

CHAPITRE

8

La créativité

Anaëlle Camarda, Chercheure pour la Chaire TMCI, le Centre de Gestion Scientifique (CGS), i3, UMR CNRS 9217, Mines ParisTech – PSL, Paris

Mathieu Cassotti, Professeur de psychologie du développement, Université de Paris, Laboratoire de Psychologie du Développement et de l'Éducation de l'enfant (UMR CNRS 8240, LaPsyDÉ), Paris

1.	Des blocages cognitifs dans la créativité	256
1.1.	L'effet de fixation fonctionnelle dans la résolution de problèmes	256
1.2.	Le développement de la fixation fonctionnelle	257
2.	Les effets de fixation dans la pensée divergente	261
2.1.	Créativité et pensée divergente	261
2.2.	Développement de la pensée divergente	262
3.	Neurosciences cognitives et développementales de la pensée divergente	264
3.1.	Électrophysiologie de la pensée divergente	264
3.2.	Créativité et mesure de l'activité cérébrale en IRMf. . .	267
4.	Les effets de fixation dans la génération d'idées créatives: le rôle des exemples	270
5.	Le modèle du triple-processus de la créativité	273
6.	Le rôle du contrôle inhibiteur dans l'idéation créative	274
7.	Conclusion	278



De nombreux sites et vidéos diffusés sur internet, visionnés des milliers de fois, dressent un constat alarmant sur l'influence de l'école dans le développement de la créativité chez l'enfant. Sans apporter d'arguments scientifiques, ces « informations » contribuent à alimenter le stéréotype d'une école coupable de la destruction du potentiel créatif des élèves. Ainsi, en dépit des avancées récentes dans le domaine de la psychologie du développement de la génération d'idées créatives, la conviction que les enfants seraient nécessairement plus créatifs que les adultes semble s'enraciner dans le discours médiatique. Si les données issues de la psychologie et des neurosciences du développement viennent contredire cette idée reçue, ces études confirment par ailleurs que la génération d'une idée créative n'est pas aussi aisée qu'il n'y paraît, et qu'elle peut être perturbée, entravée ou bloquée à tous les âges de la vie.

Comme dans les domaines du raisonnement et de la prise de décision (Houdé & Borst, 2015; Kahneman, 2011), force est de constater que la capacité à générer des idées à la fois originales et adaptées aux contraintes d'un problème nouveau peut être entravée par des phénomènes de blocages cognitifs aux différents âges de la vie (Agogué, Kazakci *et al.*, 2014; Agogué, Poirel *et al.*, 2014; Storm & Angello, 2010; Smith, Ward & Schumacher, 1995; Ward, 1994). Ce constat n'est pas nouveau, puisque bien avant le programme « heuristique et biais » initié par Kahneman et Tversky sur les biais cognitifs existant dans la prise de décision (consacré par l'obtention du prix Nobel d'économie en 2002), certains chercheurs avaient déjà identifié des effets de fixation (i.e. rester bloquer sur des éléments non pertinents pour résoudre le problème) dans la résolution de problèmes créatif (Adamson, 1952; Dunker, 1945). La compréhension des processus impliqués dans la création de ces effets de fixation, mis en évidence dans le domaine de la résolution de problème (Adamson, 1952; Dunker, 1945), mais également dans celui de la génération d'idées créatives (Agogué, Kazakci *et al.*, 2014; Agogué, Poirel *et al.*, 2014; Cassotti *et al.*, 2016), est au cœur des réflexions actuelles de l'approche cognitive et neuroscientifique de la créativité, et questionnent les mécanismes d'apprentissage et de développement de la créativité. Dans ce contexte, l'école pourrait avoir un rôle fondamental à jouer dans le développement d'un raisonnement créatif qui favoriserait l'exploration d'espaces de solutions inconnus afin de résoudre des problèmes inédits. L'objectif de ce chapitre sera donc de faire un état des lieux des connaissances en psychologie et en neurosciences cognitives sur le développement d'un phénomène dit de « fixation », qui contraint les compétences de créativité, et de mieux comprendre les processus neurocognitifs impliqués dans le dépassement de ces blocages.

1. Des blocages cognitifs dans la créativité

1.1. L'effet de fixation fonctionnelle dans la résolution de problèmes

Historiquement, les premières études qui mentionnent les effets de fixation dans la littérature de la créativité appartiennent au domaine de la résolution de problème. Dès 1945, Duncker s'intéresse aux processus impliqués dans la génération d'idées chez des individus confrontés à des problèmes pour lesquels ils ne peuvent pas appliquer de solutions habituelles. Sa démarche repose non seulement sur une évaluation quantitative (i.e., nombre d'idées générées), mais aussi qualitative des solutions proposées, en analysant la nature des réponses et des erreurs produites par les participants. Il souligne alors la nécessité de considérer

les variations du cadre dans lequel les problèmes sont énoncés afin de comprendre pourquoi les individus « s'enferment » dans des routines de raisonnements susceptibles d'aboutir à des erreurs systématiques. En se basant sur les résultats d'une série d'expériences originales, il démontre que la fonction habituelle de l'objet peut fortement contraindre la résolution d'un problème. Ceci est particulièrement vrai lorsque les contraintes de la tâche imposent de se détourner de la fonction usuelle de l'objet pour atteindre la solution optimale. Certaines fonctions sont régulièrement associées à des objets spécifiques, et de la même façon un objet possède une fonction usuelle qui le caractérise. Par exemple, la fonction « découper quelque chose » semble particulièrement liée aux « ciseaux » ou aux « couteaux ». Ainsi, selon Duncker (1945), la fonction usuelle de l'objet pourrait conduire à un effet de fixation fonctionnelle qui limiterait la capacité des individus à envisager d'autres usages alternatifs (e.g., utiliser les ciseaux pour faire autre chose que découper).

Afin de mettre en évidence l'influence de la « fixation fonctionnelle » dans la résolution de problème, Duncker (1945) a mis en place une expérience au cours de laquelle les participants devaient résoudre cinq exercices différents. Dans chacun de ces problèmes, la solution optimale nécessitait de détourner la fonction usuelle d'un des objets fournis aux participants. Prenons par exemple le problème dit « des boîtes » (aussi appelé « problème de la bougie »), devenu emblématique dans le champ de la résolution de problème. Dans ce problème, il est attendu des participants qu'ils soient en mesure de faire tenir sur une porte trois petites bougies côte à côte, à hauteur des yeux. Plusieurs objets sont mis à disposition des participants sur une table afin de leur permettre de résoudre le problème. Parmi ces objets figurent trois petites boîtes en carton, trois bougies, des allumettes, ainsi que des punaises. Afin de trouver la solution optimale, il est nécessaire de détourner la fonction habituelle des boîtes (contenir quelque chose, en particulier les punaises présentées durant la tâche) afin de les punaiser contre la porte et de les utiliser, telles des plateformes pour soutenir les bougies. Duncker (1945) compare la capacité des participants à atteindre cette solution lorsque l'utilisation habituelle des boîtes est amorcée avant la phase de résolution du problème (les punaises sont dans la boîte), à une situation contrôle dans laquelle la fonction habituelle des boîtes n'est pas renforcée (les punaises ne sont pas dans la boîte, mais posées à côté de la boîte). Les résultats révèlent que les participants résolvent significativement moins bien le problème dès lors que l'utilisation habituelle de l'objet est amorcée, comparé aux performances observées lorsque les boîtes ne contiennent pas les punaises. En d'autres termes, il est plus difficile de détourner l'utilisation habituelle d'un objet pour résoudre un problème lorsque celle-ci a été préalablement activée.

Ces résultats soulignent que l'amorçage de l'utilisation habituelle de l'objet est susceptible de contraindre la résolution de problème. Toutefois, certaines études suggèrent que la force de la fixation fonctionnelle pourrait dépendre de la nature de l'objet présenté (Adamson, 1952). Ces résultats ont été répliqués à maintes reprises, attestant de la robustesse de ce phénomène de fixation fonctionnelle dans la résolution de problème (German & Barrett, 2005 ; Chryssikou, Motyka, Nigro, Yang & Thompson-Schill, 2016 ; Yonge, 1966).

1.2. Le développement de la fixation fonctionnelle

Si la fixation fonctionnelle se construit avec l'acquisition de connaissances et les apprentissages, dans quelle mesure se développe-t-elle avec l'âge ? Afin de répondre à cette question,

German et Defeyter (2000) ont créé un paradigme de résolution de problème adapté aux enfants et très proche de celui proposé initialement par Duncker (1945, Adamson, 1952) : Le problème de l'ourson Bobo. Les expérimentateurs expliquent aux enfants de 5, 6 et 7 ans qui participent à leur étude qu'ils vont devoir aider Bobo à résoudre le problème suivant :

« L'ourson Bobo souhaiterait retrouver son jouet qui est sur l'étagère, mais il ne peut pas atteindre le jouet parce qu'il est trop petit et qu'il ne peut pas sauter car il a des jambes trop courtes. Cependant, Bobo possède plusieurs objets (dont 4 blocs de polystyrène de 4 cm de côté, un crayon, une balle de 9 cm de diamètre, un petit aimant plat, une gomme, une petite voiture, une pièce de monnaie, et une boîte de 13,5 cm x 13,5 cm x 12 cm) que l'enfant peut utiliser pour faire en sorte que Bobo atteigne son jouet. »

Par analogie avec les expériences principes de Duncker (1945 ; Adamson, 1952), German et Defeyter (2000) ont aléatoirement réparti les participants dans deux conditions : une condition dans laquelle l'utilisation classique de l'objet déterminant (la grande boîte) est amorcée et une condition sans amorçage (voir aussi Chrysikou, Motyka, Nigro, Yang & Thompson-Schill, 2016 ; German & Barrett, 2005 ; Young, 1966). En effet, si les enfants construisent un escalier uniquement à partir des cubes de construction en polystyrène, la tour sera trop petite et Bobo ne pourra pas récupérer son jouet. En revanche, si la boîte en carton est utilisée comme un support pour les cubes de construction, et non comme un contenant, alors la tour sera suffisamment haute pour que Bobo attrape facilement son jouet (Figure 1). Dès lors, dans la condition d'amorçage, tous objets sont présentés dans la boîte (amorçage de la boîte comme contenant), alors qu'ils sont disposés à côté de la boîte dans la condition sans amorçage. Les résultats montrent une augmentation de la capacité de résolution de problèmes avec l'âge. En effet, les performances des enfants s'améliorent en fonction de l'âge dans la condition sans amorçage, comme l'atteste l'augmentation du nombre de réponses correctes et la diminution du temps nécessaire à la résolution du problème. Les auteurs mettent également en évidence un développement de la sensibilité à la fixation fonctionnelle qui varie avec l'âge. Alors que les enfants de 5 ans semblent « immunisés » contre la fixation fonctionnelle, ceux de 7 ans se comportent comme les adultes, réussissent moins bien l'exercice, et mettent plus de temps lorsque que la fonction usuelle de l'objet a été amorcée. Ainsi, l'amorçage de l'utilisation habituelle de la boîte en carton (« contenir quelque chose ») parasite la réussite de l'exercice uniquement chez les enfants de 7 ans (Figure 1).

Suite à ces observations, les auteurs ont proposé deux interprétations afin de rendre compte du développement de la fixation observé durant l'enfance : 1) les enfants les plus jeunes ne posséderaient pas les connaissances suffisantes pour identifier l'utilisation classique de la boîte. Dès lors, ils n'auraient pas besoin de dépasser la fixation fonctionnelle puisque l'utilisation habituelle de l'objet serait inconnue. Il convient de préciser que cette hypothèse est peu probable puisque d'autres études ont confirmé que les enfants de 5 ans connaissent parfaitement la fonction usuelle d'une boîte. 2) Une seconde hypothèse consisterait à supposer que les jeunes enfants auraient une perception plus flexible de l'utilité d'un objet. Autrement dit, la perception de la fonction de l'objet serait moins figée à cet âge. D'ailleurs, German et Johnson (1997) montreront que les enfants considèrent l'utilisation d'un objet non pas par sa fonction usuelle déterminée initialement, mais par la fonction que l'utilisateur associerait à cet objet.

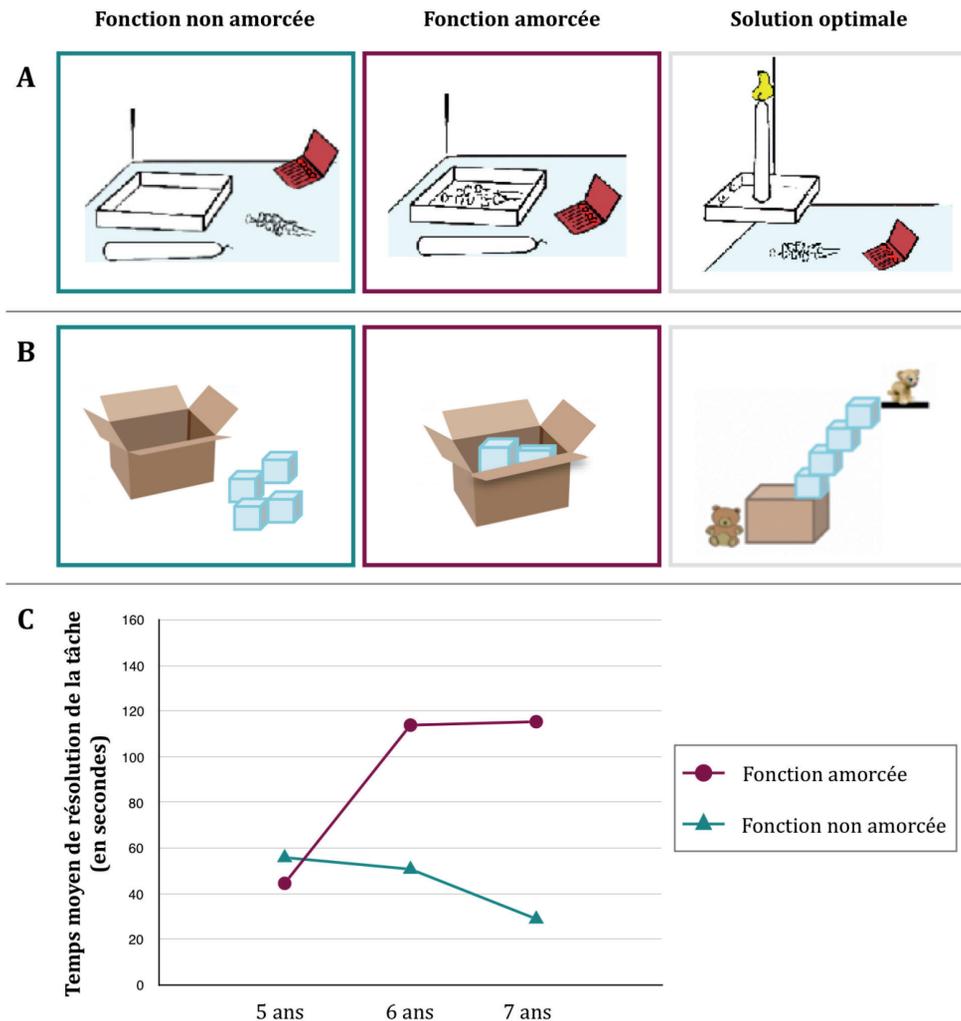


Figure 8.1 A. Représentation schématique de la tâche des boîtes de Duncker (1945, conditions avec ou sans amorçage de la fonction de la boîte et solution à atteindre). B. Représentation schématique de la tâche de l'oursin Bobo (conditions avec ou sans amorçage de la fonction de la boîte et solution à atteindre). C. Résultats de l'étude de German & Defeyter (2000) montrant que les enfants de 5 ans ne présentent pas de fixation fonctionnelle, alors que cet effet est bien présent à 7 ans, attestant d'un développement de la fixation avec l'âge.

