

UNIVERSITE PARIS DESCARTES
INSTITUT DE PSYCHOLOGIE HENRI PIERON
Ecole Doctorale 261 « Cognition, Comportements, Conduites Humaines »

THESE
Pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS DESCARTES
Discipline : Psychologie
Mention : Psychologie Cognitive du Développement

Laboratoire de Psychologie du Développement et de l'Éducation de l'enfant
(LaPsyDÉ)

Présentée et soutenue publiquement par
Ania AÏTE
Le 20 Novembre 2013

**Processus émotionnels et cognitifs
dans le développement des capacités
de prise de décision sous ambiguïté**

JURY

M. CASSOTTI – Maître de Conférences à L'Université Paris Descartes – Tuteur
A. DAMASIO – Professeur à l'Université de Californie du Sud - Examineur
E. DUPOUX – Professeur à l'EHESS-ENS - Rapporteur
O. HOUDÉ – Professeur à l'Université Paris Descartes - Examineur
S. MOUTIER – Professeur à l'Université Paris Descartes – Directeur de thèse
M. PESSIGLIONE – Chargé de recherche INSERM à l'ICM - Examineur
E. SANDER – Professeur à l'Université Paris 8 – Examineur

*« L'intelligence, ce n'est pas ce que l'on sait,
mais ce que l'on fait lorsque l'on ne sait pas »*
JEAN PIAGET

Remerciements

Je remercie Sylvain Moutier qui m'a encadrée dès mon entrée à l'Université Paris Descartes et qui m'a guidée tel un marqueur somatique à travers les méandres de la prise de décision. Je le remercie de m'avoir soutenue et encouragée dans la réalisation de cette thèse.

Je remercie Olivier Houdé de m'avoir accueillie au sein de son laboratoire et de m'avoir soutenue pendant cet apprentissage. Je le remercie de ses relectures et conseils avisés. Je n'aurais sincèrement pu trouver meilleur laboratoire pour faire mes premiers pas dans le monde de la recherche.

Je remercie Mathieu Cassotti, qui a partagé avec moi son expertise dans le domaine de la décision alors que je me trouvais dans la plus totale ambiguïté. Sa passion pour la recherche, son intelligence et sa grande générosité m'ont beaucoup appris. Je le remercie également de la disponibilité dont il a fait preuve et de la confiance sans faille qu'il m'a témoignée tout au long de ce parcours.

Je tiens à remercier l'ensemble des membres du jury, MM. Emmanuel Dupoux, Emmanuel Sander, Antonio Damasio et Mathias Pessiglione qui me font l'honneur d'expertiser cette thèse. Merci pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail.

Je remercie Isabelle Jambaqué de m'avoir initiée au développement cognitif et de me faire confiance durant cette année universitaire pour travailler en tant qu'ATER au sein de son service de Neuropsychologie.

Je remercie Isabelle Varescon, Céline Bonnaire et Servane Barrault de m'avoir ouvert les portes du monde du jeu pathologique et de la confiance qu'elles m'ont témoignée dans notre projet collaboratif.

Je remercie Grégoire Borst qui s'efforce de me transmettre sa rigueur scientifique avec toute la générosité qui le caractérise. Je le remercie de ses nombreuses relectures, de la patience et pédagogie dont il a fait preuve chaque fois que je faisais irruption dans son bureau. Ce fut un plaisir de travailler à ses côtés dans la joie et les rires.

Je remercie ma chère (ex)co-équipière, la Maître de Conférences Marianne Habib. Son sourire, sa joie de vivre et ses encouragements ont été d'un grand soutien durant ces trois années. J'ai pris plaisir à faire ce petit marathon aux côtés de cette coureuse de haut niveau.

Je remercie Arlette Pineau pour sa gentillesse et son aide précieuse dans le recrutement des enfants et des adolescents mais également dans la relecture de cette thèse.

Je remercie Nicolas Poirel de m'avoir fait confiance pour les enseignements de Psychologie du Développement. Assister à ses cours m'a permis de gagner en confiance en prenant exemple sur ses qualités didactiques.

Je remercie l'ensemble des membres du laboratoire : Amélie, Arnaud, Asma, Céline, Claire-Sara, Emmanuel, Julie, Marine et Sandrine, qui m'ont offert une ambiance de travail idéale et avec qui j'ai partagé de bons moments à Paris ou à Caen. Je remercie particulièrement Grégory pour m'avoir fait bénéficier de son expertise E-prime avec la plus grande réactivité. Je remercie également Anaïs pour ses relectures et nos discussions sur le risque. Un grand merci à Wim De Neys pour son grand soutien dans les démarches de recherche d'un post-doctorat.

Merci à Ingi, sans qui notre belle adaptation de l'IGT n'aurait pas vu le jour.

Merci à Claire et Mathurin pour leur remarquable dévouement auprès de notre équipe. Je remercie également Mélanie Reversat qui accompagne merveilleusement l'ensemble des doctorants. Merci également à Nordine et Alain du service de reprographie pour leurs conseils esthétiques et leur travail.

Je remercie tous les enfants, adolescents et adultes qui ont participé aux études de cette thèse ainsi que l'ensemble des équipes enseignantes qui m'ont toujours accueillie avec intérêt au sein de leur établissement.

Je tiens à remercier tout particulièrement Sarah de son écoute, sa bienveillance et ses encouragements sans faille. Un grand merci à mes chers amis qui m'ont chacun apporté leur soutien à leur façon : Alice, Elodie, Jean-Eric, Yann, Nathanaël, Sandrine, Tristan, David et Mario.

Enfin, je tiens à remercier ma chère famille éparpillée de par le monde. Je remercie mes parents de l'amour et du soutien qu'ils m'ont toujours témoignés. Et je remercie plus particulièrement mes chers frères, Amar et Youcef, pour les conseils qu'ils ont toujours su me prodiguer dans la plus pure des bienveillances.



A Youcef et Amar,

Table des matières

Présentation générale	8
CHAPITRE 1 - LA PRISE DE DECISION : DU RISQUE A L'AMBIGUÏTE	12
I. LES MODELES NORMATIFS DE LA PRISE DE DECISION	12
1. Le modèle de l'utilité espérée	13
2. Le modèle de l'utilité subjective espérée	16
II. UNE NOUVELLE INCERTITUDE : L'AMBIGUÏTE	21
1. Le paradoxe d'Ellsberg	21
2. L'aversion à l'ambiguïté	24
III. CONCLUSIONS	29
CHAPITRE 2 – LA PRISE DE DECISION SOUS AMBIGUÏTE : THEATRE DES INTERACTIONS ENTRE COGNITION ET EMOTION	31
I. LES RELATIONS ENTRE LA PSYCHOLOGIE DES EMOTIONS ET LA PSYCHOLOGIE DE LA PRISE DE DECISION :	31
1. De la difficulté de définir une émotion :	31
2. L'émotion, victime d'un sempiternel dualisme:	33
3. Les émotions dans le cadre du raisonnement et de la décision	35
II. L'HYPOTHESE DES MARQUEURS SOMATIQUES	42
1. Phinéas Gage ou la naissance de l'Hypothèse des Marqueurs Somatiques	42
2. Investigations neuropsychologiques princeps des patients avec lésions frontale : l'exemple de l'épreuve expérimentale « Iowa Gambling Task »	46
3. Un autre symbole des difficultés de prise de décision : les joueurs pathologiques	51
4. Hypothèse des Marqueurs Somatiques (HMS) : bilan et critiques	56
III. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVE NEUROECONOMIQUE	65
CHAPITRE 3 – LE DEVELOPPEMENT DES CAPACITES DE PRISE DE DECISION	68
I. LA PRISE DE RISQUE AU COURS DU DEVELOPPEMENT	68
1. De l'intuition des probabilités à la prise en compte de la valeur espérée	68
2. La prise de risque au cours du développement	72
II. L'APPORT DE LA NEUROIMAGERIE ET LA NAISSANCE DE NOUVEAUX MODELES DEVELOPPEMENTAUX :	80
1. De la sensibilité aux récompenses à la prise de risque	80
2. Le contexte socio-émotionnel : un facteur clé de la prise de risque à l'adolescence	84
3. De nouveaux modèles neurocognitifs de la prise de décision :	86

III. LE DEVELOPPEMENT DES CAPACITES DE PRISE DE DECISION SOUS AMBIGUÏTE	90
1. La prise de décision sous ambiguïté au cours du développement	91
2. Le développement normal des capacités de prise de décision	93
3. L'ambiguïté une explication possible de la prise de risque exacerbée à l'adolescence	101
IV. CONCLUSIONS	109
Objectifs de la thèse	112
Partie expérimentale	117
ETUDE N°1 : L'ALEXITHYMIE EST UN FACTEUR CLEF POUR COMPRENDRE LE DEFICIT DE PRISE DE DECISION SOUS AMBIGUÏTE CHEZ LES JOUEURS PATHOLOGIQUES	118
1. Résumé en français	118
2. Abstract	120
3. Introduction	121
4. Materials and Method	124
5. Results	127
6. Discussion	131
ETUDE N°2: LA CONGRUENCE DU CONTEXTE EMOTIONNEL AVEC LES FEEDBACKS INFLUENCE LA PRISE DE DECISION SOUS AMBIGUÏTE : UNE NOUVELLE PREUVE DE L'HYPOTHESE DES MARQUEURS SOMATIQUES	134
1. Résumé en français	134
2. Abstract	137
3. Introduction	138
4. Method	141
5. Results	143
6. Discussion	145
ETUDE N°3 : LA PRISE DE DECISION SOUS AMBIGUÏTE EST-ELLE GUIDEE PAR LA FREQUENCE DES PERTES QUEL QU'EN SOIT LE PRIX? UNE ETUDE DEVELOPPEMENTALE UTILISANT LA SOOCHOW GAMBLING TASK	148
1. Résumé en français	148
2. Abstract	151
3. Introduction	152
4. Method	156
5. Results	158
6. Discussion	161

<u>Discussion générale</u>	<u>165</u>
<u>Conclusion générale</u>	<u>172</u>
<u>Références</u>	<u>174</u>
<u>Annexes</u>	<u>197</u>

Présentation générale

Effectuer un choix parmi un ensemble de « possibles » est une constante de l'existence de tout être vivant! Ce choix peut être conscient ou inconscient, lent et mûrement réfléchi ou au contraire automatique et rapide. Notre vie au quotidien est ainsi constellée de situations de prise de décisions dont certaines sont cruciales et liées à notre survie, d'autres fondamentales pour notre avenir comme le choix d'une voie professionnelle d'une formation, ou encore d'un lieu de résidence, tandis que d'autres sont plus secondaires comme le choix d'une destination pour nos vacances ou le menu du jour.

Les premières interrogations sur ce concept de « choix » ont porté sur les rouages des mécanismes décisionnels. Qu'est-ce qui préside à nos choix ? L'un des premiers à s'interroger sur ce qui peut diriger le choix des individus, l'économiste britannique Adam Smith (1776/1999), note en premier lieu la tendance de l'homme à chercher la satisfaction de ses besoins et la maximisation de ses plaisirs. Voici une idée qui fera son chemin et marquera durablement les théories de la prise de décision. Cette idée sera en effet reprise deux siècles plus tard dans les premières modélisations normatives de la décision en définissant « l'agent rationnel économique » comme orienté par la maximisation de son profit (von Neumann & Morgenstern, 1944; Savage, 1954). Un choix se faisant nécessairement parmi au moins deux options, tout sujet doit normalement chercher à déterminer laquelle de ces options est la plus favorable, ou à défaut, la moins défavorable ! A cet égard tout individu imaginerait les conséquences (i.e., positives et/ou négatives) liées à ces choix en tenant compte des probabilités en jeu. En effet, les probabilités d'occurrence variables des « conséquences possibles » vont donc conférer soit un caractère certain à l'issue de ce choix (i.e., une probabilité de 1) ou au contraire un caractère plus ou moins incertain (i.e., une probabilité entre 0 et 1). Toutefois, dans le quotidien qui est le nôtre, il est très rare que nous connaissions par avance l'ensemble des conséquences associées aux options (i.e., les éventuels bénéfices ou au contraire dommages susceptibles de découler de ces choix), ainsi que les probabilités qui leurs sont associées. Dès lors, les études concernant la prise de décision se distinguent selon deux axes : (i) les situations dans lesquelles le sujet dispose d'informations (i.e.,

conséquences en jeu et probabilités associées) pour lesquelles on parlera de « risque », (ii) les situations dans lesquelles le sujet ignore ces informations et pour lesquelles on parlera cette fois-ci « d'ambiguïté » (Loewenstein, Weber, Hsee, & Welch, 2001). Dans notre premier exemple - le choix d'une voie professionnelle – il est bien évidemment impossible de connaître l'ensemble des conséquences potentielles (positives et négatives) associées à telle ou telle voie professionnelle, mais également difficile d'identifier clairement les lois de probabilité qui caractérisent ces conséquences. Dans ces conditions alors qualifiées « d'ambiguës », le sujet peut difficilement évaluer quelle option lui serait la plus favorable. Se pose alors la question de comprendre comment les individus choisissent malgré tout ? Parviennent-ils à choisir l'option la plus avantageuse et, si tel est le cas, comment procèdent-ils ? En réponse à cette question Antonio Damasio en 1994 a élaboré ce qui deviendra vingt ans plus tard l'une des théories incontournables de la psychologie de la décision sous ambiguïté, à savoir : l'Hypothèse des Marqueurs Somatiques (HMS) (Reimann & Bechara, 2010). Cette hypothèse novatrice accorde un rôle adaptatif aux émotions en supposant que l'individu réalise au cours de sa vie un apprentissage de nature émotionnelle qui l'aiderait à choisir dans les conditions d'ambiguïté (Bechara & Damasio 2005).

Tout le travail de cette thèse est de définir quels sont les processus sous-jacents à une prise de décision optimale dans des conditions d'ambiguïté. Pour ce faire, nous utiliserons la tâche classique de prise de décision sous ambiguïté : l'Iowa Gambling Task (Bechara, Damasio, Damasio, & Anderson, 1994; Bechara, Tranel, & Damasio, 2000).

Ce manuscrit comporte deux parties : la première est une introduction théorique avec une revue de la littérature soulignant les mécanismes qui soutiennent la prise de décision sous ambiguïté et la deuxième constitue la partie expérimentale de nos travaux.

Afin de retracer les fondements de la prise de décision sous ambiguïté, nous nous appliquerons dans notre premier chapitre à présenter les premiers modèles normatifs de la prise de décision (von Neumann & Morgenstern, 1944; Savage, 1954). Nous verrons comment ces modèles qui établissent les règles censées régir le comportement de l'agent rationnel économique (Edwards, 1954), seront remis en

cause dès lors que l'on analyse les comportements réels des individus, comportements manifestant une déviation par rapport aux normes établies (Allais, 1953 ; Tversky & Kahneman, 1979). Parmi ces comportements réels, nous nous intéresserons plus spécifiquement au « Paradoxe d'Ellsberg » étant donné qu'il donnera naissance à la notion d'ambiguïté qui nous intéresse ici.

Dans notre deuxième chapitre, nous verrons que ces travaux sur la prise de décision feront naître un intérêt particulier pour les interactions entre cognition et émotion. Pour cela, nous rappellerons tout d'abord comment l'émotion fut longtemps délaissée par la psychologie avant d'être ré-intégrée comme objet d'étude dans la psychologie de la décision (Houdé, 2011). Ensuite, nous présenterons les travaux fondamentaux étayant l'Hypothèse des Marqueurs Somatiques (Bechara et al., 1994; Bechara, Damasio, Damasio, & Lee, 1999; Bechara, Tranel, Damasio, & Damasio, 1996; Antoine Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 1997). En examinant les données comportementales, physiologiques et neurologiques, notre objectif sera de mettre en exergue les points forts et les limites du cadre théorique dans lequel s'insèrent nos travaux. En outre, nous verrons que le jeu pathologique constitue un problème majeur de santé publique (Stucki & Rihs-Middel, 2007) dont l'étude nous permettrait non seulement de mieux caractériser le déficit propre à cette population mais également de mieux déterminer les processus sous-jacents à la prise de décision chez l'adulte sain.

Enfin, notre troisième chapitre s'attachera à examiner la contribution de la perspective développementale dans la compréhension des processus sous-jacents à la prise de décision sous ambiguïté. L'étude de l'évolution de ces capacités décisionnelles de l'enfance à l'âge adulte est d'autant plus pertinente qu'elle offre la perspective de mieux comprendre les rouages des mécanismes décisionnels en place à l'âge adulte mais également ceux propre à l'adolescence, période associée à un pic de prise de risque (Crone & Dahl, 2012; Dahl, 2004). Des travaux précurseurs de Jean Piaget (1951) sur l'appréhension des probabilités à partir de l'âge scolaire, jusqu'à à l'engouement récent pour l'étude neuro-cognitive des capacités décisionnelles à l'adolescence (Albert, Chein, & Steinberg, 2013; Brener et al., 2013; Somerville, Hare, & Casey, 2011), nous soulignerons les avancées théoriques offertes par ces études développementales. Notamment nous verrons que la mise en évidence d'un déficit plus prononcé dans les capacités de prise de décision dans des conditions

d'ambiguïté par rapport aux conditions de risque seront critiques pour comprendre le développement des capacités décisionnelles (Prencipe et al., 2011; Van Duijvenvoorde, Jansen, Bredman, & Huizenga, 2011). Ce constat nous conduira à distinguer plus spécifiquement les facteurs cognitifs et émotionnels susceptibles de moduler ces capacités décisionnelles.

Nos deux premières études eurent pour objectif de tester l'Hypothèse des Marqueurs Somatiques (i) dans le cadre de la spécification du déficit décisionnel observé chez les joueurs pathologiques et (ii) de part la mise à l'épreuve d'un paradigme émotionnel chez l'adulte sain. Enfin, notre troisième étude, quant à elle, propose d'étudier le développement, de l'enfance à l'âge adulte, des capacités de prise de décision sous ambiguïté sous l'angle des processus émotionnels mais également des processus cognitifs et en particulier les stratégies d'ajustements aux feedbacks.

Les résultats de cette thèse, issus de l'association des approches de la psychologie cognitive expérimentale, psychopathologique et développementale nous permettront d'enrichir l'HMS, en soulignant la nécessité de prendre en compte les processus émotionnels et cognitifs dans le cadre de la prise de décision sous ambiguïté.

Introduction théorique

Chapitre 1 - La prise de décision : du risque à l’ambiguïté

Etant donné le penchant naturel de l’être humain pour le jeu (Hacking, 1975), il serait difficile d’assigner une origine claire aux théories de la prise de décision. Afin d’introduire l’objet d’étude de cette thèse, nous commencerons par une brève description de l’évolution des théories modernes de la prise de décision. Cette description nous permettra notamment de rendre compte des distinctions conceptuelles progressives opérées, opposant le pôle du risque à celui de l’ambiguïté. Ces différences conceptuelles sont elles mêmes dérivées de deux approches divergentes. En effet, on distingue classiquement dans l’étude de la théorie de la décision, les théories normatives des théories descriptives (Piatelli-Palmarini & Raude, 2006). Si les premières furent initialement proposées pour déterminer les règles « normatives » suivies par l’individu rationnel lorsqu’il est face à un choix monétaire, les secondes sont issues de l’observation « descriptive » des comportements réels des sujets face à ces mêmes choix monétaires. Ainsi, nous exposerons dans cette première partie les principaux modèles de la prise de décision avant de présenter leur remise en cause via l’un des célèbres paradoxes de la prise de décision qui donnera naissance au concept d’ambiguïté.

I. Les modèles normatifs de la prise de décision

Au XVIIIème siècle, le fondateur de l’économie moderne Adam Smith, décrivait déjà l’homme comme naturellement tourné vers le profit (1776/1999), conception qui dans les premiers modèles de la prise de décision donnera naissance au concept d’*homo œconomicus* (Pareto, 1906). Dans la suite de ce manuscrit, nous utiliserons le terme d’individu (ou agent) rationnel pour qualifier cet agent économique, supposé essentiellement orienté vers la maximisation de son profit (Edwards, 1954; Piatelli-Palmarini & Raude, 2006). Nous exposerons donc dans ce qui suit les premières modélisations normatives de la décision humaine.

1. Le modèle de l’utilité espérée

En 1738, le mathématicien suisse Daniel Bernoulli propose dans son manuscrit *Specimen theoriae novae de mensura sortis*, une nouvelle mesure du risque (1954¹). Les mathématiciens de l’époque s’accordaient jusque là à une évaluation du risque sur la base de la valeur espérée (Pascal 1670/1974; Lopes, 1994). Celle-ci, correspondant au produit de chaque gain potentiel par leurs probabilités d’occurrence, est supposée guider les individus dans leurs choix. Dans une situation où vous pouvez gagner 25 € si vous réussissez à réaliser un ‘6’ avec un dé classique, la valeur espérée se calcule de la façon suivante :

On note : $p(x)$ la probabilité associée à l’événement x ,
 $G(x)$ le gain associé à l’événement x ,

$$VE = p(x) * G(x)$$

$$VE = 1/6 * 25$$

$$VE \approx 4,2$$

La valeur espérée est d’environ 4,2 euros.

Toutefois, le *Paradoxe de Saint Petersburg* (Cadet & Chasseigne, 2009) vient bousculer cette assertion. Ce paradoxe est issu d’un jeu qui, malgré une valeur espérée infinie, ne suscite pas l’adhésion indubitable et totale des participants. Afin d’expliquer cette absence de prise de risque, Bernoulli va introduire le concept d’utilité. Cette subtile notion d’utilité, fait référence à la distinction entre « *la valeur nominale* » d’un gain et « *la valeur subjective* » que représente celui-ci pour le sujet. C’est la raison pour laquelle, Bernoulli propose de rendre compte du rapport qui lie ces valeurs objectives et subjectives.

¹ La traduction anglaise de son manuscrit *Specimen theoriae novae de mensura sortis* date de 1954.

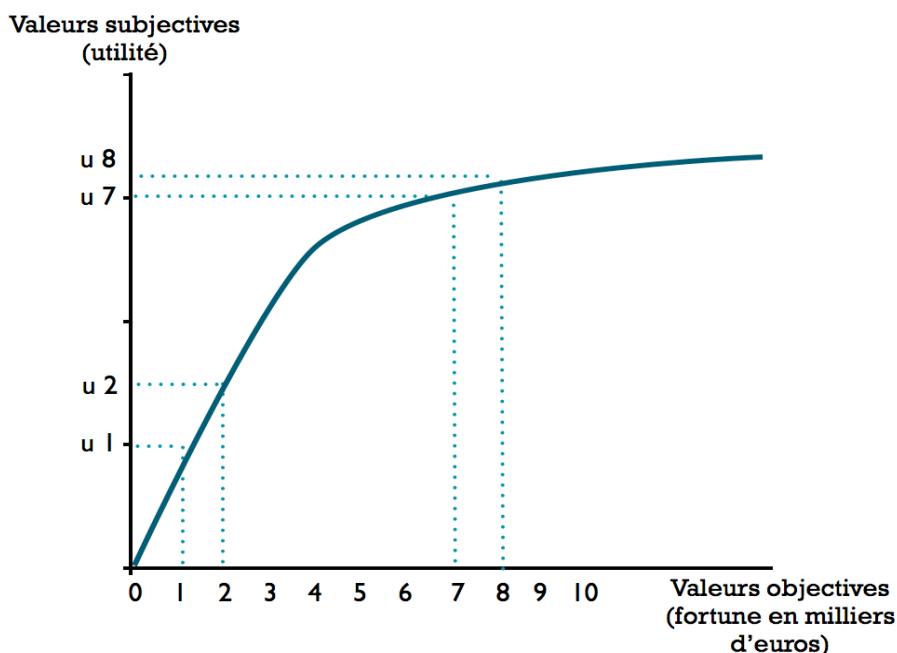


Figure 1: La loi d'utilité marginale permet de faire le lien entre la valeur objective d'un gain et sa valeur subjective. On dit qu'elle est marginale car elle s'aplatit au fur et à mesure que la richesse augmente. Ainsi l'utilité associée à un gain de 1000 euros est plus importante pour un individu qui possède déjà 1000 euros que pour un individu qui en possède déjà 7000.

*« To do this the determination of the value of an item must not be based on its price, but rather on the utility it yields.»²
(Bernoulli, 1954, p.24).*

La *valeur nominale* d'un billet de 500€ est fixe et ne dépend pas des individus qui y font face. Au contraire, l'utilité que l'on attribue à un billet de 500€ est sujette aux différences interindividuelles. En d'autres termes, le gain d'un billet de 500€ n'aura pas la même utilité pour un individu qui est dans le besoin que pour un individu aisé. De ce fait, Bernoulli déduit une loi de l'utilité marginale qui explique que la valeur subjective associée à un gain décroît en fonction de la richesse (cf. Figure 1)

« The utility resulting from any small increase in wealth will be inversely proportionate to the quantity of goods previously possessed. »³(Bernoulli, 1954, p.25)

² Notre traduction est la suivante : « Pour déterminer la valeur d'un item, celui-ci ne doit pas être appréhendé en fonction de son *prix* mais de l'utilité qu'il apporte »

³ Notre traduction est la suivante : « L'utilité résultant d'un accroissement de la richesse sera inversement proportionnel à la quantité de biens antérieurement possédés. »

Il faudra attendre deux siècles pour que cette notion d'utilité soit reprise dans la première modélisation normative de l'utilité espérée mise au point par John von Neumann et Oskar Morgenstern (1944). Ces auteurs seront les premiers à formaliser le comportement de *l'homo œconomicus* dans leur Théorie des Jeux. Leur modèle détermine un ensemble de règles mathématiques (i.e., des axiomes) censées régir les choix de l'individu rationnel agissant dans le but de maximiser son profit. De façon cruciale, la « particule élémentaire » de cette théorie (Piatelli-Palmarini & Raude, 2006, p.19) repose sur « l'intime relation » entre un choix et l'expression d'une « préférence » (Batteau & Marciano, 1976, p.105). Nous nous limiterons ici à présenter l'exemple de l'axiome de *préordre total* et celui de *la transitivité* pour en saisir la typologie (cf. Weber & Camerer, 1987 pour une revue du modèle de l'utilité espérée), une revue exhaustive de ces axiomes relevant du champ de la microéconomie.

Ainsi, l'axiome de *préordre total* établit les relations de préférences possibles entre les différentes options qui s'offrent à un individu. Par exemple, selon cet axiome, l'ensemble des relations de préférences d'un individu à qui on propose de choisir entre une barquette de framboises (option A) et une barquette de fraises (option B) s'opérationnalise comme suit :

L'option A est préférée à l'option B,
L'option B est préférée à l'option A,
L'option A est indifférente de l'option B,
 Où l'on note \geq , « préféré ou indifférent à ».

Si maintenant une troisième option s'offre à cet individu, i.e., une barquette de myrtilles (l'option C), l'axiome de *transitivité* postule alors que si cet individu préfère les framboises aux fraises, et les fraises aux myrtilles, alors il préférera les framboises aux myrtilles.

Noté ainsi : si $A \geq B$, et $B \geq C$ alors $A \geq C$.

Ce modèle permet donc de déduire, à partir de la préférence exprimée sur les options, l'utilité qui leur est associée.

« if a person's preferences among monetary gambles are consistent with the axioms then (a) the preferences can be summarized by a utility function on money, and (b) the

preferences can be modeled as if the person were choosing in order to maximize EU »⁴(Lopes, 1994, p. 200)

Dans ce cadre, si un individu choisit de façon indifférenciée entre recevoir avec certitude 14€ (i.e., option A) et 50% de chances de remporter 20€ (i.e., option B), ces deux options ont probablement la même utilité pour lui ; ce qui s'opérationnalise de la manière suivante :

*Utilité de l'option A : $U_A = p(A) * x(A) = 1 * 14 = 14$*

*Utilité de l'option B : $U_B = p(B) * x(B) = 0,5 * 20 = 10$*

Où $p(B)$ est la probabilité d'occurrence et $x(B)$ le gain associé à l'événement B.

Sachant que Option A \approx Option B, on peut en déduire $U_A = U_B$

Ici l'utilité cardinale⁵ de 14€ est donc de 10€.

Alors que ce modèle se cantonne aux situations où l'individu dispose des probabilités d'occurrence et des conséquences associées, nous verrons dans ce qui suit que la plupart des situations de prise de décision de la vie réelle se caractérisent par l'absence de ces informations.

2. Le modèle de l'utilité subjective espérée

La distinction entre risque et incertitude (Knight, 1921) ainsi que l'existence de violations empiriques (Allais, 1953) vont entraîner des modifications significatives du modèle de l'utilité espérée. Knight propose notamment de différencier l'incertitude mesurable ou « risque » de l'incertitude non-mesurable, ou « incertitude ». De fait, le modèle de l'utilité espérée suppose que les probabilités associées aux options soient connues et donc mesurables (i.e., une situation de risque). Néanmoins, il existe de nombreuses situations où les probabilités associées aux options ne sont pas connues ou mesurables rendant alors la prise de décision incertaine.

⁴ Notre traduction : « si les préférences d'un sujet lors de paris monétaires respectent les axiomes de l'utilité espérée alors (i) les préférences peuvent être résumées par une courbe d'utilité de l'argent et (ii) les préférences peuvent être modélisées comme si la personne choisissait de façon à maximiser l'utilité espérée ».

⁵ L'utilité cardinale fait référence à la distinction d'origine Bernoullienne entre valeur nominale et valeur subjective (cf. Allais, 1953)

« We live only by knowing something about the future; while the problems of life, or of conduct at least, arise from the fact that we know so little. »⁶ (Knight, 1921, p. 199)

De Finetti (1937), quant à lui, conteste la notion de probabilité objective, lui attribuant un caractère purement subjectif (voir aussi Ramsey, 1931). Selon lui, la probabilité doit être envisagée comme le degré de croyance attribué par un individu donné, à un événement donné, à un instant donné et avec un ensemble d’information donné (Nau, 2002; ou Vicig & Seidenfeld, 2012, pour une revue de la littérature). Ainsi, selon De Finetti la probabilité n’a de sens que comme entité fondamentalement subjective⁷, intégrant des aspects psychologiques tout en gardant son formalisme mathématique. D’autres théoriciens défendent un point de vue dualiste du concept Pascalien de la probabilité (Edwards, 1962), probabilité qui se conçoit sous un angle objectif ou subjectif. Hacking illustre la dualité de cette probabilité en l’associant à Janus, divinité romaine aux deux visages (1975, p.12). Dans ce cadre théorique, jouer à pile ou face en pariant sur le côté sur lequel la pièce tombera correspond à une situation de risque associée à une probabilité objective - ou « conventionnelle » (Edwards, 1962, p.110) - d’une chance sur deux. A l’inverse, parier sur l’évènement ‘Mr Dupont va prendre le métro aujourd’hui’ correspond à une situation incertaine dans la mesure où vous ne connaissez pas Mr Dupont, vous n’avez pas d’informations sur ses habitudes, et vous ne disposez d’aucune probabilité « conventionnelle » associée à cette situation.

Sous l’impulsion de ce courant subjectiviste, Léonard Savage (1954) propose un modèle de l’utilité subjective espérée dans lequel les situations d’incertitude s’apparentent à des situations de risque subjectif (Chateauneuf, Jaffray, & Cohen, 2006). Etant donné que l’incertitude caractérise la plupart des situations de la vie courante, ce modèle possède un caractère plus général que celui de l’utilité espérée (Camerer & Weber, 1992). Dans le modèle de Savage, les décisions de l’homme rationnel se feraient sous l’égide de l’existence conjointe de l’utilité subjective et de

⁶ Notre traduction est la suivante : « Nous ne vivons que dans la perspective de connaître notre futur alors que le problème de notre vie, ou tout du moins de nos conduites, est que nous ne possédons que peu d’informations »

⁷ Il est à noter que de Finetti et Savage nient l’existence de la probabilité objective. Ce débat est celui de l’école fréquentiste contre l’école bayésienne

probabilités subjectives (Karni, 2005). La présentation détaillée de ce modèle sortant du cadre de cette thèse, nous nous limiterons ici à exposer deux de ses axiomes principaux. Ce modèle se compose d’un cadre analytique⁸ déterminé par l’univers U , constitué d’éléments correspondants à des états du monde E , un ensemble d’actions A et de conséquences C . Dans ce cadre, les actions sont des fonctions - au sens mathématique du terme - permettant de faire le lien entre les états du monde et les conséquences (voir Figure 2)

Le premier axiome de *préordre total* sur les actions est analogue à celui du préordre total de von Neumann et Morgenstern (1944), puisqu’il détermine un agencement ordinal entre les actions, régi par les mêmes propriétés⁹. Etant donné, l’action 1 (par exemple faire de la natation) et l’action 2 (par exemple faire du squash), le premier axiome spécifie les relations possibles suivantes :

*L’action 1 est préférée à l’action 2,
L’action 2 est préférée à l’action 1,
L’action 1 est indifférente de l’action 2,
Où l’on note \geq , « préféré ou indifférent à ».*

Le *Principe de la Chose Sûre*¹⁰, second axiome, est l’axiome critique du modèle de Savage du fait qu’il spécifie les relations entre l’état du monde et les actions tel que :

*Si $action_1 \geq action_2$,
Et, étant donné l’état du monde E ayant la conséquence commune C
Alors, $a_1 | E \geq a_2 | E$.
Où l’on note $|$, « étant donné l’état du monde »*

Cet axiome appliqué à notre exemple permet d’établir que si vous préférez faire de la natation plutôt que de faire du squash, alors vous devriez préférer faire de la natation et recevoir 100€ s’il grêle que faire du squash et recevoir 100€ s’il grêle. Autrement dit, un état du monde impliquant des conséquences communes à deux

⁸ Notre objectif étant de présenter l’essence du modèle nous avons simplifié le système de notation, qui par ailleurs varie en fonctions des supports.

⁹ « Relation réflexive, transitive et complète » (cf. Chateauneuf, Jaffray, & Cohen, 2006, p. 3)

¹⁰ Certains auteurs parlent du Principe d’Indépendance de Savage

actions est hors de propos pour déterminer votre préférence pour l’une ou l’autre de ces deux actions.

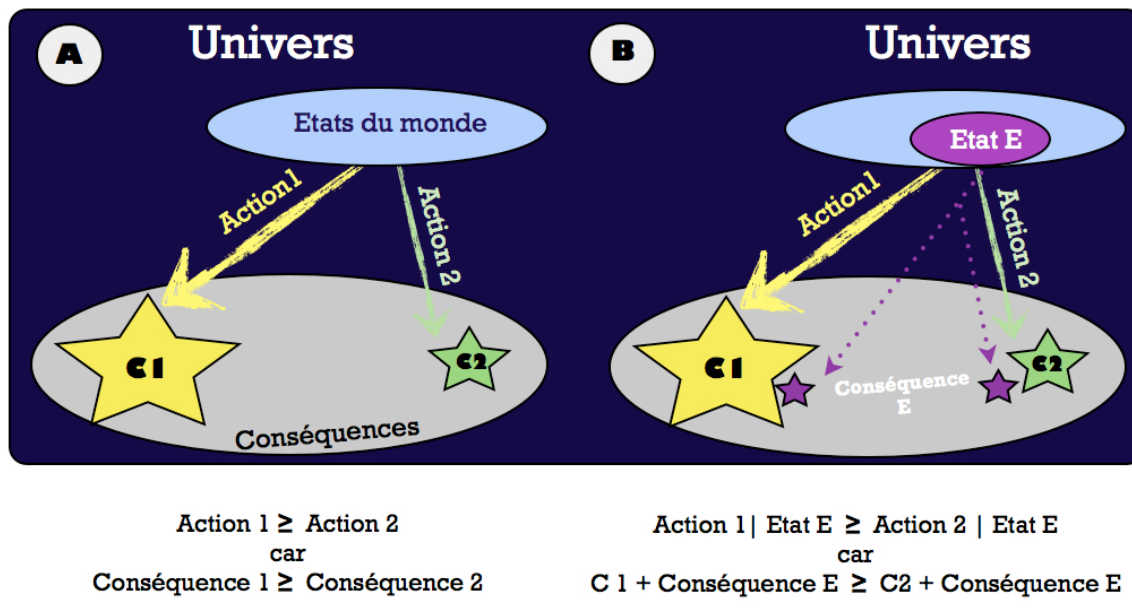


Figure 2 : Cadre analytique proposé par le modèle de l'utilité subjective espérée. Les actions peuvent être représentées par une fonction qui entraîne des conséquences à partir des états du monde. Partie A : ainsi si une action est préférée à une autre c'est parce que la conséquence associée à cette action est préférée à la conséquence associée à l'autre action. Partie B, si un état E entraîne une conséquence commune à deux actions, cette conséquence ne doit pas modifier les préférences exprimées jusque là sur ces deux actions.

Ce modèle conçoit donc l'homme rationnel comme un agent économique qui pondère la fonction d'utilité espérée par des probabilités subjectives afin de maximiser sa satisfaction lors de situations incertaines. Toutefois, nous verrons dans la section suivante que les résultats d'un certain nombre d'études sont de nature à remettre en cause les axiomes de ce modèle.

Historiquement, c'est l'économiste français Maurice Allais qui fera la première critique majeure aux modèles normatifs de la prise de décision. En 1953, il publie dans la revue *Econometrica* un article intitulé "Le comportement de l'Homme rationnel devant le risque : critique des postulats de l'École américaine". Celui-ci est connu pour avoir mis en évidence une situation où les sujets transgressent le modèle de l'utilité espérée, dominant jusqu'alors. Plus précisément, il propose deux paires de choix qui provoquent la violation de l'axiome dit d'indépendance ou de substitution. Celui-ci, stipule que l'ordre de préférence exprimé par les individus devrait être indépendant de l'ajout ou du remplacement d'une conséquence commune à deux options. Or, les participants montrent une inversion des préférences dans les deux paires d'options suivantes :

Problème n°1 : Préférez-vous l'option A ou l'option B ?

A : 10% de chance de gagner 500 millions, 89% de chances de gagner 100 millions, et 1% de chance de ne rien

B : Recevoir 100 millions de façon certaine.

Problème n°2 : Préférez-vous l'option C ou l'option D ?

C : 10% de chance de gagner 500 millions et 90% de chances de ne rien gagner.

D : 11% de chance de gagner 100 millions et 89% de chances de ne rien gagner.

Les sujets aversifs au risque vont de fait préférer la certitude de l'option B dans le problème n°1. Le problème n°2 est obtenu en transformant la conséquence commune '89% de chances de gagner 100 millions' dans le problème n°1 par '89% chances de ne rien gagner' dans le problème n°2, mettant les sujets face à deux choix incertains. Les participants font alors preuve d'inconsistance en choisissant cette fois-ci l'option D (pourtant mathématiquement équivalente à l'option B). Il faudra toutefois attendre les années soixante-dix pour que ce paradoxe soit véritablement considéré avec la théorie des perspectives de Kahneman & Tversky (1979), parut aussi dans la revue *Econometrica*.

II. Une nouvelle incertitude : l’ambiguïté

Nous avons montré comment la théorie moderne de la prise de décision a normé le choix de l’individu rationnel en considérant, dans un premier temps, la prise de décision comme une situation de risque et, dans un second temps, en ajustant les modèles théoriques pour rendre compte des situations d’incertitude. Dans ce qui suit, nous présenterons les critiques¹¹ émises à l’encontre de ces modèles normatifs notamment sur la base des données issues de l’approche descriptive de la prise de décision. Cette remise en cause des modèles normatifs introduira le concept d’ambiguïté, concept au cœur de ce travail de thèse.

« D’une manière générale nous essaierons de faire appel à l’intuition et d’éviter dans la mesure du possible un formalisme mathématique trop abstrait, qui en réalité n’a que trop souvent pour effet de détourner l’attention des véritables difficultés et de masquer les aspects essentiels ». (Allais, 1953, p.4)

1. Le paradoxe d’Ellsberg

En 1961, Ellsberg réfute le modèle de Savage en présentant des situations de prise de décision qui ne correspondent ni à une situation de risque à proprement parler ni à une situation d’ignorance. Ces situations hybrides ont la particularité de provoquer une transgression des axiomes de l’utilité subjective espérée. Ces situations consistent en une suite de paris hypothétiques sur des urnes contenant des boules colorées. Par exemple, dans le problème aux deux couleurs (cf. Figure 3, A), le participant est informé que l’urne 1 contient exactement 50 boules rouges et 50 boules noires (i.e., urne risquée) et que l’urne 2 peut contenir de 0 à 100 boules rouges ou noires (i.e., urne ambiguë). A chaque essai, le participant choisit s’il préfère que la boule rouge (ou noire) soit piochée dans l’urne 1 ou dans l’urne 2, sachant que si la boule de la couleur spécifiée est piochée, il gagne 100€.

1. *Sur quelle boule préférez vous parier : ‘Rouge 1’ ou ‘Rouge 2’?*
2. *Sur quelle boule préférez vous parier : ‘Noire 1’ ou ‘Noire 2’?*

¹¹ Nous nous focaliserons sur une critique du modèle de l’utilité subjective espérée. Pour une critique du modèle de l’utilité espérée voir Allais (1953).

