

Une approche de la conscience vue comme une extension du mécanisme de l'attention volontaire

F. Anceau

Longtemps considérée comme un sujet tabou, la conscience a été exclue du domaine scientifique jusqu'à ce que, récemment, d'éminents chercheurs, souvent titulaires de prix Nobel, en fassent leur domaine de recherche. Actuellement, plus d'un millier de personnes de part le monde essaient de percer le mystère de cette fonction, particulièrement curieuse, du psychisme humain. L'étude de la conscience est surtout développée aux Etats-Unis et en Europe du nord. Des chaires et des sociétés savantes ont été créées, des colloques se tiennent périodiquement sur le sujet, ainsi que des revues scientifiques de haute tenue.

Comme pour beaucoup de sujets nouveaux aux frontières particulièrement floues, une grande confusion règne entre les chercheurs sur la définition même de la conscience. Les approches s'étendent sur un vaste domaine qui va de la métaphysique à la neurobiologie, en passant par la physique théorique. L'étude "scientifique" de la conscience est assez récente. Elle s'appuie toutefois sur celle de la pensée (et de l'âme) qui a mobilisé les philosophes depuis des centaines d'années pour progressivement s'extraire du contexte religieux dans laquelle elle était enchaînée depuis l'aube des temps. L'influence des convictions personnelles est d'ailleurs encore très prégnante chez les chercheurs qui abordent ces sujets.

Les approches reflètent aussi l'ambiguïté sémantique attachée au mot conscience dans la langue française. Transcendance ou métaphysique pour les uns, étude de l'état d'éveil, de la présence au monde pour les autres, le gouffre sémantique est énorme. Toutefois, il faut remarquer que ces deux aspects extrêmes de la conscience ne sont pas aussi antinomiques qu'il n'y paraît. Ils sont tellement différents qu'ils pourraient même coexister. Dans ce document, nous ne nous intéresserons qu'au second aspect, c'est-à-dire à ce qui fait qu'un être possède un comportement et des pensées conscients. Nous chercherons à rester dans le cadre du matérialisme scientifique et nous chercherons à intégrer les dernières découvertes de la neurophysiologie, de la psychologie et des sciences cognitives.

Les travaux actuels sur la conscience se divisent en deux grands courants:

- Celui issu de la neurobiologie et de la psychologie cognitive dans lequel nous nous situerons.
- Celui qui postule que la conscience est une propriété de la matière au niveau quantique. Suivant les auteurs, cette propriété est de nature métaphysique [ECC 89] ou liée à des structures cellulaires comme le cytosquelette des neurones [PEN 94, HAM 96]. Elle peut concerner l'ensemble de l'univers [JAH 86], ou seulement le cerveau humain.

Ces travaux sont largement commentés par des philosophes qui proposent des réflexions et des conceptualisations.

La spécificité humaine

Bien que la majorité des chercheurs se réfèrent du matérialisme scientifique, nombreux sont ceux qui ont l'intime conviction que l'homme possède, au moins au niveau psychique, des fonctions particulières qui échappent aux possibilités du monde physico-chimique. Pour les uns, seul le cerveau humain peut avoir accès au "sens" et cet accès n'est pas réductible à un traitement de l'information, même élaboré. L'archétype de ce raisonnement a été donné par John R. Searle dans la situation de pensée de la "chambre chinoise" [SEA 80]¹. Pour les autres, la nature des perceptions pose le problème des impressions subjectives (les *qualia*), ce qui revient à poser la question: "qui voit?" ou "qui ressent?" etc... Thomas Nagel a étudié ce problème dès 1974 dans son essai intitulé: *Quel effet cela fait-il d'être une chauve-souris?* [NAG 74].

Tous ces arguments s'appuient sur celui de la *spécificité humaine* qui dit que le cerveau humain possède des propriétés qu'aucune machine ne pourra jamais avoir. Cela revient à dire qu'il est en relation avec "quelque chose" qui n'est pas de nature physique (ce qui est la définition même du dualisme). L'idée que la conscience est une "Entité", distincte du monde physique, reste donc le lourd héritage d'une longue cohorte de philosophes.

Un certain nombre d'arguments philosophiques s'appuient implicitement sur le fait que la conscience est une propriété spécifiquement humaine. Ils en déduisent évidemment qu'aucune machine ne pourra jamais être consciente.

Conscience-perception

Les travaux scientifiques actuels sur la conscience semblent converger, dans le sillage des travaux de Bernard J. Baars [BAA 89], vers le fait que la conscience consiste à donner un sens aux perceptions [CAR 00]. Ceci revient à déplacer le problème de la conscience vers celui de la nature du sens.

Cette vision des choses est directement liée à la notion d'*intentionnalité* issue des travaux de Franz Brentano et Edmund Husserl. Cette notion imprègne très fortement les travaux de nombreux chercheurs et philosophes actuels qui ne cherchent même pas à la remettre en cause.

Vue sous l'angle de l'intentionnalité, la conscience à toujours un objet. En poussant les choses à l'extrême, la conscience devient un qualificatif des perceptions et des pensées. Par exemple, on parle de "conscience visuelle".

Récemment, plusieurs chercheurs en sont aussi arrivés à remettre en cause l'intentionnalité [HON 01].

¹ Dans cette situation de pensée, John R. Searle fait la supposition qu'il ne connaît pas le chinois et qu'il est enfermé dans une pièce où il reçoit des messages rédigés dans cette langue. Il dispose d'un manuel qui contient des instructions purement graphiques sur la façon de les traiter pour élaborer des réponses. Par cette situation de pensée, Searle veut montrer la façon dont travaille un ordinateur qui n'est pas censé avoir accès au sens de ce qu'il manipule.

Conscience-processus

Plutôt que d'adopter cette vision qui repousse la conscience à n'être qu'un "qualificatif" des perceptions, nous partirons sur les traces de William James, qui dans son essai de 1878 intitulé: *La conscience existe-elle?* a proposé que la conscience soit un processus.

Le problème principal devient alors d'une part, l'identification de ce processus parmi la multitude de ceux qui peuplent notre espace psychique, et d'autre part le fait de savoir ce qui fait qu'il possède la propriété si particulière d'être conscient, alors que les autres ne le sont pas. La difficulté de ce problème est identique à celle du *problème difficile* de David Chalmers [CHA 95]². Avec cette vision des choses, le problème de la nature de la conscience devient indépendant de celui de la nature du sens.

Nous ferons l'hypothèse que le processus de la conscience possède, comme tout processus, une activité autonome et qu'il peut, ou non, prendre en compte des stimuli. Dans ces conditions, un cerveau humain, isolé et maintenu en vie, devrait rester conscient. Le processus de la conscience peut toutefois être actif (éveil) ou inactif (sommeil ou coma). Il faut remarquer que certaines expériences de neurobiologie semblent contredire cette hypothèse. En effet, la section progressive des voies nerveuses acheminant l'information au cerveau semble mener à une diminution de son activité. Bien que l'opération soit menée avec beaucoup de précautions, il ne peut être exclu que cet endormissement résulte du traumatisme que subit l'animal, ou d'une réaction de "suicide" du cerveau lorsqu'il perd ses afférences. Il est peut être nécessaire de faire une différence entre leur présence, synonyme de l'intégrité du système nerveux, et l'absence de leur stimulation.

Approche méthodologique

L'Intelligence Artificielle, née en 1955, est une approche informatique des fonctions "supérieures" de la psyché humaine. Elle doit donc constituer un excellent terrain d'essais pour les théories de la conscience qui pourront se dégager.

La démarche méthodologique que nous utiliserons est très classique, mais pas toujours appliquée. Elle se décompose en deux étapes: La première consiste à extraire des grandes lois scientifiques "de base" des phénomènes naturels par un processus d'analyse et d'expérimentations scientifiques. La seconde correspond à utiliser ces lois, par un processus d'ingénierie, pour réaliser des applications qui nous semblent utiles. Cette démarche, que l'on retrouve dans de nombreux domaines (mécanique, chimie, informatique,), ne consiste donc pas à essayer de copier plus ou moins fidèlement les productions de la nature, mais à s'en écarter résolument pour rechercher un bon compromis qui correspond à nos contraintes. Par exemple, un avion ne ressemble pas à un oiseau.

² David Chalmers a proposé que la résolution du problème de la conscience se décompose en deux sous-problèmes: Un problème "facile" qui consiste à montrer l'existence de tel mécanisme neurologique ou physique, et un problème "difficile" qui consiste à montrer que ce mécanisme entraîne l'apparition de la conscience.

La plupart des tentatives qui ont été faites pour copier directement des éléments des êtres naturels se sont soldées par des échecs (par exemple: les avions à ailes battantes, appelés ornithoptères, n'ont jamais réussi à voler convenablement). En effet, on peut remarquer que les productions de la nature utilisent ces lois d'une manière qui nous semble particulièrement complexe. Par exemple, l'aérodynamique d'une aile battante d'oiseau est beaucoup plus complexe que celle d'une aile fixe d'avion. Ceci est vraisemblablement la raison des difficultés rencontrées par l'Intelligence Artificielle qui s'est justement donnée pour but la transposition informatique, la plus fidèle possible (au moins en ce qui concerne leur fonctionnalité externe), des fonctions psychiques supérieures.