Même si cette étude développementale suggère que les enfants pourraient ne pas être sensibles à la fixation fonctionnelle, d'autres recherches réalisées plus récemment imposent de nuancer cette conclusion. Hanus *et al.* (2011) ont proposé une adaptation du problème de la cacahouète flottante, initialement proposé lors d'expérimentation avec des grands singes, à des enfants de 4, 6 et 8 ans. Les enfants devaient récupérer une cacahouète contenue dans un tube en verre vertical de 26cm de long fixé à une table. Sachant que la cacahouète n'était pas directement atteignable avec les mains puisque le tube était trop étroit, et qu'il était impossible de retourner le tube car il était fixé à la table, la solution optimale pour résoudre le problème consistait à verser l'eau d'une carafe posée près de l'appareillage dans le tube, afin de faire flotter la cacahouète jusqu'à la surface. Contrairement

aux expériences de Duncker (1945) et de German & Defeyter (2000) dans lesquelles les performances de résolution de problème des participants étaient influencées négativement par l'amorçage de la fonction classique de l'objet (i.e., fonction créant la fixation fonctionnelle), les auteurs ont proposé un amorçage de l'utilisation alternative de l'objet de manière à faciliter la résolution de la tâche. Pour ce faire, les enfants étaient aléatoirement répartis dans deux conditions expérimentales, à savoir une condition sans amorçage (le tube ne contenait que la cacahouète) et une condition avec amorçage dans laquelle un quart du tube était rempli d'eau, faisant ainsi flotter la cacahouète dès le début de l'expérience. Les résultats ont révélé un développement des capacités de résolution du problème avec l'âge, puisque les enfants de 4 ans réussissaient cet exercice mais avec davantage de difficulté que ceux de 8 ans. Ce premier résultat atteste l'existence de la fixation fonctionnelle chez les plus jeunes enfants, alors même que la propriété de flottaison de la cacahouète est une connaissance certainement plus difficile d'accès aux enfants de 4 ans que la propriété de contenance d'une boîte en carton. Ainsi, cette étude contredit les résultats observés précédemment (German et Defeyter, 2000). Par ailleurs, les résultats ont permis de mettre en évidence que les enfants avaient de meilleures performances en condition d'amorçage (ici facilitateur) de l'utilisation alternative de l'objet cible qu'en condition contrôle, quel que soit leur âge. En effet, l'amorçage de l'utilisation alternative de l'eau (faire flotter des éléments) facilite la résolution du problème dès l'âge de 4 ans.

Pour conclure, un amorçage de la fonction classique de l'objet contraint les performances des participants (lorsque cette utilisation n'est pas adaptée pour la tâche à résoudre), alors qu'un amorçage de la fonction alternative qui doit être utilisée pour résoudre le problème facilite sa résolution. Malgré tout, l'étude de la sensibilité des jeunes enfants à la fixation fonctionnelle a abouti à des résultats contradictoires. Dans le cas du problème de la « cacahouète flottante », les enfants sont vulnérables à la fixation quel que soit leur âge (Hanus *et al.*, 2011), alors que dans celui de « l'ourson Bobo », les enfants les plus jeunes ne semblent pas sensibles à la fixation fonctionnelle (German & Defeyter, 2000). Nous pouvons ainsi supposer que la force de fixation fonctionnelle dépendrait des objets et de la tâche à réaliser.

Si le phénomène de fixation a été initialement associé à la fonction des objets (effet de fixation fonctionnelle) et mis en évidence au sein de tâches pour lesquelles il n'y avait qu'une seule et unique réponse optimale, cette notion a par la suite été étendue aux tâches de pensée divergente, pour lesquelles il existe une multitude de solutions envisageables pour répondre à un problème donné. Alors que les problèmes tels que le « problème des boîtes » nécessitent du participant qu'il réussisse à dépasser l'effet de fixation afin de résoudre correctement le problème et trouver la bonne solution, dans les études qui seront discutées ci-dessous il ne sera plus question de résoudre un problème par une seule réponse optimale mais de rendre compte des blocages cognitifs qui contraignent l'exploration des différentes voies de solution possibles.

2. Les effets de fixation dans la pensée divergente

2.1. Créativité et pensée divergente

Même si la plupart des mesures de créativité utilisées en psychologie impliquent une composante de résolution de problème plus ou moins forte, il convient de classer les tâches existantes en fonction de la nature des processus mis en jeu. Ainsi, le modèle de structuration de l'intellect proposé par Guilford (Structure of Intellect, SOI, Guilford, 1956, 1957; 1967; 1977) oppose la pensée convergente (i.e., capacité à converger vers une seule solution pour répondre à une question spécifique) à la pensée divergente (i.e., capacité à générer différentes solutions à partir d'un point de départ unique). D'après ce modèle, ces deux pensées impliqueraient des processus distincts, et la créativité reposerait davantage sur la pensée divergente. Cette dernière permettrait plus particulièrement de mesurer la capacité d'un individu à générer des idées ou à produire des réalisations nouvelles (Torrance, 1966) et serait un bon prédicteur du succès créatif (Kim, 2008). Bien que cette distinction soit régulièrement retrouvée dans la littérature (Kleibeuker *et al.*, 2012; 2016), certains auteurs suggèrent que ces deux types de pensées sont complémentaires et susceptibles d'être impliquées à différentes phases du processus de créativité. En effet, dans les premières étapes il serait nécessaire de diverger afin de générer une multitude d'idées, puis dans un second temps la pensée convergente permettrait de sélectionner la solution la plus originale (Cropley, 2006; Getzels & Csikszentmihalyi, 1976; Jaarsveld, 2007; Jaarsveld & Leeuwen, 2005; Smilanski & Halberstadt, 1986). Même si la question de la fixation a été largement discutée dans le domaine de la résolution de problème, elle se retrouve de façon plus générale dans la pensée convergente mais également dans la pensée divergente. Précisons toutefois que la fixation n'est pas systématiquement évoquée en ces termes mais qu'elle se retrouve a minima implicitement dans chacune des mesures classiques de la créativité que nous évoquerons ici.

La pensée divergente impose de générer une multitude de solutions dans des directions différentes, à partir d'un point de départ unique (Guilford, 1957, 1967; 1977; Torrance, 1966; Runco, 2014). Selon Guilford (1967). Elle est sous-tendue par des processus de récupération d'informations en mémoire et de leurs combinaisons, susceptibles d'aboutir à des associations plus ou moins lointaines. Guilford (1967) distinguait le «rappel répliquant», qui correspond à une simple récupération en mémoire d'informations sous leur forme originales, du «rappel de transfert», défini comme la récupération d'informations connectées les unes aux autres mais qui n'ont pas été enregistrées en mémoire dans les mêmes contextes (Guilford, 1967; Zenasni, 2002). Ainsi, la pensée divergente serait fortement liée à la pensée associative et constituerait un élément critique de la génération d'idées créatives (Fasko, 1999; Zenasni, 2002). L'exercice emblématique qui permet de mesurer la pensée divergente est la tâche d'utilisations alternatives d'objet (Alternative Uses Task, AUT, Torrance, 1966). Dans cette épreuve, le participant doit générer le plus d'utilisations alternatives possibles d'un objet usuel, telle qu'une «brique» (Baas, De Dreu & Nijstad, 2011; Friedman & Förster, 2001; Guilford, 1967; Kleibeuker, De Dreu & Crone, 2013). La nécessité de s'extraire de l'utilisation classique de l'objet dans l'AUT fait d'emblée écho au phénomène de fixation fonctionnelle observé dans la résolution de problème (Duncker, 1945). Trois mesures sont classiquement utilisées (Torrance, 1966) pour mesurer la performance créative dans ce type de tâche de pensée divergente :

La fluence (nombre de réponses générées par le participant), la flexibilité (reflet de la variété des réponses à partir du nombre de catégories de solutions abordées par le participant) et l'originalité des réponses. Cette dernière peut être obtenue de deux façons distinctes : en calculant un score de rareté basé sur la fréquence d'apparition des idées dans la population (Agogué, Poirel *et al.*, 2014 ; Kleibeuker *et al.*, 2013), ou grâce à un jugement consensuel d'experts du domaine qui évaluent sur une échelle de Likert l'originalité de chaque réponse (Amabile, 1982 ; Fink, Weber, Koschutnig, Benedek, Reishofer, Ebner, Papousek & Weiss, 2014).

2.2. Développement de la pensée divergente

La question du développement de la capacité à générer une multitude d'idées créatives n'est pas nouvelle et a fait l'objet d'un nombre considérable d'études (Claxton, Pannells & Rhoads, 2005 ; Daugherty, 1991 ; He & Wong, 2015 ; Jaquish & Ripple, 1980 ; Kleibeuker, De Dreu & Crone, 2013 ; Mouchiroud & Lubart, 2002 ; Torrance, 1962 ; Torrance, 1968 ; Wu, Cheng, Ip & McBride-Chang, 2005). Toutefois, précisons d'emblée que ces recherches ont abouti à des résultats contradictoires. Les trajectoires développementales de la créativité identifiées dans la littérature fluctuent notablement en fonction de la nature des tâches utilisées, des indices quantitatifs et/ou qualitatifs mesurés, et de la période d'âge considérée.

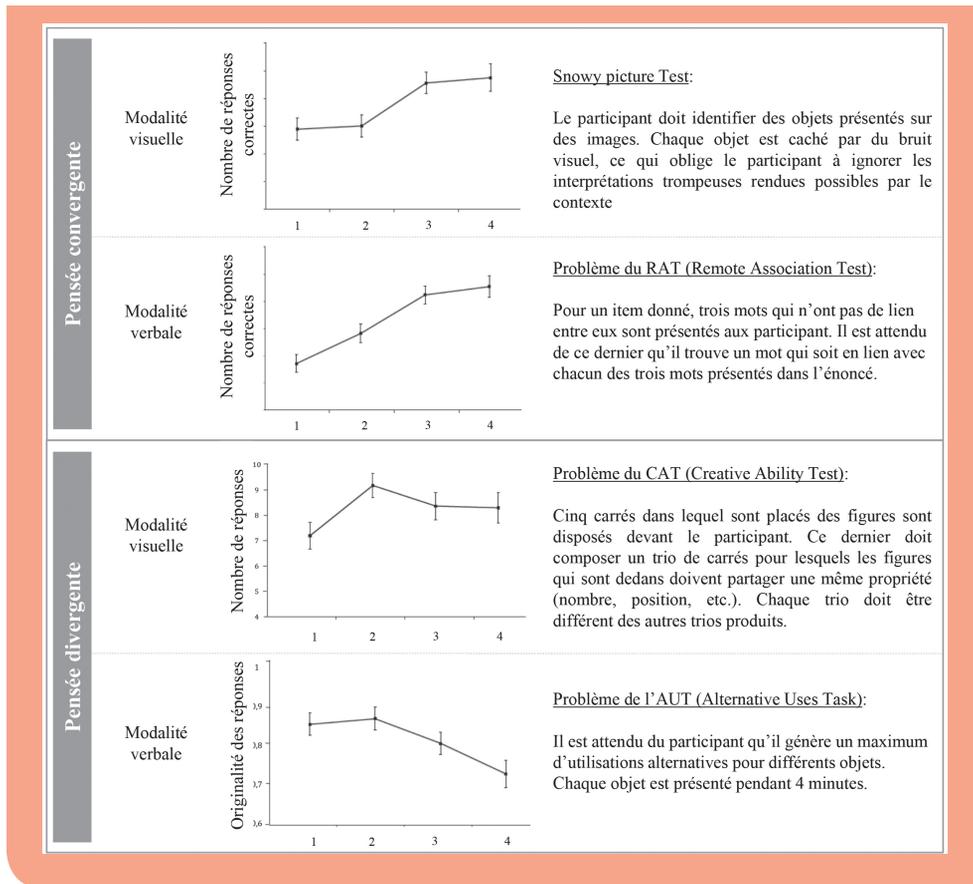
Les premiers travaux réalisés dans le cadre de la pensée divergente par Torrance (1962 ; 1968) mettent en évidence un développement non linéaire de la créativité entre des enfants de 6 ans et des adolescents de 17 ans. En effet, il constate une diminution des indicateurs de créativité à la fois au niveau quantitatifs (fluence et flexibilité) que qualitatifs (originalité et élaboration), à deux périodes développementales particulières : chez les enfants de 9-10 ans (enfants de classes CM1), et chez les enfants de 12-13 ans (classes de 5^e). D'après Torrance (1962 ; 1968), cet effet serait lié aux contraintes de l'environnement scolaire, et plus particulièrement à la nécessité de respecter certaines règles de vie. Allant dans ce sens, He et Wong (2015) ont observé que les enfants qui changent de cadre scolaire en passant du plus haut niveau de l'école primaire au plus faible niveau du collège voient leurs capacités de créativité diminuer, contrairement aux enfants faisant partie de l'année scolaire qui précède ou qui suit ce changement. Cet effondrement serait lié à l'augmentation du niveau de stress de l'enfant. En effet, plus l'enfant est stressé, plus il est vulnérable à cette diminution des compétences créatives. En accord avec l'idée d'un développement non linéaire de la pensée divergente, Daugherty (1993) a proposé à des enfants d'âge préscolaires de réaliser différentes épreuves du test de pensée divergente de Torrance (1966). Il remarque une diminution de la fluence et de l'originalité des réponses proposées entre 3 et 5 ans, puis une augmentation des indicateurs entre 5 et 6 ans. D'après l'auteur, cet effet résulterait de la disparition progressive du langage égocentrique au profit du langage intérieur (Vygotsky, 1962). Ainsi, les études qui évoquent un effondrement des capacités de créativité à 5 ans, 9-10 ans, et 12-13 ans suggèrent que des facteurs environnementaux et sociocognitifs sont susceptibles d'influencer en profondeur l'idéation créative des enfants (Besançon & Lubart, 2015 ; Claxton, 2005 ; Daugherty, 1993 ; He & Wong 2015 ; Runco, 1989 ; Runco, 1991 ; Torrance, 1962 ; 1968). D'autres études ont suggéré que le développement des compétences créatives suivait une courbe

