

## **Structures et mécanismes cérébraux sous tendant la créativité : une revue de la littérature**

**Grégoire Borst, Amandine Dubois, & Todd I. Lubart**

Laboratoire Cognition et Comportement (CNRS-FRE 2987), Centre Henri Piéron, Université Paris V, 71, avenue  
Edouard Vaillant, 92774 Boulogne-Billancourt Cedex.

Correspondance :

Amandine Dubois

Equipe Intelligence et Différenciation au cours de la vie

Laboratoire Cognition et Comportement

Centre Henri Piéron

Université Paris 5

71, avenue Edouard Vaillant

92774 Boulogne Billancourt Cedex

Téléphone : 06 08 78 27 13

Email : [amandine.dubois@univ-paris5.fr](mailto:amandine.dubois@univ-paris5.fr)

## **Résumé**

Dans cet article, nous avons effectué une revue des recherches sur les bases neuronales de la créativité. Nous avons tenté de déterminer pour chaque facteur qui influence la créativité, dans le cadre de l'approche multivariée (facteurs cognitifs, conatifs, émotionnels et environnementaux), les aires cérébrales qui pourraient être activées. Une partie de la littérature souligne l'importance du corps calleux et de la substance blanche et du locus coeruleus dans la créativité par l'importance que ces structures revêtent dans le recrutement de vastes réseaux neuronaux favorisant des associations d'idées inattendues. Une autre partie des articles relèvent le rôle central du cortex préfrontal dans trois traits de personnalité majeurs influençant l'émergence de la créativité que sont la recherche de nouveauté, la prise de risque et le psychotisme. Le cortex frontal semble être également au centre du réseau cérébral qui permet de moduler les émotions et les états de veille, facteurs qui sont mis en jeu dans l'expression de la créativité. Enfin, les études qui portent sur la plasticité cérébrale nous ont permis d'illustrer l'influence de l'environnement sur la créativité.

## **Structures et mécanismes cérébraux sous tendant la créativité : une revue de la littérature**

### **Historique des recherches sur la créativité et le « cerveau créatif »**

Dans cet article, nous présentons une revue de la littérature concernant les structures cérébrales impliquées au cours du processus créatif. Notre démarche a consisté à mettre en relation les recherches, les théories et les modèles comportementaux développés dans le domaine de la créativité avec des études sur les bases neurobiologiques possiblement impliquées.

Cette démarche n'est pas nouvelle car dès les premières études sur la créativité, un courant de pensée a tenté de rendre compte des fondements neurologiques des processus créatifs (Mouchiroud et Lubart, 2005). Gall, anatomiste et physicien autrichien, est le premier à développer une théorie matérialiste, la phrénologie, qui s'intéresse à la relation entre le cerveau et les processus de l'esprit. Selon la théorie proposée par Gall, les facultés humaines sont innées, elles peuvent être isolées au sein d'aires cérébrales spécifiques, et le développement des facultés psychologiques est directement lié au développement des zones cérébrales qui abritent ces facultés. La phrénologie postule également que les os du crâne sont des empreintes du cerveau et qu'il est donc possible d'établir une carte précise des zones cérébrales sur le crâne. Un corollaire de cette théorie est que pour établir les forces et les faiblesses d'un individu, il suffit de palper son crâne. Pour valider cette théorie, Gall a modélisé sur des bronzes ou des sculptures le crâne de figures historiques majeures et d'individus, allant des personnes à haut potentiel aux faibles d'esprit. Un talent dans un domaine pouvait dès lors être identifié via une étude du crâne. Bien sûr, la phrénologie n'est plus d'actualité mais elle reste, sur le plan historique, une première tentative de localisation des processus créatifs au sein du cerveau.

Abordée pendant longtemps de façon mystique, et tenant plus de l'inspiration divine que d'un processus intellectuel construit, la créativité a peu à peu été pensée comme une aptitude à part entière (voir Lubart, Mouchiroud, Tordjman et Zenasni, 2003, pour une synthèse de l'histoire du concept de créativité).

La psychologie de la créativité prendra son essor essentiellement dans la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, et en particulier grâce aux travaux de Guilford. Dans un premier

temps, Guilford (1950) va suggérer que la créativité requiert des capacités intellectuelles comme la facilité à détecter les problèmes, des capacités d'analyse, d'évaluation et de synthèse, ainsi qu'une pensée fluide et flexible. Puis, il va élaborer une théorie factorielle de l'intelligence (*Structure of Intellect*) composée de cinq opérations intellectuelles (cognition, mémoire, pensée divergente, pensée convergente et évaluation). Dans ce cadre théorique, la créativité s'appuierait sur ces différentes opérations mentales et en particulier sur la pensée divergente (capacité à trouver le plus grand nombre d'idées à partir d'un stimulus unique). Il créera alors plusieurs tests visant à mesurer cette capacité.

Sur la base de ces travaux, Torrance, dès 1950, va lancer un programme de recherche sur l'applicabilité aux enfants et aux adultes, sur les effets des consignes et sur les qualités psychométriques de ces tests ainsi que leur validité prédictive (Torrance, 1972). Ses travaux vont aboutir à la construction d'un test de pensée créative (*Torrance Test of Creative Thinking*, TTCT, Torrance, 1976), adapté des épreuves de pensée divergente de Guilford. Ce test est composé d'une série de tâches dans lesquelles le sujet doit indiquer, en temps limité, le maximum d'idées originales possibles en référence à des situations fictives, des objets existants ou encore des formes géométriques. Ce test de pensée créative se distingue des tests de fluidité verbale, comme ceux issus de la batterie des aptitudes mentales primaires (PMA) de Thurstone, et mesure la créativité à l'aide de quatre indices : la fluidité (nombre d'idées produites), l'originalité (rareté statistique des réponses), la flexibilité (nombre de catégories de réponses différentes) et l'élaboration (ajout de détails pour expliciter l'idée principale). Le TTCT sollicite spécifiquement la production d'idées originales ce qui demande au sujet, en plus de capacités de fluidité cognitive, de s'affranchir d'attitudes conventionnelles et de mobiliser la richesse de leurs réseaux d'association (Torrance, 1976), donnant ainsi accès au potentiel créatif de chacun.

En plus des tests de créativité basés sur le concept de pensée divergente, d'autres épreuves ont été élaborées sur la base de problèmes d'*insight* (Sternberg et Davidson, 1995), de tests d'association de mots ou d'objets (Dougan, Schiff et Welsh, 1949) et de tests de métaphore (Barron, 1988). Après les tests de pensée divergente, les mesures cognitives les plus représentatives et les plus utilisées pour évaluer la créativité sont les tests qui évaluent les problèmes d'*insight* et, notamment, le test d'association lointaine de Mednick (1962). Les épreuves d'*insight* permettent de mesurer les capacités d'encodage sélectif, de comparaison sélective et de combinaison sélective.

Outre les recherches menées sur l'influence d'opérations intellectuelles sur la créativité ou la construction d'outils destinés à l'évaluer, un courant de recherche s'est

intéressé aux différences individuelles dans le domaine créatif. Des études ont alors tenté d'extraire les aptitudes individuelles (cognitives, conatives et émotionnelles) et le contexte environnemental propices à l'expression créative.

MacKinnon (1962), Gough (1961 ; 1979) ou encore Roe (1952) ont suggéré la participation de traits comme la confiance en soi, l'indépendance de jugement et la prise de risque dans l'expression de la créativité. D'autres, comme celles de Maslow (1968) et Rogers (1954), ont mis en évidence l'implication de l'acceptation de soi, du courage et de la liberté d'esprit dans la créativité en tant que « moyen de réaliser ses potentialités » (*self-actualization*). Par ailleurs, Amabile et ses collaborateurs (Amabile, 1996) ont aussi étudié le rôle de la motivation intrinsèque avec une approche sociale de la psychologie de la créativité. Enfin, il est à noter que depuis ces vingt dernières années, nous voyons également se développer une approche cognitive de la créativité via des recherches expérimentales, des études de cas et des simulations en intelligence artificielle.

L'évolution de ce courant de recherche a naturellement poussé les chercheurs à s'interroger sur les bases neurobiologiques de la créativité. L'organisation actuelle du cerveau humain, stable d'une génération à l'autre, résulte d'une évolution génétique et biologique de plusieurs centaines de millions d'années. Depuis quelques millions d'années, nous sommes témoins d'une augmentation du cortex occipito-temporal et du cortex préfrontal, ainsi que d'un accroissement de la spécialisation hémisphérique. Ces changements dans la morphologie du cerveau s'accompagnent du développement du langage, des fonctions cognitives supérieures et d'une vie sociale. Par exemple, les premiers outils furent inventés il y a deux millions d'années et les peintures rupestres firent leur apparition il y a 30 000 ans. Ces observations montrent que l'activité créative consciente est corrélée à l'évolution biologique du système nerveux central (Changeux et Chavaillon, 1995). Au niveau ontogénétique, il existe aussi une relation étroite entre le développement des structures cérébrales et l'émergence de la créativité. Un chat nouveau né placé dans un environnement comprenant uniquement des barres verticales ne perçoit ensuite que les barres verticales, les neurones de son cortex visuel ne « répondent » plus pour les autres orientations des stimuli (Movshon et Blackmore, 1974). Cette recherche met en évidence une plasticité neuronale du cerveau ce qui permet de comprendre l'évolution culturelle d'un organisme et replace donc le cerveau au centre de l'histoire de la créativité (Changeux, 2002).

Cette partie nous a permis de faire un rapide historique des recherches qui portent sur la créativité, tout en illustrant certaines des conceptions théoriques qui ont orienté la recherche des bases cérébrales de la pensée créative. Dans la suite de cet article, nous nous sommes

inscrits dans l'approche multivariée de la créativité pour présenter les différentes études ou hypothèses neuroanatomiques sur le substrat cérébral des différentes composantes qui influencent la créativité.

### **L'approche multivariée de la créativité**

Avec la multiplicité des conceptions, définir la créativité demeure un sujet de recherche en soi. Il existe cependant une définition admise par la plupart des chercheurs du domaine. La créativité serait la capacité à réaliser une production qui soit à la fois nouvelle et adaptée au contexte dans lequel elle se manifeste (Sternberg et Lubart, 1995). Ainsi, une idée, un dessin, ou une histoire, pour être considérés comme créatifs, doivent d'une part se distinguer de ce qui a déjà été réalisé que ce soit par le sujet lui-même ou toute autre personne. Pour être nouvelle, une production n'a pas besoin d'être une innovation importante, une déviation minime par rapport au banal suffit à qualifier cette production d'originale (Sternberg, Kaufman et Pretz, 2002). D'autre part, la créativité ne se limite pas à produire des idées nouvelles, ces idées doivent aussi être adaptées à la situation dans laquelle elles s'expriment, et donc en satisfaire les contraintes.

Par ailleurs, attribuer un degré de créativité à une production s'apparente à un jugement, impliquant de ce fait un consensus social puisqu'aucune norme absolue n'existe. L'aspect créatif d'une production est donc toujours évalué en rapport avec d'autres, par une comparaison basée sur des critères plus ou moins objectifs établis selon la définition de la créativité utilisée. Or, nous savons qu'il existe des variations des conceptions sur la créativité : pour certains l'originalité primera sur l'adaptation, pour d'autres les deux aspects seront d'égale importance. Cette diversité de points de vue peut donc amener le lecteur à se poser la question de l'objectivité du concept lui-même. Néanmoins, même si le jugement de la créativité comporte des nuances selon les théories abordées, les bases d'originalité et d'adaptation, définissant l'aspect créatif d'une production, sont généralement mentionnées par les sujets, comme par les évaluateurs, lorsqu'on les interroge sur leur conception de la créativité (Sternberg et Lubart, 1995). Cette observation montre qu'il existe, dans une certaine mesure, un consensus sur la définition de la créativité.

Les efforts mis en œuvre pour aller vers une définition consensuelle de la créativité ont permis aux différents acteurs de ce domaine de recentrer l'objet de leur recherche. Partant de cette définition, des études ont été effectuées afin de chercher à comprendre les facteurs en jeu dans la créativité.

Depuis les années 1980, s'est développé un courant selon lequel la créativité serait le résultat de la convergence d'aspects cognitifs, conatifs et environnementaux (Lubart, 1999). A partir de ces recherches, une approche multivariée de la créativité a été proposée. Dans cette perspective, la créativité requiert une combinaison particulière de facteurs relevant de l'individu (comme les aptitudes intellectuelles ou les traits de personnalité), et du contexte environnemental (comme la culture ou l'environnement familial). Plus particulièrement, pour Lubart, Mouchiroud, Tordjman et Zenasni (2003), il existe quatre types de ressources distinctes qui sont nécessaires à l'émergence de la créativité : les facteurs cognitifs (intelligence, connaissances), les facteurs conatifs (personnalité, motivation), les facteurs émotionnels et l'environnement (cf. Figure 1). Ainsi, chaque individu posséderait un profil d'aptitudes sur ces six types de ressources, lié à son potentiel créatif. Cependant, la créativité ne se résume pas aux performances individuelles sur ces différentes composantes (Sternberg et Lubart, 1995). Par exemple, certaines des composantes vues précédemment peuvent présenter un seuil au-dessous duquel la créativité est impossible (notamment dans le domaine des connaissances). De plus, il peut exister une compensation partielle entre les composantes : une forte motivation peut contrebalancer un faible niveau de connaissances. Enfin, les différentes composantes n'agissent pas sur le potentiel créatif d'un individu de manière indépendante et additive, elles sont en perpétuelle coaction et c'est donc leur combinaison particulière qui influencera le degré de créativité observé. Cette approche multivariée met donc l'accent sur l'influence conjointe et interactive de caractéristiques intra-sujet et contextuelles sur le potentiel créatif; potentiel qui pourra alors s'exprimer à travers diverses productions dans des domaines variés.

