

## Regard, attention, intention

*Cours de A. Berthoz, Collège de France, hiver 2004.*

Compte rendu : Roland Brémond<sup>1</sup>  
Avril 2004

*J'ai assisté entre janvier et mars 2004 au cours de A. Berthoz, titulaire de la chaire de « physiologie de la perception et de l'action » au Collège de France, dans le cadre de la formation continue. On trouvera ci-dessous un résumé de ce cours.*

### *Introduction*

La perception est souvent considérée<sup>2</sup> comme un processus de traitement de l'information, à partir des données fournies par les sens. Ce paradigme est remis en cause par AB, qui considère au contraire que le cerveau est un prédicteur, qui formule des hypothèses sur le monde et qui anticipe, grâce à des modèles internes, à travers des boucles de simulation de l'action, et finalement par des actions.

Cette notion d'action implique d'autres notions, comme l'intention, l'attention, la mémoire, la signification, sans lesquelles on ne peut pas parler d'action<sup>3</sup>. AB utilise le terme de posture, pour définir l'attitude d'un acteur en situation (par opposition à un observateur). Il précise également qu'on ne peut pas décrire la perception en faisant abstraction de l'émotion. En particulier, la perception ne se limite pas à la perception des « choses », elle inclut la perception de la perception d'autrui.

L'objectif du cours de cette année est de renverser la perspective sur la notion d'attention. L'approche du LPPA<sup>4</sup> consiste à rechercher les bases neurales de l'attention, c'est à dire à comprendre quels éléments, quelles relations, quels circuits du système nerveux sont impliqués dans tel ou tel aspect de l'attention, de manière à essayer de mieux comprendre, en retour, *ce que c'est* que l'attention.

### *Théories classiques de l'attention*

Berkeley, avec les empiristes, considère que le cerveau reçoit des données à partir des sensations « primaires » et les combine de manière à percevoir des catégories générales. Pour lui, l'attention fait partie du filtre qui transforme les sensations en perceptions.

Husserl s'attaque frontalement à cette conception. Il part de la visée intentionnelle du sujet, et considère que les objets sont constitués dans l'intention, dans l'acte intentionnelle de visée, qui produit une conscience de l'objet dans un acte de représentation. A chaque type d'intention correspond une activité attentionnelle différente ; il y a donc une pluralité de perceptions possibles pour un objet donné<sup>5</sup>.

---

<sup>1</sup> Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris.

<sup>2</sup> Par exemple dans la littérature technique sur la visibilité routière, notamment le document « sécurité des routes et des rues » (SETRA/CETUR, 1992) et de nombreux documents de l'INRETS.

<sup>3</sup> AB fait le parallèle avec la notion d'*habitus*, utilisée par les sociologues et développée par P. Bourdieu, qui définit le cadre sociologique à partir duquel les positions du sujet sur ce qui fait sens, ce qui est attendu, normal, etc. peuvent se définir. AB voit une filiation entre cette notion et les positions de M. Merleau-Ponty, J.-P. Sartre et L. Wittgenstein.

<sup>4</sup> Laboratoire de Physiologie de la Perception et de l'Action, CNRS/Collège de France.

<sup>5</sup> Avec des contraintes : les psychologues ont montré, dans les années 1950, que certaines règles structurelles (rigidité, symétrie, etc.) imposent à la perception un cadre d'analyse.

W. James a également envisagé les thèses empiristes à rebours, en partant d'un primat du corps : l'émotion est pour lui la conséquence, plutôt que la cause, des modifications physiologiques qui lui sont associées (sueur, tension nerveuse, etc.). James observe que l'objet doit être à la fois présent aux sens et à l'imagination pour être perçu : il y a un processus de sélection qui fait que nous ne percevons que ce que nous pré-percevons. Dans son traité de psychologie, il note que nous ne percevons qu'une faible part des impressions sensorielle, la conscience fait de sélections. C'est ce qu'on peut appeler l'attention, qui comporte plusieurs mécanismes :

- nous percevons par « synthèses perceptives » (au sens de la Gestalttheorie) ;
- la perception est un processus de structuration de l'espace perçu, à travers des oppositions, des compétitions ;
- notion de canal unique : il est difficile d'être attentif à « deux choses à la fois » ;
- importance du rôle de l'inhibition, de « l'élimination active » ;
- l'attention est liée à des significations.

### *Théories modernes de l'attention*

Le modèle « standard » est celui du traitement séquentiel de l'information, le cerveau étant considéré comme un filtre qui sélectionne les informations dans un flux. On y inclut la notion de système superviseur attentionnel, situé entre les processus de perception et d'action, qui opère une sélection des stimuli « pertinents ». A partir de là, il y a deux attitudes possibles quand on voit un objet dans une scène : active (le sujet est attentif à ce qu'il voit) ou passive (il est inattentif).

Ce modèle inclut l'idée du « canal unique », qui considère qu'on ne peut pas être attentif à deux choses en même temps, et qui est illustrée par le paradigme du « clignement attentionnel » : on présente successivement deux cibles à un sujet ; on observe une chute des performances (pendant un certain temps) pour l'identification de la deuxième cible.

A quel moment, dans le processus visuel, intervient l'attention ? la réponse est en partie connue. On constate déjà des modifications des neurones de l'aire visuelle V1 selon que le sujet est attentif ou non. On sait également que l'attention modifie certaines ondes corticales<sup>6</sup>, notamment certaines ondes relativement précoces<sup>7</sup>. Cela dit, il reste beaucoup de questions sans réponse. Les problèmes les plus explorés actuellement sont les suivants :

- Alternance : comment faire deux choses à la fois ?
- Clignement attentionnel (Cf. plus haut).
- Compétition/coopération entre les différents sens (vue, toucher, ouïe, etc.).
- Cécité au changement.
- Coopération entre attention et mémoire.
- « Inhibition du retour » (on ne revient pas, dans une exploration visuelle, sur un endroit déjà regardé).