quadratique en forme de «U inversé». Le modèle de Gardner (Davis, 1997; Gardner, 1988; Gardner & Winner, 1982) suppose en effet que l'enfance serait l'âge d'or du dessin, se traduisant par des pics de performances créatives entre 5 et 7 ans. En revanche, plusieurs recherches attestent d'une progression linéaire des performances créatives avec l'âge. Par exemple, Smith & Carlsson (1985) constatent une augmentation progressive des capacités de créativité à partir de l'âge de 14 ans. De plus, Jacquish et Ripple (1980) mettent en évidence une élévation de la fluence et de l'originalité des réponses produites lors d'une tâche de créativité entre la préadolescence (environ 10 ans) et l'adolescence (environ 16 ans). Par ailleurs, Mouchiroud & Lubart (2002) montrent que le nombre de réponses données (fluence) et leur originalité évoluent linéairement entre l'âge de 6-7 ans et l'âge de 10-11 ans, dès lors qu'il s'agit de générer de nombreuses idées pour résoudre un problème social (e.g., «Imaginez que vous êtes chez vous un soir, et que vous voulez regarder un programme TV. Vous demandez à vos parents si vous avez le droit de le regarder, et ils vous répondent qu'il est trop tard, qu'il faut aller vous coucher. Que pourriez-vous dire ou faire afin de les convaincre de vous laisser regarder la télévision?»). Toutefois, les auteurs obtiennent des résultats similaires en termes de fluence mais pas d'originalité en utilisant l'AUT («Trouvez un maximum d'utilisation alternative d'une boîte»). L'ensemble de ces données confirme qu'il n'existe pas une trajectoire développementale unique de la créativité mais qu'elle dépend de la nature des tâches et des mesures utilisées (Wu, Cheng, Ip & McBride-Chang, 2005).

Afin de mieux comprendre comment les performances créatives évoluent avec l'âge, Kleibeuker, De Dreu, et Crone (2013; 2016) ont étudié le développement de la créativité à partir d'un ensemble de mesures dans des domaines variés chez des enfants âgés de 10 ans jusqu'à l'âge adulte. Les auteurs ont utilisé non seulement des exercices de pensée convergente (verbale et figurale) mais également des tâches de pensée divergente (verbale et figurale). Les résultats ont permis d'identifier quatre pattern développementaux différents (Encart 1) : en ce qui concerne la pensée convergente, 1) les performances verbales se développent de manière curvilinéaire entre le début de l'adolescence et l'âge adulte, alors que 2) les performances figurales évoluent par étapes. Ainsi, ces dernières sont significativement plus faibles chez les adolescents de 16 ans que pour les jeunes adultes de 18 ans. De plus, 3) les adolescents de 15-16 ans semblent avoir de meilleures performances de pensée divergente figurale que les jeunes adolescents et les adultes. Enfin, 4) alors qu'aucun développement n'est observé pour les mesures quantitatives de la pensée divergente verbale, la qualité des réponses proposées (i.e., originalité) par les participants augmente linéairement avec l'âge.

Encart 1.

Les résultats obtenus aux différentes tâches de créativité proposées aux participants de l'étude de Kleibeuker *et al.*, 2013 mettent en évidence différents patterns développementaux associés à chaque type de tâche (pensée convergente/divergente) et de modalité (visuelle/verbale). Sur les graphiques suivants, les groupes d'âge sont indiqués en abscisse : 1 = 12/13 ans, 2 = 15/16 ans, 3 = 18/19 ans, 4 = 25/30 ans. Attention, contrairement aux autres tâches où une augmentation sur l'ordonnée signifie une augmentation croissante des compétences, l'échelle du problème de l'AUT est inversée : Plus le score est bas, plus l'originalité des réponses données est importante.



3. Neurosciences cognitives et développementales de la pensée divergente

3.1. Électrophysiologie de la pensée divergente

L'adaptation des méthodes de neuro-imagerie au champ de la génération d'idées créatives a conduit à changer notre représentation de la contribution des processus automatiques et contrôlés dans l'idéation créative (Dietrich & Kanso, 2010). L'interprétation des données issues des expériences sur la génération d'idées conduites en électro-encéphalographie (EEG) a évolué conjointement avec le développement des modèles de la créativité. Si les premiers modèles ont accordé un rôle privilégié aux processus automatiques (Mednick, 1962), les modèles plus récents, tels que le modèle triadique de la créativité (Cassotti *et al.*, 2016), insistent sur la nécessité de prendre en compte également les processus de contrôle dans l'idéation créative (Beaty & Silvia, 2012). Parallèlement, le développement des méthodes EEG et l'évolution de notre compréhension de la signification d'une augmentation des ondes dites « alpha » (que nous définirons plus loin) en termes d'activation cérébrale ont conduit à mettre l'accent sur le rôle positif des processus de contrôle cognitif dans la créativité (Fink & Benedek, 2014). Précisons que l'EEG est une technique de

neuro-imagerie permettant l'enregistrement direct de l'activité électrique du cerveau, avec une excellente résolution temporelle (Dietrich & Kanso, 2010). Dès lors, elle est tout à fait adaptée à l'étude des processus neurocognitifs impliqués dans la génération d'idées multiples.

Les premières études utilisant l'EEG dans le domaine de la génération d'idées ont observé un niveau de base des ondes alpha plus important chez les personnes très créatives par rapport aux individus qui le sont moins (Martidale & Hasenfuls, 1978; Martindal, Hines, Mitchell & Covello, 1984; Wyspianski, Barry & Dayhaw, 1963). En outre, Martidale et Hasenfuls (1978) ont demandé à des participants d'imaginer une histoire qu'ils aimeraient écrire (phase dite d'inspiration), puis de la produire (phase dite d'élaboration). Les résultats ont démontré que les participants les plus créatifs avaient davantage d'ondes alpha uniquement en phase d'inspiration (i.e., lors de la phase de génération de l'idée). Cette première vague d'études montre que plus les individus sont créatifs, plus ils présentent un niveau d'onde alpha élevé. Ces ondes ayant été associées aux phases de relaxation, en particulier lorsque les individus fermaient les yeux, elles ont longtemps été interprétées, à tort, comme le reflet d'une diminution de l'activation corticale (Klimesh, Sauseng & Hanslmayr, 2007). Dès lors, ces observations correspondaient parfaitement aux modèles dominant de cette période. En effet, plus les individus étaient créatifs, plus les ondes alpha étaient présentes. Si l'augmentation de la puissance des ondes alpha reflète une diminution de l'activation corticale, alors ces données suggèrent que la créativité repose sur des processus automatiques. Toutefois, au cours de la dernière décennie, l'interprétation de l'augmentation de la puissance des ondes alpha a radicalement changé (Fink & Benedek, 2013), bousculant les conclusions initiales dans plusieurs domaines de la cognition, dont le champ d'étude de la créativité. En effet, une série de travaux a mis en évidence un lien positif entre la variation de la puissance des ondes alpha et les performances cognitives. Une synchronisation alpha, c'est-à-dire une augmentation de la puissance alpha par rapport à une référence (inverse de la désynchronisation alpha), semble être corrélée à une augmentation de la demande de processus cognitifs de haut niveau (Fink, Grabner, Neuper & Neubauer, 2005; Klimesch, 1999; Klimesch, Sauseng & Hanslmayr, 2007; Klimesch, Sauseng & Gerloff, 2003; Pfurtscheller, 1999; Pfurtscheller, Stancak & Neuper, 1996). Par exemple, une augmentation de la synchronisation alpha a été trouvée lorsque les individus manipulent des informations en mémoire (Sauseng, Klimesch, Schabus & Doppelmayr, 2005), ou encore lorsqu'ils mobilisent une attention «interne», nécessitant un filtre attentionnel plus important, comparée à une attention portée sur les stimuli externes (Cooper, Croft, Dominey, Burgess & Cruzelir, 2003; Sauseng *et al.*, 2005; Von Stein & Sarnthein, 2000; Benedek, Bergner, Könen, Fink & Neubauer, 2011).

Dans ce contexte, de nouvelles études ont été menées dans le domaine de la créativité afin de répliquer les résultats observés précédemment, et surtout prouver que la créativité ne reposait pas uniquement sur des processus automatiques. Ainsi, Fink, Benedek, Grabner, Staudt, et Neubauer (2007) ont conçu un nouveau type de paradigme expérimental, adapté à l'enregistrement EEG, qui permet une analyse fine de la variation de la puissance des ondes alpha pendant la phase de génération d'idées (Figure 2). Différents problèmes étaient présentés aux participants, dont l'AUT. Dès que le problème à résoudre était énoncé (dans le cas de l'AUT cela correspondait à l'objet usuel tel qu'un parapluie), les participants disposaient de 3 minutes pour proposer un maximum de solutions possibles.

Dès qu'une idée leur venait à l'esprit, ils devaient appuyer sur un bouton avant de l'énoncer à haute voix. Cette procédure inédite a permis aux auteurs d'étudier le pattern d'ondes cérébrales spécifiquement liées à la génération de l'idée, en examinant la puissance du rythme alpha dans une fenêtre temporelle précise précédant l'appui du bouton et correspondant à la phase de génération.

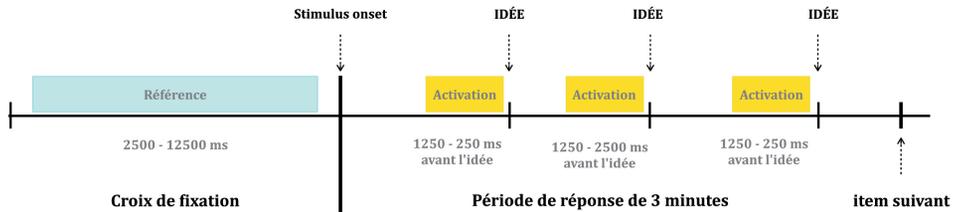


Figure 8.2 Illustration de la méthodologie utilisée par Fink *et al.*, (2007). Pour chaque tâche, les auteurs calculent la puissance des ondes alpha (appelé TRP) spécifique à la génération de l'idée créative, en soustrayant le signal observé lors de la fenêtre d'activation à celui observé lors de la fenêtre de référence, qui correspond à un niveau de base lié à l'observation passive d'une croix de fixation (cette croix est présentée pendant 10 secondes). La fenêtre d'activation se situe entre $-1\ 250$ ms et -250 ms, avant l'appui du participant, autrement dit elle correspond à la période de génération de l'idée.

Trois tâches de pensée divergente, dont l'AUT, et une tâche de pensée convergente nécessitant de compléter la fin de mots, ont été proposées aux participants. Les résultats ont permis de souligner l'existence d'une synchronisation alpha plus élevée pour les tâches de pensée divergente que pour la tâche de pensée convergente (Fink *et al.*, 2007 ; Fink *et al.*, 2009). Ces résultats vont dans le sens d'une spécificité de la pensée divergente comparée à la pensée convergente, tel que le soulignait Guilford (1956). Il est cependant important de noter que la synchronisation alpha était variable au sein même des tâches de pensée divergente. Autrement dit, même si les tâches de pensée divergente nécessitent toutes de générer une multitude de solutions pour un problème donné, certaines tâches semblent nécessiter une synchronisation alpha plus importante que d'autres.