Au premier essai, les participants choisissent préférentiellement l’urne 1, par exemple quand une boule rouge piochée permet de remporter 100€. Bien que le modèle de Savage rende bien compte de cette préférence au premier essai, les participants attribuant une probabilité supérieure de piocher une boule rouge dans l’urne 1 que dans l’urne 2 (i.e., $p(\text{‘Rouge 1’}) > p(\text{‘Rouge 2’})$), ce modèle est dans l’incapacité d’expliquer pourquoi les participants persistent à préférer l’urne 1 à l’essai suivant dans lequel piocher une boule noire permet de gagner 100€. En effet, sachant que la probabilité de tirer une boule rouge dans l’urne 1 est de 50/100, les participants considèrent nécessairement que l’urne 2 contient moins de 50 boules rouges (cf. Figure 3, B). Or, s’il y a moins de 50 boules rouges dans l’urne 2, alors elle contient nécessairement plus de 50 boules noires (cf. Figure 3, C). En toute logique, et selon Savage, les participants devraient choisir de piocher la boule noire dans l’urne 2.

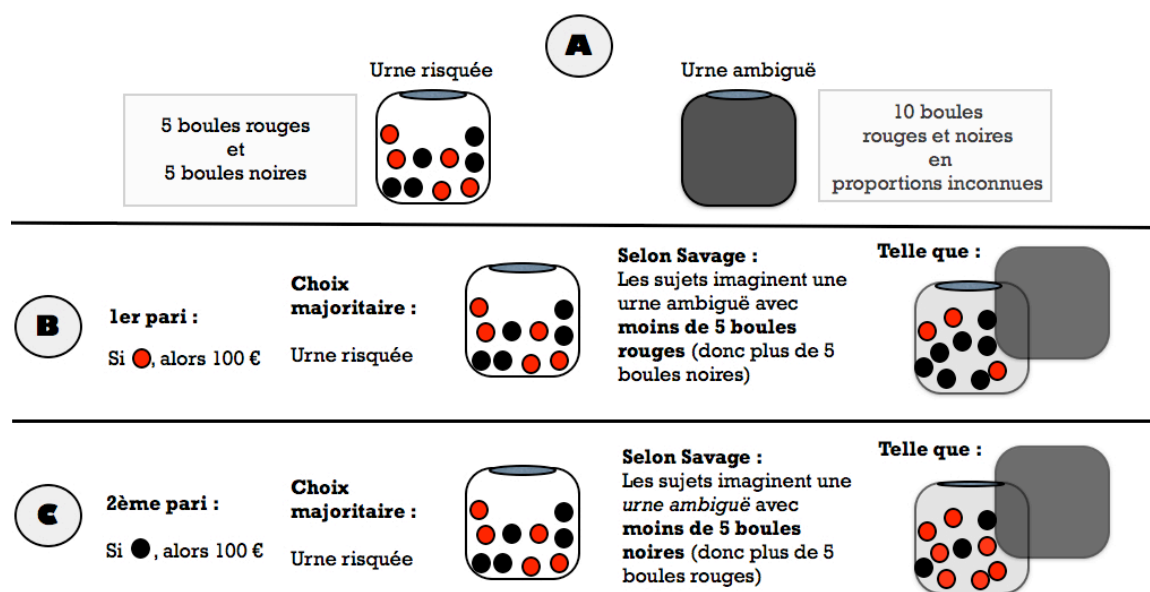


Figure 3 : Problème aux deux couleurs. A) Présentation du matériel. B) Les sujets choisissent majoritairement l’urne risquée lorsqu’il s’agit de miser sur la boule rouge C) et choisissent aussi cette même urne risquée lorsqu’il s’agit de miser sur la boule noire. Choisir successivement l’urne risquée dans ces deux paris implique, selon le modèle de Savage, l’attribution de probabilités subjectives contradictoires.

Les préférences exprimées par les participants démontrent qu’il existe des situations d’incertitude où les individus n’attribuent pas de probabilités subjectives contrairement à ce que postule la théorie de Savage.

« it is impossible to infer probabilities from your choices ; you must inevitably be violating some of the Savage axioms

(specifically, P1 and P2, complete ordering of actions or the Sure-thing Principle). »¹² (Ellsberg, 1961, p. 651)

Selon Ellsberg (1961), ce paradoxe s’explique par la nature de ces situations, elles ne sont pas simplement risquées ou incertaines mais ambiguës. Afin de démontrer que les choix des individus sont guidés par la quantité d’information dont ils disposent sur la situation, Ellsberg (1961) développe une nouvelle situation expérimentale. Dans cette nouvelle situation, une seule urne contenant 30 boules rouges et 60 boules noires ou jaunes dans des proportions inconnues est présentée aux participants (cf. Figure 4, A). Au premier essai, les participants doivent choisir de miser sur la boule rouge ou la boule noire, sachant que celle-ci leur rapportera 100€ si elle est piochée (cf. Figure 4, B). Les participants choisissent majoritairement de miser sur la boule rouge lors de ce premier pari. Selon Savage, les participants attribuent une probabilité subjective de piocher une boule noire inférieure à celle de piocher une boule rouge. En d’autres termes, les participants considèrent que l’urne contient moins de boules noires que de boules rouges. Au second essai, les participants décident s’ils préfèrent miser sur les boules rouges et les boules jaunes ou les boules noires et les boules jaunes (cf. Figure 4, C). Étonnamment, les participants préfèrent miser sur les boules noires et les boules jaunes. Selon Savage, cette préférence implique que la probabilité subjective associée au choix ‘boules rouges ou jaunes’ soit inférieure à 60/90. Or, étant donné que l’urne contient exactement 30 boules rouges, cela implique qu’il y ait moins de 30 boules jaunes dans l’urne. Par conséquent, s’il y a moins de 30 boules jaunes dans l’urne, c’est qu’il y a plus de 30 boules noires. Si, comme le suggère le second choix exprimé, les participants considèrent qu’il y a plus de 30 boules noires dans l’urne comment s’expliquer alors qu’ils choisissent de parier sur les boules rouges dans le premier pari.

¹² Notre traduction est la suivante : « Il est impossible d’inférer des probabilités à partir de vos choix sans que vous ne soyez inévitablement en train de violer les axiomes de Savage (spécifiquement, P1 et P2, l’axiome de préordre total sur les actions ou le Principe de la Chose Sûre). »

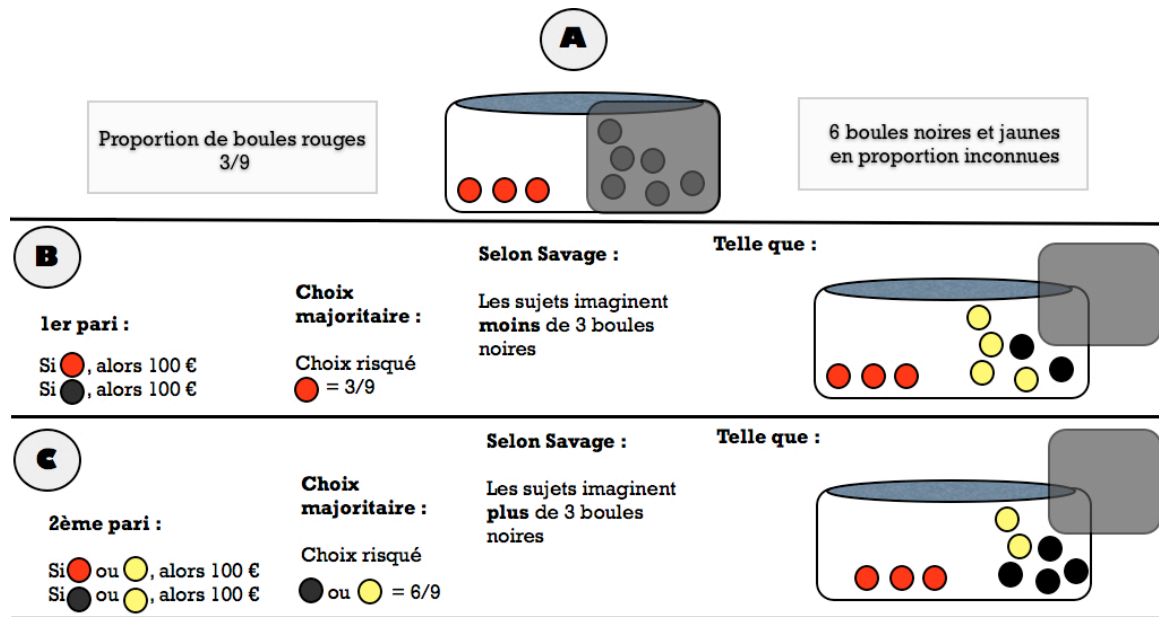


Figure 4 : Problème aux trois couleurs. A) Présentation du matériel, une urne contenant exactement 3 boules rouges et 6 boules noires et jaunes en proportion inconnues. B) Le 1^{er} pari consiste à choisir entre miser sur la couleur rouge ou noire afin de gagner 100 €. Les sujets choisissent majoritairement le choix risqué. C) Le 2nd pari consiste à choisir entre miser sur les couleurs rouges ou jaunes, ou noires ou jaunes afin de gagner 100 €. Les sujets choisissent majoritairement le choix risqué. Une fois de plus la préférence pour le choix risqué suppose l’attribution de probabilités subjectives contradictoires (avec moins de 3 boules noires lors du 1^{er} pari puis plus de 3 boules noires dans le 2nd pari)

Le choix des participants à ce second pari transgresse ainsi l’axiome du Principe de la Chose Sûre. Rappelons que, selon cet axiome, un état du monde qui implique la même conséquence sur deux actions distinctes ne guidera pas le choix de l’individu. Ce principe, appliqué au problème proposé par Ellsberg dans lequel l’état du monde ‘boule jaune’ a la même conséquence sur l’action ‘miser sur la boule rouge’ ou ‘miser sur la boule noire’, aurait dû pousser les participants à choisir l’option ‘boule rouge ou boule jaune’ dans le second pari étant donné la préférence qu’ils ont exprimé sur le premier pari (i.e., boule rouge).

2. L’aversion à l’ambiguïté

Dès lors, il s’agit d’expliquer pourquoi le modèle de l’utilité espérée est dans l’incapacité de rendre compte des choix des individus dans les situations proposées par Ellsberg. Une des explications tiendrait au fait que les choix des individus soient en partie guidés par leur aversion à l’ambiguïté. L’exemple de l’urne qui contient des boules de trois couleurs en est une parfaite illustration. Lors du premier essai (cf. Figure 4, B), le participant a le choix entre un choix risqué (i.e., les boules rouges) et

un choix ambigu (i.e. les boules noires). Ce dernier est ambigu, dans la mesure où il existe une proportion inconnue de boules noires dans l'urne (variant entre 0 et 60 sur un total de 90 boules). Les participants préfèrent le choix risqué caractérisé par une proportion bien définie de 30 boules rouges sur 90 boules.

Choisir de miser sur 'les boules rouges' c'est choisir une situation risquée avec une probabilité : p ('boule rouge') = $30/90 = 1/3$

Choisir de miser sur 'les boules noires' c'est choisir une situation ambiguë avec une probabilité : $0/90 \leq p$ ('boule noire') $\leq 60/90$

Lors de ce premier pari, il y a donc aversion à l'ambiguïté puisque les participants choisissent préférentiellement l'option risquée. Cette aversion à l'ambiguïté persiste sur le second pari dans lequel les participants préfèrent l'option risquée 'boule noire ou boule jaune' (associée à la probabilité objective de 60/90) à l'option ambiguë 'boule rouge ou boule jaune' (associée à une probabilité inconnue : le nombre exact de boules jaunes dans l'urne).

Choisir de miser sur 'les boules rouges ou jaunes' c'est choisir une situation ambiguë avec une probabilité : p ('boule rouge ou jaune') = $30/90 + 0/90 \leq p$ ('boule jaune') $\leq 60/90$

Choisir de miser sur 'les boules noires ou jaunes' c'est choisir une situation risquée avec une probabilité : p ('boule noire ou jaune') = $60/90$

Les choix des participants dans les problèmes proposés par Ellsberg mettent en évidence que la prise de décision est guidée notamment par l'évitement des situations dans lesquelles l'individu manque d'informations sur les probabilités associées aux différentes options qui s'offrent à lui. Les études menées ces quarante dernières années démontrent que l'aversion à l'ambiguïté est un effet robuste et puissant (pour une revue voir Camerer & Weber, 1992), qu'il s'agisse de situations de pari monétaires, de choix thérapeutiques (Bier & Connell, 1994; Ritov & Baron, 1990) ou du choix d'une assurance (Einhorn & Kunreuther, 1990). L'aversion à l'ambiguïté est telle que l'option risquée est préférée à l'option ambiguë même lorsque celle-ci est moins avantageuse (Keren & Gerritsen, 1999), et même si la logique des problèmes

d'Ellsberg (i.e., le principe de la chose sûre) est présentée aux participants avant qu'ils ne prennent leur décision¹³ (Slovic & Tversky, 1974). Néanmoins, dans certains contextes, le choix des individus peut se porter sur l'option l'ambiguë notamment quand les probabilités offertes par les options risquées se caractérisent par de petites chances d'obtenir un gain, ou de fortes chances d'obtenir une perte (Curley & Yates, 1985 ; Einhorn & Hogarth, 1985 ; Kahn & Sarin, 1988).

« We define ambiguity as the subjective experience of missing information relevant to a prediction »¹⁴ (Frisch & Baron, 1988, p.152)

Si la force de ce phénomène est maintenant bien établie, de nombreuses questions subsistent, encore aujourd'hui, quant à son interprétation. La plupart des théories considèrent qu'il s'agit d'un phénomène sensé mais indépendant de l'attribution de probabilités subjectives. Selon Ellsberg (1961), il est, par exemple, raisonnable de choisir de miser sur 'boule noire ou boule jaune' étant donné la variabilité de l'utilité espérée du choix 'boule rouge ou boule jaune'.

Utilité espérée minimale du choix 'boule rouge ou boule jaune' =
 $30/90 * 100 \text{ €} + 0/90 * 100 \text{ €}$

Utilité espérée maximale du choix 'boule rouge ou boule
jaune' = $30/90 * 100 \text{ €} + 60/90 * 100 \text{ €}$

Utilité espérée choix 'boule noire ou boule jaune' = $100 \text{ €} * 60/90$

Dans ce cadre, Ellsberg considère qu'un participant qui choisit de miser sur 'boule noire ou boule jaune' maximise sa valeur espérée.

Frisch & Baron (1988) qualifient cette aversion à l'ambiguïté « d'heuristique utile » (p. 154) et proposent plusieurs raisons pour expliquer pourquoi nous sommes sujets à cette aversion. Ces auteurs suggèrent, par exemple, qu'il est moins risqué de

¹³ Dans cette étude les sujets sont informés du *Principe de la Chose Sure* après avoir répondu à un problème similaire à ceux présentés par Ellsberg.

¹⁴ Notre traduction est la suivante « Nous définissons l'ambiguïté comme l'expérience subjective d'un manque d'informations pertinentes pour une prédiction »

ne pas parier sur les événements ambigus car il se peut qu'un adversaire dispose de plus d'informations et soit ainsi en meilleure position pour choisir avantageusement, ou encore parce qu'un sentiment de regret sera plus vraisemblablement ressenti dans le cas d'un choix ambigu. Au cœur de ces explications on note la notion de comparaison qui se retrouve dans l'hypothèse de l'ignorance relative proposée par Amos Tversky. Cette hypothèse insiste sur l'importance de l'état d'esprit de l'individu et de son sentiment de compétence (Heath & Tversky, 1991) tout en caractérisant l'aversion à l'ambiguïté comme propre aux situations de comparaison (Fox, & Tversky, 1995; Fox & Weber, 2002). Les données recueillies sur des protocoles ingénieux par ces auteurs démontrent qu'en l'absence d'un contraste avec des événements moins ambigus ou avec des individus plus compétents, le phénomène d'aversion à l'ambiguïté disparaît.

Si l'aversion à l'ambiguïté a été largement étudiée, et notamment les situations dans lesquelles elle survient, sa nature reste sujette à questionnement. Selon Einhorn & Hogarth (1985), l'aversion à l'ambiguïté résulterait d'une analyse cognitive de la situation : les individus utiliseraient, en premier lieu, un mécanisme d'ancrage autour de la probabilité ambiguë, avant d'exécuter un ajustement ascendant ou descendant. D'autres auteurs, au contraire, considèrent que l'aversion à l'ambiguïté a une origine affective (Pulford & Coleman, 2008) bien qu'ils reconnaissent l'importance de la comparaison pour expliquer le paradoxe d'Ellsberg (Rubaltelli, Rumiati, & Slovic, 2010). Pour mettre en évidence le caractère affectif de l'aversion à l'ambiguïté, Rubaltelli et collaborateurs (2010) n'évaluent plus la propension du participant à accepter un pari (i.e., paradigme classique mesurant l'aversion à l'ambiguïté) mais ses réactions affectives dans deux conditions : l'une où les paris sont présentés simultanément (i.e., condition conjointe) et l'autre où ils sont présentés séparément (i.e., condition séparée). Les individus évaluent sur une échelle de Likert dans chaque condition l'attractivité du pari, la clarté de leur sentiment vis à vis de celui-ci, l'intensité de leur sentiment et leur difficulté à juger le pari. Les réactions affectives des participants sont biaisées positivement en faveur de l'option risquée par rapport à l'option ambiguë, mais uniquement dans la condition conjointe. Néanmoins, l'attractivité et les sentiments vis à vis des options ambiguës sont significativement meilleurs dans la condition séparée que conjointe. Il semblerait donc que l'aversion à

l’ambiguïté repose sur une situation de comparaison qui génère des réactions affectives, réactions qui guident le processus de prise de décision.

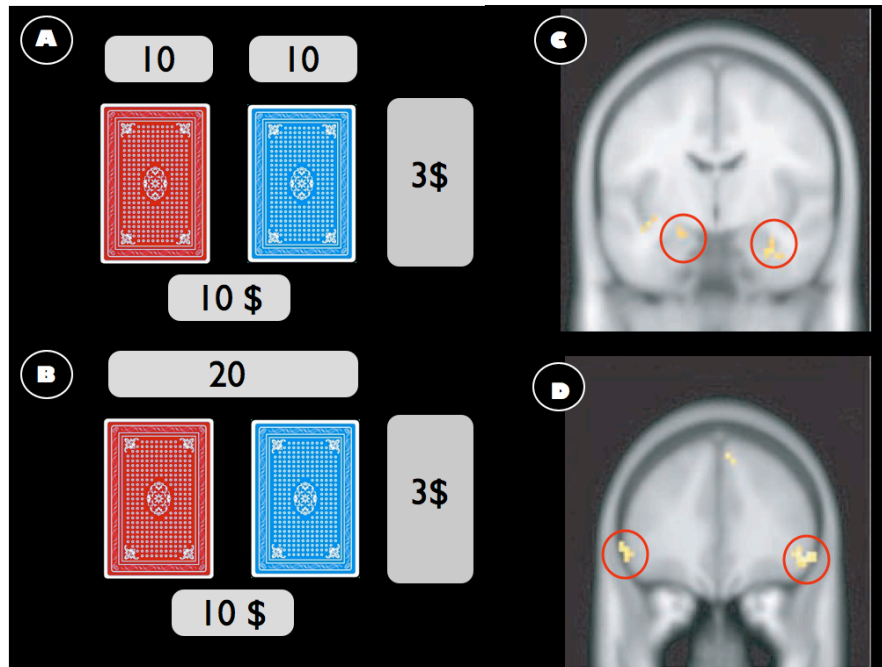


Figure 5 : Exemple issu de la tâche de prise de décision utilisée dans l'étude de Hsu et al. (2005). A) Présentation d'un essai risqué où le participant a le choix de miser sur la couleur rouge ou bleu sachant qu'il y a 10 cartes bleues et 10 cartes rouges et qu'il remporte 10\$ dans le cas où la couleur de son choix est tirée. Le choix sûr lui offre 3\$ B) Dans l'essai ambigu les participants sont informés du nombre total (e.g., 20) de carte rouges et bleues. L'analyse du contraste des régions les plus activées durant des situations d'ambiguïté par rapport à des situations de risque révèle une forte activation C) des amygdales gauche et droite et D) du cortex orbitofrontal bilatéral.

Bien qu'il existe, à l'heure actuelle, peu de données sur les bases neurocognitives du traitement de l'ambiguïté, il semble que des réseaux cérébraux distincts soient impliqués dans la préférence au risque et à l'ambiguïté. La préférence pour l'ambiguïté corrèle spécifiquement avec l'activité de la partie postérieure du sulcus frontal inférieur¹⁵, alors que la préférence pour le risque corrèle spécifiquement avec le cortex pariétal postérieur (Huettel, Stowe, Gordon, Warner, & Platt, 2006). Cependant, une étude récente portant sur la représentation de la valeur subjective des probabilités met en évidence qu'un certain nombre de structures cérébrales, notamment le striatum¹⁶ et le cortex préfrontal médial, sont activées aussi bien dans une situation de risque que d'ambiguïté ; l'activation dans ces structures variant en fonction du degré d'incertitude de la situation (Levy, Snell, Nelson,

¹⁵ Il s'agit d'une région du cortex frontal latéral.

¹⁶ Région sous-corticale connue pour son implication dans le système de la récompense.

Rustichini, & Glimcher, 2010). Enfin, une étude en Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) démontre que l’ambiguïté est spécifiquement corrélée avec l’activation de l’amygdale¹⁷ et du cortex orbito-frontal (cf. Figure 5) des régions connues pour leur implication dans des processus d’ordres émotionnels. (Hsu, Bhatt, Adolphs, Tranel, & Camerer, 2005).

III. Conclusions

Ce premier chapitre fait clairement apparaître que la prise de décision a été, dans un premier temps, essentiellement considérée d’un point de vue économique. L’approche normative employée successivement par le modèle de l’utilité espérée (Von Neumann & Morgenstern, 1944) puis celui de l’utilité subjective espérée¹⁸ (Savage, 1954) reflète la volonté initiale d’axiomatiser le choix des individus. Bien que ces modèles demeurent des références incontournables dans le champ de la microéconomie, il est clair qu’ils n’ont pas vocation à rendre compte des choix des individus dans leur vie quotidienne. Les paradoxes observés, notamment celui d’Ellsberg, dans le domaine de la prise de décision monétaire mettent en exergue les limites de ces modèles et remettent en cause le caractère fondamentalement rationnel de l’être humain (Allais, 1953; Ellsberg, 1961). Cette double défaillance des modèles théoriques normatifs est en partie issue d’un biais téléologique. En effet, l’objectif de ces modèles est d’axiomatiser le choix d’un individu qui maximise sa valeur espérée. En d’autres termes, ces modèles se sont construits en considérant la maximisation de la valeur espérée comme un postulat. Il est, en ce sens, intéressant de remarquer que l’évolution de nos connaissances sur la prise de décision a été, en partie, contrainte par l’orientation théorique et méthodologique. Bien que l’économie ait proposé différentes modélisations du choix économique, celles-ci ne rendent pas compte de la pluralité des points de vue cognitifs, comportementaux et neurocognitifs des modèles théoriques proposés dans d’autres domaines. La psychologie, moins sujette à des conceptions théoriques globales a priori, a permis de faire émerger la complexité du processus de prise de décision. Au cours des années 70, les psychologues vont

¹⁷ Région sous-corticale connue pour son implication dans les émotions et particulièrement la peur.

¹⁸ Bien que celui-ci soit issu d’un souci de subjectivité il n’en reste pas moins un modèle normatif.

notamment mettre en évidence un grand nombre de paradoxes dans le domaine de la prise de décision (e.g., Kahneman & Tversky, 1979). Les premières explications sont strictement cognitives et ancrées dans un dualisme de la rationalité. Il faudra attendre presque cinquante ans après la première exposition du paradoxe de Ellsberg pour que la nature des processus de l’aversion à l’ambiguïté soit envisagée comme potentiellement affective (Rubaltelli et al., 2010). La question de la nature de ce phénomène nous amène aussi à questionner sa fonction : l’aversion à l’ambiguïté ne pourrait-elle pas être adaptative ? N’est-il pas sensé de préférer ce que l’on connaît à ce que l’on ne connaît pas quand il faut choisir dans l’incertitude ? Quoi qu’il en soit, l’aversion à l’ambiguïté est un phénomène qui ne constitue qu’une petite partie des situations sous ambiguïté qui se caractérise par la présentation simultanée d’une option ambiguë et d’une option incertaine (Fox et al., 1995; Fox & Weber, 2002). Alors que se passe-t-il lorsque l’ambiguïté est totale ? En essayant de répondre à cette question nous verrons dans le deuxième chapitre de ce manuscrit qu’il semble aujourd’hui difficile de ne pas prendre en compte la question des émotions dans le cadre de la décision et qu’il est de surcroît nécessaire de se défaire du postulat classique d’une prise de décision inévitablement orientée vers la maximisation de la valeur espérée.

Chapitre 2 – La prise de décision sous ambiguïté : Théâtre des interactions entre cognition et émotion

Dans cette thèse nous nous interrogeons sur le rôle des émotions dans la prise de décision sous ambiguïté. Comme nous l'avons vu précédemment, dans notre vie quotidienne, nous prenons la plupart du temps des décisions dans des situations dans lesquelles nous n'avons pas d'informations sur les options qui s'offrent à nous. Par exemple, si vous venez de déménager à Tokyo et que vous devez choisir un restaurant alors que vous ne lisez pas ni ne parlez japonais et que vous ne disposez d'aucune information sur les qualités respectives des différents établissements, un tel choix s'effectuera dans un cadre d'ambiguïté. Il est alors fort probable que votre décision soit fondée sur les ressentis émotionnels associés à chaque restaurant envisagé et leur analyse comparative. Cette hypothèse d'un guidage émotionnel de la prise de décision sous ambiguïté est notamment défendue par Antonio Damasio et qu'il qualifie d'Hypothèse des Marqueurs Somatiques (1994). Avant de présenter celle-ci, au cœur des travaux présentés dans cette thèse, nous rappellerons brièvement comment les émotions ont progressivement été introduites dans le champ de la psychologie de la prise de décision (Houdé, 2011).

I. Les relations entre la psychologie des émotions et la psychologie de la prise de décision :

1. De la difficulté de définir une émotion :

Avant de nous intéresser au rôle des émotions dans la décision sous ambiguïté, il est impératif de définir ce que nous entendons par 'émotion'. Si l'on examine, en premier lieu, l'étymologie du mot 'émotion', on découvre le mot latin « motio » qui fait référence à la notion de mouvement. Aristote assimilait déjà l'émotion au mouvement en considérant qu'elle était une transformation.

*« Transformation de l'état d'un individu, telle que le jugement en est affecté, et qui est accompagné de plaisir et de peine ».
(Rhétorique, p. 6).*

Au delà de ces premiers essais philosophiques¹⁹ sur l'émotion, les controverses conceptuelles que celle-ci suscitera au XIX^{ème} siècle se révèlent particulièrement intéressantes pour notre propos. La définition proposée par William James (1884/1968), considéré aujourd'hui comme l'un des pères fondateurs de la psychologie des émotions, marque le début d'une des premières controverses à ce sujet. Notant ingénieusement que *si l'on s'imagine une émotion forte, et que l'on soustrait les « symptômes du corps » qui l'accompagnent lors de cet exercice « alors, il ne reste plus rien »* ; sa définition se restreint alors à ces « symptômes du corps ». Ainsi, si vous vous rappelez votre dernière grosse colère il est fort probable que vous repensiez à votre cœur qui semblait battre au point de rompre, à vos mains moites ou encore vos mâchoires serrées. De fait, on dit parfois que l'on est « habité » par telle ou telle émotion. Cette expression rejoint, l'idée que l'émotion s'ancre dans le corps.

*« Our natural way of thinking about these standard emotions is that the mental perception of some fact excites the mental affection called the emotion, and that this latter state of mind gives rise to the bodily expression. My thesis on the contrary is that the bodily changes follow directly the PERCEPTION of the exciting fact and that our feeling of the same changes as they occur IS the emotion. »*²⁰(James, 1884/1968, p. 189)

Cette théorie²¹ « périphérique », qui situe le substrat de l'émotion dans les changements du corps, s'oppose à la théorie « centraliste » (Cannon, 1927, 1931) dans laquelle le siège de l'émotion est localisé au niveau du système nerveux central (Sander & Scherer, 2009). Selon la perspective Jamesienne, vous avez peur quand vous rencontrez un loup en forêt parce que la vision du loup va provoquer en vous des sueurs froides et l'accélération de votre rythme cardiaque. A l'inverse, Cannon considère les manifestations corporelles comme de simples corollaires de notre expérience émotionnelle subjective. Sur la base de ces deux définitions antithétiques

¹⁹ Nous discuterons ultérieurement du dualisme Cartésien et de sa conception de l'émotion.

²⁰ Notre traduction est la suivante : « Une façon classique d'aborder ces émotions standards est de concevoir que la perception mentale de certains faits génère la perception mentale nommée émotion, et que cette dernière induit une expression corporelle. Ma thèse, au contraire, est que les changements corporels font directement suite à la PERCEPTION du fait stimulant et que le ressenti de ces mêmes changements EST l'émotion »

²¹ Cette théorie est aussi appelée « Théorie de James-Lange » en référence au physiologiste Carl Lange qui publiera un article en accord avec la vision de James (Sander & Scherer, 2009, p.9).

des émotions, un grand nombre de définitions a été proposé (pour une revue récente voir, Barrett, Mesquita, Ochsner, & Gross, 2007). Nous retiendrons ici une définition tridimensionnelle de l'émotion dans laquelle l'émotion est constituée par : 1) des modifications physiologiques dites neurovégétatives (e.g., rythme cardiaque, sudation), d'une composante expressive (e.g., sourire, froncement des sourcils), et d'un ressenti subjectif nommé sentiment (Damasio, 1994). Enfin, comme les approches de l'émotion sont multiples, les termes employés dans la littérature sont également variables. Ainsi, la psychologie des émotions traite de l'émotion, des affects et des humeurs, tantôt comme des entités strictement disjointes (Frijda, 1993) et tantôt comme des entités substituables (Damasio, 1994). Notre intérêt pour le rôle des processus émotionnels au sein de la décision nous conduit à opter pour ce dernier niveau d'analyse plus général.

2. *L'émotion, victime d'un sempiternel dualisme:*

L'intérêt porté aux émotions et à leurs rôles a été variable au cours de l'histoire des sciences (Sander & Scherer, 2009). Ces variations peuvent se comprendre tout d'abord par la dichotomie entre corps et esprit introduite dans l'Antiquité qui trouve un prolongement dans la dichotomie proposée entre émotion et cognition. Originellement la philosophie occidentale, de Platon à Kant en passant par Descartes, a dépeint l'émotion²² comme perversion de la raison, cantonnant de fait l'émotion à une hérésie sans rôle si ce n'est celui de perturbatrice. Aujourd'hui cette séparation entre corps et esprit est non seulement affiliée, mais aussi reprochée au dualisme Cartésien (voir encart ci-dessous). Il faudra en effet attendre le XIX^{ème} siècle pour que Charles Darwin, s'intéressant à *L'Expression des émotions chez l'homme et chez les animaux*, introduise l'idée d'une fonction adaptative des émotions (1872/1981). En écho avec sa théorie évolutionniste, il attribue un caractère universel mais surtout un rôle adaptatif aux émotions qui auraient favorisé la survie de l'espèce en permettant aux individus de répondre de façon appropriée aux exigences environnementales.

²² Similairement à notre précédente remarque concernant les divergences quant aux termes employés dans l'étude des émotions, il faut noter que les philosophes font plus précisément référence aux passions. Dans le respect de notre thèse, et dans un souci de clarté, nous considérerons comme équivalents les concepts d'émotions, affects et passions bien qu'il existe des différences entre ces concepts (voir Lewis & Haviland, 1992 cité dans Ledoux 2000 p 158)

Notre thèse se faisant au sein de l'Université René Descartes (rebaptisée « Paris Descartes » dans les années 2000), nous avons jugé important de faire un petit aparté sur ce grand philosophe du XVII^{ème} siècle. Il nous fallait rendre hommage à celui qui, avec son *cogito ergo sum* (i.e., je pense donc je suis), recentra l'individu au cœur de la construction de son savoir offrant de fait les prémices des sciences cognitives (Houdé, 1998). Pourtant, les neurosciences actuelles choisissent de se focaliser sur son dualisme responsable d'une scission du corps et de l'esprit. Il opère cette scission entre le corps et l'esprit sur la base de leurs dissemblances telles qu'un corps machine divisible au contraire d'une âme indivisible et unique.

« en effet, nous ne pouvons concevoir la moitié d'aucune âme, comme nous pouvons faire du plus petit de tous les corps ; en sorte que leurs natures ne sont pas seulement reconnues diverses, mais même en quelque façon contraires. » (6^{ème} Méditation Métaphysique, 1641)

Mais de façon critique cette distinction entre corps et esprit permettra à Descartes d'attribuer une qualité immortelle à l'âme contrairement au corps protégeant ce dernier du jugement de l'Eglise. A l'inverse, la neuropsychologie moderne ne l'épargne pas et le désigne comme responsable d'un retard des avancées théoriques. Les brillants travaux d'Antonio Damasio, qui sont au cœur de notre thèse, propulsent l'étude des interactions entre cognition et émotion tout en condamnant du même coup *l'Erreur de Descartes* (1994). Cette *erreur*, disons ce paradoxe, c'est celui d'un esprit immatériel alors qu'il reconnaissait aussi le corps et l'esprit comme précisément unis.

« Tous ces sentiments de faim, de soif, de douleur, etc., ne sont autre chose que de certaines façons confuses de penser, qui proviennent et dépendent de l'union et comme du mélange de l'esprit avec le corps. » (6^{ème} Méditation Métaphysique, 1641)

D'autre part, les premières théories sur les substrats neuronaux de l'émotion considèrent que le siège des émotions est sous-cortical au sein de structures apparues précocement au cours de la phylogénèse: le thalamus, le cortex cingulaire, l'hippocampe et l'amygdale (Papez, 1937 ; Mac Lean, 1949). Bien que ces théories

accordent un rôle adaptatif aux émotions, l'idée que les émotions soient prises en charge par des structures relativement anciennes au regard du développement phylogénétique alors que la cognition implique des structures corticales plus récentes renforce la dissociation cognition/émotion (Ledoux, 2000). L'intérêt porté aux émotions se réduira au cours du 20^{ème} siècle avec la révolution cognitiviste, essentiellement centrée sur l'analogie entre pensée et informatique, qui n'intégrera pas les mécanismes émotionnels dans ses diverses modélisations du traitement de l'information. En effet, le caractère subjectif de l'expérience émotionnelle (ou encore conscience émotionnelle) la rend inaccessible et inutile pour l'étude de la cognition et du comportement (Skinner, 1948 ; Neisser, 1967). Durant la seconde moitié du XX^{ème} siècle, l'amorce d'une critique de cette approche restrictive des émotions va naître. Malheureusement, les résultats des premières études sur les interactions entre cognition et émotion vont donner naissance à un débat aboutissant à la division conceptuelle classique, c'est-à-dire du même ordre que celle proposée entre cognition et émotion. D'un côté, Zajonc défend la primauté de l'émotion sur la cognition en mettant notamment en évidence que les émotions peuvent influencer inconsciemment notre jugement (Zajonc, 1980 ; 2000). A l'inverse, Lazarus considère de son côté que l'émotion découle inéluctablement d'une évaluation cognitive (Lazarus, 1981, 1984). La littérature sur le domaine va ainsi longtemps osciller entre primat de l'émotion et primat du cognitif, tel un « pendule », probablement du fait de la scission opérée entre corps et esprit dès l'Antiquité (pour une revue voir Keltner & Gross, 1999).

3. Les émotions dans le cadre du raisonnement et de la décision

Dans notre premier chapitre, nous avons vu que les économistes et les psychologues ont longtemps considéré que nos décisions étaient guidées par un calcul de la valeur espérée. Cette conception dite conséquentialiste, au sens où le choix des individus reposerait majoritairement sur le calcul des conséquences potentielles de leurs choix, est remise en cause par le comportement réel des individus (Allais, 1953; Ellsberg, 1961; Kahneman & Tversky, 1979). L'une des explications de cette déviation face à la norme reposerait sur l'existence d'une double rationalité : l'une intuitive et émotionnelle, l'autre dédiée à la logique pure et au traitement analytique (Evans & Over, 1997; Houdé, 1997; Stanovich & West, 2000; Tversky & Kahneman, 1983). Ces théories du double processus ont particulièrement

étudié cette dissociation dans le cadre du raisonnement. L'un de ces exemples emblématiques est une tâche de réfutation de règles conditionnelles de type : si p (antécédent), alors q (conséquent). Dans celle-ci, (Evans, 1972) les participants échouent majoritairement lorsqu'il s'agit de réfuter la règle suivante : «*S'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite* ». Alors qu'il faut garder l'antécédent vrai (i.e., pas de carré rouge à gauche) et rendre le conséquent faux (i.e., pas de cercle jaune à droite) la majorité des participants exprime un biais d'appariement perceptif en choisissant les éléments cités dans la consigne (i.e., un carré rouge à gauche d'un cercle jaune soit non-p, q). Selon Houdé et Moutier (1996), les erreurs dans cette tâche résultent de la compétition entre une stratégie intuitive/heuristique et une stratégie analytique/algorithmique. Cependant, le rôle des émotions n'est pas envisagé uniquement du point de vue de ses interférences potentielles avec les capacités de raisonnement logique, mais également du point de vue de leurs implications dans la programmation exécutive de l'inhibition d'une erreur de raisonnement quasi systématique, le biais d'appariement perceptif, à l'issue d'une procédure originale d'apprentissage métacognitif exécutif incluant une forte composante émotionnelle (Houdé et al., 2001; voir aussi Cassotti & Moutier, 2010). Cette transition d'une réponse erronée vers une réponse logique s'illustre par : (1) une bascule neuronale d'un réseau d'activations postérieur à un réseau d'activations antérieur frontal (cf. Figure 6)(Houdé et al., 2000, 2001; Houdé, 2007) et (2) par une augmentation de la réponse électro-dermale (Spiess et al., 2007). En d'autres termes, ces données conduisent à penser que la récupération des expériences émotionnelles suscitées dans la phase d'apprentissage peut guider la sélection/inhibition d'une stratégie cognitive. Aujourd'hui, les auteurs s'accordent pour reconnaître qu'une psychologie de la décision qui ne sonde pas l'influence des facteurs émotionnels, qu'ils soient propres aux tâches à réaliser ou aux traits de personnalité, serait éloignée de la réalité (Loewenstein, Weber, Hsee, & Welch, 2001). De fait, ces 30 dernières années l'intérêt pour les interactions entre processus de haut niveau²³ et émotion n'a cessé de croître (Parrott, Smith, & Watts, 2011).

²³ La décision est souvent associée à un groupe de processus de haut niveau qui permet la mise en œuvre d'actions complexes sur le monde, comprenant le raisonnement et le jugement (Piattelli-Palmarini, 2002). Dans un souci de clarté nous ne ferons pas une revue complète de cette vaste littérature comprenant raisonnement, jugement et décision et nous renvoyons le lecteur vers d'autres revues (Blanchette & Richards, 2010; Oatley & Johnson-Laird, 2011; Oatley, Parrott, Smith, & Watts, 2011; Pham, 2007)

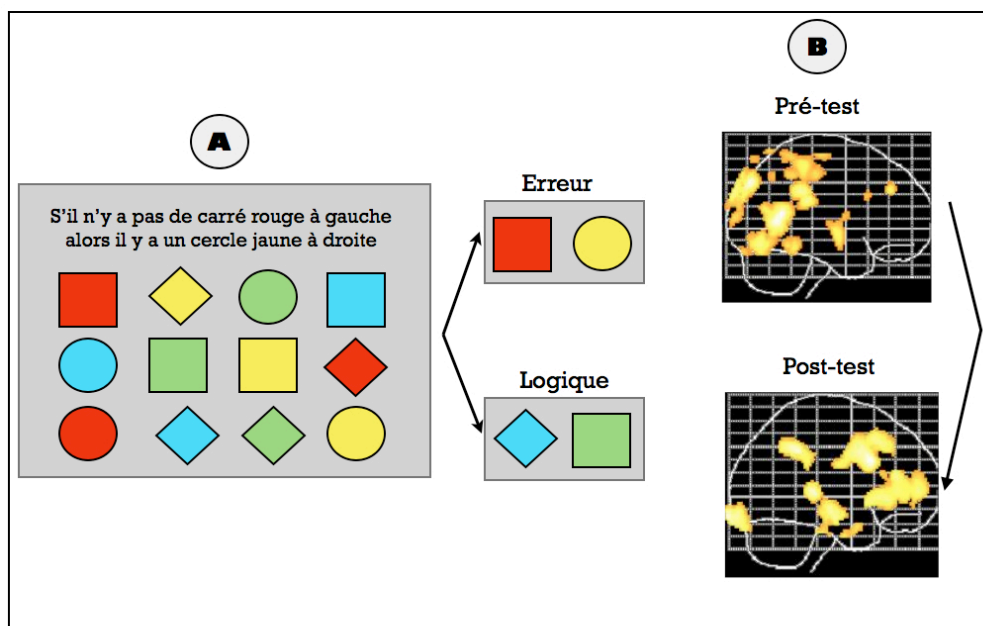


Figure 6 : A) Dans cette tâche les participants doivent réfuter la règle conditionnelle suivante : « S'il n'y a pas de carré rouge à gauche alors il y a un cercle jaune à droite ». De façon erronée la majeure partie des participants choisit de mettre un carré rouge à gauche d'un cercle jaune, au lieu de mettre par exemple un losange bleu à gauche d'un carré vert. B) Dans le cadre d'un paradigme d'apprentissage précédé d'un pré-test et succédé d'un post test, on observe une bascule neuronale d'une activation postérieure lors de la réponse erronée à une activation préfrontale lors de la réponse logique.