Les grands systèmes de neuro-modulateurs (dopamine, sérotonine, etc.) modulent l'ensemble de l'activité corticale, et en particulier l'attention et la vigilance, qui sont des processus différents. Le modèle de Mesulam<sup>8</sup> suppose une coordination de l'attention à partir d'une carte perceptive interne du monde, d'un niveau « d'éveil » contrôlé par des neuro-modulateurs, et d'une coordination du programme moteur.

---

<sup>6</sup> Mesurée par les potentiels évoqués.

<sup>7</sup> De l'ordre de 100 ms. après que le signal visuel a frappé la rétine.

<sup>8</sup> M. Mesulam, professeur au *Northwestern University Institute for Neurosciences* (NUIN).

Le paradigme expérimental de Posner<sup>9</sup> a pour but d'évaluer l'attention d'un sujet. On donne au sujet un point de fixation, et des cibles apparaissent à la périphérie. En faisant varier la consigne et le stimulus périphérique, on étudie tel ou tel aspect de l'attention visuelle. Le modèle de Posner de l'attention spatiale<sup>10</sup> implique à la fois à une augmentation de l'activité dans les régions sélectionnées, et à une diminution dans les régions négligées. Il suppose un « réseau attentionnel » (inconscient) qui oriente l'attention vers une région de l'espace, un « réseau de préparation » (conscient) et un « réseau de vigilance » (lié au système de la noradrénaline).

La théorie de « l'intégration des attributs » considère que la représentation cohérente de l'objet est le résultat de la mise en cohérence de l'intention et de l'attention. Cette idée tente de résoudre le problème de l'éclatement du monde visuel dans les premières aires visuelles (V1, V2, V4, etc.) et de la cohérence, de l'unicité des objets perçus. Sur le plan anatomique, l'hypothèse est qu'à partir de la voie dorsale (qui code les couleurs, les mouvements, etc.) et de la voie ventrale (qui code l'identité des objets, les visages, etc.) se constituent des cartes d'attributs, le rôle de l'attention étant de faire le lien entre ces cartes.

Certains auteurs<sup>11</sup> proposent, à partir de cartes de « saillance » multi-échelle, la sélection d'objets à partir d'un foyer attentionnel. Certaines variantes insistent sur la compétition entre les différents attributs visuels, notamment par des processus d'inhibition. Ces modèles font intervenir une « mémoire de travail », mais ne considèrent que des processus ascendants.

Une théorie récente, celle de Pylyshyn<sup>12</sup>, propose que l'attention porte non seulement sur l'espace visuel, mais également sur l'espace des attributs (couleur, forme, position, mouvement, etc.). Reprenant la notion de « modèle interne » du monde extérieur, il s'éloigne d'une vision trop formaliste de la mise en relation des attributs, et propose que l'esprit du sujet connaisse les objets à travers une indexation visuelle de ceux-ci. Le rôle de l'attention consisterait à relier les voies qui codent ces attributs pour faire la synthèse de l'objet.

La théorie pré-motrice de l'attention<sup>13</sup> propose que le mécanisme présenté habituellement comme la préparation de l'attention motrice (par exemple la préparation d'une saccade oculaire) soit lui-même l'attention.

Il existe d'autres modèles<sup>14</sup>, et l'imagerie cérébrale est très utilisée pour étudier tous les aspects<sup>15</sup> de l'attention : attention soutenue, attention divisée, déplacement de l'attention, attention sélective, etc<sup>16</sup>. On commence à identifier des régions dans le sillon temporal supérieur, dans le cortex pariétal, qui sont liées à ces différents types d'attention. Ce sont d'ailleurs plus des réseaux de régions que des régions connexes. Il a été montré par exemple que l'attention sélective (à la couleur, à l'émotion exprimée par un visage, à l'identité du visage, etc.) module l'activité cérébrale. Un modèle récent de l'attention soutenue décrit le processus comme une combinaison de processus « bottom-up » et de processus « top-down ». Dans une

---

<sup>9</sup> M. Posner, professeur à l'University of Oregon, Institute of Neurosciences.

<sup>10</sup> Il est établi que l'attention spatiale montre statistiquement un léger biais du côté gauche, du fait que c'est la partie droite du cerveau qui est la plus impliquée. On peut l'établir facilement en montrant des séries de deux dégradés inversés (le second étant le même que le premier, mais retourné) à des sujets auxquels on demande quel est le dégradé le plus sombre. On peut également demander quel est le côté le plus long d'une ligne dont on a marqué le centre, etc.

<sup>11</sup> Notamment C. Koch, E. Niebur, L. Itti.

<sup>12</sup> Z. Pylyshyn, professeur à la Rutgers University, Center for Cognitive Science.

<sup>13</sup> Par exemple G. Rizzolatti et A. Bertoz.

<sup>14</sup> Lire par exemple « *naturaliser la phénoménologie* », CNRS Editions, 2002, publié sous la direction de B. Pachoud, J. Petitot, J.-M. Roy et F. J. Varela et « *the attentive brain* », MIT Press, 2000, publié sous la direction de R. Parasuraman.

<sup>15</sup> La séparation entre les différents types d'attention est une donnée importante qui est masquée par l'usage d'un même mot (attention) pour décrire des choses différentes. Par exemple, il est établi que la vigilance et l'attention volontaire correspondent à des mécanismes physiologiques très différents.

<sup>16</sup> Un bon moyen de relancer la vigilance consiste à créer un événement inattendu (dans n'importe quel système sensoriel). Pour un trajet en voiture, par exemple, un bruit inattendu et imprévisible de temps en temps peut constituer un système efficace (pour réveiller l'automobiliste, pas pour l'empêcher de se rendormir).