Les auteurs interprètent cette différence comme le reflet d'une balance entre des processus internes permettant le contrôle top-down (sous-tendus par une augmentation de la synchronisation alpha dans les régions frontales) et des processus bottom-up permettant le traitement des informations de l'environnement (sous-tendus par une augmentation de la synchronisation alpha dans les régions pariétales, Benedek, Bergner, Köner, Fink et Neubauer, 2011 ; Benedek, Schickel, Jauk Fink, et Neubauer, 2014). En effet, Benedek *et al.* (2011 ; 2014) ont démontré que la puissance du rythme alpha pouvait varier pour une même tâche, en fonction de si la tâche était présentée visuellement ou s'il était nécessaire de retenir l'item en mémoire de travail. Par exemple, lorsqu'il est demandé aux participants de générer une phrase de 4 mots à partir d'un mot présenté à l'écran (e.g., SHOE), chacun des mots devant commencer par chacune des lettres du mot affiché (e.g., S ; H ; O ; E – « Superman Hates Evil Operations »), une désynchronisation alpha au niveau des régions postérieures est observée. Elle sera alors interprétée comme le reflet de l'utilisation des informations provenant de l'environnement extérieur dans l'idéation. En revanche, si cette même tâche est effectuée sans que le mot ne soit affiché à l'écran, alors une synchronisation alpha frontale est retrouvée. Cette dernière refléterait le recours à de haut processus internes, tels que les fonctions exécutives comme la mémoire de travail. Ces résultats sont observés à la fois pour les tâches de pensées convergente et pour les tâches de pensée divergente (Benedek *et al.*, 2011 ; 2014). Toutefois, il semblerait

que la nature de la tâche prédise la puissance alpha observée en région frontale et pariétale droite. Ainsi, si la tâche dépend fortement de la présentation du stimulus, comme dans la génération de phrase de 4 mots mentionnée précédemment, alors la synchronisation alpha sera moins importante que si la tâche ne nécessite pas de voir le mot écrit pour générer des idées, comme c'est le cas dans l'AUT. En outre, une plus forte synchronisation alpha en régions frontale et pariétale serait positivement corrélée à la créativité des réponses proposées par les participants. De même, on retrouve ce pattern de synchronisation alpha chez les individus qui manifestent un niveau de créativité plus élevé que la moyenne (Fink *et al.*, 2007; Fink et Benedek, 2014; Fink et Neubauer, 2008; Jausovec, 2000). L'augmentation de l'activité corticale dans les régions frontales et pariétales, reflétant la mise en place des processus top-down, serait fortement liée à la qualité des réponses créatives. Dès lors, ces études suggèrent que les processus de contrôle cognitif auraient un rôle positif dans la génération d'idées créatives. Enfin, Fink, Grabner, Benedek, et Neubauer (2006) ont démontré qu'un entraînement de 15 jours à la pensée divergente permettait aux participants d'augmenter significativement leur score de créativité dans des tâches de créativité, mais ne provoquait aucun effet sur la résolution de problème. Les participants ayant bénéficié de cet entraînement montrent une synchronisation alpha plus élevée dans les régions frontales, en comparaison à des participants d'un groupe contrôle sans entraînement. En d'autres termes, un entraînement à la pensée divergente favorisant les performances créatives influencerait spécifiquement l'activité corticale dans les régions frontales (Figure 3). D'après les auteurs, ces résultats souligneraient l'implication des processus de contrôle exécutif dans la génération d'idées créatives.

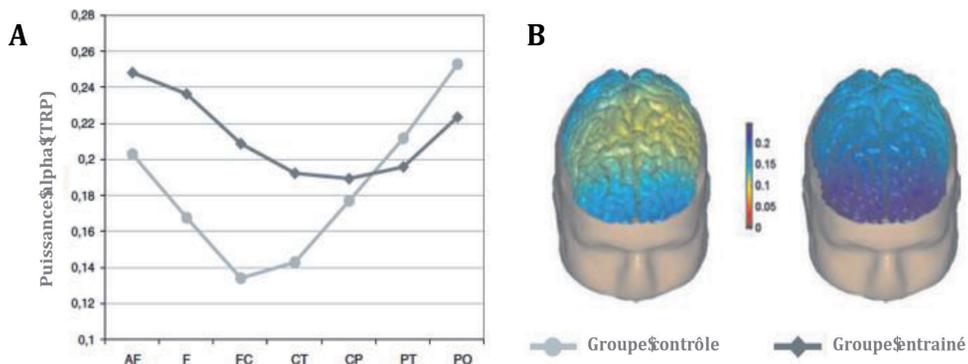


Figure 8.3 Illustration des résultats mis en évidence par Fink *et al.*, (2006). A) Graphique représentant la puissance des ondes alpha (TRP) calculée pour chaque groupe de participants – contrôle ou ayant bénéficié de l'apprentissage à la pensée divergente – pour chaque région cérébrale. Les régions étudiées vont des plus antérieures aux plus postérieures : Antéro-frontale (AF), Frontale (F), Fronto-centrale (FC), Centro-temporale (CT), Centro-pariétale (CP), Pariéto-temporale (PT) et Pariéto-occipitale (PO). B) Topographies de la puissance alpha observée en moyenne pour chaque groupe de participants. Les participants ayant bénéficié de la session d'apprentissage montrent une puissance alpha plus importante, particulièrement au niveau frontal (en mauve).

3.2. Créativité et mesure de l'activité cérébrale en IRMf

Des preuves de l'implication des processus de contrôle cognitif ont également été apportées par des études menées en IRMf (Arden *et al.*, 2010; Beaty *et al.*, 2014; Benedek *et al.*, 2014; Dietrich & Kanso, 2010; Fink *et al.*, 2009; Fink & Benedek, 2013). Par exemple, Benedek *et al.* (2014) ont demandé à leurs participants de résoudre la tâche de pensée divergente

AUT, et chaque participant indiquait pour chaque réponse générée si elle avait été récupérée en mémoire ou si elle était réellement nouvelle. Les auteurs ont démontré que la génération de nouvelles idées serait spécifiquement liée à l'activation de deux réseaux cérébraux : 1) des régions qui pourraient être liées aux fonctions exécutives, et qui permettraient la sélection des associations jugées créatives parmi les différentes associations candidates, à savoir le gyrus frontal inférieur gauche, et 2) un réseau de détection de la nouveauté, symbolisé par l'activation de la partie antérieure du cortex pariétal inférieur. Ce dernier serait lié à la mise en relation des expériences récupérées en mémoire, et plus spécifiquement du lien entre des expériences anciennes et nouvelles. Cette étude renforce l'hypothèse selon laquelle les processus associatifs, mais aussi et surtout les processus de contrôle cognitif (fonctions exécutives), seraient impliqués dans la génération d'utilisations alternatives d'objets.

Dans une perspective développementale, des recherches ont permis de souligner l'importance du cortex préfrontal dans le développement des performances créatives. Kleibeuker *et al.* (2013; voir aussi Kleibeuker *et al.*, 2013; 2017) ont proposé à des adolescents (moyenne d'âge : 17 ans) et des adultes (moyenne d'âge : 27 ans) de réaliser l'AUT ainsi qu'une tâche de génération de caractéristiques classiques d'objets (OC), à la fois pendant que les activations cérébrales étaient enregistrées dans l'IRM et à l'extérieur de la machine. Dans le scanner, les auteurs ont simplement demandé aux participants d'indiquer au moyen d'un boîtier de réponse, le nombre d'idées qu'ils avaient réussi à générer pour un objet donné. Éviter de demander au participant de répondre à haute voix dans l'IRM permettait de minimiser les mouvements de la tête et du corps dans la machine, et ainsi éviter les artefacts qui auraient détérioré les images cérébrales obtenues. Lorsque ces mêmes participants étaient en dehors de l'IRM, ils pouvaient donner leurs réponses à haute voix, et les auteurs mesureraient leurs performances créatives au moyen des indices utilisés habituellement dans la littérature (fluence, originalité). Étant donné que les deux tâches effectuées par les participants nécessitaient de générer des idées, et différaient uniquement dans leur demande de créativité (réponses créatives pour l'AUT et réponses classiques dans OC), les auteurs ont pu en comparant ces 2 conditions identifier les régions cérébrales spécifiquement activées dans l'idéation créatives (contraste AUT > OC). Au niveau comportemental, les résultats révèlent que les adultes ont de meilleurs scores de créativité que les adolescents, en particulier pour la fluence (nombre d'idées générées). Au niveau cérébral, le gyrus angulaire (AG), le gyrus supramarginal (SMG), et le gyrus temporal moyen (MTG) sont plus fortement activés pendant la génération d'utilisations alternatives d'objets, chez les adultes comme chez les adolescents. Ces activations ont été reliées à la récupération d'informations sémantiques à propos des objets et de leur utilisation (Jung-Beeman, 2005; Binder *et al.*, 2009), ainsi qu'à la flexibilité mentale (Bechtevera *et al.*, 2004). Enfin, lors de la génération d'utilisations alternatives, l'augmentation des performances de créativité avec l'âge dépendrait spécifiquement du recrutement du gyrus frontal inférieur gauche et du gyrus frontal médian gauche. En effet, alors que les adultes ont de meilleures performances créatives et présentent des activations au niveau des gyri frontaux inférieur et médian, les adolescents ont de moins bonnes performances et recrutent moins ces deux régions frontales (Figure 4). Bien que les réseaux cérébraux liés aux associations sémantiques et à la flexibilité soient impliqués dans la génération d'idées créatives, l'augmentation des performances créatives avec l'âge dépendrait spécifiquement du recrutement du cortex préfrontal, et donc de l'implication des fonctions exécutives.

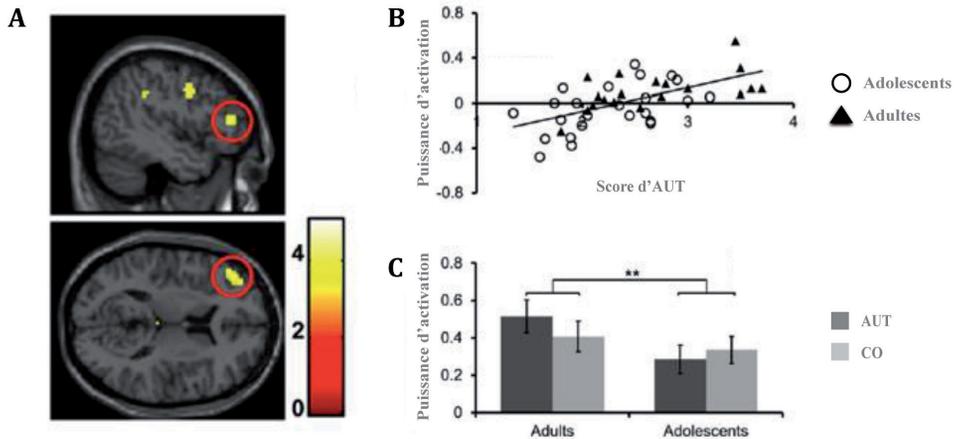


Figure 8.4 Illustration des résultats mis en évidence par Kleibeuker *et al.* (2013). A) Régions plus activées lors de la génération d'utilisations alternatives d'objets (tâche AUT) que lors de la génération de caractéristiques classiques d'objets (tâche OC). B) Corrélations entre les scores de créativité de l'AUT et l'activation du gyrus frontal inférieur/gyrus frontal moyen, pour les adolescents (triangles) et les adultes (cercles). C) Interaction entre le score observé lors de l'AUT et l'OC, pour les adultes et les adolescents.

Par ailleurs, Stevenson, Kleibeuker, De Dreu et Crone (2014) ont souligné que l'adolescence était une période propice aux apprentissages dans le domaine de la créativité. En effet, les auteurs ont aléatoirement réparti 71 adolescents (moyenne d'âge : 15 ans) et 61 adultes (moyenne d'âge : 22 ans) dans trois protocoles d'apprentissage de deux semaines : 1) un apprentissage à l'idéation générale (génération de caractéristiques classiques d'objets), 2) un apprentissage à la flexibilité mentale (flexibilité liée aux changements d'application de règles entre des items successifs), et 3) un apprentissage à l'idéation créative (génération d'utilisations alternatives d'objets). Les résultats ont mis en évidence que les adolescents et les adultes bénéficiaient des apprentissages à l'idéation créative et à la flexibilité mentale. Seul l'apprentissage à l'idéation générale ne provoquait aucun changement sur les performances créatives. Cependant, l'effet bénéfique de l'apprentissage (en particulier l'apprentissage à la flexibilité) s'est révélé plus important chez les adolescents que chez les adultes. Les auteurs suggèrent que les adolescents auraient une meilleure réceptivité aux apprentissages, comme cela a été également démontré dans d'autres domaines tels que l'adaptation au milieu social (Crone & Dahl, 2012), les entraînements à la mémoire de travail (Jolles, Van Buchem, Rombouts & Crone, 2012) ou encore ceux visant à renforcer le contrôle exécutif (Zinke, Einert, Pfenning & Kliegel, 2012).

Récemment, Kleibeuker *et al.* (2017) ont cherché à répliquer ces résultats dans une étude de neuro-imagerie chez des adolescents. Contrairement à leur recherche précédente, les protocoles d'apprentissages n'ont pas provoqué de stimulation des performances créatives. Au contraire, l'apprentissage à la flexibilité tendait à diminuer la fluence et l'originalité, alors que l'apprentissage à l'idéation créative n'avait aucun effet. Malgré l'absence de réplification des résultats comportementaux, les auteurs ont observé des changements, suite aux sessions d'apprentissages, au niveau des activations fonctionnelles : les individus recrutaient davantage le gyrus temporal moyen gauche, que les auteurs associent à des processus

exécutifs spécifiquement sémantiques (Kleibeuker *et al.*, 2017 ; Whitney, Kirk, O’Sullivan, Ralph & Jefferies, 2012), et le gyrus frontal moyen, qui semble spécifiquement impliqué dans l’idéation créative, en comparaison avec une simple tâche de génération de caractéristiques classiques d’objets. Ce résultat prouve à nouveau que les fonctions cognitives de haut niveau, telles que les fonctions exécutives, sont impliquées dans la génération d’idées créatives. En outre, plus cette région est recrutée, plus les performances des adolescents évoluent entre le pré-test et le post-test. Ainsi, bien que les apprentissages n’aient pas engendré une augmentation de la créativité pour l’ensemble de l’échantillon, l’augmentation des performances chez certains individus serait spécifiquement reliée à l’activation de régions cérébrales impliquées dans les processus de contrôle cognitif.

4. Les effets de fixation dans la génération d’idées créatives : le rôle des exemples

Le phénomène de fixation n’est pas uniquement présent lorsque les individus sont focalisés sur la fonction usuelle d’un objet : il peut se retrouver lorsque des stratégies automatiques ou sur apprises viennent contraindre l’exploration de solutions originales à un problème. Afin d’étudier spécifiquement le phénomène de fixation dans la génération d’idées créatives, son développement et les processus cognitifs permettant de le dépasser, certains auteurs (Agogué *et al.*, 2014) ont conçu une nouvelle épreuve de pensée divergente qui présente une forte composante de résolution de problème. Cet exercice, dénommé « tâche de l’œuf », consiste à générer un maximum d’idées créatives pour faire en sorte qu’un œuf de poule lâché d’une hauteur de 10 mètres ne se casse pas. La modélisation de cet exercice a été effectuée en utilisant un outil développé dans le domaine de la conception innovante, ce qui a permis d’établir une cartographie de l’ensemble des réponses atteignables (Hatchuel & Weil, 2009 ; Hatchuel *et al.*, 2011 ; Kazakçi & Tsoukias, 2005 ; Le Masson, Weil & Hatchuel, 2010). Grâce à cette cartographie, les auteurs ont distingué 10 types de solutions envisageables, appelés méta-catégories, pour répondre à la tâche de l’œuf : 1) amortir le choc, 2) protéger l’œuf, 3) ralentir la chute, 4) interrompre la chute, 5) agir avant la chute, 6) agir après la chute, 7) utiliser un dispositif vivant, 8) modifier les propriétés de l’œuf, 9) utiliser les propriétés naturelles de l’œuf, et, enfin, 10) agir sur les propriétés de l’environnement (Agogué *et al.*, 2014).