Il est à noter qu'au sein de cette approche multivariée de la créativité, plusieurs théories ont été proposées. Amabile (1996) postule, par exemple, l'existence de trois composantes sous-jacentes pour la créativité : la motivation (raisons intrinsèques et extrinsèques pour lesquelles un individu s'engage dans la tâche à accomplir), les capacités dans un domaine (connaissances et talents particuliers dans un domaine précis) et les processus liés à la créativité (style cognitif permettant d'affronter la complexité et l'interruption de la réflexion pendant la résolution d'un problème). De même, nous pouvons citer l'approche en trois systèmes développée par Feldman, Csikszentmihalyi et Gardner (1994), dans laquelle le premier système serait l'*individu*, permettant de tirer une information d'un domaine et de la transformer ou de l'étendre à l'aide de processus cognitifs, de traits de personnalité et de motivation. Le *champ*, deuxième système du modèle et constitué de plusieurs individus, permettrait l'évaluation et la sélection de nouvelles idées. Enfin, le

troisième système serait le *domaine* consistant en un savoir culturel, transmissible d'une personne à l'autre. Ces systèmes sont interactifs, dans le sens où l'*individu* est à la fois influencé par le *champ* et le *domaine*, et peut donc entraîner des changements dans ces systèmes.

La créativité telle que nous l'aborderons dans cet article, définie par son double aspect d'originalité et d'adaptation, sera donc vue sous un angle multivarié. La combinaison de facteurs cognitifs, de facteurs conatifs, de facteurs émotionnels et de facteurs environnementaux, doit être prise en compte puisqu'exerçant une influence sur le développement d'un certain potentiel créatif exprimé par les productions du sujet (dont la créativité sera évaluée dans un contexte social donné).

-----  
FIGURE 1  
-----

### **Aptitudes cognitives, Imagerie mentale et Créativité**

D'un point de vue cognitif, huit capacités intellectuelles ont été identifiées comme essentielles dans l'acte créatif (Lubart et al., 2003) : la capacité à identifier et définir le problème, l'encodage sélectif, la comparaison sélective (analogie, métaphore), la combinaison sélective, la pensée divergente, l'auto-évaluation de la progression vers la solution du problème et la flexibilité cognitive.

La capacité à identifier, définir ou redéfinir le problème rend compte de la possibilité que nous avons d'envisager des questions sous des angles différents, ce qui, selon Einstein et Infeld (1938), « demande une imagination créative ». D'autre part, Max Planck, qui a découvert les lois de la radioactivité et la théorie du quantum, a suggéré que les scientifiques créatifs devaient posséder une imagination vivace car la découverte scientifique repose sur des processus d'imagination et non sur des processus déductifs (cités par Miller dans *Insights of Genius*, 2000). Le concept d'imagination recouvre notamment les représentations imagées ou images mentales que nous aborderons dans la suite de cette section. La représentation mentale que nous avons d'un problème influence l'ensemble des processus en jeu dans la recherche de sa solution. Ghiselin (1985), Shepard (1978) ou encore Weber et Perkins (1992) ont constaté qu'en ce qui concerne la représentation mentale, l'imagerie visuelle facilite la résolution créative d'un problème. L'exemple le plus connu de l'effet bénéfique de l'imagerie



mentale est celui d'Einstein qui a en partie développé la théorie de la relativité par la visualisation d'un trajet sur un faisceau lumineux. Des recherches expérimentales ont cherché à mettre en évidence le lien entre créativité et imagerie mentale, en encourageant les sujets à utiliser des représentations mentales pour assembler différents éléments, dans le but de réaliser de nouveaux objets. Ces travaux sur l'invention créative ont été réalisés, entre autres, par Finke (1990) et Smith, Ward et Finke (1995). L'avantage de l'imagerie mentale sur les représentations verbales pour la créativité a été interprété par Kim (1990) par le fait que les images sont facilement altérables, qu'elles peuvent représenter de nombreux aspects d'un problème et qu'elles peuvent être manipulées rapidement.

L'ensemble des structures corticales impliquées dans l'imagerie mentale devrait jouer un rôle dans l'expression de la créativité car les processus d'imagerie permettent de simuler les conséquences du choix d'une solution par rapport à une autre ou de faire émerger des solutions originales ou mieux adaptées à un contexte nouveau.

L'imagerie mentale se définit comme l'aptitude à visualiser des objets en l'absence de perception visuelle et de visualiser des combinaisons d'objets ou de formes n'ayant jamais existé. Les zones cérébrales impliquées dans l'imagerie mentale recouvrent en partie celles mises en œuvre dans la perception visuelle. L'imagerie mentale partage les mêmes structures cérébrales que la perception visuelle (comme les aires visuelles primaires) et notamment l'aire V1, premier relais cortical de la vision (Kosslyn et al. 1993). Ce résultat se retrouve dans des études de neuropsychologie, où Farah (1989) montre qu'une lésion sélective d'une aire corticale visuelle entraîne une atteinte sélective des processus d'imagerie correspondant. Levine, Warach et Farah (1985) mettent également en évidence qu'une lésion bilatérale de la voie dorsale entraîne un déficit de la localisation des objets en perception visuelle et le même déficit durant une activité d'imagerie mentale. En effet, l'imagerie mentale repose sur deux systèmes : la voie ventrale (occipito-temporale) qui permet de coder les propriétés des objets et la voie dorsale (occipito-pariétale) qui permet de coder les propriétés spatiales des objets (cf. Figure 2). Ces deux systèmes projettent vers les lobes pariétaux inférieurs (Watson, Valenstein, Day, et Heilman, 1994). L'imagerie mentale implique également une activation du cortex frontal (Ishai, Ungerleider, et Haxby, 2000). Burgess, Scott, et Frith (2003) ont mis en évidence que le cortex préfrontal latéral est engagé dans l'activation des représentations stockées dans le néocortex inférieur tandis que le cortex préfrontal médial permet de supprimer les représentations internes générées. Les processus de transformation des images mentales, qui permettent de générer des images de scènes jamais perçues, sont localisés au niveau du lobe pariétal droit (Hamsher, Levin and Benton, 1979). Ces processus de

transformation sont importants dans la créativité car, en permettant de visualiser des scènes n'ayant jamais existé, ils permettent de mettre en œuvre des solutions innovantes.

-----  
FIGURE 2  
-----

### **Pensée divergente**

Comme nous l'avons vu précédemment, la pensée divergente a été à la base des premiers tests de créativité. Pour Guilford (1950), cette capacité à rechercher de manière pluridirectionnelle de nombreuses idées, à partir d'un simple point de départ, est essentielle à l'expression créative. En effet, le fait de générer un grand nombre d'éventualités et de pistes à explorer, augmentera d'autant plus la probabilité de trouver une idée nouvelle et adaptée, donc une idée créative. Une corrélation positive entre la pensée divergente et les performances créatives a été retrouvée par de nombreux auteurs (Baer, 1991 ; Barron et Harrington, 1981 ; Brown, 1989 ; Harrington, Block et Block, 1983 ; Rossman et Horn, 1972 ; Runco et Albert, 1985 ; Torrance, 1988). Ce type d'observation renforce la conception selon laquelle l'aptitude à penser de manière divergente serait une composante centrale de la créativité.

La pensée divergente implique les réseaux du lobe frontal. Zangwell (1966) proposait déjà que des dysfonctions ou des lésions du lobe frontal entraîneraient des atteintes de la pensée divergente. Berg en 1948 a développé un test le WSCT (Wisconsin Card Sorting Test) où les participants doivent classer des cartes en fonction de différentes dimensions comme la couleur, la forme ou le nombre. Les participants doivent déduire le principe du classement en fonction des réponses de l'expérimentateur à la fin du premier classement. Au cours du test, le principe de catégorisation des cartes change sans que le participant en soit informé. L'aptitude à changer de stratégie est un exemple de flexibilité cognitive comme de pensée divergente. Milner (1984) a démontré que des patients avec lobectomie frontale avaient des difficultés pour effectuer ce test ce qui viendrait confirmer le rôle du lobe frontal dans la pensée divergente. L'implication du lobe frontal dans la pensée divergente est confirmée dans une étude sur le flux sanguin cérébral d'individu normaux durant le WSCT où une augmentation du flux sanguin est observée dans le lobe frontal (Weinberger, Berman et Zee, 1986). De même, dans une recherche de Carlsson, Wendt et Risberg (2000), le flux sanguin est plus

important dans le lobe frontal chez des personnes créatives par rapport à des personnes non créatives quand ils déterminent les différentes utilisations d'une brique dans le test de Guilford (1967).

### **Flexibilité cognitive**

Une autre des capacités cognitives essentielles à la créativité est la flexibilité. Cette aptitude à appréhender un seul objet (ou idée) sous des angles différents, le fait de pouvoir se dégager d'une idée initiale pour explorer de nouvelles pistes, favoriserait donc la créativité grâce à la variabilité cognitive intra-individuelle qu'elle entraîne. Dans cette perspective, Guilford a distingué deux formes de flexibilité facilitant la créativité. Selon lui, la flexibilité spontanée, qu'il considère comme un aspect de la pensée divergente, permet de produire des idées variées, alors que la flexibilité adaptative (ou capacité de transformation) permettrait, de changer de point de vue sur un problème. Une première étude de Georgsdottir et Lubart (2003) a permis de montrer une même évolution entre la flexibilité adaptative et spontanée, et la créativité, en testant 96 enfants de 8 à 11 ans. De même, ils ont pu mettre en évidence des corrélations positives significatives entre la flexibilité adaptative et l'originalité des réponses d'une part, et entre la flexibilité adaptative et le score de fluidité d'autre part.

Les études sur la neurophysiologie de la flexibilité cognitive partent du constat que la norépinéphrine module la taille des réseaux neuronaux recrutés dans une tâche cognitive. Ce postulat est confirmé par Kischka, Krammer, Maier, Weisbrod, Thimm, et Spitzer (1996) dans une tâche de décision lexicale avec un amorçage. Dans cette recherche, Kischka et ses collaborateurs proposent une tâche où les participants doivent déterminer si le mot qui leur est présenté est un mot ou pseudo-mot. L'amorce est plus ou moins proche lexicalement de chaque mot. Dans le cerveau, il existe des réseaux de neurones qui stockent les mots et leur signification (réseau lexico-sémantique). Chaque amorce active un réseau, si le mot à identifier fait partie de ce réseau alors la reconnaissance sera facilitée. Dans cette étude, les expérimentateurs injectent de la L-dopa aux participants. L'amorçage direct n'est pas influencé par la L-dopa. En revanche, l'effet de l'amorçage indirect, impliquant le recrutement de réseaux sémantiques plus larges, est réduit. Kischka et al. interprètent ce résultat comme une preuve du fait que la dopamine augmente le ratio signal-bruit au sein des réseaux sémantiques en diminuant la propagation de l'activation sémantique. Les catécholamines permettent donc de moduler la taille des réseaux neuronaux activés. Cependant, la L-dopa n'est pas uniquement un précurseur de la dopamine mais également de

la norépinéphrine. Ce résultat pourrait donc être attribué à l'augmentation de la norépinéphrine dans le cerveau.

De plus, Martindale et Greenough (1973) observent que le stress diminue les performances au RAT, « Remote Associates Test » de Mednick (1962). Chaque item du RAT est composé de trois mots (par exemple : « blanc-rat-bleu ») à partir desquels le sujet est invité à découvrir un mot réponse (ici « fromage »). Ainsi, plus l'individu parvient à former des associations lointaines, plus il sera considéré comme créatif. Les réseaux associatifs du cerveau semblent être à la base de l'aptitude à effectuer des associations d'idées. Ces associations d'idées permettraient de proposer des solutions créatives à un problème. La diminution des performances observée, sous l'effet du stress, s'expliquerait par un accroissement de l'activité du système noradrénergique. Ce résultat est confirmé par l'étude de Faigel (1991) qui administre des bêta-bloquants noradrénergiques à des lycéens ce qui augmente significativement leur résultat au SAT, *Scholastic Achievement Test*. Heilman (2005), dans son ouvrage *Creativity and the Brain*, suggère que les bêta-bloquants, en réduisant l'influence de la norépinéphrine, permettent une activation plus large des réseaux neuronaux et donc une flexibilité cognitive plus forte.

Pour valider l'hypothèse selon laquelle la norépinéphrine module la flexibilité cognitive, Beversdorf et al. (1999) testent l'aptitude de sujets normaux à résoudre des problèmes sous l'influence soit d'un placebo, soit de l'éphédrine ou du propranolol. L'éphédrine possède la propriété d'accroître le niveau de norépinéphrine dans le cerveau alors que le propranolol qui est un bloqueur beta-noradrénergique interfère avec l'influence de la norépinéphrine. Les sujets ont effectué une tâche de résolution d'anagrammes qui demande une bonne flexibilité cognitive. Les participants sont plus performants quand la tâche d'anagrammes est accomplie sous l'influence du propranolol ce qui valide l'hypothèse de Heilman. De plus, Broome, Cheever, Hughes, et Beversdorf (2000) ont mis en évidence que c'est le blocage des récepteurs bêta adrinergique au niveau du système nerveux central et non au niveau du système périphérique qui induit une meilleure flexibilité cognitive.

Au niveau neuroanatomique, le noyau basal contient des neurotransmetteurs qui projettent dans tout le cerveau, notamment des neurotransmetteurs cholinergiques qui modulent l'activation corticale et donc le niveau d'excitation corticale. Ce postulat est confirmé par une étude de Cape et Jones (1998). Ces chercheurs injectent de la norépinéphrine dans le noyau basal et enregistrent l'activité cérébrale à l'aide d'un EEG. Ils observent que cette injection induit une activité EEG à haute fréquence et réduit le nombre d'activités électriques de basse fréquence. Une étude de Waterhouse et Woodward (1980)

montre également que la norépinéphrine a pour effet de diminuer la décharge spontanée des neurones tout en entraînant une augmentation de la réponse neuronale à un stimulus. La norépinéphrine augmenterait de ce fait le ratio signal-bruit dans les systèmes cibles (Servan-Schreiber, Printz, et Cohen, 1990). Cet effet de la norépinéphrine entraîne une activité réduite des neurones associatifs qui conduirait à diminuer la taille et le type de réseaux neuronaux activés dans le cortex ce qui semble être une donnée critique pour voir émerger la créativité. En effet, comme Mednick (1962) l'a proposé la créativité se définit comme la capacité à associer des idées lointaines pour en produire une nouvelle, plus les concepts assemblés seront éloignés plus l'individu sera considéré comme faisant preuve de créativité. Cette capacité à effectuer des associations serait donc directement liée à la taille des réseaux neuronaux recrutés.

