

Histoire et théories scientifiques de l'attention

Histoire et théories scientifiques de l'attention

Plus de 100 ans après le début de la recherche scientifique sur l'attention, ce phénomène est toujours l'un des sujets les plus importants des neurosciences cognitives et cliniques : pas moins de 10 000 articles scientifiques publiés dans les 5 dernières années et portant le mot « attention » dans le titre peuvent être trouvés sur le moteur de recherche *PubMed*. C'est colossal, et pourtant, peu de consensus scientifique sur sa nature n'a vraiment été acté. Les études portent sur tous les niveaux d'organisation, depuis la cellule neuronale jusqu'aux réseaux cérébraux, en les corrélant aux données psychophysiques, grâce à une variété de techniques, de l'électrophysiologie à la modélisation informatique en passant par l'imagerie fonctionnelle. Selon les modèles scientifiques encore débattus aujourd'hui, l'attention peut être définie comme un état de vigilance, un filtre sélectif, une ressource en quantité limitée, un enchaînement de processus cognitifs, un processus neuronal spécifique ou encore des réseaux de connectivité.

Côté grand public, alors que la société de consommation nomme souvent l'attention « *notre temps de cerveau disponible*¹ » et se démène pour s'en accaparer, beaucoup pensent que l'attention est un phénomène maîtrisé car connu de tous. Rappelons toutefois qu'Edward B. Titchener, un éminent psychologue qui formula les 7 lois fondamentales de l'attention en 1908, l'appelait déjà « *le nerf de tout le système psychologique* », et rappelons aussi l'importance des revenir aux études scientifiques pour permettre de mieux définir ce qu'est l'attention. Voici une présentation chronologique des différentes théories scientifiques de l'attention et ses débats actuels afin d'inscrire les travaux du mémoire dans l'une de ces théories.

¹ En 2004, le président de TF1 avait avoué publiquement « *Ce que nous vendons à Coca-Cola, c'est du temps de cerveau humain disponible* », terme repris ensuite à maintes reprises.

a. Le filtre de Broadbent (1958)

L'un des paradigmes qui a donné la première direction au domaine de l'attention visuelle et auditive, consiste en un *filtre de la perception* (Donald E. Broadbent, 1958). Le modèle de Broadbent est en forme de Y : les informations entrent dans plusieurs canaux d'entrées et se rejoignent dans un canal unique dans lequel une seule information peut passer à la fois. L'expérience à l'origine de cette théorie, dite « tâche d'écoute dichotique », impliquait de présenter deux bandes sons différentes dans chaque oreille de participants qui rapportaient ce qu'ils avaient entendu, sans écouter une oreille en particulier. Broadbent a proposé que notre cerveau sélectionne le canal d'information qu'il souhaite traiter et rejette complètement les autres, sur une architecture en logigramme, représentée en Figure A. (1) Le traitement sensoriel entre massivement en parallèle avec une large bande passante, les informations voyageant parallèlement à un espace de stockage à court terme. (2) Elles passent par un filtre sélectif qui trie, sur la base d'attributs physiques, la source qui sera traitée ultérieurement de celle qui sera rejetée, comme un goulot d'étranglement. (3) Le traitement de plus haut niveau, en revanche, se fait en série avec une faible bande passante.

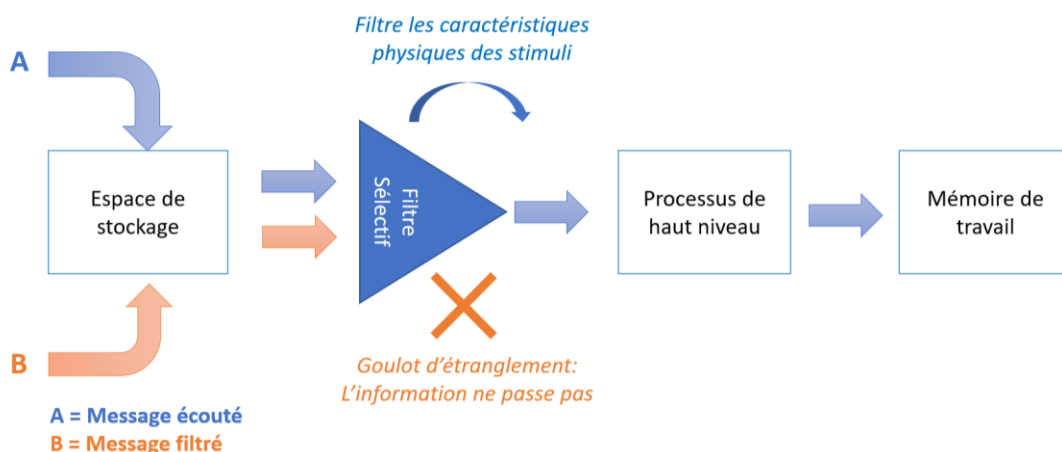


Figure A : Représentation schématique de la théorie de Broadbent

Broadbent proposa que le filtre attentionnel soit positionné en amont, au niveau de l'extraction d'informations sensorielles (D. E. Broadbent, 1957), alors que d'autres ont soutenu qu'il doit être forcément plus tardif (Deutsch & Deutsch, 1963) et que l'information peut être traitée même sans attention. Une autre limite de ce modèle, entre autres, est avancée par Cherry (1953) puis Moray (1959) qui montre un phénomène plus connu sous le nom de « *cocktail party* » : lors d'une fête bruyante, lorsqu'une personne porte attention à un seul interlocuteur et même si elle filtre les conversations autour d'elle, si quelqu'un mentionne son nom dans une autre conversation, elle l'entendra et se retournera pourtant, cela allant à l'encontre du filtre pur de Broadbent. Toutefois, ce modèle en logigramme donnera un premier cadre de travail au domaine de l'attention.

b. La théorie de l'intégration de Treisman (1980)

En 1960, dans une expérience semblable à celle de Broadbent, Anne Treisman fit entendre à des participants une phrase différente dans chaque oreille, mais il leur était demandé cette fois de n'écouter que d'un côté. La phrase diffusée dans l'oreille attentive était « *elle allait au marché sous la table* » et la phrase diffusée dans l'oreille inattentive était « *le chien était caché acheter des carottes* ». Les participants mentionnaient avoir entendu la phrase « *elle allait au marché acheter des carottes* », et ce entièrement sur l'écouteur dont ils devaient répéter les mots. L'information non focalisée de l'oreille inattentive aurait donc quand même été traitée afin de maintenir la cohérence de la phrase à répéter. Treisman en conclut que l'information non focalisée peut être traitée en fonction du contexte, et modifia alors le modèle de Broadbent, représenté en Figure B.