Le rôle des émotions dans la prise de décision a été étudié, dans un premier temps, sous l'angle de la prise de risque et de l'évaluation de celui-ci, de la même manière que les premières études sur la prise de décision portaient sur les situations à risque (i.e., lorsque les probabilités sont à disposition de l'individu). La plupart de ces recherches ont analysé l'impact des émotions en utilisant des protocoles d'induction émotionnelle. Ces protocoles expérimentaux consistent généralement à induire un état émotionnel soit par la présentation d'un matériel émotionnel tel que des photographies, de la musique ou encore par le rappel d'un souvenir émotionnel (Brenner, 2000; Gerrards-Hesse, Spies, & Hesse, 1994). Dans ce contexte, on parle généralement d'émotions incidentes²⁴ car l'émotion n'est pas propre au matériel cible (Blanchette & Richards, 2010). Les résultats d'une des études princeps mettent en évidence une interaction entre la valence de l'émotion et l'évaluation du risque : une émotion à valence positive entraîne une évaluation optimiste du risque alors qu'une émotion négative entraîne une évaluation pessimiste du risque (Johnson & Tversky, 1983). De plus, l'émotion interagit avec le niveau du

²⁴ Nous reviendrons ultérieurement sur le cas crucial des émotions intégrales, qui correspondent aux situations où l'émotion est induite par le matériel cible à traiter.

risque²⁵, modifiant la propension des sujets à accepter un risque (Isen & Geva, 1987; Isen & Patrick, 1983). Il devient donc manifeste que l'émotion peut modifier le jugement ou la décision face au risque comme le postulent les modèles « Affect as information »²⁶ (Schwarz, 2000; Schwarz, Norbert, Clore, 1983) ou encore « Risk as Feelings »²⁷ (Loewenstein et al., 2001).

Une des premières études que nous avons menée sur l'influence des émotions incidentes sur la prise de risque menée au sein de notre laboratoire questionna plus spécifiquement l'impact d'émotions à valence positive et négative sur un biais décisionnel : l'effet du cadre (Cassotti, Habib, Poirel, Aïte, Houdé & Moutier, 2012 voir annexe; Tversky & Kahneman, 1981). Ce biais consiste en une modulation du choix des individus en fonction de la formulation des options en dépit d'une valeur espérée strictement équivalente. Par exemple, si l'on vous prête 50 euros et que l'on vous propose de choisir entre garder de façon sûre 30€ ou tourner une roue de la fortune qui présente 6 chances sur 10 de remporter les 50€ et 4 chances sur 10 de tout perdre, il est probable que vous choisissiez l'option sûre « garder 30€ » (voir, Figure 7, B). En d'autres termes, dans un cadre de gain les individus sont aversifs au risque alors qu'ils sont enclins au risque dans un cadre de perte. Etant donné que ce biais décisionnel corrèle avec l'activation de l'amygdale, suggérant une forte composante affective (De Martino, Kumaran, Seymour, & Dolan, 2006), nous avons choisi de tester l'impact d'émotions incidentes sur celui-ci. Pour cela, nous avons présenté des images à valence positive et négative, issues de l'International Affective Picture System (IAPS : Lang, Bradley & Cuthbert, 2008), durant 5000 ms entre le prêt initial et l'étape décisionnelle. Nos résultats illustrent un effet du cadre classique dans un groupe contrôle (i.e., sans images) et dans le groupe ayant été soumis à un contexte émotionnel de valence négative, tandis que cet effet du cadre s'avère étonnamment supprimé pour le groupe ayant été soumis à un contexte émotionnel de valence positive (voir Figure 7, C).

²⁵ Il est d'ailleurs possible d'étudier l'impact de l'émotion sur la perception de l'utilité subjective ou sur la perception des probabilités subjectives

²⁶ Ce modèle stipule que l'affect est source d'information lors d'une prise de décision

²⁷ Ce modèle stipule que l'émotion influence la décision car les réactions émotionnelles à un risque différent de l'évaluation de ce même risque.

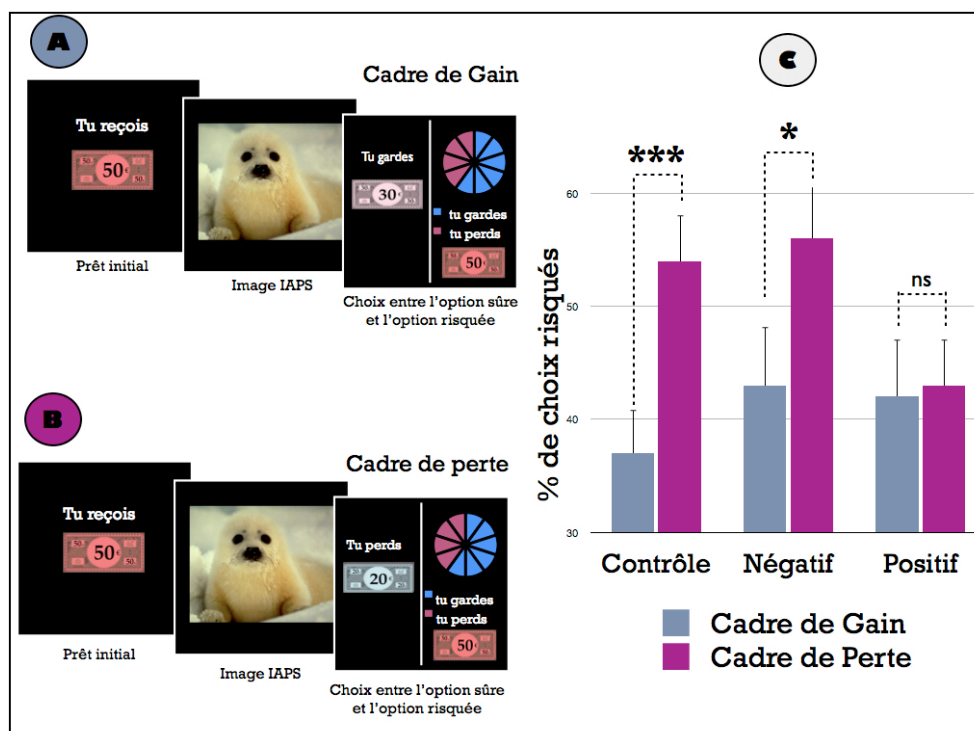


Figure 7 : Présentation d'un essai d'une tâche de prise de risque en cadre de gain (A) et en cadre de perte (B) dans un contexte émotionnel positif. A chaque essai le participant se voit prêter une somme initiale (e.g., 50€), puis on lui présente une image issue de l'IAPS avant que celui-ci ne fasse son choix (une image à valence positive comme dans l'exemple ou une image à valence négative et sans image pour le groupe contrôle). Enfin, le participant doit choisir entre une option sûre présentée en terme de gain (A) « tu gardes 30€ » ou en terme de perte (B) « tu perds 20€ » et une option risquée illustrée sous la forme d'une roue de la fortune dont les segments représentent les probabilités de remporter ou de perdre la somme initialement prêtée. C) Présentation du pourcentage d'essais dans lesquels les participants des 3 groupes choisissent l'option risquée en fonction du cadre. Les résultats indiquent un effet du cadre dans le groupe contrôle (***) et dans le groupe négatif (* $p < .05$). A l'inverse, les participants du groupe positif ne présentent pas d'effet du cadre (p, ns : non significatif).

En effet, le contexte émotionnel positif a spécifiquement diminué la prise de risque en cadre de perte, conduisant les participants à prendre autant de risque en cadre de gain qu'en cadre de perte. L'interprétation que nous proposons de ce résultat est que l'émotion positive incidente a diminué l'aversion aux pertes sûres, réduisant alors la propension au risque des participants dans ce cadre. En résumé, cette étude démontre que si l'effet du cadre semble d'origine émotionnelle (De Martino et al., 2006; Tversky & Kahneman, 1981), la simple présentation d'images à caractère émotionnel positif permet au contraire la diminution de ce même biais.

Toutefois, ces premières recherches ne s'intéressent qu'à l'effet de la valence de l'émotion incidente sur la prise de décision – e.g., l'effet de la joie (émotion positive) par rapport à l'effet de la peur (émotion négative) sur la prise de risque. Néanmoins, les études ultérieures vont démontrer que des émotions de même valence (e.g., peur, colère, tristesse,...) affectent différemment la prise de décision des

individus (Desteno, Petty, Wegener, & Rucker, 2000; Lerner, Small, & Loewenstein, 2004; Raghunathan & Pham, 1999). Ces études postulent que les émotions peuvent être catégorisées sur une dimension d'évaluation (ou conceptuelle) telle que la certitude, le sentiment de contrôle et la responsabilité qui leurs sont associés (Lazarus, 2001). Cette classification des émotions est à la base du modèle de « l'Appraisal Tendency Framework »²⁸ (Lerner & Keltner, 2000). Dans ce modèle, l'influence d'un état émotionnel sur la prise de décision dépend du sentiment de certitude suscité par cette émotion. En accord avec ce modèle, des études démontrent que des émotions de même valence telle que le dégoût et la tristesse (Lerner, Small, & Loewenstein, 2004), ou la colère et la tristesse (Lerner, Gonzalez, Small, & Fischhoff, 2003) ont des effets opposés : la peur qui est associée avec un sentiment d'incertitude augmente l'estimation du risque alors que la colère, qui est associée, comme la joie, à un sentiment de certitude diminue l'estimation du risque (Keltner & Lerner, 2010; Lerner & Keltner, 2001). Ces effets peuvent aussi être modulés par l'évaluation du contrôle et de la certitude propre aux événements à traiter. Ainsi, lorsqu'il faut évaluer le risque d'événements qui sont ambigus en termes de contrôle et de certitude, les individus enclins à la colère sont pessimistes comme les individus enclins à la peur.

Dans la suite des travaux sur l'effet du cadre précédemment exposés, des chercheurs de notre équipe ont récemment mis en évidence des effets opposés de la peur et la colère sur ce biais décisionnel (Habib, Cassotti, Houdé, Moutier & Borst, en révision). Alors que la peur augmente l'aversion au risque dans un cadre de gain, accentuant ainsi l'effet du cadre, la colère quant à elle augmente la prise de risque en cadre de gain jusqu'à supprimer l'effet du cadre classique. De plus, le type de tâche est aussi un facteur susceptible de modifier l'influence des émotions au point d'inverser l'augmentation de la prise de risque observée jusque là avec la colère (Baumann & DeSteno, 2012). Dans une tâche de prise de risque, i.e., la *Columbia Card Task* (Figner, Mackinlay, Wilkening, & Weber, 2009), les participants ne prennent pas les mêmes risques dans sa version « cold » et dans sa version « hot »²⁹.

²⁸ Cadre de la tendance à l'évaluation

²⁹ Nous le reverrons lorsque l'on exposera les modèles développementaux mais une autre façon de réconcilier émotion et cognition fut de parler de fonctions exécutives cold et hot. Ainsi, les fonctions exécutives cold renverraient à l'idée d'un contrôle cognitif froid alors que les fonctions exécutives froides renverraient à un contrôle cognitif chaud teinté d'affects.

La première version est nommée cold en référence aux processus délibératifs de type maximisation de la valeur espérée qu'elle fait intervenir, alors que la seconde est nommée hot en référence aux processus émotionnels qu'elle suscite.

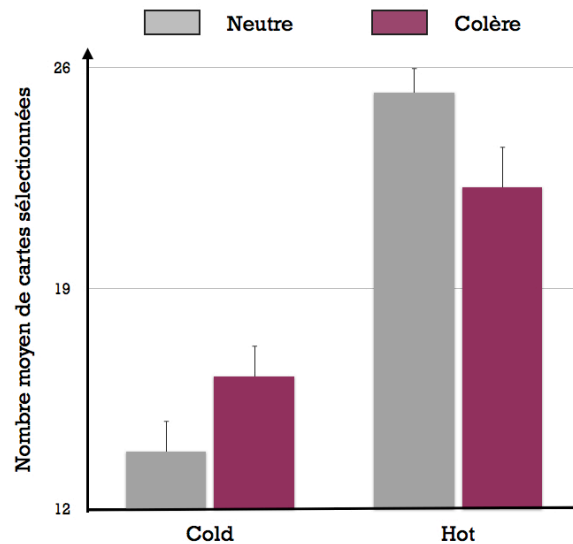


Figure 8 : Présentation des résultats de Baumann & DeSteno (2012) mettant en évidence une interaction entre l'émotion et les versions de la Columbia Card Task sur la prise de risque. Précisément, la colère augmente la prise de risque en situation cold alors que l'effet inverse est observé en situation hot.

Dans la version cold, à chaque essai, 32 cartes sont présentées au participant ainsi que des informations sur le nombre de cartes perdantes (1 ou 3 sur 32), le nombre de points perdus par carte (250 ou 750) et le nombre de points gagnés par carte (25). Le participant doit annoncer le nombre de cartes qu'il désire retourner avant de retourner la première carte. L'objectif est de gagner le plus de points possible sachant que l'essai se termine, soit quand le participant a retourné le nombre de cartes qu'il a annoncé, soit quand il retourne une carte perdante. Dans la version hot, la tâche est identique si ce n'est que le participant retourne les cartes une à une, recevant ainsi progressivement le feedback associé à chaque carte et le laissant libre de s'arrêter à tout moment. Baumann & DeSteno (2012) démontrent une modulation de l'effet de la colère (induite par un souvenir autobiographique) sur la prise de risque en fonction de la version de la tâche : la colère augmente la prise de risque dans la version cold alors qu'elle la diminue dans la version hot (cf. Figure 8). Cette étude montre donc l'importance de l'interaction entre les différentes composantes de l'émotion (i.e., conceptuelles et affectives) et les processus sous-jacents aux tâches

effectuées (i.e., processus délibératifs ou émotionnels) afin de rendre compte de l'effet des émotions dans différentes situations de prise de risque.

Au regard des enjeux de la compréhension des mécanismes qui guident la prise de décision, les psychologues, parfois également en coopération avec les économistes, ont pris conscience qu'il y avait là une opportunité d'étudier de manière approfondie les liens entre cognition et émotion. Toutefois, comprendre les phénomènes en jeu dans la prise de décision n'est pas chose facile. L'impact des émotions incidentes sur la prise de risque varie en fonction du type de risque engagé et de la nature de l'émotion : sa valence, le sentiment de contrôle associé à cette émotion, l'origine de celle-ci, incidente ou intégrale c'est-à-dire provoquée par une source indépendante ou non du matériel à traiter. Dans la suite de ce manuscrit, nous montrerons que ce sont précisément ces émotions intégrales qui peuvent jouer un rôle dans la prise de décision lorsque l'ambiguïté est totale du point de vue de ses conséquences positives ou négatives et des probabilités qui leurs sont associées.

II. L'Hypothèse des Marqueurs Somatiques

On sait depuis Ellsberg (1961) qu'il existe un continuum du risque, de l'incertitude probabiliste à l'ambiguïté totale, dans les situations de prise de décision. Dans la continuité des travaux en neurosciences et notamment ceux de Damasio sur les Marqueurs Somatiques, l'enjeu de cette thèse est ainsi de mieux rendre compte de la prise de décision des sujets lorsqu'il s'agit d'effectuer un choix sous ambiguïté, c'est-à-dire lorsqu'aucune des options n'est déterminée explicitement par des résultats et les lois de probabilités qui les régissent. Quels types de processus neurocognitifs et émotionnels sont engagés afin d'anticiper dans ces conditions les potentielles conséquences positives ou négatives consécutives aux choix effectués ?

1. *Phinéas Gage ou la naissance de l'Hypothèse des Marqueurs Somatiques*

La compréhension des processus engagés dans la décision sous ambiguïté va connaître une avancée fulgurante grâce à l'étude de patients fronto-lésés et notamment grâce à la redécouverte de l'étude de cas princeps, datant de 1848, du

patient nommé Phinéas Gage. Ce jeune chef d'équipe travaillant dans la construction de voies ferrées a 25 ans lorsqu'il est victime d'un accident tragique (Damasio, 1994) : une barre à mine longue d'1 mètre 10 et pesant 6 kilos lui traverse le visage et le crâne.

« La détonation est si brutale que tous les membres de l'équipe restent figés. Il leur faut quelques secondes avant de comprendre ce qui s'est passé. Le bruit de l'explosion n'a pas été habituel, et la roche est restée intacte....La barre de fer a pénétré dans la joue gauche de Gage, lui a percé la base du crâne, traversé l'avant du cerveau, pour ressortir à toute vitesse par le dessus de la tête » (ibid., p22).

De façon extraordinaire, Phinéas Gage survit à ce drame et retrouve toute sa condition physique³⁰ après deux mois de soins. Toutefois, sa personnalité va significativement changer, amenant son médecin John Harlow à déclarer que « *Gage n'était plus Gage* » (ibid., p27). L'homme rigoureux, travailleur et respectueux avant l'accident se transforme en un homme parfois irrespectueux, grossier et obstiné. Suite à ce changement de personnalité et malgré une intelligence préservée, Phinéas Gage perdit son travail et par une suite de choix désastreux finira en bête de foire dans un cirque de New-York. La description détaillée de ce cas permet à Damasio d'ancrer ce qui sera l'une des théories les plus influentes de la prise de décision sous ambiguïté : l'Hypothèse des Marqueurs Somatiques (HMS). Premièrement, la récente révolution technologique et l'avènement de la neuroimagerie, permettent la reconstitution de la région cérébrale lésée chez Phinéas Gage (Damasio, Grabowski, Frank, Galaburda, & Damasio, 1994). En accord avec les descriptions du médecin de l'époque, John Harlow, cette étude met en évidence la préservation des aires langagières et motrices chez ce patient, tout en désignant le cortex préfrontal ventromédian (CPFVM) droit comme la zone principalement touchée par la barre à mine (voir Figure 9).

³⁰ Mise à part la vue de son œil gauche (ibid., p26).

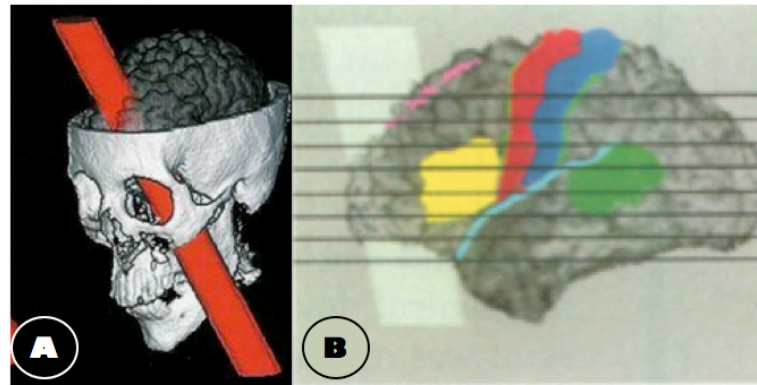


Figure 9 : A) Reconstruction en 3D de la trajectoire empruntée par la barre de fer dans le cerveau de Phineas Gage, publiée dans la revue Science (Damasio et al., 1994). B) Comme le montre l'espace éclairé sur ce schéma la barre de fer semble avoir épargnée les aires langagières de Broca en jaune et de Wernicke en bleu, l'aire motrice en rouge et l'aire somatosensorielle en bleu, au contraire du cortex préfrontal ventro-médian.

L'examen neuropsychologique approfondi de différents patients fronto-lésés permet à Damasio (1) de dresser leur profil clinique, principalement caractérisé par des difficultés de prise de décision et un comportement inadapté socialement qu'il qualifie de « sociopathie acquise » et (2) de mettre en évidence le réseau neuronal sous-tendant ce tableau clinique. Sur la base de ce profil psychopathologique, il suggère que des processus émotionnels guident le choix des individus. L'environnement dans lequel nous évoluons étant caractérisé par une indéniable complexité, et nos capacités attentionnelles et de mémoire de travail étant limitées, ces marqueurs somatiques permettraient de faire un premier tri sur les options qui s'offrent à nous quand nous devons prendre une décision. Les déficits décisionnels observés dans la « sociopathie acquise » seraient issus d'une incapacité à apprendre à choisir de façon appropriée, c'est-à-dire via une graduation des options en fonction de marquages somatiques plus ou moins positifs dans un environnement complexe. Le développement de ces marqueurs somatiques serait issu de deux types d'inducteurs distincts qualifiés de *primaires* et *secondaires*.

Les premiers renvoient aux stimuli qui provoquent de façon innée ou apprise un état somatique agréable ou désagréable. Par exemple, si vous êtes dans la jungle amazonienne et que vous rencontrez un serpent venimeux (i.e., un inducteur primaire), cette rencontre provoquera en vous des modifications physiologiques associées à votre aversion pour cet animal. Si le jour suivant, vous vous remémorez cette rencontre voire simplement son contexte d'apparition, votre corps reproduira


l'état physiologique associé à cet évènement et la remémoration de l'inducteur primaire correspond alors à un inducteur secondaire. Cette théorie s'inscrit dans une vision Darwinienne des émotions, permettant à l'individu de s'adapter à un environnement complexe et nécessitant la mise en place de comportements d'anticipation des situations dangereuses qui le caractérise. La force de cette hypothèse réside dans son ancrage neurobiologique : l'amygdale permettrait de déclencher l'état somatique (e.g., un état aversif) associé à un stimulus particulier (e.g., un inducteur primaire tel qu'un serpent) alors que le cortex préfrontal ventromédian déclencherait l'état somatique (e.g., un état aversif) associé au souvenir d'un stimulus particulier (e.g., la remémoration du serpent)³¹ en lien éventuel avec son contexte d'apparition. En d'autres termes, l'amygdale associe les caractéristiques (e.g., le sifflement du serpent) de l'inducteur primaire avec la structure effectrice de l'état somatique, soit de façon subliminale par le thalamus soit de façon supraliminaire par les cortex sensoriels primaires et associatifs (Ledoux, 1996; Morris, Ohman, & Dolan, 1999). L'état somatique primaire est mis en œuvre par des voies efférentes telles que l'hypothalamus ou les noyaux du tronc cérébral qui vont modifier l'état viscéral, l'expression ou la posture de l'individu. Cette réaction émotionnelle primaire se compose donc d'une suite de modifications physiologiques ; modifications physiologiques qui entraînent un comportement immédiat tourné vers l'évitement ou l'approche. Cette boucle émotionnelle neuronale peut être réactivée³² par le CPFVM lors du souvenir de l'inducteur initial (ou du déclenchement du souvenir par un signe avant-coureur); constituant ainsi progressivement une labellisation appétitive ou au contraire aversive sur le long terme. Enfin, la construction de ces marqueurs somatiques peut se faire soit au sein du corps *par ce qui est nommé la «body loop»* ou directement au niveau cérébral par le biais de la *«as-if body loop»*.

³¹ Le traitement d'inducteurs primaires et secondaires peut se faire simultanément. Assister à un accident de voiture, et conjointement imaginer son conjoint dans une telle situation (Bechara 2003 cité dans Bechara 2005). D'ailleurs il note qu'il est difficile de distinguer l'effet des inducteurs primaires et des inducteurs secondaires et que les patients sont le meilleur moyen de questionner cela.

³² Généralement l'état somatique est réalisé mais de façon plus faible

2. Investigations neuropsychologiques princeps des patients avec lésions frontale : l'exemple de l'épreuve expérimentale « Iowa Gambling Task »

Les premières expérimentations menées dans ce contexte, utilisant des outils classiquement développés dans le champ de la neuropsychologie, vont échouer à mettre en évidence des déficits des aptitudes cognitives ou sociales de patients avec des lésions de l'amygdale ou du CPFVM (Saver & Damasio, 1991). Partant de ce constat, l'équipe du laboratoire de Damasio, alors localisée aux USA dans l'état de l'Iowa, va développer une tâche, l'Iowa Gambling Task (IGT), permettant d'évaluer plus spécifiquement les déficits de prise de décision sous ambiguïté chez ce type de patients. Cette tâche de prise de décision financière simule la complexité des stimuli aversifs et appétitifs de la vie quotidienne. Dans cette tâche, le participant se trouve face à 4 tas de cartes nommés A, B, C et D, avec l'objectif de gagner le plus d'argent possible (voir Figure 10). Alors qu'il ne connaît ni les probabilités, ni les sommes qu'il peut perdre ou gagner, ni même le nombre de cartes qu'il devra retourner, le participant doit découvrir progressivement que deux des tas sont avantageux (C et D) sur le long terme tandis que les deux autres sont désavantageux sur le long terme (A et B). Les seules informations données au participant afin qu'il découvre quels sont les tas avantageux sont les feedbacks positifs (i.e., des gains) ou négatifs (i.e., des pertes) reçus après chaque carte retournée. Le jeu est construit de telle manière qu'il existe une interférence entre l'attractivité des tas et le bénéfice réel qu'ils procurent. Ainsi, les tas désavantageux (i.e., A et B) permettent d'obtenir des gains élevés mais sont associés à des pertes qui leur sont toujours supérieures (i.e., perte nette de 250\$ toutes les dix cartes), alors que les tas avantageux (i.e., C et D) permettent d'obtenir des gains modestes mais associés à des pertes qui leur sont toujours inférieures (i.e., gain net de 250\$ toutes les dix cartes). A chaque carte retournée et ce quel que soit le tas, le participant obtient un gain. En revanche, les pertes apparaissent avec une fréquence variable selon les tas : les tas B et D infligent une perte dans 10% des essais alors que les tas A et C dans 50% des essais.



Tas	Conséquences à long terme	Fréquence des gains - pertes	Gains nets/ 10 cartes	Pertes nettes/ 10 cartes
A	Désavantageux	100% - 50%	1000\$	-1250\$
B	Désavantageux	100% - 10%	1000\$	-1250\$
C	Avantageux	100% - 50%	500\$	-250\$
D	Avantageux	100% - 10%	500\$	-250\$

Figure 10 : Présentation des caractéristiques 4 tas de cartes de l'IGT en termes de conséquences à long terme, fréquence des gains-pertes, gains et pertes nets accumulés après 10 cartes sélectionnées de façon consécutive dans un même tas.

Les premiers résultats confirment l'HMS : les patients CPFVM manifestent un comportement de persévérance en privilégiant majoritairement le choix des cartes dans les tas désavantageux, en apparente insensibilité aux conséquences financières désastreuses sur le long terme ; comportement similaire à celui observé dans leur vie quotidienne. À l'inverse, les sujets sains, sans atteintes neurologiques, vont progressivement choisir de piocher des cartes dans les tas avantageux, optant ainsi pour une stratégie rémunératrice sur le long terme en résistant aux gains immédiats importants mais risqués associés aux 2 autres tas (Bechara, Damasio, Damasio, & Anderson, 1994). Notons que bien que les participants sains parviennent à choisir avantageusement, ils n'arrivent pas à suivre le décompte des feedbacks pour déterminer explicitement les scores nets de gains et de pertes selon les tas. Ces résultats démontrent non seulement l'implication du CPFVM dans la prise de décision, mais aussi la nécessité de définir précisément les différents processus permettant de calculer le coût/bénéfice de chaque option étant donné la difficulté des sujets à tenir compte de l'ensemble des feedbacks qu'ils ont reçus.

Afin de déterminer les processus impliqués dans l'IGT, l'équipe de Damasio évalue les connaissances conceptuelles et les réactions affectives des participants sur les tas à différents moments de la tâche (Bechara, Tranel, Damasio, & Damasio, 1996; Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 1997) : après vingt sélections, puis toutes les

10 cartes, il est demandé au participant de préciser ce qu'il a compris du jeu et ce qu'il ressent³³ et ce, tout en mesurant sa réponse électrodermale (RED)³⁴ en continu. Selon les auteurs, cette dernière variable dépendante est essentielle puisqu'il s'agit d'une mesure psychophysique susceptible de rendre compte, tout au long de la passation de l'IGT, des réactions émotionnelles du sujet via leurs manifestations somatiques, telle que l'ampleur de la sudation qui aura pour conséquence de moduler la conductance entre deux électrodes posées à l'extrémité d'un des doigts du participant. L'évolution des connaissances des participants sains semble s'effectuer au cours de quatre phases successives: 1) *La pré-punition*, lorsque les participants n'ont pas encore reçu de feedbacks négatifs, 2) *La pré-intuition*, lorsque les sujets n'ont aucune idée sur le jeu, 3) *L'intuition*, lorsque les sujets commencent à formuler des hypothèses ; 4) *Les connaissances conceptuelles*, lorsque les sujets sont en mesure de d'expliquer clairement quels sont les tas avantageux et désavantageux (voir Figure 11). Quant aux patients CPFVM, les résultats illustrent non seulement leur incapacité à choisir avantageusement - contrairement aux sujets sains - mais aussi leur absence de réactivité émotionnelle anticipatrice contrairement aux participants sains qui, au cours de la phase de pré-intuition, développent une réactivité émotionnelle (anticipatrice) – i.e., pic de RED observé juste avant d'effectuer un choix désavantageux par rapport à un choix avantageux. Dès lors que le pic de réponse physiologique anticipatrice précède l'élaboration de connaissance conceptuelle, cette réactivité émotionnelle (anticipatrice) semble bien avoir un rôle essentiel d'alerte puisqu'il est significativement plus important avant une sélection de carte dans un tas dangereux. Ce phénomène qualifié par les auteurs de marqueur somatique semble dans un premier temps échapper à la conscience des sujets et ne transparaît nullement dans les verbalisations des participants sains. De plus, si 30% des sujets sains n'atteignent pas la phase conceptuelle (i.e., ne sont pas en mesure de déterminer explicitement quels sont les tas avantageux et ceux désavantageux), ils choisissent néanmoins de manière avantageuse.

³³ ³³Les deux questions générales posées sont : « Tell me what you know about what is going on in this game », « Tell me how you feel about this game » « Dis moi ce que tu sais sur ce qu'il se passe dans ce jeu » et « Dis moi ce que tu ressens à propos de ce jeu ».

³⁴ On parlera de Skin Conductance Responses en anglais, Réponse Electro-Dermale (RED) ou réponse de conductance cutanée en français.

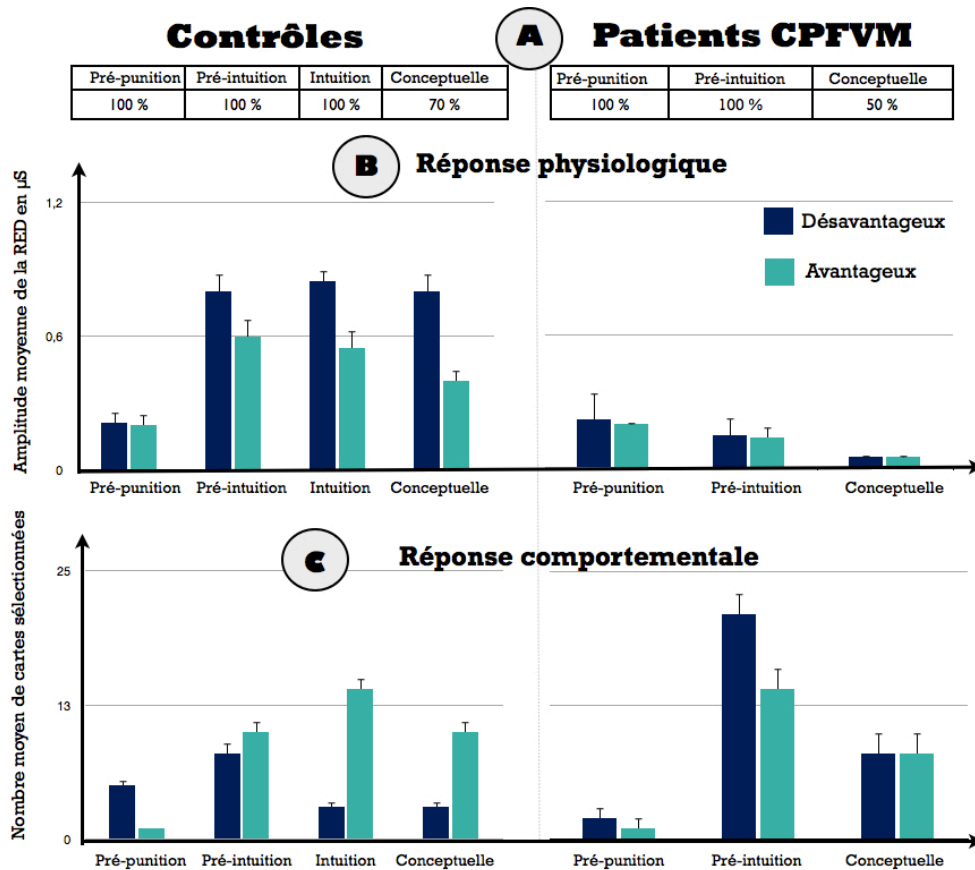


Figure 11 : Illustrations des résultats obtenus dans l'étude de Bechara et al., (1997). A) Pourcentage de sujets contrôles à gauche et patients CPFVM à droite observés dans les différentes phases de l'IGT (pré-punition, pré-intuition, intuition et conceptuelle). 70% des sujets sains atteignent la période conceptuelle (bien que les 30% restant aient tout même choisi de manière avantageuse) contre 50% de patients CPFVM, qui de surcroît ne choisissent pas de façon avantageuse. B) Réponses physiologiques à gauche des participants contrôles et à droite des patients CPFVM. Les RED augmentent et se distinguent entre les tas désavantageux et avantageux pendant la période de pré-intuition uniquement chez les sujets contrôles. C) Réponses comportementales des sujets contrôles à gauche et des patients CPFVM à droite. Seuls les participants contrôles arrivent à choisir avantageusement à partir de la phase de pré-intuition.

A l'inverse, 50 % des patients CPFVM parviennent à cette phase conceptuelle sans pour autant choisir avantageusement. Il y a là une dissociation entre 'savoir' et 'faire' ; le savoir ne garantissant pas une réponse adaptée, d'où la nécessité de l'intervention de marqueurs somatiques.

« Thus they may 'say' the right thing, but they 'do the wrong thing'. Thus, 'knowledge' without emotional signaling' leads to dissociation between what we knows or says, and how one decides to act »³⁵ (Bechara & Damasio, 2005, p.348)

³⁵ Notre traduction est la suivante : « Ainsi, ils (les patients CPFVM) peuvent savoir quels sont les tas avantageux mais pour autant choisissent de façon désavantageuse. Ainsi, les connaissances établies en l'absence de signal émotionnel conduisent à une dissociation entre ce que l'on sait ou dit et ce que l'on fait »

De nouveaux résultats viendront, par la suite, étayer l'HMS en mettant en évidence que l'amygdale et le CPFVM ont des fonctions spécifiques dans la prise de décision sous ambiguïté.

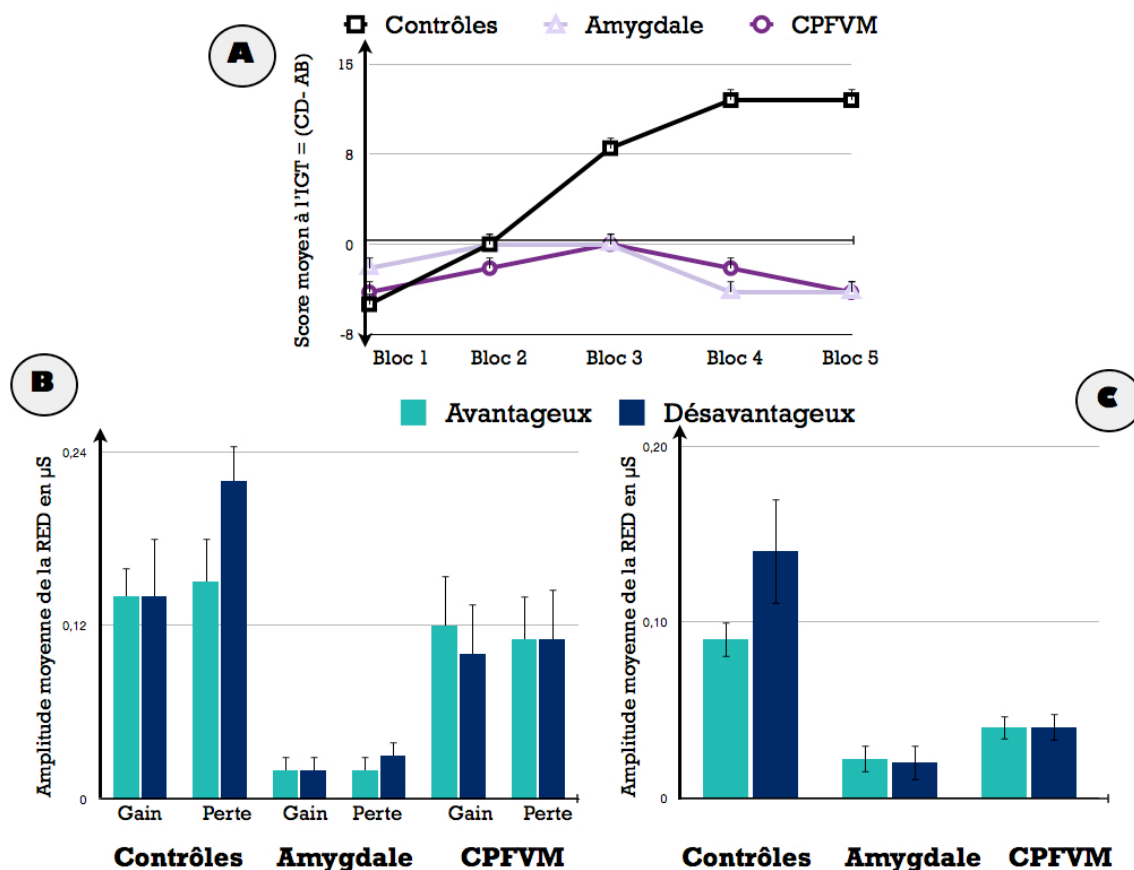


Figure 12 : Illustration d'après l'étude de Bechara et al., (1999). A) Présentation du score moyen obtenu à l'IGT par bloc de 20 cartes pour les participants contrôles et les patients avec une lésion de l'amygdale et ceux avec une lésion du CPFVM. Le score classique à l'IGT s'obtient en soustrayant le nombre de sélections désavantageuses au nombre de sélections avantageuses. Un score au dessus de 0 reflète une performance avantageuse à l'inverse d'un score au dessous de 0 qui reflète une performance désavantageuse. Ici, seuls les participants contrôles réussissent à choisir de façon avantageuse. B) Profil de réactivité émotionnelle primaire mesurée par l'amplitude de la RED en réponse aux gains et aux pertes. Les participants contrôles et les patients CPFVM montrent une réactivité primaire normale contrairement aux patients avec lésions de l'amygdale. C) Le profil de réactivité émotionnelle secondaire est mesuré à l'aide l'amplitude de la RED anticipatrice (i.e., qui précède le choix avantageux ou désavantageux). Seuls les participants contrôles montrent un pic de RED avant de piocher dans les tas désavantageux par rapport aux tas avantageux.

De fait, les patients souffrants de lésions bilatérales de l'amygdale et les patients atteints de lésions du CPFVM choisissent de manière désavantageuse dans l'IGT mais leurs profils de réponses physiologiques diffèrent : les patients avec lésion de l'amygdale présentent une absence de réactivité émotionnelle primaire (i.e., absence de RED en réaction aux inducteurs primaires que sont les gains et les pertes) tandis que les patients CPFVM présentent une absence de réactivité émotionnelle

secondaire (i.e., absence de RED en réaction aux inducteurs secondaires soit en anticipation des tas désavantageux vs. avantageux ; cf. Figure 12) (Bechara, Damasio, Damasio, & Lee, 1999). Sur la base de ces résultats, les auteurs formulent trois hypothèses pour expliquer ce déficit : 1) Hyper-sensibilité aux récompenses qui surpasse la perspective de futures punitions ; 2) Insensibilité aux punitions qui rend la perspective de gains plus importante 3) Insensibilité aux conséquences futures quelles qu'elles soient, avec un comportement dirigé par les perspectives immédiates. Ce sont les résultats de patients CPFVM, issus d'une version inversée de l'IGT caractérisée par des pertes immédiates et des gains différés, qui valideront la troisième hypothèse (Bechara, Tranel, & Damasio, 2000). Dans cette tâche, les tas avantageux (tas E et G) infligent de fortes pertes et des gains différés supérieurs à ces pertes tandis que les tas désavantageux infligent de petites pertes et des gains différés inférieurs à ces pertes (tas F et H). Les patients CPFVM continuent à choisir de manière désavantageuse dans cette version modifiée de l'IGT. Etant donné que les patients s'abstiennent de choisir des cartes dans des tas avantageux caractérisés par des fortes pertes et gains et compte tenu d'une réactivité émotionnelle (i.e., d'une RED) équivalente en réponse aux gains et aux pertes, les auteurs concluent à une insensibilité aux conséquences futures chez ces patients. Même en manipulant la fréquence et l'ampleur des conséquences futures (qu'il s'agisse des pertes dans la version ABCD ou des gains dans la version EFGH) les patients CPFVM échouent à prendre en compte les perspectives futures, ce que ces auteurs qualifient de « myopie pour le futur » (Bechara et al., 1994, p.14).