L'étude du locus coeruleus (LC) et du système norépinéphrique (cf. Figure 3) sur la régulation des fonctions cognitives vient conforter cette hypothèse. Au niveau neuroanatomique, l'étude des connexions montrent que les neurones norépinéphriques du LC projettent dans le cortex cérébral, le système limbique et le thalamus. Une grande partie des projections les plus fortes le sont vers des zones corticales (lobes pariétaux inférieurs) qui contrôlent les processus attentionnels (Morrison et Foote, 1986). Les chercheurs en concluent qu'une activation forte du LC impliquant une augmentation du niveau de norépinéphrine dans le cortex, favorise l'émergence de processus « bottom-up ». Ces processus ascendants sont critiques dans l'échantillonnage de nouveaux stimuli et augmentent les réponses comportementales à des stimuli nouveaux ou non attendus (Aston-Jones, Chiang, et Alexinsky, 1991). Bien que les conséquences d'une faible activité du LC n'aient pas été étudiées, il est concevable, selon Heilman (2005), que cette faible activité pourrait être associée à l'émergence de processus « top-down ». Les processus « top-down » permettent entre autre de rechercher des informations en mémoire, de planifier des actions ou de simuler des idées nouvelles. Ces trois traitements de l'information font partie du processus créatif, selon Wallas (1926), et à ce titre, les processus « top-down » pourraient être important dans la créativité.

-----  
FIGURE 3  
-----

Selon de nombreux auteurs, les aptitudes cognitives contribuent à la pensée créative, mais la créativité ne peut s'exercer que si nous disposons déjà de connaissances suffisantes sur le domaine (Ericsson, Krampe et Tesch-Römer, 1993 ; Feldhusen, 1995 ; Wiley, 1998). Par exemple, Hayes (1989) a mis en évidence, en étudiant 76 compositeurs très connus, le fait qu'une période de 10 ans en moyenne sépare le début des études de musique de leur première œuvre considérée comme créative par les critiques. L'avantage de posséder une base de connaissances suffisante sur le domaine permettrait, non seulement de comprendre les situations et de ne pas réinventer ce qui existe déjà, mais aussi de focaliser notre pensée sur les aspects nouveaux de la tâche et de tirer partie d'événements observés par hasard. La découverte de la pénicilline par Alexander Fleming demeure un exemple bien connu de la prise en compte d'aspects accidentels menant à une grande découverte. Pasteur affirmait même, dans ce sens, que « dans les champs de l'observation, le hasard ne favorise que les esprits préparés ». En revanche, trop de connaissances peuvent amener à une forme de rigidité mentale nuisible à l'expression d'idées créatives. Une étude menée par Frensch et Sternberg (1989) sur des joueurs novices et experts de bridge, a montré que si un changement superficiel du jeu (comme le changement des noms de couleurs des cartes) était introduit, cela produisait, pour l'ensemble des joueurs, une baisse transitoire des performances. Cependant, si l'on opère une transformation radicale des règles du jeu, les joueurs experts voyaient leurs performances affectées, bien que les novices restent peu gênés par ce changement. Ce résultat illustre la diminution de la souplesse de la pensée en lien avec l'expérience. En outre, Simonton (1984) a mis en évidence une relation en U inversé entre le niveau de notoriété de 192 grands créateurs et leur niveau moyen d'études, à l'aide d'une méthode bibliographique. Mednick proposait, dès 1962, que la créativité était dépendante de la structure des connaissances des individus et notamment du lien entre ces connaissances, puisque selon lui les capacités associatives sont à la source du potentiel créatif. D'après cette théorie, les personnes présentant des associations de force relativement égale entre des concepts auraient un potentiel créatif plus élevé que celles produisant des associations très fortes ou très faibles entre leurs connaissances.

L'influence du cerveau sur la créativité serait donc liée à l'organisation du cerveau car cette organisation particulière explique en partie la façon dont les connaissances sont stockées et les compétences développées. Les recherches dans le domaine de la neuropsychologie ont montré que des lésions du cortex entraînaient des déficits dans le stockage et l'acquisition des

connaissances. Le cortex est donc une des structures critiques pour l'acquisition et la mémorisation des connaissances.

Pour être créatif, un individu doit donc posséder des connaissances riches dans des champs spécifiques. Ces connaissances précises permettent de découvrir des anomalies qui sont à la base des nouvelles théories proposées. L'acquisition de connaissances spécifiques entraîne des changements dans différentes structures cérébrales. Une des évolutions critiques au sein du cerveau est le développement d'aires associatives poly et supra modales dans les lobes temporaux et pariétaux impliquant également le gyrus supra marginal et le gyrus angulaire (aire 39 et 40). L'ensemble de ces structures est impliqué dans des activités cognitives supérieures comme le langage, les mathématiques ou les computations spatiales.

Un axe de recherche s'est focalisé sur la morphologie de cerveaux de personnages extrêmement créatifs. Spitzka (1907) a étudié, par exemple, le cerveau de plusieurs scientifiques reconnus qui présentent tous une hypertrophie des lobes pariétaux. Le cerveau d'Einstein a fait l'objet d'une attention particulière de plusieurs équipes de chercheurs pour étudier les particularités morphologiques qui pourraient expliquer sa créativité exceptionnelle. Witelson, Kigar, et Harvey (1999) ont travaillé sur les photos de Harvey de 1955, ils observent que la scissure de Sylvius ne sépare pas le gyrus supra marginal en deux comme chez la majorité des individus. Le cortex pariétal inférieur d'Einstein est de ce fait plus grand que ce qui est observé dans la population générale. Cette absence de division de cette partie du cortex confère un avantage fonctionnel dans le traitement des problèmes mathématiques et les computations spatiales. Cette spécificité morphologique du cerveau d'Einstein, en lui permettant d'être plus performant dans le domaine mathématique, lui aurait permise d'exprimer une créativité significativement plus importante que la plupart des individus. Néanmoins, Foundas (2002) a mis en évidence que 15 à 20 % de la population partage la même spécificité morphologique (absence de gyrus ascendant postérieur) alors même que le potentiel créatif d'Einstein est unique. En d'autres termes, la taille du lobe pariétal inférieur ne peut expliquer à elle seule la créativité.

L'existence d'une influence de certaines aptitudes cognitives spécifiques et des connaissances acquises sur le niveau de créativité des individus a amené les chercheurs à se poser la question de l'existence d'un lien entre la créativité et une mesure plus générale de l'intelligence (Lubart, 2003). Outre le fait qu'il a été observé que les personnes jugées créatives tendent à avoir un QI supérieur à la moyenne, le lien entre cette mesure de l'intelligence et la créativité varie largement (les corrélations allant de 0 à 0,50), suggérant que cette relation peut ne pas être linéaire. En effet, une corrélation positive existe entre le QI

et la créativité pour des QI inférieurs à 120, mais ce lien disparaît au-delà de cette valeur. Guilford et ses collègues interprètent ce résultat en faisant référence à la pensée divergente des individus. Selon leur hypothèse, cette aptitude consiste à rechercher des informations diverses dans la mémoire et le QI serait une bonne évaluation de la taille de cette base de connaissances. Ainsi, si le QI est faible, les informations sont peu nombreuses et la pensée divergente est limitée, alors que si le QI est élevé la base d'informations est suffisante pour permettre aux individus d'obtenir une note élevée en pensée divergente mais seulement dans le cas où ils possèdent, en plus, la capacité à rechercher efficacement ces informations. Cependant, la variation du degré de liaison entre l'intelligence et la créativité en fonction de l'importance du QI n'a pas été retrouvée par Runco et Albert (1985). Leur étude a été menée sur 228 enfants de 11 à 14 ans dont 43% avaient un QI supérieur à 130. Après avoir administré aux sujets cinq tests de pensée divergente ainsi que deux tests d'intelligence (le WISC et le California Achievement Test), ces auteurs n'ont constaté aucune différence dans la nature de la relation intelligence-créativité avec le niveau d'intelligence. La plupart de ces recherches ont été critiquées. D'une part, parce que les chercheurs se sont limités dans la plupart des cas à n'utiliser qu'une seule mesure de l'intelligence, le QI, et, d'autre part, parce que la créativité n'est évaluée qu'à travers des épreuves de pensée divergente alors même que la pensée divergente n'est qu'une des composantes de la créativité.

D'un point de vue neuropsychologique, la recherche de bases neurologiques sous-tendant les performances intellectuelles a bien souvent mené à des débats théoriques que nous n'aborderont pas en détail dans le cadre de cette revue de littérature. Néanmoins, certains résultats, dans le cadre d'études neuropsychologiques sur les enfants à haut potentiel, apportent quelques éléments de réflexion. Par exemple, Grubar (1997) observe que les enfants précoces bénéficient d'un taux de sommeil paradoxal élevé ce qui suggère une relation entre leur facilité de mémorisation et la plus grande plasticité cérébrale de leur cerveau. De plus, Miller (1994) observe une conduction nerveuse plus rapide chez les sujets à haut potentiel ce qui serait compatible avec l'hypothèse d'un rôle déterminant du taux de myéline pour l'intelligence générale. Enfin, Thompson et al. (2001) ont fait l'hypothèse de l'existence d'un lien entre la quantité de matière grise dans la zone frontale et les différences individuelles de QI (voir Jambaqué, 2004 pour une revue de question sur l'apport de la neuropsychologie développementale à l'étude des sujets à haut potentiel). Il y aurait donc des structures cérébrales en jeu dans le niveau d'intelligence général, ces mêmes structures seraient à même d'intervenir sur le potentiel créatif d'un individu.



Les connaissances comme base du processus créatif et l'intelligence vue comme un savoir-faire créatif, nous renvoient au rôle central des capacités associatives dans la créativité. Dans un article de 2003, Heilman, Nadeau, et Beversdorf suggèrent que la créativité résulterait de l'utilisation de réseaux neuronaux d'un domaine au sein d'un autre domaine. Cette hypothèse repose sur l'existence de différentes architectures de réseaux neuronaux au sein des aires associatives. Les processus de la créativité recruteraient des réseaux d'architectures différentes pour s'affranchir des contraintes spécifiques liées à un modèle interne de connaissances. Heilman (2005), propose donc de rechercher les bases neuroanatomiques des ces réseaux associatifs.

Le cerveau est composé de deux hémisphères qui n'ont pas les mêmes fonctions. Parson et Osherson (2001), dans une étude en TEP, montre, notamment, que le raisonnement probabiliste entraîne une activation préférentielle des aires de l'hémisphère gauche alors que le raisonnement déductif implique principalement des portions de l'hémisphère droit. De plus, l'hémisphère droit joue un rôle dans la créativité par son implication dans la compréhension des métaphores ou de la musique et plus généralement dans la perception des émotions. L'hémisphère droit est également activé quand une situation requière une attention globale. En revanche, l'hémisphère gauche est requis quand un individu focalise son attention sur des détails ce qui peut être critique dans l'émergence d'une solution créative (Barrett, Beversdorf, Crucian, et Heilman, 1998).

Néanmoins, pour exprimer une solution créative, le point crucial résiderait dans l'interaction entre ces deux systèmes. La structure cérébrale qui permet la communication entre les deux hémisphères est le corps calleux. L'implication du corps calleux dans la créativité est confirmée par Lewis (1979) qui met en évidence qu'une section du corps calleux dans le traitement de l'épilepsie a pour conséquence une absence de réponses créatives au test projectif de Rorschach.

Le corps calleux semble être un candidat pour supporter les mises en relation entre différents réseaux associatifs mais les personnes à haut potentiel créatif posséderaient également une plus grande quantité de neurones dits « associatifs » dans le cortex (neurones dont les connexions sont effectuées entre les 6 couches corticales). Une étude de Diamond, Scheibel, Murphy, et Harvey (1985) met en évidence que le cerveau d'Einstein contenait significativement plus de cellules gliales (cellules qui servent de substrat métabolique aux neurones) par rapport aux nombres de neurones, au sein du gyrus angulaire, que dans un groupe contrôle. Néanmoins, cette spécificité du cerveau d'Einstein pourrait s'expliquer par l'alexie d'Einstein et non sa créativité. En effet, la proportion élevée de cellules gliales dans le

cerveau d'Einstein est observée au niveau des aires de Broca et de Wernicke qui sont spécifiquement impliquées dans la lecture. Dans cette même étude (Diamond et al., 1985) observent que le lobe pariétal droit du cerveau d'Einstein possédait une substance blanche significativement plus étendue que la moyenne. La substance blanche est composée d'axones myélinisés transportant l'information entre les différentes régions hémisphériques. Cette substance blanche sous corticale favorise la communication intra et inter hémisphérique donc elle devrait jouer un rôle critique dans la créativité en permettant de la mise en relation d'éléments non liés. Heilman (2005) émet l'hypothèse que si la substance blanche est une des structures qui influence la créativité, alors des personnes extrêmement créatives devraient posséder une substance blanche significativement plus développée que des personnes moins créatives. A part l'étude du cerveau d'Einstein, la généralisation de ce résultat reste limitée car il n'existe pas de recherches, à ce jour, qui aient étudié de façon systématique cette hypothèse neurofonctionnelle.

Nous avons vu que le corps calleux jouait un rôle important, Witelson (1985) met en évidence que cette structure cérébrale est plus développée chez les gauchers que chez les droitiers. Les gauchers seraient plus créatifs car ils possèdent plus de connexions anatomiques entre les deux hémisphères ce qui leur permettraient de recruter des réseaux de représentations différents et de les associer entre eux.