Ainsi, elle proposa que lors de la perception d'un stimulus, les caractéristiques sont captées tôt, automatiquement, inconsciemment et en parallèle, dans une étape dite « *pré-attentive* », pendant laquelle différentes parties du cerveau recueillent les caractéristiques de base qui se trouvent dans le champ visuel, comme la couleur, la forme, ou encore le mouvement.

Pendant cette étape, des « *fichiers objets* » seraient ouverts pour les emplacements vers lesquels l'attention sera ensuite dirigée (D. Kahneman, Treisman, & Gibbs, 1992). Pendant la deuxième étape, dite d'« *attention focalisée* », la personne combinerait les caractéristiques individuelles d'un objet pour percevoir cet objet en entier, le reste étant atténué.

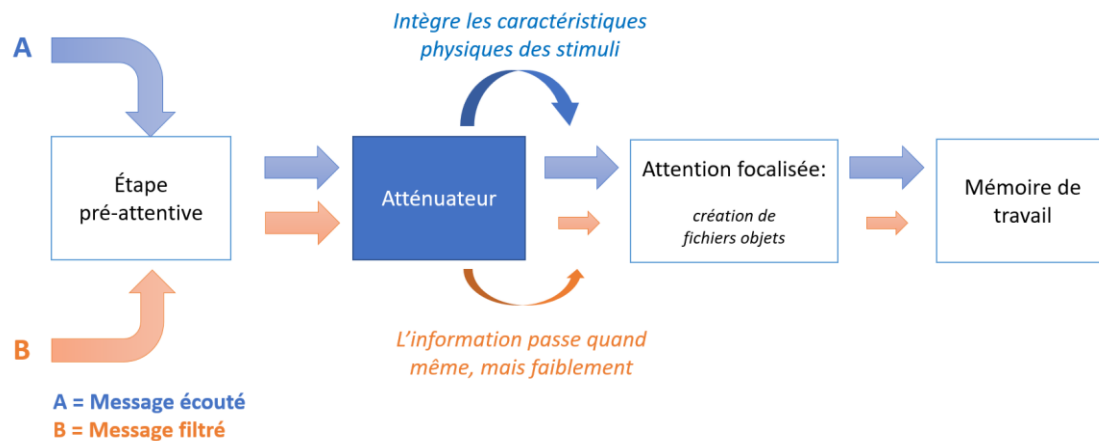


Figure B : Représentation schématique de la théorie de l'intégration de Treisman

Puis, au début des années 1980, Anne Treisman observe que, sans attention, les sujets ne parvenaient pas toujours à lier correctement des caractéristiques aussi simples que la couleur et la forme. Un cercle rouge et un carré vert étaient présentés à des participants dans le champ visuel périphérique (en dehors de la vision centrale de la fovéa), les sujets rapportaient souvent avoir vu un carré rouge et un cercle vert (A. M. Treisman & Gelade, 1980).

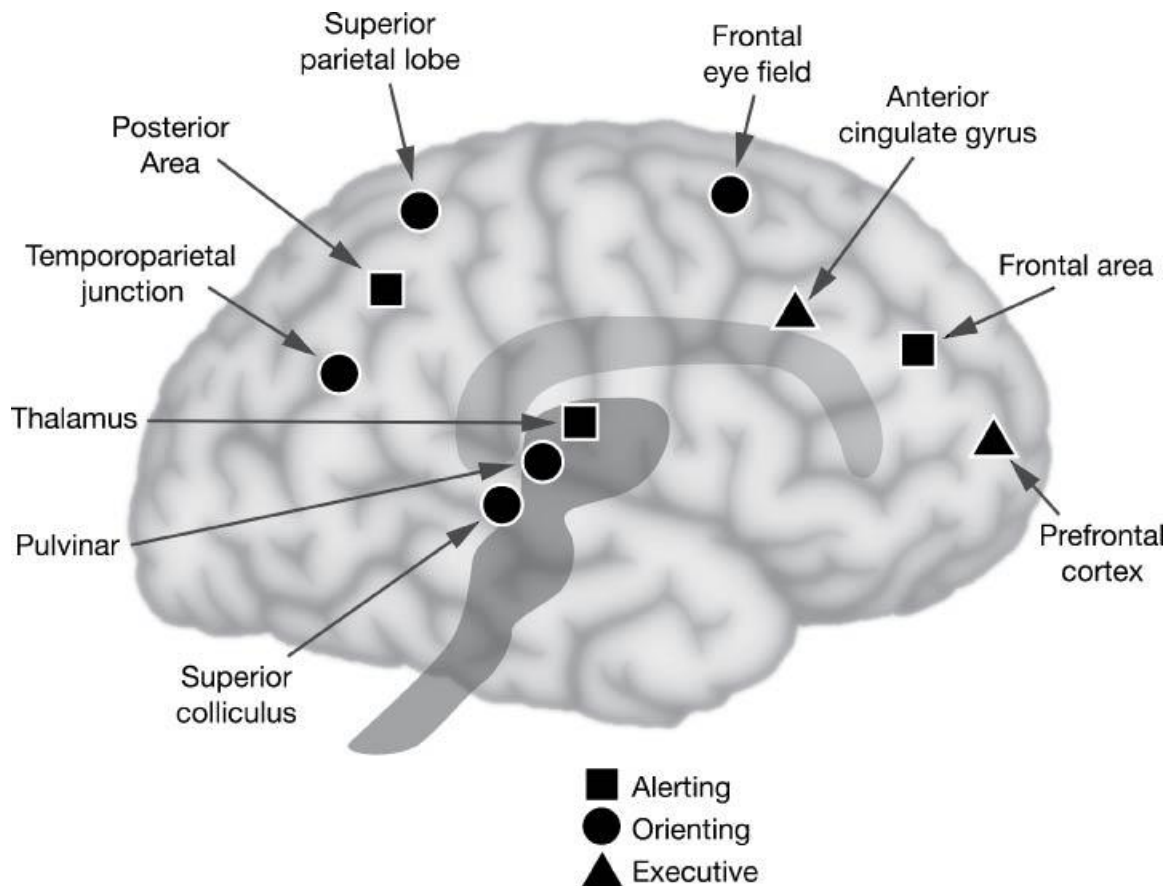
Ces chercheurs firent plus tard référence à des patients souffrant du syndrome de Balint, qui, par un dommage au lobe pariétal, étaient incapables de concentrer leur attention suffisamment longtemps sur des objets individuels pour combiner leur caractéristiques et les reconnaître, soutenant ainsi cette théorie (Robertson & Treisman, 2006). Cela étant, la première version de cette théorie a ensuite évolué lorsque Treisman découvrit que l'essentiel d'une scène semblait être pourtant détectée de manière fiable en dehors du centre d'attention. (Koch & Tsuchiya, 2007; A. Treisman, 2006).