Notre objectif sera donc la recherche d'un principe de base, ou plus exactement d'un mécanisme, pour la conscience sans pour cela vouloir prendre en compte toutes les spécificités de sa déclinaison humaine.

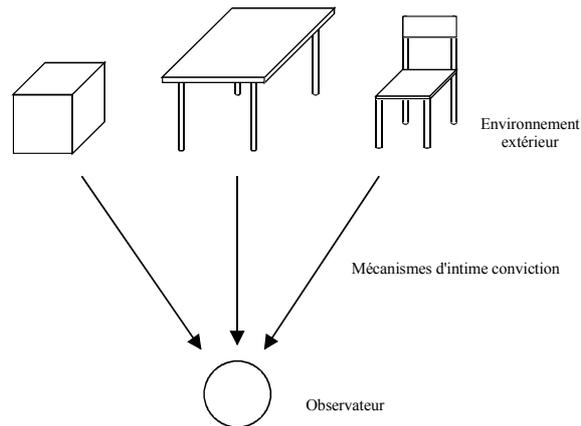
Depuis des générations, les philosophes se sont ingéniés à morceler ces notions en une multitude de nuances par une sorte de dissection sémantique. Je pense qu'il faut maintenant revenir en arrière et rechercher l'essentiel en négligeant les détails. C'est à ce prix que les "grand principes" de ce domaine pourront être découverts.

Nous utiliserons pour cette étude le paradigme informatique, d'une part à cause de la formation de l'auteur, mais aussi parce qu'il est particulièrement bien adapté à la description des processus parallèles ou séquentiels. Nous verrons que ces notions sont fondamentales pour notre théorie de la conscience.

La notion de sens

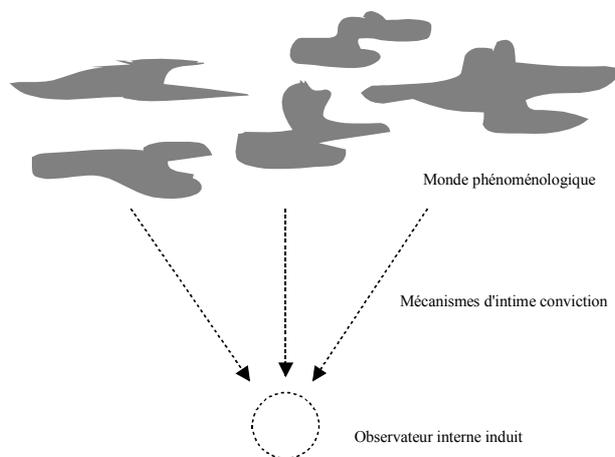
Il est difficile de parler de la conscience sans parler du sens. Ce sujet mériterait à lui seul un développement beaucoup plus important que tout ce document. La notion de sens s'applique généralement au langage. Toutefois, pour en analyser les racines, nous parlerons du "sens" des perceptions simples. Cette notion souffre d'une certaine confusion avec celle de conscience, mais il semble possible d'en proposer une interprétation mécaniste. Donner un sens à une perception consisterait donc à acquérir une ou plusieurs "intimes convictions" relatives à cette perception. Par exemple, l'existence même des objets est une intime conviction acquise à partir de nos perceptions visuelle et tactile. Au cours de sa vie, le sujet construit un *réseau de sens* qui structure ses apprentissages. Ce réseau relie les différents objets perçus par des relations. Cette notion est assez voisine de celle des *réseaux sémantiques* introduite par Ross Quillian en 1966. Toute perception active un sous-ensemble de ce réseau qui correspond à son sens. La combinaison des perceptions élémentaires conduit à combiner ces sous-ensembles activés en ne retenant que ce qui est compatible.

Ce réseau de sens s'appuie sur des mécanismes fournissant les "atomes de sens", ou faits élémentaires. Ces éléments primitifs sont fournis par des fonctions innées qui créent nos intimes convictions élémentaires telles que l'existence et la permanence des objets, une arithmétique primitive [DEH 97], etc... A partir de ces intimes convictions de base, le réseau de sens se développe ensuite par des inférences et des apprentissages.



Prise en compte de l'observateur par les mécanismes de création du sens au niveau élémentaire.

Pour analyser notre environnement, ces fonctions innées d'intime conviction utilisent le fait que le sujet est l'observateur, unique et localisé, de la scène. Dans le cas de l'analyse introspective de notre univers intérieur, la réutilisation de ces mêmes fonctions les amène à créer l'intime conviction de l'existence d'un observateur interne (ou dans un autre univers!). Ce phénomène se manifeste ensuite dans de nombreux raisonnements philosophiques comme ceux sur les qualia (via les questions: "qui regarde", "qui ressent", etc...). Il provoque le rejet de la conscience au niveau de cet observateur "virtuel".



Création d'un observateur interne par la réutilisation des mécanismes de création du sens pour l'univers intérieur.

Il semble que l'étude introspective des mécanismes de base de notre psychisme nécessite que l'on parvienne à prendre une certaine distance par rapport à notre intime conviction qui, dans ce cas, paraît susceptible de nous induire en erreur.

Les qualia

Les *qualia* représentent les impressions subjectives associées de nos perceptions. Ils correspondent à la prise en compte des stimuli par la conscience. Dans le cadre de

l'intentionnalité de Brentano et Husserl, ils correspondent à la conscience-perception elle-même.

Le problème des qualia se situe dans la nature même de ces impressions subjectives. Certaines d'entre elles nous semblent naturelles comme la rugosité d'une surface, tandis que d'autres nous semblent plus étranges comme la couleur d'un objet. Il semble que nous ne puissions pas nous imaginer l'effet des impressions subjectives associées à des classes de stimuli auxquelles nous ne sommes pas sensibles, comme par exemple l'écho-localisation des chauves-souris et des dauphins³. En fait, nous pouvons considérer les qualia comme de simples *codages* destinés à présenter ces informations au processus de la conscience (*impressions subjectives*). Toutefois, il est évident que pour que ces codes influencent ce processus, encore faut-il que le cerveau soit capable de les recevoir⁴.

Le processus conscient et les processus automatiques

Notre approche de la conscience partira de la distinction que nous pouvons faire entre les actions / pensées conscientes et celles qui ne le sont pas.

Nous dirons que les actions et les pensées conscientes découlent directement du fonctionnement d'un *processus conscient* très particulier et unique. Celui-ci peut agir à tout instant sur son propre déroulement. Il peut s'arrêter, ou repartir à tout moment, comme par exemple dans le fait de saisir un stylo sur notre table de travail. Nous justifierons ultérieurement l'unicité de ce processus.

Par opposition, un processus sera dit *automatique*, ou *non-conscient*, s'il n'est pas conscient et si le processus conscient ne peut que le démarrer, ou s'il démarre spontanément, et que le processus conscient assiste impuissant à son déroulement. Dans certains cas il peut être informé, ultérieurement, des conditions dans lesquelles s'est déroulé ce processus automatique. Par exemple, le fait d'effectuer un pas, pendant la marche, est une action automatique.

Il est évident que la définition de processus conscient contient une certaine circularité et pose problème puisque tout processus peut s'arrêter et repartir comme il le souhaite. Une véritable définition supposerait résolu le problème difficile de Chalmers.

Nous utiliserons ici le terme d'*automatique* pour qualifier des processus dont le déroulement précis échappe à la conscience, mais qui peuvent avoir été démarrés

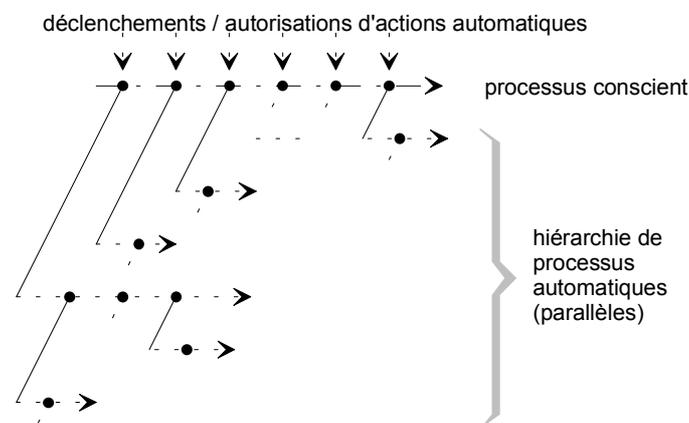
³ Franck Jackson [JAC 82] a proposé une expérience de pensée dans laquelle une neurobiologiste du XXIII^e siècle, prénommée Marie, connaissant tout sur le mécanisme de la perception des couleurs par le cerveau, aurait été élevée dans un univers sans couleurs. Malgré ses connaissances scientifiques, Marie ne connaîtrait pas l'impression subjective liée à la vision des couleurs. En fait, nous pouvons rétorquer que les connaissances scientifiques de Marie lui permettent de connaître l'état d'excitation des neurones qui correspondent au codage des impressions subjectives liées à la perception des couleurs. En stimulant artificiellement ces zones de son cerveau, Marie pourrait connaître les impressions subjectives correspondantes sans avoir jamais vu de couleurs.