Par ailleurs, l'étude des personnes présentant une synesthésie renforce les théories qui lient la créativité à la connectivité cérébrale et aux réseaux associatifs. Les personnes qui sont atteintes de synesthésie peuvent quand elles perçoivent un stimulus dans une modalité le ressentir dans une autre modalité. Par exemple, certaines personnes en entendant des notes de musique perçoivent certaines couleurs. Dans une tâche de recherche visuelle (Treisman et Gelade, 1980 ; Treisman et Schmidt, 1982) où une lettre cible (par exemple un T) est présentée au sein de lettres distractrices (par exemple des L), un individu sans synesthésie effectuera cette tâche par une recherche séquentielle de la cible ce qui entraîne une augmentation linéaire des temps de réponses en fonction du nombre de distracteurs. En revanche, des individus atteints de synesthésie visuelle intra-modalité présentent des temps de réponses significativement plus rapides, et qui ne varient pas en fonction du nombre de distracteurs (Ramachadran et Hubbard, 2001). En effet, ces personnes voient la lettre L et la lettre de T de deux couleurs différentes d'où des temps de réponses plus courts. Si la créativité est liée à la connectivité au sein du cerveau alors les personnes qui présentent des synesthésies devraient être plus créatives. Les observations de Grossenback (cités par Heilman, 2005) viennent confirmer cette hypothèse en montrant que parmi 84 personnes ayant une

synesthésie, 26 avaient des carrières qui impliquent d'être créatif (artistes, écrivains ou musiciens).

-----  
FIGURE 4  
-----

### **Conation et créativité**

Dans le cadre d'une approche multivariée de la créativité, nous avons pu voir précédemment que les facteurs conatifs ont une part explicative importante dans les différences individuelles de potentiel créatif. La conation regroupe les traits de personnalité qui font référence à des patrons de comportements constants et peu variables dans le temps (Huteau, 1985), les styles cognitifs (manière préférentielle dont les individus effectuent les opérations mentales) et la motivation définie par l'ensemble des processus responsables du déclenchement, de l'entretien et de la cessation d'un comportement (Amabile, 1996). Nous nous focaliserons ici plus particulièrement sur certains traits de personnalité favorisant la créativité et qui ont fait l'objet d'études neurophysiologiques.

Dès 1926, Cox, à partir de travaux bibliographiques, a pu observer que certaines caractéristiques de la personnalité pouvaient avoir un rôle causal dans le développement créatif. Ce rôle, pour Mumford et Gustafsson (1988), serait de faciliter l'utilisation efficace des aptitudes cognitives en jeu dans la créativité et d'aider à transformer les idées abstraites en produits réels. Plusieurs études ont cherché à dégager des profils de personnalité dans une population de créatifs (artistes, musiciens, écrivains, biologistes, architectes...). Drevdahl et Cattell (1958) ont observé que les artistes étaient plus dominants, plus aventureux, plus radicaux, plus matures émotionnellement, plus sophistiqués et moins méfiants que la population standard. MacKinnon (1962) observe que les architectes renommés sont significativement plus indépendants, spontanés, individualistes, non conformistes, assurés et moins préoccupés par leur image publique que les autres. Enfin, Feist (1998) montre que les personnes créatives ont tendance à être plus ouvertes aux nouvelles expériences, à avoir plus confiance en elles, à être plus ambitieuses, dominantes, hostiles, impulsives, à être moins conventionnelles et moins consciencieuses que la population standard.

Ces recherches générales sur les profils de personnalité des personnes créatives a permis d'aboutir à l'isolement de six traits de personnalités ayant une relation significative,

tant théorique qu'empirique, avec la créativité. Il s'agit de la persévérance, la tolérance à l'ambiguïté, l'ouverture à de nouvelles expériences, l'individualisme, la prise de risque et le psychotisme. Notre propos se focalisera sur les aspects d'ouverture, de psychotisme et de prise de risque, ces-derniers ayant fait l'objet d'études neurophysiologiques.

L'ouverture aux nouvelles expériences rend compte d'aspects essentiels à l'expression créative comme l'ouverture à l'inconnu, la curiosité et le fait de pouvoir vivre des situations nouvelles sans en éprouver de l'anxiété. MacCrae (1987) a cherché à mettre en évidence le lien entre ouverture et les performances créatives sur un échantillon de 268 hommes. Il a alors pu observer une corrélation positive significative entre les performances aux tests de pensée divergente et ce trait de personnalité. Ainsi, l'ouverture aux nouvelles expériences rendrait possible la production créative en interagissant avec le processus de pensée divergente. A l'aide d'une étude se servant de la méthode des groupes contrastés, Feist (1998, 1999) observe que les artistes et scientifiques jugés créatifs par leurs collègues obtiennent des notes plus élevées sur la dimension « ouverture » que ceux jugés moins créatifs, confirmant ainsi la relation robuste existant entre l'ouverture et la créativité.

Les qualités d'originalité et d'adaptation indissociables d'une production jugée créative renvoient aussi à la notion du rapport à la réalité entretenu par les individus. Dans ce cadre, le trait de psychotisme a fait l'objet d'investigations dans le domaine de la recherche en créativité. Par exemple, Woody et Claridge (1977) ont mis en évidence un lien significatif entre le trait de psychotisme et le nombre d'idées produites (fluidité) dans cinq tâches de pensée divergente, chez des sujets normaux. Ils ont aussi observé que la relation observée était d'autant plus forte entre le psychotisme et le nombre d'idées uniques propre à chaque sujet (idées idiosyncrasiques). La présence du trait de psychotisme engendre un risque de développer des troubles psychotiques comme la schizophrénie plus important chez l'ensemble des individus. C'est pourquoi des auteurs comme Heston (1966) ont étudié le lien entre la présence de pathologies psychotiques et les performances créatives. Il a ainsi été observé que la présence du trait de psychotisme, de par la tendance à avoir des troubles d'inhibition cognitive qu'il entraîne, augmente la tendance à développer des associations lointaines entre les concepts qui peuvent même sembler parfois étranges. Selon Eysenck (1995), l'importance de ce trait dans les comportements créatifs expliquerait l'existence, parfois évidente, de productions créatives chez les malades mentaux.

La définition même d'une idée créative suppose que celle-ci se démarque des propositions habituelles pour être nouvelle, il faut donc prendre le risque de proposer des idées allant à l'encontre de celles étant le plus répandues. La tendance à prendre des risques

est donc nécessairement liée aux performances créatives. Afin d'évaluer ce lien, Lubart et Sternberg (1995) ont dans un premier temps mesuré la prise de risque à l'aide de plusieurs méthodes dont un questionnaire qu'ils ont élaboré, basé sur des scénarios hypothétiques dans les domaines artistiques, littéraires ou de la vie quotidienne. La créativité a été mesurée par la réalisation de dessins (créativité graphique) et l'élaboration d'histoires courtes (créativité littéraire). Les résultats de cette recherche ont montré une corrélation significative entre la tendance à prendre des risques dans le domaine artistique et la créativité graphique. Néanmoins, aucun lien n'est observé entre la prise de risque dans le domaine littéraire ou de la vie quotidienne et la créativité des dessins réalisés. De plus, les histoires élaborées par des individus ayant un niveau élevé de prise de risque dans le domaine littéraire sont significativement moins conventionnelles, dans le sens d'une moindre conformité aux règles sociétales, que celles des sujets ayant un faible niveau de prise de risque.

Concernant les liens entre ces traits de personnalité et le substrat neurobiologique, il existe, premièrement, des études montrant que « la recherche de la nouveauté » et l'effet lié à la prise de risque, recrutent le même substrat neurologique : le système dopaminergique mésolimbique (Bardo, Donohew et Harrington, 1996). La figure 5 illustre ce système dopaminergique. Une étude a montré que les polymorphismes du gène du récepteur dopaminergique D4 (D4R) sont associés aux mesures des inventaires de personnalité du trait « recherche de la nouveauté » (Schinka, Letsch et Crawford, 2002). Dulawa, Grandy, Low, Paulus et Geyer (1999) étudient des souris knock-out<sup>1</sup> pour le récepteur D4R et observent qu'elles répondent significativement moins à la nouveauté qu'un groupe contrôle. Ce résultat est confirmé chez des patients atteints de la maladie de Parkinson qui ont une production réduite de dopamine et répondent moins à la nouveauté.

Deuxièmement, il existe également une relation entre la dopamine et le psychotisme (Gray, Pickering et Gray, 1994). Comme le montre Creese, Burt et Snyder (1977), les fonctions neurochimiques ont des propriétés homéostatiques : une augmentation de la dopamine entraîne une régulation des récepteurs post-synaptiques (baisse du nombre de récepteurs ou de leur sensibilité). Gray et al. suggèrent, sur la base de cette étude, qu'une augmentation de l'activité dopaminergique se traduirait par un nombre limité de récepteurs post-synaptiques. De plus, une augmentation de l'activité dopaminergique est observée dans

---

<sup>1</sup> L'étude des fonctions engendrées par l'expression d'un gène peut se faire en supprimant le gène du patrimoine génétique d'un animal d'expérience. Une souris ainsi privée du gène x est appelée souris knock-out pour ce gène.

la schizophrénie (Crow, 1980 ; Meltzer et Stahl, 1977) ainsi que des dysfonctions dopaminergiques dans une population de psychotiques (Siever et al., 1993). Dans l'étude de Gray et al. (1994), la quantité de dopamine agglutinée (qui traduit le nombre de récepteurs post-synaptiques) dans le striatum a été mesurée en PET scan. Les auteurs observent une corrélation négative entre l'agglomération de dopamine dans le ganglion de la base droit et gauche et l'échelle de psychotisme. La quantité de dopamine ne corrèle avec aucun autre trait de personnalité que le psychotisme. Selon Eysenck (1995), ces données confirment l'hypothèse générale qui lie le psychotisme, la schizophrénie et le taux de dopamine. L'excès de dopamine n'est pas le seul facteur impliqué dans le psychotisme, il faut aussi prendre en compte un taux faible de sérotonine. Salomon, Kiney et Scoot (1978) ont par exemple montré qu'une injection de parachlorophenylalanine supprime l'inhibition latente en diminuant le stock de sérotonine. La corrélation entre le psychotisme et la sérotonine est notamment mise en évidence par Pritchard (1993). Néanmoins comme le fait remarquer Eysenck (1995), bien que l'inhibition cognitive soit fondamentalement liée au psychotisme, que celui-ci soit lié à un taux important de dopamine et un faible taux de sérotonine et qu'il soit corrélé à la créativité, rien ne montre que la créativité est un effet des taux de dopamine et sérotonine. Néanmoins, Eysenck suggère que la relation entre le taux de dopamine-sérotonine et les comportements cognitifs suivent une courbe curvilinéaire. Un taux important de dopamine associé à une quantité faible de sérotonine conduit à un type de pensée schizophrénique et une absence totale d'inhibition cognitive. En revanche, un taux faible de dopamine et fort de sérotonine induit une rigidité mentale. Eysenck suggère qu'un ratio moyen faible ne permettrait pas d'exprimer une grande créativité tandis qu'un ratio moyen fort permettrait, au contraire, de produire un travail créatif.

-----  
FIGURE 5  
-----

Troisièmement, certaines études éclairent l'organisation neurophysiologique du trait de personnalité « prise de risque ». Heilman (2002) rapporte l'histoire d'une jeune fille qui a été durant toute sa scolarité une bonne élève et qui n'avait pas de pratique à risque. Néanmoins, au second semestre de sa première année d'université, elle s'engage dans des comportements à risque (usage de produits stupéfiants et promiscuité sexuelle). Elle développe une pneumonie et est admise à l'hôpital. Les médecins diagnostiquent une tumeur

dans la région orbitofrontale ainsi que dans la portion ventrale du cortex préfrontal médial. Les comportements à risque qui sont soudainement apparus chez cette jeune fille seraient liés à la croissance de cette tumeur. Cette observation est confirmée par une recherche de Bechara, Tranel, Damasio et Damasio (1996) sur des patients avec des lésions du cortex préfrontal ventromédial. Les participants à cette recherche doivent choisir des cartes dans un paquet de cartes, en fonction de la carte qu'ils tirent, ils gagnent ou perdent de l'argent. Il y a deux paquets de cartes qui permettent de gagner des sommes modestes mais avec un minimum de risques alors que le dernier paquet permet de gagner de gros gains mais avec un risque maximum de perdre ce qui contrebalance la possibilité de gagner plus. Si les participants ne choisissent pas de cartes dans ce paquet, ils gagnent plus d'argent à la fin du jeu. Les patients avec des lésions du cortex préfrontal orbital et médial continuent à sélectionner des cartes dans le paquet « risque maximum » contrairement aux sujets normaux.

L'étude des connexions du cortex préfrontal orbito-médial (COMP) permet de mieux comprendre pourquoi des lésions de ces structures cérébrales entraînent des prises de risques (cf. Figure 5). Le cortex préfrontal médial et orbital sont connectés à des structures différentes mais ils sont fortement interconnectés entre eux. Le cortex orbitofrontal reçoit des inputs de quasiment toutes les aires postérieures du cortex sensoriel associatif. Le COMP reçoit également des inputs de certaines parties du système limbique et notamment de l'amygdale qui est connue pour jouer un rôle dans la régulation des émotions. Dans le COMP convergent et sont intégrées les informations en provenance des aires sensorielles et cognitives ainsi que des informations limbiques émotionnelles. Ce circuit neuronal est important car il permet à l'organisme d'identifier les stimuli qui permettent d'obtenir une récompense. En effet, le COMP ferait partie d'un circuit incluant le striatum ventral et le système mésolimbique dopaminergique qui jouent un rôle crucial dans les comportements orientés pour l'obtention d'une récompense (Schultz, Tremblay et Hollerman, 1998). Le COMP est également connecté avec l'hypothalamus qui contrôle le système nerveux autonome et le système endocrinien.

Bechara, Tranel, et Damasio (2000) mesurent les changements de conductance de la peau en fonction de la sudation dans un jeu de cartes qui permet d'évaluer la prise de risque des participants. Les participants normaux avant de prendre une décision à haut risque suent des mains ce qui suggère qu'ils activent leur système nerveux autonome. En revanche, les patients présentant des lésions du COMP s'engagent dans des comportements à risques répétés durant ce jeu de cartes. Ce groupe ne présente pas de changement de conductance de leur peau avant de prendre un risque. En d'autres termes, le système nerveux autonome de ces patients n'est pas mis en jeu avant une prise de risque. De manière plus générale, le lobe

frontal permet de mettre en œuvre des comportements orientés vers un but. Le lobe frontal contrôle et inhibe notamment le système limbique qui traite des fonctions de survies (comportements plus primitifs). Le lobe frontal rentrerait donc en jeu dans la créativité car cette structure, en contrôlant le système limbique, permet de mettre en place des stratégies à long terme et l'aptitude à persister à trouver une solution à un problème. L'intelligence dite « frontale » est un facteur majeur qui permet de comprendre la réussite professionnelle notamment dans les domaines qui demandent d'être créatif.