c. Les 3 réseaux attentionnels de Posner (1990)

Plus spécifiquement au domaine de *l'attention visuo-spatiale*, Michael Posner se fit connaître pour sa célèbre *tâche d'indication* permettant de mesurer la capacité d'un participant sain ou cérébrolésé à orienter son attention volontairement (Posner, 1980). Encore fréquemment utilisée aujourd'hui, cette procédure consiste à induire un état d'attente concernant l'endroit où une cible doit apparaître. Par exemple, le participant doit tout d'abord fixer un point central sur un écran et, à l'aide d'une flèche, le participant est prévenu à l'avance de l'endroit où une cible doit apparaître (vers la gauche ou la droite de la croix de fixation). Cet indice d'orientation de l'attention peut effectivement indiquer le côté où la cible apparaîtra (indice valide), mais aussi le côté opposé (indice invalide) dans lequel Posner introduisit l'utilisation de distracteurs. Le participant doit alors appuyer le plus rapidement possible sur un bouton dès qu'il perçoit un stimulus, quelle que soit sa localisation sur l'écran. Le résultat est que les temps de réactions sont plus rapides pour les indices valides.

Dans les années 1990, de plus en plus de connaissances sur le système anatomique cérébral de l'attention s'accumulèrent et Posner formula que nous portons attention aux choses en raison de l'existence de trois réseaux anatomiques distincts (Posner & Petersen, 1990), représentés en Figure C. (1) Le *réseau exécutif*, dit antérieur car impliquant le gyrus cingulaire antérieur pour le maintien de l'attention et le cortex préfrontal dorsolatéral pour les commutateurs d'attention, jouerait un rôle primordial pour le contrôle exécutif et pour la suite de la réalisation d'une tâche. (2) Le *réseau d'orientation et de détection d'événements*, dont le nom est explicite, est dit postérieur car il implique le colliculus supérieur pour la détection de mouvement, le pulvinar du thalamus pour l'engagement à la cible et le cortex pariétal pour son désengagement. (3) Enfin, le *réseau de vigilance*, permettrait de maintenir l'état d'alerte grâce au système noradrénergique du

tronc cérébral dont l'activité suit en partie les rythmes circadiens, justifiant par exemple qu'on ait plus d'attention le jour que la nuit.



AR Posner MI, Rothbart MK. 2007.
Annu. Rev. Psychol. 58:1-23

Figure C : Les 3 réseaux attentionnels de Posner et Rothbart (2007)

Cette triangularité de réseaux avait été proposée sous différentes formes auparavant (Mesulam, 1981) et a largement été étudiée lorsque s'ouvra l'ère de la neuroimagerie dans les années 2000 (Corbetta & Shulman, 2002; LaBerge, 1995; Posner, 2012; Posner & Rothbart, 2007). Nous reviendrons ensuite au concept de la connectivité, mais retenons qu'émergeait déjà dans la communauté l'idée que l'attention pourrait être orientée de deux manières différentes, de façon exogène, captée automatiquement par un indice extérieur, ou engendrée de façon endogène par les attentes des participants.

d. La recherche visuelle guidée 2.0 de Wolfe (1994)

Pour mieux imbriquer ensemble tous ces processus de nature différente soulevés par l'ensemble de la communauté, Jérémy Wolfe proposa le modèle de recherche visuelle guidée 2.0 (Wolfe, 1994) qu'il élabore toujours aujourd'hui (Wolfe & Utochkin, 2019). Selon ce modèle, l'attention est dirigée vers un objet ou un endroit du champ visuel (reprenant alors la notion d'attention visuo-spatiale) par le biais d'un processus pré-attentif, qui dirige l'attention à la fois de manière ascendante, par la saillance d'un stimulus par rapport à l'arrière-plan (dit « *Bottom-up* », ou encore exogène), et de manière descendante, par exemple d'une consigne vers un type de stimulus (dit « *Top-down* », ou encore endogène). Ses expériences intégraient plus systématiquement la présence de distracteurs pour se rapprocher des situations quotidiennes.