3. Un autre symbole des difficultés de prise de décision : les joueurs pathologiques

Les travaux princeps que nous avons présentés accordent donc un rôle critique aux processus émotionnels dans la capacité à prendre des décisions avantageuses dans des situations ambiguës. Les difficultés rencontrées par les patients fronto-lésés dans leurs prises de décisions quotidiennes s'apparentent à celles d'autres populations de patients souffrant d'addiction telles que la dépendance à l'alcool, la cocaïne (Bechara & Damasio, 2002; Bechara, Dolan, & Hindes, Andrea, 2002; Clark & Robbins, 2002), ou encore au jeu d'argent et de hasard (Bechara, 2003). Ces

populations ont en commun une difficulté à résister à un choix qui offre une récompense immédiate afin d'éviter la conséquence future négative qui lui est associée ce qui affecte leur prise de décision. Dans ce manuscrit, nous nous intéresserons tout particulièrement à l'effet de l'addiction au jeu sur la prise de décision étant donné la proximité entre les jeux d'argent dans lesquels les joueurs obtiennent des gains ou des pertes et l'IGT.

Le jeu pathologique est défini par le Manuel Diagnostique et Statistique des Troubles Mentaux (DSM-IV-TR, 2004) comme un trouble du comportement impulsif caractérisé par : un jeu répétitif et persistant qui entraîne des conséquences négatives dans le domaine social, professionnel, personnel ou affectif accompagné d'un défaut d'auto-régulation comportementale. Cependant, le dernier congrès de l'Association de Psychologie Américaine (mai 2013) a révélé dans son nouveau DSM V, une nouvelle définition catégorisant le jeu pathologique dans la classe des « Troubles Addictifs et Addiction aux Substances »³⁶. Effectivement, de nombreuses études soulignent de plus en plus les similarités entre le jeu pathologique et les autres addictions. Ainsi, ce trouble est qualifié « d'addiction comportementale » puisqu'il est associé à des phénomènes de craving³⁷ (Tavares, Zilberman, Hodgins, & el-Guebaly, 2005) et un syndrome de manque (Cunningham-Williams et al., 2009).

Exemples de critères diagnostic du jeu pathologique (DSM-IV-TR)

Besoin de jouer avec des sommes d'argent croissantes pour atteindre l'état d'excitation désiré
Agitation ou irritabilité lors des tentatives de réduction ou d'arrêt de la pratique du jeu
Retourne souvent jouer un autre jour pour recouvrer ses pertes (pour « se refaire »)

Ces joueurs pathologiques, à l'instar des patients cérébro-lésés, présentent des capacités de prise de décisions déficitaires (Brand et al., 2005; Cavedini et al., 2002). Ce déficit est présent à la fois dans des situations de risque et dans des situations

³⁶ En anglais «*Substance Related and Addictive Disorder*». La version française n'a à ce jour pas été publiée.

³⁷ Désir puissant lié à l'objet de dépendance.

d'ambiguïté. Toutefois, les déficits des capacités de prise de décision ne corrèlent avec la sévérité du jeu pathologique uniquement dans les situations d'ambiguïté, situations qui nous intéressent plus particulièrement dans cette thèse, ce qui suggérerait que ces déficits pourraient être à l'origine de l'addiction (Brevers et al., 2012). Rappelons cependant qu'un même déficit comportemental peut avoir différentes origines comme c'était le cas chez les patients CPFVM et ceux avec lésions de l'amygdale. Alors comment expliquer le déficit de prise de décision des joueurs pathologiques ? De plus, ce déficit pourrait-il apporter de nouvelles informations sur les processus spécifiques engagés dans la prise de décision sous ambiguïté ? La première étude qui a mis en évidence un déficit des capacités de prise de décision chez les joueurs pathologiques se focalisera sur l'hyper-sensibilité aux gains ou l'insensibilité aux pertes³⁸ de ces patients (Cavedini et al., 2002). Plus récemment, les résultats d'une étude analysant les performances à un niveau comportemental et physiologique des joueurs pathologiques suggèrent que les déficits de ces patients pourraient être liés à un défaut de marqueurs somatiques. En effet, les joueurs pathologiques ont (1) des difficultés à se désengager des tas désavantageux (voir Figure 13, A) et (2) ne présentent pas de différence de RED anticipatrice entre les tas avantageux et désavantageux contrairement aux participants sains (voir Figure 13, B) (Goudriaan, Oosterlaan, De Beurs, & Van den Brink, 2006). Néanmoins, il est difficile, sur la base des résultats de cette étude, de déterminer si la réactivité émotionnelle primaire des joueurs pathologiques est différente de celle des sujets sains. En effet, la comparaison des RED suggèrent que les joueurs pathologiques et les participants contrôles font preuve d'une sensibilité aux gains et aux pertes équivalente alors que la mesure du rythme cardiaque suggère que les joueurs pathologiques sont moins sensibles aux gains (comme le montre la moindre accélération du rythme cardiaque consécutive aux gains chez les joueurs pathologiques, cf. Figure 13, C).

³⁸ Rappelons que ces hypothèses furent réfutées dans le cadre des patients CPFVM (Bechara et al., 2000)

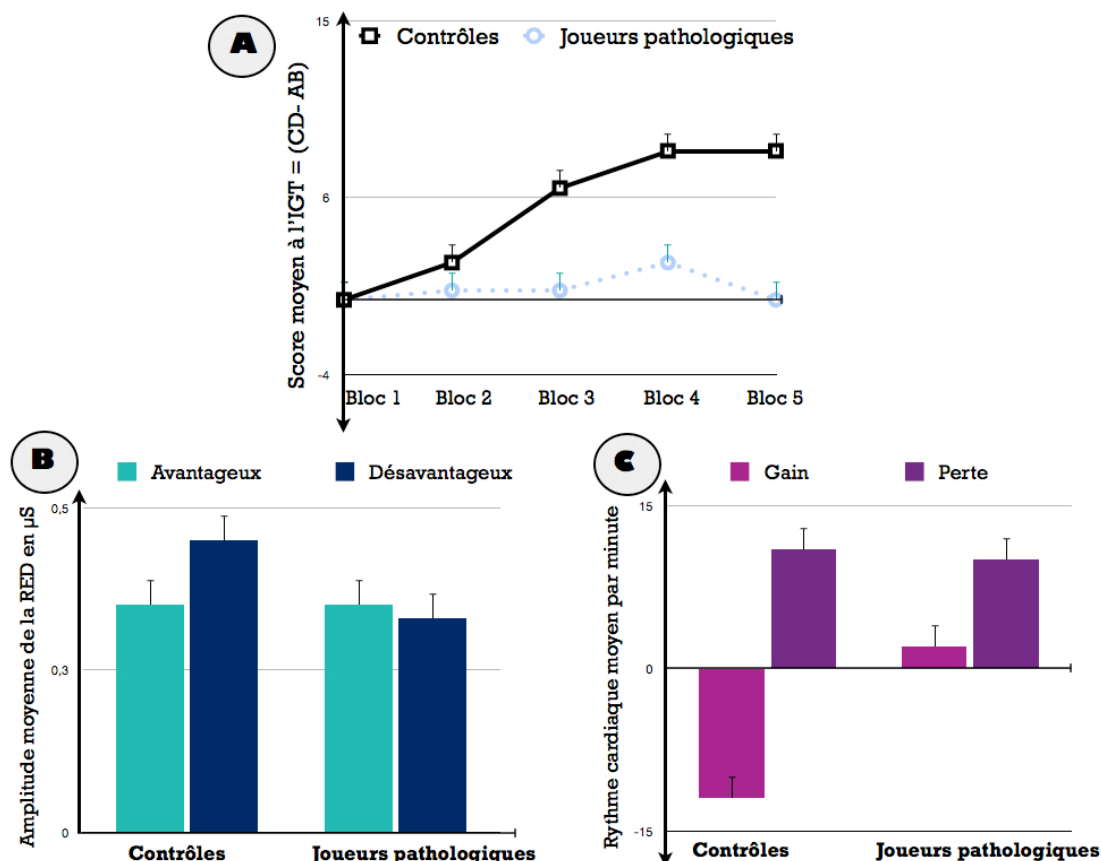


Figure 13 : Illustration d'après l'étude de Goudriaan et al., (2006). A) Score moyen à l'IGT chez les joueurs pathologiques et les participants du groupe contrôle. Seuls les participants du groupe contrôle montrent un profil d'apprentissage. B) Amplitude moyenne des RED anticipatrices en fonction des tas avantageux chez les deux groupes. Seuls le groupe contrôle montre une différenciation dans la réactivité anticipatrice avant de piocher dans les tas désavantageux par rapport aux tas avantageux. C) Mesure du rythme cardiaque par minute après un gain et après une perte. Un score positif reflète une décélération du rythme cardiaque alors qu'un score négatif reflète une accélération du rythme cardiaque. La réactivité aux pertes est identique chez les participants et les joueurs pathologiques et se traduit par une décélération du rythme cardiaque. On note une différence dans la réactivité aux gains illustrée par une accélération du rythme cardiaque moins forte chez les joueurs pathologiques.

Les joueurs pathologiques ne seraient donc pas indifférents aux gains ou aux pertes, mais une moindre sensibilité aux gains pourrait les pousser à continuer à choisir des cartes dans les tas désavantageux comportant de forts gains afin de maximiser leur état d'excitation.

Les études en neuroimagerie confirment en partie l'hypothèse d'une faible réactivité aux gains des joueurs pathologiques : l'activation du système de récompense mésolimbique – précisément au niveau du striatum ventral - est moindre chez les joueurs pathologiques en comparaison de celle observée chez les participants sains tandis que l'activation de cette même région est négativement corrélée avec la sévérité du trouble chez les joueurs (voir Figure 14; Reuter et al., 2005). Le striatum ventral et la dopamine semblent jouer un rôle dans cette réactivité

aux gains (Linnet, Møller, Peterson, Gjedde, & Doudet, 2010). Par ailleurs, une étude d’Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) montre notamment une activation du CPFVM plus élevée chez les joueurs pathologiques que chez les participants sains pour les choix désavantageux dans l’IGT (Power, Goodyear, & Crockford, 2011). Notons cependant que l’ensemble de ces résultats ne permettent pas de comprendre clairement quels sont les processus déficitaires chez les joueurs pathologiques en partie car les différents processus guidant la prise de décision sous ambiguïté interagissent entre eux.

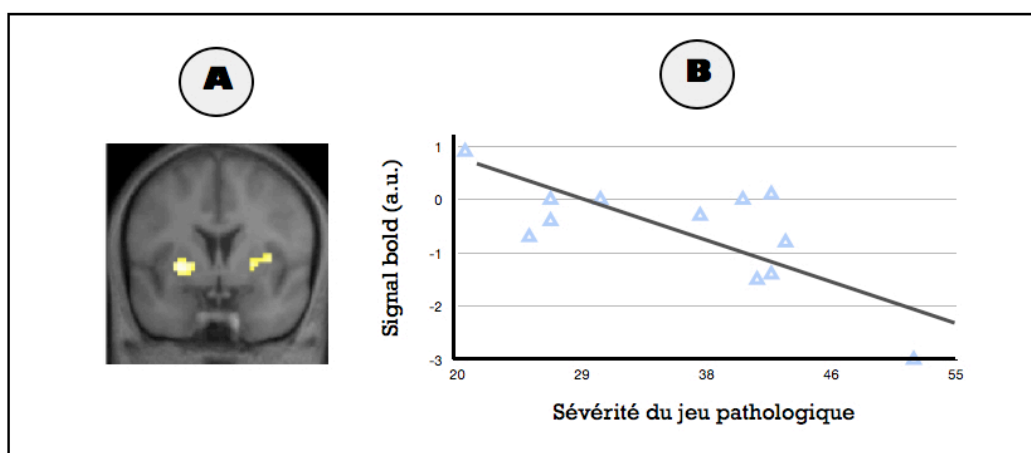


Figure 14 : Illustrations issues de l’étude de Reuter et al. (2005). A) L’analyse du signal bold en réponse à des gains de 1€ par rapport à des pertes de 1€ révèle une moindre activation du striatum ventral chez les joueurs pathologiques. B) Dans cette étude la sévérité du jeu pathologique est évaluée à l’aide d’un questionnaire allemand, le KFG « *Kurzfragebogen zum Glücksspielverhalten* » (Petry, 1996). Celui-ci, constitué de 20 items utilisant une échelle de Lickert de 0 à 4 points, établit le seuil de l’addiction au jeu à un score égal à 16. Le contraste des activations en réponse aux gains par rapport aux pertes corrèle négativement avec la sévérité du jeu pathologique.

D’autres composantes du fonctionnement cognitif ont été étudiées chez les joueurs pathologiques pour comprendre leur défaut de prise de décision. Bechara (2003) notait déjà combien la question de l’inhibition semblait cruciale du point de vue des capacités de résistance des participants à l’envie de parier. Et de fait, plusieurs études montrent un défaut d’inhibition, d’impulsivité comportementale ou plus généralement de fonctions exécutives, associés au jeu pathologique (Forbush et al., 2008; Ledgerwood et al., 2012). Néanmoins, et nous en discuterons par la suite³⁹, il semble qu’il y ait une relative dissociation entre les déficits observés dans

³⁹ Cette question des fonctions exécutives fut étudiée chez les sujets sains dans le but de tester son rôle au sein de la prise de décision sous ambiguïté.

ces fonctions cognitives et les déficits des capacités de prise de décision. En d'autres termes, les difficultés exécutives tendent à se surajouter aux difficultés de prise de décision sous ambiguïté sans que l'une soit nécessairement la cause de l'autre (Kertzman, Lidogoster, Aizer, Kotler, & Dannon, 2011). C'est la raison pour laquelle nous nous tournons vers la littérature issue de la psychopathologie afin de mieux comprendre les traits qui caractérisent les joueurs pathologiques. Il existe effectivement une forte co-morbidité chez cette population qui présente fréquemment des troubles anxieux-dépressifs (Lorains, Cowlshaw, & Thomas, 2011) mais aussi des traits de personnalité tel que l'alexithymie. Cette dernière retient particulièrement notre attention, étant donné qu'il s'agit d'un trouble du traitement et de la régulation des émotions (Taylor & Bagby, 2004). L'alexithymie se caractérise par une difficulté à identifier et à décrire ses sentiments, comme à les distinguer de sensations d'activation/d'excitation somatique. De plus, la forte prévalence de ce trouble chez les joueurs pathologiques suggère que l'alexithymie puisse être un facteur de risque de sensibilité à l'addiction au jeu (Bonnaire, Bungener, & Varescon, 2012; Toneatto, Lecce, & Bagby, 2009). Cependant, sa potentielle implication dans le déficit de prise de décision des joueurs pathologiques reste encore à démontrer empiriquement.

4. *Hypothèse des Marqueurs Somatiques (HMS) : bilan et critiques*

Depuis la création de l'HMS et de l'IGT, l'étude de la prise de décision sous ambiguïté a connu un tel engouement que presque 500⁴⁰ articles sont référencés dans le moteur de recherche PubMed sur ce sujet. De ce fait, notre objectif n'est pas ici de procéder à une revue exhaustive de la littérature, mais plutôt de discuter des points forts et des points faibles de ce cadre expérimental (pour une revue, voir Dunn, Dalgleish, & Lawrence, 2006).

Premièrement, les résultats à l'IGT sont robustes : la plupart des études incluant un groupe de participants adultes sains mettent en évidence une prise de décision avantageuse similaire au profil comportemental reporté par l'équipe du

⁴⁰ 515 articles référencés dans PubMed sous l'intitulé « Iowa Gambling Task » au sein du titre et/ou de l'abstract

laboratoire de l'Iowa (pour une revue voir Buelow & Suhr, 2009). Deuxièmement, l'IGT permet de mesurer les déficits des capacités de prise de décision dans différentes populations cliniques telles que les schizophrènes (Evans, Bowman, & Turnbull, 2005), les patients présentant un trouble obsessionnel compulsif (Cavedini et al., 2002) ou des problèmes de dépendance (Bechara, Dolan, & Hindes, 2002; Clark & Robbins, 2002). L'IGT permet également de comparer les capacités de prise de décision entre différentes populations de patients : les joueurs pathologiques rencontrent plus de difficultés à prendre des décisions avantageuses que les sujets alcooliques, tandis que les sujets atteints d'un syndrome Gilles de la Tourette ont des performances comparables à celles des sujets sains (Goudriaan, Oosterlaan, De Beurs, & Van den Brink, 2005). Troisièmement, le pattern de résultats observé dans le cadre de l'IGT semble robuste dès lors qu'il résiste aux diverses modifications méthodologiques introduites par différents laboratoires telles que l'utilisation d'une version informatisée plutôt que manuelle (Bechara, Damasio, & Damasio, 2000) ; la mise en place d'une rémunération imaginaire (i.e., billet de Monopoly) plutôt que réelle (Bowman & Turnbull, 2003) ; l'adaptation simplifiée pour des enfants (Crone, Jennings, & Van der Molen, 2004; Kerr & Zelazo, 2004). Bien que les résultats de ces multiples études ne soient pas tous cohérents entre eux, il est maintenant clairement établi que l'IGT est une épreuve diagnostique de la prise de décision sous ambiguïté impliquant de fortes composantes émotionnelles ou marqueurs somatiques (Bechara & Damasio, 2005; Bechara, 2007). Cependant, étant donné la complexité de l'IGT, les processus qui nous permettent de choisir avantageusement dans un cadre ambigu continuent à faire débat (Dunn et al., 2006). Certaines études s'interrogent en effet sur la place à accorder aux processus émotionnels (i.e., aux marqueurs somatiques) alors que d'autres insistent sur l'importance de processus plus cognitifs (e.g., connaissances conceptuelles) dans la prise de décision sous ambiguïté.

a. Le rôle prépondérant des marqueurs somatiques

L'existence de marqueurs somatiques constitue l'essence de l'HMS. Ainsi, l'argument majeur en faveur de l'HMS repose sur le développement progressif d'un pic de RED anticipé chez les sujets sains, c'est-à-dire avant qu'ils piochent une carte dans un tas désavantageux (Bechara et al., 1999; A. Bechara et al., 2000; Bechara et al., 1997; Carter & Pasqualini, 2004; Crone, Somsen, Van Beek, & Van Der Molen,

2004; Guillaume et al., 2009). Néanmoins, certains auteurs critiquent l'interprétation faite de ces données physiologiques car il existe un facteur confondu dans l'IGT : les tas désavantageux se trouvent aussi être les tas faisant intervenir les gains et les pertes les plus élevées. Ainsi, le pic de RED observé sur les tas désavantageux pourrait simplement refléter les attentes liées à l'amplitude plus forte des feedbacks sur ces options et non l'intervention de marqueurs somatiques permettant aux sujets d'éviter de choisir désavantageusement. Pour tester leur hypothèse, Tomb et ses collaborateurs comparent les performances de participants sains à une version classique de l'IGT et à une version modifiée pour laquelle les tas désavantageux mettent en jeu les plus petites sommes (i.e., de petites pertes mais des gains encore moindres, cf. Figure 15) (Tomb, Hauser, Deldin, & Caramazza, 2002). Dans cette version modifiée de l'IGT bien que les participants sains continuent à choisir de manière avantageuse, le pic de RED anticipateur est observé sur les tas avantageux. Les auteurs en concluent que les RED ne guident pas les sujets vers les conséquences à long terme – comme le suppose notamment la « myopie pour le futur » des patients CPFVM - mais vers l'acte immédiat à réaliser. Cependant, la version modifiée de l'IGT proposée par Tomb pose deux problèmes majeurs qui pourraient expliquer que le pic s'observe avant de piocher parmi les tas avantageux : d'une part cette tâche ne comporte plus aucune difficulté puisque les tas attractifs sont les tas avantageux et que d'autre part le sens de la réactivité émotionnelle n'est pas figée (Damasio, Bechara, & Damasio, 2002).

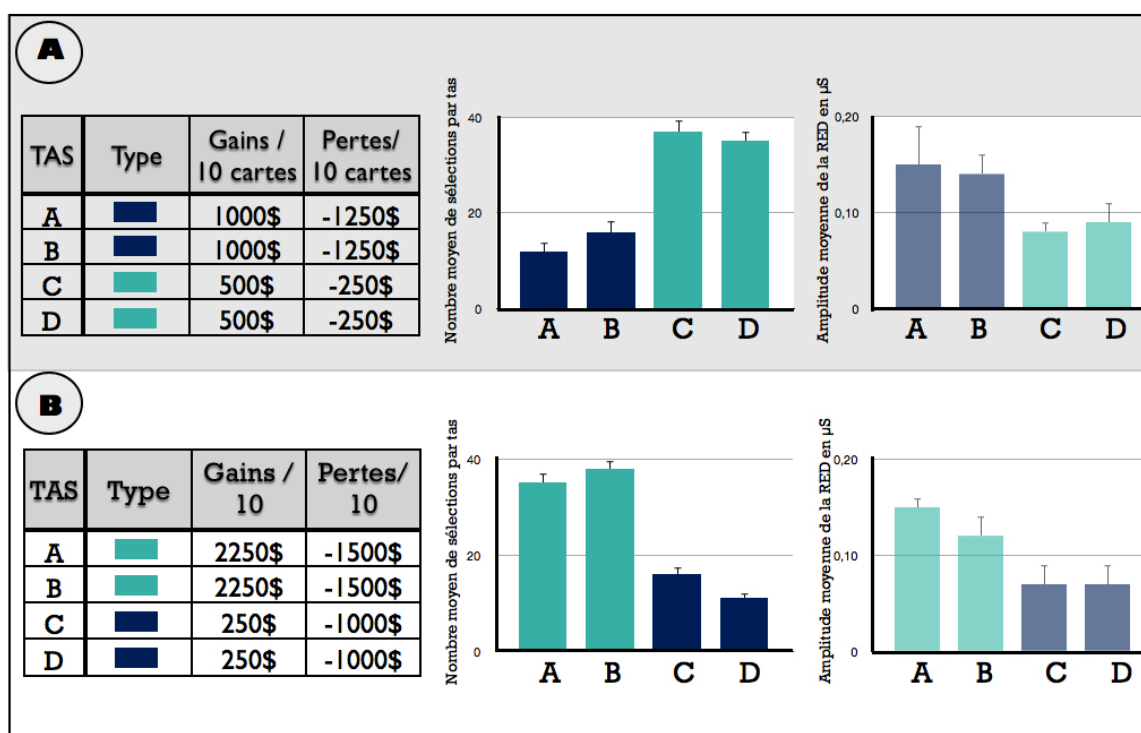


Figure 15 : Présentation des deux versions utilisées dans l'étude de Tomb et al., (2002). A) De la gauche vers la droite, présentation des caractéristiques de la version classique de l'IGT, ainsi que des résultats comportementaux et physiologiques qui confirment les résultats originaux de l'équipe de l'Iowa (i.e., les participants réussissent à choisir de façon avantageuse en préférant les tas C et D, ce qui s'accompagne de REDs anticipatrices de magnitude plus amples dans les tas désavantageux A et B. B) De la gauche vers la droite, présentation d'une adaptation de l'IGT, où les tas avantageux (A et B) délivrent les plus grands gains et pertes à l'inverse des tas désavantageux (C et D) qui délivrent de moindres gains à pertes. Les participants réussissent à choisir avantageusement dans cette version et alors que leurs REDs sont cette fois plus amples avant de choisir dans les tas avantageux.

En d'autres termes, les marqueurs somatiques peuvent éloigner des tas désavantageux (i.e., comme dans la version classique de l'IGT) tout comme ils peuvent orienter le sujet vers les tas avantageux (i.e., comme cela semble être le cas dans la version de Tomb). De surcroît, il semble bien que les marqueurs somatiques guident les sujets à choisir avantageusement étant donné que les performances à l'IGT sont corrélées avec le pic de RED sur les tas désavantageux (Carter & Pasqualini, 2004). Notons toutefois que l'étude de la version inversée EFGH (i.e., fortes punitions immédiates et forts gains différées pour les tas avantageux vs. petites punitions et petits gains pour les tas avantageux) qui présente : 1) un conflit – puisque les tas avantageux sont ceux qui infligent immédiatement la punition la plus forte – et 2) pallie à la fois l'asymétrie pointée par Tomb et ses collègues – puisque les tas avantageux correspondent à la magnitude la plus forte – ne nous offre malheureusement aucune données sur les RED anticipatrices. D'ailleurs l'équipe de

Bechara reconnaît la difficulté de distinguer les marqueurs somatiques primaires des marqueurs somatiques secondaires en dehors d'une approche neuropsychologique (Bechara & Damasio, 2005). Ces deux types de marqueurs somatiques pouvant être en conflit, un phénomène de sélection de type darwinien permettrait aux individus de se baser sur l'un ou l'autre de ces marqueurs. Autrement dit, les signaux émotionnels les plus forts prennent l'avantage sur les plus faibles, obéissant à une loi de type «the winner-takes-all»⁴¹.

b. Quels seraient les autres processus potentiellement engagés ?

❖ *L'intervention de connaissances conceptuelles*

Maia & McClelland (2004) vont notamment s'intéresser à « la pénétrabilité cognitive » de la tâche. L'HMS repose sur le postulat que la complexité de la tâche et l'absence d'information a priori (i.e., situation d'ambiguïté) rendent impossible un calcul précis du rapport bénéfice / coût de chacune des options (Damasio, 1994).

« The key ingredient that distinguishes the task of Bechara and colleagues from other tasks of probabilistic reasoning is that subjects discriminate choices by feeling; they develop hunches that certain choices are better than others...subjects with damage to VMPFC fail this task and they fail it precisely because they are unable to represent choice bias in the form of an 'emotional hunch' » (Damasio, 2003)

En posant des questions plus précises au cours de la tâche, ces auteurs rapportent l'existence de connaissances conceptuelles bien plus précoces⁴² que ce qui était envisagé jusqu'alors. Si les sujets ont conscience, et ce très précocement, des tas avantageux, quel serait donc le rôle des marqueurs somatiques ? Précisons néanmoins que l'HMS ne postule pas que les choix avantageux ne sont pas guidés par les connaissances conceptuelles mais essentiellement que des processus émotionnels entrent en jeu dans la prise de décision sous ambiguïté (Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 2005). D'autre part, dans l'étude de Maia & McClelland, comme dans les

⁴¹ Notre traduction est la suivante « le gagnant remporte tout ». Autrement dit, les marqueurs somatiques peuvent entrer en compétition, mais le marqueur le plus puissant domine et guide le sujet.

⁴² Dès le premier bloc de sélection

études précédentes, le savoir conceptuel est décorrélié des performances à l'IGT - i.e., certains sujets savent quels sont les tas avantageux sans choisir pour autant avantageusement. Enfin il semble que le type de questions utilisées par Maia & McClelland pour évaluer les connaissances conceptuelles des sujets puissent avoir induit ces connaissances (Persaud, Mcleod, & Cowey, 2007). Dans cette étude, les auteurs comparent les méthodes utilisées par Bechara (1997) et Maia & McClelland (2004) afin de mesurer les connaissances conceptuelles des sujets, en proposant à un premier groupe des questions générales (i.e., opaques) (Bechara, 1997), et des questions détaillées (i.e., potentiellement informatives) à un deuxième (Maia & McClelland, 2004), tandis qu'un 3^{ème} groupe ne reçoit aucune question (i.e., groupe contrôle). Au cours de la tâche, les participants doivent non seulement piocher des cartes mais aussi parier sur chacun de leurs choix, ce qui permet d'évaluer leur niveau de confiance dans leurs choix et donc par extension leurs connaissances sur ces choix. De façon critique, les questions détaillées induisent des connaissances sur les tas contrairement aux questions générales (après lesquelles les résultats sont similaires au groupe contrôle sans questions). De plus, dans le groupe contrôle et le groupe questions générales, les connaissances conceptuelles (mesurées par les paris) apparaissent uniquement après que les sujets aient commencé à choisir de manière avantageuse.

❖ L'implication des fonctions exécutives

Certaines études ont insisté sur l'implication de processus exécutifs tels que la mémoire de travail, l'inhibition ou encore le *reversal learning* dans la prise de décision sous ambiguïté. Une des premières études à s'être intéressée à l'effet des fonctions exécutives sur la prise de décision a mis en évidence une double dissociation cognitive et anatomique : une lésion du CPFVM entraîne un défaut de prise de décision mais pas nécessairement de la mémoire de travail, alors qu'une lésion du CPFDL altère les capacités de mémoire de travail mais pas nécessairement de la prise de décision (Bechara, Damasio, Tranel, & Anderson, 1998). Les études sur l'implication de la mémoire de travail utilisant notamment des protocoles de doubles tâches démontrent que la surcharge de la mémoire de travail a tantôt un impact délétère sur les performances à l'IGT (Dretsch & Tipples, 2008; Hinson, Jameson, & Whitney, 2002; Jameson, Hinson, & Whitney, 2004), tantôt aucun effet sur ces performances (Turnbull et al., 2005). Mais de la même façon qu'elle ne postulait pas

l'absence de connaissances conceptuelles, l'HMS ne postule pas que la mémoire de travail ne joue pas un rôle dans la prise de décision sous ambiguïté. En effet, le développement des marqueurs somatiques permettrait de faire un tri sur les options qui méritent d'être gardées en mémoire de travail.

Toujours sur le versant de l'implication supposées de certaines fonctions exécutives spécifiques dans la prise de décision sous ambiguïté, certains auteurs ont proposé un rôle de l'inhibition ou du *reversal learning* dans la capacité à choisir avantageusement, étant donné la nécessité de se désengager d'options attractives mais désavantageuses sur le long terme afin de s'orienter vers des options moins attractives au premier abord mais avantageuses sur le long terme. Comme c'était le cas dans les études sur les joueurs pathologiques, une récente revue de la littérature conclut à l'absence d'un lien robuste entre l'efficacité inhibitrice – mesurée par des tests neuropsychologiques classiques tels que : le Stroop, le Go/NoGo, le Wisconsin Card Sorting Test - et les capacités de prise de décision sous ambiguïté (Toplak, Sorge, Benoit, West, & Stanovich, 2010). En ce qui concerne le *reversal learning*, sur la base des travaux fondateurs de Rolls, Hornak, Wade, et McGrath (1994), une autre équipe de chercheurs a proposé une interprétation alternative des déficits de prise de décision observés chez les patients fronto-lésés. Dans cette étude, Fellow et Farah (2003) comparent les performances à l'IGT dans une version classique et dans une version modifiée où les premiers feedbacks négatifs sont rencontrés plus précocement. Et de fait, ils mettent en évidence une amélioration significative des performances chez les patients CPFVM lorsqu'ils sont soumis à cette version modifiée de l'IGT, suggérant une difficulté ciblée à « désapprendre » l'attractivité initiale des tas désavantageux (voir Figure 16 ; Fellows & Farah 2005). Toutefois, l'absence de réplique de ces résultats et le profil atypique de performances dans la version classique de l'IGT – i.e., les participants sains et les patients CPFVM ne montrent pas de tendance initiale vers les choix désavantageux – incitent à relativiser ces résultats.

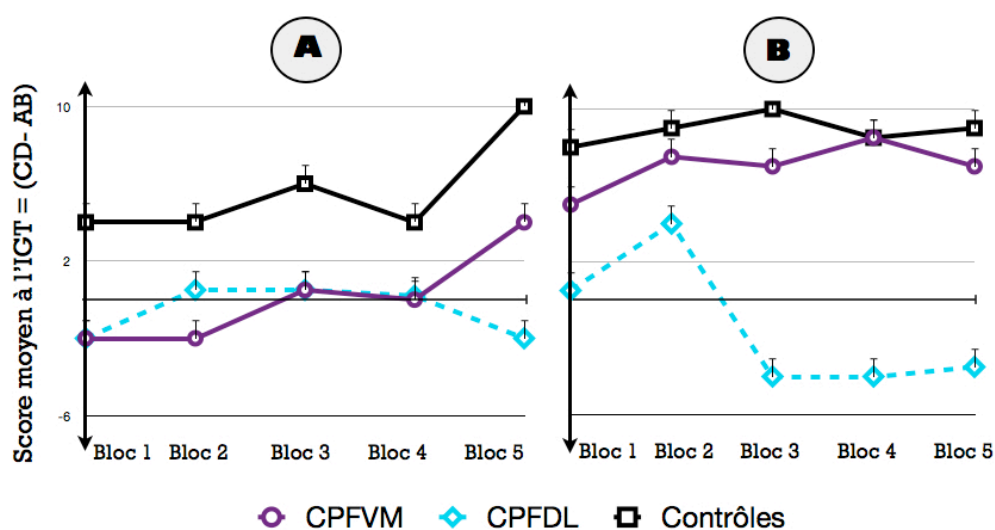


Figure 16 : Résultats de patients CPFVM, de patients avec une lésion du cortex préfrontal dorsolatéral (CPFDL) et de participants sains aux versions classique (A) et modifiée (B) de l'IGT. Dans cette version modifiée (Fellows & Farah, 2003; 2005) seul l'ordre des cartes est modifié de telle façon que les pertes sont rencontrées plus précocement que dans la version classique. Les deux versions comportent donc exactement les mêmes gains/pertes. A) Les résultats sur la version classique montrent que seuls les participants contrôles parviennent à choisir avantageusement à la fin de la tâche. Les patients CPFVM et CPFDL ne montrent aucune préférence significative entre les tas avantageux et désavantageux. B) Dans cette version modifiée, les participants contrôles et les patients CPFVM réussissent à choisir avantageusement, et ce dès le premier bloc de sélections. A l'inverse, les patients CPFDL n'arrivent pas à se désengager des tas désavantageux.

En résumé, il existe donc une relation asymétrique entre les processus exécutifs et les processus de prise de décision : l'efficacité de la mémoire de travail, du *reversal learning* ou de l'inhibition ne dépend pas de l'efficacité des capacités de prise de décision alors que des troubles exécutifs sont susceptibles d'entraîner des troubles de la prise de décision (Bechara & Martin, 2004).

c. Synthèse des données issues de la neuroimagerie fonctionnelle

Jusque là nous avons privilégié l'analyse d'études utilisant des protocoles comportementaux et physiologiques, que ce soit chez le sujet sain ou pathologique. Notre revue de littérature révèle une relative pauvreté des études en neuroimagerie dans le domaine de la prise de décision sous ambiguïté, qui s'explique par la complexité de l'IGT et des processus qu'elle engage (Li, Lu, D'Argembeau, Ng, & Bechara, 2010). Les premiers débats sur les substrats neuronaux de la prise de décision sont d'ailleurs issus de la neuropsychologie et non de la neuroimagerie. Ces débats, corollaires aux critiques précédemment évoquées sur les autres processus

engagés dans la prise de décision, prennent le parti de questionner l'implication de régions plus étendues comme celle du cortex préfrontal dorsolatéral (CPF DL) (Clark, Manes, Antoun, Sahakian, & Robbins, 2003; Fellows & Farah, 2005; Manes et al., 2002). Une étude en IRMf démontre, cependant, qu'il existe un lien entre le degré d'activation du CPFVM dans une tâche de jugement affectif et la capacité à choisir de manière avantageuse à l'IGT, ce qui suggère que le CPFVM joue un rôle critique dans la prise de décision sous ambiguïté (Northoff et al., 2006). Une autre étude met également en évidence que l'activation de cette région orbitofrontale médiane⁴³ permet de différencier les choix des participants sur les tas désavantageux, des choix sur les tas avantageux dans l'IGT. De plus, les performances dans l'IGT corrélaient significativement avec l'activation de cette structure (Fukui, Murai, Fukuyama, Hayashi, & Hanakawa, 2005). Une étude récente (Li et al., 2010) démontre que la prise de décision repose sur des processus exécutifs et émotionnels. En utilisant des adaptations des versions classiques ABCD et EFGH de l'IGT, les auteurs observent des activations du CPF DL (associé à la mémoire de travail), l'insula et le cortex cingulaire postérieur (connus pour être impliqués dans la représentation des états somatiques), le Cortex Orbito Frontal médial (COF) et le CPFVM (dont le rôle fonctionnel serait de coupler les deux processus précédents), le striatum ventral, le cortex cingulaire antérieur et l'aire supplémentaire motrice (associés à la mise en place de la décision comportementale).

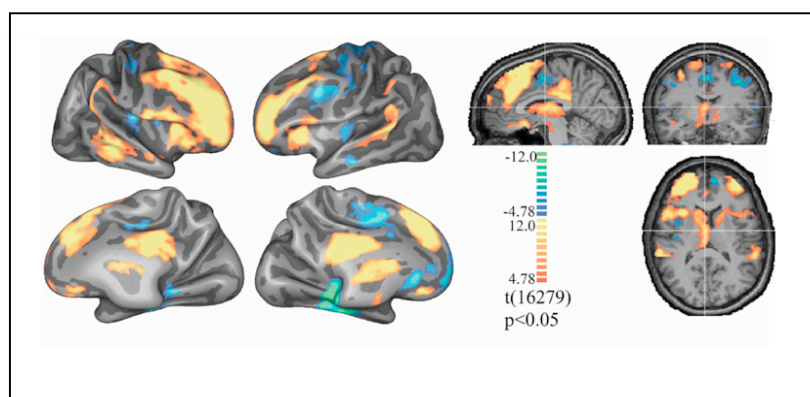


Figure 17 : Activations cérébrales durant l'IGT en comparaison avec une tâche contrôle issue de l'étude de Li et al., (2010). L'analyse du signal bold révèle une activation significative du COF/VM PFC, du CPF DL, de la région antérieure de l'insula, du cortex cingulaire postérieur, du striatum, du cingulaire antérieur et de l'aire motrice supplémentaire. Le seuil de significativité est $p < 0.05$.

⁴³ En fonction des études il est mentionné cortex orbital médian, cortex orbito frontal ou CPFVM

Après presque vingt ans de recherche, l'HMS est devenue une hypothèse solide de part sa mise en perspective de la prise de décision selon trois niveaux d'observation imbriqués : 1) comportemental, 2) physiologique, et 3) neurologique. Elle soutient que la prise de décision sous ambiguïté est pilotée par des signaux émotionnels faisant intervenir deux régions critiques : d'une part l'amygdale pour les perspectives immédiates (i.e., gains et pertes immédiats) et d'autre part le CPFVM pour les perspectives futures (i.e., conséquences à long terme). Les articles princeps se focalisent sur ces deux régions accompagnées de celles nécessaires à l'émotion de manière plus globale, à savoir les régions sensorielles et de « body mapping » (e.g., cortex sensoriel, somato-sensoriel et insulaire pour la représentation de l'état somatique) et les structures effectrices (e.g., hypothalamus, noyaux du tronc cérébral pour la réalisation de l'état somatique). Toutefois, la mise en œuvre de ces signaux nécessite aussi des structures mnésiques (e.g, hippocampe, CPFDL pour les informations contenues en mémoire à long terme et en mémoire de travail) ; mais aussi le striatum (lorsque le signal s'opère à un niveau inconscient) ou le cortex cingulaire antérieur et le cortex orbito-frontal latéral lorsque le signal s'opère à un niveau conscient (Bechara & Damasio, 2005; Gupta, Kosciak, Bechara, & Tranel, 2011; Reimann & Bechara, 2010). En d'autres termes, si ce cadre théorique accorde un rôle primordial à un signal émotionnel intégral dans la prise de décision sous ambiguïté, il ne nie pas l'implication de processus cognitifs sans toutefois spécifier leurs rôles. Selon nous, de nouvelles recherches sont nécessaires afin de mieux déterminer comment ce signal émotionnel intégral se met en place, et comment ce signal interagit avec certains processus cognitifs.

III. Conclusions et perspective neuroéconomique

Nous avons choisi d'ancrer nos questions sur la prise de décision au sein de l'HMS au regard de la qualité du cadre théorique qu'elle offre et de sa capacité à générer des travaux de recherche scientifique de grande qualité. Cette théorie permet de dépasser les modélisations normatives de la prise de décision, exposées dans le premier chapitre de ce manuscrit, en offrant une analyse plus proche du comportement réel des individus. De plus, l'HMS en s'intéressant aux émotions intégrales, présente l'avantage de dépasser les théories qui relèvent d'une rationalité

dualiste⁴⁴ opposant une rationalité logique à une rationalité intuitive (Evans & Over, 1996). Bien entendu, il existe d'autres modèles de la décision, intégrant eux aussi les émotions et ce de façon plus ou moins similaire à l'HMS tels que le *Risk as feeling* (Loewenstein et al., 2001), *Feeling is for doing* (Zeelenberg & Pieters, 2006) ou encore ceux appréhendant l'émotion comme anticipation du regret (Loomes & Sugden, 1982; Mellers, 2000). Néanmoins aucun de ces modèles n'offre la multiplicité des angles d'approches de l'HMS (i.e., comportemental, physiologique, neurologique) ou la richesse empirique qu'elle a fait naître (Reimann & Bechara, 2010). Compte tenu de l'importance indiscutable des capacités décisionnelles tant à un niveau individuel que sociétal, il n'est pas surprenant de voir croître l'intérêt pour les processus qui lui sont sous-jacents. Cet intérêt croissant se reflète à un niveau quantitatif mais aussi qualitatif puisque des théoriciens issus de différents domaines et écoles ont progressivement coopéré dans le souci de comprendre non plus uniquement la *rationalité économique* dite *logique* mais aussi la *rationalité matérielle* ou encore *écologique* (Pham, 2007). La première fait référence à la rationalité des modèles normatifs classiques, la deuxième à une rationalité adaptée aux besoins de l'individu et la dernière renvoie à une rationalité sociétale. Aujourd'hui le terme de *neuroéconomie* est utilisé comme un terme générique pour évoquer la rencontre fructueuse de ces différentes sphères (Loewenstein, Rick, & Cohen, 2008; Sanfey, Loewenstein, McClure, & Cohen, 2006). Mais malgré les substantielles avancées scientifiques de ces 20 dernières années, il reste encore à découvrir et mieux comprendre les processus cognitifs, affectifs et neurocognitifs à la base de notre capacité à prendre des décisions.