-----  
FIGURE 6  
-----

### **Emotions et créativité**

La créativité des artistes a souvent été rapprochée de l'expression de leur état émotionnel. Dans ce cadre, le lien entre les émotions et la créativité a été vu de différentes manières. L'état émotionnel pourrait, d'une part, permettre à l'individu d'être dans un état mental propice à la créativité. Par exemple, l'expression d'une émotion positive peut désactiver des mécanismes d'inhibition cognitive de manière temporaire, pour ainsi permettre l'émergence d'idées novatrices. D'autre part, des auteurs comme Lubart et Getz (1997) voient les expériences émotionnelles comme le moyen d'associer des concepts cognitivement éloignés mais émotionnellement proches. Par ailleurs, Poincaré (1908) pensait que les critères émotionnels pouvaient également servir à la sélection des idées les plus prometteuses.

Le rôle des émotions sur la créativité a été étudié pour la première fois de façon systématique par Isen. Selon elle, les états émotionnels positifs faciliteraient les performances créatives, contrairement aux états émotionnels négatifs et neutres (voir Isen, 1999). Isen, Daubman et Nowicki (1987) ont constaté que l'induction d'émotions positives permettait aux participants de produire plus de solutions à une épreuve de créativité qu'un état émotionnel neutre. Ils interprètent ce résultat par une augmentation de l'attention portée sur le matériel, ce qui permet de faire émerger de nouvelles caractéristiques des objets habituellement ignorées. De même, les émotions positives faciliteraient l'accès aux matériels positifs présents en mémoire, considérés comme plus nombreux que les idées négatives. Ainsi, Isen propose qu'« un individu joyeux est plus prêt à accéder à un large ensemble divers de matériel cognitif, constituant un contexte cognitif complexe ».



En revanche, les recherches de Kaufmann (1995) et Kaufmann et Vosburg (1997) montrent qu'une émotion positive contrarie la résolution de problème, évaluée grâce aux épreuves d'*insight*, alors qu'une émotion négative la favorise. Ils interprètent ces résultats sur la base de la théorie de « calibrage cognitif » proposée par Schwartz (1990), avec pour idée qu'un état émotionnel positif engendre un critère de satisfaction moins élevé qu'un état émotionnel neutre ou négatif. Les individus se sentiraient alors moins contraints de faire des efforts par une satisfaction précoce de leurs réponses, diminuant donc d'autant le nombre d'idées produites (score de fluidité). Par une autre approche, Hirt, Levine, Mc Donald, Melton et Martin (1997) ont abouti au même constat en remarquant, de plus, que ce résultat n'était valable que pour le nombre et non l'originalité des idées produites qu'ils considèrent comme une mesure plus qualitative de la créativité. Pour eux, l'émotion serait donc liée différemment aux performances créatives selon la nature de l'indice (quantitatif ou qualitatif).

D'autres travaux, comme ceux d'Abele (1992), se sont centrés sur l'impact des émotions par le biais de l'influence du plaisir associé à la tâche. Pour elle, l'état émotionnel positif favoriserait la créativité quel que soit l'intérêt de la tâche grâce à la décontraction qu'il provoque. En revanche, l'état émotionnel négatif aurait une influence partielle sur les performances créatives puisque les individus produisent plus d'idées positives, ce qui leur permettrait de réguler leur humeur. L'effet des émotions positives et négatives sur la créativité a été retrouvé par Adaman et Blaney (1996). Leur étude a montré que l'induction d'émotions de « joie » et de « dépression » augmente les performances créatives au test d'utilisation inhabituelle d'un objet (issu du TTCT) par rapport à une situation neutre. Ils ont aussi pu observer l'existence d'un lien significatif entre le changement d'état émotionnel et les indices de fluidité et de flexibilité.

Pour tenter de répondre aux divergences de résultats observées, Zenasni et Lubart (2002) ont proposé une explication en termes de variables contextuelles. Dans leur étude, ils ont mesuré des indices correspondant au niveau d'éveil, à la nature de l'émotion (joie ou tristesse), à la nature de la tâche créative (verbale ou figurative), ainsi que des indices de créativité. Cette étude a permis de mettre en évidence que plus le sujet se trouve dans un état émotionnel général positif, plus il est fluide et flexible, mais ceci uniquement pour l'épreuve de créativité verbale. Ce lien n'est pas retrouvé pour la tâche de créativité figurative, en revanche, le niveau d'éveil est lié au nombre d'idées générées. De plus, cet effet du niveau d'éveil semble plus important pour une émotion à valence négative. La relation entre les émotions et la créativité semble donc être dépendant de la tâche créative tout comme de la

nature quantitative ou qualitative de l'indice de créativité, comme l'avaient montré Hirt et al. (1997).

Les diverses études que nous avons citées ne se sont intéressées qu'à l'effet transitoire des émotions sur les performances créatives. Cependant, un modèle de résonance émotionnelle a été proposé par Lubart et Getz en 1997 qui représente la contribution plus régulière des aspects émotionnels des expériences passées à l'accès et à l'association créative de concepts. Selon ce modèle, chaque concept en mémoire est lié à des traces correspondant aux expériences émotionnelles vécues. L'activation émotionnelle présente, permettrait alors la construction de chemins inter-concepts conduisant à la construction d'une association entre un concept « source » (activé au cours d'une tâche) et un concept émotionnellement rattaché à celui-ci. L'association « émotionnelle » des idées serait alors à l'origine de productions nouvelles. L'originalité des alliances générées, à la base de la créativité pour Mednick (1962) comme nous l'avons montré précédemment, pourrait donc dépendre non seulement d'émotions ressenties dans le moment, mais aussi d'expériences émotionnelles antérieures.

Les émotions sont directement liées à l'état de veille du cerveau. En effet, les structures qui gèrent l'état de veille sont aussi celles impliquées dans les émotions. Des scientifiques déclarent avoir trouvé la solution à un problème durant leur sommeil, en s'endormant ou en se réveillant donc l'état de veille est en relation avec l'émergence de solutions créatives. Un état d'éveil plus faible permettrait d'effectuer des associations entre des réseaux qui sont moins évidentes (Eysenck, 1995). Cette hypothèse est confirmée par une étude de Contreras et Llinas (2001) où ils enregistrent l'activation de la substance blanche. Ils mettent en évidence qu'une stimulation de faible fréquence active des sites corticaux localisés, cette activation se propage ensuite à d'autres sites. En revanche, une stimulation à haute fréquence n'entraîne pas d'activation corticale étendue ce qui s'explique par l'effet inhibiteur entraîné par la stimulation à haute fréquence.

L'activité électrique du cortex cérébral est influencée par les neurotransmetteurs et les neuromodulateurs. Le Locus Coeruleus par les connexions efférentes noradrénergiques qu'il entretient avec le cortex cérébral est également impliqué dans la régulation des états de veille. Une étude de Martindale et Hasenpus (1978) met en évidence l'influence des catécholamines sur les états de veille et donc sur la créativité. Dans cette recherche, Martindale et Hasenpus s'intéressent à la relation entre l'état de veille et la créativité en enregistrant l'activité électrique avec un électroencéphalogramme. Quand un individu est dans un état d'excitation, l'activité électrique de son cerveau est rapide (fréquence élevée). En revanche, dans un état de relaxation, l'activité électrique du cerveau est plus réduite et présente des zones alpha de 8 à

12 cycles par seconde. Les auteurs comparent deux groupes de sujets : des écrivains créatifs et non créatifs. En condition de repos, ils n'observent pas de différence entre les deux groupes sur leur EEG. En revanche, quand les sujets doivent imaginer l'histoire qu'ils vont écrire, les écrivains du groupe créatif présentent une activité alpha plus développée tandis que les sujets du groupe non créatif possèdent une activité cérébrale plus rapide. Les individus créatifs semblent donc opérer à un niveau de veille plus bas, ce qui favoriserait leur créativité.

Le LC est aussi au centre du lien qui existe entre la dépression et le processus créatif. Les recherches en imagerie fonctionnelle permettent d'éclairer, entre autre, les mécanismes qui lient la dépression à la créativité. Les études montrent notamment que la dépression est associée à une diminution du flux sanguin cérébral (ce qui traduit une activité synaptique moins importante) dans le cortex préfrontal dorsolatéral ainsi que dans le gyrus cingulaire antérieur (Liotti et Mayberg, 2001). La réduction de l'activité dans ces deux structures corticales, observées chez les patients dépressifs, est importante pour la créativité car ces deux aires corticales contrôlent l'activité du LC. Une activité réduite dans ces deux structures va entraîner une baisse de l'activation du LC. La libération de norépinéphrine sera de ce fait plus faible dans le cortex ce qui implique une réduction du ratio signal-bruit. Lorsque ce ratio diminue, des réseaux plus distribués dans le cerveau peuvent être recrutés ce qui permet de faire appel à une plus grande variété de représentations.

D'autre part, un certain nombre de grands artistes étaient atteints de désordres neurologiques comme Dostoïevski qui souffrait d'épilepsie (Kylah, 1986). Une des questions qui se pose est de savoir si les troubles neurologiques sont liés à la créativité. L'épilepsie, par exemple, touche essentiellement le lobe temporal médian. Paradisio, Hermann, Blumer, Davies, Robinson (2001) mettent en évidence que lorsque le foyer épileptique est localisé dans le lobe temporal médian gauche, ce désordre neurologique est plus fortement associé à des troubles de l'humeur que lorsque le foyer est localisé dans le lobe temporal médian droit. Cette observation explique le lien qui existerait entre l'épilepsie et la créativité, ce lien serait catalysé par les troubles de l'humeur. Geschwind (1979) observe également que les patients épileptiques souffrant d'une césure temporale gauche présentent ce qu'il appelle une hypergraphie ainsi que des réponses émotionnelles et cognitives plus profondes. D'autre part cette hypergraphie est plus répandue chez les épileptiques que chez les individus normaux (Sachdev et Waxman, 1981). La combinaison entre une propension à écrire, des troubles de l'humeur et des réponses émotionnelles profondes chez des personnes atteintes de césure temporale gauche pourraient expliquer la probabilité plus importante de voir apparaître des écrivains créatifs dans cette population.

La créativité serait aussi plus développée chez les écrivains gauchers car ils accèdent plus directement aux représentations des émotions localisées au sein de l'hémisphère droit. L'implication de l'hémisphère droit dans l'expression des émotions est confirmée par une étude de Blonder, Bowers, et Heilman (1991). L'hémisphère droit est également engagé dans la compréhension des métaphores (Brownell, Simpson, Bihrlé, Potter, et Gardner, 1990). Brownell, Potter, Bihrlé, et Gardner (1986) montrent que les patients avec des lésions de l'hémisphère droit sont plus gênés pour effectuer des inférences à partir de paires de phrases que des patients atteints de lésions de l'hémisphère gauche. Enfin, l'hémisphère droit est engagé dans l'organisation du discours (Delis, Waper, Gardner, et Moses, 1983), dans l'humour et dans l'expression des émotions à l'écrit (Bihrlé, Brownell, Powelson, et Gardner, 1986). L'ensemble de ces études expliquerait le potentiel créatif accru des écrivains gauchers par l'accès privilégié que ceux-ci entretiennent avec leur hémisphère droit.

### **Environnement, cerveau et créativité**

L'aptitude à avoir une carrière créative ne semble pas entièrement déterminée génétiquement. En effet, les parents des personnes les plus créatives n'ont pas eu nécessairement des carrières créatives. De même, les enfants de personnes créatives ne sont pas toujours créatifs. Le développement du cerveau créatif est donc déterminé par la double influence de l'environnement et de l'hérédité.

Pendant des années, les chercheurs ont considéré que les connexions dans le cerveau étaient principalement contrôlées génétiquement. La force de ces connexions peut être renforcée ou diminuée par l'apprentissage. Dès 1890, William James a suggéré que l'environnement pourrait modifier les connexions cérébrales. Hebb (1949) reprend cette idée et propose une théorie qui postule que les connaissances sont stockées dans les réseaux de neurones en modifiant la force des connexions entre les neurones qui composent le réseau.

Ce n'est que dernièrement avec l'émergence de nouvelles techniques d'enregistrement des neurones que les chercheurs ont pu mettre en évidence l'influence des expériences sensorielles sur l'organisation du cerveau. Merzenich, Nelson, Stryker, Cynader, Schoppmann, et Zook (1984) établissent une carte des aires activées dans le cortex somatosensoriel de singes quand les expérimentateurs stimulent les doigts des singes. Ces chercheurs amputent ensuite certains doigts des animaux. Ils observent que les aires du cortex somatosensoriel qui répondaient à une stimulation des doigts amputés s'activent quand le doigt voisin de celui amputé est stimulé. Une étude de Recanzone, Schreiner et Merzenich

(1993) montre qu'une stimulation continue ou un entraînement poussé, peut augmenter la taille des régions corticales traitant des stimuli. Ces deux études mettent en évidence que l'environnement peut modifier les connexions entre les neurones. Bien qu'il n'existe pas d'études sur l'influence directe de l'environnement sur le cerveau « créatif », nous pouvons penser que ces phénomènes de stimulation du cerveau permettent de faire émerger les processus créatifs.