Aussi, il ajoute entre l'étape pré-attentive et celle d'attention focalisée qui effectue des opérations plus complexes (reconnaissance faciale, identification d'objet...), le concept de *limitation de capacité* sur une partie limitée du champ visuel, et ce de manière sérielle (Woodman & Luck, 2003). Ce concept de capacité limitée avait été avancé 20 ans auparavant par le concept d'effort (Daniel Kahneman, 1973) qui n'avait pas fait l'unanimité dans sa description, mais a ensuite été redéveloppé en les termes de capacité limitée (Thornton & Gilden, 2001).

Enfin, les informations acquises par les deux processus ascendant et descendant seraient classés par priorité, et de l'étape d'attention focalisée émergea le concept de « *carte de priorité* », encore appelées « *cartes de salience ou d'activation* » qui guident la recherche visuelle pour la rendre plus efficace, élaborées à partir des « fichiers objet » de Treisman. Le processus d'émergence de ces cartes a été par la suite modélisée de manière computationnelle, majoritairement dans les travaux dirigés par Christof Koch (Billock G, 2005; Itti & Koch, 2001).

La question d'une *sélection précoce ou tardive* (autrement dit, à quel moment l'attention exerce son influence sur les processus cognitifs), qui avait été soulevée du temps de Broadbent et Deutsch, a trouvé depuis des preuves physiologiques favorisant que probablement les deux se produisent dans des circonstances différentes et ont des substrats neuronaux différents (Drisdelle & Jolicoeur, 2018; Pashler, 1998).

En conclusion, le modèle de recherche visuelle guidée 2.0 basé sur la sélection a été embrassé par toute une communauté de chercheurs (Eimer, 1996; Hickey, Di Lollo, & McDonald, 2009; Jolicoeur, Brisson, & Robitaille, 2008; Luck & Hillyard, 1994a, 1994b) qui étudient l'attention visuo-spatiale sous l'angle de la sélection et du filtre, et ont développé *des indices électrophysiologiques pour la mesurer* qualitativement et quantitativement majoritairement par électroencéphalographie. Entre autres, la N2pb et la N2pc sont 2 composantes de l'attention mesurées au niveau des électrodes postérieures, à environ 200 ms après l'apparition de stimuli visuels.

e. La compétition biaisée de Desimone et Duncan (1995)

Alors que la communauté cherche des preuves physiologiques de l'attention dans les années 1990, Robert Desimone et John Duncan vont s'intéresser précisément aux processus neuronaux dits de bas niveau (activité d'un neurone souvent directement enregistrée par des électrodes intracrâniennes chez des singes) qui se disputent les ressources attentionnelles. Desimone découvrit en 1985 que la réponse à un même stimulus dans la zone corticale visuelle V4 des singes dépendaient grandement de s'ils devaient porter attention à cette zone spatiale ou l'ignorer : des cibles placées dans le champ récepteur approprié d'un neurone de V4 donnait une réponse forte, réponse qui devenait considérablement réduite lorsque ce même stimulus était placé dans un hémichamp qui devait être ignoré (Moran & Desimone, 1985). Le constat fut le même

pour une caractéristique spécifique d'un objet plutôt que sa localisation, les neurones générant des réponses plus fortes que lorsque l'attention était dirigée vers d'autres caractéristiques des mêmes objets, voir la revue de Maunsell and Treue (2006).

De ces observations électrophysiologiques et d'autres encore émergea l'explication que l'attention est directement liée à un mécanisme de *compétition neuronale biaisée*. Par un apport cognitif de haut niveau, la force des stimuli concurrents encodés est modulée par la rétroaction des zones cérébrales supérieures qui représentent les objectifs, les instructions ou l'état émotionnel de la personne, mais cette force dépend également des fonctionnalités de bas niveau ou ascendantes telles que la saillance des objets (Desimone, 1998; Desimone & Duncan, 1995; Duncan et al., 1999; Hillyard, Vogel, & Luck, 1998; Reynolds, Chelazzi, & Desimone, 1999).

Même si des controverses quant à la nature dichotomique des processus ascendants et descendants animent encore la communauté dans nos congrès en électrophysiologie, les travaux de Jan Theeuwes repris dans sa revue de 2012 (Awh, Belopolsky, & Theeuwes, 2012) ou encore plus récemment (Theeuwes, 2019) appellent à éviter d'inférer une dichotomie entre les deux processus attentionnels ascendant et descendant, cela ayant l'effet indésirable d'occulter une troisième catégorie de *biais de sélection* possibles, qui ne seraient liés ni aux consignes ni à la saillance physique des items, mais impacterait tout autant le processus d'émergence des cartes d'activation. Cette 3^{ème} catégorie inclurait l'impact des récompenses futures ou passées lors de la tâche et l'historique d'expérimentation impliquant un apprentissage statistique (Theeuwes, 2019).

D'autres débats soulignent aussi que le phénomène de l'attention serait généré parmi d'autres sous-produits de la cognition générale et serait à redéfinir au sein des processus de mémorisation, de prise de décision et de planification de la réponse (Andersen & Cui, 2009). En particulier, l'attention pourrait être un processus généré par la transformation sensorimotrice,

convertissant une entrée sensorielle en une planification moteur, autrement appelée « l'intention » (Andersen & Buneo, 2002).

f. La théorie prémotrice de l'attention de Rizzolatti (1987)