Ainsi, le dernier chapitre de cette introduction se propose d'appréhender la prise de décision par le biais d'une perspective développementale, perspective qui permet non seulement de collecter des informations sur la façon dont se développe ces capacités décisionnelles mais surtout de mieux définir les mécanismes qui sous-tendent ce développement. De plus, étudier le développement des capacités décisionnelles sous ambiguïté offre la possibilité de mieux cerner les différents mécanismes qui sous-tendent la prise de décision à l'âge adulte. Dans ce chapitre, nous aborderons plus spécifiquement deux problématiques : (i) Les enfants et les

⁴⁴ Notons que mêmes celles-ci se sont vues évoluer dernièrement, en proposant de parler plutôt de « processus » que de « types de rationalité » (Evans, 2011)

adolescents effectuent-ils des choix de façon analogue aux adultes dans des conditions d'ambiguïté? (ii) Sommes-nous, tout au long de notre développement, guidés de la même façon dans nos décisions par nos réactions émotionnelles primaires et secondaires (i.e., par les marqueurs somatiques)?

Chapitre 3 – Le développement des capacités de prise de décision

Sous l'influence des modèles normatifs classiques, le développement des capacités de prise de décision fut d'abord étudié sous l'angle des conditions de risque. Nous présenterons donc dans un premier temps les travaux princeps sur la prise de risque avant ceux sur la prise de décision sous ambiguïté. Etant donné que le développement des capacités de prise de décision repose, au moins pour partie, sur le développement de la compréhension des probabilités associées aux différentes options, nous commencerons ce chapitre par un bref exposé des travaux sur la compréhension des probabilités au cours du développement.

I. La prise de risque au cours du développement

1. *De l'intuition des probabilités à la prise en compte de la valeur espérée*

Les premiers travaux sur la compréhension des probabilités chez l'enfant ont été l'œuvre de Jean Piaget. Piaget met en évidence un développement relativement tardif de la notion de probabilité. Par le biais de petites expériences ingénieuses, il cherche notamment à comprendre comment les enfants perçoivent les mélanges aléatoires, la détection d'événements fortuits ou induits avant de comprendre comment les enfants appréhendent la quantification des probabilités (Piaget & Inhelder, 1974). L'une de ces petites expériences consiste à présenter un dispositif rectangulaire apposé sur un axe qui permet de le faire basculer. A l'extrémité de ce dispositif sont disposées deux rangées de billes de couleur blanche et de couleur rouge, séparées par une petite cloison. Une fois le matériel exposé, on demande à l'enfant d'imaginer de quelle façon les billes vont se disposer si l'on penche celui-ci. Avant 10-11 ans l'enfant répond de façon stochastique bien que justifiée par des dimensions telle que la couleur. Les réponses sont alors caractérisées par l'attribution d'un bon ordre telle que la famille de couleur qui devrait régir le bon déplacement des billes (e.g., « les blanches vont retourner avec les blanches ») et où l'aléatoire n'existe pas. Ce n'est qu'à partir de 10-11 ans que les enfants proposent des arguments fondés sur l'irréversibilité des mélanges aléatoires. Mais si la notion du hasard se conçoit

progressivement, qu'en est-il de la compréhension des probabilités ? Pour répondre à cette question, Piaget présente à des enfants d'âge scolaire deux sacs contenant des jetons dont certains sont marqués d'une croix. L'enfant doit choisir le sac qui selon lui offre le plus de chance de trouver un jeton marqué d'une croix. Dans ce type de jeu, les enfants sont en mesure de choisir de façon pertinente uniquement lorsque les sacs se distinguent sur la base du numérateur (e.g., $1/3$ vs $2/3$, voir Figure 18, A). A l'inverse, lorsque l'enfant doit choisir entre un sac de jetons contenant 1 jeton marqué sur 6 et un sac de jetons contenant 1 jeton marqué sur 3, il choisit de manière erronée le sac contenant 6 jetons (voir Figure 18, B).

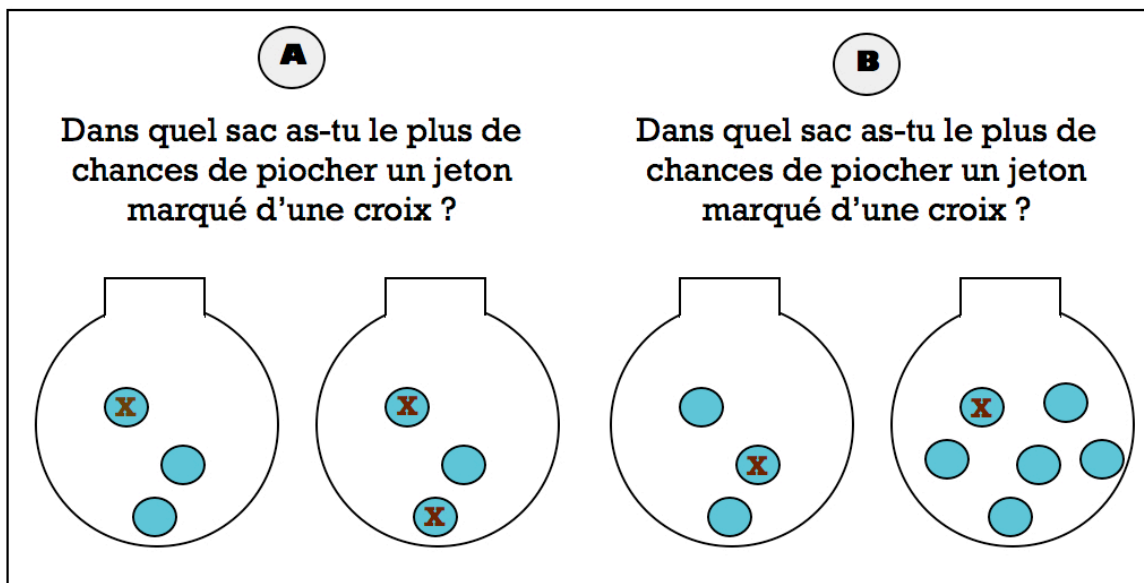


Figure 18 Type de petits problèmes proposés par Piaget afin de saisir la compréhension des probabilités des enfants du stade de préparation et de mises en places des opérations concrètes. L'enfant doit déterminer quel sac de jetons - parmi 2- offre le plus de chances de piocher un jeton marqué d'une croix. A) Exemple d'une situation sans interférence où seul le numérateur diffère tel que l'enfant doit choisir entre un sac contenant $1/3$ ou $2/3$ jetons marqués. Dès 6 ans les enfants sont en mesure de choisir le sac contenant la proportion de jeton marqué la plus grande (i.e., $2/3$). B) Exemple d'une situation interférente où le dénominateur diffère entre les 2 sacs tel que l'enfant doit choisir entre un sac contenant $1/3$ ou $1/6$ jetons marqués. Dans ce type de situation les enfants sont biaisés par le dénominateur supérieur (i.e. $6 > 3$) et n'arrivent pas à adopter l'algorithme nécessaire à la bonne réponse qui consiste à faire le ratio du nombre de jeton marqué sur le nombre total de jetons contenus dans le sac.

Alors qu'il s'agit de comparer les probabilités (i.e., $1/3$ vs $1/6$), l'enfant se focalise sur le dénominateur supérieur omettant ainsi d'intégrer le rapport du numérateur sur le dénominateur. En accord avec sa théorie d'un développement cognitif linéaire et hiérarchique (par stade), Piaget conclut que la quantification des probabilités se développe de manière progressive pour n'être acquise qu'au stade des opérations formelles vers 11-12 ans. Bien que d'autres études aient répliqué ces résultats (Hoemann & Ross, 1971; Kreidler & Kreidler, 1986), certains auteurs

suggèrent que le développement tardif des capacités de quantification des probabilités mis en évidence par Piaget pourrait être lié aux contraintes imposées par sa méthode. De fait, les situations piagésiennes sont des situations pièges où il existe une interférence qui ne permet pas de mesurer la compréhension des probabilités mais plutôt la capacité à résister à une interférence (e.g, dans notre exemple ci-dessus la capacité à inhiber l'interférence du dénominateur supérieur, voir Reyna, 1995). En utilisant d'autres paradigmes expérimentaux minimisant les interférences, les chercheurs contemporains vont mettre en évidence des aptitudes beaucoup plus précoces que ne l'avait montré Piaget dans le jugement de probabilité (Acredolo, Connor, Banks, & Horobin, 1989; Schlottmann & Anderson, 1994). Par exemple, dès 7 ans les enfants sont en mesure d'estimer à l'aide d'une échelle émotionnelle, l'attractivité d'une loterie où la possibilité de tirer une dragée d'une couleur spécifique est modifiée par le nombre de dragées de cette couleur spécifique tout comme par le nombre total de dragées (Acredolo, Connor, Banks, & Horobin, 1989). Les enfants se montrent sensibles à l'augmentation du numérateur de la couleur cible (1,2 ou 3) tout comme à l'augmentation du dénominateur (6, 8 ou 10). Par exemple, cette compréhension des probabilités les conduit à juger plus attractif un sac contenant 3 dragées de la couleur cible sur 6 qu'un sac contenant 2 dragées de la couleur cible sur 6, tout en jugeant un sac contenant 3 dragées sur 6 plus attractif qu'un sac contenant 3 dragées sur 10. Bien que le numérateur et le dénominateur soient tous deux manipulés dans cette tâche, le protocole utilisé permet de mesurer la réactivité émotionnelle face à chaque situation de façon indépendante, et donc sans générer d'interférences comme dans les situations piagésiennes.

La description du développement de la capacité à comprendre les probabilités est nécessaire mais pas suffisante pour comprendre le développement des capacités de prise de décision. Rappelons que le modèle dominant de la prise de décision adulte est celui d'une maximisation de la valeur espérée, produit des probabilités et des valeurs. Afin d'évaluer l'appréhension de la valeur espérée chez l'enfant, Schlottmann (2001) présente un système de 12 loteries manipulant à la fois les probabilités (i.e., 20% ; 50% ; 80% ; voir Figure 19, A) et les gains associés (i.e., 1, 3, 6 ou 10 stylos ; voir Figure 19, B). Les probabilités sont manipulées en utilisant des tubes caractérisés par un nombre total de segments colorés variables (i.e., 2 ou 5) et où par conséquent un segment ne peut être interprété dans sa valeur absolue (i.e., un segment peut

représenter une probabilité de 50% ou de 20%). Ces segments sont de couleur bleue ou orange et sont associés à des gains de valeurs différentes (i.e., 3 ou 6 stylos pour la couleur bleue et 1 ou 10 stylos pour la couleur orange). Une bille est associée au dispositif afin de déterminer la couleur gagnante une fois celui-ci secoué. Les enfants sont alors sollicités pour aider une poupée, nommée Lucy, à déterminer quelles sont les loteries susceptibles de satisfaire son affection particulière pour les stylos en évaluant chacune d'entre elles à l'aide de stickers de taille croissante.

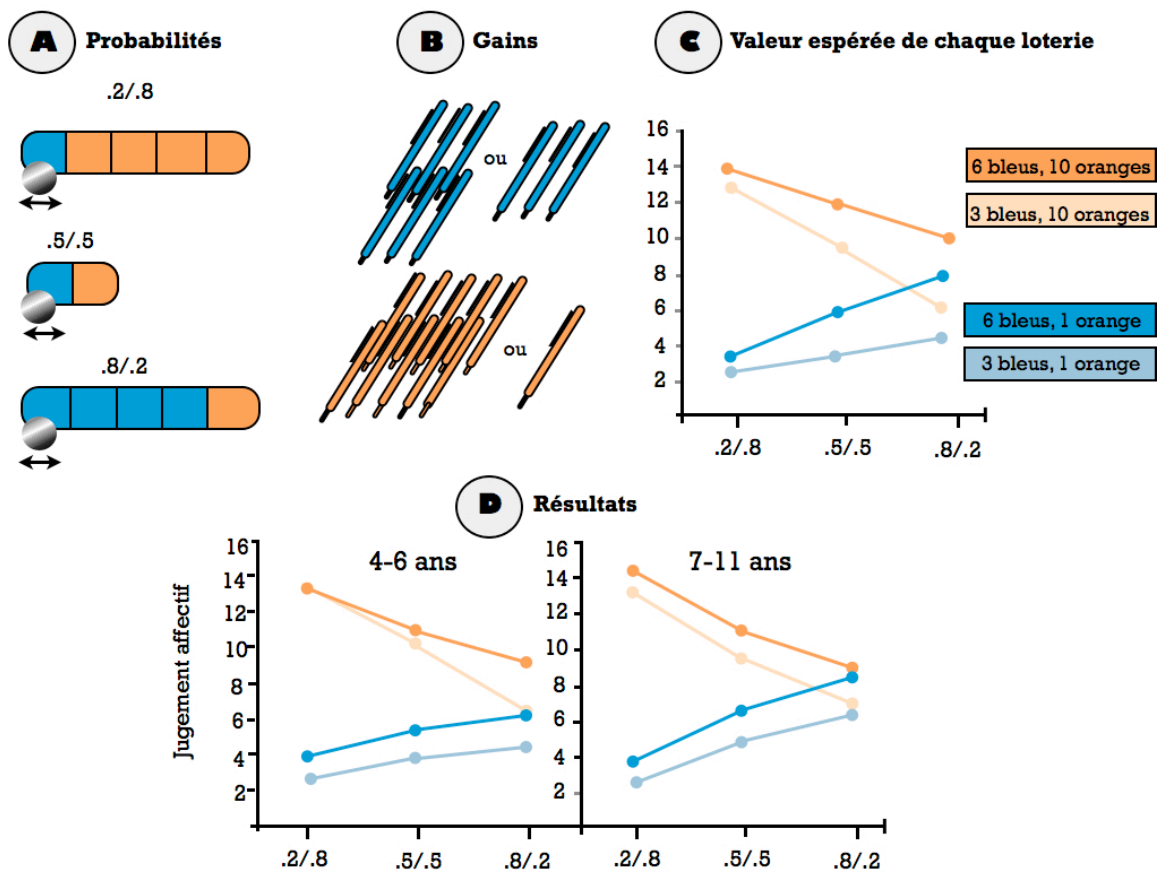


Figure 19 : A) Présentation du protocole et des résultats de Schlottmann (2001). Les probabilités sont représentées par un tube composé de différents segments de couleur bleue ou orange. Une bille qui se trouve sur le dispositif est secouée pour déterminer la couleur gagnante. B) À chaque loterie les couleurs bleue et orange sont respectivement associées à des gains de 3 ou 6 stylos et des gains de 10 ou 1 stylos. C) Illustration du pattern normatif reflétant la valeur espérée de chaque loterie en fonction des probabilités et des gains associés. D) Résultats des jugements affectifs réalisés par des enfants de 4-6 ans et 7-11 ans pour chacune des loteries.

Dans cette tâche la valeur espérée se calcule en multipliant la probabilité des deux événements possibles (i.e., probabilité de la couleur bleue et orange) par le nombre de stylos associés à chaque couleur (voir Figure 19, C).

Par exemple, pour les probabilités (couleurs bleue/orange) de .8/.2 associées à un gain de 6 stylos bleus et 10 stylos oranges :

$$VE = .8*6 + .2*10 = 6,8$$

Dès 6 ans les enfants sont sensibles à la valeur espérée. L'enfant arrive donc à prendre en compte non seulement les probabilités mais aussi les valeurs des gains en jeu sur chacune des loteries (voir Figure 19, D). Notamment lorsque les loteries sont caractérisées par les gains les plus forts et qu'il y a 10 stylos attribués à la couleur orange, les enfants discriminent également en fonction du gain le moins important jugeant ainsi plus satisfaisante la loterie qui permet de remporter 6 stylos bleus ou 10 stylos oranges plutôt que 3 stylos bleus ou 10 stylos oranges⁴⁵. De plus, les enfants ont la capacité de s'adapter à un renversement des probabilités en faveur de la couleur bleue ou en faveur de la couleur orange. Cette tâche relativement complexe permet de mettre en évidence des capacités précoces de prise de décision chez les enfants : 1) ils saisissent la dépendance des probabilités entre les deux issues possibles (i.e., si la probabilité de la couleur bleu augmente c'est que celle de la couleur orange diminue), comme en atteste le pattern inversé lorsque l'issue « orange » ou l'issue « bleue » est associée à la plus forte probabilité, 2) ils appréhendent le dispositif des probabilités de façon abstraite puisqu'ils adaptent l'interprétation des segments en termes de probabilités et non de valeurs absolues, 3) ils jugent de la valeur espérée sur la base des deux issues possibles. Il semble donc que les enfants soient en mesure de juger différentes situations en accord avec une « intuition » de la valeur espérée qui les caractérise, et ce beaucoup plus précocement que ce que ne suggérerait l'école Piagétienne.

2. La prise de risque au cours du développement

Bien que les résultats de l'étude précédente offrent des informations sur la compréhension de la valeur espérée chez les enfants d'âge scolaire, ils ne permettent pas de déterminer l'évolution des capacités de prise de décision à risque au cours du développement. Cette question va susciter un intérêt grandissant de la part de la communauté scientifique, notamment dans l'objectif d'expliquer le pic de prise de risque observé dans la vie quotidienne des adolescents (Boyer, 2006; Steinberg et al.,

⁴⁵ Sur la Figure 19, on le remarque par l'existence d'un jugement affectif meilleur pour la loterie '6 bleus, 10 oranges' par rapport à '3 bleus, 10 oranges' quelles que soient les probabilités en jeu.

2008). Plusieurs études, principalement épidémiologiques, démontrent une augmentation des conduites à risque à l'adolescence telles que la conduite automobile dangereuse, la consommation de substances ou les conduites sexuelles à risque (Crone & Dahl, 2012 ; Dahl, 2004 ; Eaton et al., 2012; Reyna & Farley, 2006). Il convient alors d'étudier les capacités de prise de décision à risque afin de vérifier le possible déficit spécifique à l'adolescence suggéré par ces observations de la vie quotidienne. Une des expériences princeps menée en laboratoire sur ce sujet est celle menée par Slovic (1966). Dans cette tâche, les enfants ont la possibilité d'appuyer sur un ensemble de 10 interrupteurs, sachant que 9 d'entre eux leur permettent d'obtenir une cuillère de M&M's tandis que l'un d'entre eux leur retire l'ensemble des M&M's accumulés. Bien que les résultats de cette étude réalisée sur un vaste échantillon de 1037 participants âgés de 6 à 16 ans ne révèlent aucun effet de l'âge sur les capacités de prise de décision à risque, il semble que chez les garçons la propension au risque augmente au cours du développement. Une étude plus récente a quant à elle permis de faire le lien entre capacités de prise de décision à risque en laboratoire et comportements à risque au quotidien en démontrant une corrélation entre la propension au risque des enfants d'âge préscolaire dans la tâche des interrupteurs et leur propension à traverser dangereusement des rues virtuelles dans un jeu informatisé (Hoffrage, Weber, Hertwig, & Chase, 2003). Dans la même veine, la *Balloon Analogue Risk Task* (BART) a été spécifiquement créée afin d'identifier les individus preneurs de risques dans la vie quotidienne (Lejuez et al., 2002; Lejuez, Aclin, Zvolensky, & Pedulla, 2003). Cette tâche informatisée consiste à voir à quel point les participants sont prêts à gonfler un ballon dans le but de remporter de l'argent (i.e., 5 centimes par appui), mais ce, avec le risque que celui-ci explose à tout moment, retirant alors la somme accumulée. Cette tâche fut plus spécifiquement créée afin d'évaluer la variabilité inter-individuelle de la prise de risque et non pas pour discriminer les différences développementales qui nous intéressent ici. Par exemple, il a été démontré que les performances à la BART corrèlent avec des mesures de la prise de risque au quotidien allant de mesures de trait de personnalité telles que l'impulsivité ou la recherche de sensation (Bornovalova et al., 2009) à la consommation d'alcool ou de tabac (e.g., Cavalca et al., 2012). Il est important de noter qu'il s'agit d'une situation de prise de décision à risque particulière puisque les participants sont bien informés des conséquences en jeu (i.e., 5 centimes gagnés à chaque appui pour gonfler le ballon mais la perte de tous les gains si le ballon

explode), cependant les probabilités en jeu se caractérisent par une très forte variance puisque le ballon peut exploser au 1^{er} essai tout comme au moment où le ballon remplit l'écran (i.e., au 168^{ème} essai). En d'autres termes, la forte variance accentue l'incertitude sous-jacente de telle façon qu'il est possible d'envisager cette tâche comme une tâche de prise de décision sous ambiguïté. En outre, alors que le nombre d'appuis optimal dans cette tâche est de 64, les sujets adolescents et adultes n'appuient en moyenne qu'une trentaine de fois (Pleskac, Wallsten, Wang, & Lejuez, 2008). Autrement dit, ces études ne démontrent pas un déficit de prise de décision à risque à l'adolescence mais une corrélation entre la propension à opter pour des choix incertains en laboratoire (i.e., appuyer sur un ballon dans l'objectif de remporter de l'argent malgré le risque que celui-ci explose) et la propension aux conduites à risque au quotidien. Malgré l'existence de cette corrélation, on peut légitimement questionner la notion de risque envisagé ici sur son versant inadapté, puisque ces études ne distinguent pas la prise de risque avantageuse de celle désavantageuse (Humphreys, Lee, & Tottenham, 2013).

Les différences développementales face au risque ont été plus spécifiquement étudiées en soumettant 5 groupes d'âges de 8 à 30 ans à *la Cake Gambling Task* (Van Leijenhorst, Westenberg, & Crone, 2008). Celle-ci s'apparente à une roue de la fortune où le sujet a pour consigne de remporter le plus de points possible en pariant sur une des deux options qui lui sont proposées. Pour que la tâche soit adaptée aux enfants du plus jeune âge, les probabilités sont illustrées par des gâteaux de 6 parts dont les couleurs rose ou marron correspondent aux parfums de fraise ou chocolat. Afin d'étudier l'estimation du risque, les proportions (i.e., 3 : 3 ; 4 : 2 ; 5 : 1 ; voir Figure 20, A) ainsi que les crédits qui y sont associés (i.e., 1 ; 3 ; 5 ; 7 et 9 ; voir Figure 20, B) varient au cours des essais. Si les enfants choisissent de parier sur le parfum effectivement tiré au sort ils remportent le nombre de crédits associé ; dans le cas contraire ils perdent le nombre de crédits associé. Le risque est manipulé de telle façon qu'un crédit d'1 point est systématiquement associé à la probabilité la plus forte contrairement aux crédits supérieurs. Cette caractéristique méthodologique permet aux auteurs de considérer un choix sûr comme le fait de miser sur le parfum associé à la plus forte probabilité alors qu'un choix risqué consiste à miser sur le parfum associé à la probabilité la moins forte. Notons ici, que la valeur espérée des choix risqués est négative dans le cas des proportions 4:2 et 5:1

(e.g., $EV = 1/6 \times 9 - 5/6 \times 9 = -6$ $EV = 2/6 \times 9 - 4/6 \times 9 = -3$) alors que la valeur espérée est égale à 0 et équivalente au choix sûr lorsque les proportions sont de 3:3 (e.g., $EV = 3/6 \times 9 - 3/6 \times 9 = 0$ et $EV = 3/6 \times 1 - 3/6 \times 1 = 0$; voir Figure 20, C).

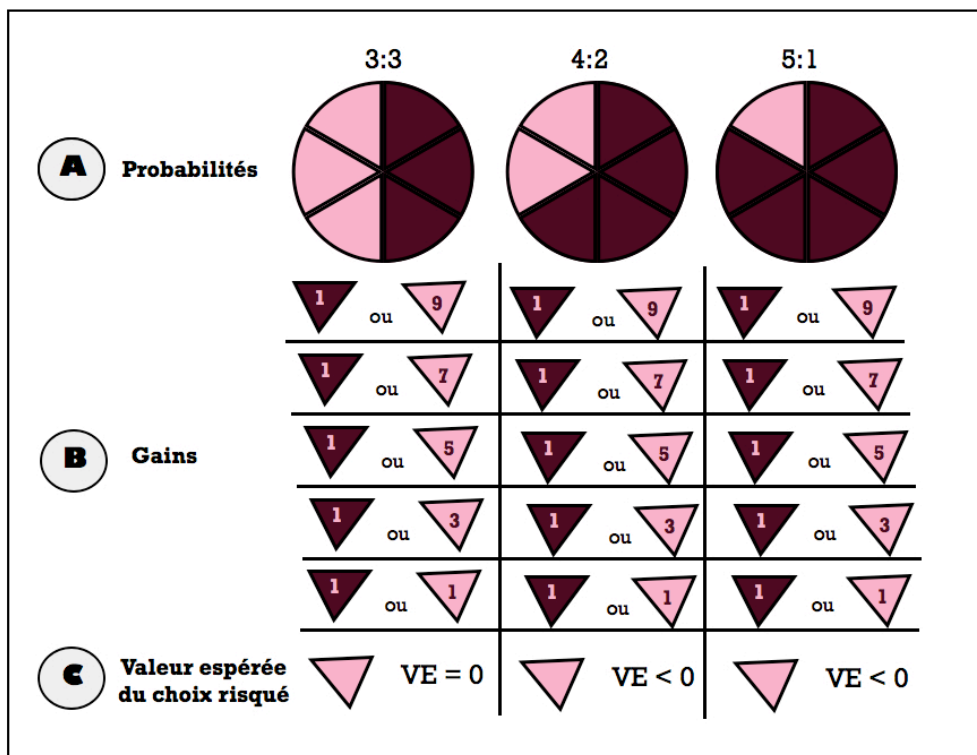


Figure 20 : Présentation des essais de la Cake Gambling Task utilisés dans l'étude de Van Leijenhorst, Westenberg, & Crone, (2008). A) Les probabilités sont représentées par des gâteaux dont les parts peuvent être au chocolat (i.e., couleur marron) ou à la fraise (i.e., couleur rose) et dans les proportions suivantes : 3:3 ; 4:2 ; 5:1. B) Le participant doit choisir sur quel parfum il préfère miser en imaginant que c'est un individu dont les yeux sont bandés qui choisira la part et donc le parfum gagnant à chaque essai. Si le parfum choisi est tiré au sort le participant gagne le montant qui lui est associé sinon il perd le montant qui lui est associé. Par construction la proportion la plus faible est toujours associée au gain le plus fort (i.e., 9,7,5,3,1) de telle sorte que le parfum associé est considéré comme le choix risqué (i.e., ici le parfum « fraise »). C) Ainsi, la valeur espérée de ce choix risqué est égale à 0 et équivalente au choix sûr (i.e., le parfum « chocolat ») lorsque les proportions sont de 3:3 et devient négative dans les proportions 4:2 et 5:1.

L'analyse des patterns de choix montre que dans chaque groupe d'âge, la prise de risque augmente avec l'accroissement des crédits et des probabilités en jeu (voir Figure 21), mais ne diffère pas significativement en fonction de l'âge. Ainsi, la prise de risque est la plus forte pour chacun des groupes d'âges lorsque la proportion de parfums chocolat/fraise est de 3:3 et que le crédit le plus fort est de 9 points. Rappelons que dans ce cas précis la valeur espérée des deux options étant égales à 0, la prise de risque ne peut être envisagée comme désavantageuse. En résumé, dès 8 ans les enfants sont en mesure de résister à l'attractivité d'une option risquée pour lui préférer une option moins attractive mais sûre lorsque la valeur espérée est négative. Il semble clair que dès l'âge scolaire le choix des enfants est

influencé par une combinaison des probabilités et des valeurs en jeu, et ce de façon similaire aux adultes. Néanmoins, aucune de ces études ne distingue clairement la prise de risque lorsqu'elle est avantageuse de lorsqu'elle est désavantageuse.

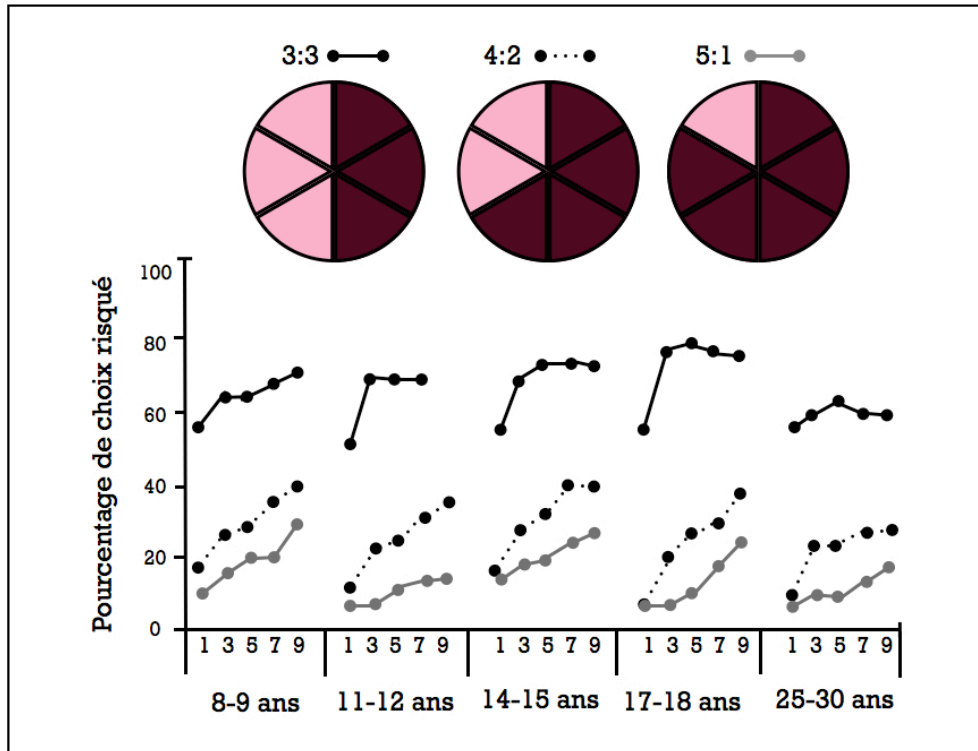


Figure 21 : Pourcentage de choix risqués (i.e., choix associé avec le gain le plus fort et la probabilité la plus faible – ici le parfum fraise) en fonction des 3 proportions (i.e., 3:3 ; 4:2, 5:1) et des gains associés (i.e., 1,3,5,7,9). Chaque groupe d'âge (8-9 ans, 11-12 ans, 14-15 ans, 17-18 ans, 25-30 ans) montre un profil de prise de risque similaire où le choix risqué augmente en fonction des gains et de la proportion associés au parfum risqué (Van Leijenhorst, Westenberg, & Crone, 2008).

C'est dans l'optique de pallier ce manque d'informations que les travaux de Levin et de ses collaborateurs s'insèrent (Levin, Weller, Pederson, & Harshman, 2007). Ces auteurs soumettent des enfants de 5-7 ans, 8-11 ans ainsi que leurs parents à une tâche de prise de décision à risque relativement complexe : la *Cup Task*. A chaque essai, les participants doivent choisir entre un choix sûr et un choix risqué soit dans le but de gagner des pièces de 25 cents (Figure 22, A) soit dans le but d'éviter d'en perdre (Figure 22, B). Les choix sûrs sont représentés par un certain nombre de boîtes (i.e., 5, 3 ou 2) qui offrent de façon certaine une pièce de 25 cents alors que les choix risqués sont représentés par un certain nombre de boîtes (i.e., 5, 3 ou 2) dont l'une, et seulement une (i.e., ce qui représente des probabilités respectives

de .20, .33 ou .50), offre un nombre variable de pièces (i.e., 2, 3 ou 5 pièces de 25 cents). Les probabilités et la magnitude des gains (ou des pertes) sont manipulées de telle sorte que chaque choix risqué puisse être soit avantageux, désavantageux ou équivalent au choix sûr.

		Risque Avantageux		Risque Equivalent		Risque Désavantageux	
		Sûr	Risqué	Sûr	Risqué	Sûr	Risqué
A	Essais Gains						
	Valeur espérée	$1(.25\$) * 1$ vs. $5(.25\$)*.33$ =.25\$ vs. .41\$		$1(.25\$) * 1$ vs. $3(.25\$)*.33$ =.25\$ vs. .25\$		$1(.25\$) * 1$ vs. $2(.25\$)*.33$ =.25\$ vs. .17\$	
B	Essais Pertes						
	Valeur espérée	$-1(.25\$) * 1$ vs. $-5(.25\$)*.33$ =-.25\$ vs. -.41\$		$-1(.25\$) * 1$ vs. $-3(.25\$)*.33$ =-.25\$ vs. -.25\$		$-1(.25\$) * 1$ vs. $-2(.25\$)*.33$ =-.25\$ vs. -.17\$	

Figure 22 : Illustration de la *Cup Task* d'après les travaux de Levin et al., (2007). Exemple d'essais où le participant doit choisir entre un choix sûr (i.e., boîtes grises) et un choix risqué (i.e., boîtes violettes) avec une probabilité de .33. En fonction des gains associés au choix risqué (i.e., 5,3,2 pièces de 25 cents) choisir l'option risquée est un choix avantageux, équivalent, ou désavantageux par rapport au choix sûr selon que l'on joue dans le domaine des gains (A) ou dans le domaine des pertes (B).

Les principales différences développementales mises en lumière dans cette étude sont les suivantes : 1) les enfants de 5-7 ans sont moins sensibles à la valeur espérée que leurs parents, que ce soit dans un cadre de gain ou dans un cadre de perte, 2) les enfants de 8-11 ans s'ajustent de la même façon que leurs parents dans un cadre de gain mais pas dans un cadre de perte ; et 3) les enfants de 5 à 11 ans prennent plus de risque que leurs parents lorsque l'option est désavantageuse (voir Figure 23). Ces données illustrent le développement d'une sensibilité à la valeur espérée jusqu'à l'âge adulte, et qui semble par ailleurs plus précocement mature

quand il s'agit d'ajuster sa prise de risque pour gagner de l'argent que lorsqu'il s'agit d'ajuster sa prise de risque pour éviter d'en perdre trop.

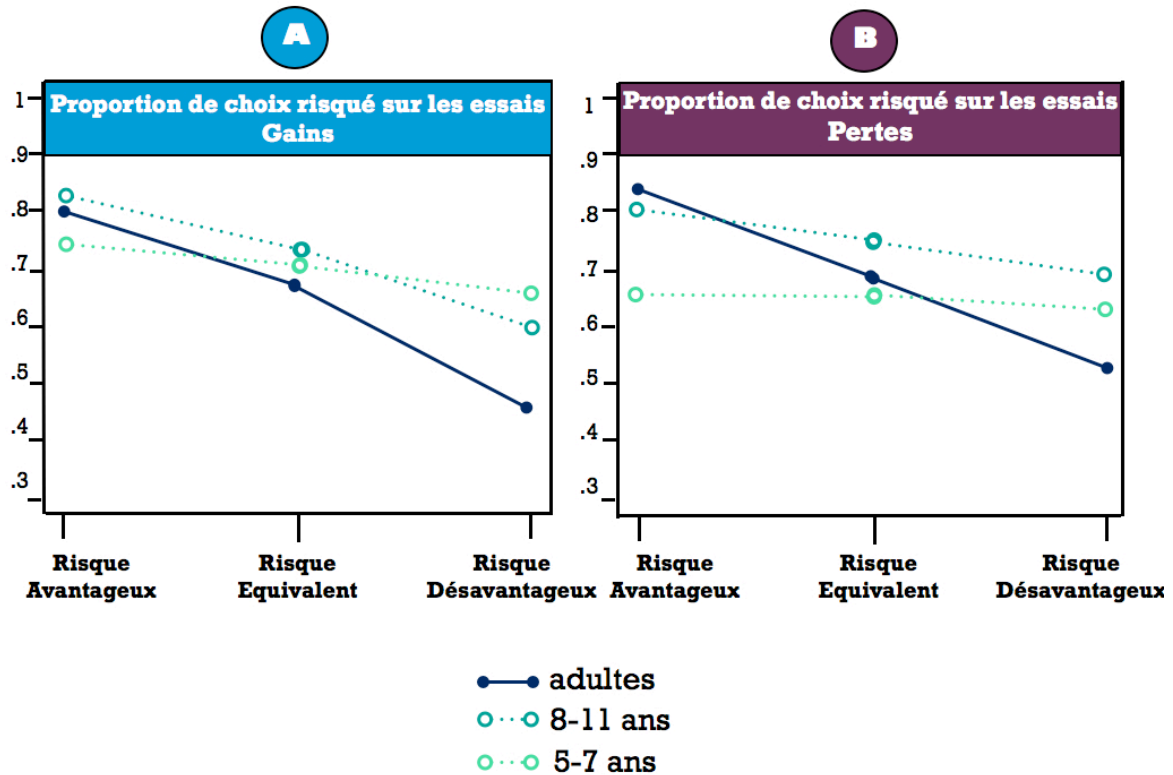


Figure 23 : Résultats issus des travaux de Levin et al., (2007). Proportion de choix risqués faits par les adultes, les enfants de 8-11 ans et de 5-7 ans, en fonction du caractère avantageux, équivalent, ou désavantageux de celui-ci par rapport au choix sûr et ce dans le domaine des gains (A) ou des pertes (B). Les adultes comme les enfants de 8-11 ans choisissent plus souvent l'option risquée lorsqu'elle est avantageuse, que lorsqu'elle est équivalente que lorsqu'elle est désavantageuse par rapport à l'option sûre. Les enfants de 5-7 ans ne semblent pas s'ajuster à la nature du risque qu'il s'agisse de prendre un risque pour gagner ou éviter de perdre de l'argent. On observe aussi que les enfants de 5 à 11 ans prennent plus de risque que les adultes lorsque celui-ci est désavantageux

En résumé, rappelons que les études sur développement de la prise de décision à risque sont notamment motivées par la volonté de comprendre le pic de prise de risque observé à l'adolescence qui se traduit par un taux de mortalité doublée par rapport à celui de l'enfance (Dahl, 2004) et par une forte prévalence de conduites à risques au quotidien (Eaton et al., 2012). Si les premiers travaux ont permis de mieux identifier les traits de personnalité des preneurs de risque de la vie quotidienne (Bornovalova et al., 2009; Lejuez et al., 2002), des questions subsistent quant au développement normal des capacités de prise de décision à risque. Plusieurs travaux mettent en évidence des capacités précoces quant à l'interprétation des probabilités et des conséquences associées à certains événements (Acredolo et al., 1989; Schlottmann, 2001), et donc quant à la capacité à ajuster ses choix en fonction de la

valeur espérée (Van Leijenhorst, Westenberg, & Crone, 2008). Toutefois, certains chercheurs décrivent tantôt un développement linéaire de ces capacités de prise de décision à risque (Levin et al., 2007), tantôt un développement quadratique illustrant une prise de risque exacerbée à l'adolescence (Burnett, Bault, Coricelli, & Blakemore, 2010). Il reste donc à expliquer l'origine de ces divergences, tout comme il faut comprendre pourquoi des capacités de prise de décision à risque sont observées de manière précoce (à l'âge scolaire) en laboratoire alors que le pic de prise de risque observé de manière tardive dans la vie réelle suggère à l'inverse un déficit de capacité de prise de décision à risque à l'adolescence. Un des éléments de réponse pourrait résider dans la variabilité des caractéristiques méthodologiques de l'évaluation des capacités de prise de décision à risque. Et de fait, étudier la propension au risque dans des situations de paris sur des roues de la fortune mettant en compétition deux choix incertains (Van Leijenhorst, Westenberg, & Crone, 2008), mais aussi dans des situations où le sujet doit choisir quand il est opportun de stopper un comportement lucratif juste avant de perdre les gains accumulés (Lejuez et al., 2003), ou encore dans des situations opposant un choix certain à un choix incertain (Levin et al., 2007) ne reflète vraisemblablement pas des processus strictement identiques. En outre, seule l'étude de Levin et al. (2007) contraste le risque désavantageux de celui qui est avantageux, distinction qui est pourtant critique pour évaluer la prise de risque dans la vie réelle. Il faut ajouter à cela le fait que la prise en compte de différences méthodologiques est d'autant plus importante dès lors que l'on sait depuis les travaux menés par Tversky & Kahneman (1981) que la façon dont les informations sont présentées affecte le choix du sujet (cf. par exemple l'*effet du cadre* que nous avons exposé dans notre chapitre précédent). Pour rappel, lorsqu'un adulte se trouve face à un choix sûr (i.e., une probabilité égale à 1) et un choix risqué (i.e., une probabilité entre 0 et 1) dont la valeur espérée est identique, celui-ci prendra plus souvent le choix risqué quand l'option sûre est formulée en termes de pertes plutôt qu'en termes de gains. Il est intéressant de constater l'existence de ce biais dès 6 ans : les enfants se montrant plus enclins à prendre des risques pour éviter de perdre que pour tenter de gagner (Schlottmann & Tring, 2005; mais voir Reyna & Ellis, 1994). Etant donnée l'origine émotionnelle de ce biais décisionnel (De Martino et al., 2006) et son émergence précoce au cours du développement, il semble alors essentiel de s'interroger sur l'influence des processus émotionnels dans la prise de décision tout au long du développement. Dans la suite de ce manuscrit, nous verrons comment

l'étude de ces processus émotionnels à l'aide des techniques de neuroimagerie donnera naissance à de nouveaux modèles neurocognitifs de la prise de décision.