Dans une série d’études (Agogué *et al.*, 2014 ; Agogué, Le Masson, Dalmaso, Houdé & Cassotti, 2015 ; Cassotti *et al.*, 2016), il a été démontré que l’exploration des solutions proposées pour résoudre la tâche de l’œuf était fortement contrainte par un phénomène de fixation cognitive. Plus de 80 % des solutions générées par les adultes se répartissaient en seulement trois méta-catégories : « amortir le choc », « ralentir la chute » et « protéger l’œuf ». Cette fixation sur un nombre limité de solutions contraint fortement l’exploration d’autres voies plus originales. Ainsi, moins de 20 % des réponses générées se répartissaient dans les sept autres méta-catégories. Après avoir validé cette nouvelle mesure de la fixation cognitive, Agogué *et al.*, (2014) et Cassotti *et al.*, (2016) ont proposé à des enfants, des adolescents et des adultes de résoudre la tâche de l’œuf dans des circonstances similaires, au sein d’une même étude développementale. Les auteurs ont montré que la génération d’idées créatives est contrainte par des phénomènes de fixation cognitive,

quel que soit l'âge des participants. Toutefois, la nature de l'effet de fixation évolue avec l'âge (Figure 5). En effet, les résultats confirment que les adultes sont fixés sur un nombre limité d'options qui consistent à «ralentir la chute», «protéger l'œuf», ou «amortir le choc». Par ailleurs, les adolescents sont autant fixés sur ces trois méta-catégories, bien qu'il soit possible d'observer des variations de l'utilisation de chacune des catégories. En revanche, les enfants de 10 ans ne proposent pas spontanément de solution consistant à «ralentir la chute». Cette méta-catégorie est alors significativement moins utilisée par les enfants que par les adultes, et ne remplit même pas les critères de labellisation d'une «méta-catégorie de fixation» (fréquence d'utilisation de la catégorie significativement plus importante que la fréquence théorique associée). Ainsi, «ralentir la chute» ne constitue pas en soit un effet de fixation chez les plus jeunes. Ces résultats démontrent que la nature des réponses données spontanément, voie dite de la «moindre résistance», au sein de la tâche de l'œuf évolue entre l'enfance et l'âge adulte. Malgré tout, une question subsiste : pourquoi les enfants de 10 ans ne pensent pas à ralentir la chute de l'œuf, alors qu'ils connaissent pertinemment ce qu'est par exemple un parachute? D'après les auteurs, certaines stratégies de résolution de problème seraient progressivement automatisées avec l'expérience et appliquées dans des circonstances comparables grâce au raisonnement par analogie. La mise en évidence du développement des effets de fixation pose donc une question essentielle à la fois d'un point de vue fondamental, mais aussi d'un point de vue pratique pour qui souhaiterait aider un individu à sortir de sa fixation. Tel que Duncker (1945; voir aussi Adamson, 1952) l'avait montré avec la tâche des «boîtes», ou encore tel que Hanus *et al.* (2011) l'avaient observé avec la tâche de la «cacahouète», la prégnance de l'effet de fixation est modulable par le simple amorçage d'une connaissance présentée avant de résoudre le problème. Alors que l'amorçage de la connaissance qui crée la fixation fonctionnelle semble être délétère pour la résolution du problème, l'amorçage de l'utilisation alternative de l'objet cible est facilitante. Ces résultats laissent penser que la nature de la connaissance activée préalablement à la résolution de problème est déterminante pour la résolution de problèmes créatifs. Si la connaissance fixante est de nature différente entre deux populations, alors on peut émettre l'hypothèse qu'une même connaissance aura un impact différent selon sa nature.

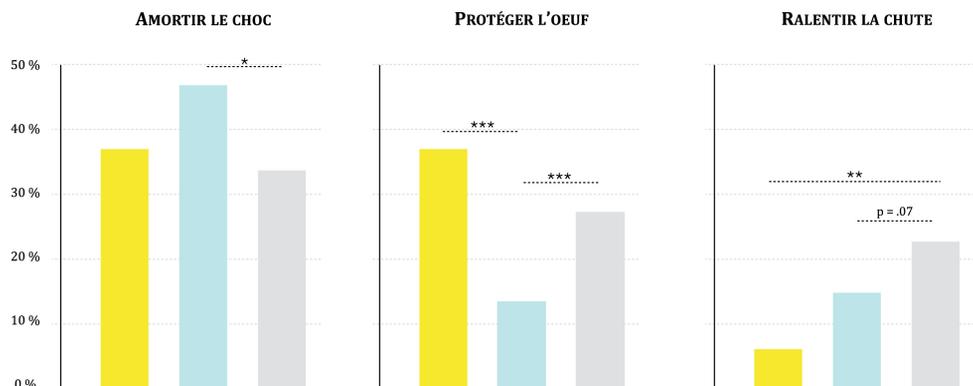


Figure 8.5 Développement des méta-catégories de fixation au cours de l'enfance, l'adolescence, jusqu'à l'âge adulte dans le cadre de la «tâche de l'œuf» (Agogué *et al.*, 2014). * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .005$

Initialement, les études s'intéressant à l'impact d'un exemple sur les compétences de générativité des individus mettaient en évidence des effets opposés. Ainsi, Dugosh et Paulus (2005) ont observé que les participants proposaient davantage de solutions originales lorsqu'un ensemble d'exemples leur était préalablement fourni. À l'inverse, Smith, Ward & Schumacher (1993) ont mis en évidence que les participants qui doivent générer des dessins créatifs développent de nouvelles fixations après avoir été confronté à des exemples.

L'identification par Agogué, al., (2014) des catégories de réponses appartenant à la fixation a conduit les auteurs à émettre l'hypothèse selon laquelle l'effet potentiel des exemples de solutions sur la génération d'idées créatives lors d'une tâche de pensée divergente dépendrait de la nature de la connaissance activée. Si l'exemple appartient aux catégories de fixation alors il devrait renforcer l'activation des connaissances aisément accessibles et automatique, et ainsi diminuer la capacité des individus à sortir de la fixation. À l'inverse, un exemple parmi les catégories en dehors de la fixation devrait provoquer une expansion des connaissances, conduisant alors à la création d'analogie plus lointaines et à une stimulation de la génération d'idées créatives. Étant donné que les enfants partagent une partie de la fixation cognitive des adultes, mais qu'ils ne sont pas fixés sur la catégorie «ralentir la chute», serait-il possible qu'un exemple tel que «utiliser un parachute pour ralentir la chute de l'œuf» ait un effet négatif chez les adultes et positif chez les enfants? Les résultats décrits par Cassotti *et al.*, (2016) confirment cette hypothèse. Lorsque les adultes sont confrontés à un exemple de solution faisant partie de leur fixation, leurs performances de créativité diminuent comparé à un groupe d'adulte n'ayant pas reçu d'exemple. En revanche, l'effet opposé est observé chez les enfants: l'exemple du parachute, étant à l'extérieur de leur fixation initiale, stimule significativement leurs compétences créatives. Ainsi, alors que les indicateurs quantitatifs (nombre d'idées générées et nombre de catégories abordées) et qualitatifs (originalité des solutions proposées) observées au sein des groupes n'ayant pas reçu d'exemple mettent en évidence que les performances des enfants sont significativement moins bonnes que celles des adultes, l'introduction d'un simple exemple a permis d'éliminer cette différence développementale: les enfants deviennent aussi performants que les adultes quand le bon exemple est utilisé.

Cette étude apporte donc une preuve supplémentaire de l'effet bénéfique des exemples, dès lors que l'exemple proposé est en dehors de la fixation du participant. En effet, lorsque l'exemple fait partie de la fixation de l'individu, il a un effet délétère et tend à contraindre l'idéation (par exemple le parachute pour les adultes). À l'inverse, lorsque l'exemple est extérieur à la fixation de l'individu (exemple du parachute pour les enfants), il tend à stimuler les performances (Bonnardel & Marmeche, 2004; Bonnardel & Zenasni, 2007). Toutefois, il est important de noter que les enfants ayant été confrontés à l'exemple n'explorent pas l'ensemble des autres solutions qui s'ouvrent à eux, au sein des voies d'expansion, comme les résultats obtenus chez les adultes peuvent le suggérer (Agogué, Kazakci *et al.*, 2014), mais augmentent spécifiquement leur nombre de réponses donné au sein de la catégorie de l'exemple «ralentir la chute». En d'autres termes, l'exemple provoque chez les enfants une exploration approfondie des solutions appartenant uniquement à la catégorie de celui-ci. Ces résultats suggèrent que la sur-activation (l'amorçage) de connaissances au sein de la zone de fixation de l'individu augmente la prégnance de l'effet de fixation, en accord avec le modèle de la voie de la moindre résistance (Smith *et al.*, 1995; Ward, 1994). À l'inverse, ces résultats suggèrent également que l'introduction d'un exemple en dehors de la fixation active des connaissances moins spontanément accessibles, ce qui augmente l'exploration de l'ensemble des voies de solutions

qui s'ouvrent aux adultes. Chez les enfants, l'exemple en dehors de la fixation n'augmente que la quantité et la variété des idées générées à proximité de la solution proposée. Subsiste alors une question : comment expliquer la spécificité de l'exploration stimulée par l'exemple du parachute chez les enfants ? Différentes hypothèses sont envisageables. Tout d'abord, les enfants de 10 ans peuvent ne pas encore avoir créé l'automatisation de l'utilisation de la catégorie « ralentir la chute », car elle est trop abstraite et encore mal définie pour eux. En effet, elle nécessite des compétences de physique liées aux notions de gravité, de vitesse de chute ou encore de force, qui ne seront abordées dans les programmes scolaires qu'une fois les années de collège largement entamées. L'exemple proposé sous la forme suivante, « utiliser un parachute pour ralentir la chute de l'œuf », permettrait alors de structurer l'intérêt d'un parachute selon sa proposition de valeur qui est de « ralentir la chute », et attirerait donc les enfants sur les connaissances qui s'organiseraient autour de cette notion. La seconde hypothèse envisageable est que l'effet observé est un développement de la stratégie de l'utilisation des exemples. Les enfants ne seraient pas en mesure d'utiliser les exemples comme des guides, des amorces, vers les autres catégories de connaissances qui n'étaient pas activées initialement et ne seraient en mesure d'utiliser que cette nouvelle catégorie de solution que leur offre l'exemple donné. L'activation de connaissances induites par un exemple créerait un effet de fixation que les enfants ne seraient pas encore capables de dépasser.

5. Le modèle du triple-processus de la créativité

Comme nous venons de le présenter, de nombreuses recherches soulignent que des effets de fixation sont susceptibles de contraindre l'exploration de solutions originales. Ceci est vrai pour les domaines de la résolution de problème (Dunker, 1945) mais également de la pensée divergente (Cassotti *et al.*, 2016). L'ensemble de ces travaux a conduit à la proposition d'un modèle triadique de la créativité permettant de mieux comprendre les effets de fixation, leur développement de l'enfance à l'âge adulte, ainsi que les processus clés permettant de les dépasser (Cassotti *et al.*, 2016). D'après ce modèle, les individus auraient tendance à suivre la « voie de la moindre résistance » lorsqu'ils doivent résoudre un problème de façon créative, ce qui contraindrait fortement l'exploration de voies menant à des solutions plus originales (Cassotti *et al.*, 2016, Figure 6). Ainsi, les premières idées qui viendraient spontanément à l'esprit conduiraient les individus à se fixer sur un nombre limité d'alternatives, alors que d'autres solutions plus créatives seraient accessibles en mobilisant d'autres types de raisonnement plus génératifs. Les premières catégories de solutions spontanées seraient liées à la représentation initiale du problème donné, et résulteraient des premières associations ou analogies proches qui sont générées intuitivement par un Système 1, intuitif et heuristique. Lorsque les individus détecteraient que ces premières catégories de réponses ne sont pas suffisamment créatives, ils enclencheraient un processus clef d'inhibition cognitive (dénommé « Système 3 ») permettant de dépasser ces effets de fixation. Cela permettrait alors d'explorer de nouvelles voies de solutions en activant un second système (« Système 2 »), qualifié comme étant délibéré et analytique. Dans une perspective développementale, ce modèle reprend l'idée proposée par Houdé (2014) selon laquelle ces trois systèmes auraient des trajectoires développementales différentes. Le développement du Système 1 augmenterait la prégnance de certaines heuristiques de conception et permettrait ainsi de mieux comprendre le développement de la fixation dans la résolution de problème (German & Defeyter, 2000) et la génération d'idées

créatives dans la tâche de l'œuf (Agogué *et al.*, 2014). Ce modèle postule que la nature de la fixation évolue avec l'âge et dépend fortement des caractéristiques de la tâche. Dépasser ces effets de fixation, lorsqu'ils sont présents, impliquerait la mise en place d'un processus d'inhibition, qui se développe linéairement jusqu'à la fin de l'adolescence (Crone & Dalh, 2012). Bien que ce modèle s'appuie sur les données issues du domaine du raisonnement et permet d'expliquer, dans une certaine mesure, l'évolution non linéaire de la créativité observée entre l'enfance et l'âge adulte dans les études développementales antérieures, il s'oppose à une partie de la littérature sur la créativité. En effet, un débat persiste sur le rôle des processus contrôlés, tels que l'inhibition cognitive, dans la génération d'idées créatives.