L'effet de la richesse de l'environnement sur la plasticité cérébrale (changement du cerveau) a été étudié par Rosenzweig et Bennett (1996). Au niveau comportemental, ils observent que des rats élevés dans un environnement enrichi résolvent plus de problème que des rats, identiques du point de vue génétique, placés dans un environnement non enrichi. Au niveau neurophysiologique, après avoir sacrifié les rats, les chercheurs mettent en évidence que le cerveau des rats élevés dans le milieu enrichi présente une augmentation de l'épaisseur du cortex. Cette augmentation de l'épaisseur du cortex traduit un nombre de connexions synaptiques en augmentation. Au niveau microscopique, Rosenzweig et Bennett observent que le nombre d'épines dendritiques est plus important dans le groupe des rats du milieu enrichi que dans celui du milieu neutre. Un environnement riche modifierait l'arborisation dendritique du cerveau ce qui entraîne un plus grand nombre de connexion entre les neurones. Ces nouvelles connexions influencent, par exemple, les associations entre les réseaux neuronaux qui sont comme nous l'avons vu un des facteurs qui influencent la créativité.

La richesse du milieu, et plus particulièrement du milieu familial a aussi été étudié dans le domaine de la créativité. L'étude de Harrington, Block et Block (1987) a mis en évidence le rôle des interactions parent-enfant sur la créativité des enfants, validant ainsi l'hypothèse développée par Carl Rogers (1954). En effet, selon Rogers, il faut que l'environnement familial soit nourrissant et relativement non critique pour permettre le développement des potentialités des enfants. Néanmoins, les chercheurs (Ochse, 1990) qui mettent l'accent sur la nécessité d'apprendre à surmonter les difficultés et d'être indépendant pour développer la créativité, observent un pourcentage élevé d'individus créatifs issus de milieux difficiles et pauvres en soutien émotionnel. De même, l'existence d'une structuration souple de l'environnement familial serait un facteur propice à l'expression de la créativité (Lubart et Lautrey, 1998). Ainsi, un milieu familial stable mais où des modifications de règles sont possibles favorise le développement cognitif en général (Mumford et Gustafson, 1988), et donc le développement de la créativité. L'environnement familial, et sa structuration fonctionnelle a donc une influence primordiale sur le développement des potentialités.

Les cadres scolaires, puis professionnels ont aussi un impact déterminant sur la créativité exprimée, tout comme le milieu culturel et social. L'environnement peut donc avoir un rôle de catalyseur pour la créativité : sa structure permet l'émergence d'idées nouvelles et, par les stimuli qu'il véhicule, l'environnement est propice à l'apprentissage de nouveaux modes de réponse. Le milieu culturel dans lequel baigne tout à chacun possède donc une part explicative forte dans l'expression créative, non seulement d'un individu, mais aussi de tout un ensemble de personnes. Par exemple, Simonton (1997) a montré que la présence de créateurs reconnus dans une génération et une société données, peut prédire en partie le niveau de créativité des générations suivantes dans un même domaine. L'influence environnementale porterait donc autant sur les performances créatives par la richesse des expériences vécues, que sur le contexte individuel plus ou moins propice à l'expression créative.

## **Conclusions**

Cet article nous a permis de dresser une revue non exhaustive des travaux dans le domaine des structures cérébrales et des mécanismes neurophysiologiques qui entrent en jeu dans la créativité. Nous avons décrit les principaux facteurs qui influencent le processus créatif en nous inscrivant dans la théorie multivariée de la créativité. Notre démarche a consisté à mettre en perspective les différents facteurs qui influencent la créativité avec les aires cérébrales qui sont activés par chacun d'eux. Nous avons notamment montré comment le volume de la substance blanche ou la taille du corps calleux semblent critiques pour favoriser les associations entre des réseaux neuronaux et donc influencer la créativité. La voie ventrale et la voie dorsale par le rôle central qu'elles jouent dans l'imagerie mentale semblent également des structures importantes pour la créativité. Néanmoins, il semble que les lobes frontaux et préfrontaux par la régulation qu'ils permettent sur les émotions, par leurs rôles centraux dans la persévérance d'un but ou par leur influence sur la pensée divergente sont des structures primordiales dans la créativité. Enfin, nous avons aussi montré comment certains neurotransmetteurs, et plus spécifiquement la norépinéphrine libérée par le Locus Coeruleus, en modulant les états de veille du cerveau, prennent part à la production d'idées créatives. L'ensemble des structures cérébrales mises en oeuvre dans les différents facteurs influençant le processus créatif sont reprises dans la figure 7.

La revue de la littérature montre qu'il y a plusieurs pistes prometteuses pour les recherches futures. Une meilleure compréhension des substrats neurophysiologiques pourra

permettre, à terme, le développement de programmes éducatifs pour la remédiation et la promotion de la créativité par les apprentissages, qui tiennent compte des avancées sur le plan neuropsychologique.

-----  
FIGURE 7  
-----

## **Bibliographie**

- Abele, A. (1992). Positive and negative mood influences on creativity: Evidence for asymmetrical effects. *Polish Psychological Bulletin*, 23(3), 203-221.
- Adaman, J. E., & Blaney, P. H. (1996). The effects of musical mood induction on creativity. *Journal of Creative Behavior*, 22, 95-108.
- Amabile, T. M. (1996). *Creativity in context*. Boulder, CO: Westview.
- Andreasen, N. C. (1987). Creativity and mental illness: Prevalence rates in writers and their first-degree relatives. *American Journal of Psychiatry*, 144, 1288-1292.
- Aston-Jones, G., Chiang, C., & Alexinsky, T. (1991). Discharge of locus coeruleus neurons in behaving rats and monkeys suggests a role in vigilance. *Progress in Brain Research*, 88, 501-520.
- Baer, J. (1991). *Creativity and divergent thinking: A task-specific approach*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bardo, M. T., Donohew, R. L., & Harrington, N. G. (1996). Psychobiology of novelty seeking and drug seeking behavior. *Behavioural Brain Research*, 77, 23-43.
- Barrett, A. M., Beversdorf, D. Q., Crucian, G. P., & Heilman, K. M. (1998). Neglect after right hemisphere stroke: A smaller floodlight for distributed attention. *Neurology*, 51, 972-978.
- Barron, F. (1988). Putting creativity to work. In R. J. Sternberg (Ed.), *The nature of creativity* (pp. 76-98). New York: Cambridge University Press.
- Barron, F., & Harrington, D. M. (1981). Creativity, intelligence, and personality. *Annual Review of Psychology*, 32, 439-476.
- Bechara, A., Tranel, D., & Damasio, H. (2000). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain*, 123, 2189-2202.



- Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., & Damasio, A. R. (1996). Failure to respond automatically to anticipated future outcomes following damage to the prefrontal cortex. *Cerebral Cortex*, *6*, 215-225.
- Berg, E. A. (1948). A simple objective test for measuring flexibility in thinking. *Journal of General Psychology*, *39*, 15-22.
- Beversdorf, D. Q., Hughes, J. D., Steinberg, B. A., Lewis, L. D., & Heilman, K. M. (1999). Noradrenergic modulation of cognitive flexibility in problem solving. *Neuroreport*, *10*, 2763-2767.
- Bihrlé, A. M., Brownell, H. H., Powelson, J. A., & Gardner, H. (1986). Comprehension of humorous and nonhumorous materials by left and right brain-damaged patients. *Brain and Cognition*, *5*, 399-411.
- Blonder, L. X., Bowers, D., & Heilman, K. M. (1991). The role of the right hemisphere on emotional communication. *Brain*, *114*, 1115-1127.
- Broome, D. M. W., Cheever, D. C., Hughes, J. D., & Beversdorf, D. Q. (2000). Effects of central and peripheral beta-blockers on noradrenergic modulation of cognitive flexibility. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*, 205.
- Brown, R. T. (1989). Creativity: What are we to measure? In J. A. Glover, R. R. Ronning et C. R. Reynolds (Ed.), *Handbook of creativity* (pp. 3-32). New York: Plenum.
- Brownell, H. H., Potter, H. H., Bihrlé, A. M., & Gardner, H. (1986). Inference deficits in right brain damaged subjects. *Brain and Language*, *27*, 310-321.
- Brownell, H. H., Simpson, T. L., Bihrlé, A. M., Potter, H. H., & Gardner, H. (1990). Appreciation on of metaphoric alternative word meanings by left and right brain-damaged patients. *Neuropsychologia*, *28*, 375-383.
- Burgess, P. W., Scott, S. K., & Frith, C. D. (2003). The role of the rostral frontal cortex (area 10) in prospective memory: A lateral versus medial dissociation. *Neuropsychologia*, *41*, 906-918.

- Cape, E. G., & Jones, B. E. (1998). Differential modulation of high-frequency gamma-electroencephalogram activity and sleep-wake state by noradrenalin and serotonin microinjections into the region of cholinergic basal ganglia neurons. *Journal of Neuroscience*, *18*, 2653-2666.
- Carlsson, I., Wendt, P. E., & Risberg, J. (2000). On the neurobiology of creativity: Differences in frontal activity between high and low creative subjects. *Neuropsychologia*, *38*, 873-885.
- Changeux, J. P. (2002). Creation, art, and the brain. In A. M. Galaburda, S. M. Kosslyn & Y. Christen (Eds.), *The languages of the brain*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Changeux, J. P., & Chavaille, J. (1995). *Origins of the human brain*. Oxford, England: Clarendon.
- Contreras, D., & Llinas, R. (2001). Voltage-sensitive dye imaging of neocortical spatiotemporal dynamics to afferent activation frequency. *Journal of Neuroscience*, *21*, 9403-9413.
- Cox, C. M. (1926). *Genetic studies of genius. the early mental traits of three hundred geniuses (vol. 2)*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Creese, I., Burt, D., & Snyder, S. (1977). Dopamine receptor binding enhancement accompanies lesion-induced behavioral supersensitivity. *Science*, *197*, 596-598.
- Crow, T. J. (1980). Molecular pathology of schizophrenia: More than one disease process? *British Medical Journal*, *280*, 66-68.
- Delis, D. C., Wapner, W., Gardner, H., & Moses, J. A., Jr. (1983). The contribution of the right hemisphere to the organization of paragraphs. *Cortex*, *19*, 43-50.
- Diamond, M. C., Scheibel, A. B., Murphy, G. M., Jr., & Harvey, T. (1985). On the brain of a scientist: Albert Einstein. *Experimental Neurology*, *100*, 198-204.
- Dougan, C. P., Schiff, E., & Welsh, L. (1949). Originality ratings of department store display department personnel. *Journal of Applied Psychology*, *33*, 31-35.

- Drevdahl, J. E., & Cattell, R. B. (1958). Personality and creativity in artists and writers. *Journal of Clinical Psychology, 14*, 107-111.
- Dulawa, S. C., Grandy, D. K., Low, M. J., Paulus, M. P., & Geyer, M. A. (1999). Dopamine D4 receptor-knock-out mice exhibit reduced exploration of novel stimuli. *Journal of Neuroscience, 19*, 9550-9556.
- Einstein, A., & Infeld, L. (1938). *The evolution of physics*. New York: Simon and Schuster.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review, 100*(3), 363-406.
- Eysenck, H. J. (1995). *Genius: The natural history of creativity*. New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Faigel, H. C. (1991). The effect of beta blockade on stress-induced cognitive dysfunction in adolescents. *Clinical Pediatrics, 30*, 441-445.
- Farah, M. J. (1989). The neural basis of mental imagery. *Trends in Neuroscience, 12*, 395-399.
- Feist, G. J. (1999). Affect in artistic and scientific. In S. W. Russ (Ed.), *Affect, creative experience and psychological adjustment* (pp. 93-108). Philadelphia: Taylor & Francis.
- Feist, G. J. (1998). A meta-analysis of personality in scientific and artistic creativity. *Personality and Social Psychology Review, 2*(4), 290-309.
- Feldhusen, J. F. (1995). Creativity: A knowledge base, metacognitive skills, and personality factors. *Journal of Creative Behavior, 29*(4), 255-268.
- Feldman, D. H., Csikszentmihalyi, M., & Gardner, H. (1994). *Changing the world: A framework of the study of creativity*. Westport, CT: Praeger.
- Finke, R. A. (1990). *Creative imagery: Discoveries and inventions in visualization*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Frensch, P. A., & Sternberg, R. J. (1989). Expertise and intelligent thinking: When is it worse to know better? In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp. 157-188). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Georgsdottir, A., & Lubart, T. I. (2003). La flexibilité cognitive et la créativité : Une approche développementale, différentielle et expérimentale. *Psychologie Française*, 48(3), 29-40.
- Geschwind, N. (1979). Behavioral changes in temporal lobe epilepsy. *Psychological Medicine*, 9, 217-219.
- Ghiselin, B. (1985). *The creative process*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Gough, H. G. (1979). A creative personality scale for the adjective check list. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37(8), 1398-1405.
- Gough, H. G. (1961). *Techniques for identifying the creative research scientist*. Conference on the creative person, Berkeley, University of California, Institute of Personality Assessment and Research,
- Gray, N., Pickering, A., & Gray, J. (1994). Psychoticism and dopamine D2 binding in the basal ganglia using single photon emission tomography. *Personality and Individual Differences*, 17, 431-434.
- Grubar, J. C. (1997). Sommeil et efficence mentale : Sommeil et précocité intellectuelle. In J. C. Grubar, & M. S. Duyme (Eds.), *La précocité intellectuelle, de la mythologie à la génétique* (pp. 83-90). Bruxelles: Mardaga.
- Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5, 444-454.
- Hamsher, K., Levin, H. S., & Benton, A. L. (1979). Facial recognition in patients with focal brain lesions. *Archives of Neurology*, 36, 837-839.
- Harrington, D. M., Block, J., & Block, J. H. (1987). Testing aspects of Carl Rogers's theory of creative environment: Child-rearing antecedents of creative potential in young adolescents. *Journal of Personality and Social Psychology*, 52(4), 851-856.