⁴ Le fait d'avoir ajouté génétiquement des pigments sensibles au rouge dans la rétine de souris ne leur a pas permis de voir cette couleur car leur cerveau ne possède pas les circuits neuronaux correspondant à la vision de cette couleur.

consciemment. Par exemple, le fait de prononcer un mot dans l'élocution d'une phrase, ou de faire un pas lorsque l'on marche.

Beaucoup de choses ont été écrites sur les différents types de processus non-conscients, mais peu de travaux abordent le processus conscient. Il a toutefois été montré qu'une information impromptue n'"arrive" à la conscience qu'environ une demi-seconde après son émission, ce qui illustre la lenteur de nos réactions conscientes. Certes, nous pouvons réagir plus rapidement, mais il faut pour cela avoir "armé" des processus automatiques en attente de l'évènement. Il a été également montré que l'activité cérébrale précède d'environ 800 ms la réalisation d'un geste conscient [KOR 65, LIB 83, LIB 85 b]. Ces expériences sont très troublantes car elles incitent à penser que le processus conscient ne fait qu'autoriser (ou inhiber) des actions démarrées préalablement de manière automatique. Daniel Dennett [DEN 91] a montré que le cerveau pouvait aussi modifier ses propres souvenirs⁵ et, en particulier, se persuader que telle action est volontaire alors que la conscience n'a seulement fait qu'autoriser son exécution.

Le processus conscient et les processus automatiques ont des propriétés très différentes. Les actions et les pensées conscientes ne semblent pouvoir que se dérouler séquentiellement, c'est à dire une par une à la suite. C'est d'ailleurs cette stricte séquentialité qui justifie l'unicité du processus conscient. La vitesse de succession des actions conscientes a été mesurée et semble être de quelques actions par seconde. Par contre les processus automatiques semblent pouvoir se dérouler en parallèle entre eux et aussi vis à vis du processus conscient. Tout le monde a le souvenir d'avoir pensé à un problème qui le tracassait pendant qu'il conduisait "machinalement" sa voiture.



déclenchement des fonctions automatiques par un processus conscient

Il nous semble naturel que le processus conscient soit séquentiel. Cela mérite pourtant réflexion car le cerveau est connu pour avoir un fonctionnement très parallèle. Nous ferons l'hypothèse que cette séquentialité n'est pas anodine et qu'elle est une composante fondamentale de la conscience.

⁵ Daniel Dennett [DEN 91] propose deux mécanismes pour de telles modifications: les modifications *staliniennes* qui se produiraient avant que le stimuli n'atteigne la conscience, et les modifications *orwilliennes* dans lesquelles ce serait le souvenir de l'évènement qui serait modifié après coup.

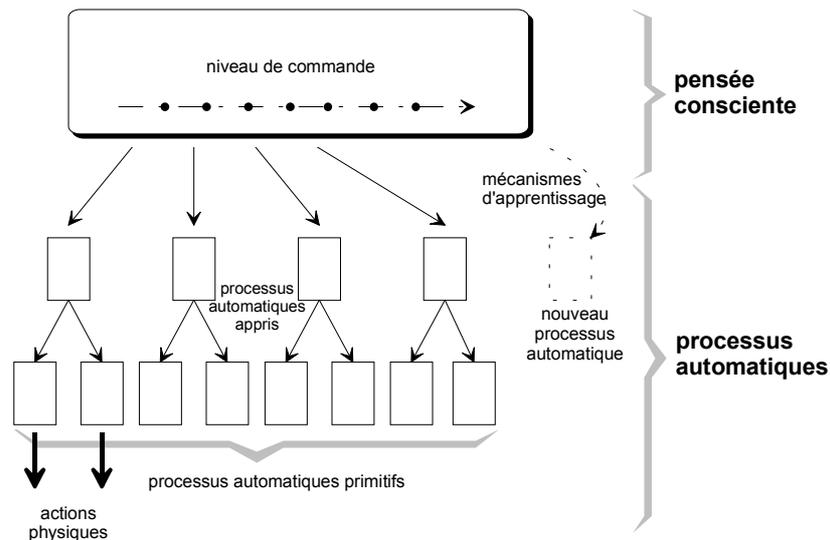
La séquentialité du processus conscient pourrait être à l'origine de notre notion de l'écoulement linéaire du temps, via une sorte de "quale temporel". Ceci pourrait nous fournir une sorte de schéma qui nous permettrait l'analyse temporelle de nos perceptions en nous rendant innées les notions d'avant, d'après, de simultanée, etc....

Cette séquentialité pourrait même être un indice permettant de détecter la présence d'un comportement conscient chez un animal. En effet, un test montrant qu'il traite séquentiellement deux tests simultanés faisant appel à des comportements non appris, potentiellement parallélisables, pourrait permettre de dire qu'il possède un comportement conscient puisque les comportements automatiques sont plutôt enclins au parallélisme.

L'Intelligence Artificielle cherche à modéliser le système cognitif. Il semble toutefois que les problèmes qu'elle a abordé (reconnaissance de la parole, de l'écriture, des textes, etc...) soient du domaine des fonctions automatiques. Le fait qu'elles puissent s'exécuter en parallèle a conduit cette discipline à suivre le mouvement de l'informatique vers le parallélisme en proposant des systèmes à base d'agents fonctionnant en parallèle. En quelque sorte, ces agents ne modélisent actuellement que des processus automatiques de notre univers psychique.

Le processus conscient semble agir via des processus automatiques qui assurent l'exécution de ses différentes étapes. Par exemple, l'action consciente de saisir un stylo semble déclencher toute une série de processus automatiques qui commandent les muscles du bras et de la main de manière à l'approcher du stylo. Vu sous cet angle, le processus conscient ne serait qu'une suite de déclenchements de processus automatiques qui se déroulent ensuite en parallèle pour réaliser les différentes tâches impliquées par sa réalisation. Ce mécanisme semble être le même pour les pensées. Si nous nous posons la question de nous rappeler le nom de la personne que nous avons rencontré au cours d'une réception l'été dernier, nous lançons des processus automatiques de recherche en mémoire qui vont fonctionner à notre insu et, si tout se passe bien, le nom recherché nous viendra spontanément à l'esprit quelques minutes plus tard.

L'apprentissage nous permet d'enrichir notre panoplie de processus automatiques. La répétition d'une séquence consciente rend celle-ci de plus en plus automatique jusqu'à ce que nous puissions la lancer pour qu'elle s'exécute de manière complètement automatique en parallèle de nos pensées et de nos actions conscientes. L'apprentissage de la conduite d'une automobile en est un bon exemple. Au passage, nous pouvons remarquer qu'un processus automatique appris est beaucoup plus efficace et précis que la succession de gestes conscients de nos premiers essais. La machine humaine semble mieux fonctionner en "automatique" qu'en mode piloté!



hiérarchie des processus automatiques

Les processus automatiques semblent organisés de manière hiérarchique. En effet un processus automatique peut lui-même déclencher d'autres processus automatiques plus élémentaires. Par exemple, le processus automatique d'interception d'une balle de tennis utilise des processus automatiques pour sa localisation dans l'espace et pour le pré-positionnement du bras tenant la raquette. La couche supérieure de processus automatiques contient les processus appris, tandis que les processus innés occupent la couche la plus profonde.

Dans l'univers mental, la conscience semble entourée d'une multitude de fonctions avec lesquelles elle ne doit pas être confondue (intelligence, capacité de raisonner, mémoire, affects,...). La première différence est que seule la conscience porte la propriété très spéciale de présence au monde. Les autres fonctions sont automatiques. La seconde différence est que nous pouvons constater, en examinant des sujets ayant des lésions cérébrales, que la perte de ces fonctions, si elle modifie la personnalité, n'entame pas la conscience.

La conscience se présente donc comme un noyau très particulier au centre de l'univers mental. Il semble difficile de lui attribuer une fonction opérationnelle autre que celle de déclencher séquentiellement des actions et des pensées.

Le point d'attention

Nous pouvons aussi remarquer que les actions conscientes semblent étroitement liées au fait que nous portions volontairement l'attention sur leur but. Il est difficile de faire consciemment un geste sans porter son attention sur le fait de le faire. Des expériences d'imagerie cérébrale ont montré que le fait d'exécuter un geste ou de seulement le penser (c'est à dire porter son attention sur la possibilité de l'exécuter) active les mêmes zones corticales [FIE 93, BIH 93, JEA 97]. Cette remarque nous conduit à suggérer que c'est le fait même de porter son attention sur son objectif qui déclenche une action. Par exemple, le fait de vouloir saisir un objet déclencherait les mouvements automatiques de déplacement du bras, d'ouverture de la main et sa fermeture sur l'objet. Nous assimilerons donc l'*attention volontaire* telle que l'a défini

Luria [LUR 73]⁶ avec le fait d'être capable de lancer des actions ou des pensées conscientes.