étude classique<sup>17</sup>, on soumet un singe à une tâche attentionnelle (du type « un stimulus vert au milieu de stimuli rouge »), et on constate l'activation des neurones du cortex pariétal lorsque le stimulus pertinent (dans l'exemple, le vert) est dans le champ récepteur. Dans tous les cas, la question reste posée de savoir si l'attention est un processus sériel ou parallèle.

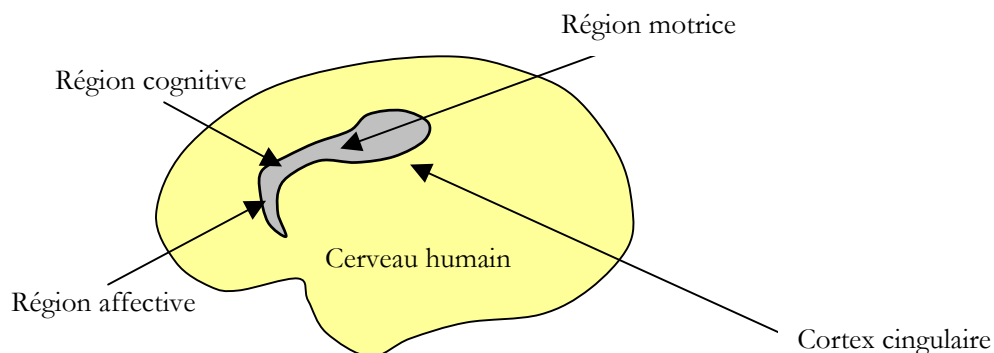
### *Pathologie de l'attention*

Les diverses pathologies impliquant une modification des processus attentionnels représentent une source de connaissance sur ces processus, par des études comparatives. On dispose d'un ensemble d'observations partielles sur les liens entre attention et certaines pathologies : maladie d'Alzheimer, sur l'autisme, l'épilepsie, négligence spatiale, et schizophrénie.

Pour quantifier les déficits d'attention dus à la maladie d'Alzheimer, on propose aux sujets une tâche attentionnelle complexe. Avant de montrer la cible vers laquelle diriger son regard, on montre une « pré-cible » qui indique de quel côté va apparaître la cible. Les malades ont tendance à ne pas pouvoir utiliser cette information qui permet, normalement, une préparation de l'attention.

L'autisme est une « maladie » qui ne fait pas consensus. Les enfants ont en général un déficit dans les relations sociales, notamment à travers le regard, le regard partagé, l'attention conjointe<sup>18</sup>, et également des troubles du langage, une forte résistance au changement. On observe une difficulté à prêter attention à quelque chose en relation à une intention de l'autre. Actuellement, on revient sur l'idée que l'autisme est toujours liée au comportement des parents. Des données récentes sur les bases neurales de l'autisme ont montré une similarité, sur certains points, avec la maladie de Parkinson (notamment concernant le systèmes sérotonine et dopamine) et une absence d'activation du gyrus fusiforme, habituellement activé par la reconnaissance des visages. On fait l'hypothèse d'une hypo-activité d'une zone du lobe temporal qui a des conséquences sur la négligence spatiale.

A partir d'études sur des autistes épileptiques qui ont subi une chirurgie de l'hippocampe, on fait également l'hypothèse que la clé du problème de l'autisme réside dans la cohérence de la représentation, non pas seulement des objets, personnes extérieures à soi, etc. mais du corps propre, du soi.



*Figure 1 : le cortex cingulaire antérieur*

La schizophrénie est peut-être liée à un déficit de l'attention. On observe en tout cas une sous-activité du cortex préfrontal droit dans les tâches attentionnelles chez ces patients. La schizophrénie est généralement décrite par un schéma théorique du fonctionnement du système perception/action, dans lequel le schizophrène se distingue par le fait que certains circuits sont inhibés. On observe par exemple une réduction des potentiels évoqués normalement liés à l'attention à un événement inattendu<sup>19</sup>.

<sup>17</sup> Publiée dans *Nature review neurosciences*.

<sup>18</sup> Le fait de regarder ce que regarde l'autre.

<sup>19</sup> Le cortex cingulaire antérieur a un rôle (entre autres) dans la détection de la nouveauté. Il est divisé en trois zones, toutes impliquées dans les relations avec le monde. Cette zone semble globalement impliquée dans le traitement des « conflits » entre plusieurs modes de perception (par exemple dans un conflit attentionnel, lorsqu'on demande de

L'autisme inclut certainement un déficit attentionnel, notamment dans l'attribution d'intentions à autrui. La négligence spatiale semble liée (selon le Pr. Karnath) à l'activité du gyrus temporal supérieur<sup>20</sup>, qui est aussi sous-actif chez les autistes.

AB propose de considérer dans ce cadre une pathologie de la focalisation de l'attention qui consiste à avoir de très fortes difficultés à changer de point de vue, donc à être prisonnier d'un mode donné de sélection de l'information<sup>21</sup>. Le cerveau projette sur le monde ses pré-perception, permet de voir ce que l'on veut voir. C'est certes une organisation formidable, mais qui comporte un puissant mécanisme d'enfermement dans un point de vue. Ce qui nous sauve, c'est la capacité à changer de point de vue, capacité qui se développe selon Piaget autour de 8 ans<sup>22</sup>. Pour AB, l'endoctrinement des enfants autour de 7-8 ans représente donc un enjeu social et politique particulier, puisqu'il peut conditionner la capacité de ces enfants, pour le reste de leur vie, à sortir du « piège » que représente la propension à voir ce que l'on a prévu de voir.

### *Le développement de l'attention chez l'enfant*

La littérature sur l'ontogenèse des processus attentionnels chez l'enfant est vaste. La référence en France est O. Houdé<sup>23</sup>, qui critique le modèle de Piaget basé sur la coordination et l'activation, en introduisant l'importance de l'inhibition<sup>24</sup>.