A ce sujet, une approche complémentaire émergea en parallèle dans les années 1990 grâce aux expériences de Giacomo Rizzolatti qui proposa la théorie prémotrice de l'attention (Rizzolatti, Riggio, Dascola, & Umiltà, 1987). Ces chercheurs avaient utilisé une variante du paradigme de Posner, leur proposition étant que lorsqu'un indice indique l'emplacement du futur stimulus, un « *programme de mouvement des yeux* » vers l'emplacement proposé se lance, préparant la direction et l'amplitude des saccades à produire. Si la cible ne figure pas dans l'emplacement indiqué, alors un réajustement ou un nouveau programme de mouvement des yeux doit être préparé afin de replacer la cible au centre de la fovéa, qui a un grain de définition plus fin, donc pour mieux percevoir ce qu'il se passe dans l'environnement. Cela expliquerait les temps de réaction plus longs lorsque les stimuli apparaissent dans l'hémichamp visuel ignoré. Par la suite, de nombreuses expériences avec des électrodes intracrâniennes chez des singes ont effectivement montré que l'attribution de l'attention à une position donnée active nécessairement le système de mouvement des yeux, même si aucune saccade n'est demandée. (Sheliga, Riggio, Craighero, & Rizzolatti, 1995; Sheliga, Riggio, & Rizzolatti, 1995). Rizzolatti a alors fait valoir qu'il n'y a pas deux mécanismes de contrôle différents, l'un pour l'action et l'autre pour l'attention, mais qu'ils proviennent des mêmes circuits frontaux-pariétaux qui déterminent, entre autres, le mouvement oculomoteur vers des emplacements spatiaux spécifiques. Cette proposition trouva plus tard l'appui d'études en imagerie cérébrale fonctionnelle sur des humains qui identifiaient les zones oculomotrices du *frontal eye field*, du *colliculus supérieur* et la *zone intrapariétale latérale* (LIP), comme actives dans les expériences d'attention périphérique sans mouvement des yeux (Corbetta,

1998). L'idée que l'attention périphérique partage des mécanismes neuronaux communs avec la programmation des mouvements oculaires impliquerait ainsi que *l'attention visuo-spatiale émerge d'un mouvement des yeux qui a été préparé, mais pas exécuté*. Cette proposition a été l'objet de nombreux débats lors des 30 dernières années, mais il existe aujourd'hui des preuves de dissociation anatomique et fonctionnelle entre l'attention spatiale endogène et la préparation moteur, ces deux systèmes étant toutefois fortement interconnectés (Hunt, Reuther, Hilchey, & Klein, 2019).

Un autre concept important en faveur de la théorie prémotrice est l'« *Inhibition de Retour* » (IOR). Immédiatement après l'apparition d'un stimulus dans le champ visuel périphérique (environ 100 à 300 ms), le traitement d'autres stimuli à proximité de cet emplacement est facilité, reflétant l'orientation de l'attention vers la source de stimulation. Mais ensuite, une fois que l'attention s'est désengagée de cet emplacement périphérique (environ 500 à 3000 ms, parfois même autour de 200 ms si la tâche est très simple), la réponse à un nouveau stimulus au même emplacement est retardée. Ce phénomène d'abord décrit en 1984 par Posner a été confirmée, après de longs débats, par une revue récente qui suggère que c'est bel et bien l'activation d'un programme oculomoteur qui serait à l'origine de l'IOR (Satel, Wilson, & Klein, 2019).

Ainsi, la théorie prémotrice de l'attention place le *lobe pariétal* au cœur de la génération des comportements et propose que la génération des cartes de priorité se ferait anatomiquement au niveau de la LIP, qui, comme indiqué précédemment, joue un rôle dans la sélection des cibles par le déclenchement de saccades et qui générerait par ce biais le phénomène d'attention visuelle (Bisley & Goldberg, 2010). Cette proposition rejoint les distributions des *voies dorsales et ventrales* de la vision, largement enseignées aux étudiants en neurosciences des systèmes, et qui prend son origine dans un papier fondateur de Goodale and Milner (1992). La Figure D illustre ce

que ces auteurs proposèrent. La voie ventrale connectant le cortex visuel strié au cortex inférotemporal (IT) jouerait un rôle majeur dans l'identification des objets (la voie du « quoi »), alors que la voie dorsale reliant le cortex strié vers la région pariétale assurerait la transformation sensorimotrice requise pour déclencher in fine une action motrice, comme ramasser un objet par exemple (la voie du « où »).

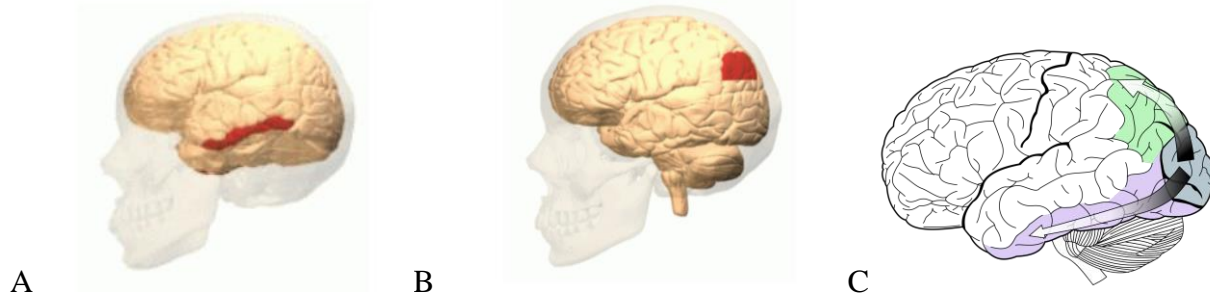


Figure D: Le cortex InféroTemporal (A) et le Sulcus Intrapariétal (B) serviraient respectivement la voie ventrale du « quoi » en violet et la voie dorsale du « où » en vert (C)
Schémas extraits de Wikipédia

Les nombreuses études sur le sujet récapitulées dans une récente revue de ce même chercheur, 25 ans plus tard, ont permis de confirmer la spécialisation de chacune de ces deux voies, tout en démontrant qu'elles sont complémentaires et fonctionnellement connectées (Gallivan & Goodale, 2018). Ce qui nous amène au prochain modèle, plus moderne, de la connectivité fonctionnelle.

g. La communication par la cohérence de Fries (2015)

Les années 2000 permettent le large déploiement des techniques d'analyse des *connectomes anatomiques*, autrement dit les connexions physiques, les grandes voies axonales qui relient les zones du cerveau, et des *connectomes fonctionnels*, autrement dit la dynamique temporelle qui sous-tend la communication entre ces zones (Lachaux, Rodriguez, Martinerie, & Varela, 1999). Le modèle de compétition biaisée de Desimone est alors devenu la base théorique

de ces modèles plus modernes qui tâchent de résoudre le problème central de l'attention par la dynamique de l'activité cérébrale. Cette théorie est basée sur le principe de synchronisation et en identifie 3 niveaux.