II. L'apport de la neuroimagerie et la naissance de nouveaux modèles développementaux :

Compte tenu de l'essor continu des techniques de neuroimagerie anatomique et fonctionnelle ces dernières années, des efforts croissants sont mis en œuvre en vue d'une intégration des données issues des travaux portant sur le développement cognitif d'une part et sur le développement cérébral d'autre part. De ce point de vue, l'ensemble des variables classiquement utilisées dans le domaine des neurosciences, de type densité de la substance grise, densité de la substance blanche de même que la connectivité des régions cérébrales impliquées se révèlent tout particulièrement précieuses dans le cadre de la perspective développementale. L'un des exemples emblématiques est celui de la prise en compte des données sur la maturation tardive du cortex préfrontal qui a permis de mieux rendre compte du développement relativement lent et non linéaire des capacités exécutives (Gogtay et al., 2004). De même, les travaux de recherche sur la prise de décision ont également bénéficié de cette interdisciplinarité. La prise de décision étant une aptitude complexe, de nombreuses études de neuroimagerie s'intéressent aux processus qui lui sont essentiels tels que : la sensibilité aux récompenses, la capacité de s'ajuster à un feedback, ou encore plus spécifiquement les interactions entre réactivité émotionnelle et contrôle exécutif. Sans en faire une revue exhaustive, nous verrons comment l'étude de ces processus à l'aide des méthodes de neuroimagerie va engendrer de nouveaux modèles développementaux neurocognitifs de la prise de décision.

1. De la sensibilité aux récompenses à la prise de risque

Le développement de la sensibilité aux récompenses est une question fondamentale pour comprendre le développement normal et pathologique de la prise de décision. En effet, le degré de sensibilité aux récompenses a un effet direct sur la capacité à prendre des décisions avantageuses (Reuter et al., 2005). Au cours du développement les activations neurales liées aux récompenses se modifient ce qui pourrait expliquer en partie le développement progressif des capacités décisionnelles (Ernst et al., 2004,

2005 ; Galvan et al., 2006). Afin d'analyser cette sensibilité aux récompenses chez des participants âgés de 7 à 26 ans, Galvan et ses collègues (2006) mettent au point une tâche de choix faisant intervenir trois types de récompenses (i.e., petite, moyenne et grande, voir Figure 24, A). Avant de choisir parmi deux options symbolisées par des coffres (cf. Figure 24, B), un pirate vient amorcer la localisation de la récompense (i.e., coffre de droite ou coffre de gauche) ainsi que le type de récompense (i.e., à chaque récompense est associée un pirate).

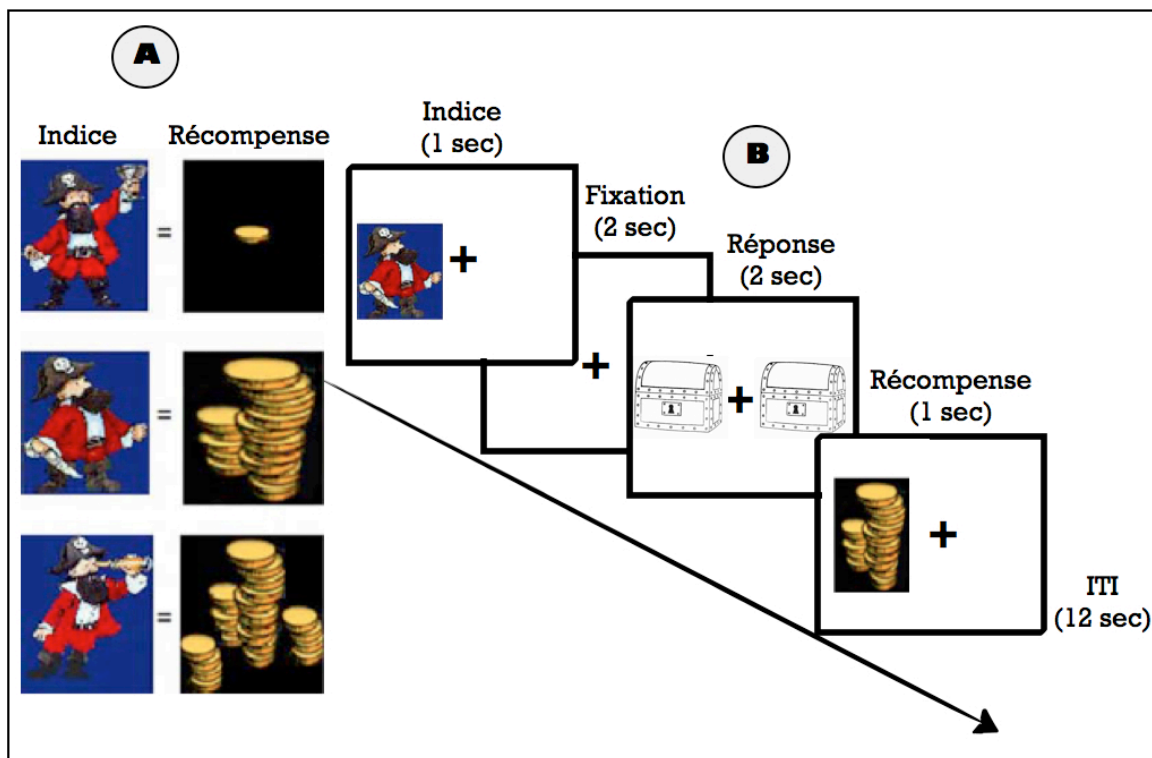


Figure 24 : Présentation du protocole utilisé dans l'étude de (Galvan et al., 2006) A. Différents indices (i.e., des pirates) sont associés avec des récompenses plus ou moins grandes. B) Le participant voit d'abord un indice à droite ou à gauche d'une croix de fixation, avant d'avoir pour consigne de choisir le coffre (parmi deux) qui correspond à l'emplacement précédemment amorcé par l'indice. Il reçoit alors la récompense associée à l'indice du début de l'essai. L'intervalle inter-stimuli est de 12 secondes.

Si l'analyse de l'activité cérébrale révèle un réseau commun sensible aux récompenses tout au long du développement (Ernst et al., 2004, 2005), des différences s'observent quant au degré d'activation et quant à l'étendue de l'activation. Ainsi, le degré d'activation du Noyau accumbens se caractérise par un pic d'activation à l'adolescence alors que l'étendue de cette activation manifeste une diminution linéaire de l'enfance à l'âge adulte. A l'inverse le degré d'activation du cortex orbito-frontal décroît au cours du développement de façon linéaire, avec une

activation tout aussi diffuse chez les enfants et chez les adolescents. Les auteurs en déduisent, d'une part, l'existence d'une forte sensibilité aux récompenses chez les adolescents en lien avec une maturité précoce du Noyau Accumbens et, d'autre part, une maturation lente des régions de régulation préfrontales. Notons cependant que dans cette étude, les participants n'ont pas de réelles décisions à prendre, au sens où la tâche ne nécessite pas une pondération préalable des enjeux et de leurs probabilités mais une simple sélection sur la base d'un amorçage. On peut donc s'interroger sur les réseaux et le pattern d'activation propres aux véritables situations de prise de décision.

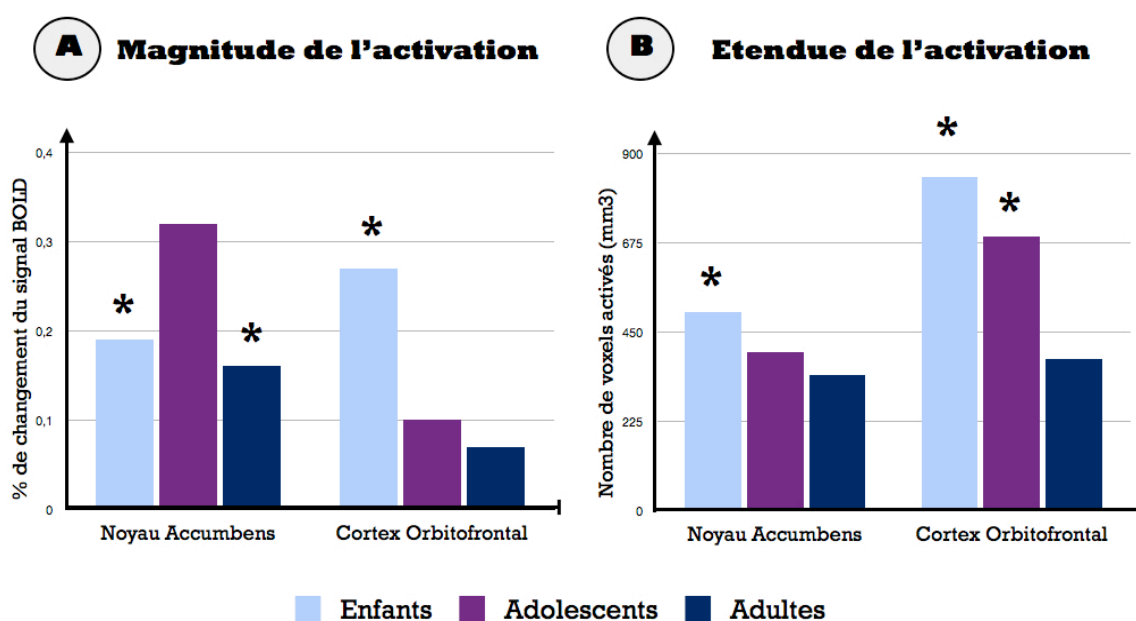


Figure 25 : Illustrations de la magnitude (A) et de l'étendue (B) des activations cérébrales du Noyau Accumbens et du Cortex Orbitofrontal en réponse aux différents gains observés dans l'étude de Galvan et al. (2006). Les astérisques dénotent une plus forte activité du Noyau Accumbens chez les adolescents, ainsi qu'une plus forte activation du Cortex Orbitofrontal chez les enfants. De plus, le volume activé du Noyau Accumbens est plus fort chez les enfants, et celui du cortex orbitofrontal décroît linéairement au cours de l'âge.

Précédemment nous avons évoqué l'exemple de la Cake Gambling Task, tâche de prise de risque manipulant des probabilités et des sommes variables sous la forme de gâteaux aux différents parfums de fraise et chocolat (Van Leijenhorst et al., 2008). Récemment cette même équipe a réitéré l'expérience en IRMf chez des participants âgés de 8 à 26 ans (Van Leijenhorst et al., 2010). Cette fois, les auteurs manipulent le risque en opposant des choix à haut risque, caractérisés par une probabilité de .33, à des choix à faible risque, caractérisés par une probabilité de .66 (voir Figure 26, A). Les choix à faible risque sont systématiquement associés à un gain de 1 euro alors que

les choix à haut risque sont associés à un gain de 2, 4,6 ou 8 euros. Il est à noter que le participant remporte ou non la somme associée au parfum choisi en fonction du tirage au sort, mais ne perd pas d'argent si l'autre parfum est tiré contrairement à la version utilisée en 2008. Ainsi, la prise de risque est systématiquement avantageuse excepté quand le choix à haut risque est associé à un gain de 2 euros et pour lequel la valeur espérée est identique au choix à faible risque.

Au niveau comportemental, la prise de risque ne diffère pas selon l'âge ce qui est cohérent avec les résultats d'études précédentes (voir Figure 26, C).

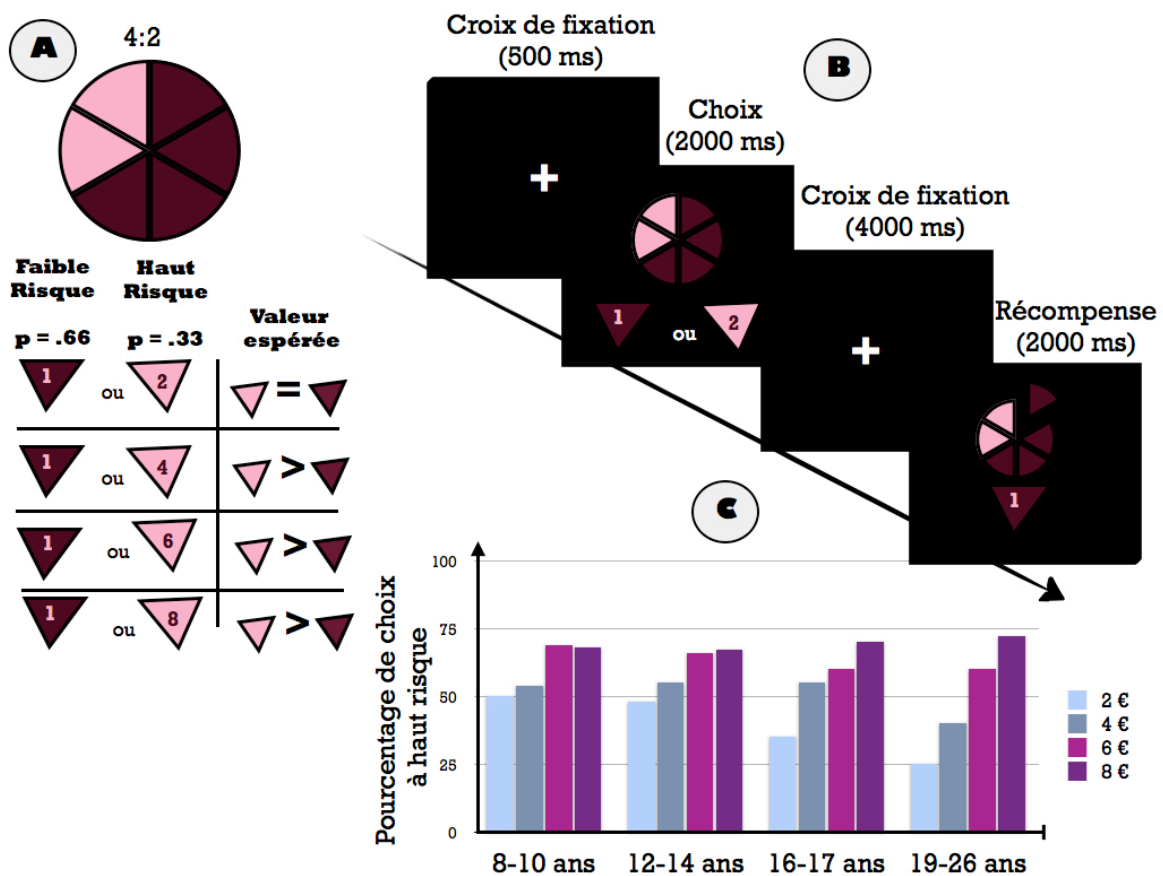


Figure 26 : Illustration du protocole utilisé par Van Leijenhorst et al.(2010). A) Les participants doivent choisir entre un choix à faible risque (i.e., $p=.66$) et un choix à haut risque (i.e., $p=.33$). Les choix à faible risque sont toujours caractérisés par un gain de 1 euro alors que les choix à haut risque peuvent offrir 2, 4, 6 ou 8 euros. B) Présentation du déroulement temporel d'un essai où le participant choisit le parfum à faible risque chocolat et remporte 1 euro. C) Illustrations du pourcentage de choix à haut risque réalisés en fonction des gains associés par les participants de 8 à 26 ans. L'unique différence développementale réside dans une plus forte prise de risque chez les enfants de 8 à 12 ans lorsque le gain associé est de 2 euros (i.e., et où la valeur espérée est identique au choix à faible risque).

Néanmoins, quand les choix sont équivalents en termes de valeur espérée, les enfants de 8 à 12 ans choisissent de prendre plus de risques. Quel que soit l'âge, les choix risqués entraînent une activation du cortex orbitofrontal médian et du striatum

ventral alors que les choix sûrs reposent sur l'activation du CPFDL. De plus, et en accord avec d'autres études (e.g., Eshel, Nelson, Blair, Pine, & Ernst, 2007), le poids relatif des activations cérébrales dans le réseau frontal et le réseau méso-limbique semble être fonction du niveau de risque engagé lors d'une décision. En outre, le degré d'activation des réseaux de contrôle et de la récompense varie au cours du développement. Alors que le niveau d'activation du cortex cingulaire antérieur diminue linéairement avec l'âge des participants, le niveau d'activation du striatum ventral et du CPFVM observe une courbe en U inversé avec un pic d'activation à l'adolescence. Il semble donc que le réseau du contrôle cognitif et le réseau de réactivité émotionnelle possèdent des rythmes de maturation distincts. En complément des données comportementales, ces données de neuroimageries conduisent donc à envisager une maturation distincte du réseau de contrôle cognitif d'une part et d'autre part du réseau de réactivité émotionnelle, précisant ainsi le développement des mécanismes neurocognitifs qui sous-tendent les prises de décision des sujets.

2. Le contexte socio-émotionnel : un facteur clé de la prise de risque à l'adolescence

Parallèlement à l'étude de la maturation respective du réseau du contrôle cognitif et du réseau de réactivité émotionnelle, l'étude de l'influence du contexte socio-émotionnel sur la prise de décision permet de mieux rendre compte des données parfois contradictoires obtenues à l'adolescence (e.g., Paulsen et al., 2012). Du fait de l'importance croissante des relations interpersonnelles à l'adolescence, la présence de pairs a une influence critique sur la prise de risque. Afin de mesurer l'impact de l'influence des pairs, de nouveaux paradigmes, plus proches de la vie réelle, ont été élaborés : par exemple un jeu de conduite automobile informatisé (Gardner & Steinberg, 2005). Dans celui-ci les participants ont pour objectif de parcourir, aussi vite que possible, une route parsemée de 20 intersections. A chaque intersection, le participant choisit de s'arrêter au feu orange (arrêt de 3 secondes) ou de prendre le risque de traverser l'intersection (pas d'arrêt ou arrêt de 6 secondes si un accident survient, voir Figure 27, A). Si cette tâche est utilisée pour mesurer la propension au risque des participants, elle reflète aussi le continuum qui existe dans les situations de décision sous incertitude dans la mesure où elle se situe à l'interface entre risque et ambiguïté. Effectivement, dans cette tâche les individus ont

connaissance des conséquences associées aux deux options « s'arrêter au feu orange » et « traverser au feu orange » (i.e., respectivement un arrêt de 3 secondes et un arrêt de 0 ou 6 secondes de délai) mais n'ont aucune idée des probabilités qui accompagnent les conséquences du choix risqué « traverser au feu orange » (alors que la probabilité de la seconde option « s'arrêter au feu orange » est connue). Alors que les adolescents observent une prise de risque équivalente aux adultes lorsqu'ils réalisent seuls ce jeu, la présence de pairs augmente leur prise de risque contrairement aux adultes (voir Figure 27, B).

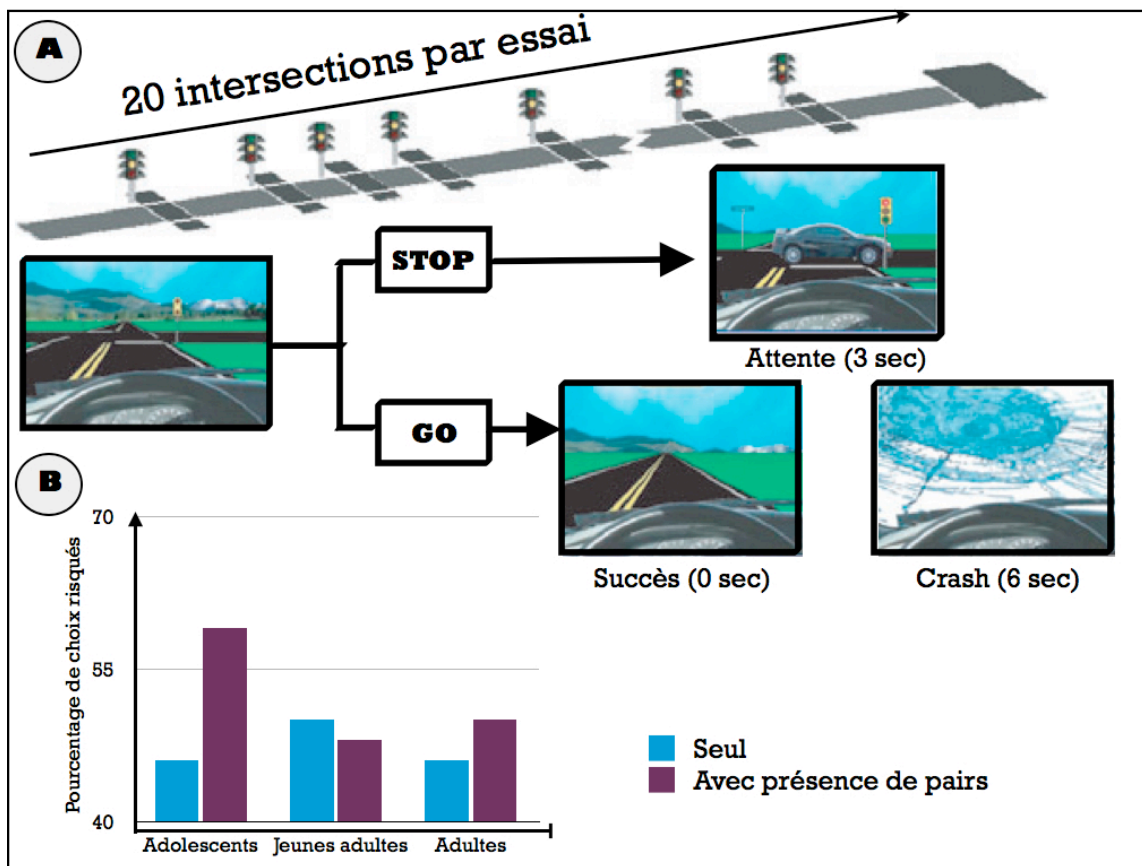


Figure 27 : A) Illustration originale du jeu de conduite automobile créé par Chein et al. (2011). Les participants doivent parcourir un trajet le plus vite possible. A chacune des 20 intersections le participant choisit de s'arrêter ou non au feu entraînant soit un gain ou une perte de temps (i.e., 0, 3, 6 secondes). B) Le pourcentage de prise de risque des adolescents (i.e., 14-18 ans) est équivalent à celui des adultes (i.e., 19-22 ans et 24-29 ans) lorsque les participants jouent seuls. En présence des pairs les adolescents voient leur prise de risque significativement augmenter.

Les données de neuroimagerie (IRMf) révèlent une augmentation de l'activation des régions émotionnelles (i.e., striatum ventral et cortex orbitofrontal) lorsque les pairs sont présents, et ce uniquement chez les adolescents, suggérant une hypersensibilité émotionnelle à cet âge (Chein, Albert, O'Brien, Uckert, & Steinberg, 2011, voir Figure 28). De plus, les auteurs observent une augmentation linéaire de

l'activation des régions de contrôle exécutif (i.e., cortex préfrontal latéral) avec l'âge indépendamment du contexte (i.e., passation en présence de pairs vs. individuel). Cette augmentation suggérerait la maturation progressive des processus de contrôle exécutif. L'effet observé de l'influence des pairs étaye à double titre l'importance des processus émotionnels dans la prise de décision en démontrant non seulement l'influence d'un contexte socio-émotionnel fort sur la prise de risque ainsi que son ancrage neuronal au sein d'un réseau émotionnel.

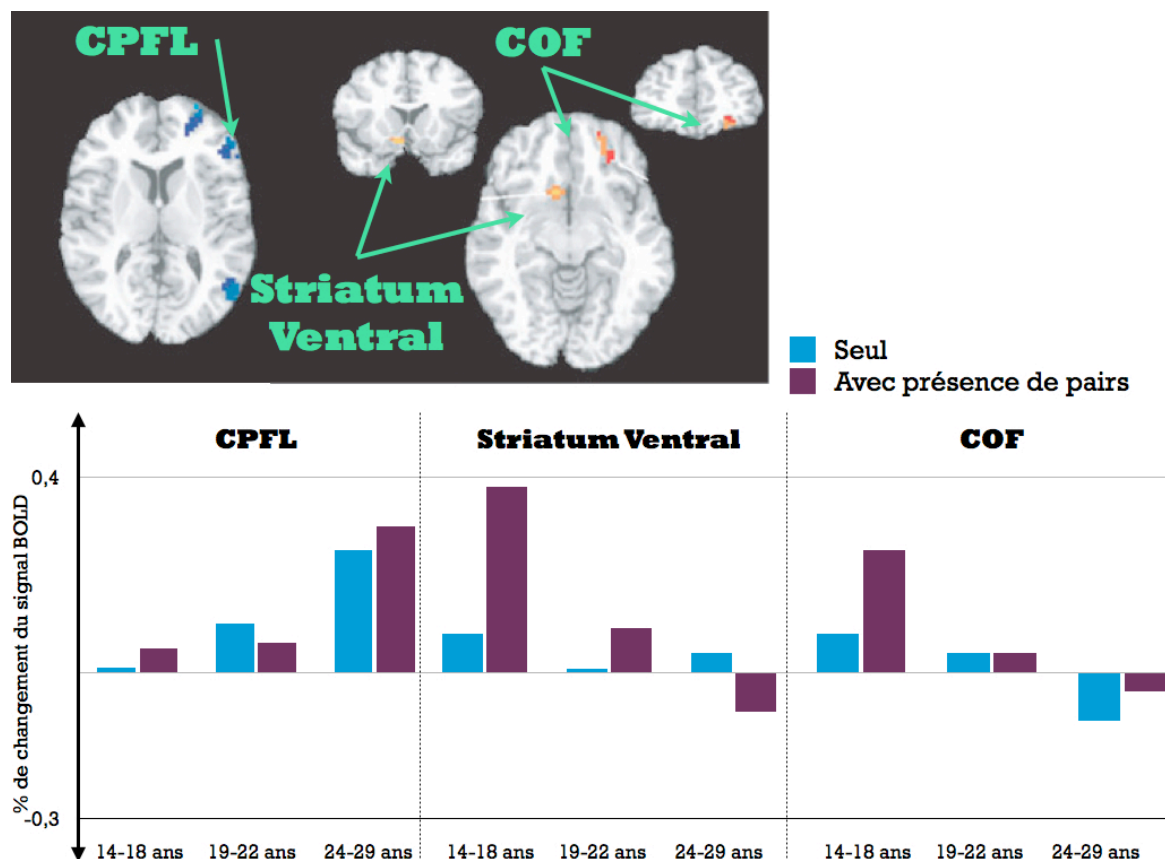


Figure 28 : Illustration des activations cérébrales issues de l'étude de Chein et al. (2011). L'analyse des activations illustre une augmentation linéaire avec l'âge au sein du Cortex Préfrontal Latéral (CPFL). De plus, il existe une interaction entre l'âge et la condition (i.e. seul ou en présence de pairs) au sein des activations du striatum ventral et du Cortex Orbito-Frontal (COF) de telle sorte que les adolescents (14-18 ans) montrent une hyperréactivité en présence de pairs et comparativement aux adultes (18-22 ans et 24-29 ans).

3. De nouveaux modèles neurocognitifs de la prise de décision :

L'engouement actuel pour ces aspects émotionnels et neurocognitifs va donner naissance à des modèles neurocognitifs de la décision (Casey, Jones, & Somerville, 2011; Somerville, Jones, & Casey, 2010; Steinberg, 2010). Ces modèles se fondent sur une conception complexe de la prise de décision qui repose à la fois sur des aspects

froids de contrôle exécutif et de régulation mais aussi sur des aspects plus chauds et émotionnels. Or, l'ensemble des données précédemment exposées suggère l'existence d'un décalage maturationnel entre les réseaux neuronaux impliqués dans le contrôle exécutif d'une part et ceux impliqués dans les émotions d'autre part (Chein et al., 2011; Van Leijenhorst et al., 2010).

Afin de déterminer si ces deux réseaux mûrent à différents rythmes, le développement de ces deux réseaux est étudié en utilisant un Go-NoGo émotionnel. Le Go-NoGo est classiquement utilisé pour évaluer l'efficacité inhibitrice et repose sur la mesure de la capacité d'un sujet à refreiner un geste moteur lors de la présentation d'un stimulus peu fréquent après avoir été répété à plusieurs reprises en réponse à un stimulus fréquent. Cette fonction exécutive froide se développe de façon linéaire et en lien avec la maturation d'un réseau fronto-striatal (Bunge, Dudukovic, Thomason, Vaidya, & Gabrieli, 2002; Durston et al., 2002; Liston et al., 2006). L'objectif de ces études est de tester ces capacités de contrôle lorsque le matériel utilisé est de nature émotionnelle.

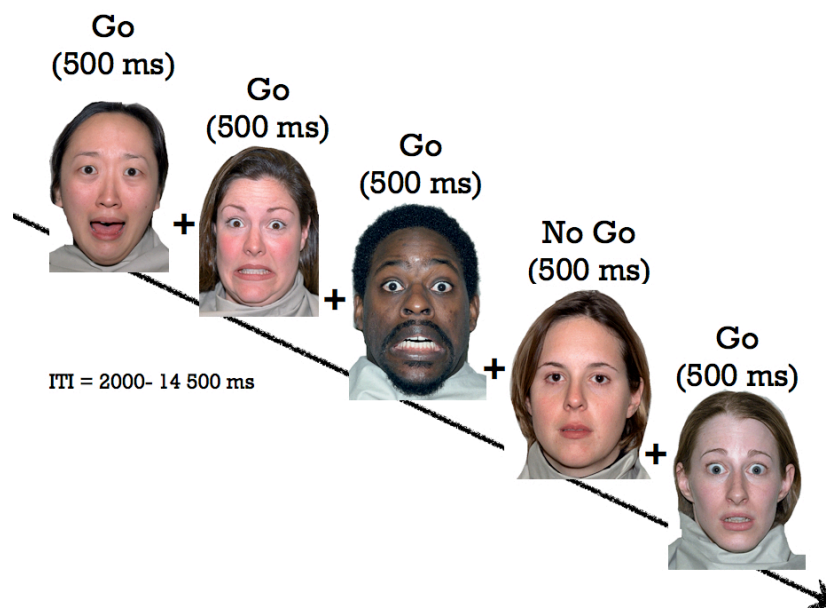


Figure 29 : Illustration du Go-NoGo émotionnel créé par Hare et al. (2008). Exemple d'essai où les stimuli Go sont des visages de peur alors que les stimuli NoGo sont des visages calmes.

Ainsi, dans ce Go-NoGo émotionnel (voir Figure 29) exprimant des émotions de joie, de peur et de calme issus des NimStim (Tottenham et al., 2009) sont couplés deux à deux pour constituer tantôt un stimulus Go (i.e., stimulus fréquent nécessitant une réponse motrice) tantôt un stimulus NoGo (i.e., stimulus peu fréquent nécessitant une inhibition de la réponse motrice)(Hare et al., 2008). Ainsi, six séries d'essais sont proposées aux participants qui ont pour consigne d'effectuer un geste moteur en réponse à un type d'émotion et de ne pas effectuer ce geste moteur en réponse à un autre type d'émotion. Par exemple, dans une de ces six séries d'essais les participants doivent appuyer sur un bouton en réponse aux visages de peur (i.e., stimuli Go) alors qu'ils ne doivent pas appuyer sur ce bouton en réponse aux visages calmes (i.e., stimuli NoGo, voir Figure 29).

Dans une première étude réalisée auprès de 80 participants âgés de 7 à 32 ans, les auteurs s'intéressent à la réactivité émotionnelle et observent notamment une hyperactivité amygdalienne à l'adolescence en réponse à ces stimuli émotionnels, indépendamment du type d'émotion (voir Figure 30)(Hare et al., 2008). De surcroît, la connectivité fronto-amygdalienne permettrait de réguler cette réactivité émotionnelle comme l'atteste la corrélation entre cette connectivité fronto-amygdalienne et l'habituation de l'amygdale aux stimuli émotionnels.

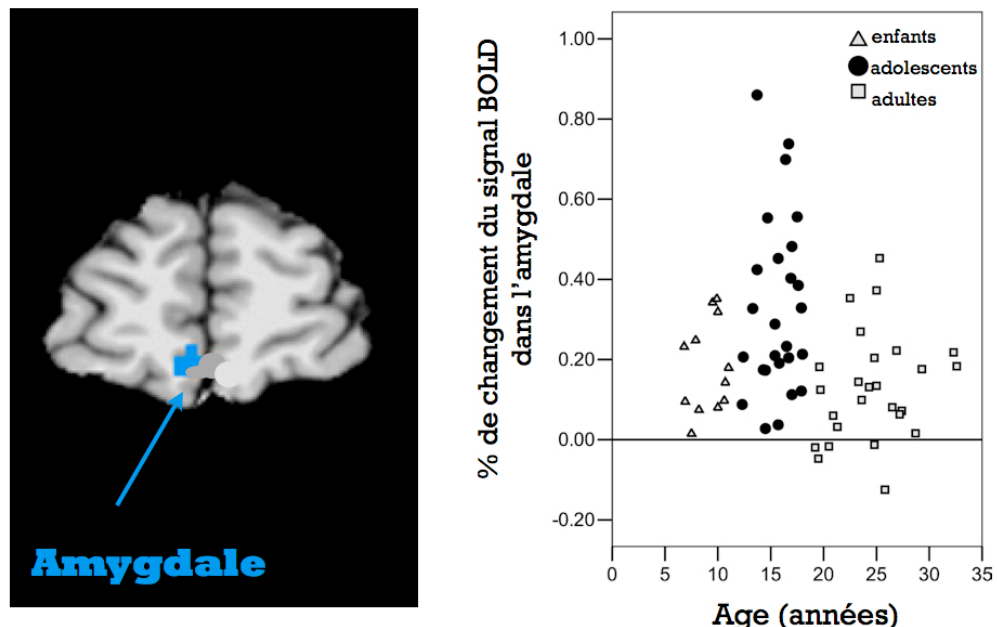


Figure 30 : Illustration tirée de Hare et al. (2008). Pourcentage de changement du signal bold dans l'amygdale pour les stimuli émotionnels (i.e., Go et NoGo). Les triangles représentent les enfants, les cercles les adolescents et les carrés les adultes. On note une hyperactivité de l'amygdale chez les adolescents.

Dans une seconde étude (Somerville, Hare, & Casey, 2011), les auteurs s'intéressent aux capacités de contrôle lorsque les participants sont face à des stimuli appétitifs. Pour cela, l'analyse est restreinte aux essais Go et NoGo dans lesquels des visages de joie ou des visages calmes sont présentés. La performance des adolescents se caractérise par un nombre élevé de fausses alarmes (i.e., un appui sur un essai NoGo) lorsque les visages de joie sont présentés sur les essais NoGo. En d'autres termes, l'adolescence est caractérisée par une difficulté à mettre en place un contrôle inhibiteur lorsque le matériel est émotionnel et appétitif. Enfin, l'activité cérébrale confirme la sensibilité accrue des adolescents pour les stimuli appétitifs : l'activité au niveau du striatum ventral en réponse aux stimuli de joie est plus forte pour les adolescents que chez les adultes et chez les enfants (voir Figure 31).

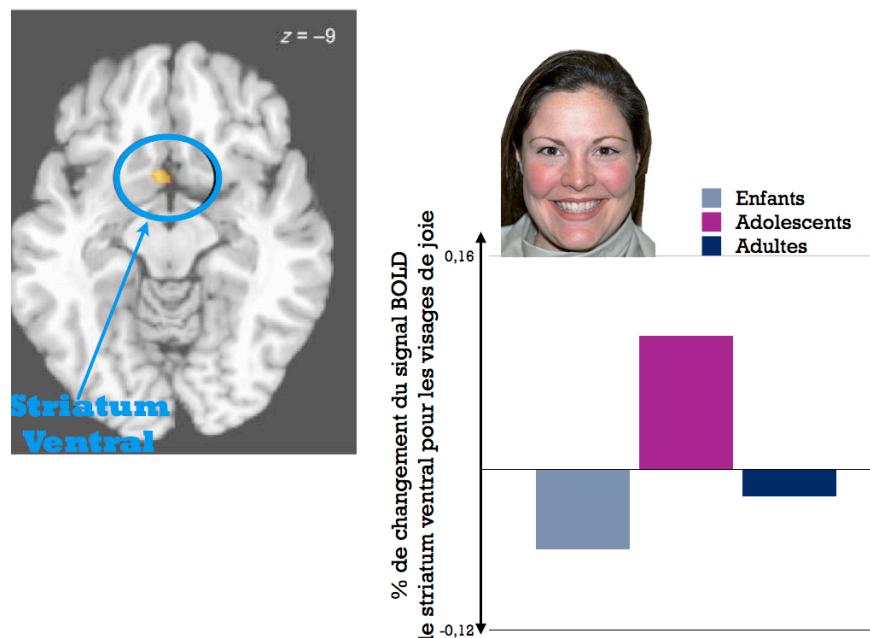


Figure 31 : Illustration de l'activation significative du striatum ventral en fonction de l'âge à $p < .05$ et analyse du pourcentage de changement du signal Bold en réponse aux visages de joie (i.e., stimuli Go et no Go). Les adolescents observent une hyperréactivité du striatum ventral en réponse aux stimuli appétitifs de joie (Somerville et al., 2011).

Bien que cette étude n'offre pas d'analyse du contrôle inhibiteur sur les stimuli aversifs de peur, il semble que le contrôle inhibiteur soit similairement affecté par les émotions de joie, de peur et de colère (Tottenham, Hare, & Casey, 2011). Notons toutefois que certains travaux démontrent à l'inverse un développement linéaire de ces capacités (Schel & Crone, 2013). L'ensemble de ces données s'insèrent au sein de modèles dit « dualiste » ou du « déséquilibre » qui oppose une maturation précoce des régions sous-corticales à une maturation tardive des régions préfrontales pour

expliquer le développement des capacités de prise de décision, et plus particulièrement pour expliquer la propension au risque des adolescents dans la vie réelle (Casey et al., 2011; Somerville et al., 2010; Steinberg, 2010). Selon ce modèle, la maturation précoce du réseau sous-cortical émotionnel serait à l'origine de la forte réactivité émotionnelle à l'adolescence qui augmenterait la sensibilité au contexte émotionnel (Blakemore, 2008; Steinberg, 2008). La maturation tardive et linéaire du cortex préfrontal expliquerait quant à elle le manque de contrôle top down indispensable à la régulation de ces aspects émotionnels.

En conclusion, ces travaux en neurosciences mettent en exergue l'intérêt d'étudier les interactions entre processus cognitifs et émotionnels au cours du développement afin de mieux comprendre l'évolution de ces capacités décisionnelles avec l'âge. Toutefois, il semble qu'il faille dépasser ces modèles neurocognitifs qui opposent inéluctablement une émotion « distractrice » à une cognition « régulatrice », rappelant ainsi l'opposition classique entre cognition et émotion (e.g., Pfeifer & Allen, 2012, voir aussi Chapitre 2). En outre, ces modèles se focalisent sur l'impact du traitement des émotions positives, tel que le plaisir associé à un gain, e.g., Somerville et al., 2011) en négligeant l'impact du traitement des émotions négatives, tel que le déplaisir associé à une perte. On sait pourtant, depuis les travaux de Tversky & Kahneman (1979), que les pertes sont traitées différemment des gains et qu'elles influencent fortement la prise de décision. Et de fait, des travaux récents en neuroimagerie suggèrent une influence notable du traitement des pertes sur les capacités décisionnelles (Barkley-Levenson, Van Leijenhorst, & Galván, 2013; Zottoli & Grose-Fifer, 2012). A travers les situations de prise de décision sous ambiguïté, nous verrons dans la suite de ce manuscrit que le traitement des pertes est déterminant pour comprendre la mise en place d'une prise de décision optimale au cours du développement.

III. Le développement des capacités de prise de décision sous ambiguïté

Au début de ce chapitre, notre revue de littérature sur la prise de décision à risque a révélé une hétérogénéité des situations dans lesquelles cette prise de décision

est étudiée. Du fait du continuum entre les situations de risque et d'ambiguïté les situations de prise de décision sous ambiguïté sont elles aussi hétérogènes, pouvant aller de l'ambiguïté partielle (i.e., manque d'information sur les conséquences ou les probabilités) à l'ambiguïté totale (i.e., manque d'information sur les conséquences et les probabilités). Nous commencerons par présenter les principaux résultats quant au développement des capacités de prise de décision sous ambiguïté, ce qui nous permettra d'aborder les similarités et les différences entre le développement des compétences décisionnelles sous ambiguïté et à risque. Enfin, nous montrerons que les difficultés des enfants et des adolescents à opérer des choix dans des situations d'ambiguïté peuvent en partie expliquer le déficit décisionnel observé dans leur vie quotidienne (i.e., pic de risque observé à l'adolescence).