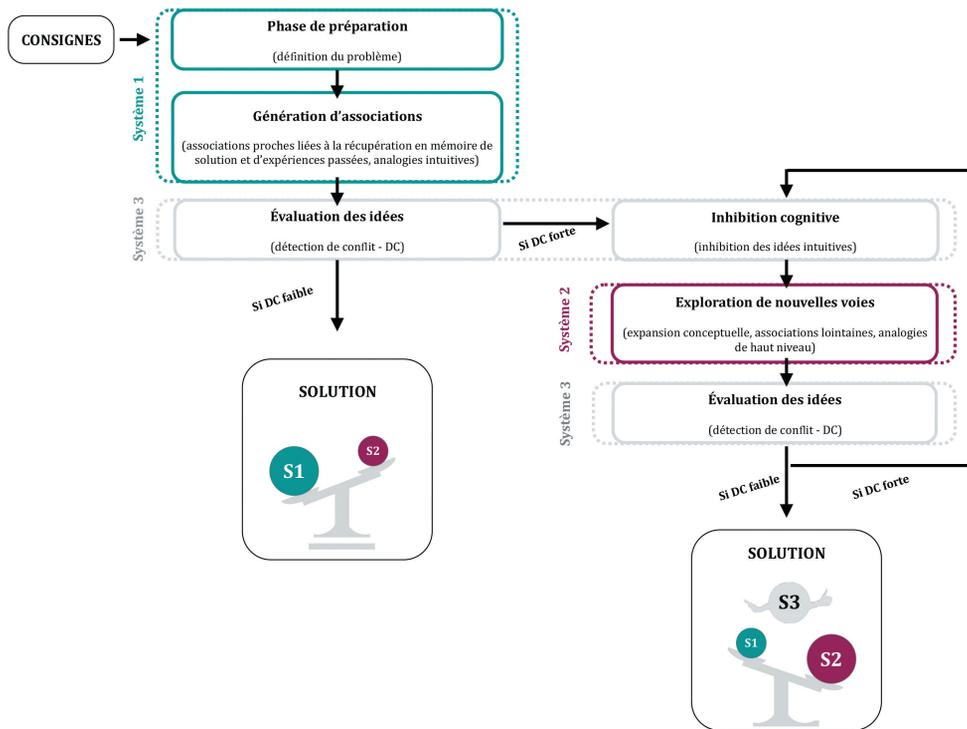


Figure 8.6 Modèle du triple processus de la créativité (Cassotti *et al.*, 2016). Après une phase initiale de représentation de la tâche, des premiers candidats de réponses basées sur des associations et des analogies proches conduisent à des heuristiques de conception appartenant au Système 1. Lorsque la détection de conflit est faible une réponse intuitive est proposée (i.e., les individus ne détectent pas que ces premières réponses sont faiblement créatives). En revanche, lorsque la détection de conflit est élevée, elle permet le déclenchement de l'inhibition (Système 3) des solutions appartenant au Système 1, et l'activation du Système 2 (associations et analogies lointaines).

6. Le rôle du contrôle inhibiteur dans l'idéation créative

Les premiers modèles de la créativité ont longtemps suggéré que l'idéation impliquait principalement des processus automatiques (Eysenck, 1995; Martindale, 1999; Mednick, 1962) tels que l'association libre ou encore la « désinhibition ». À la lumière de ces théories,

qui vont à l'encontre de ce que nous venons d'aborder à la fin de la partie précédente, un manque d'inhibition (i.e., capacité à bloquer l'activation automatique de réponses ou de stratégies) favoriserait les associations intuitives, et stimulerait ainsi la pensée créative. Plusieurs études ont apporté des arguments expérimentaux en faveur de cette hypothèse, en montrant des corrélations négatives entre les performances des individus aux tâches mesurant les compétences d'inhibition cognitive et des mesures de pensées divergentes (Dorfinan, 2008; Kharkhurin, 2011; Lin & Lien, 2013; Radel *et al.*, 2015). Certaines recherches en neuropsychologie ont également montré que les patients ayant une atteinte du contrôle cognitif étaient plus créatifs que les individus sains (Abraham *et al.*, 2006; Healey & Rucklidge, 2006; Reverberi, Toraldo, D'Agostini & Skrap, 2005; Russ, 2001; White & Shah, 2006). Toutefois, il est important de noter qu'une altération du fonctionnement exécutif général, non spécifique à l'inhibition cognitive, est rapportée chez ces patients dans la plupart de ces recherches (De Souza *et al.*, 2014). À l'inverse, des travaux de psychologie et de neurosciences cognitives ont souligné le rôle positif de l'inhibition cognitive dans l'idéation créative. Par exemple, des études corrélationnelles ont montré des liens positifs entre les mesures d'inhibition cognitive et un ensemble de mesures de créativité (Beatty, Silvia, Nusbaum, Jauk & Benedek, 2012; Benedek, Franz, Heene & Neubauer, 2012; Vartanian, 2009). De plus, les designers qui sont connus pour être des experts dans l'exploration de différentes voies créatives, présentent non seulement de meilleurs scores de pensée divergente mais aussi de contrôle inhibiteur, comparés à un groupe de participants n'ayant pas bénéficié d'une formation intensive à la créativité (Edl *et al.*, 2014; voir aussi Agogué *et al.*, 2015). Bien évidemment, l'hypothèse selon laquelle l'inhibition cognitive serait un processus exécutif clef de la génération d'idées est également soutenue par l'approche cognitive de la créativité et le modèle triadique de la créativité décrit plus haut, qui souligne la nécessité de dépasser les effets de fixation pour proposer des solutions originales à un problème (Cassotti *et al.*, 2016; Storm & Angello, 2010; Storm & Patel, 2014).

Les divergences de résultats obtenus dans les études corrélationnelles antérieures ont imposé la conception de nouvelles recherches permettant d'établir une relation de causalité entre la disponibilité des ressources inhibitrices et l'idéation créative. Dans ce contexte, Camarda *et al.* (2018a) ont proposé un paradigme de double tâche à des adultes. Ce type d'expérience, largement utilisée et validée dans différents domaines tels que le raisonnement (De Neys, 2006a; 2006b) ou encore les théories de l'esprit (Bull, Phillips & Conway, 2007), a démontré qu'il était possible de réduire les ressources d'une fonction exécutive si celles-ci sont déjà allouées à une tâche spécifique. Ainsi, en mobilisant les ressources d'inhibition cognitive lors de la réalisation de la tâche emblématique du Stroop (Stroop, 1935), les ressources d'inhibition ne devraient plus suffisamment être disponibles pour être impliquée dans la réalisation de la tâche cible (ici, la tâche de créativité, Brown, Collier, et Night, 2013). Camarda *et al.* (2018a) ont alors demandé aux participants de générer un maximum d'idées créatives à la «tâche de l'œuf» durant cinq minutes, et en même temps de résoudre la tâche du Stroop (Stroop, 1935) sur ordinateur. La tâche du stroop consiste à dénommer la couleur de l'encre d'un mot écrit, dont la signification est aussi une couleur: Par exemple, le mot BLEU écrit en rouge. Étant donné que la couleur de l'encre à dénommer (i.e., rouge) est incongruente avec la signification du mot (i.e., bleu), un conflit oblige le participant à inhiber la lecture automatique du mot pour dénommer correctement la couleur de l'encre. Les ressources d'inhibition cognitive du participant

sont donc mobilisées afin de répondre correctement aux stimuli de la tâche du Stroop, et ne sont plus disponibles dans le cadre de la tâche de créativité que le participant doit effectuer simultanément. Les résultats observés ont permis de mettre en évidence que lorsque les ressources d'inhibition cognitive sont réduites et ne sont plus suffisamment disponibles pour résoudre une tâche de génération d'idées créatives, le nombre de réponses générées et l'exploration des voies de solutions expansives (i.e., hors de la fixation) sont réduits. Par ailleurs, les auteurs ont proposé d'autres conditions expérimentales permettant de vérifier que la diminution des compétences de créativité n'est observée que lorsque les ressources d'inhibitions cognitives sont diminuées. En particulier, l'utilisation d'une double tâche simple, qui ne diminue pas les ressources exécutives, ou bien l'utilisation d'une double tâche visant à diminuer les compétences exécutives de mémoire de travail, ne suffisent pas à reproduire la diminution de la créativité des participants comme celle observée pendant qu'ils effectuent une tâche nécessitant l'implication des processus d'inhibition. Les résultats observés par Camarda *et al.* (2018a) sont ainsi compatibles avec les prédictions du modèle du triadique de la créativité, et en accord avec de nombreuses autres études (Beaty, Silvia, Nusbaum, Jauk & Benedek, 2012; Benedek, Franz, Heene & Neubauer, 2012; Vartanian, 2009) qui suggèrent que l'inhibition cognitive est un phénomène clef dans le dépassement des effets de fixation (Cassotti *et al.*, 2016).

Depuis plus de 10 ans, les études menées en neuro-imagerie fonctionnelle ont également apporté des résultats expérimentaux convaincants en faveur d'un rôle positif de l'inhibition cognitive dans la génération d'idées créatives. Outre les études mentionnées plus haut sur les bases neurales de la pensée divergente, une méta-analyse réalisée à partir de 45 études en IRMf portant sur la pensée créative a mis en évidence que la créativité verbale et visuo-spatiale impliquait l'activation de régions préfrontales incluant le cortex cingulaire antérieur, le gyrus frontal inférieur et le gyrus frontal moyen. Ces structures sont connues pour être associées aux processus de détection de conflit, au contrôle inhibiteur et à la mémoire de travail (Boccia *et al.*, 2015). De plus, Camarda *et al.*, (2018b) ont récemment proposé une étude dont le but était de mettre spécifiquement en évidence les réseaux neuronaux impliqués dans le dépassement des effets de fixation lors de la génération d'idées créatives. Les auteurs ont proposé aux participants de générer des utilisations alternatives d'objet (tâche de créativité) selon deux conditions expérimentales : dans la condition contrôle, seul le nom de chaque objet était présenté au participant (i.e., une brosse à dents), alors que dans la condition d'amorçage le nom ainsi que l'utilisation classique de l'objet étaient présentés (i.e., une brosse à dents pour se laver les dents). Dans la continuité des précédents travaux sur ce thème (Duncker, 1945; Adamson, 1952; German & Deyfeter, 2003; Hanus *et al.*, 2011; Cassotti *et al.*, 2016), les auteurs ont utilisé un paradigme d'amorçage de la connaissance à l'origine de la fixation fonctionnelle, dans le but d'augmenter la prégnance de ce biais et de contraindre les participants à engager les réseaux spécifiquement impliqués dans les mécanismes permettant le dépassement des effets de fixation. Afin d'étudier l'interaction entre différents processus cognitifs qui aideraient à surmonter les effets de fixations, ils ont différencié les mécanismes utilisés par les individus les moins créatifs des plus créatifs. Les auteurs ont ensuite analysé la puissance des ondes alpha tout au long de la fenêtre temporelle qui précédait l'apparition de l'idée du participant (entre -1250 à -250 millisecondes). Si la puissance des ondes alpha observée lors de la tâche de génération d'idée créative est supérieure à la puissance observée lors de la ligne de base (condition de référence),

alors on parle de «synchronisation alpha», si elle est inférieure à celle observée à la ligne de base on parle de «désynchronisation alpha». Cette étude a permis de mettre en évidence trois résultats principaux. Tout d'abord, d'un point de vue comportemental, et corroborant les études de la littérature à propos de la fixation fonctionnelle (Duncker, 1945; Adamson, 1952; German & Deyfeter, 2003; German & Barrett, 2005), la première réponse générée par les participants était significativement plus fixée en situation d'amorçage qu'en situation contrôle. Malgré tout, les participants ont réussi à pallier cette difficulté initiale, puisque la dernière réponse proposée était aussi expansive dans l'une que dans l'autre des conditions expérimentales. En outre, plus les individus avaient un score d'efficacité du contrôle cognitif important (testé grâce à une tâche d'inhibition cognitive hors de l'appareillage EEG), plus les réponses qu'ils produisaient étaient éloignées de l'utilisation habituelle de l'objet proposé. Ces résultats, qui seront discutés par la suite, résultent bien des mécanismes cognitifs impliqués dans le dépassement des effets de fixation. Les analyses électrophysiologiques observées en condition contrôle ont montré que la génération d'utilisations alternatives d'un objet implique un maintien de la synchronisation alpha en régions frontale et pariétale chez les participants les plus expansifs, tout au long de la fenêtre temporelle étudiée. Cependant, cette synchronisation alpha diminue au cours du temps dans la région frontale pour les participants les moins créatifs. Cette synchronisation du rythme alpha est aujourd'hui connue pour refléter l'augmentation de l'activité corticale, en lien avec les processus top-down qui permettent de réguler et d'inhiber certaines associations sémantiques non pertinentes (Benedek *et al.*, 2011; Benedek *et al.*, 2014). En d'autres termes, l'implication des fonctions exécutives, qui sous-tendent un contrôle top-down des informations extérieures ou de certaines associations sémantiques générées, permettrait de différencier les participants les plus expansifs des moins expansifs lorsqu'ils sont simplement amenés à générer des utilisations alternatives créatives d'objets. Enfin, dépasser la fixation fonctionnelle ne reposerait pas uniquement sur les fonctions exécutives, mais également sur l'établissement de nouvelles associations sémantiques. En effet, quel que soit le niveau de créativité des participants, en situation d'amorçage de la fonction habituelle de l'objet, le signal alpha reste synchronisé en région frontale. Ainsi, quel que soit le niveau d'expansion observé par les participants, ils semblent être en mesure d'engager des processus de contrôle cognitif (Benedek *et al.*, 2011; Benedek *et al.*, 2014; Klimesch *et al.*, 2007). Cependant, dans cette même condition, les résultats soulignent que la variation de la puissance alpha en zone pariétale est un élément clef permettant de distinguer les participants du groupe fortement expansif et ceux du groupe faiblement expansif. Plus spécifiquement, les individus expansifs conservent une synchronisation alpha tout au long de la phase d'activation, même si elle diminue linéairement au fur et à mesure du temps. À l'inverse, le signal alpha observé chez les individus faiblement expansifs est désynchronisé dès le départ. Les résultats d'études antérieures ont suggéré que la synchronisation alpha au niveau des régions pariétales postérieures refléterait l'utilisation de processus internes facilitant la recombinaison d'éléments sémantiques distants (Fink *et al.*, 2006; Fink *et al.*, 2009; Von Stein & Sarnthein, 2000). En revanche, la désynchronisation alpha de cette même région serait liée à l'utilisation d'informations provenant de l'environnement (Benedek *et al.*, 2012; Benedek *et al.*, 2014, [Figure 7](#)). En d'autres termes, lorsque l'utilisation classique d'un objet est présentée, nous pouvons faire l'hypothèse que tous les individus ont une facilité à détecter la connaissance qu'il faudra inhiber

par la suite, et que la différence entre les participants les moins créatifs et les plus créatifs réside dans les stratégies privilégiées dans le but de créer des associations lointaines : les participants les plus expansifs favoriseraient le processus de contrôle d'associations sémantiques, alors que ceux moins créatifs auraient tendance à utiliser les informations présentes dans l'environnement pour générer des idées.