- Harrington, D. M., Block, J., & Block, J. H. (1983). Predicting creativity in preadolescence from divergent thinking in early childhood. *Journal of Personality and Social Psychology*, 45(3), 609-623.
- Hayes, J. R. (1989). Cognitive processes in creativity. In J. A. Glover, & C. R. Reynolds (Eds.), *Handbook of creativity* (pp. 135-146). New York: Plenum.
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior*. New York: Wiley.
- Heilman, K. M. (2005). *Creativity and the brain*. New York: Psychological Press.
- Heilman, K. M. (2002). *Matter of mind*. New York: Oxford University Press.
- Heilman, K. M., Nadeau, S. E., & Beversdorf, D. O. (2003). Creative innovation: Possible brain mechanisms. *Neurocase*, 9, 369-379.
- Heston, R. W. (1966). Psychiatric disorders in foster-home reared children of schizophrenic mothers. *British Journal of Psychiatry*, 112, 819-825.
- Hirt, E. R., Levine, G. M., McDonald, H. E., Melton, R. J., & Martin, L. L. (1997). The role of mood in quantitative and qualitative aspects of performance: Single or multiple mechanisms? *Journal of Experimental Social Psychology*, 33(6), 602-629.
- Huteau, M. (1985). *Les conceptions cognitives de la personnalité*. Paris: PUF.
- Isen, A. M. (1999). *On the relationship between affect and creative problem solving*. In S. W. Russ (Ed.), *Affect, creative experience, and psychological adjustment* (pp. 3-18). Philadelphia, PA: Brunner Mazel.
- Isen, A. M., Daubman, K. A., & Nowicki, G. P. (1987). Positive affect facilitates creative problem solving. *Journal of Personality and Social Psychology*, 52(6), 1122-1131.
- Ishai, A., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (2000). Distributed neural systems for the generation of visual images. *Neuron*, 28, 979-990.
- Jambaqué, I. (2004). Contribution de la neuropsychologie développementale à l'étude des sujets à haut potentiel : Une revue de questions. *Psychologie Française*, 49, 267-276.

James, W. (1890). *The principle of psychology*. New York: Dover.

Kaufmann, G. (1995). A theory of cognitive strategy preferences in problem solving. In G. Kaufmann, T. Helstrup & K. H. Teigen (Eds.), *Problem solving and cognitive processes: A festschrift in honour of Kjell Raaheim* (pp. 45-76). Fagbokforlaget: Bergen/Sandviken.

Kaufmann, G., & Vosburg, S. K. (1997). "Paradoxical" mood effects on creativity problem-solving. *Cognition and Emotion*, 11(2), 151-170.

Kiloh, L. G. (1986). The epilepsy of Dostoevsky. *Psychiatric Developments*, 4, 31-44.

Kim, S. H. (1990). *Essence of creativity: A guide to tackling difficult problems*. London: Oxford University Press.

Kischka, U., Krammer, T., Maier, S., Weisbrod, M., Thimm, M., & Spitzer, M. (1996). Dopaminergic modulation of semantic network activation. *Neuropsychologia*, 34, 1107-1113.

Kosslyn, S. M., Alpert, N. M., Thompson, W. L., Maljkovic, V., Weise, S. B., & Chabris, C. F. (1993). Visual mental imagery activates topographically organized visual cortex: PET investigations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 263-287.

Levine, D. N., Warach, J., & Farah, M. J. (1985). Two visual systems in visual imagery: Dissociation of "what" and "where" in imagery disorders due to bilateral posterior cerebral lesions. *Neurology*, 35, 1010-1018.

Lewis, R. T. (1979). Organic signs, creativity, and personality characteristics of patients following cerebral commissurotomy. *Clinical Neuropsychologist*, 1, 29-33.

Liotti, M., & Mayberg, H. S. (2001). The role of functional neuroimaging in the neuropsychology of depression. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 23, 121-126.

Lubart, T. I. (1999). Componential models. In M. A. Runco, & S. R. Pritsker (Eds.), *Encyclopaedia of creativity* (pp. 295-300). New York: Academic Press.

- Lubart, T. I., & Getz, I. (1997). Emotion, metaphor, and the creative process. *Creativity Research Journal*, *10*, 285-301.
- Lubart, T. I., & Lautrey, J. (1998). Family environment and creativity. *The XV<sup>th</sup> biennial meetings of the international society for the study of behavioral development*, Berne, Suisse,
- Lubart, T. I., Mouchiroud, C., Tordjman, S., & Zenasni, F. (2003). *Psychologie de la créativité*. Paris: Armand Colin.
- Lubart, T. I., & Sternberg, R. J. (1995). An investment approach to creativity: Theory and data. In S. M. Smith, T. B. Ward & R. A. Finke (Eds.), *The creative cognition approach* (pp. 271-302). Cambridge: MIT Press.
- MacKinnon, D. W. (1962). The nature and nurture of creative talent. *American Psychologist*, *17*, 484-495.
- Martindale, C., & Greenough, J. (1973). The differential effect of increased arousal on creative and intellectual performance. *Journal of Genetic Psychology*, *123*, 329-335.
- Martindale, C., & Hasenfus, N. (1978). EEG differences as a function of creativity, stage of creative process and effort to be original. *Biological Psychiatry*, *6*, 157-167.
- Maslow, A. (1968). *Toward a psychology of being*. New York: Van Nostrand.
- McCrae, R. R. (1987). Creativity, divergent thinking, and openness to experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, *52*, 1258-1265.
- Mednick, S. A. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological Review*, *9*, 220-232.
- Meltzer, H., & Stahl, S. (1977). The dopamine hypothesis in schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, *2*, 19.
- Merzenich, M. M., Nelson, R. J., Stryker, M. P., Cynader, M. S., Schoppmann, A., & Zook, J. M. (1984). Somatosensory cortical map changes following digital amputation in adult monkeys. *Journal of Comparative Neurology*, *224*, 591-605.

Miller, A. I. (2000). *Insights of a genius*. Cambridge, MA: MIT Press.

Miller, E. M. (1994). Intelligence and brain myelinisation: A hypothesis. *Personality and Individual Differences*, 17(6), 803-833.

Milner, B. (1984). Behavioral effects of frontal-lobe lesions in man. *Trends in Neuroscience*, 7, 403-407.

Morrison, J., & Foote, S. (1986). Noradrenergic and serotonergic innervations of cortical, thalamic and tectal visual structures in old and new world monkeys. *Journal of Comparative Neurology*, 243, 117-128.

Mouchiroud, C., & Lubart, T. I. (2005). Past, present, and future perspectives on creativity in france and french-speaking switzerland. In J. C. Kaufman, & R. J. Sternberg (Eds.), *The international handbook of creativity* (pp. 96-123). New York: Cambridge University Press.

Movshon, J. A., & Blackmore, C. (1974). Functional reinnervation in kitten visual cortex. *Nature*, 251, 504-505.

Mumford, M. D., & Gustafson, S. B. (1988). Creativity syndrome: Integration, application, and innovation. *Psychological Bulletin*, 103(1), 27-43.

Ochse, R. (1990). *Before the gates of excellence: The determinants of creative genius*. New York: Cambridge University Press.

Paradisio, S., Hermann, B. P., Blumer, D., Davies, K., & Robinson, R. G. (2001). Impact of depressed mood on neuropsychological status in temporal lobe epilepsy. *Journal of Neurology Neurosurgery Psychiatry*, 70, 180-185.

Parson, L. M., & Osherson, D. (2001). New evidence for distinct right and left brain systems for deductive versus probabilistic reasoning. *Cerebral Cortex*, 11, 954-965.

Poincaré, H. (1908). *Science et méthode*. Paris: Flammarion.

Pritchard, W. S., & Kay, D. L. (1993). Personality and smoking motivation of U.S. smokers as measured by the state-trait personality inventory, the Eysenck personality



questionnaire, and Spielberger's smocking motivation questionnaire. *Personality and Individual Differences*, 14, 629-637.

Ramachadran, V. S., & Hubbard, E. M. (2001). Synaesthesia: A window into perception, thought and language. *Journal of Consciousness Studies*, 8, 3-34.

Recanzone, G. H., Schreiner, C. E., & Merzenich, M. M. (1993). Plasticity in the frequency representation of primary auditory cortex following discrimination training in adult owl monkeys. *Journal of Neuroscience*, 13, 87-103.

Roe, A. (1952). *The making of a scientist*. New York: Dodd, Mead.

Rogers, C. R. (1954). Toward a theory of creativity. *ETC: A Review of General Semantics*, 11, 249-260.

Rosenzweig, M. R., & Bennett, E. L. (1996). Psychobiology of plasticity: Effects of training on brain and behavior. *Behavioural Brain Research*, 78, 57-65.

Rossman, B. B., & Horn, J. L. (1972). Cognitive, motivational and temperamental indicants of creativity and intelligence. *Journal of Educational Measurement*, 9(4), 265-286.

Runco, M. A., & Albert, R. S. (1985). The reliability and validity of ideational originality in the divergent thinking of academically gifted and nongifted children. *Educational and Psychological Measurement*, 45, 483-501.

Sachdev, H. S., & Waxman, S. G. (1981). Frequency of hypergraphia in temporal lobe epilepsy: An index of interictal behaviour syndrome. *Journal of Neurology Neurosurgery Psychiatry*, 44, 358-360.

Schinka, J. A., Letsch, E. A., & Crawford, F. C. (2002). DRD4 and novelty seeking: Results of meta-analyses. *American Journal of Medical Genetics*, 114, 643-648.

Schultz, W., Tremblay, L., & Hollerman, J. R. (1998). Reward prediction in primate basal ganglia and frontal cortex. *Neuropharmacology*, 37, 421-429.

Schwarz, N. (1990). Feelings as information: Informational and motivational functions of affective states. In E. T. Higgins, & R. M. Sorrentino (Eds.), *Handbook of motivation and*

*cognition: Foundations of social behaviour, vol. 2* (pp. 527-561). New York: Guilford Press.

Servan-Schreiber, D., Printz, H., & Cohen, J. D. (1990). A network model of catecholamine effects gain signal to noise ratio and behavior. *Science*, *249*, 892-895.

Shepard, R. N. (1978). The mental image. *American Psychologist*, *33*(2), 125-137.

Siever, L., Amin, F., Corcaro, E., Trestman, R., Silverman, J., & Horwath, T. (1993). CSF homovanillic acid – schizotypal personality disorder. *American Journal of Psychiatry*, *150*, 149-151.

Simonton, D. K. (1997). Creative productivity: A predictive and explanatory model of career trajectories and landmarks. *Psychological Review*, *104*, 66-89.

Simonton, D. K. (1984). *Genius, creativity and leadership*. Cambridge: Harvard University Press.

Smith, S. M., Ward, T. B., & Finke, R. A. (1995). *The creative cognition approach*. Cambridge: MIT Press.

Solomon, P. R., Kiney, C. A., & Scoot, D. R. (1978). Disruption of latent inhibition following systemic administration of parachlor-orophenylalanine (PCPA). *Physiology and Behaviour*, *21*, 265-271.

Spitzka, E. A. (1907). A study of the brains of six eminent scientists and scholars belonging to the American anthropometric society: Together with a description of the skull of Professor E. D. cope. *Transactions of the American Philosophical Society*, *21*, 175-308.

Sternberg, R. J., & Davidson, J. E. (1995). *The nature of insight*. Cambridge, MA: MIT Press.

Sternberg, R. J., Kaufman, J. C., & Pretz, J. E. (2002). *The creativity conundrum: A propulsion model of kinds of creative contribution*. New York: Psychology Press.

Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1995). *Defying the crowd: Cultivating creativity in a culture of conformity*. New York: Free Press.

- Thompson, P. M., Cannon, T. D., Narr, K. L., Van Erp, T. G. M., Poutanen, V. P., & Huttunen, M. (2001). Genetic influences of brain structure. *Nature Neuroscience*, 4(12), 1253-1258.
- Torrance, E. P. (1988). The nature of creativity as manifest in its testing. In R. J. Sternberg (Ed.), *The nature of creativity* (pp. 43-75). New York: Cambridge University Press.
- Torrance, E. P. (1976). *Test de pensée créative*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Torrance, E. P. (1972). Un résumé historique du développement des tests de pensée creative de torrance. *Revue De Psychologie Appliquée*, 22(4), 203-218.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treisman, A. M., & Schmidt, H. (1982). Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology*, 14, 107-141.
- Wallas, G. (1926). *The art of thought*. New York: Harcourt, Brace.
- Waterhouse, B. D., & Woodward, D. J. (1980). Interaction of norepinephrine with cerebrocortical activity evoked by stimulation of somatosensory afferent pathways in the rat. *Experimental Neurology*, 67, 11-34.
- Watson, R. T., Valenstein, E., Day, A., & Heilman, K. M. (1994). Posterior neocortical systems subserving awareness and neglect: Neglect after superior temporal sulcus but no area 7 lesions. *Archives of Neurology*, 51, 1014-1021.
- Weber, R. J., & Perkins, D. N. (1992). *Inventive minds: Creativity in technology*. London: Oxford University Press.
- Weinberger, D. R., Berman, K. F., & Zee, R. F. (1986). Physiologic dysfunction of dorsolateral prefrontal cortex in schizophrenia. *Archives of General Psychiatry*, 43, 114-124.

Borst, Dubois, & Lubart : Structures cérébrales de la créativité, p. 44

Wiley, J. (1998). Expertise as mental set: The effects of domain knowledge in creative problem solving. *Memory and Cognition*, 26(4), 716-730.

Witelson, S. F. (1985). The brain connection: The corpus callosum is larger in left-handers. *Science*, 229, 665-668.

Witelson, S. F., Kigar, D. L., & Harvey, T. (1999). The exceptional brain of albert einstein. *Lancet*, 353, 2149-2153.

Woody, E., & Claridge, G. (1977). Psychoticism and thinking. *British Journal of Social and Clinical Psychology*, 16(3), 241-248.

Zangwell, O. L. (1966). Psychological deficits associated with frontal lobe lesions. *International Journal of Neurology*, 5, 395-402.

Zenasni, F., & Lubart, T. I. (2002). Effects of mood states on creativity. *Current Psychology Letters: Behavior, Brain & Cognition*, 8, 33-50.

### **Listes des figures**

Figure 1 : L'approche multivariée de la créativité.

Figure 2 : Voie ventrale et voies dorsales dans l'imagerie mentale.

Figure 3 : Locus Coeruleus et système norépinéphrique.

Figure 4 : Substance blanche, corps calleux et fonctions des hémisphères cérébraux.

Figure 5 : Système dopaminergique : voie nigrostriée et voie mésolimbique.

