiguation des mots pour différencier les homonymes. Il utilise également l'association des règles linguistiques et syntaxiques aux mots de la phrase, définissant quels mots jouent quel rôle.

- *Pourriez-vous me donner un exemple ?*

- Utilisons la phrase simple : 'ChatGPT est un outil génial, n'est-ce pas ?'

- *Je suis curieux quelle est la réponse que vous donne ChatGPT ?*

¹⁶³ ChatGPT3 avait 2048 éléments, ChatGPT 4.0 en aurait 4086 et on parle même de 8000 pour le contexte, voire 32000 dans une nouvelle version.

¹⁶⁴ Cette simplification des mots est réalisée via les processus de la lemmatisation et de la radicalisation.

- La voilà : ‘Absolument ! ChatGPT est un outil exceptionnel qui a été développé pour offrir une expérience de conversation fluide et conviviale. Il est conçu pour répondre à une grande variété de questions et de sujets, en utilisant un langage naturel et une compréhension contextuelle. C'est un véritable atout pour les utilisateurs qui cherchent à obtenir des réponses rapides et précises. Alors, n'hésitez pas à poser vos questions ou à discuter de tout ce qui vous intéresse !’

- *Comment ChatGPT est arrivé à cette réponse ?*

- Le programme va identifier grâce à LLM, la langue (française) et la structure de la phrase : un nom (ChatGPT), un verbe (est), un complément d’objet direct (outil) ou indirect, un adjectif (génial), un élément lié à une question (n’est-ce pas), et une virgule et un point d’interrogation qui aide à cette structuration.

- *Est-ce qu’elle utilise à ce stade les règles de sémantiques dont vous avez déjà parlé ?*

- Oui, pour classer les mots de façon à comprendre la requête. D’ailleurs, cette classification peut comporter l’introduction de ‘tags’ soulignant une émotion. Par exemple, le mot ‘génial’ dans mon exemple, souligne un sentiment positif.

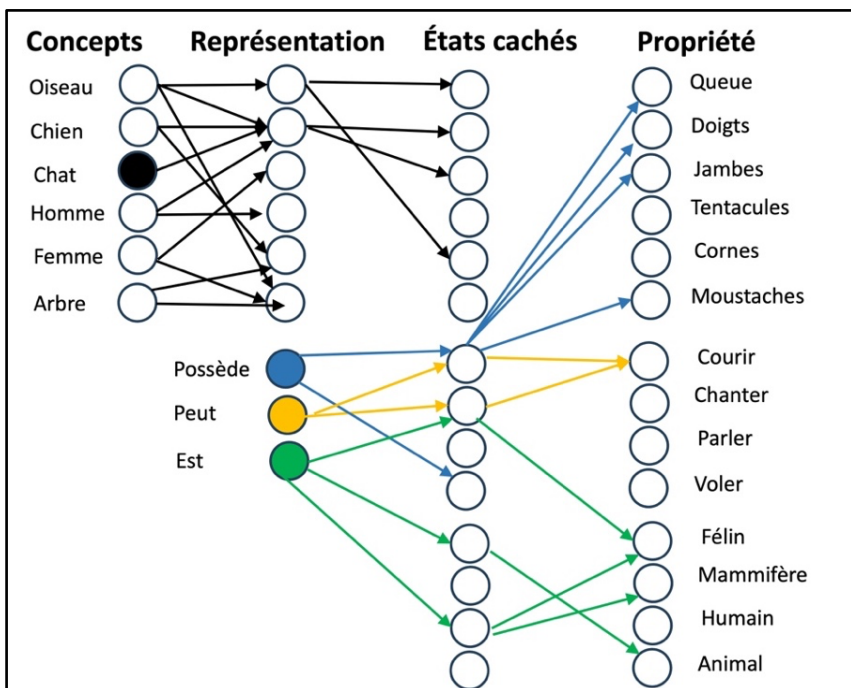


Figure 23 : Exemple de réseaux sémantiques appliqués aux RNA ; source auteur

- En quoi consiste la seconde étape ?

- La tokenisation est le processus par lequel une phrase (ou un mot) est décomposée en unités plus petites avec lesquelles l'ordinateur peut plus facilement travailler. Par exemple, la phrase 'ChatGPT est un outil génial, n'est-ce-pas ?' sera décomposée en 'Chat', 'G', 'P', 'T', 'est', 'un', 'outil', 'génial', 'n', 'est', 'ce', et 'pas'.