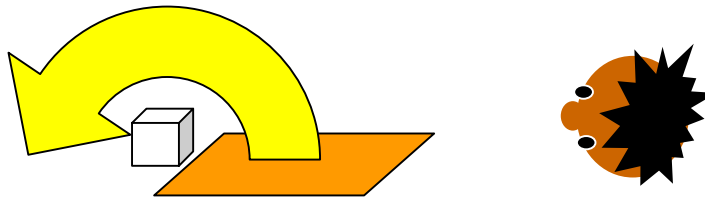


Figure 2 : paradigme de disparition de l'objet (observateur à droite).

L'ontogenèse de l'attention a été notamment étudiée à travers des tests qui servent aussi en cognition. Il y a quelques paradigmes classiques :

---

compter le nombre de mots dans l'expression « **meurtre mort meurtre mort** » ou « **trois trois trois trois** », ou de nommer la couleur du mot **ROUGE**).

<sup>20</sup> Cette zone, si on la stimule, provoque des réactions de sortie du corps ; elle est centrale pour la construction d'une cohérence spatiale du monde perçu, et de la relation entre le monde et le corps propre.

<sup>21</sup> Les enfants bourreaux dans la guerre civile récente au Libéria sont un exemple extrême, mais tous les mécanismes sectaires ou simplement d'endoctrinement comportent cette dimension acquise d'incapacité à « sortir de son point de vue ».

<sup>22</sup> Les principales étapes du développement sensori-moteur et cognitif selon Piaget sont, vers 4 mois, la compréhension des propriétés topologiques de l'espace, vers 1 an, la coordination vision-préhension et la décentration perspective, vers 2 ans le changement de point de vue. Vers 7-8 ans, l'espace intellectuel l'emporte sur l'espace perceptif.

<sup>23</sup> O. Houdé, CNRS, CEA, Université Paris V.

<sup>24</sup> Une théorie se développe autour de la notion d'inhibition comportementale, qui donne un rôle important à l'hippocampe, région qui ne figure pas habituellement dans les théories de l'attention. L'idée centrale<sup>24</sup> est que l'hippocampe est un détecteur de nouveauté, d'incongruité. La modulation attentionnelle, dans cette optique, consiste à sélectionner une action en fonction de sa pertinence, de sa nouveauté. L'importance accordée au stimulus est évidemment liée aux émotions associées. La sélection de l'action se ferait, à travers l'attention, par une inhibition comportementale qui choisit le comportement adapté à la situation. L'hippocampe est un comparateur qui fait une sélection, qui se concrétise dans le processus attentionnel.

- Un éléphant en peluche est sous une cloche opaque. L'enfant va le chercher. On place l'éléphant sous une autre cloche. L'enfant va regarder sous la première cloche<sup>25</sup>.
- On fait passer un bâton derrière un obstacle, ce qui suggère la « permanence de l'objet ». Mais finalement, il n'y avait que deux demi-bâtons, ce qui épaté l'enfant.
- On provoque un événement physiquement impossible, comme le retournement d'une plaque qui occupe de ce fait l'espace occupé par un cube, que l'enfant ne voit plus (à cause de la plaque) mais qu'il sait être là (Cf. Fig. 2).

Une autre théorie issue de Piaget a renversé son schéma, en considérant que le développement va de la pensée vers l'action. L'enfant active ou inhibe des représentations. Il vient au monde avec des hypothèses qu'il projette sur le monde ; et à son répertoire primitif il substitue, au cours du développement, de nouveaux schémas.

Concernant la « maturation » du cerveau, il n'y a pas de consensus<sup>26</sup>. Cela touche à la fois les bases neurales de l'ontogenèse, et les relations attention/intention. Pour les « localisationnistes », il existe une cartographie du cerveau avec un rôle pour chaque région (par exemple, pour les différents types d'attention). Pour les « interactionnistes », le paramètre principal est le réseau de relation qui se constitue par apprentissage, et qui fait le lien entre intention, attention et action. Pour les « instructionnistes », le processus majeur est l'acquisition de nouvelles habiletés par apprentissage.

Les données de l'électro-encéphalographie montrent que si on découvre un chien dans une tâche d'encre, ou un carré « caché » dans une figure (Fig. 3), on observe des oscillations des ondes  $\gamma$  dans certaines régions du cerveau (autour de 40 Hz). Ces ondes peuvent être observées à partir de 8 mois<sup>27</sup>.

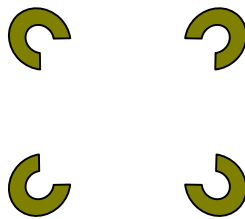


Figure 3 : carré caché

L'imitation comportementale suppose une attention au phénomène imité ; or on observe de tels comportements très tôt (par exemple, tirer la langue par imitation, entre les 10<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> jours après la naissance). On observe dans cette activité une activation de réseaux pariéto-frontaux, mais aussi du lobe temporal supérieur. On subodore un lien entre ces mécanismes et les « neurones miroirs »<sup>28</sup>.

La question se pose du rôle, dans le développement de l'attention, des processus « naturels ». On entend par là par exemple le déplacement normal d'un humain<sup>29</sup> ou d'un animal. Certains font l'hypothèse de mécanismes innés adaptés aux formes naturelles, avec un traitement de l'information très rapide dans le

<sup>25</sup> C'est le célèbre paradigme « A non B ».

<sup>26</sup> L'aire cérébrale de l'hémisphère droit qui correspond chez l'homme (et chez le singe) à la notion de « représentation de l'espace » a un symétrique dans l'hémisphère gauche, qui a la même fonction chez le singe mais qui chez l'homme correspond à l'aire du langage. Il faut donc comprendre l'évolution phylogénétique du singe vers l'homme comme incluant un changement de fonction, qui semble radical, d'une aire cérébrale dédiée à l'orientation et à la représentation de l'espace qui devient dédiée au langage. Cela donne à réfléchir sur la nature commune, s'il y en a une, entre langage et représentation spatiale, peut-être même sur ce qu'est une représentation pour la conscience.