1. La prise de décision sous ambiguïté au cours du développement

a. Lésions pré-frontales précoces

Alors que l'Hypothèse des Marqueurs Somatiques est née de l'étude de patients fronto-lésés, de telles lésions neurologiques sont beaucoup plus rares chez l'enfant. A notre connaissance, seule une étude s'est penchée sur le cas de deux jeunes adultes fronto-lésés à un âge précoce, l'un ayant souffert d'un traumatisme crânien à 15 mois, l'autre ayant subi une exérèse chirurgicale à 3 mois (Anderson, Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 1999; Anderson, Damasio, Tranel, & Damasio, 2000). Examinés tous deux à l'âge adulte, leurs parcours de vie sont parsemés de difficultés scolaires, de problèmes avec l'autorité parentale et la justice, accompagné d'une forte propension au mensonge, de l'absence de culpabilité et plus généralement de l'absence de perspectives d'avenir. En dépit d'une efficacité intellectuelle générale dans les normes, ces patients font eux aussi preuves de difficultés sévères dans l'IGT. De plus, ils ne montrent aucune RED anticipatrice caractéristique de la réussite à l'IGT, alors qu'ils sont par ailleurs tout à fait sensibles à des inducteurs primaires tel qu'un bruit intense (voir Figure 32). En accord avec l'HMS, il semble que ces patients soient dans l'incapacité de récupérer les marqueurs somatiques primaires. Cependant leur profil n'est pas tout à fait similaire aux patients fronto-lésés à l'âge adulte, puisqu'ils font preuve de sévères difficultés sur des épreuves de jugement moral tout comme sur des épreuves qui nécessitent un ajustement aux feedbacks (e.g., le

Wisconsin Card Sorting Test mesurant les capacités exécutives de flexibilité et d'inhibition).

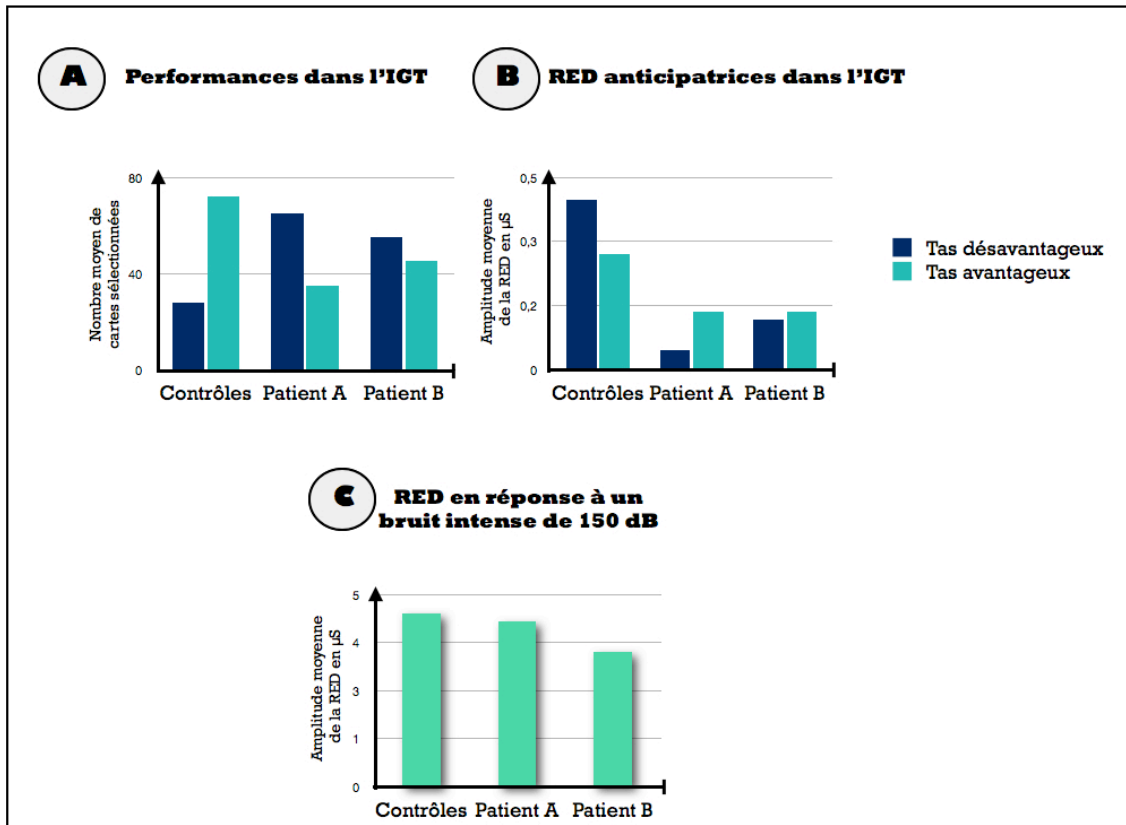


Figure 32 : Résultats d'après l'étude d'Anderson et al., (1999). A) Nombre moyen de cartes sélectionnées dans les tas avantageux et désavantageux pour 7 participants contrôles, ainsi que les 2 patients (jeunes adultes) ayant subi une lésion frontale respectivement à 3 et 15 mois. Seuls les participants contrôles choisissent préférentiellement dans les tas avantageux. B) RED anticipatrices en fonction du caractère avantageux ou désavantageux des tas. Une fois de plus, seuls les participants contrôles montrent un pic de conductance cutanée avant de piocher dans les tas désavantageux. C) Profil de réactivité primaire mesuré par la RED en réponse à un bruit intense de 150 dB montrant que les participants ayant subi une lésion pré-frontale dans l'enfance présentent une RED similaire à celle des participants contrôles.

Bien que ces résultats soient difficilement généralisables compte tenu de l'échantillon très limité, ils révèlent des différences qualitatives sur les capacités de prise de décision sous ambiguïté entre les patients dont la lésion du cortex préfrontal survient au cours des premiers mois de la vie et ceux dont la lésion survient à l'âge adulte. Les données ci-dessus étayent en effet de nouveau l'HMS en indiquant une atteinte plus sévère du jugement social et de la prise de décision lorsque la lésion survient de manière plus précoce. Tout laisse à penser, qu'une lésion précoce des régions neurales pré-frontales provoque une incapacité à apprendre sur une base émotionnelle, conduisant à des prises de décision désavantageuses et à un comportement social inadapté. Dans la suite de ce manuscrit, nous présenterons les

études qui tentent de mieux rendre compte du développement des capacités décisionnelles de l'enfant sain.

2. Le développement normal des capacités de prise de décision

a. Les enfants d'âge pré-scolaire

L'Hypothèse des Marqueurs Somatiques a nettement influencé l'étude du développement cognitif, notamment en ce qui concerne le rôle accordé aux émotions dans la prise de décision. Par exemple, Kerr & Zelazo (2004) vont s'intéresser au développement de ce qu'ils nomment les *fonctions exécutives chaudes* en opposition aux *fonctions exécutives froides*. Alors que les dernières renvoient à la définition classique des fonctions exécutives qui regroupe l'inhibition, la mémoire de travail et à la flexibilité mentale (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000) ; le concept de fonctions exécutives chaudes fait lui référence à des processus émotionnels exécutifs. Ces auteurs développent alors la première adaptation de l'IGT pour les enfants d'âges pré-scolaire : *La Children's Gambling Task* (Kerr & Zelazo, 2004). Ce jeu simplifié ne contient plus que 2 tas dans lesquels l'enfant doit piocher des cartes afin de remporter le plus de M&M's possibles. De façon similaire à l'IGT classique, le tas désavantageux offre de larges quantités de M&M's mais inflige de plus grosses pertes de M&M's. A l'inverse le tas avantageux offre de petites quantités de M&M's mais ne fait perdre que peu de M&M's. Il est à noter que la fréquence de perte pour les deux tas est de 50%⁴⁶ contrairement à l'IGT classique qui manipule deux types de fréquence de pertes (i.e., 10% et 50%). Chaque fois que l'enfant pioche et retourne une carte, il se trouve dans un premier temps face aux feedbacks de gains illustrés par des smileys heureux sur la partie supérieure de la carte. Dans un second temps, l'expérimentateur retire un post-it qui cache les feedbacks de pertes illustrés par des smileys tristes sur la partie inférieure de la carte. L'enfant est informé qu'un smiley heureux équivaut à 1 bonbon gagné et qu'un smiley triste équivaut à 1 bonbon perdu (voir Figure 33, A). Afin de faciliter la prise de conscience des gains ou des pertes accumulées chez les enfants, les M&M's sont progressivement déposés ou retirés d'un

⁴⁶ Précisément seul le tas avantageux présente 50 % de pertes nettes alors que le tas désavantageux inflige certes 50% de pertes, mais qui sont systématiquement égales aux gains remportés. Le tas avantageux offre un gain constant de 1 M&M's et soustrait 1 M&M's 5 fois toutes les 10 cartes, tandis que le tas désavantageux offre un gain constant de 2 M&M's et retire 4, 5 ou 6 M&M's toutes les 10 cartes.

tube à essai transparent, positionné entre les deux tas de cartes. Enfin pour s'assurer de la motivation des enfants un M&M's leur était donné avant le début de la tâche.

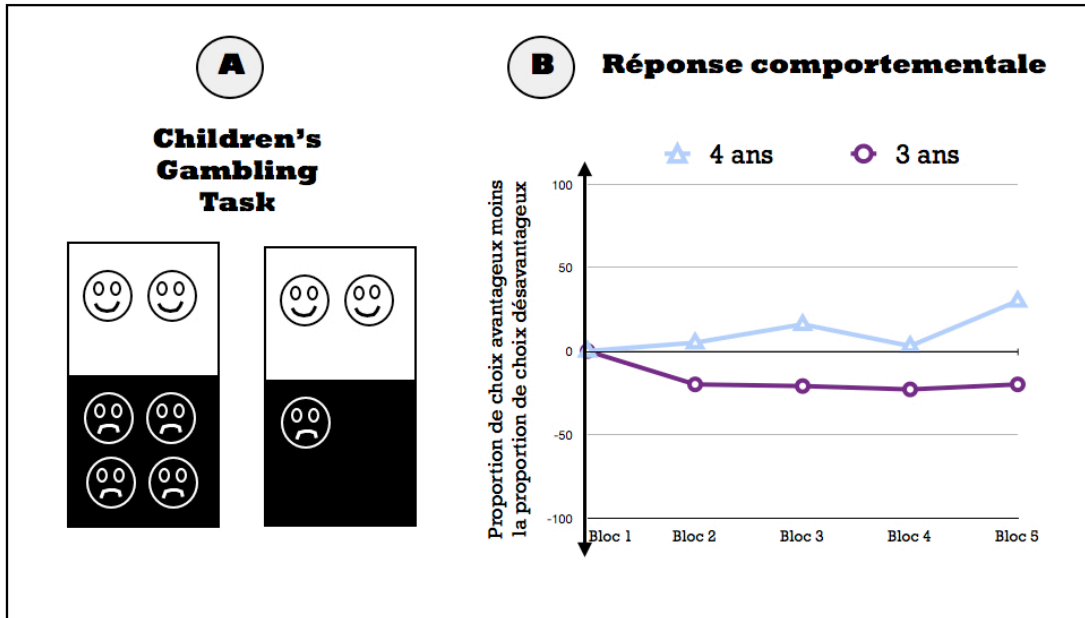


Figure 33 : Illustration d'après les travaux de Kerr et Zelazo (2004). A) Exemple de feedbacks utilisés dans *la Children's Gambling Task*. Chaque smileys heureux équivaut au gain d'un M&M's tandis que les smileys tristes représentent la perte d'un M&M's. A) A gauche la carte est issue du tas désavantageux alors qu'à droite il s'agit d'un exemple de carte issue d'un tas avantageux. B) Présentation des résultats en termes de proportion de choix avantageux moins la proportion de choix désavantageux par bloc de 10 cartes. Les enfants de 4 ans montrent une amélioration de leurs performances, se désengageant progressivement du tas désavantageux, à l'inverse des enfants de 3 ans qui montrent une préférence pour le tas désavantageux tout au long des 50 essais.

L'analyse du choix des enfants révèle une amélioration des performances entre 3 et 4 ans : (1) Les enfants de 4 ans choisissent de manière plus avantageuse que les enfants de 3 ans sur les 30 derniers essais et (2) les enfants de 4 ans choisissent de façon avantageuse sur ces derniers essais alors que les enfants de 3 ans persistent à choisir de manière désavantageuse (voir Figure 33, B). Bien qu'il soit ici conclut à un développement précoce des fonctions exécutives chaudes, il est important de noter que la *Children's Gambling Task* est une tâche nettement simplifiée qui comporte par ailleurs un facteur confondu entre la fréquence des pertes et le caractère avantageux des tas. Effectivement, seul le tas désavantageux présente des pertes nettes (i.e., un feedback qui résulte en un retrait de M&M's). En d'autres termes, cette tâche ne permet pas de savoir si les enfants de 4 ans choisissent réellement de façon avantageuse où s'ils sont guidés par la fréquence des pertes. Ainsi, nous verrons dans la suite de ce manuscrit que le développement des capacités décisionnelles sous

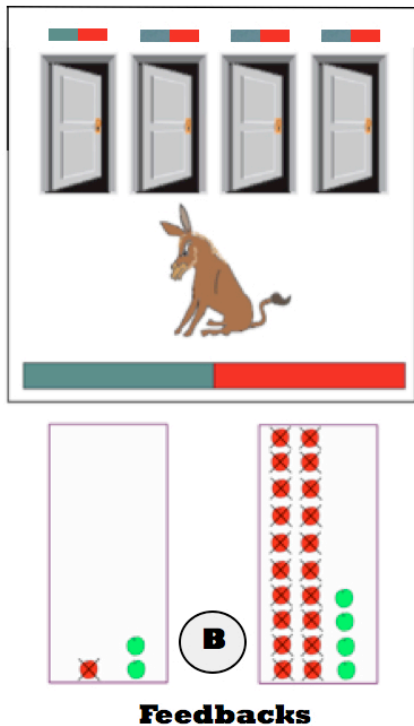
ambiguïté perdue jusqu'à l'âge adulte et que la fréquence des pertes a un rôle déterminant dans la compréhension de ce développement.

b. De l'enfance à l'âge adulte

Dans *La Hungry Donkey Task* (HDT), une autre adaptation de l'IGT qui prend la forme d'un jeu pro-social informatisé, l'enfant a pour objectif d'ouvrir des portes afin de nourrir un âne affamé avec des pommes (Crone & Van der Molen, 2004). Le paradigme est analogue à l'IGT mis à part que les sommes engagées (qui concernent des pommes voir Figure 34, B) sont réduites et que le nombre d'essai est doublé (i.e., 200 essais). Cette étude est particulièrement riche puisque les participants de 6 à 25 ans effectuent les deux versions classique et inversée de l'IGT (i.e., ABCD et EFGH mises au point par Bechara et al., 2000) et leurs connaissances conceptuelles sont mesurées au cours de la tâche (voir Chapitre 2, Bechara et al., 1997). Les auteurs ne se limitent pas à étudier les processus émotionnels engagés dans l'IGT mais également l'implication d'autres processus tels que la mémoire de travail et le raisonnement inductif (e.g., Fellows & Farah, 2005; Manes et al., 2002). Pour évaluer l'hypothèse selon laquelle la mémoire de travail est impliquée dans l'HDT, la présentation des gains accumulés (i.e., le nombre de pommes) est manipulée : le nombre de pomme est présenté soit pour chacun des tas, soit pour l'ensemble des tas (i.e., comme dans l'IGT classique) soit il n'est pas présenté (condition contrôle) (voir Figure 34, A). Le raisonnement est le suivant, si la tâche nécessite un suivi précis des gains et des pertes associés à chaque tas et la manipulation de ces informations en mémoire de travail, plus les informations sur les gains (i.e., le nombre de pommes accumulés) sont détaillées, meilleure devrait être la performance. Le raisonnement inductif est évalué à travers la performance au test des Matrices de Raven.

Le profil développemental se révèle linéaire, les enfants de 6 à 12 ans se montrant clairement biaisés par les plus fortes récompenses immédiates des options désavantageuses, les adolescents de 13 à 17 ans ayant un profil intermédiaire et les adultes réussissant à se désengager des options désavantageuses pour leur préférer celles avantageuses à la fin de la tâche (voir Figure 34, C).

A Hungry Donkey Task



C Réponse comportementale

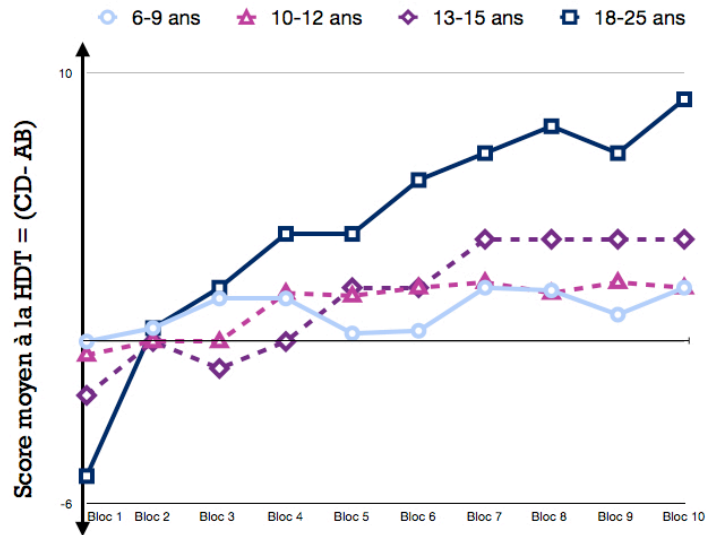


Figure 34 : Illustration tirée des travaux de Crone & Van der Molen (2004). A) Illustration de la *Hungry Donkey Task* : où le participant a pour objectif d'ouvrir des portes dans le but de nourrir un âne affamé. Le participant doit inférer en fonction des feedbacks qu'il reçoit que deux des portes sont avantageuses sur le long terme alors que les deux autres sont désavantageuses sur le long terme. Il est à noter que le feedback fut manipulé de tel façon que les participants avaient accès à un feedback accumulant les feedbacks par tas (i.e., barres au dessus de chaque porte), ou un feedback global (i.e., une barre accumulant le feedback global sous l'âne) ou sans aucune barre de feedback. Toutefois les résultats ne montrent aucun effet du type de feedbacks B) Exemple de feedbacks issus d'une porte avantageuse à gauche et d'une porte désavantageuse à droite. Les pommes vertes symbolisent les gains à l'inverse des pommes rouges qui symbolisent les pertes. C) Pattern de résultats illustrant le score classique à la HDT pour les participants de 6-9 ans, 10-12 ans, 13-15 ans et 18-25 ans. La capacité à choisir avantageusement dans la HDT se développe lentement et linéairement.

Bien que la performance se révèle globalement meilleure dans la version inversée, le même profil développemental est observé, suggérant une incapacité chez les enfants à prendre en considération les conséquences futures de leurs choix plutôt qu'une hypersensibilité aux gains ou une insensibilité aux gains. De façon cruciale, ni les capacités de raisonnement inductif ni les capacités de mémoire de travail n'expliquent ce pattern développemental, comme en atteste l'absence d'influence du type de présentation des gains ou de la performance aux Matrices de Raven. A l'inverse, la performance avantageuse est corrélée au développement de connaissances conceptuelles (i.e., connaissances concernant l'aspect avantageux ou non des portes) beaucoup plus fréquentes chez l'adulte, que chez l'adolescent ou l'enfant (respectivement 88%, 68% et 31%).

En résumé, la plupart des études développementales démontre l'existence d'un développement linéaire des capacités à choisir avantageusement dans des conditions d'ambiguïté (Hooper, Luciana, Conklin, & Yarger, 2004; Overman, 2004; Prencipe et al., 2011). A notre connaissance, seules deux études pointent à l'inverse un développement curvilinéaire où l'adolescence s'accompagne d'un déficit spécifique à l'IGT (Cauffman et al., 2010; Smith, Xiao, & Bechara, 2012). Aux vues de ces divergences, il est déterminant de mieux cerner les processus impliqués dans la prise de décision sous ambiguïté pour mieux comprendre l'origine des difficultés de prise de décision rencontrées au cours du développement par les enfants et les adolescents. De manière générale, le profil comportemental des enfants et des adolescents, profil rappelant « la myopie du futur » caractéristique des patients CPFVM, est interprété en lien avec la maturation lente du CPFVM (Diamond, 2002 ; Nelson & Lucina, 2001). Cependant, au regard de la complexité de l'IGT (ou de la HDT), un même déficit décisionnel peut relever de mécanismes distincts. C'est la raison pour laquelle, d'autres études vont affiner la compréhension du développement des capacités de prise de décision sous ambiguïté en investiguant non seulement l'influence de la fréquence des gains/pertes, mais aussi l'implication des fonctions exécutives et la capacité d'ajustement face aux feedbacks. Dans ce qui suit, nous exposerons donc les principaux résultats qui nous informent sur les processus potentiellement responsables du déficit de prise de décision sous ambiguïté observé au cours du développement normal.

c. Spécification du déficit de prise de décision sous ambiguïté au cours du développement

Afin de comprendre pourquoi certaines études démontrent l'existence de capacités décisionnelles précoces à 4 ans (Garon & Moore, 2004; Kerr & Zelazo, 2004) alors que d'autres mettent en évidence un développement tardif de ces capacités (Crone & Van der Molen, 2004; Hooper, Luciana, Conklin, & Yarger, 2004; Overman et al., 2004), plusieurs études vont tout d'abord tester l'influence de la fréquence des pertes sur le choix des participants. Des enfants de 7 à 15 ans effectuent par exemple des versions simplifiées de la Hungry Donkey Task comprenant : 2 choix caractérisés par 10% de pertes (i.e., BD), 2 choix caractérisés par 50% de pertes (i.e.,

AC) ou 4 choix caractérisés par 50% de pertes (i.e., AACC)(Crone, Bunge, Latenstein, Van der Molen, & Molen, 2005). Bien que les performances soient globalement sub-optimales, de subtiles différences développementales s'observent entre les enfants et les adolescents dans la version caractérisée par 10% de pertes, contrairement à la version caractérisée par 50% de pertes. Les plus jeunes enfants ont donc d'autant plus de difficultés à choisir de façon avantageuse lorsqu'ils doivent apprendre dans une condition où les pertes sont peu fréquentes. Ces résultats, conformes à ceux de l'étude de Kerr & Zelazo dans laquelle la fréquence des pertes est de 50%⁴⁷, suggèrent une forte influence de la fréquence des pertes, d'autant plus si cette fréquence est élevée, sur la capacité à choisir avantageusement dans des situations de prise de décision sous ambiguïté. Soulignons que ces résultats, étayés par d'autres études développementales (Cassotti, Houdé, & Moutier, 2011; Huizenga, Crone, & Jansen, 2007), vont ensuite inciter les chercheurs à procéder à une analyse plus approfondie du pattern comportemental adulte (Lin, Chiu, Huang, et al., 2009). Et de façon intéressante, des résultats contradictoires vont alors remettre en question la capacité des sujets adultes à choisir avantageusement en démontrant une prise en compte unique de la fréquence dans une adaptation - *la Soochow Gambling Task* - qui permet précisément de contraster l'effet de la fréquence du caractère avantageux (i.e., 20% de pertes et 80% de pertes au sein de 2 tas avantageux et 2 tas désavantageux). Effectivement, dans cette tâche les adultes choisissent majoritairement dans les tas comprenant des punitions peu fréquentes, sans en distinguer l'aspect avantageux sur le long terme. Aux vues de ces résultats, de nouvelles études utilisant la *Soochow Gambling Task* sont nécessaires afin de mieux rendre compte de l'influence de la fréquence des pertes sur le choix des individus tout au long du développement.

L'implication des fonctions exécutives dans le développement des capacités de prise de décision sous ambiguïté est quant à elle écartée. Ni le type de feedback, ni le nombre d'options disponibles ou encore les performances dans des tâche classique de mémoire de travail (e.g., empan de chiffres envers), ou sur des tâche d'inhibition (e.g., Go-NoGo) ne permettent de rendre compte du pattern développemental

⁴⁷ Rappelons que dans la Children's Gambling Task la fréquence des pertes est confondue avec le caractère avantageux des tas, puisque seul le tas désavantageux présente des pertes nettes (i.e., un feedback qui consiste à retirer des M&M's). Autrement dit, cette tâche ne permet pas de distinguer l'influence de la fréquence des pertes du caractère avantageux.

observé dans l'IGT (Crone, Bunge, Latenstein, & Van der Molen, 2005; Crone & van der Molen, 2004; Hooper et al., 2004).

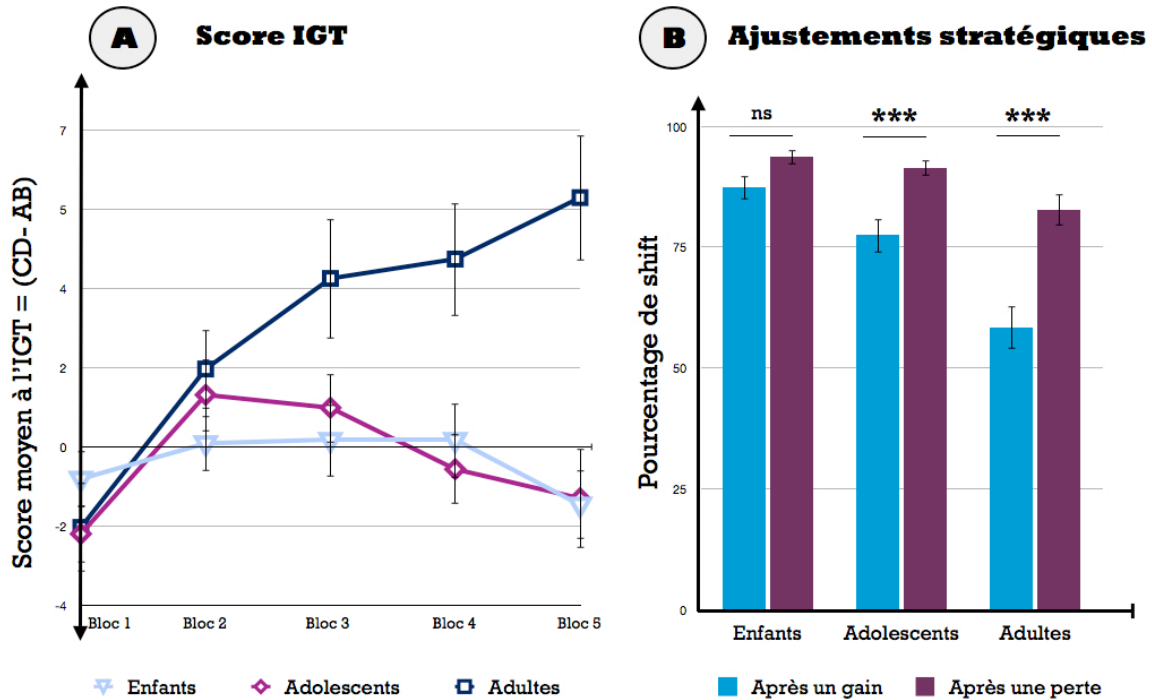


Figure 35 : Illustration issue des travaux de Cassotti, Houdé, & Moutier (2011). A) Score à l'IGT obtenus dans le groupe d'enfants, d'adolescents et d'adultes. Seuls les adultes parviennent à se désengager progressivement des tas désavantageux pour leur préférer les tas avantageux. B) Présentation des ajustements stratégiques faisant suite à un gain ou une perte. Les adolescents et les adultes font preuve d'ajustement comportemental de type « je gagne, je reste » et « je perds, je change ». Néanmoins les adultes, changent moins souvent de tas après une perte. Les barres représentent l'erreur de mesure standard et les *** représentent un $p < .0005$.

Par ailleurs, l'analyse des ajustements stratégiques découlant des feedbacks révèle de subtiles différences du point de vue des processus décisionnels impliqués qui nous semblent particulièrement intéressantes dans une perspective développementale. Par exemple, une étude menée au sein de notre laboratoire a récemment mis en évidence l'existence de stratégies « je gagne, je reste » et « je perds, je change » uniquement chez les adolescents et les adultes (Cassotti, Houdé, & Moutier, 2011; voir Figure 35, B). De plus, les adultes utilisent plus souvent la stratégie « je perds, je reste » suggérant la nécessité d'une plus grande tolérance aux pertes afin d'apprendre correctement à choisir de façon avantageuse dans l'IGT.

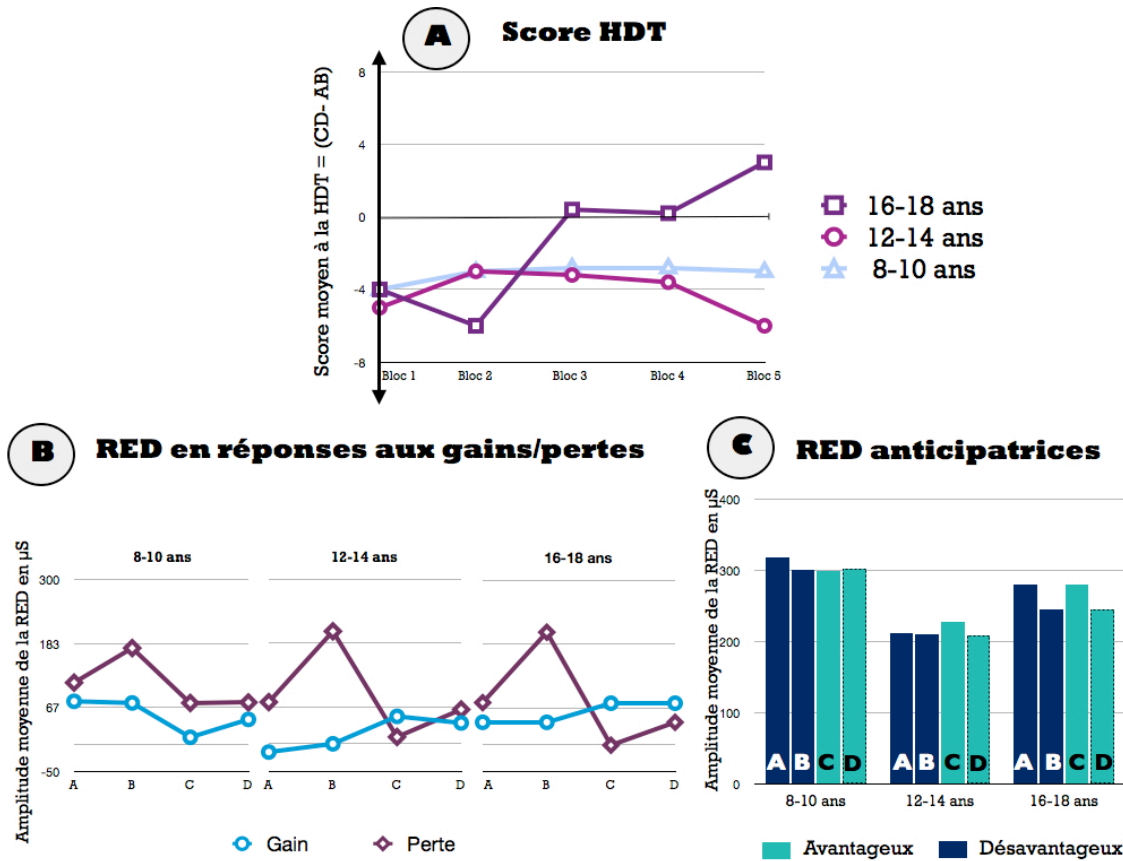


Figure 36 : Illustrations d'après l'étude de Crone & Van der Molen (2007). A) Score à la HDT pour les enfants de 8-10 ans, les jeunes adolescents de 12-14 ans et les adolescents plus âgés de 16-18 ans. Il faut attendre la fin de l'adolescence pour observer un profil d'apprentissage dans la HDT. B) Profil de réactivité émotionnelle primaire mesuré par la RED en réponse aux feedbacks de gains et de pertes. Les trois groupes d'âges montrent une réactivité émotionnelle primaire similaire, attestant d'une sensibilité aux gains et aux pertes équivalentes. C) Profil de réactivité émotionnelle secondaire mesuré par les RED qui précèdent les choix dans les tas A, B, C et D. Le groupe des 16-18 ans montrent une réactivité anticipatrice qui distingue les tas caractérisés par des punitions fréquentes (i.e., A et C) par rapport aux tas caractérisés par des punitions peu fréquentes (i.e., B et D).

Par ailleurs, le fait que les enfants présentent une difficulté à ajuster leurs choix en réponse aux feedbacks conduit à s'interroger sur l'efficacité de leur réactivité émotionnelle face aux feedbacks. La mesure de la conductance cutanée et du rythme cardiaque atteste pourtant chez l'enfant et chez l'adolescent d'une réponse aux gains et aux pertes tout à fait similaire à celle des adultes (Crone & Van der Molen, 2007; voir Figure 36, B). Mais rappelons le, l'HMS postule l'existence de marqueurs somatiques primaires en réponse aux gains et aux pertes, mais surtout que la récupération de ces marqueurs somatiques, qualifiés alors de secondaires, est nécessaire afin d'aider le sujet à anticiper les conséquences de ses choix. Et en effet, les enfants tout comme les adolescents ne développent pas de réponse anticipatrice distinguant les options désavantageuses de celles qui sont avantageuses, contrairement à ce qui est observé chez l'adulte (e.g., Crone, Somsen, Van Beek, &

Van Der Molen, 2004). Précisons néanmoins que la performance intermédiaire des adolescents s'accompagne d'une RED anticipatrice plus prononcée pour des tas caractérisés par des punitions fréquentes par rapport à ceux caractérisés par des punitions peu fréquentes (i.e., amplitude de a RED plus forte avant de piocher dans les tas A et C par rapport à B et D, voir Figure 36, C). Cette mesure physiologique confirme donc la forte influence de la fréquence des pertes sur le développement des capacités de prise de décision sous ambiguïté (Crone & Van der Molen, 2007).

En conclusion, ces études développementales mettent en évidence l'existence d'une maturation progressive jusqu'à l'âge adulte des capacités de prise de décision sous ambiguïté. La perspective développementale impose de distinguer plus rigoureusement les processus engagés dans cette habileté complexe, mettant alors en lumière l'influence notable de la fréquence des pertes (Crone & Van der Molen, 2007; Huizenga et al., 2007). Selon nous, de telles données sont importantes puisqu'elles conduisent à s'interroger sur la capacité des adultes à dépasser l'effet de la fréquence afin de choisir non pas en fonction de la fréquence mais en fonction de la valeur espérée des options (Lin, Chiu, Huang, et al., 2009). Il faut ajouter à cela que la performance déficitaire des enfants et des jeunes adolescents ne semble pas expliquée par leurs capacités exécutives malgré la nécessaire coordination entre les feedbacks et l'ajustement comportemental leur faisant suite. Enfin, l'analyse de la réactivité émotionnelle étayant l'HMS en suggérant que la difficulté à prendre en compte les conséquences futures de leurs choix serait vraisemblablement en lien avec une maturation lente du CPFVM (Diamond, 2002 ; Nelson & Lucina, 2001).

3. L'ambiguïté une explication possible de la prise de risque exacerbée à l'adolescence

a. La tolérance à l'ambiguïté

Bien que l'ambiguïté fût originellement mise en lumière par le paradoxe d'Ellsberg, il n'existe, à notre connaissance, qu'une seule étude centrée sur le phénomène d'aversion à l'ambiguïté au cours du développement. Or, selon nous il est essentiel de se demander si les enfants et les adolescents font preuve de la même aversion à l'ambiguïté étant donné qu'ils se trouvent dans une phase d'apprentissage

qui nécessite une exploration de l'inconnu. A ce sujet, Tymula et al. (2012) apportent des éléments de réponse grâce à l'examen du comportement de sujets de 12 à 17 ans et de 30 à 50 ans face au risque et face à l'ambiguïté.

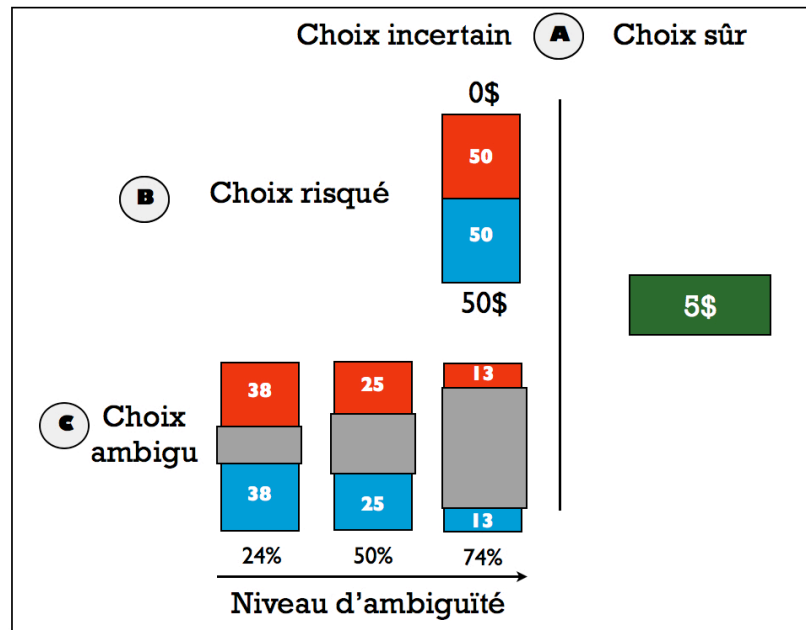


Figure 37 : Protocole expérimental de l'étude de (Tymula et al., 2012). A) Les participants doivent systématiquement choisir entre un choix incertain (i.e., associé à une probabilité entre 0 et 1) et un choix sûr (i.e., associé à une probabilité de 1). Les choix incertains offrent systématiquement la possibilité de remporter une somme d'argent (i.e., 8\$; 20\$; 50\$ et 125\$) ou la possibilité de ne rien remporter selon des probabilités variables (i.e 75% ; 50% ; 38% ; 25% et 13%). B) Certains essais sont risqués, le participant ayant connaissance des probabilités en jeu (e.g., dans notre exemple il y a 50% de chance de remporter 50\$ et 50% de chance de ne rien gagner). C) D'autres essais sont ambigus au sens où le participants ne dispose pas de la totalité des informations. Un cache gris vient masquer les probabilités soit à 24%, à 50% ou à 74%.

Dans cette expérience, des paires de paris opposant toujours un choix sûr de 5\$ contre un choix incertain qui pouvait être soit risqué (i.e., clairement défini par des probabilités) soit ambigu (i.e., non clairement défini par les probabilités) sont présentés aux participants (cf. Figure 37, A). Ces paris étaient systématiquement symbolisés par la possibilité de prendre les 5\$ du choix sûr ou de choisir de piocher dans un sac des jetons de couleur bleu et rouge, sachant que seulement l'une des deux couleurs permettait de remporter une certaine somme d'argent (cf. Figure 37, B). Les proportions (i.e 75% ; 50% ; 38% ; 25% et 13%) ainsi que la magnitude des gains (8\$; 20\$; 50\$ et 125\$) varient, rendant le risque plus ou moins avantageux. Les essais ambigus sont exactement identiques, excepté qu'un cache plus ou moins grand vient limiter l'information concernant les proportions de jetons contenues dans le sac (i.e., 24%, 50% ou 74% du sac est caché; voir Figure 37, C). Notons ici que la procédure utilisée se distingue sur deux points par rapport à l'aversion à l'ambiguïté classique :

1) elle oppose une option ambiguë non pas à une option incertaine, mais à une option certaine ; ce qui intuitivement laisse penser à un potentiel renforcement du phénomène et 2) alors qu'aucune information sur la probabilité de l'option ambiguë n'est classiquement donnée, l'ambiguïté est ici variable mais jamais totale.

L'aversion au risque est alors évaluée par la courbe que revêt la prise de risque en fonction des gains et des probabilités. De façon surprenante, les résultats révèlent une plus forte aversion au risque chez les adolescents que chez leurs aînés (voir Figure 38). Cette aversion au risque s'observe particulièrement lorsque les probabilités en jeu sont faibles. Par exemple, il y a quasiment deux fois moins d'adolescents (environ 40%) que d'adultes (environ 80%) qui choisissent le choix risqué quand celui-ci est caractérisé par une probabilité de .13 de remporter 150\$. Pourtant, même si ce choix est incertain sa valeur espérée est environ 4 fois supérieure à celle du choix sûr ($EV = .13 * 150 = 19.5\$$ vs. $EV = 1 * 5 = 5 \$$). De la même manière, environ 80% des adultes choisissent la probabilité de .25 de remporter 50\$, contre seulement 50% des adolescents.

L'attitude des participants face à l'ambiguïté révèle elle aussi des différences développementales très intéressantes. Celle-ci est évaluée cette fois par la courbe que revêt la prise de risque en fonction des gains et du pourcentage d'ambiguïté. Force est de constater que si les adultes prennent de moins en moins de risque avec l'ambiguïté grandissante, les adolescents se comportent comme si la manipulation de l'ambiguïté ne les affectait pas (voir Figure 38). De surcroît, les adultes semblent interpréter l'ambiguïté maximale (i.e., 74%) de façon pessimiste, leur choix étant proche de ceux effectués lors d'une prise de risque associée à une probabilité de .25. Autrement dit, ces données conduisent à penser que lorsque la quantité d'informations sur les probabilités diminue, les adultes envisagent des probabilités qui seraient en leur défaveur.