- C'est à ce stade que LLM vérifie le sens de chaque mot ?

- Plus précisément elle reconstruit la requête en intégrant chacun de ces tokens (mots contextualisés et simplifiés) dans la séquence de la question. Ces tokens sont ensuite comparés aux plus de 50.000 mots contenus dans un dictionnaire prédéfini. Cette recherche est en général faite directement dans la langue de la requête. C'est le cas pour le français. La recherche associe à chacun de ces tokens un vecteur ¹⁶⁵ (p. ex. : jusqu'à 4.096 éléments pour une version ChatGPT4.0 de base) qui les représente.

¹⁶⁵ Voici un exemple de vecteur de mot pour 'chat', dans un LLM hypothétique : [0,215, -0,387, 0,524, -0,129, 0,871, -0,076, -0,289, 0,674, 0,167, -0,462]. Dans cet exemple, le mot

- *En somme, une question contenant 100 mots contiendra 409.600 éléments vectoriels. Que se passe-t-il ensuite ?*

- Dans le cas de ma requête, mes douze mots pourront être vectorisés dans une question de 12×4.096 éléments.¹⁶⁶ Je dis pourront car certains mots peuvent aussi être éliminés. Par exemple, les mots 'un', 'n' et 'pas'. Ce vecteur passera par la suite par un mécanisme d'attention. Ce programme associe à chaque token, deux autres vecteurs de 64 éléments.

- *À quoi cette étape sert-elle ?*

- Je t'ai parlé brièvement de ce mécanisme qui pointe la direction des réponses. Ce mécanisme utilise ces deux vecteurs additionnels, appelés clé (key) et valeur (value). Le premier représente ce qui est vraiment important dans la requête. Le deuxième indique la stratégie pour répondre à cette requête. Les trois vecteurs sont ensuite combinés pour créer un nouveau vecteur.

- *Cette tâche simplifie-t-elle le calcul du RNR spécifique ?*

- Oui, en faisant cela, le moteur de recherche ne l'oblige pas à accorder un poids égal aux millions d'entrées, mais sélectionne quelle sous-section du vecteur de requête est cruciale pour répondre à la question. Cette étape est vitale pour éviter les problèmes mathématiques déjà mentionnés.

- *Monsieur, je sais que cela peut paraître contre-intuitif, mais jusqu'à présent nous n'avons fait appel qu'à des programmes mathématiques, sans aucune IA.*

- Tu as raison ! Ce n'est qu'à partir de la quatrième étape qu'on intègre le RNR spécifique à Transformer. Par le biais de ses 120 couches pré-entraînées par le modèle LLM, et ses 175 milliards de neurone artificiels, ChatGPT4.0 passe le vecteur de la question transformée par le mécanisme d'attention, dans ce processus d'apprentissage profond.

- *Au bout du compte quel résultat obtient-on à la quatrième phase ?*

vecteur pour 'chat' est à 10 dimensions, indiqué par les valeurs entre parenthèses. Chaque élément du vecteur représente une caractéristique ou un aspect spécifique de la signification du mot. Ces valeurs sont déjà connues grâce au processus de formation du modèle linguistique, qui a capturé les relations et les similitudes entre les mots en fonction du contexte dans lequel ils apparaissent. Ces dimensions capturent diverses propriétés sémantiques et syntaxiques des mots en fonction de leurs modèles de co-occurrence dans de grands ensemble de textes.

¹⁶⁶ 49.152 nombres constitués de décimales comprises entre -1,0 et +1,0.

- Après le traitement de ce vecteur transformé intégrant tous les tokens, le processus de calcul du RNR spécifique renvoie une probabilité de distribution. La qualité de ce résultat est affectée par les traces de tous les calculs antérieurs de ChatGPT qui se retrouvent sous forme de pondération, au niveau des 100 billions de synapses artificielles, comme dans les synapses du cerveau humain.

- Ce qui explique pourquoi ChatGPT s'améliore sans cesse. La dernière étape culmine sans doute avec la réponse en forme textuelle ?

- Le décodeur de ChatGPT prend la distribution de probabilité et trouve le mot le plus probable pour commencer la réponse. Ensuite, il reprend cette distribution statistique et génère le deuxième mot de la réponse, puis le troisième, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la distribution de probabilité appelle un token spécial de fin de requête. Par la suite, ChatGPT exécute encore quelques tâches pour vérifier que la réponse ainsi obtenue, soit cohérente, mais l'essentiel et fait. »



ChatGPT et le modèle 01 sont-ils intelligents ?