<sup>27</sup> Ce qui constitue un système de « mesure » non intrusif de l'attention chez le petit enfant.

<sup>28</sup> Neurones découverts par J. Rizzolatti (1982), qui s'activent spécifiquement, chez le singe, lorsque le sujet mange une cacahuète *en même temps* que l'homme en face de lui.

<sup>29</sup> On a montré qu'on pouvait reconnaître un personnage naturel en mouvement avec seulement quatre points judicieusement disposés.

cerveau. On sait en tout cas que selon que l'on présente à un enfant des mouvements naturels ou non naturels, on n'obtient pas le même résultat ; en particulier, l'enfant attribue plus facilement une intention à un être doué d'un mouvement « naturel ». On observe, parallèlement, que l'attention de l'enfant est liée à l'intention qu'il attribue aux autres « personnes » de son environnement<sup>30</sup>.

Il y a actuellement une approche émergente en psychologie expérimentale, qui consiste à croiser les paramètres observés avec des données génétiques. Posner s'est engagé dans cette voie pour l'étude des processus attentionnels, avec l'objectif d'expliquer une partie des différences inter-individuelles. L'enjeu social est d'identifier les enfants « à risques » pour les aider, sachant que l'ADHD<sup>31</sup> est devenue un « symptôme » très à la mode, notamment dans le monde anglo-saxon.

En conclusion, on est encore loin de comprendre l'ontogenèse des processus attentionnels. Mais le croisement des données entre neurophysiologie, pathologie, psychologie expérimentale et imagerie donne des résultats fructueux.

### *Le regard*

On distingue de modes de production de la saccade oculaire. La première est très rapide, et elle existe chez tous les animaux. Une stimulation de la rétine se traduit sur une carte rétinotopique dans le colliculus supérieur<sup>32</sup>, ce qui déclenche l'activation de deux générateurs de saccades, l'un pour le mouvement horizontal, l'autre pour le mouvement vertical et la torsion. Une autre voie, nettement plus lente, passe par le cortex visuel, le cortex frontal et le champ oculomoteur frontal ; il prend en compte la localisation des cibles, et permet l'organisation de séquences de saccades (lien entre cognition et mémoire).

AB a montré la similarité entre les mécanismes de l'attention visuelle et la production de saccade.

AB a développé une théorie hiérarchique du contrôle saccadique. Il décrit dans le tronc cérébral un réseau « local » de contrôle de la saccade. Au-dessus de ce réseau se place un système de « commandes », dans le colliculus supérieur, qui est informé par une carte rétinotopique<sup>33</sup>. Mais le système de contrôle est global, car la coordination tête-œil<sup>34</sup> est essentielle dans le « mouvement du regard ». Quand un chat voit une souris, c'est l'ensemble qui fait une rotation, déclenchée par un stimulus en périphérie du regard ; c'est ce qu'on a désigné plus haut comme la voie rapide d'orientation du regard.

Fort heureusement, le colliculus est sous le contrôle d'un système inhibiteur qui empêche de faire des saccades en permanence dans toutes les directions<sup>35</sup>. Ce système inhibiteur est continu, et se relâche parfois en fonction de facteurs intentionnels.

L'attention spatiale peut se voir comme une sélection spatiale de la direction du regard. Mais il faut se garder de la considérer comme une fonction purement corticale, c'est un mécanisme qui doit également mettre à contribution des couches plus « anciennes » : le lézard a aussi besoin d'un mécanisme attentionnel performant.

La différence entre saccade réelle (et volontaire) et saccade imaginée a été étudiée, notamment sur le plan des mécanismes corticaux, par différents paradigmes<sup>36</sup>. On montre par exemple que le champ oculomoteur frontal et l'aire oculomotrice supplémentaire et le cortex cingulaire sont impliqués à la fois

---

<sup>30</sup> On peut l'observer, par exemple, avec des paradigmes du type « petit théâtre » avec plusieurs tableaux, le dernier étant « congruent » (c'est-à-dire attendu, étant donné les indications des tableaux précédents) ou « non congruent ».

<sup>31</sup> *Attention Deficit Hyperactivity Disorder*. Ce symptôme est caractérisé par des déficits cognitifs, du langage, de l'attention, et moteurs.

<sup>32</sup> C'est-à-dire une cartographie du champ visuel topologiquement isomorphe à la rétine.

<sup>33</sup> Ainsi que par des informations acoustiques, ce qui fait que la commande est multi-sensorielle.

<sup>34</sup> Par le système vestibulo-oculaire.

<sup>35</sup> Inhibition modélisée notamment par Itti.

<sup>36</sup> par exemple, avec des expériences dans le noir, ou par comparaison avec des saccades involontaires (provoquées), etc.

lors d'une saccade volontaire dans le noir et lorsqu'on demande au sujet d'imaginer une saccade (donc de déplacer l'attention sans bouger les yeux).

### *Théorie pré-motrice de l'attention*

On dispose de résultats sur les processus pré-attentifs ; par exemple, les processus en jeu pour le comptage sont différents selon qu'on a plus ou moins de 3 objets. Il semble que ce ne soit pas les mêmes aires du cerveau qui soient impliquées. Concernant la reconnaissance des visages, on peut suivre la « reconstitution » à travers les aires V1, V2, V4 jusqu'au cortex inféro-temporal. On sait qu'ils sont traités dans le gyrus fusiforme (comme les autres « animés »), contrairement aux paysages, objets, etc. traités dans le para-hippocampe.