Ce rapprochement entre l'attention volontaire et les actions conscientes nous incite à considérer le point focal du faisceau attentionnel comme un point d'activation mobile dans l'espace psychique. Celui-ci déclencherait les processus automatiques en visitant des zones qui provoquent leur activation. Nous appellerons ce point le *point d'attention*.

Par une seconde hypothèse, beaucoup plus hardie, nous proposerons de confondre ce point d'attention avec le "Moi". Pour paraphraser Descartes nous pourrions dire:

Je porte mon attention, donc je suis.

Il semble difficile d'admettre qu'une propriété aussi importante que le Moi se retrouve dans un simple point d'activation mobile. Pourtant, rien ne s'oppose vraiment à cette hypothèse. Il est difficile d'en donner une preuve. Celle-ci reviendrait encore à résoudre le problème difficile de Chalmers. Toutefois, nous pouvons dire que ce mécanisme propose une *conscience minimale sans objets*.

Le point d'attention n'aurait donc qu'un rôle d'activation. Tout ce qui est fait consciemment l'est via des processus automatiques déclenchés.

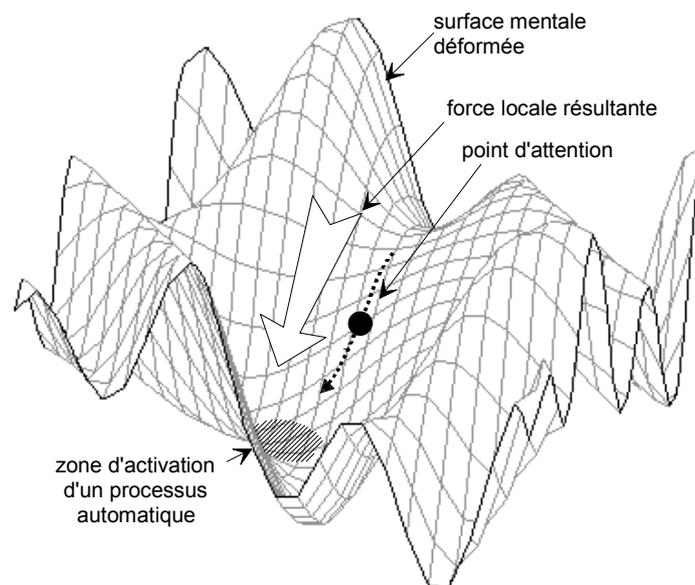
Le fait d'assimiler le processus conscient au simple déplacement d'un point d'activation semble aller dans le sens des propriétés que nous pouvons attribuer à ce processus. Sa séquentialité viendrait directement du déplacement du point d'attention qui active successivement les différentes actions. Cette vision des choses est aussi compatible avec l'impression de ponctualité, dans l'espace et dans le temps, de notre Moi.

Le séquentialité du processus conscient nous incite à utiliser le paradigme informatique de la programmation séquentielle pour les décrire. Nous pouvons facilement montrer que tous les éléments de ce paradigme se retrouvent dans les différents comportements conscients que nous pouvons avoir. En particulier, la notion d'interruption qui consiste à commuter du processus conscient courant vers un autre, apte à traiter un événement importun, correspond à la notion d'attention involontaire. La notion d'attente d'événements, consiste à bloquer le processus conscient courant en attendant l'occurrence d'un, ou plusieurs, événements particuliers [POS 91]. Exprimée avec un vocabulaire informatique, cette attente arme des processus automatiques qui doivent traiter ces événements.

Parler d'un point d'activation dans l'espace mental pose immédiatement le problème de son déplacement. Pour conserver la non-fonctionnalité du point d'attention nous

⁶ Des recherches plus récentes sur l'attention [POS 87, POS 91, POS 94 a, POS 94 b] font apparaître une structuration du mécanisme de l'attention en trois parties: l'*attention postérieure* qui sélectionne les sources, l'*attention antérieure* qui se prépare à en analyser le contenu et l'*attente d'événements* qui consiste à suspendre la progression du processus conscient courant et à "armer" des processus automatiques aptes à traiter les événements susceptibles d'arriver. La localisation cérébrale de ces fonctions a été réalisée à l'aide d'appareils d'imagerie cérébrale (IRM fonctionnel et PET).

devons proposer un mécanisme tel que ses déplacements résultent de forces extérieures au point d'attention lui-même. Par exemple, nous pouvons imaginer une métaphore: Le point d'attention se déplacerait, tel une bille, sur une surface dont les déformations le font aller dans une direction ou dans une autre. Ces déformations pourraient être le résultat d'"états globaux" de notre psychisme comme les affects, les besoins, les envies, les douleurs, etc... sans oublier une déformation locale due au dernier processus automatique déclenché pour assurer la progression régulière du point d'attention.



Déplacement du point d'attention sur la surface mentale

La déformation résultante de cette surface métaphorique pousserait le point d'attention dans la direction de sa "plus grande pente", qui correspond à la composition des effets des états globaux. Par exemple, lorsque nous avons faim et que le téléphone sonne, alors nous décrochons le téléphone.

Une analyse plus détaillée montre que le déplacement du point d'attention doit en fait être plus complexe et comporter la possibilité d'effectuer des sauts d'une région à une autre de la surface mentale. En effet, quelque soit l'activité courante, la sonnerie du téléphone nous fait nous orienter vers cet appareil sans "traverser" les zones mentales intermédiaires.

Le déplacement du point d'attention doit être enregistré, car c'est un fait que l'on a une mémoire assez précise de nos dernières actions conscientes. Il est possible d'imaginer que cette mémorisation à moyen terme est réalisée en conservant une sorte de "trace" du trajet du point d'attention sur la surface mentale, un peu comme une bille laisserait une trace sur une surface de pâte molle. Il est évidemment nécessaire de prévoir un mécanisme d'effacement, sinon la surface serait rapidement couverte de traces. Un tel mécanisme pourrait expliquer le sommeil paradoxal. Sa fonction consisterait alors à activer le point d'attention pour lui faire re-parcourir les traces de la journée, mais en mode d'effacement. Les informations les plus utiles seraient alors transférées vers la mémoire à long terme. En effet, il a été

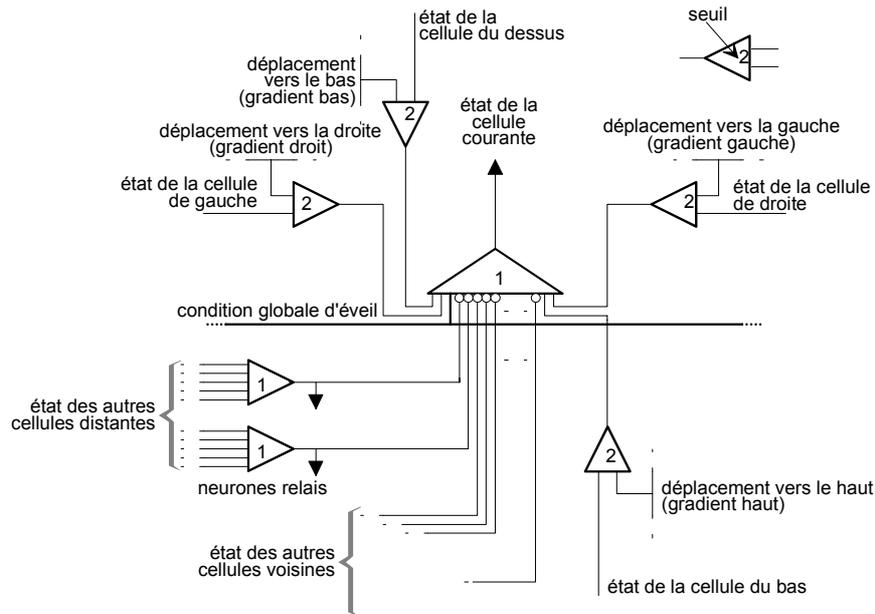
constaté que les rêves étaient souvent constitués d'éléments vécus dans la journée précédente et réinterprétés.

Hypothèse neurobiologique

De nombreux chercheurs ont proposé des localisations cérébrales pour le mécanisme de la conscience:

- Les aires visuelles du cortex (F. Crick)
- Les aires préfrontales du cortex (C. Koch et K. Vogele)
- L'hippocampe (Grey)
- Les microtubules constituant le cytosquelette des neurones (R. Penrose et S. Hameroff)
- Les rebouclages (réentrances) dans les connexions entre les aires corticales (G. Edelman)
- Les récepteurs NMDA situés au niveau des synapses des neurones (H. Flor)
- Les liaisons bouclées, et oscillantes, entre le thalamus et le cortex (R. Llinas)
- La construction dynamique de zones d'activation corticales (J.P. Changeux et S. Dehaine)
- Un certain degré d'activité de l'ensemble du cerveau.
- Les réseaux réticulés du thalamus (NRT) (J. Newman, B. Baars et J.G. Taylor)
- etc...