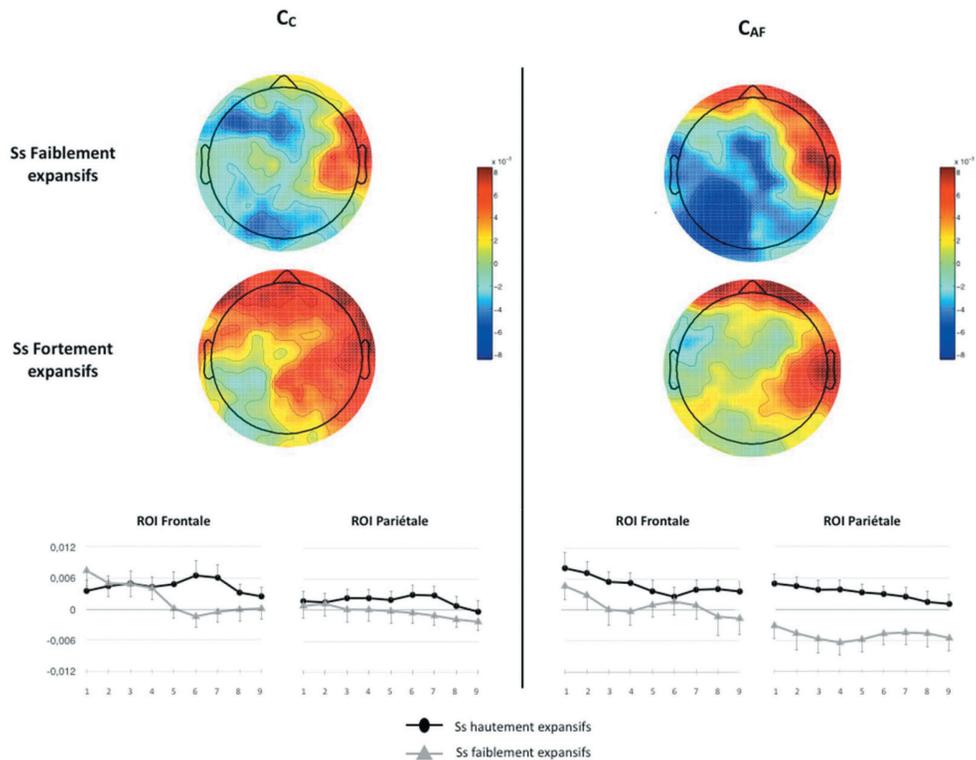


Figure 8.7 Changement de TRP (puissance des ondes alpha) observé dans les régions frontale et pariétale, pour chacune des conditions (Condition contrôle-CC ; Condition d'amorçage de la fixation-CAF), pour les participants faiblement et fortement expansifs. La synchronisation alpha est représentée par les valeurs positives, et la désynchronisation alpha est représentée par les valeurs négatives.

7. Conclusion

Les données issues de la psychologie et des neurosciences du développement confirment que la génération d'une idée à la fois originale et adaptée aux contraintes de la tâche peut être contrainte par des phénomènes de fixation, qu'il convient de dépasser pour explorer des solutions plus créatives. Contrairement à l'idée reçue selon laquelle les enfants seraient nécessairement plus créatifs que les adultes, ces recherches ont permis de mieux comprendre les processus cognitifs impliqués dans le dépassement de ces effets de fixation. Ainsi, lorsque les enfants, les adolescents ou les adultes cherchent à résoudre un problème de façon créative ou à trouver des idées originales afin de « sortir du cadre », ils sont biaisés, perturbés, par des automatismes de pensée. En ayant recours à des analogies proches, ils s'enferment alors dans des voies de solution peu créatives. Les études récentes en psychologie du développement

ont démontré que ces effets de fixation se développent avec l'âge et que certains automatismes sont absents chez les enfants et se construisent pendant l'adolescence. En outre, les recherches en neurosciences cognitives ont clairement remis en question les premiers modèles théoriques de la créativité qui supposaient que les processus de contrôle cognitif venaient parasiter l'activation de processus automatiques qui constituaient l'essence même de la créativité. En révélant que la génération d'idée créative repose sur l'activation d'un réseau cérébral connu pour son rôle clé dans les fonctions exécutives, ces études de neuro-imagerie ont non seulement confirmé que la créativité nécessite d'inhiber des idées ou des stratégies plus intuitives, mais aussi que cette capacité se développe pendant l'adolescence. Ces hypothèses interprétatives des modulations de l'activité cérébrale pendant l'idéation créative ont également été renforcées par des études en psychologie expérimentale du développement. Les recherches en neurosciences cognitives du développement de la créativité restent rares. Aucun doute que ce domaine fera prochainement l'objet d'un engouement croissant. Si on ne peut pas anticiper que ces recherches de neuro-imagerie vont permettre des applications pour le monde de l'éducation, une approche interdisciplinaire intégrant les enseignants devrait permettre de favoriser le développement de procédures d'apprentissages à la créativité, à destination à la fois des enfants, des adolescents et des adultes.

Références

- Abraham, A., Windmann, S., Siefen, R., Daum, I., & Güntürkün, O. (2006). Creative thinking in adolescents with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Child Neuropsychology*, 12(2), 111-123.
- Adamson, R. E. (1952). Functional fixiness as related to problem solving : a repetition of three experiments. *Journal of Experimental Psychology*, 44(4), 288-291.
- Agogué, M. (2013). *L'innovation orpheline: Lutter contre les biais cognitifs dans les dynamiques industrielles*. Presses des MINES.
- Agogué, M., Hooge, S., Arnoux, F., & Brown, I. (2013). *An introduction to innovative design-Elements and applications of CK theory*. Presses des Mines.
- Agogué, M., Le Masson, P., Dalmasso, C., Houdé, O., & Cassotti, M. (2015). Resisting classical solutions: The creative mind of industrial designers and engineers. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 9(3), 313.
- Agogué, M., Poirel, N., Pineau, A., Houdé, O., & Cassotti, M. (2014). The impact of age and training on creativity: a design-theory approach to study fixation effects. *Thinking Skills and Creativity*, 11, 33-41.
- Agogué, M., Kazakçi, A., Hatchuel, A., Le Masson, P., Weil, B., Poirel, N., & Cassotti, M. (2014). The impact of type of examples on originality: Explaining fixation and stimulation effects. *The Journal of Creative Behavior*, 48, 1-12.
- Aïte, A., Berthoz, A., Vidal, J., Roell, M., Zaoui, M., Houdé, O., & Borst, G. (2016). Taking a third-person perspective requires inhibitory control: Evidence from a developmental negative priming study. *Child Development*, 87, 1825-1840.
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in cognitive sciences*, 8(4), 170-177.
- Barsalou, L. W. (1987). The instability of graded structure: Implications for the nature of concepts. *Concepts and conceptual development: Ecological and intellectual factors in categorization*, 10139.
- Bechtereva, N. P., Korotkov, A. D., Pakhomov, S. V., Roudas, M. S., Starchenko, M. G., & Medvedev, S. V. (2004). PET study of brain maintenance of verbal creative activity. *International Journal of Psychophysiology*, 53(1), 11-20.
- Beaty, R. E., Silvia, P. J., Nusbaum, E. C., Jauk, E., & Benedek, M. (2012). The role of associative and executive processes in creative cognition. *Memory and cognition*, 47(7), 1186-1197.
- Benedek, M., Bergner, S., Könen, T., Fink, A., & Neubauer, A. C. (2011). EEG alpha synchronization is related to top-down processing in convergent and divergent thinking. *Neuropsychologia*, 49(12), 3505-3511.
- Benedek, M., Franz, F., Heene, M., & Neubauer, A. C. (2012). Differential effects of cognitive inhibition and intelligence on creativity. *Personality and Individual Differences*, 53, 480-485.
- Benedek, M., Jauk, E., Fink, A., Koschutnig, K., Reishofer, G., Ebner, F., et al. (2014a). To create or to recall? Neural mechanisms underlying the generation of creative new ideas. *NeuroImage*, 88, 125-133.
- Benedek, M., Schickel, R. J., Jauk, E., Fink, A., & Neubauer, A. C. (2014b). Alpha power increases in right parietal cortex reflects focused internal attention. *Neuropsychologia*, 56, 393-400.
- Besançon, M., & Lubart, T. (2015). Influence de l'environnement sur les performances créatives. *PSY-Évaluation, mesure, diagnostic*, 65-94.
- Blakemore, S. J., & Choudhury, S. (2006). Brain development during puberty: state of the science. *Developmental science*, 9(1), 11-14.
- Boccia, M., Piccardi, L., Palermo, L., Nori, R., & Palmiero, M. (2015). Where do bright ideas occur in our brain? Meta-analytic evidence from neuroimaging studies of domain-specific creativity. *Frontiers in Psychology*, 6(1195).
- Bonnardel, N., & Marmèche, E. (2004). Evocation processes by novice and expert designers: Towards stimulating analogical thinking. *Creativity and Innovation Management*, 13(3), 176-186.

- Bonnardel, N., & Zenasni, F. (2007). The impact of technology on creativity in design: an enhancement? *Creativity and innovation management*, 19(2), 180-191.
- Borst, G., Pineau, A., Poirrel, N., Cassotti, M., & Houdé, O. (2013). Inhibitory control efficiency in a Piaget-like class-inclusion task in school-age children and adults: A developmental negative priming study. *Developmental Psychology*, 49, 1366-1374.
- Bull, R., Phillips, L. H., & Conway, C. A. (2008). The role of control functions in mentalizing: Dual-task studies of theory of mind and executive function. *Cognition*, 107, 663-672.
- Cacciari, C., Levorato, M. C., & Cicogna, P. (1997). Imagination at work: Conceptual and linguistic creativity in children. In Ward, T., Smith, S., & Vaid, J. (eds.) *Creative Thought; An Investigation of Conceptual Structures and Processes* (Washington, D.C., American Psychological Association).
- Camarda, A., Borst, G., Agogué, M., Habib, M., Weil, B., Houdé, O., & Cassotti, M. (2018a). Do we need inhibitory control to be creative? Evidence from a dual-task paradigm. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 12(3), 351-358. <http://doi.org/10.1037/aca0000140>
- Camarda, A., Salvia, E., Vidal, J., Weill, B., Poirrel, N., Houdé, O., Borst, G., & Cassotti, M. (2018b). Neural basis of functional fixedness during creative idea generation: an EEG study. *Neuropsychologia*, 118, 4-12. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.009>
- Cassotti, M., Agogué, M., Camarda, A., Houdé, O., & Borst, G. (2016). Inhibitory control as a core process of creative problem solving and idea generation from childhood to adulthood. *New directions for child and adolescent development*, 151, 61-72.
- Cassotti, M., Camarda, A., Poirrel, N., Houdé, O., & Agogué, M. (2016). Fixation effect in creative ideas generation: Opposite impacts of example in children and adults. *Thinking Skills and Creativity*, 19, 146-152.
- Cassotti, M., Houdé, O., & Moutier, S. (2011). Developmental changes of win-stay and loss-shift strategies in decision making. *Child Neuropsychology*, 17(4), 400-411.
- Cassotti, M., & Moutier, S. (2010). How to explain receptivity to conjunction fallacy inhibition training: evidence from the Iowa Gambling Task. *Brain and cognition*, 72, 378-384.
- Claxton, A. F., Pannells, T. C., & Rhoads, P. A. (2005). Developmental trends in the creativity of school-age children. *Creativity Research Journal*, 17(4), 327-335.
- Crone, E. A., & Dahl, R. E. (2012). Understanding adolescence as a period of social – affective engagement and goal flexibility. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(9), 636-650.
- Crone, E. A., & Ridderinkhof, K. R. (2011). The developing brain: from theory to neuroimaging and back. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 1(2), 101-109.
- Cropley, A. (2006). In praise of convergent thinking. *Creativity research journal*, 18(3), 391-404.
- Chrysikou, E. G., Motyka, K., Nigro, C., Yang, S. I., & Thompson-Schill, S. L. (2016). Functional fixedness in creative thinking tasks depends on stimulus modality. *Psychology of aesthetics, creativity, and the arts*, 10(4), 425.
- Daugherty, M. (1993). Creativity and private speech: Developmental trends. *Creativity Research Journal*, 6(3), 287-296.
- Davis, G. A. (1997). Identifying creative students and measuring creativity. *Handbook of gifted education*, 2, 269-281.
- De Neys, W. (2006a). Automatic-heuristic and executive-analytic processing during reasoning: Chronometric and dual-task considerations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 1070-1100.
- De Neys, W. (2006b). Dual Processing in Reasoning: Two Systems but One Reasoner. *Psychological Science*, 17, 428-433.
- De Neys, W. (2012). Bias and conflict: A case for logical intuitions. *Perspectives on Psychological Science*, 7, 28-38.
- De Neys, W. (2014). Conflict detection, dual processes, and logical intuitions: Some clarifications. *Thinking & Reasoning*, 20, 169-187.
- Dess, G. G., & Picken, J. C. (2000). Changing roles: Leadership in the 21st century. *Organizational Dynamics*, 28(3), 18-34.
- De Souza, L. C., Guimaraes, H. C., Teixeira, A. L., Caramelli, P., Levy, R., Dubois, B., & Volle, E. (2014). Frontal lobe neurology and the creative mind. *Frontiers in Psychology*, 5, 1-21.
- Dietrich, A., Kanso, R. (2010). A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychological Bulletin*, 136, 822-848.
- Dorfman, L., Martindale, C., Gassimova, V., & Vartanian, O. (2008). Creativity and speed of information processing: A double dissociation involving elementary versus inhibitory cognitive tasks. *Personality and Individual Differences*, 44(6), 1382-1390.
- Dugosh, K. L., & Paulus, P. B. (2005). Cognitive and social comparison processes in brainstorming. *Journal of experimental social psychology*, 41(3), 313-320.
- Duncker, K., & Lees, L. S. (1945). On problem-solving. *Psychological Monographs*, 58(5).
- Edl, S., Benedek, M., Papousek, I., Weiss, E. M., & Fink, A. (2014). Creativity and the Stroop interference effect. *Personality and Individual Differences*, 69, 38-42.
- Eysenck, H. J. (1955). Cortical inhibition, figural aftereffect, and theory of personality. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 51(1), 94.
- He, W., & Wong, W. (2015). Creativity slump and school transition stress: A sequential study from the perspective of the cognitive-relational theory of stress. *Learning and Individual Differences*, 43, 185-190.
- Healey, D., & Rucklidge, J. J. (2006). An investigation into the relationship among ADHD symptomatology, creativity, and neuropsychological functioning in children. *Child Neuropsychology*, 12, 421-438.
- Fink, A., Benedek, M., Grabner, R. H., Staudt, B., & Neubauer, A. C. (2007). Creativity meets neuroscience: Experimental tasks for the neuroscientific study of creative thinking. *Methods*, 42(1), 68-76.
- Fink, A., Grabner, R. H., Benedek, M., & Neubauer, A. C. (2006). Divergent thinking training is related to frontal electroencephalogram alpha synchronization. *European Journal of Neuroscience*, 23(8), 2241-2246.
- Fink, A., Grabner, R. H., Benedek, M., Reishofer, G., Hauswirth, V., Fally, M., Neuper, C., Ebner, F., & Neubauer, A. C. (2009). The creative brain: Investigation of brain activity during creative problem solving by means of EEG and fMRI. *Human Brain Mapping*, 30(3), 734-748.
- Gardner, H. (1988). Creativity: An interdisciplinary perspective. *Creativity Research Journal*, 1(1), 8-26.
- Gardner, H., & Winner, E. (1982). First intimations of artistry. *U-shaped behavioral growth*, 147-168.
- German, T.P., & Barrett, H.C. (2005). Functional fixedness in a technologically sparse culture. *Psychological Science*, 16, 1-5.
- German, T. P., & Defeyter, M. A. (2000). Immunity to functional fixedness in young children. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7(4), 707-712.
- German, T. P., & Jonhson, S. A. (1997, April). Agents, goals and origins: Children understanding of artifact function. Paper presented at the biennial meeting of the Society for Research in Child Development, Washington, DC.