Qu'est-ce que l'attention ? Rizzolatti a proposé l'idée qu'il n'y a pas de circuits nerveux spécifiques de l'attention, mais que les circuits utilisés par cette fonction sont des circuits sensori-moteurs classiques<sup>37</sup>. La théorie pré-motrice de l'attention insiste sur le rôle du regard, donc du mouvement oculaire. La stratégie visuelle<sup>38</sup> de prise d'information a été beaucoup étudiée, et on sait qu'elle dépend fortement, en conditions de laboratoire, de la consigne. Un ensemble de sous-systèmes contrôlant le mouvement du regard a été identifié :

- Orientation spatiale
- Saccade oculaire
- Stabilisation (mouvement de la tête, réflexe vestibulo-oculaire)
- Poursuite oculaire<sup>39</sup> (chez le singe et l'homme, qui ont une fovéa).

Dans une abondante littérature sur le lien entre attention et saccades, Il a été montré, par exemple, que la saccade est facilitée par l'attention, et que sa trajectoire peut en être modifiée. On sait également que le champ récepteur<sup>40</sup> des cartes visuelles (par exemple, dans le cortex pariétal) se déplace en direction de l'orientation d'une saccade, juste avant celle-ci. On est ici dans le registre de l'anticipation, de la prédiction.

On a découvert récemment un neurone inhibiteur, qui est actif sauf pendant les saccades. Il s'agit d'un verrouillage temporel des saccades : pour déclencher une saccade, il faut inhiber temporairement ce neurone inhibiteur. Il existe par ailleurs une inhibition spatiale, qui à partir de la boucle oculomotrice (thalamus, etc.) entre dans la substance noire et inhibe une « carte motrice » qui ressemble fort à une carte de saillance visuelle. L'hypothèse de AB est que la saccade n'est que le moment final d'un processus attentionnel : la saccade réelle est le résultat d'une saccade simulée<sup>41</sup> et d'une action motrice en bout de chaîne.

AB a étudié des séquences complexes de saccades, supposant une mémorisation visuo-spatiale puis la répétition intentionnelle des séquences de saccades. On observe bien entendu l'effet de l'apprentissage, pour lequel des aires spécifiques ont été mises en évidence. D'autres expériences ont permis de localiser des aires impliquées dans une prise de décision. Le paradigme standard consiste à proposer une fixation centrale et deux directions possibles de saccades. Un signal indique la direction de la saccade à préparer.

Une variante a été utilisée pour connaître les aires cérébrales impliquées dans un choix (Fig. 4, ligne 2), et donc séparer expérimentalement les phases de cognition et d'action. On voit, en imagerie cérébrale, que

---

<sup>37</sup> AB se démarque de cette théorie dans la mesure où elle est réductrice par son absence de distinction entre perception et mouvement, entre intention et action.

<sup>38</sup> En anglais *scanpath*. Le russe A. L. Yarbus est le chercheur de référence pour ce qui concerne l'exploration visuelle (*Eye movements and vision*, 1967).

<sup>39</sup> Il s'agit d'un mécanisme de stabilisation particulier.

<sup>40</sup> On appelle champ récepteur d'un neurone cortical l'ensemble des récepteurs de la rétine susceptibles de modifier son état (on peut le traduire, en général, sous la forme d'une région de l'espace)

<sup>41</sup> Le vocabulaire anglo-saxon nomme « overt » la saccade oculaire normale, et « covert » la saccade non réalisée mais seulement imaginée.



les zones actives sont différentes entre les phases de choix, de préparation et d'exécution. On peut également suivre la dynamique temporelle du processus. Ce type de résultats donne un fondement à la théorie pré-motrice de l'attention, qui suppose une simulation mentale de l'attention. Si on n'arrive pas à identifier des neurones spécifiques inhibiteurs du déclenchement de la saccade, on peut tout de même supposer que les saccades imaginées et les saccades exécutées utilisent en partie les mêmes circuits neuronaux.

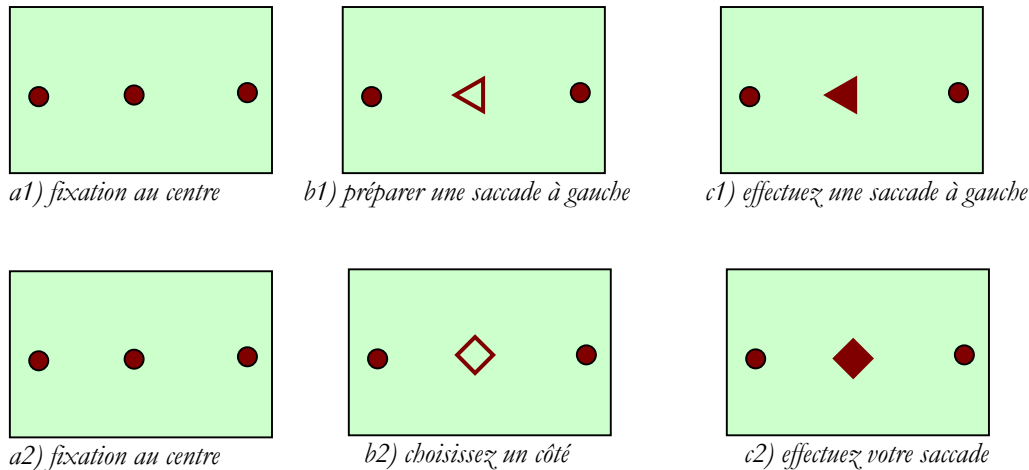


Figure 4 : paradigmes permettant d'étudier la préparation de la saccade oculaire

#### *Emotion et attention*

Quels sont les rapports<sup>42</sup> entre perception et émotion ? la notion d'empathie suppose en général une séquence qui va de la perception (sans émotion) à l'interprétation, qui peut éventuellement déboucher sur une empathie puis sur des affects. Pour E. Cassierer, cette chaîne doit être remise en question, et même être inversée.