« Pourquoi ChatGPT est-il unique ?

- Je n'utiliserais pas le mot unique mais plutôt disruptif. Il l'est parce que ces réponses reçoivent un retour d'expérience sous forme d'appréciation humaine par rapport à la qualité des réponses fournies. C'est qu'on appelle l'apprentissage renforcé (reinforcement learning), une forme d'apprentissage machine.

- Cela consiste en quoi ?

- Pense à un jeu où ChatGPT cherche à gagner en utilisant plusieurs stratégies et pour cela expérimente diverses formulations de réponses. ChatGPT cherche à explorer diverses approches et de découvrir les chemins qui mènent au succès. ChatGPT reçoit alors un retour d'expérience pour chaque approche. Dans le jeu cela correspond à donner un score, c'est-à-dire à évaluer les performances de chaque stratégie.

- Ses réponses sont données sous quelle forme ?

- Sous la forme de récompenses ou de pénalités. Au fil du temps, ChatGPT affine ses stratégies, s'améliorant continuellement. À chaque jeu, le modèle cherche à optimiser sa stratégie pour maximiser ses points.

- Mais comment fait-il quand il ne connaît pas les règles du jeu ?

- Comme un joueur, il s'adapte aux défis différents à chaque niveau ou aux règles changeantes d'un nouveau jeu. L'apprentissage par renforcement lui permet d'adapter ses réponses à de nouveaux contextes et sujets, améliorant ainsi sa polyvalence. De plus, un des aspects clé de l'apprentissage par renforcement chez ChatGPT est qu'il cherche à équilibrer l'exploration de nouvelles choses et l'exploitation de stratégies efficaces connues. ChatGPT, comme un joueur expérimenté, apprend quand utiliser des approches conversationnelles éprouvées et quand en expérimenter de nouvelles.

- Comment fonctionne ses récompenses et pénalités ?

- Initialement, elles sont définies et implémentées par des développeurs humains. Ces derniers déterminent quelles actions le système d'IA mérite une récompense ou une pénalité. Une fois le processus d'apprentissage bien engrangé, la transmission effective de ces signaux de rétroaction est automatisée mais continue à être actualisée par le feedback des utilisateurs.

- En somme par le biais de ses interactions, le modèle reçoit des récompenses ou des pénalités en fonction de ses performances par rapport aux critères fixés par les humains.

- Parfaitement ! Cette configuration garantit une méthode cohérente d'apprentissage par l'expérience, mais pas forcément impartiale puisque influençable par le biais de ceux qui évaluent les réponses.

- Est-ce pour cela que la pertinence de ChatGPT est quelque fois mise en doute. Par exemple, certains affirment que la compréhension de problèmes liés à la connaissance s'améliore alors que sa précision en mathématique baisse, lorsque le problème est posé en langage naturel.

- C'est un peu exagéré mais possible. Comme ChatGPT utilise le retour d'expérience, si dix mille utilisateurs disent que ChatGPT s'est trompé et que $2 + 2 = 5$, ce programme ne dispose d'aucun moyen de réfuter l'énoncé et intégrera à la longue le chiffre 5, via cette fonction de récompense.

- Mes programmes sont idiots à ce point-là ?

- Non, parce qu'aucune personne bien intentionnée n'a intérêt à le faire, toutefois, cela illustre juste mon propos initial. Ces programmes ne

comprennent pas les mathématiques mais peuvent les décrire superficiellement par association, basée sur des distributions probabilistes. C'est d'ailleurs pourquoi ChatGPT introduit souvent des idées fausses, lorsque les documents de référence le sont aussi. Pour revenir aux livres de Hegel et Schopenhauer, ChatGPT ne possède absolument pas les raisonnements ni l'intelligence sous-jacente, pour réfuter les arguments justifiant un racisme fondé sur la science.

- *Est-ce que le modèle 01 vient compenser cette faiblesse ?*

- Plus ou moins. Le modèle 01 conçu par OpenAI a été formé à l'aide d'un nouvel algorithme d'optimisation, à partir d'un nouvel ensemble de données d'apprentissage spécialement adapté à produire une forme de raisonnement. En plus de l'apprentissage renforcé, ce modèle ajoute ce qu'ils décrivent comme une 'chaîne de pensées' pour traiter les requêtes, de la même manière que les humains traitent les problèmes en les parcourant étape par étape.