- Getzels, J. W., & Csikszentmihalyi, M. (1976). The creative vision: A longitudinal study of problem finding in art. New York, NY: John Wiley & Sons.
- Guilford, J. P. (1956). The structure of intellect. *Psychological bulletin*, 53(4), 267.
- Guilford, J. P. (1957). Creative abilities in the arts. *Psychological review*, 64(2), 110.
- Guilford, J. P. (1967). The nature of human intelligence. New York: McGraw-Hill.
- Guilford, J. P. (1977). *Way Behond the IQ: Guide to Improving Intelligence and Creativity*. Creative Education Foundation.
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., Nugen, T. F., Herman, D. H., Clasen, L. S., Toga, A. W., Rapoport, J. L., & Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National academy of Sciences of the United States of America*, 101(21), 8174-8179.
- Hatchuel, A. (1999). Connaissances, modèles d'interaction et rationalisations-De la théorie de l'entreprise à l'économie de la connaissance. *Revue d'économie industrielle*, 88(1), 187-209.
- Hatchuel, A., Le Masson, P., & Weil, B. (2011). Teaching innovative design reasoning: How C-K theory can help to overcome fixation effect. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 25, 77-92.
- Hatchuel, A., & Weil, B. (2002). La théorie C-K: fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception. *Herbert Simon International Conference on Design Sciences*. Lyon, 15-16 mars 2002.
- Hatchuel, A., & Weil, B. (2009). C-K design theory: An advanced formulation. *Research in Engineering Design*, 19, p. 181-192.
- Hanus, D., Mendes, N., Tennie, C., & Call, J. (2011). Comparing the performances of apes (Gorilla gorilla, Pan troglodytes, Pongo pygmaeus) and human children (Homo sapiens) in the floating peanut task. *PloS one*, 6(6), e19555.
- Houdé, O. (1995). Rationalité, développement et inhibition. Paris: PUF
- Houdé, O. (1997). The problem of deductive competence and the inhibitory control of cognition. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 16, 108-113.
- Houdé, O. (2009). *La psychologie de l'enfant*. (4e ed.) Paris: Presses Universitaires de France.
- Houdé, O. (2014). *Le raisonnement*. Paris: Presses universitaires de France.
- Houdé, O., & Borst, G. (2014). Measuring inhibitory control in children and adults. *Frontiers in Psychology*, 5(616).
- Houdé, O., & Borst, G. (2015) Evidence for an inhibitory-control theory of the reasoning brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(148).
- Houdé, O., Rossi, S., Lubin, A., & Joliot, M. (2010) Mapping numerical processing, reading, and executive functions in the developing brain: an fMRI meta-analysis of 52 studies including 842 children. *Developmental Science*, 13(6), 876-885.
- Jaarsveld, S. (2007). *Creative Cognition: New Perspectives on Creative Thinking*. Techn. Univ.
- Jaarsveld, S., & Leeuwen, C. (2005). Sketches from a design process: Creative cognition inferred from intermediate products. *Cognitive Science*, 29(1), 79-101.
- Jaquish, G. A., & Ripple, R. E. (1980). Divergent thinking and self-esteem in preadolescents and adolescents. *Journal of Youth and Adolescence*, 9(2), 143-152.
- Jansson, D.G., & Smith, S.M. (1991). Design fixation, *Design Studies*, 12 (1), 3-11.
- Jung-Beeman, M. (2005). Bilateral brain processes for comprehending natural language. *Trends in cognitive sciences*, 9(11), 512-518.
- Kahneman, D. (2003). A perspective on judgment and choice: Mapping bounded rationality. *American Psychologist*, 58, 697-720.
- Kahneman, D. (2011) *Thinking fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux.
- Kahneman, D. & Frederick, S. (2007). Frames and brains: Elicitation and control of response tendencies. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 45-46.
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1979). Prospect Theory – Analysis of Decision Under Risk. *Econometrica*, 47, 263-291.
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1984). Choices, values, and frames. *American Psychologist*, 39, 341-350.
- Kharkhurin, A. V. (2011). The Role of Selective Attention in Bilingual Creativity. *Creativity Research Journal*, 23(3), 239-254.
- Karmiloff-Smith, A. (1990). Constraints on representational change: Evidence from children's drawing. *Cognition*, 34(1), 57-83.
- Kazakçi, A. O., & Tsoukias, A. (2005). Extending the C-K design theory: A theoretical background for personal design assistants. *Journal of Engineering Design*, 16, 399-411.
- Klimesch, W., Sauseng, P., & Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: the inhibition – timing hypothesis. *Brain research reviews*, 53(1), 63-88.
- Landau, J.D., & Leynes, P.A. (2004). Manipulations that disrupt generative processes decrease conformity to examples: Evidence from two paradigms. *Memory*, 12(1), 90-103.
- Landau, J.D., Thomas, D.M., Thelen, S.E., Chang, P. (2002). Source monitoring in a generative task. *Memory*, 10(2), 187-197.
- Lin, W. L., & Lien, Y. W. (2013a). Exploration of the relationships between retrieval-induced forgetting effects with open-ended versus closed-ended creative problem solving. *Thinking skills and creativity*, 10, 40-49.
- Le Masson, P., Weil, B., & Hatchuel, A. (2006). *Les processus d'innovation. Conception innovante et croissance des entreprises*, Paris: Hermès.
- Le Masson P., Weil B., & Hatchuel A. (2010). *Strategic management of innovation and design*. Cambridge University Press.
- Lubart, T. I. (2001). Models of the creative process: Past, present and future. *Creativity Research Journal*, 13(3-4), 295-308.
- Lubart, T., & Guignard, J.-H. (2004). The Generality-Specificity of Creativity: A Multivariate Approach. In R. J. Sternberg, E. L. Grigorenko, & J. L. Singer (Eds.), *Creativity: From potential to realization* (p. 43-56). American Psychological Association.
- Martindale, C. (1999). Biological bases of creativity. *Handbook of creativity*, 2, 137-152.
- Martindale, C., & Hasenfus, N. (1978). EEG differences as a function of creativity, stage of the creative process, and effort to be original. *Biological Psychology*, 6(3), 157-167.
- Mednick, S. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological review*, 69(3), 220.
- Miyake, A. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.
- Mouchiroud, C., & Lubart, T. (2002). Social creativity: A cross-sectional study of 6- to 11-year-old children. *International Journal of Behavioral Development*, 26(1), 60-69.
- Nijstad, B. A., De Dreu, C. K. W., Rietzschel, E. F., & Baas, M. (2010). The dual pathway to creativity model: Creative

- ideation as a function of flexibility and persistence. *European Review of Social Psychology*, 21(1), 34-77.
- Radel, R., Davranche, K., Fournier, M., & Dietrich, A. (2015). The role of (dis) inhibition in creativity: Decreased inhibition improves idea generation. *Cognition*, 134, 110-120.
- Reverberi, C., Toraldo, T., D'Agostini, S., & Skrap, M. (2005). Better without (lateral) frontal cortex? Insight problems solved by frontal patients. *Brain*, 128, 2882-2890.
- Runco, M. A. (1989). The creativity of children's art. *Child Study Journal*, 19(3), 177-189.
- Runco, M. A. (1991). *Divergent thinking*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
- Runco, M. A., & Jaeger, G. J. (2012). The standard definition of creativity. *Creativity Research Journal*, 24(1), 92-96.
- Russ, S. W. (2001). Primary-process thinking and creativity: Affect and cognition. *Creativity Research Journal*, 13, 27-35.
- Smilansky, J., & Halberstadt, N. (1986). Inventors versus problem solvers: An empirical investigation. *The Journal of Creative Behavior*, 20(3), 183-201.
- Smith, G., & Carlsson, I. (1985). Creativity in middle and late school years. *International Journal of Behavioral Development*, 8(3), 329-343.
- Smith, S. M., Ward, T. B., & Schumacher, J. S. (1993). Constraining effects of examples in a creative generation task. *Memory and Cognition*, 21, p. 837-845.
- Smith, S. M., Ward, T., & Finke, R. A. (1995). *The creative cognition approach*. Cambridge, MA, USA, The MIT Press.
- Sowell, E. R., Thompson, P. M., Holmes, C. J., Jernigan, T. L., & Toga, A. W. (1999). In vivo evidence for post-adolescent brain maturation in frontal and striatal regions. *Nature neuroscience*, 2(10), 859-861.
- Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1999). The concept of creativity: Prospects and paradigms. In R. J. Sternberg (Ed.), *Creativity research handbook* (p. 3-15). New York, Cambridge University Press.
- Stroop, R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 28, 643-662.
- Storm, B. C. & Angello, G. (2010). Overcoming fixation: Creative problem solving and retrieval-induced forgetting. *Psychological Science*, 21, 1263-1265.
- Storm, B. C., & Patel, T. N. (2014). Forgetting as a consequence and enabler of creative thinking. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40, 1594-1609.
- Torrance, E. P. (1962). Non-test ways of identifying the creatively gifted. *Gifted Child Quarterly*, 6(3), 71-75.
- Torrance, E. P. (1966). *Thinking Creatively with Pictures, Booklets A and B; [with] Thinking Creatively with Words, Booklets A and B*. Personnel Press.
- Torrance, E. P. (1968). A longitudinal examination of the fourth grade slump in creativity. *Gifted Child Quarterly*, 12(4), 195-199.
- Tversky, B., & Hemenway, K. (1984). Objects, parts, and categories. *Journal of experimental psychology: General*, 113(2), 169.
- Vartanian, O. (2009). Variable attention facilitates creative problem solving. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 3, 57-59.
- Von Stein, A., & Sarnthein, J. (2000). Different frequencies for different scales of cortical integration: from local gamma to long range alpha/theta synchronization. *International journal of psychophysiology*, 38(3), 301-313.
- Vygotsky, L. S. (1962). *Piaget's Theory of Child Language and Thought*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Ward, T. B. (1994). Structured imagination: The role of category structure in exemplar generation. *Cognitive psychology*, 27(1), 1-40.
- Weisberg, R. W. (1999). Creativity and knowledge: a challenge to theories. In R.J. Sternberg (Ed.), *Handbook of creativity* (p. 226-250). Cambridge, Cambridge University Press.
- Weisberg, R. W. (2015). On the Usefulness of "Value" in the Definition of Creativity. *Creativity Research Journal*, 27(2), 111-124. <https://doi.org/10.1080/10400419.2015.1030320>
- White, H. A., & Shah, P. (2006). Uninhibited imaginations: creativity in adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Personality and Individual Differences*, 40, 1121-1131.
- Wu, C. H., Cheng, Y., Ip, H. M., & McBride-Chang, C. (2005). Age differences in creativity: Task structure and knowledge base. *Creativity Research Journal*, 17(4), 321-326.
- Wyse, D., & Ferrari, A. (2015). Creativity and education: Comparing the national curricula of the states of the European Union and the United Kingdom. *British Educational Research Journal*, 41(1), 30-47.
- Yonge, G. D. (1966). Structure of experience and functional fixedness. *Journal of Educational Psychology*, 57(2), 115.