Pour Posner, comme on l'a vu plus haut, il y a trois grands systèmes attentionnels : la vigilance, le système antérieur et le système postérieur, l'attention étant une combinaison de mécanismes « ascendants » et « descendants ». Le CPF est une zone cruciale pour le traitement des informations sensorielles, de l'action, et de la décision. Il n'agit pas directement, mais sur des structures intermédiaires (liées à des représentations ?).

Les notions utilisées pour étudier le lien entre attention et émotion sont souvent liées à la perception, avec notamment le concept de mécanisme « pré-attentif », comme dans l'aire V1. Parallèlement, la question qui se pose est de savoir si l'émotion modifie la perception « à la source », c'est-à-dire par des mécanismes dits *top-down*. Les principaux courants et auteurs sont

- C. Darwin (*l'expression des émotions chez l'homme et les animaux*);
- E. Rolls (*the brain and emotion*), néo-behavioriste;
- W. James, qui a retourné le sens commun: « j'ai peur *parce que* je fuis » ;
- Ledoux, qui a mis en évidence le rôle de l'amygdale et distingué une voie rapide et une voie lente ;
- Papez, qui a mis en évidence le rôle du cortex cingulaire ;
- McLean, qui a mis en évidence le rôle du système limbique émotionnel ;
- Gray, qui a mis en évidence le rôle de l'hypocampe.

<sup>42</sup> « perception et émotion » était le sujet du cours de AB au Collège de France en 2003 (Cf. mon résumé).

Rolls a une position claire sur le niveau où intervient l'affect. Pour lui, dans un premier temps, le traitement de l'information n'est pas perturbé par les émotions. Son principal argument est que sinon, l'identification et la reconstruction des objets ne seraient pas possibles. Pour lui, l'émotion intervient donc après la construction des objets, donc pas dans les mécanismes de l'attention. Mais pour AB, cette question n'est pas résolue aujourd'hui.

Les émotions sont « gouvernées » par une famille de substances : sérotonine, dopamine, acétylcholine, etc. L'imagerie cérébrale a montré des aires impliquées dans toutes les émotions, d'autres liées à certaines émotions (peur, joie, etc.). Concernant le lien entre émotion et action, il faut garder à l'esprit que l'inaction doit être comprise comme une forme d'action (par exemple, pour le crapaud qui se blottit dans l'herbe quand arrive la tondeuse).

### *Le cortex pré-frontal*

A partir des multiples aspects de l'attention examinés jusqu'ici, on peut se demander s'il existe un mécanisme physiologique superviseur de l'attention. Le cortex pré-frontal semble être un bon candidat pour être le siège d'une telle fonction.

Par rapport aux deux voies visuelles, dorso-pariétale et ventrale<sup>43</sup>, l'implication du CPF est établie dans les deux voies, et dans les deux sens. L'hypothèse de mécanismes attentionnels différents dans ces deux voies a été proposée (par exemple entre attention soutenue et vigilance). On soupçonne un rôle du CPF dans la modulation de l'attention en fonction des intentions, des objectifs, etc.

Le rôle du CPF a également été mis en évidence<sup>44</sup> dans les modifications de l'aire V1 liées à une modification de l'attention. On sait aussi qu'une onde cérébrale<sup>45</sup> qui apparaît lors de la perception d'une nouveauté (ou incongruence) est modifiée en cas de lésions du CPF.

Actuellement, on commence à distinguer fonctionnellement des sous-régions dans le CPF : CPF gauche (signification, attributs, séquence d'événements), CPF droit, CPF latéral (adaptation, séquences), CPF dorsolatéral (mémoire de travail, séquences, plan d'action), CPF antérieur (processus de longue durée), etc. Globalement, l'idée est que le CPF réalise une synthèse, élabore des décisions, des plans d'action, en fonction des intentions.

La théorie du contrôle cognitif de l'action intentionnelle part des entrées sensorielles, des motivations et de la mémoire comme « données d'entrée » du CPF, qui élabore des synthèses, puis des décisions, ce qui conduit à des actions volontaires. Il résout, par exemple, des conflits attentionnels comme dans les tâches de Stroop. Cette théorie s'oppose à une théorie hiérarchique, plus séquentielle, partant des buts, filtrés par la mémoire des événements passés, par le contexte, puis par les données actuelles (notamment sensorielles), pour déboucher sur une action.

### *L'amygdale*

L'amygdale est une toute petite région, dans un coin du cerveau, qui est reliée à beaucoup d'autres régions. Elle est impliquée dans des relations entre expression faciale, interprétation, contrôle des comportements, reconnaissance des visages, etc. Elle est notamment impliquée dans l'identification du fait que quelqu'un nous observe. Elle met en relation la chose perçue, construite comme objet, et l'émotion associée. Plus généralement, l'amygdale est impliquée dans trois systèmes :

- La modulation des réactions d'orientation par apprentissage associatif. Il s'agit de la manière dont le regard s'oriente vers un stimulus nouveau, « intéressant ». Cette action est modifiée en fonction des buts, et du contexte, notamment à travers l'amygdale.
- La sélection de l'action par importance ou nouveauté n'explique pas tout. L'associabilité concerne le lien entre apprentissage et sélection de l'action. L'amygdale contribue à renforcer ce lien.

---

<sup>43</sup> la voie dorsale traitant principalement les aspects spatiaux, ego-centrés, et le guidage, et la voie ventrale traitant principalement l'identification des objets, des visages.

<sup>44</sup> Dans des études comparatives incluant des sujets présentant des lésions du CPF.

<sup>45</sup> Onde P3a.

- L'attention divisée concerne la capacité à être attentif à plusieurs choses à la fois.