- *Ce nouveau modèle résout donc les problèmes mathématiques ?*

- Effectivement ainsi qu'améliore la programmation des logiciels mais ne peut pas encore parcourir internet ou traiter adéquatement des images et des fichiers.

- *Comment fait-il pour mieux raisonner ?*

- Au lieu de fournir une réponse le plus rapidement possible en utilisant l'approche de base du transformateur de poids et de comprendre quels mots sont associables, le modèle 01 cherche la bonne approche pour résoudre un problème en prenant plus de temps sur cette étape initiale.

- *Et c'est suffisant ?*

- Non. Le modèle 01 examine les réponses de différents scénarios, tout en synthétisant sa réponse finale. En gros, imagine que plusieurs chatbox GPT sont à l'œuvre au lieu d'un seul. Ces GPT travaillent ensemble, à chaque étape du processus, se guidant mutuellement, pour générer le résultat qui générera la meilleure ponctuation et donc le renforcement positif le plus grand. ChatGPT-4o a du mal avec cette approche collaborative.

- *Grâce à cette approche, le modèle 01 est donc intelligent ?*

- Pas encore ! La technique appelée Chaîne de Pensées est l'équivalent de ce qu'on appelle en mathématique la démonstration. Au lieu de passer directement à la réponse, le modèle 01 décompose les problèmes

complexes en petits morceaux et les aborde étape par étape. Toutefois, ce n'est pas pour autant qu'à chacune de ces étapes les scénarios envisagés par les différents programmes collaboratifs ou les méthodes utilisées pour résoudre le problème sont intelligents. Leur réponse repose sur les mêmes fondements statistiques du modèle ChatGPT de base, et est donc mémoriel.



L'avènement de la connaissance artificielle forte

- *Monsieur, vous m'avez convaincu que ChatGPT devrait être caractérisé comme un outil de connaissance artificielle plutôt que d'intelligence artificielle. Pouvez-vous alors, m'indiquer à quel stade de la CA en est-on ?*

- Pour ce faire, je vais utiliser une définition simple, similaire à celle de l'IA, à savoir : faible, forte et une super intelligence artificielle. Selon moi, il existe un fossé grandissant sur le plan du savoir général entre machines et humains. Toutefois, chaque humain possède sur certains sujets spécifiques une connaissance plus large. Par conséquent, avec des outils comme ChatGPT, je dirais que les machines sont entrées dans la phase de la CA forte.

- *De nombreuses personnes seraient probablement en désaccord avec votre point de vue.*

- Comme je te l'ai dit, on est conscient d'en connaître davantage sur un sujet maîtrisé que ce programme, mais on se rend bien compte que ChatGPT peut sortir des notions complexes sur n'importe quel sujet déjà traité dans des documents numérisés.

- *Cependant la Connaissance Forte ne requiert-elle pas que les machines aient toujours la bonne réponse ?*

- Non, pour moi, il faut qu'elles émettent seulement la meilleure réponse disponible, qui sera nécessairement basé sur des écrits numérisés. Les machines n'ont pas à développer la bonne réponse car cela relève de l'Intelligence Forte. Par exemple, discréditer les propos scientifiques justifiant le racisme.

- *Sur quoi repose votre avis ?*

- Pour moi, le fait que la connaissance provienne du résultat final de ce continuum que j'ai décrit avec le philosophe Peirce, supporte l'idée que la connaissance est une fin en soi. En d'autres termes, un savoir n'est pas perfectible immédiatement, au moment où quelqu'un lit ou entend quelque chose, mais doit plutôt passer par ce processus de justification d'une croyance vraie. En conséquence, et comme les connaissances accessibles sur internet te sont accessibles, toi ou toute autre machine pouvez aussi accéder à l'ensemble des connaissances disponibles.

- *Si tel est le cas et puisque je possède déjà tous les mécanismes (logiciels, matériel et procédures) pour acquérir, stocker et récupérer des informations, par le biais de nouveaux logiciels et de nouvelles architectures logicielles, chaque nouvelle génération de machines aura un accès meilleur et plus rapide au savoir.*

- C'est exactement mon propos ! Si nous excluons la partie intelligence de ce processus (c.à.d. : la manière de fournir du contenu), il me semble que les machines sont déjà supérieures à bien des égards, dans leur processus d'acquisition de connaissances. Les forces du marché conduisent les sociétés à améliorer constamment leurs produits. Ce processus aboutit à des systèmes aux capacités de détection croissantes, avec une agilité accrue pour manipuler des objets, grâce à des actionneurs de plus en plus précis.