Figure 6 : Cortex préfrontal orbitomédial et ventromédial : voies efférentes et afférentes.

Figure 7 : Récapitulatif des structures cérébrales impliquées dans la créativité en fonction des facteurs influençant le processus créatif.

### Approche multivariée à la créativité

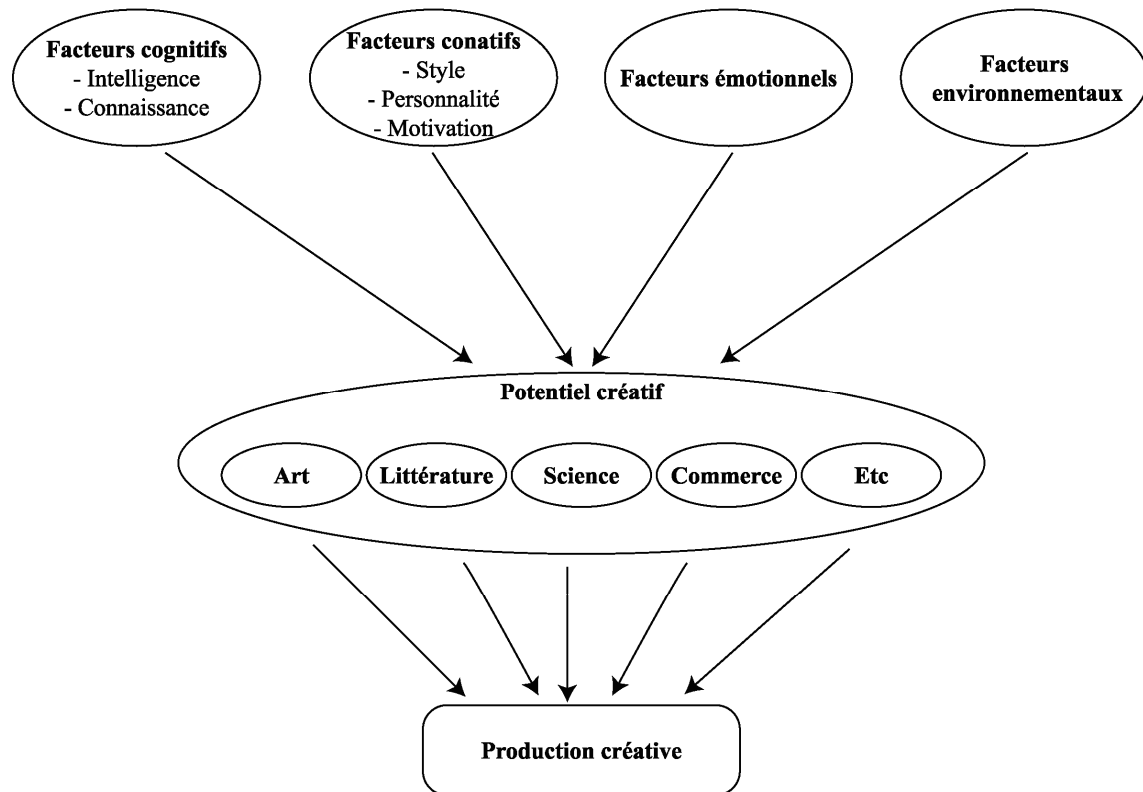


Figure 1 : L'approche multivariée de la créativité.

Source : Lubart, T. I., Mouchiroud, C., Tordjman, S., et Zenasni, F. (2003). *Psychologie de la créativité*, p. 13. Armand Colin : Paris.

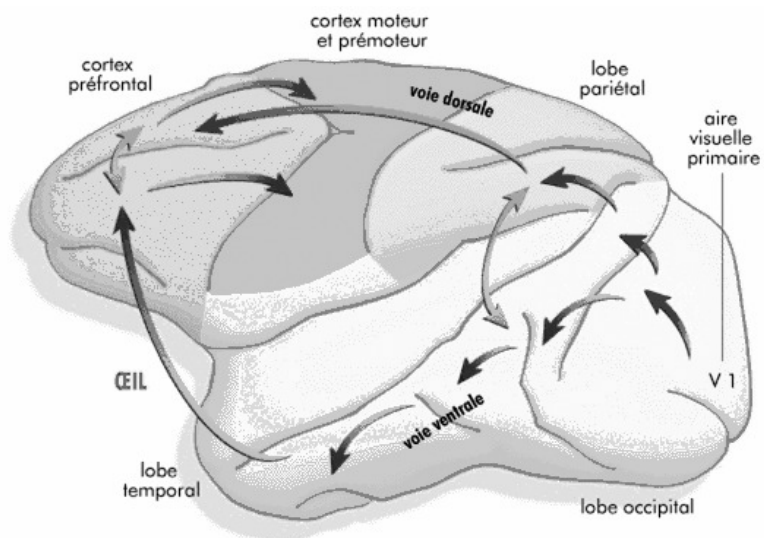


Figure 2 : Voie ventrale et vois dorsale dans l'imagerie mentale.

Source : [www-rocq.inria.fr/.../Prehension/Prehension.gif](http://www-rocq.inria.fr/.../Prehension/Prehension.gif)

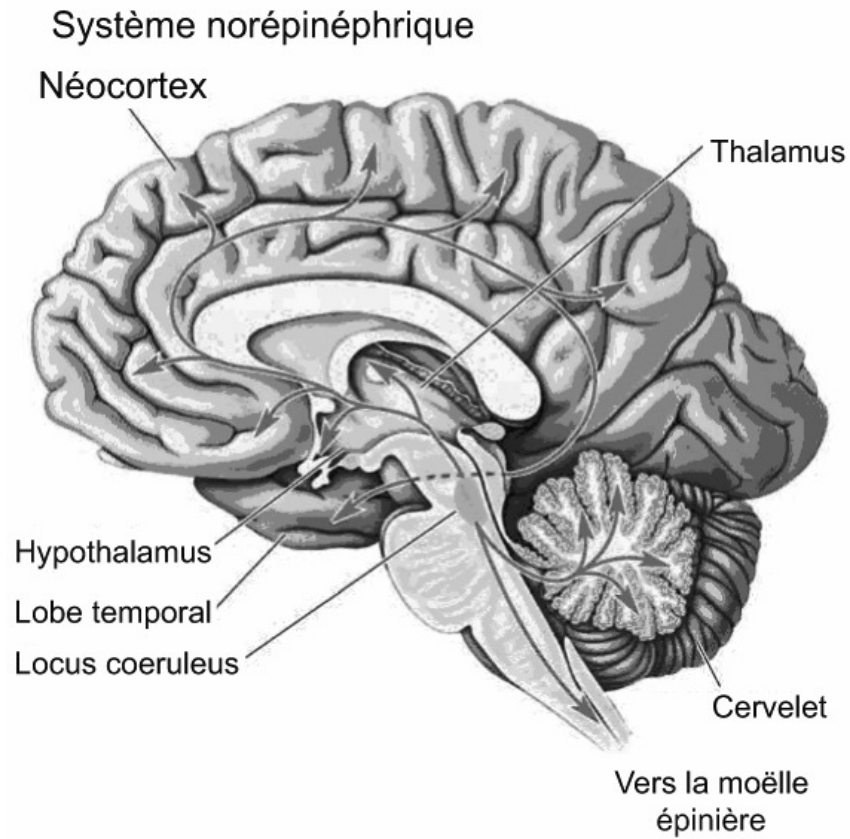


Figure 3 : Locus Coeruleus et système norépinéphrique.

Source : <http://webperso.easyconnect.fr/baillement/anatomie/systemes.html>



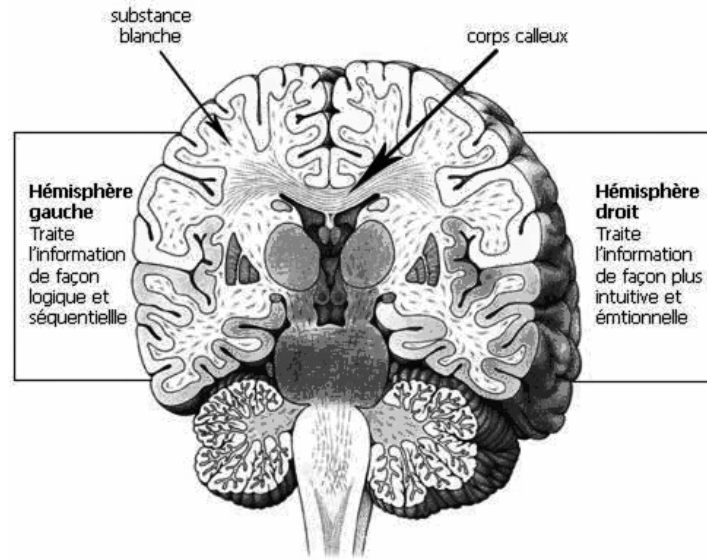


Figure 4 : Substance blanche, corps calleux et fonctions des hémisphères cérébraux.

Source : [http://www.education.gov.ab.ca/french/adt\\_scol/tanv/hemispheres2.asp](http://www.education.gov.ab.ca/french/adt_scol/tanv/hemispheres2.asp)

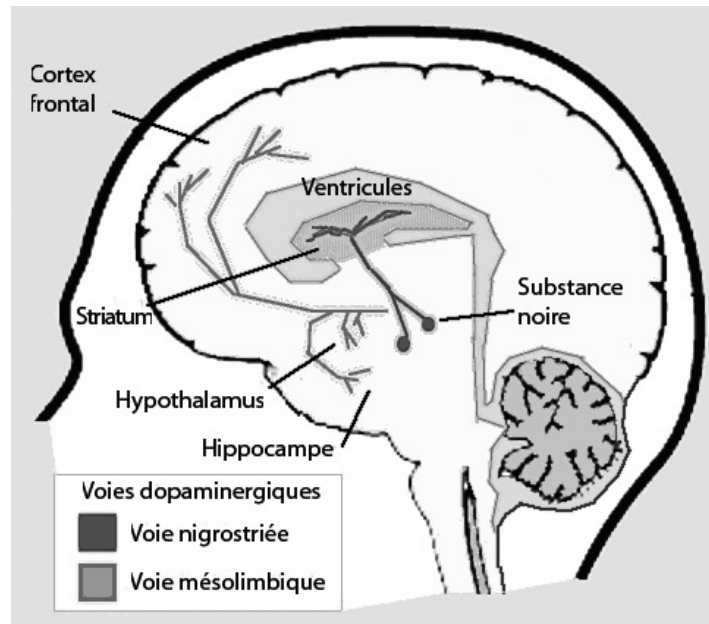


Figure 5 : Système dopaminergique : voie nigrostriée et voie mésolimbique.

Source : <http://web.lemoyne.edu/~hevern/psy340/graphics/dopaminergic.pathways.jpg>

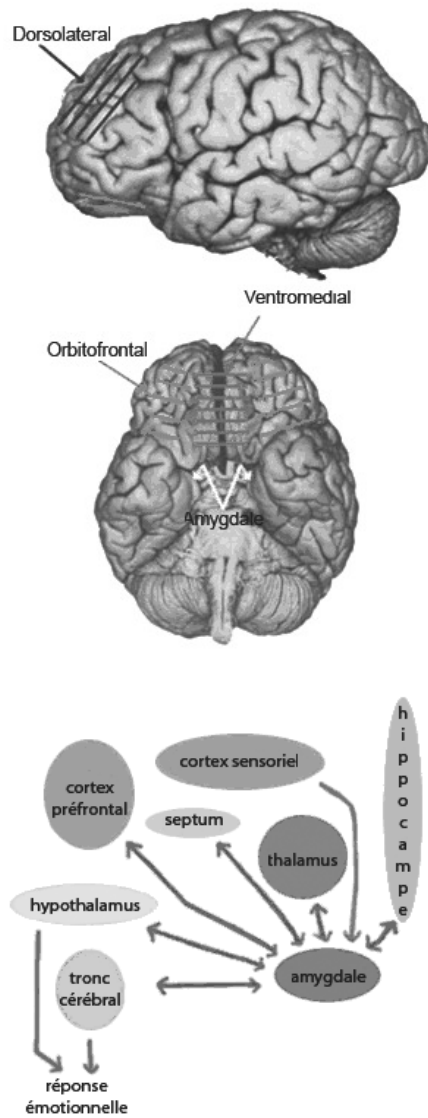


Figure 6 : Cortex préfrontal orbitomédial et ventromédial : voies efférentes et afférentes.

Source : [http://www.lecerveau.mcgill.ca/flash/a/a\\_04/a\\_04\\_cr/a\\_04\\_cr\\_peu/a\\_04\\_cr\\_peu.htm](http://www.lecerveau.mcgill.ca/flash/a/a_04/a_04_cr/a_04_cr_peu/a_04_cr_peu.htm)

Facteurs impliqués dans la créativité		Bases cérébrales de la créativité
Cognition	Imagerie mentale	Aires visuelles primaires Lobes pariétaux inférieurs Voies dorsale et ventrale Cortex préfrontal (latéral et médial)
	Pensée divergente	Lobe frontal
	Flexibilité cognitive	Système norépinéphrique Noyau basal Locus Coeruleus
	Connaissances	Cortex Taille du lobe pariétal inférieur
	Capacités associatives	Aires associatives Corps calleux Neurones associatifs Substance blanche
Conation	Recherche de la nouveauté	Système dopaminergique mésolimbique
	Psychotisme	Taux de dopamine Taux de sérotonine
	Prise de risque	Cortex préfrontal orbitomédial Cortex préfrontal ventromédial Striatum Amygdale Hypothalamus
Emotions	Etat de veille	Ondes Alpha Locus Coeruleus Catécholamines
	Dépression	Locus Coeruleus Cortex préfrontal dorsolatéral Gyrus cingulaire antérieur Norépinéphrine
	Troubles de l'humeur	Foyer épileptique Lobe temporal médian gauche
Environnement	Entraînement et stimulation	Accroissement de la taille de l'aire cérébrale
	Richesse de l'environnement	Nombre de connexion Arborisation dendritique

Figure 7 : Récapitulatif des structures cérébrales impliquées dans la créativité en fonction des facteurs influençant le processus créatif.