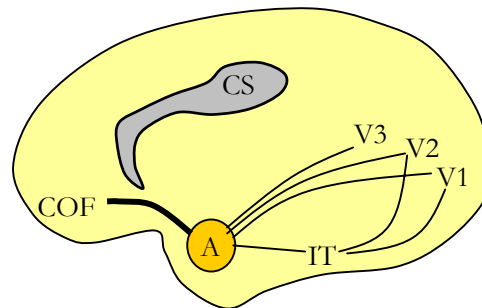


Figure 6 : l'amygdale et le cortex cingulaire

Le cortex cingulaire est impliqué dans la liaison entre attention et émotion, ce que l'on met en évidence en montrant à des sujets des images considérées comme plaisantes, neutres ou désagréables, et en comparant l'imagerie cérébrale selon que la consigne focalise l'attention sur le contenu sémantique ou émotionnel des images.

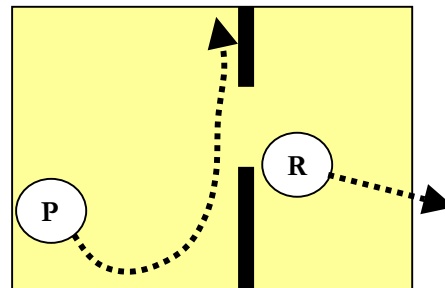


Figure 7 : vidéo d'évaluation du lien causal.

Des recherches s'intéressent à l'attribution d'intentions à autrui. Un paradigme original utilise un petit jeu vidéo (Cf. Fig. 7) dans lequel des agents P et R peuvent être interprétés comme liés causalement l'un à l'autre ou non. L'agent P se déplace, et à un moment donné l'agent R s'en va. Ce peut être au moment où P passe devant la « fenêtre », ou à un moment où R ne « voit » pas P. Selon le cas, le sujet peut inférer ou non un lien causal entre les deux mouvements.

### Conclusion

Les théories de l'attention ont globalement pris le problème à l'envers, en se concentrant sur les processus *bottom-up*. Il faut renverser cette attitude, ne pas considérer le cerveau comme un système de transmission sensori-moteur, et considérer l'attention comme un mécanisme d'anticipation, de simulation.

Husserl considère que les objets dont nous devenons conscients se constituent à travers un acte intentionnel de visée dirigée sur un objet : c'est un acte de représentation. James s'est intéressé à l'attention en remarquant notamment l'étroitesse du « champ de conscience », c'est-à-dire la sévérité de la sélection qu'opère l'attention par rapport à la richesse du monde sensoriel. La question de savoir s'il y a un « superviseur » dans les processus attentionnels reste posée. Ce qui est avéré, c'est que les systèmes *top-down* sont modulés par des systèmes de neuro-modulateurs (dopamine, etc.), mais cela ne permet pas de trancher entièrement la question. Les psychologues ont des modèles cognitifs très complexes et très embrouillés, mais ils s'intéressent également à cette notion de superviseur attentionnel.

A. Damasio a fait l'hypothèse de ce qu'il appelle des « marqueurs somatiques » : dans le traitement de l'information se combinent des processus « rationnels » et des variables liées à l'état émotionnel du sujet.

Il est avéré que le CPF est un carrefour. Il est particulièrement développé chez les primates. C'est actuellement le meilleur candidat pour traiter les rapports entre attention et décision<sup>46</sup>. Le CPF inclut des

<sup>46</sup> Pour AB, l'attention est une forme élémentaire de décision perceptive.

sous-régions liées à la perception et à l'action. Il est lié aux voies dorsale, ventrale, à des synthèses multisensorielles (en entrée) et à des voies motrices (en sortie). Une hypothèse intéressante est que le CPF opère sur des neurones intermédiaires, peut-être assimilables à des « représentations », plutôt que sur les voies motrices elles-mêmes.

Le Cortex cingulaire intervient dans les situations de conflit entre les pôles cognitifs, émotionnel et moteur (*stroop*). La décision de regarder quelque chose, par exemple, est liée à des intentions, des désirs. Un modèle probabiliste a été récemment proposé pour modéliser le choix d'une cible pour le regard (liée à la saillance visuelle), en intégrant le paramètre que constitue la décision de changer d'objet d'intérêt.

Le contrôle des saccades oculaires dépend d'un mécanisme ancien (en terme d'évolution) et automatique, le système rétino-tecto-oculomoteur, et d'un système comparativement plus récent, qui inclut des stratégies complexes. AB a proposé l'hypothèse que les mécanismes pré-moteurs d'inhibition permettent le déplacement de l'attention, qui est une simulation du déplacement du regard, en verrouillant le mécanisme moteur situé en « bout de chaîne ». Actuellement, on commence à trouver des corrélats neuronaux avec la décision de faire une saccade, et les sous-problèmes du moment concernent le lien entre un stimulus particulier et une saccade particulière (*bottom-up*), ainsi que la manière dont la connaissance de l'environnement influence la relation entre stimulus et saccade (*top-down*).

Dans des paradigmes expérimentaux dans lesquels l'observateur « voit » soudain quelque chose, on a observé chez le singe que certains neurones ont une activité qui augmente *lentement* avant que le sujet ne « comprenne » ce qu'il a devant les yeux. Avec des neurones de ce type, comme également certains neurones impliqués dans la préparation de la saccade oculaire, on peut maintenant prédire l'action d'un animal à partir de l'état d'activation d'un neurone impliqué dans la préparation de cette action.

## Index des noms propres

*A. Berthoz*

*Berkeley*

*P. Bourdieu*

*E. Cassierer*

*A. Damasio*

*C. Darwin*

*Gray*

*O. Houdé*

*E. Husserl*

*L. Itti*

*W. James*

*Karnath*

*C. Koch*

*Ledoux*

*Mc Lean*

*M. Merleau-Ponty*

*M. Mesulam*

*E. Niebur*

*Papez*

*R. Parasuraman*

*J. Petitot*

*J. Piaget*

*M. Posner*

*Z. Pylyshyn*

*G. Rizzolatti*

*E. Rolls*

*J.-P. Sartre*

*L. Wittgenstein*

*A. L. Yarbus*