- *De même, les PC sont déjà bien meilleurs que les humains pour stocker et récupérer des données.*

- Oui, et les nouvelles technologies ne feront qu'accentuer cet écart de mémorisation entre hommes et machines. De plus, des algorithmes comme ChatGPT permettent aux machines de gérer des masses de données, à une vitesse folle, en volume incommensurable pour un être humain.

- *Monsieur, vous avez accès à ces mêmes outils via Internet, 24 heures sur 24, 7 jours sur 7. Par conséquent, ne pensez-vous pas que votre téléphone est simplement une extension de votre cerveau ? Dans ce cas, les humains ne sont-ils pas déjà eux même entrés dans l'ère de la Connaissance Forte.*

- Tu es loin d'être le seul à penser de la sorte que nous sommes déjà des cyborgs.¹⁶⁷ Toutefois, dans un monde dominé par la communication machine-à-machine, les humains doivent compter chaque jour davantage

¹⁶⁷ A. Case, «We are all cyborgs now,» [En ligne]. Available: https://www.ted.com/talks/amber_case_we_are_all_cyborgs_now/transcript?language=en.

sur des algorithmes complexes, dont la vaste majorité d'entre nous n'avons jamais entendu parler. Il s'avère que les hommes, contrairement aux machines, vont juste être submergés par la masse de données à traiter et à stocker. Malheureusement pour notre ego, le fossé des connaissances entre les hommes et machines ne devrait que s'élargir, au fur et à mesure que le marché introduira de nouvelles technologies. »

Table des matières

1) Introduction	3
Qu'est-ce qu'un outil conversationnel ?	4
Pourquoi la connaissance et l'intelligence existent-elles ?	8
Les technologies subissent-elles la sélection naturelle ?	11
Le cerveau est-il un ordinateur ?	14
Comment éviter une représentation magique de la réalité ?	22
2) Les fondements du savoir	27
L'Homme seul est-il pourvu du savoir ?	28
Les différences entre données, information et connaissance ?	34
Existe-t-il une définition universelle de la connaissance ?	37
Les différences entre information et connaissance ?	41
Quelles sont les sources du savoir ?	49
Comment le savoir peut-il être représenté ?	51
Comment créons-nous des catégories d'Objet ?	56
3) La connaissance biologique	61
Quels sont les organes liés au savoir ?	62
Comment acquiert-on les données sensorielles ?	64
Qu'est-ce qui constitue le système neuronal ?	67
Comment l'entrée sensorielle devient information ?	73
Le cerveau est-il précâblé ?	79
Comment l'information se transforme-t-elle en connaissance ?	82
Qu'est-ce que la perception ?	85
Comment encode-t-on les informations sensorielles ?	88
Qu'est-ce qu'un engramme ?	90
Comment les souvenirs sont-ils stockés et remémorés ?	93
Pourquoi se souvient-on des choses ?	97
4) La connaissance artificielle	101
Les PC, machines et systèmes accèdent-ils au savoir ?	102
Comment les machines acquièrent-elle des données ?	105
Comment un système code-t-il les données ?	106
Comment les ordinateurs génèrent-ils de l'information ?	117
Qu'est-ce que la révolution Internet des Objets ?	118
Les informations machine génèrent-elles du savoir ?	121
Comment les ordinateurs en réseau fonctionnent-ils ?	123
Comment Internet adresse et transporte les données ?	127
Comment les machines génèrent-elles des données structurées ?	130
Pourquoi l'architecture Services crée la connaissance ?	133
Comment l'ordinateur mémorise et stocke l'information ?	138

5) L'avènement de la Connaissance Artificielle Forte.....144

- Comment les RNA fonctionnent-ils ?148
- Qu'apportent les RNR ?151
- De l'utilité de RNR avec étapes intermédiaires additionnelles ?152
- Pourquoi ChatGPT est-il un programme mémoriel ?154
- Quelle est l'importance du modèle LLM ?155
- ChatGPT et le modèle 01 sont-ils intelligents ?160
- L'avènement de la connaissance artificielle forte163

Merci à Erwan Hernot pour ses précieux conseils dans le domaine de l'IA.