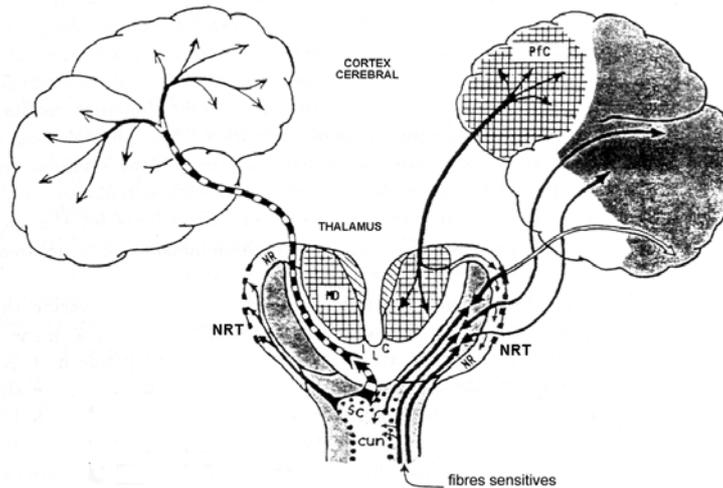
Nous pouvons nous poser la question de savoir si notre hypothèse concernant le mécanisme de la conscience pourrait avoir un substrat neurologique crédible. Pour cela nous allons opérer en deux étapes: Dans un premier temps nous allons nous poser la question de voir si il est possible de réaliser un mécanisme de point d'activation mobile sur un réseau (fixe) de neurones formels. Dans un second temps, nous chercherons si des structures neuronales ayant les mêmes traits caractéristiques existent dans le cerveau.



Une cellule d'un réseau neuro-mimétique permettant l'apparition d'un point d'activation mobile

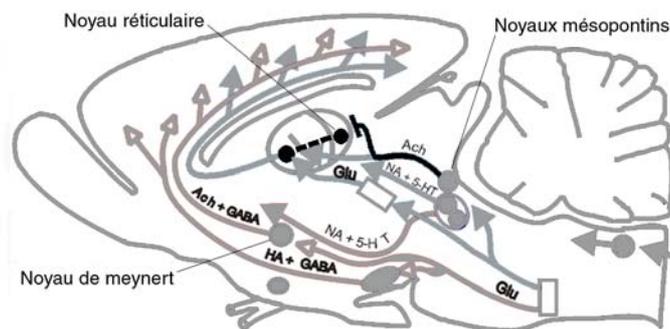
La définition d'un réseau de cellules constituées d'un assemblage de neurones formels capables de créer et de déplacer l'activation d'une seule cellule est assez simple à concevoir. Ce réseau se caractérise par le fait que toutes les cellules doivent être reliées par des connexions inhibitrices. Or, il se fait que l'on retrouve dans au moins deux structures cérébrales: la couche externe du cortex et les noyaux réticulés du thalamus (NRT)⁷ de telles connexions inhibitrices de grande longueur. Il faut remarquer que ces deux structures cérébrales sont reliées entre elles et qu'elles sont le siège d'oscillation à une fréquence voisine de 40 hz. De telles structures seraient donc des candidates possibles pour être le substrat qui permettrait l'existence d'un point d'activation mobile. Plusieurs auteurs [NEW 93, TAY 93, BAA 96, NEW 97] ont proposé de localiser la conscience au niveau du NRT, nous les rejoindrons donc. Il faut toutefois remarquer que les modèles de mécanismes qu'ils ont proposé sont différents de celui présenté ici.

⁷ Les noyaux réticulés du thalamus (NRT) se présentent comme de minces feuillets qui enveloppent la face externe des lobes du thalamus. Le NRT n'est pas traversé par le flux thalamo-cortical mais il est en dérivation et il semble pouvoir le moduler.



Liaisons thalamo-corticales (d'après James Newman et Bernard J. Baars [NEW 93])

Des chercheurs ont montré que chez le rat, le NRT est inhibé pendant l'éveil [VAL 98]. Plutôt que de penser que cette inhibition le désactive, nous suggérerons qu'elle y provoque la création du point d'attention, un peu comme la compression horizontale d'une plaque de caoutchouc provoque l'apparition d'une boursouffure que l'on peut ensuite déplacer de proche en proche.



Inhibition du réseau réticulaire chez le rat pendant l'éveil (d'après Jean-Louis Valatx [VAL 98])

Le fait qu'il puisse s'agir d'un point d'activation se déplaçant sur un substrat neuronal fixe et assez étendu, va dans le sens de la non-localisation de la conscience tel que cela a été observé par les neurochirurgiens. Si la surface d'évolution du point d'attention se trouve réduite par une lésion ou une ablation chirurgicale, alors ses déplacements sont réduits mais son existence n'est pas forcément compromise. Le cas d'un patient anglais est particulièrement intéressant. Cet homme souffre des suites d'une méningo-encéphalite à virus herpès qui lui a détruit une grande partie de ses lobes frontaux et temporaux gauches. Cette affection lui a fait perdre toute mémoire au delà d'une quinzaine de minutes. Bien que "prisonnier du présent", cet homme reste toutefois normalement conscient.

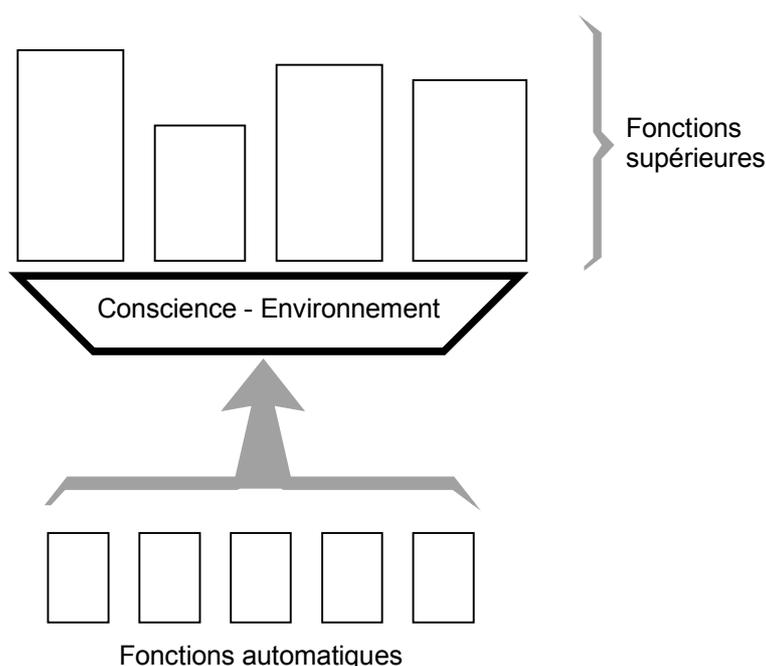
Nous avons vu que la séquentialité de la pensée consciente pourrait bien être à l'origine de notre notion innée de l'écoulement du temps. Celle-ci est l'un des piliers de ce qui constitue la base du sens. La séquentialité issue du déplacement du point d'attention pourrait induire des notions temporelles comme: *avant*, *après*, *simultané*, etc... qui nous permettent d'analyser la succession des perceptions.

Le fait de supposer que le point d'attention n'a aucune fonctionnalité en lui-même et qu'il n'est que le jouet de sollicitations "externes" nous pose le problème de la "liberté" de nos actes. Diverses expériences de psychologie cognitive nous montrent que l'activation cérébrale précède de 800 ms la décision consciente de faire une action. Ceci laisse penser que la sensation d'avoir fait consciemment une action n'est peut-être qu'un souvenir que notre cerveau s'est introduit lui-même dans la mémoire. Pour contourner cet obstacle, nous pouvons proposer de voir la liberté d'action comme la mesure du nombre de solutions possibles à notre évolution future et non comme la façon dont nous en avons choisi une particulière. Dans notre modèle, la notion de liberté correspondrait donc à la planéarité de la surface psychique autour de l'emplacement courant du point d'attention.

La conscience-environnement

Nous pouvons nous poser la question de l'"utilité" de la conscience pour un être déterminé, et de l'avantage évolutif qu'elle lui apporte. Il faut bien avouer que cette question laisse perplexe. Tous les avantages que nous pouvons mettre en avant ne concernent pas directement le fait d'être conscient, mais la présence de fonctions évoluées (intelligence, capacité de déduction, affects, mémoire à long terme, etc....) qui sont ses proches voisines dans l'espace psychique.

Ceci nous conduit à suggérer que l'avantage évolutif apporté par la conscience est indirect. Il pourrait se manifester sous la forme de la présence même de ces fonctions évoluées. Compte tenu du fait qu'elles ne semblent exister que chez les êtres conscients, nous pouvons penser que c'est précisément la conscience qui leur permet d'exister. Nous pouvons supposer que celle-ci leur fournit des mécanismes communs qui leur sont indispensables. Cela pourrait, par exemple, être un moyen pour assurer la cohérence temporelle de leur fonctionnement. Un tel moyen pourrait s'appuyer sur la séquentialité du processus conscient.