Tout d'abord, la synchronisation de la décharge des potentiels d'action d'une grande quantité de neurones (> 10 000) formant les colonnes du néocortex génère un mécanisme oscillatoire, créant ainsi des ondes de bandes de fréquences différentes mesurables dans de petites régions du cortex (Ward, 2003). En particulier, la synchronisation dans la bande gamma (30-70 Hz) des réponses neuronales à un même stimulus dans la zone V4 du cortex visuel est augmentée par l'attention sélective tandis qu'au même moment, la synchronisation dans la bande alpha (8-14 Hz) diminue. Ces changements localisés de synchronisation permettent d'amplifier le signal généré par les stimuli auxquels on porte attention par rapport à celui généré par distracteurs ignorés (Fries, Reynolds, Rorie, & Desimone, 2001).

Le deuxième niveau de synchronisation, basé sur des fenêtres temporelles chimiques permet ensuite une communication entre 2 régions corticales plus ou moins éloignées. En effet, un neurone peut intégrer ou délivrer une information grâce à un passage rapide d'ions électrochimiques au travers de sa membrane pendant seulement un temps court dit d'« *intégration postsynaptique* » de quelques millisecondes. Cette période est suivie d'une autre plus longue dite « *période réfractaire* » de quelques dizaines de millisecondes pendant laquelle son potentiel de membrane est débalancé et ne peut plus ni intégrer ni délivrer de signal électrique. Ce deuxième niveau de synchronisation permet la transmission (sélection) par un calage, ou la non-transmission (filtre) par un décalage de ces fenêtres cycliques d'intégration post-synaptique entre deux zones. Ce phénomène serait ainsi le substrat physiologique sous-jacent à la sélection et au filtre des stimuli du champ visuel. Pascal Fries et ses collègues précisent ainsi le modèle que Francisco

Varela avait initié (Varela, Lachaux, Rodriguez, & Martinerie, 2001), en proposant que les interactions entre les régions cérébrales des réseaux dorso-pariétal et ventro-pariétal impliqués dans l'attention visuelle seraient médiées par la synchronisation de leurs activités sur différentes fréquences (Doesburg, Emberson, Rahi, Cameron, & Ward, 2008).

Enfin, le troisième niveau de synchronisation permet de définir le sens de ces interactions grâce aux techniques de calcul de causalité de Granger ou d'entropie (Seth, Barrett, & Barnett, 2015). Les connexions anatomiques et les interactions dynamiques sous-tendant le traitement ascendant sont aujourd'hui communément appelées « *feedforward* » et celles du traitement descendant appelées « *feedback* » (Bastos et al., 2015; Richter, Thompson, Bosman, & Fries, 2017).

Ces trois niveaux de synchronisation sont combinés dans le modèle plus complet de la *Communication par la Cohérence* proposé par Fries (2015). Les plus récents débats sur la définition de l'attention soutiennent d'ailleurs ce principe de boucles itératives comme substrats de l'attention (Di Lollo, 2018). Sabine Kastner présentera un bon examen et de belles revues sur ces mécanismes d'actualité qui ont l'air de former aujourd'hui un début de consensus (Beck & Kastner, 2009; Bonnefond, Kastner, & Jensen, 2017; McMains & Kastner, 2011).

h. Le modèle bayésien de la cognition

Pour terminer, la question de l'attention comme une cause ou comme une conséquence de phénomènes cognitifs voire moteurs a été soulevée il y a une dizaine d'années, et la façon de considérer l'attention comme un phénomène de nature binaire² a été remise en cause grâce à l'approche plus moderne des statistiques et inférences bayésiennes dans le processus de prise de

² Ascendant / Descendant ; Endogène / Exogène; Focalisée / divisée; Volontaire / Involontaire; Automatique / Contrôlée ; Centrale / Périphérique; Conscient / Non-conscient; Local / Global ... etc

décision (Anderson, 2011). Cette vision globale et moins réductrice des phénomènes semble être aujourd'hui une approche prometteuse car elle propose un moyen d'intégrer la fascinante complexité des processus cérébraux, que j'ai pu toucher du doigt sur ces 3 années d'études en neurosciences cognitives. En particulier, la communauté d'intelligence artificielle au Montréal Institute for Learning Algorithms (MILA) m'a permis d'approcher les modèles computationnels modernes, d'ailleurs fondés sur le modèle de la compétition biaisée. Ces modèles utilisent des notions de physique comme le coût, le gain, l'énergie libre et l'entropie, avec des calculs de minima locaux impliquant une définition analogique et non binaire de l'incertitude des prédictions en le résumant sous le concept séduisant de la surprise (Feldman & Friston, 2010; Friston, 2010).

Enfin, un autre débat appelle à l'importance de ne pas confondre des termes comme *goal-driven*, endogène et volontaire, ou encore comme *stimulus-driven*, exogène et automatique, en distinguant mieux la diversité des phénomènes que l'on place sous l'immense parapluie appelé l'attention (Hommel et al., 2019). En l'occurrence, le phénomène ***d'attention spatiale sélective*** impliqué dans le traitement des stimuli visuels, étudié ci-après dans cet article, est à replacer comme une caractéristique très spécifique générée par un système de traitement de l'information bien plus vaste impliquant le système sensorimoteur et une intégration multimodale plus complexe.