Dans le jargon informatique, une telle fonction d'accueil s'appelle un *environnement* ou une *plate-forme*. De tels environnements sont fréquents dans les systèmes informatiques. Ils regroupent des logiciels qui travaillent ensemble autour de ressources communes, comme par exemple une base de donnée. Dans le cas de la conscience, ce point de vue permettrait d'expliquer son apparente absence de fonctionnalité ainsi que l'occurrence quasi-conjointe des fonctions psychiques supérieures.

Une possible genèse de la conscience

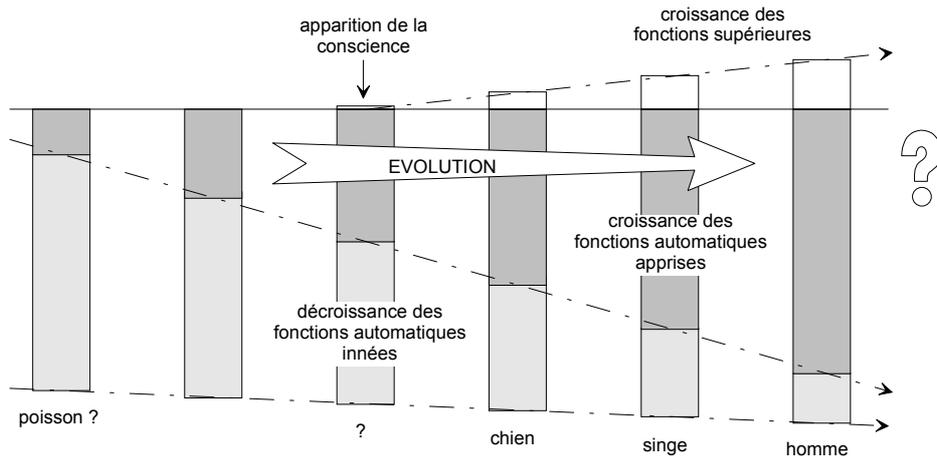
Il est courant d'admettre que la conscience est apparue tardivement dans le processus de l'évolution. Beaucoup d'auteurs en font une propriété exclusivement humaine, d'autres, plus rares, admettent sa présence chez les mammifères supérieurs. Ce qui semble certain, c'est que les êtres primitifs, dépourvus de système nerveux, ou avec un système nerveux très simple, en sont dépourvu. Leur comportement est purement "réactif" (ce qui ne veut pas dire simple!).

Le fait que nous proposons que la conscience soit issue du fonctionnement du NRT pose un problème évolutif. En effet, cette partie du Thalamus appartient au diencephale qui est considéré comme une partie archaïque du cerveau, quelquefois appelée le "cerveau reptilien". Cette remarque ne nous oblige pourtant pas à admettre que les reptiles possèdent une forme de conscience, mais que cette faculté pourrait être apparue ultérieurement en réutilisant une structure primitivement dédiée à l'attention.

Il est courant de dire que l'apparition de la conscience est liée à celle du langage. Ceci est peut-être un peu limitatif et rien n'interdit que l'existence du mécanisme de la conscience soit antérieure à l'émergence du langage. Il serait même possible que les mécanismes nécessaires au langage utilisent eux aussi l'environnement offert par la conscience. Evidemment, le langage est le principal élément qui permette de manifester d'un état conscient, toutefois l'expression du regard et du visage fournissent aussi des informations sur la présence de cet état.

Il est également intéressant de remarquer que, contrairement à l'histoire des ordinateurs, le processus de l'évolution a fait émerger un processus séquentiel au dessus d'un cerveau hyper-parallèle. Ceci montre l'intérêt intrinsèque de la séquentialité pour l'existence des fonctions supérieures.

Plusieurs auteurs présentent la conscience comme multi-niveaux [DAM 99]. Nous ne les suivons pas et nous proposerons que la conscience soit la faculté binaire d'un seul processus. Cela signifie qu'un animal donné la possède ou ne la possède pas. Ce qui doit varier beaucoup entre les espèces conscientes, et peut être même d'un individu à l'autre, est la nature et la quantité des fonctions supérieures qui se sont développées au dessus de l'environnement fourni par la conscience.



Une possible évolution de la conscience

Le processus de l'évolution a sans doute permis l'émergence de la conscience à partir du mécanisme de l'attention volontaire. Ce cheminement est certainement parti des mécanismes de focalisation comme celui qu'utilise une grenouille pour déterminer la position d'une proie dans son environnement visuel. Dans un second temps, ce mécanisme de focalisation a dû évoluer en mécanisme d'attention (involontaire puis volontaire) pour mobiliser les ressources de l'animal en vue de réussir la capture. La séquentialité du déplacement du point d'attention se serait ensuite transformée en conscience, offrant ainsi un environnement dans lequel des fonctions de plus en plus évoluées sont apparues.

Nous ne saurons sans doute jamais quel fut le premier animal conscient, mais le fait de disposer de la conscience lui a certainement apporté un avantage sélectif certain via les fonctions supérieures dont elle a permis l'existence. Leur présence a dû améliorer fortement l'efficacité de son comportement, qu'il soit proie ou prédateur. L'émergence de ces fonctions lui a donné un comportement plus "logique" qui lui a permis de mettre en place un réseau de sens dans lequel l'animal a pu stocker tout son savoir et surtout inférer des comportements nouveaux.

L'émergence de ces fonctions évoluées a permis le remplacement de fonctions innées par des fonctions apprises. En effet, dans une situation nouvelle, un animal peut utiliser ses fonctions cognitives supérieures pour déterminer un comportement conscient beaucoup plus pertinent que celui qui serait issu de ses mécanismes instinctifs. La répétition de ces actions conscientes va ensuite progressivement faire passer ces comportements au rang d'apprentissages.

Ces mécanismes constituent la base de l'adaptativité individuelle consciente dont la vitesse de réaction est infiniment plus rapide que celle liée à l'évolution de l'espèce.

Il serait pécédant de penser que notre évolution est achevée. Nos caractéristiques génétiques sont héritées de centaines de milliers d'années de vie préhistorique. En particulier, il est possible de penser que notre psychisme peut encore évoluer pour nous permettre d'être encore plus adaptés à la vie moderne civilisée.

Incidence sur l'informatique

L'objectif principal de l'informatique est de réaliser des "orthèses" intellectuelles. Son atteinte passe par le succès des objectifs de l'Intelligence Artificielle, donc par la réalisation de programmes qui miment les fonctions supérieures de la psyché humaine. La progression vers cet objectif a déjà amené des réalisations remarquables comme les systèmes de base de données, les démonstrateurs automatiques, etc... Toutefois le traitement des informations directement liées à la communication entre les êtres humains est loin d'être aussi avancé (parole, écriture manuscrite, langues naturelles, etc...)

Il ne semble pas absurde de penser que l'homme a créé la programmation séquentielle à l'image de son fonctionnement conscient. Ceci expliquerait la difficulté que nous avons à maîtriser la programmation parallèle.

Beaucoup de chercheurs en informatique pensent que la mise en œuvre du parallélisme massif constitue la panacée qui permettra d'améliorer la fonctionnalité des machines. Le parallélisme leur apparaît donc comme une étape plus élaborée que l'enchaînement séquentiel dans la conception des algorithmes et des machines. En fait, il faut remarquer que toutes les machines parallèles comportent un mécanisme séquentiel, plus ou moins apparent, qui permet l'établissement d'une cohérence dans son fonctionnement. Un tel mécanisme séquentiel peut être un système d'horloge virtuelle capable de dater les événements dans le système où un mécanisme de synchronisation capable d'assurer le bon ordre des enchaînements entre les tâches et le partage des ressources uniques.

Il semble que le processus de l'évolution a opéré de manière identique. Le système nerveux primitif, résultait du regroupement de fonctions qui effectuaient des tâches d'asservissement (attitude corporelle, marche, pression sanguine,..) et qui se sont constituées indépendamment. Sur cet agrégat, le processus de l'évolution a fait émerger un moniteur séquentiel pour constituer l'environnement-conscience qui a permis l'apparition des fonctions supérieures.

Il y a tout à parier que les machines informatiques doivent suivre le même chemin et reconnaître les vertus spécifiques de l'enchaînement séquentiel. Or, contrairement au cerveau primitif, le fonctionnement élémentaire de ces machines est déjà séquentiel, ce qui devrait nous éviter des difficultés pour élaborer un tel environnement. Celui-ci pourrait être l'une des clés qui permettraient une avancée de l'Intelligence Artificielle.

En guise de conclusion

Cet article ne fait que suggérer un mécanisme pour "expliquer" le fonctionnement de la conscience. Il ne prétend pas détenir la vérité. Même si celle-ci s'avérait être dans cette direction, beaucoup de travail resterait à faire. En particulier des expériences seraient nécessaires pour confirmer, ou infirmer, ces hypothèses.