Références bibliographiques

- Andersen, R. A., & Buneo, C. A. (2002). Intentional maps in posterior parietal cortex. *Annu Rev Neurosci*, 25, 189-220. doi: 10.1146/annurev.neuro.25.112701.142922
- Andersen, R. A., & Cui, H. (2009). Intention, action planning, and decision making in parietal-frontal circuits. *Neuron*, 63(5), 568-583. doi: 10.1016/j.neuron.2009.08.028
- Anderson, B. (2011). There is no Such Thing as Attention. *Front Psychol*, 2, 246. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00246
- Awh, E., Belopolsky, A. V., & Theeuwes, J. (2012). Top-down versus bottom-up attentional control: a failed theoretical dichotomy. *Trends Cogn Sci*, 16(8), 437-443. doi: 10.1016/j.tics.2012.06.010
- Bastos, A. M., Vezoli, J., Bosman, C. A., Schoffelen, J. M., Oostenveld, R., Dowdall, J. R., . . . Fries, P. (2015). Visual areas exert feedforward and feedback influences through distinct frequency channels. *Neuron*, 85(2), 390-401. doi: 10.1016/j.neuron.2014.12.018
- Beck, D. M., & Kastner, S. (2009). Top-down and bottom-up mechanisms in biasing competition in the human brain. *Vision Res*, 49(10), 1154-1165. doi: 10.1016/j.visres.2008.07.012
- Billock G, K. C., Psaltis D (Ed.). (2005). *Neurobiology of attention* (Laurent Itti, Geraint Rees and John K. Tsotsos ed.): Academic Press.
- Bisley, J. W., & Goldberg, M. E. (2010). Attention, intention, and priority in the parietal lobe. *Annu Rev Neurosci*, 33, 1-21. doi: 10.1146/annurev-neuro-060909-152823
- Bonnefond, M., Kastner, S., & Jensen, O. (2017). Communication between Brain Areas Based on Nested Oscillations. *eNeuro*, 4(2). doi: 10.1523/ENEURO.0153-16.2017
- Broadbent, D. E. (1957). A mechanical model for human attention and immediate memory. *Psychol Rev*, 64(3), 205-215. doi: 10.1037/h0047313
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. New York,: Pergamon Press.
- Corbetta, M. (1998). Frontoparietal cortical networks for directing attention and the eye to visual locations: identical, independent, or overlapping neural systems? *Proc Natl Acad Sci U S A*, 95(3), 831-838. doi: 10.1073/pnas.95.3.831
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nat Rev Neurosci*, 3(3), 201-215. doi: 10.1038/nrn755
- Desimone, R. (1998). Visual attention mediated by biased competition in extrastriate visual cortex. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 353(1373), 1245-1255. doi: 10.1098/rstb.1998.0280
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annu Rev Neurosci*, 18, 193-222. doi: 10.1146/annurev.ne.18.030195.001205
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Some theoretical considerations. *Psychol Rev*, 70, 80-90. doi: 10.1037/h0039515
- Di Lollo, V. (2018). Attention is a sterile concept; iterative reentry is a fertile substitute. *Conscious Cogn*, 64, 45-49. doi: 10.1016/j.concog.2018.02.005
- Doesburg, S. M., Emberson, L. L., Rahi, A., Cameron, D., & Ward, L. M. (2008). Asynchrony from synchrony: long-range gamma-band neural synchrony accompanies perception of audiovisual speech asynchrony. *Exp Brain Res*, 185(1), 11-20. doi: 10.1007/s00221-007-1127-5
- Drisdelle, B. L., & Jolicoeur, P. (2018). Early and late selection processes have separable influences on the neural substrates of attention. *Int J Psychophysiol*, 127, 52-61. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2018.03.004
- Duncan, J., Bundesen, C., Olson, A., Humphreys, G., Chavda, S., & Shibuya, H. (1999). Systematic analysis of deficits in visual attention. *J Exp Psychol Gen*, 128(4), 450-478. doi: 10.1037//0096-3445.128.4.450

- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 99(3), 225-234.
- Feldman, H., & Friston, K. J. (2010). Attention, uncertainty, and free-energy. *Front Hum Neurosci*, 4, 215. doi: 10.3389/fnhum.2010.00215
- Fries, P. (2015). Rhythms for Cognition: Communication through Coherence. *Neuron*, 88(1), 220-235. doi: 10.1016/j.neuron.2015.09.034
- Fries, P., Reynolds, J. H., Rorie, A. E., & Desimone, R. (2001). Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention. *Science*, 291(5508), 1560-1563. doi: 10.1126/science.1055465
- Friston, K. (2010). The free-energy principle: a unified brain theory? *Nat Rev Neurosci*, 11(2), 127-138. doi: 10.1038/nrn2787
- Gallivan, J. P., & Goodale, M. A. (2018). The dorsal "action" pathway. *Handb Clin Neurol*, 151, 449-466. doi: 10.1016/B978-0-444-63622-5.00023-1
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends Neurosci*, 15(1), 20-25. doi: 10.1016/0166-2236(92)90344-8
- Hickey, C., Di Lollo, V., & McDonald, J. J. (2009). Electrophysiological indices of target and distractor processing in visual search. *J Cogn Neurosci*, 21(4), 760-775. doi: 10.1162/jocn.2009.21039
- Hillyard, S. A., Vogel, E. K., & Luck, S. J. (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 353(1373), 1257-1270. doi: 10.1098/rstb.1998.0281
- Hommel, B., Chapman, C. S., Cisek, P., Neyedli, H. F., Song, J. H., & Welsh, T. N. (2019). No one knows what attention is. *Atten Percept Psychophys*, 81(7), 2288-2303. doi: 10.3758/s13414-019-01846-w
- Hunt, A. R., Reuther, J., Hilchey, M. D., & Klein, R. M. (2019). The Relationship Between Spatial Attention and Eye Movements. *Curr Top Behav Neurosci*, 41, 255-278. doi: 10.1007/7854_2019_95
- Itti, L., & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nat Rev Neurosci*, 2(3), 194-203. doi: 10.1038/35058500
- Jolicoeur, P., Brisson, B., & Robitaille, N. (2008). Dissociation of the N2pc and sustained posterior contralateral negativity in a choice response task. *Brain Res*, 1215, 160-172. doi: 10.1016/j.brainres.2008.03.059
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, N.J.,: Prentice-Hall.
- Kahneman, D., Treisman, A., & Gibbs, B. J. (1992). The reviewing of object files: object-specific integration of information. *Cogn Psychol*, 24(2), 175-219. doi: 10.1016/0010-0285(92)90007-o
- Koch, C., & Tsuchiya, N. (2007). Attention and consciousness: two distinct brain processes. *Trends Cogn Sci*, 11(1), 16-22. doi: 10.1016/j.tics.2006.10.012
- LaBerge, D. (1995). *Attentional processing : the brain's art of mindfulness*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Lachaux, J. P., Rodriguez, E., Martinerie, J., & Varela, F. J. (1999). Measuring phase synchrony in brain signals. *Hum Brain Mapp*, 8(4), 194-208.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994a). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31(3), 291-308.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994b). Spatial filtering during visual search: evidence from human electrophysiology. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 20(5), 1000-1014.
- Maunsell, J. H., & Treue, S. (2006). Feature-based attention in visual cortex. *Trends Neurosci*, 29(6), 317-322. doi: 10.1016/j.tins.2006.04.001
- McMains, S., & Kastner, S. (2011). Interactions of top-down and bottom-up mechanisms in human visual cortex. *J Neurosci*, 31(2), 587-597. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3766-10.2011
- Mesulam, M. M. (1981). A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Ann Neurol*, 10(4), 309-325. doi: 10.1002/ana.410100402

- Moran, J., & Desimone, R. (1985). Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex. *Science*, 229(4715), 782-784. doi: 10.1126/science.4023713
- Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11, 56-60.
- Pashler, H. E. (1998). *The psychology of attention*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Q J Exp Psychol*, 32(1), 3-25.
- Posner, M. I. (2012). Imaging attention networks. *Neuroimage*, 61(2), 450-456. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.12.040
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annu Rev Neurosci*, 13, 25-42. doi: 10.1146/annurev.ne.13.030190.000325
- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annu Rev Psychol*, 58, 1-23. doi: 10.1146/annurev.psych.58.110405.085516
- Reynolds, J. H., Chelazzi, L., & Desimone, R. (1999). Competitive mechanisms subserve attention in macaque areas V2 and V4. *J Neurosci*, 19(5), 1736-1753.
- Richter, C. G., Thompson, W. H., Bosman, C. A., & Fries, P. (2017). Top-Down Beta Enhances Bottom-Up Gamma. *J Neurosci*, 37(28), 6698-6711. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3771-16.2017
- Rizzolatti, G., Riggio, L., Dascola, I., & Umiltà, C. (1987). Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians: evidence in favor of a premotor theory of attention. *Neuropsychologia*, 25(1A), 31-40. doi: 10.1016/0028-3932(87)90041-8
- Robertson, L. C., & Treisman, A. (2006). Attending to space within and between objects: Implications from a patient with Balint's syndrome. *Cogn Neuropsychol*, 23(3), 448-462. doi: 10.1080/02643290500180324
- Satel, J., Wilson, N. R., & Klein, R. M. (2019). What Neuroscientific Studies Tell Us about Inhibition of Return. *Vision (Basel)*, 3(4). doi: 10.3390/vision3040058
- Seth, A. K., Barrett, A. B., & Barnett, L. (2015). Granger causality analysis in neuroscience and neuroimaging. *J Neurosci*, 35(8), 3293-3297. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4399-14.2015
- Sheliga, B. M., Riggio, L., Craighero, L., & Rizzolatti, G. (1995). Spatial attention-determined modifications in saccade trajectories. *Neuroreport*, 6(3), 585-588. doi: 10.1097/00001756-199502000-00044
- Sheliga, B. M., Riggio, L., & Rizzolatti, G. (1995). Spatial attention and eye movements. *Exp Brain Res*, 105(2), 261-275. doi: 10.1007/bf00240962
- Theeuwes, J. (2019). Goal-driven, stimulus-driven, and history-driven selection. *Curr Opin Psychol*, 29, 97-101. doi: 10.1016/j.copsyc.2018.12.024
- Thornton, T., & Gilden, D. L. (2001). Attentional limitations in the sensing of motion direction. *Cogn Psychol*, 43(1), 23-52. doi: 10.1006/cogp.2001.0751
- Treisman, A. (2006). How the deployment of attention determines what we see. *Vis cogn*, 14(4-8), 411-443. doi: 10.1080/13506280500195250
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cogn Psychol*, 12(1), 97-136. doi: 10.1016/0010-0285(80)90005-5
- Varela, F., Lachaux, J. P., Rodriguez, E., & Martinerie, J. (2001). The brainweb: phase synchronization and large-scale integration. *Nat Rev Neurosci*, 2(4), 229-239. doi: 10.1038/35067550
- Ward, L. M. (2003). Synchronous neural oscillations and cognitive processes. *Trends Cogn Sci*, 7(12), 553-559. doi: 10.1016/j.tics.2003.10.012
- Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0 A revised model of visual search. *Psychon Bull Rev*, 1(2), 202-238. doi: 10.3758/BF03200774
- Wolfe, J. M., & Utochkin, I. S. (2019). What is a preattentive feature? *Curr Opin Psychol*, 29, 19-26. doi: 10.1016/j.copsyc.2018.11.005
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003). Serial deployment of attention during visual search. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 29(1), 121-138.