Tel que nous le proposons, la pensée et la conscience seraient réductibles au fonctionnement du cerveau vu comme une "machine" biologique" très complexe.

Le fait d'utiliser le mot machine pour parler du psychisme humain peut être vu comme très réducteur. Ceci nous amène à revenir sur ce que nous appelons une machine. Pour nous, une machine est un dispositif qui n'obéit qu'aux lois physiques. Dans le sens commun, il est courant d'assimiler une machine à un dispositif mécanique simple qui pourrait, par exemple, être représenté par un automate du XVIII^e siècle. En fait, les résultats sur la théorie de la calculabilité nous montrent qu'une machine peut être tellement complexe qu'elle échappe à notre entendement. Ceci est encore plus vrai si elle n'a pas été conçue par un être humain.

Si le "fonctionnement" de la conscience se révèle accessible à notre compréhension, il devrait avoir de très grandes conséquences techniques, via l'informatique, mais aussi philosophiques et neurologiques.

L'informatique s'est déjà largement inspirée des fonctions psychiques suivant la méthodologie que nous avons présentée. Par exemple l'analyse et la formalisation du raisonnement humain a donné la logique mathématique qui a permis ensuite de développer des démonstrateurs automatiques et la programmation logique. La formalisation de la conscience devrait permettre de faire un pas de plus, non pas pour réaliser des androïdes, mais pour offrir des environnements propices au développement de fonctions inspirées des fonctions psychiques supérieures et ainsi progresser vers le but que s'est fixé l'Intelligence Artificielle. La réalisation d'un tel environnement ne semble pas poser, a priori, de difficultés particulières. Il serait bâti autour d'un moniteur séquentiel qui assurerait l'activation de ses fonctions opératoires.

La reconnaissance de l'importance intrinsèque de la séquentialité pour la réalisation des fonctions supérieures est certainement un grand message pour l'informatique qui s'est engagée depuis près de cinquante ans dans la voie du parallélisme comme panacée universelle.

D'un point de vue philosophique, le fait de faire passer la conscience d'un statut de propriété métaphysique à celui d'un mécanisme de traitement de l'information risque de faire tomber le principe de la spécificité humaine, ce qui va à l'encontre de tous les messages philosophiques et religieux dispensés depuis des millénaires. Toutefois, il faut mettre ce fait en perspective avec la découverte, il y a un peu plus de quarante ans, de la nature matérielle du message génétique par Francis Crick. Cette découverte a mis à bas des millénaires de théories vitalistes sans provoquer de crise philosophique particulière. Il est vrai qu'une très large partie de la population ne l'a pas encore vraiment assimilé et que, curieusement, une part non négligeable des tenants d'une évolution "matérialiste" des espèces milite pour une vision métaphysique de la conscience [MON 70].

Beaucoup de personnes pensent que la valeur humaine repose sur la transcendance d'une partie de notre psychisme et que la proclamation de sa matérialité peut la ruiner. Probablement, il n'en est rien. Pour expliquer pourquoi, prenons comme exemple une œuvre d'Art. Sa matérialité se résume à quelques matériaux relativement faciles à se procurer, mais sa valeur se situe dans leur forme et dans leur disposition, qui sont les fruits de la création de l'artiste. De même, la conséquence du fait de montrer la matérialité de notre conscience serait que notre

valeur devrait se situer dans notre agencement spécifique, fruit de notre généalogie et de notre éducation, et non dans un éventuel caractère métaphysique de notre nature.

Ce travail ne doit être vu que comme un essai. Sur de nombreux aspects, il va à contre-courant des idées actuelles. Toutefois, nous pouvons espérer qu'il soit vu comme un ensemble de propositions destinées à faire avancer ce sujet, ho combien important pour notre futur.

Bibliographie:

- [WER 12] M. Wertheimer, *Experimentelle Studien über das Shen von Bewegung*, Zeishrift für Psychologie, 1912
- [JAC 31] E. Jacobson, *Electrical measurments of neuromuscular states during mental activities*, American Journal of Physiology 96, 1931
- [TUR 50] Alan M. Turing, *Computing machinery and intelligence*, Mind 59, Oct. 1950
- [KOR 65] H. H. Kornhuber, L. Deecke, *Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale*, Pflügers Archiv für Gesamte Physiologie, Vol. 284, p1-17, 1965
- [LIB 65] Benjamin Libet, *Critical Activation in Conscious and Unconscious Experience*, Perspectives in Biology and Medecine, 1965
- [MON 70] Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité, essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Seuil, 1970
- [BLO 73] Vincent Bloch, *Les niveaux de vigilance et l'attention*, dans: *Traité de psychologie expérimentale*, ed: P. Fraisse, J. Piaget, PUF, pIII.83-III.128, 1973
- [LUR 73] A. H. Luria, *The Working Brain*, Basic Books, New York, 1973.
- [NAG 74] Thomas Nagel, *What like to be a bat?* The Philosophical Review, 83, p435-450, 1974
traduction: *Quel effet cela fait-il d'être une chauve-souris?* Questions mortelles, PUF, 1984
- [PEN 75] W. Penfield, *The Mystery of the Mind*, Princeton University Press, 1975
- [KOL 76] Paul A. Kolers, Michael von Grünau, *Shape and Color in Apparent Motion*, Vision Research, 1976
- [WEI 76] Joseph Weizenbaum, *Computer Power and Human Reason*, W. H. Freeman, 1976
- [PRE 78] D. Premack, G. Woodruff, *Does the chimpanzee have a theory of mind?*, Behav. Brain Sci. 1, p615-636, 1978
- [LIB 79] B. Libet, E. W. Wright, B. Feinstein, D. K. Pearl, *Subjective Referral of the timing for a conscious Sensory Experience*, Brain 102, 1979
- [SEA 80] John R. Searle, *Minds, Brains and Programs*, Behavioural Brain Science, 1980
- [LIB 81] Benjamin Libet, *The Experimental Evidence for Subjective Referral of a Sensory Experience backward in Time: Reply to P. S. Churchland*, Philosophy of Science, 1981
- [JAC 82] Franck Jackson, *Epiphenomenal Qualia*, Philosophical Quarterly, 32, 1982
- [LIB 82] Benjamin Libet, *Brain Stimulation in the Study of Neuronal Functions for Conscious Sensory Experiences*, Benjamin Libet, Human Neurobiology, 1982
- [CHA 83] Jean Pierre Changeux, *L'homme neuronal*, Fayard, 1983
- [JOH 83] P. N. Johnson-Laird, *Mental Models*, Cambridge University Press, 1983
- [LIB 83] B. Libet, C. A. Gleason, E. W. Wright, D. K. Perl, *Time of conscious intention to act in relation to cerebral activities (readiness potential). The unconscious initiation of a freely voluntary act.*, Brain 102, 1983.
- [LIB 85a] Benjamin Libet, *Subjective Antedating of a Sensory Experience and the Mind Brain Theories*, Journal of Theoretical Biology, 1985
- [LIB 85b] B. Libet, *Unconscious cerebral initiative and the role of conscious will in voluntary action*, Behav. Brain 6, 1985.
- [MIN 85] Marvin Minsky, *Society of Mind*, Simon and Schuster, New York, 1985
traduction: *La société de l'esprit*, InterEditions, Paris, 1988
- [JAH 86] Robert G. Jahn, Brenda J. Dunne, *On the Quantum Mechanics of Consciousness, with Application to Anomalous Phenomena*, in: *Foundation of Physics*, Plenum Publishing, p721-772, Aug. 1986
- [FOD 87] Jerry Fodor, *Psychosemantics, The Problem of Meaning in the Philosophy of Mind*, MIT Press, 1987
- [LAP 87] Dominique Laplane, *La mouche dans le bocal*, Plon, 1987
- [POS 87] Michael I. Posner, David E. Presti, *Selective attention and cognitive control*, Trends In Neuro-Sciences, p13-17,

Jan. 1987.

- [JOH 88] Philip N. Johnson-Laird, *The Computer and the Mind: An Introduction to Cognitive Science*, Harvard University Press, 1988
traduction: *L'ordinateur et l'esprit*, Odile Jacob, 1994
- [THU 88] Trinh Xuan Thuan, Fayard, *La mélodie secrète*, Fayard 1988
- [BAA 89] Bernard J. Baars, *A Cognitive Theory of Consciousness*, Cambridge University Press, 1989
- [ECC 89] John C. Eccles, *Evolution of the Brain: Creation of the Self*, Routledge, 1989.
traduction: *Evolution du cerveau et création de la conscience*, Fayard, 1992.
- [RIZ 90] G. Rizzolatti, M. Gattilucci, R. M. Camarda, V. Gallex, G. Luppino, M. Mattelli, L. Fogassi, *Neurons related to reaching-grasping arm movements in the rostral part of area 6 (area 6 a)*, *Experimental Brain Research*, 82, p337-350, 1990.
- [DEN 91] Daniel C. Dennett, *Consciousness Explained*, Little, Brown and Company, 1991.
traduction: *La conscience expliquée*, Odile Jacob, 1993.
- [POS 91] Michael I. Posner, Mary K. Rothbart, *Attentional Mechanisms and Conscious Experience*, in: *The Neuropsychology of Consciousness*, edited by A. D. Milner and M. D. Rugg, Academic Press, p91-112, 1991.
- [EDE 92] Gerald M. Edelman, *Bright Air, Brilliant Fire: On the Matter of Mind*, Allen Lane, The Penguin Press, 1992.
traduction: *Biologie de la conscience*, Odile Jacob, 1992.
- [ROB 92] D. L. Robinson, S. E. Petersen, *The pulvinar and visual salience*, *Trends Neurosc.* 15, 1992.
- [BIH 93] D. Le Bihan, R. Turner, T. A. Zeffiro, C. A. Cuenod, P. Jezzard, V. Bonnerot, *Activating of Human primary visual cortex during visual recall: a magnetic resonance imaging study*, *Proceeding of the National Academy of Sciences USA*, 90, p11802-11805, 1993.
- [COR 93] M. Corbetta, F. M. Miezin, G. L. Shulman, S. E. Petersen, *J. Neuroscience* 13, p1202-1226, 1993.
- [DEN 93] Derek Denton, *The Pinnacle of Life, Consciousness and Self-Awareness in humans and Animals*, Allen & Unwin, 1993
traduction: *L'émergence de la conscience de l'animal à l'homme*, Champs, Flammarion, 1995
- [FIE 93] J. B. Fieldman, L. G. Cohen, P. Jezzard, T. Pons, R. Sadato, R. Turner, et al., *Functional neuroimaging with echoplanar imaging in human during execution and mental rehearsal of a simple motor task*, in: *Book of Abstract of the 12th Annual Meeting of the Society of Magnetic Resonance in Medecine*, Cal: Society of Magnetic Resonance in Medecine, 1993.
- [NEW 93] James Newman, Bernard J. Baars, *A neural attentional model for access to consciousness: A Global Workspace perspective*, *Concepts in Neuroscience*, Vol. 4, N° 2, p255-290, World Scientific Publishing Company, 1993
- [TAY 93] J. G. Taylor, *A Global Gating Model of Attention and Consciousness*, in: *Neurodynamics and Psychology*, ed: M. Oaksford and G. Brown, Academic Press, 1993
- [CRI 94] Francis Crick, *The Astonishing Hypothesis, the Scientific Search for the Soul*, Macmillan Publishing Company, 1994.
traduction: *L'hypothèse stupéfiante, à la recherche scientifique de l'âme*, Plon, 1994.
- [DAM 94] Antonio R. Damasio, *Descartes' Error, Emotion, Reason and the human brain*, A. Grosset / Putnam Books, 1994
traduction: *L'erreur de Descartes, la raison des émotions*, Odile Jacob, 1995
- [DEL 94] Jean Delacour, *Biologie de la conscience*, Que sais-je? N° 2847, 1994
- [PAI 94] Jacques Paillard, *La conscience*, dans: *Traité de psychologie expérimentale*, eds: M. Richelle, J. Requin, M. Robert, Presses Universitaires de France, p639-683, 1994
- [PEN 94] Roger Penrose, *Shadows of the Mind*, Oxford University Press, 1994.
traduction: *Les ombres de l'esprit*, InterEditions, 1995.
- [POS 94 a] Michael I. Posner, Stanislas Dehaene, *Attentional networks*, *Trends In Neuro-Sciences*, Vol. 17, N°2, p75-80, 1994.
- [POS 94 b] Michael I. Posner, Mary K. Rothbart, *Attentional Regulation, from Mechanism to Culture*, in: *International Perspectives on Psychological Science*, ed: Paul Bertelson, Paul Eelen, Gery d'Ydewalle, Lawrence Erlbaum Associate, Vol. 1, p41-55, 1994.
- [CHA 95] David J. Chalmers, *The Puzzle of Conscious Experience*, *Scientific American*, p62-68, Dec. 1995.
traduction: *Qu'est-ce que la conscience?*, *Pour la science*, p58-64, fev. 1996.
- [BAA 96] B. J. Baars, J. Newman, *A neurobiological interpretation of a Global Workspace theory of consciousness*, in: *Consciousness in Philosophy and Cognitive Neuroscience*, eds: A. Revonsuo, Kamppinen, Erlbaum, Hillsdale, 1996
- [CHU 96] Paul M. Churchland, *The Engine of Reason, the Seat of the Soul: a Philosophical Journey into the Brain*, MIT Press, 1996.
traduction: *Le cerveau, moteur de la raison, siège de l'âme*, DeBoeck Université, 1999

- [HAM 96] Stuart R. Hameroff, *Conscious Events as Orchestrated Space-Time Selections*, Journal of Consciousness Studies, Vol 3, N° 1, p36-53, 1996
- [RAN 96] Emmanuel Ransford, *Elementary Particle or 'Wavicle'? Seeing Through the Quantum Frog*, Philosophies, Proceedings of ANPA 17, Cambridge, UK, Sept.1996
- [RIZ 96] G. Rizzolatti, L. Fadiga, M. Mattelli, V. Bettinardi, E. Paulesu, D. Perani, F. Fazio, *Localization of grasp representation in human by PET: Observation versus execution*, Experimental Brain Research 111, p246-252, 1996
- [SEA 96] John R. Searle, *Deux biologistes et un physicien en quête de l'âme*, La Recherche, p62-77, mai 1996
- [WAL 96] Eric Wallich, *Towards a Systemic Approach of Consciousness*, Third European Congress on Systems Science, Rome, Italy, Oct. 1996.
- [ANC 97] François Anceau, *The notion of myself, an extension of the attention mechanism*, Workshop: Toward a Science of Consciousness, Elsinore (Danemark) 21-24 aout 1997
- [DEH 97] Stanislas Dehaene, *La Bosse des maths*, Odile Jacob, Paris, 1997
- [JEA 97] Marc Jeannerod, *Neural mechanisms underlying representation for action*, in: Handbook of Neuropsychology, ed: F. Boller and J. Grafman, Elsevier Science B. V., Vol. 11. p167-183, 1997
- [NEW 97] James Newman, *Putting the Puzzle Together, Towards a General Theory of the Neural Correlates of Consciousness*, Journal of Consciousness Studies, Vol 4, N° 1, p47-66, N° 2, p100-121, 1997
- [PRO 97] Joëlle Proust, *Comment l'esprit vient aux bêtes*, Gallimard, 1997
- [SEA 97] John R. Searle, *The Mystery of Consciousness*, NYREV Inc, 1997
traduction: *Le Mystère de la conscience*, Odile Jacob, 1999
- [ANC 98] François Anceau, *The Attention Point, a possible location for the self*, Congrès: Neural Correlates of Consciousness, Brème (Allemagne), 20-22 juin 1998
- [BUS 98] Pierre Buser, *Cerveau de soi, cerveau de l'autre*, Odile Jacob, 1998
- [CHA 98] Jean-Pierre Changeux, Paul Ricoeur, *Ce qui nous fait penser, la nature et la règle*, Odile Jacob, fév. 1998
- [DEH 98] Stanislas Dehaene, Michel Kerszberg, Jean-Pierre Changeux, *A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol 95 November 1998, p14529-14534
- [GOM 98] Gilberto Gomes, *Contribution à la théorie de la conscience, conçue comme une activité du cerveau*, thèse de l'Université Paris 7, nov. 1998
- [VAL 98] Jean-Louis Valatx, *Sommeils et insomnies*, Pour la Science, p80-87, janv. 1998.
- [ANC 99] François Anceau, *Vers une étude objective de la conscience*, Hermès Science, 1999
- [DOR 99] Jean-François Dortier (éditeur), *Le cerveau et la pensée, la révolution des sciences cognitives*, Editions Sciences Humaines, 1999
- [DUC 99] Albert Ducrocq, *L'esprit et la neuroscience*, JC Lattès, 1999
- [ECO 99] Umberto Eco, *Kant et l'ornithorynque*, Grasset, 1999
- [DAM 99] Antonio R. Damasio, *The Feeling of What Happens, Body and Emotion in the Making of Consciousness*, Harcourt Brace & Compagny, 1999
traduction: *Le sentiment même de Soi, corps, émotions, conscience*, Odile Jacob, 1999
- [CAR 00] Alain Cardon, *Conscience artificielle & systèmes adaptatifs*, Eyrolles 2000
- [ANC 01] François Anceau, *Consciousness seen as a Framework for High-Level Cerebral Functions*, Congrès: Toward a Science of Consciousness, Skövde (Suède), 7-11 August 2001
- [HON 01] Ted Honderich, *Consciousness as Existence and the end of Intentionality*, Congrès: Toward a Science of Consciousness, Skövde (Suède), 7-11 August 2001