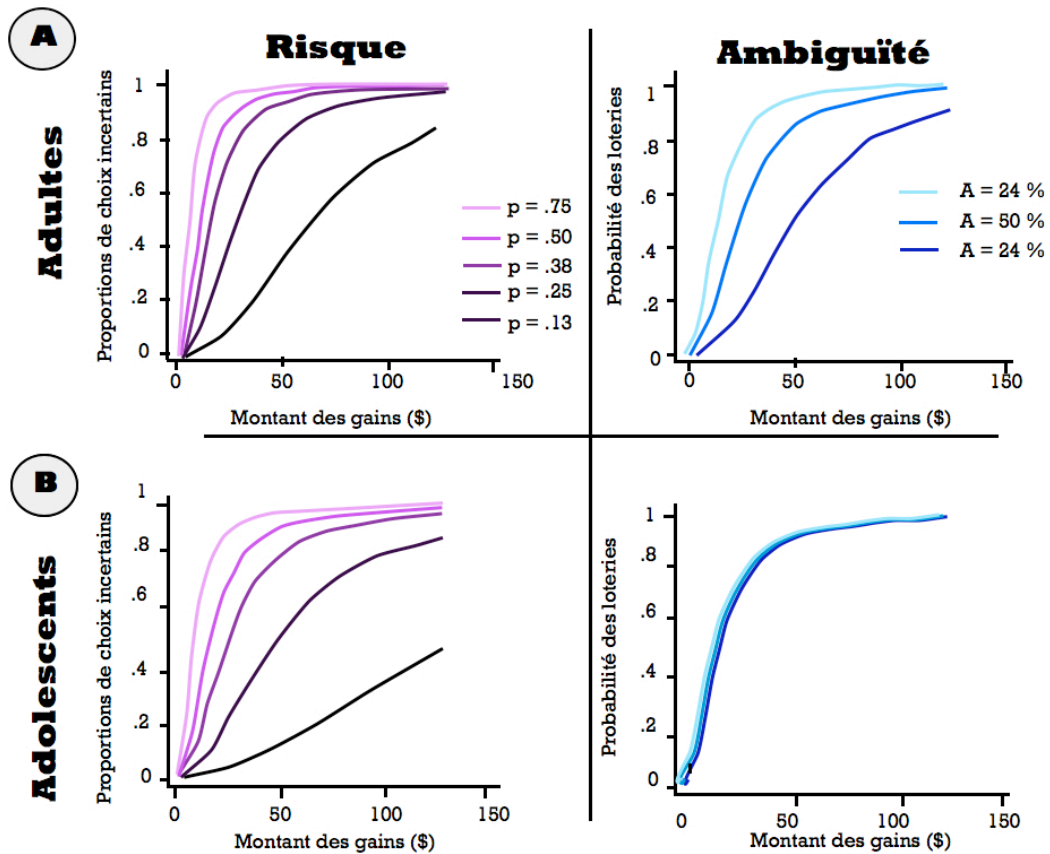


Figure 38 : Illustration des résultats de l'étude de (Tymula et al., 2012). Proportion de choix incertains en fonction des probabilités et des montants associés aux loteries dans les conditions de risque et d'ambiguïté chez les adultes (A) et les adolescents (B). Les proportions de choix incertains révèlent une prise de risque moindre, et une absence de sensibilité au niveau d'ambiguïté chez les adolescents par rapport aux adultes.

A l'inverse, le choix des adolescents révèle une prise de risque en cas d'ambiguïté similaire à une prise de risque caractérisée par une probabilité de .50. Selon les auteurs, cette plus forte tolérance à l'ambiguïté chez la population adolescente pourrait être à l'origine du pic de prise de risque relevé dans la vie quotidienne des adolescents. Rappelons-le, l'ambiguïté caractérise en effet la plupart des situations de la vie courante, et dans ce contexte la tolérance à l'ambiguïté semble nécessaire pour permettre la mise en place d'apprentissages. Comme le notent très bien ces auteurs, l'exploration de l'inconnu observée chez les enfants les plus jeunes n'est pas considérée comme une prise de risque en tant que telle ou du moins sans connotation négative. En conclusion, mieux comprendre la prise de décision sous ambiguïté permet selon nous de mieux comprendre le développement des capacités de prise de décision.

b. *L'ambiguïté, une situation chargée en émotions*

Bien que les situations d'ambiguïté et de risque partagent un certain nombre de caractéristiques communes, il est important selon nous de distinguer les processus qui les sous-tendent. Dans les situations de risque le sujet dispose de toutes les informations concernant les options pour choisir avantageusement. A l'inverse, dans les situations d'ambiguïté le sujet doit apprendre de lui même les contingences des options sur la base des feedbacks qu'il reçoit. Cette nécessité d'inférer à partir des feedbacks, semble donc être un critère primordial de distinction de ces deux situations. Ainsi, l'influence des feedbacks sur les capacités décisionnelles a d'abord été étudiée sous l'angle d'une situation de risque dans le cadre de la *Columbia Card Task* (Figner et al., 2009, voir aussi Chapitre 2). Et de fait, il existe des différences dans les patterns développementaux observés entre les versions « *cold* » (sans feedbacks) et « *hot* » (avec feedbacks) de cette tâche. Alors que les performances des participants de 14 à 20 ans sont équivalentes dans la version « *cold* » (associée à des processus délibératifs froids) les adolescents se distinguent en revanche par une prise de risque élevée dans la version « *hot* » (voir Figure 39, A). Notons cependant que la prise de risque est globalement supérieure dans la version « *hot* » quel que soit l'âge, ce qui suggère que des processus affectifs influencent l'appréhension du risque en présence de feedbacks tout au long du développement. Une mesure de la RED confirme une réactivité émotionnelle plus forte dans la version « *hot* » et donc la prépondérance des processus émotionnels dans cette situation avec feedbacks (voir Figure 39, B). En outre, une mesure de l'efficacité exécutive permet aux auteurs de mettre en évidence une corrélation entre celle-ci et la prise de risque des participants dans la version « *cold* » soulignant ainsi la prépondérance des processus exécutifs froids dans cette version. Ainsi entre deux tâches relevant d'une situation à risque, la présence de feedbacks et la nécessité de procéder à des inférences à partir de ceux-ci influencent la performance des sujets, et cela de façon encore plus exacerbée à l'adolescence. On peut regretter cependant l'absence d'une analyse de la prise de risque en fonction de son caractère avantageux ou non.

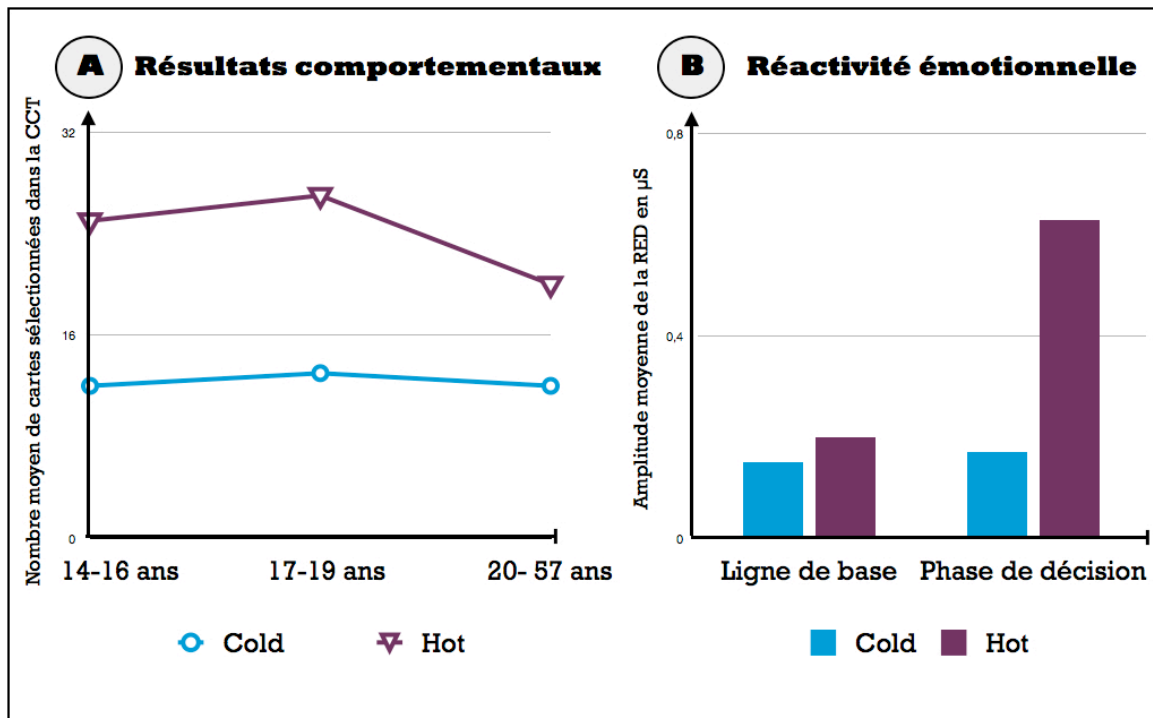


Figure 39 : Résultats d'après l'étude de Figner et al., (2009). A) Nombre moyen de cartes sélectionnées dans la Columbia Card Task dans sa version hot et cold en fonction des groupes d'âges. La version hot augmente significativement le nombre de cartes sélectionnés et ce, plus particulièrement chez les adolescents. B) La réactivité émotionnelle mesurée par la RED montre une réactivité significativement plus importante dans la version hot de la Columbia Card Task.

Une étude récente confirme le rôle clef des feedbacks dans la distinction entre ambiguïté et risque. Dans cette étude, les auteurs comparent directement les performances d'adolescents (13-15 ans) à la HDT à celles d'une tâche de prise de risque la *Gambling Machine Task* (Duijvenvoorde, Jansen, Visser, & Huizenga, 2010). Les deux tâches nécessitent la prise en compte d'un gain constant (2 ou 4), de la fréquence des pertes (i.e., 10% vs 50%) et de la magnitude des pertes (variables entre les deux tâches). Dans la HDT (cf. supra), le sujet doit inférer ces contingences sur la base des feedbacks, alors que dans la GMT le sujet est directement informé de celles-ci. Les performances des adolescents sont désavantageuses dans la HDT alors qu'ils donnent 73% de réponses correctes dans la GMT. La focalisation sur les options à punitions peu fréquentes (pour 68% des sujets) plutôt que sur les options à larges gains immédiats dans la HDT suggère que les adolescents sont plus sensibles à la fréquence des punitions qu'à l'attractivité des gains. On doit aussi remarquer que les performances ne corrélaient pas entre les deux tâches, suggérant l'intervention de processus distincts dans ces deux tâches. L'ensemble de ces résultats démontre que les adolescents sont capables d'intégrer différentes dimensions dans des situations de

risque telles que la fréquence des pertes, l'amplitude des pertes et des gains constants (Falk & Wilkenning, 1998), alors qu'ils ne semblent pas en être capable dans le cadre d'une prise de décision sous ambiguïté où ils se focalisent essentiellement sur la fréquence des pertes. Bien que l'objectif des auteurs soit de vérifier si l'existence d'un feedback est responsable du déficit de prise de décision observé chez les adolescents, il est difficile d'imputer ce déficit à la seule présence ou non d'un feedback étant donné que les deux tâches se distinguent aussi par leur caractère ambigu ou non.

Afin de déterminer si les différences développementales observées entre les situations avec et sans feedback résultent du caractère ambigu de la situation, cette équipe développe deux nouvelles tâches où seul le caractère ambigu de la situation est manipulé (Van Duijvenvoorde et al., 2011).

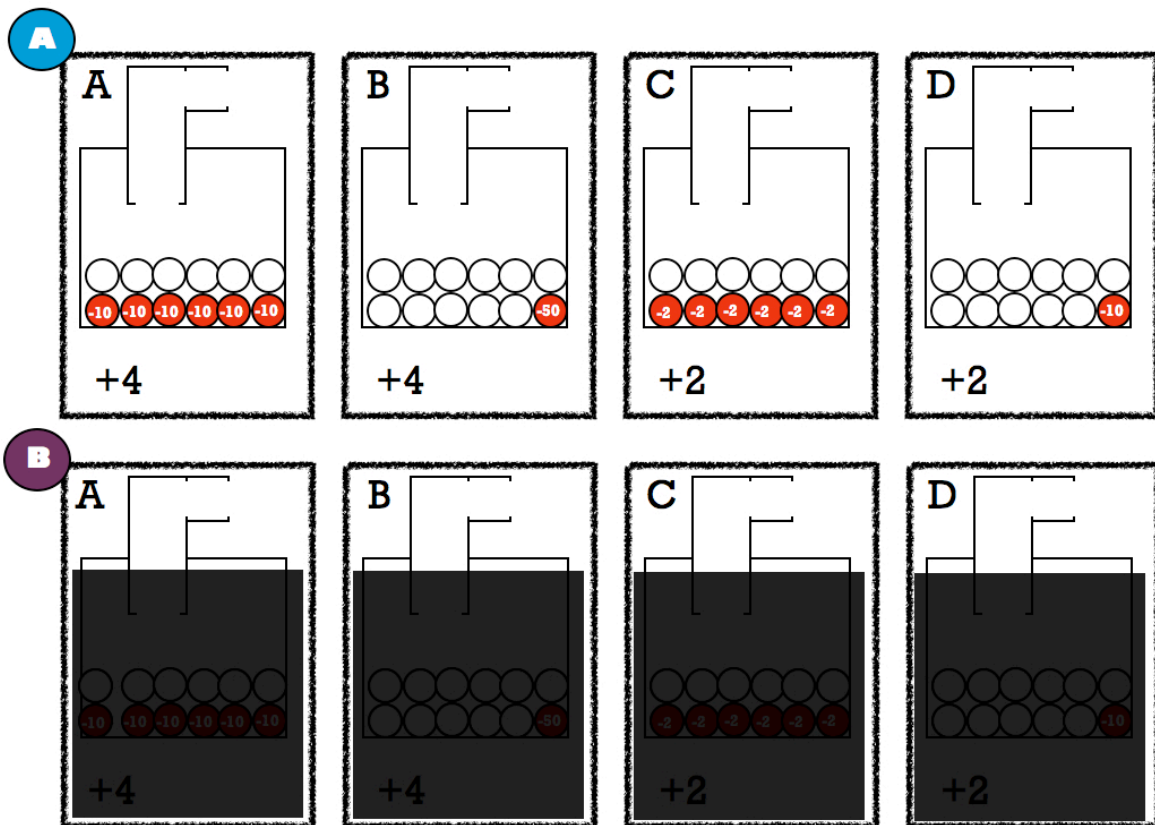


Figure 40 : Présentation de la Gambling Game mise au point par Van Duijvenvoorde et al., (2011) en version risque (A) et ambiguë (B). Le participants doit choisir parmi 4 machines caractérisés chacune par un gain constant (i.e., 4 ou 2), une fréquence des pertes (i.e., 10% ou 50%) et un montant des pertes (i.e., -2, -10, -50) de telle sorte que les machines A et B sont désavantageuses sur le long terme contrairement aux machine C et D. en version risque (A) et ambiguë (B).

Dans ces tâches inspirées de la HDT, la *Gambling Game*, les options ne sont plus symbolisées par des portes mais par des machines. Chaque machine est associée à un

gain constant (petit ou grand), une fréquence des pertes (10% ou 50%) et une magnitude des pertes (petites ou grandes), de telle sorte que deux machines sont avantageuses (i.e., machine C et D) et deux sont désavantageuses (i.e., machine A et B, voir Figure 40). Alors que les deux tâches nécessitent l'intégration des feedbacks afin de prendre des décisions pertinentes, l'une est présentée en version « sous ambiguïté » (i.e., les machines sont masquées, voir Figure 40, B) tandis que l'autre est présentée en version « risque » (voir Figure 40, A). Dans cette dernière le gain constant (i.e., noté sur la machine), la fréquence de pertes (i.e., un ratio de boule rouge et blanche) et la magnitude des pertes (i.e., le montant noté sur les boules rouges) sont spécifiés pour chaque machine.

Les résultats obtenus sur un échantillon de 304 participants de 7 à 29 ans, répartis aléatoirement dans ces deux conditions, mettent en évidence d'intéressantes différences développementales.

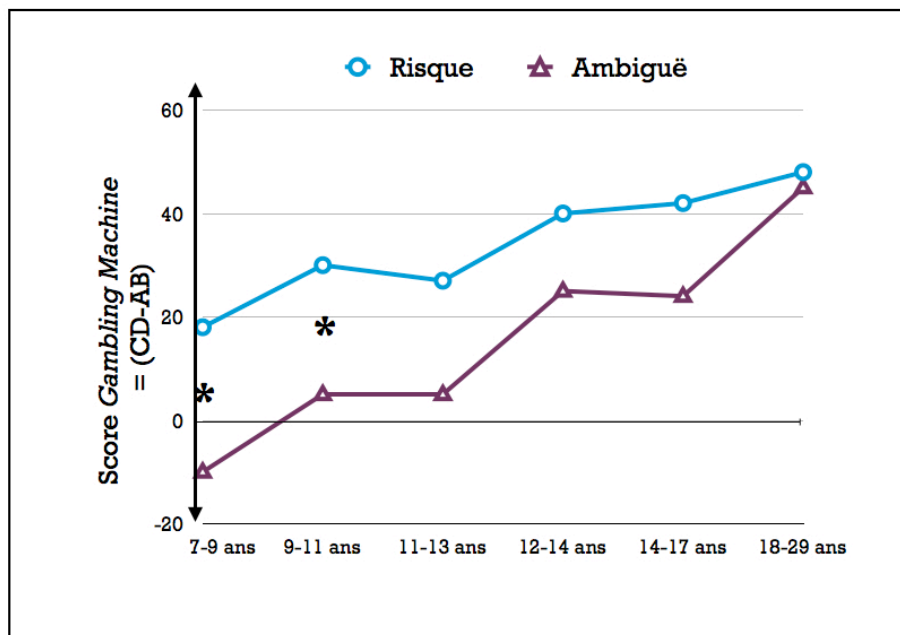


Figure 41 : Illustration des résultats obtenus dans l'étude de Van Duijvenvoorde et al., (2011). Scores moyens obtenus à la *Gambling Machine Task* en version risque et ambiguë sur le 60 derniers essais. Les performances sont meilleures dans la version risque par rapport à la version ambiguë, et ce, plus particulièrement chez les plus jeunes (i.e., 7-11 ans). Les * illustrent un $p < .05$ entre la version risque et ambiguë.

Dans la condition de prise de décision sous ambiguïté, les données confirment un développement lent de l'aptitude à choisir avantageusement, aptitude qui n'apparaîtrait qu'à partir de 12 ans. En revanche, dans la condition de risque, dès 7

ans les enfants choisissent de manière avantageuse (voir Figure 41). En d'autres termes, la présence d'informations sur les caractéristiques des options dans la condition de risque entraîne une progression significative des performances et plus particulièrement chez les sujets âgés de 7 à 13 ans. L'analyse des ajustements stratégiques révèle que les plus jeunes enfants utilisent majoritairement la stratégie «je perds, je change» et d'autant plus dans la condition d'ambiguïté. La présence d'informations explicites semble permettre aux plus jeunes participants d'éviter l'option dangereuse initialement préférée, caractérisée par des gains de large magnitude et des pertes de fréquence faible (i.e., machine B), au profit de l'option avantageuse caractérisée par des gains de faible magnitude et des pertes de fréquence faible (i.e., machine D). L'ensemble de ces résultats met en évidence une réelle difficulté à choisir avantageusement chez les enfants avant 12 ans bien que cette difficulté diminue nettement lorsqu'ils disposent des informations sur les conséquences de leurs choix (i.e., cadre de risque). Autrement dit, la difficulté que rencontrent les enfants à prendre en compte les conséquences futures de leurs choix repose plus sur une difficulté à extraire les informations liées aux options dans un contexte d'ambiguïté plutôt qu'à une difficulté à manipuler l'ensemble de ces informations quand elles sont explicitement associées aux options (dans un contexte de risque).

IV. Conclusions

Au début de ce chapitre, nous nous sommes intéressés aux travaux précurseurs de Jean Piaget. Son modèle linéaire et hiérarchique du développement, où chaque acquisition se fait par stade successif a depuis très clairement été remis en question au regard de l'existence de capacités précoces chez l'enfant, mais aussi d'incompétences tardives chez l'adulte (Houdé, 2000; Houdé, 2007). Dans le domaine de la décision, on observe de manière similaire non seulement des capacités précoces tant du point de vue de l'appréhension des probabilités que de la valeur espérée (Acredolo et al., 1989; Schlottmann, 2001) mais également des incompétences tardives au regard des modèles normatifs de la décision (Cassotti et al., 2012; De Martino et al., 2006; Tversky & Kahneman, 1981).

La courbe développementale caractérisant l'évolution des capacités de prise de décision à risque est toutefois encore sujette à débat. Si les études épidémiologiques mettent en lumière la prépondérance de conduites à risques spécifiquement à l'adolescence évoquant un développement de type curvilinéaire (Dahl, 2004; Eaton et al., 2012), les études en laboratoire ne montrent pas systématiquement ce même pattern développemental. Certaines données suggèrent un développement précoce de la maximisation de la valeur espérée (Van Leijenhorst et al., 2008), alors que d'autres soulignent l'existence d'un développement linéaire (Levin et al., 2007) ou curvilinéaire (Burnett et al., 2010) de cette capacité à choisir en fonction de la valeur espérée des options. Ces divergences peuvent en partie résulter de la forte variabilité dans les procédures expérimentales utilisées. Une autre explication, issue des modèles neurocognitifs de la prise de décision actuels, explique ce paradoxe en accordant un rôle prépondérant au contexte socio-émotionnel dans la prise de risque des adolescents dans la vie réelle (Albert, Chein, & Steinberg, 2013; Galvan, 2013; Somerville et al., 2010). Ces modèles, comparables aux théories du double processus, expliquent le pic de prise de risque à l'adolescence par l'existence d'un déséquilibre entre une maturation précoce de régions sous-corticales émotionnelles (telles que l'amygdale et le striatum ventral) et le développement plus tardif des régions préfrontales dédiées au contrôle exécutif. Les adolescents auraient une sensibilité accrue aux récompenses (Galvan et al., 2006) et notamment dans des contextes socio-émotionnels forts comme lors de la présence de pairs (Gardner & Steinberg, 2005; Steinberg, 2008). Le pic de prise de risque à l'adolescence résulterait de l'immaturité des processus top-down nécessaires à la régulation de cette hyper-réactivité émotionnelle, par exemple aux récompenses (Hare et al., 2008; Somerville et al., 2011). Toutefois, s'il existe à l'heure actuelle une multitude de données issues notamment d'études de neuroimagerie sur les interactions entre les processus cognitifs et émotionnels (Luna, Paulsen, Padmanabhan, & Geier, 2013; Padmanabhan, Geier, Ordaz, Teslovich, & Luna, 2011; Peper & Dahl, 2013), le développement de cette interaction continue à faire débat (Schel & Crone, 2013).

Néanmoins, ces modèles ne permettent pas d'expliquer le développement linéaire des capacités de prise de décision sous ambiguïté (Cassotti et al., 2011; Crone et al., 2005; Crone & van der Molen, 2004; Huizenga et al., 2007). Contrairement aux prédictions faites par ces modèles, on ne retrouve dans la prise de décision sous

ambiguïté ni un déficit spécifique à l'adolescence, ni une hyper-sensibilité aux récompenses (Crone & Van der Molen, 2007; Huizenga et al., 2007). En revanche, une plus forte tolérance à l'ambiguïté lorsque les individus se trouvent face à un choix certain et ambigu pourrait être responsable du pic de prise de risque à l'adolescence (Tymula et al., 2012). Il semble donc que l'étude de la prise de décision sous ambiguïté offre l'opportunité de mieux comprendre l'ensemble de ces phénomènes de prise de décision et de leurs développements. Notamment, le déficit décisionnel des enfants et des adolescents semble précisément issu d'une difficulté à choisir avantageusement dans un contexte d'ambiguïté totale. En accord avec l'HMS, l'étude de la maturation lente des capacités de prise de décision sous ambiguïté suggère elle aussi une forte influence de processus émotionnels (Van Duijvenvoorde et al., 2010). Les enfants et les adolescents, alors qu'ils sont cognitivement capables de manipuler différentes informations en vue d'effectuer des choix pertinents lorsqu'ils sont informés des conséquences, se retrouvent dans l'incapacité d'apprendre sur la base de feedbacks émotionnels. La prise en compte des feedbacks dans le but d'ajuster son comportement semble donc essentielle à une prise de décision optimale (Cassotti et al., 2011; Van Duijvenvoorde et al., 2011). En contraste avec les modèles neurocognitifs qui mettent l'accent sur la sensibilité des adolescents aux stimuli appétitifs (Chein et al., 2011; Somerville et al., 2011), d'autres études soulignent une sensibilité aux stimuli aversifs (et notamment à la fréquence des pertes) qui semble déterminante pour mieux caractériser le déficit décisionnel des enfants et des adolescents (Crone & Van der Molen, 2007; Huizenga et al., 2007). Ainsi, les apports expérimentaux présentés dans la suite de ce manuscrit ont pour objectif de mieux comprendre les facteurs qui sous-tendent ces capacités décisionnelles dans un contexte d'ambiguïté sous l'angle notamment de l'interaction entre processus cognitifs et émotionnels.

Objectifs de la thèse

La mise en évidence de biais décisionnels chez l'adulte a permis de relativiser la conception des modèles normatifs de la prise de décision selon laquelle l'être humain est uniquement guidé par la maximisation de son profit (Allais, 1953; Tversky & Kahneman, 1981). La prise de décision des individus est donc non seulement guidée par des processus cognitifs qui sous-tendent notamment la maximisation du profit, mais aussi par un ensemble de processus émotionnels qui peuvent être à l'origine dans certains cas des biais décisionnels observés (Cassotti et al., 2012; De Martino et al., 2006). L'étude de l'influence des émotions sur la cognition se différencie selon que ces émotions soient intégrales (i.e., intrinsèques au matériel à traiter) ou incidentes (i.e., extrinsèques au matériel à traiter) (Blanchette & Richards, 2010). Cette thèse a pour objectif de comprendre plus particulièrement le rôle des mécanismes émotionnels inhérents à la prise de décision sous ambiguïté, et donc s'intéresse au rôle des émotions intégrales dans la cognition. Dans des situations de prise de décision sous ambiguïté, l'Hypothèse des Marqueurs Somatiques suppose que des processus émotionnels qui découlent du traitement des feedbacks, reçus après chaque choix opéré par l'individu, lui permettent progressivement de déterminer quelles sont les meilleures options qui s'offrent à lui (Damasio, 1994). Autrement dit, afin de dépasser le manque de connaissances propres aux situations d'ambiguïté, l'individu serait guidé par des émotions intégrales puisqu'elles résultent des gains et des pertes auxquels est confronté l'individu après chacune de ses décisions. L'ancrage neuronal, physiologique et comportemental de ce modèle théorique permet de tester un grand nombre d'hypothèses dans de nombreux axes de recherche. Par exemple, les études menées sur différentes populations cliniques et notamment sur les patients cérébro-lésés ont permis d'étayer l'HMS en démontrant non seulement le rôle des processus émotionnels dans la prise de décision sous ambiguïté mais aussi les réseaux neuronaux nécessaires à une prise de décision optimale (Bechara et al., 1998, 1997, 1999). En dépit d'une vingtaine d'années de recherche sur le sujet, des critiques perdurent quant au rôle prépondérant accordé aux marqueurs somatiques (Dunn et al., 2006). Une des critiques majeures formulées aux études qui s'inscrivent dans le cadre de l'HMS est qu'elles reposent en grande partie sur l'analyse d'une mesure

indirecte de la réactivité émotionnelle (i.e. la RED) (Tomb et al., 2002). Dès lors, il apparaît clairement nécessaire de mener de nouvelles recherches afin de mieux comprendre le rôle des processus émotionnels dans la prise de décision sous ambiguïté.

Dans ce contexte, l'étude des capacités de prise de décision des joueurs pathologiques est intéressante à double titre. D'une part, elle permet d'identifier les facteurs à l'origine des difficultés des joueurs pathologiques à prendre des décisions avantageuses dans un contexte d'ambiguïté, ces difficultés pouvant d'ailleurs constituer une des prédispositions à développer cette pathologie (Bechara, 2003; Brevers et al., 2012). D'autre part, l'étude des facteurs à l'origine des déficits de prise de décision chez les joueurs pathologiques nous renseigne plus largement sur les processus qui permettent à l'individu normal de prendre des décisions sous ambiguïté. A ce jour, le déficit de prise de décision des joueurs pathologiques est attribué essentiellement à des facteurs émotionnels plutôt qu'à des facteurs cognitifs et exécutifs (Kertzman et al., 2011). Les joueurs pathologiques sont par exemple moins sensibles aux récompenses que les individus sains – i.e., activation moindre des structures cérébrales émotionnelles et réponse physiologique d'ampleur plus faible suite à une récompense (Goudriaan et al., 2006; Reuter et al., 2005). Cette population se caractérise également par une co-morbidité de troubles psychopathologiques avec une forte composante affective tels que les troubles anxieux ou les troubles de l'humeur (Lorains et al., 2011). Spécifiquement, l'alexithymie (Bonnaire et al., 2012; Toneatto et al., 2009), un trait de personnalité qui se définit par un trouble du traitement et de la régulation des émotions (Taylor & Bagby, 2004) tend à être plus fréquente dans cette population clinique. L'étude de l'effet de l'alexithymie sur la prise de décision sous ambiguïté apparaît donc critique car elle permet indirectement de tester le rôle des processus émotionnels dans la capacité des individus à choisir de manière avantageuse. D'autant que si l'impact délétère de l'alexithymie a été démontré chez les individus sains, aucune étude n'a jusqu'à présent évalué son rôle dans le déficit décisionnel des joueurs pathologiques.

Ainsi, nous examinerons, dans une première étude, l'impact de l'alexithymie sur les capacités décisionnelles sous ambiguïté des joueurs pathologiques. Dans cette étude, nous comparerons les performances de joueurs pathologiques et de joueurs non pathologiques (i.e., groupe contrôle) recrutés en milieu écologique (i.e. des bars

PMU) à l'IGT. Une évaluation de l'alexithymie, par le biais de l'échelle classique *Toronto Alexythymia Scale (TAS-20)* (Parker, Taylor, & Bagby, 2003), auprès de l'ensemble de notre échantillon nous permettra de déterminer si l'alexithymie a une influence sur les capacités de prise de décision des joueurs pathologiques. Notre raisonnement est donc le suivant : si les processus émotionnels sont indispensables à une prise de décision optimale, alors l'alexithymie pourrait expliquer en partie le déficit de prise de décision des joueurs pathologiques.

Bien que l'étude des capacités de prise de décision des populations cliniques permette une meilleure compréhension des processus émotionnels engagés dans la prise de décision sous ambiguïté, elle n'en demeure pas moins une manière indirecte de tester l'HMS au même titre que l'analyse de la RED (Tomb et al., 2002). De fait, les études sur la RED se limitent à mettre en évidence une corrélation entre le pic de RED anticipateur et la performance avantageuse dans l'IGT, sans pouvoir démontrer un lien de causalité entre ce pic et les performances à l'IGT.

Afin de pouvoir directement tester le rôle des émotions dans l'IGT, nous développerons, dans une deuxième étude, une adaptation de l'IGT dans laquelle le contexte émotionnel est systématiquement manipulé. Dans ce paradigme, le contexte émotionnel sera soit congruent soit incongruent avec les gains ou les pertes obtenus après chaque choix. Le contexte émotionnel sera manipulé en présentant à la suite de chaque feedback de l'IGT des images de visages émotionnels (i.e., de joie et de peur issus des NimStim de Tottenham et al., 2009). Notre raisonnement est le suivant : si choisir dans des conditions d'ambiguïté nécessite le développement d'un signal émotionnel en réponse aux gains et aux pertes qui sera progressivement récupéré pour choisir avantageusement (comme le suppose l'HMS), alors renforcer (ou au contraire interférer) avec le développement de ce signal émotionnel devrait favoriser (ou interférer avec) la prise de décision avantageuse. La comparaison des performances à l'IGT de ces deux conditions expérimentales (i.e. contexte émotionnel congruent et incongruent) ainsi que d'un groupe contrôle sans contexte émotionnel nous permettra de tester l'HMS qui accorde un rôle primordial aux processus émotionnels.

Une autre façon d'étudier les capacités de prise de décision sous ambiguïté consiste à déterminer les processus cognitifs nécessaires à une prise de décision

optimale. En effet, bien que l'HMS mette l'accent sur le rôle crucial des processus émotionnels, elle ne conteste pas l'existence d'une possible interaction entre ceux-ci et des processus cognitifs (Reimann & Bechara, 2010). Afin de mieux évaluer quelles interactions entre processus émotionnels et cognitifs permettent une performance avantageuse dans l'IGT, nous avons choisi de dissocier l'effet des différents facteurs qui sont manipulés dans cette tâche complexe. Dans l'IGT, l'individu doit apprendre à choisir avantageusement sur la base de feedbacks de gains et de pertes, feedbacks qui se définissent par leur ampleur et leur fréquence. Il est donc important d'évaluer comment ces feedbacks sont pris en compte et quelles stratégies l'individu met en place en réponse à ces feedbacks. Dans ce cadre, la perspective développementale offre l'avantage d'explorer plus systématiquement sur quelles caractéristiques des feedbacks les individus se focalisent pour prendre leurs décisions, ainsi que les stratégies d'ajustement comportemental mises en place en réponse à ces feedbacks. De cette façon, l'étude du développement de ces capacités décisionnelles présente l'avantage de répondre non seulement aux enjeux sociétaux autour de la compréhension des capacités décisionnelles à l'adolescence mais aussi à la possibilité d'enrichir l'HMS par une meilleure compréhension des mécanismes sous-jacent à la prise de décision adulte. Rappelons que la plupart des auteurs s'accordent sur le caractère lent du développement de ces capacités décisionnelles sous ambiguïté, développement qui se prolongerait jusqu'à la fin de l'adolescence voire le début de l'âge adulte (Cassotti et al., 2011; Crone & van der Molen, 2004; Hooper et al., 2004). Mais de façon cruciale, une analyse plus fine des comportements dans l'IGT suggère que la fréquence des pertes serait l'unique facteur qui guiderait les choix des enfants et des adolescents (Crone & Van der Molen, 2007; Huizenga et al., 2007). Chez l'adulte, des questions subsistent au regard de nouveaux résultats remettant en question leur capacité à prendre en compte conjointement la fréquence et l'ampleur des pertes, dès lors qu'ils sont soumis à la *Soochow Gambling Task* - une tâche qui permet de contraster l'influence de la fréquence des pertes et celle du caractère avantageux des différentes options proposées (Lin et al., 2009). En outre, alors qu'il semble que les enfants, les adolescents et les adultes ajustent leurs choix différemment après les feedbacks de gains ou de pertes (Cassotti et al., 2011; Van Duijvenvoorde et al., 2011), le rôle de cet ajustement comportemental reste jusqu'à présent mal défini. Bien que l'étude de l'impact de ces différents facteurs sur le choix des individus soit primordiale pour comprendre les processus cognitifs qui se mettent

en place au cours du développement, aucune étude développementale utilisant la *Soochow Gambling Task* n'a encore été réalisée à ce jour.

Ainsi, notre troisième étude a pour objectif de mieux rendre compte des facteurs qui guident la prise de décision sous ambiguïté au cours du développement, tout en analysant le rôle des ajustements stratégiques faisant suite aux gains et pertes. A cette fin, nous comparerons les performances ainsi que les stratégies d'ajustements faisant suite aux feedbacks de la *Soochow Gambling Task* d'enfants, d'adolescents et d'adultes avec le raisonnement suivant : si seule la fréquence des pertes guide la prise de décision tout au long du développement alors quel que soit l'âge nous devrions seulement observer une préférence pour les options caractérisées par des punitions peu fréquentes. A l'inverse, si au cours du développement les individus parviennent à extraire non seulement la fréquence des pertes mais aussi l'ampleur de celles-ci alors seuls les adultes devraient présenter une préférence pour les tas avantageux et cela quelle que soit la fréquence des pertes associée.

En conclusion, nous développerons trois axes de recherches expérimentaux dans cette thèse avec pour objectif de mieux comprendre le rôle respectif des processus émotionnels et des processus cognitifs dans la prise de décision sous ambiguïté.

Partie Expérimentale

Synthèse des principales questions de recherche

Etude n °1 L'alexithymie est-elle la cause du déficit de prise de décision sous ambiguïté chez les joueurs pathologiques ?

Etude n °2 La congruence du contexte émotionnel avec les feedbacks a-t-elle un effet sur la prise de décision sous ambiguïté ?

Etude n °3 Quels sont les facteurs qui guident la prise de décision sous ambiguïté au cours du développement ?

Quel est le rôle des ajustements stratégiques suite aux gains ou aux pertes dans la prise de décision sous ambiguïté ?

ETUDE N°1 : L’ALEXITHYMIE EST UN FACTEUR CLEF POUR COMPRENDRE LE DEFICIT DE PRISE DE DECISION SOUS AMBIGUÏTE CHEZ LES JOUEURS PATHOLOGIQUES

Aïte, A., Barrault, S., Cassotti, M., Borst, G., Bonnaire, C., Houdé, O., Varescon, I., & Moutier, S. (2013). The impact of alexithymia in pathological gamblers’ decision-making skills: a preliminary study on pathological gamblers recruited in an ecological setting. *Cognitive and Behavioral Neurology* (in press).

1. Résumé en français

Le jeu pathologique est un problème de santé publique (Stucki & Rihs-Middel, 2007), dont l’intérêt scientifique ne cesse de croître, notamment du fait de sa récente assimilation au groupe des « Troubles Addictifs et Addiction aux Substances » dans le nouveau DSM-V (2013). Ces pathologies partagent en effet des similarités tant symptomatologiques (Petry, 2006), que neurologiques et cognitives (Blanco et al., 2012 ; Potenza et al., 2003 ; Reuter et al., 2005). Etant donné que les joueurs pathologiques présentent un déficit de prise de décision sous ambiguïté qui pourrait être en partie responsable de leur addiction au jeu (Brevers et al., 2012), il est primordial d’identifier la source de ce déficit ainsi que les processus plus spécifiquement altérés au sein de cette population.

L’Hypothèse des Marqueurs Somatiques accordant un rôle majeur au développement d’un signal émotionnel dans la prise de décision sous ambiguïté, nous nous sommes donc plus particulièrement intéressés aux troubles de régulation et de traitements des émotions dont pourrait souffrir les joueurs pathologiques et qui pourraient expliquer leur déficit décisionnel. Le jeu pathologique est notamment associé de façon récurrente à l’alexithymie, un trait de personnalité qui se caractérise par un défaut du traitement et de la régulation des émotions (Bonnaire et al., 2012; Toneatto et al., 2009). Si l’alexithymie est associée chez les individus sains à des déficits dans la capacités à prendre des décision sous ambiguïté (Ferguson et al., 2009; Kano, Ito, & Fukudo, 2011), son rôle dans le déficit décisionnel des joueurs pathologiques n’a jamais été étudié.

A cette fin et compte tenu de la nécessité d'évaluer un échantillon représentatif de cette population (Reilly & Smith, 2013), cette étude a été réalisée dans un milieu écologique (i.e., des bars PMU parisiens). Les joueurs pathologiques ont été identifiés sur la base des critères du DSM-IV-TR⁴⁸ (2004) et du South Oaks Gambling Screen (SOGS) (Lejoyeux, 1999; Lesieur & Blume, 1987). Sur les 20 joueurs pathologiques recrutés, l'évaluation de l'alexithymie à l'aide de la TAS-20 (Parker, Taylor, & Bagby, 2003) a révélé que 6 d'entre eux étaient alexithymiques, 8 alexithymiques possibles et 6 non alexithymiques. Les participants dont le score était égal à 0 sur la SOGS (non joueur pathologique) et inférieur ou égal à 51 sur la TAS 20 (non alexithymique) constituaient le groupe contrôle (n = 8). A la suite de cette évaluation psychologique, composée également d'une échelle d'anxiété-dépression (HAD) (Lépine, Godchau, Brun & Lemperiere, 1985 ; Snaith, 2003), tous les participants ont effectué une adaptation sur iPad de l'IGT.

En accord avec l'hypothèse selon laquelle l'alexithymie est à l'origine des déficits de prise de décision chez les joueurs pathologiques, nous observons une corrélation négative entre les scores d'alexithymie et le score global à l'IGT sur l'ensemble des joueurs pathologiques (i.e., 6 alexithymiques, 8 alexithymiques possibles et 6 non alexithymiques), qui reste significative quand l'effet de l'anxiété dépression est contrôlé. De surcroît, les joueurs pathologiques alexithymiques obtiennent des scores à l'IGT inférieurs à ceux des joueurs pathologiques non-alexithymiques et à ceux des joueurs non-pathologiques. Enfin, les performances des joueurs pathologiques non-alexithymiques et celles des joueurs non pathologiques sont équivalentes. Interprétés dans le cadre de l'HMS, et en accord avec Kano, Ito & Fukudo (2011), ces résultats suggèrent que les joueurs pathologiques ont des difficultés à développer des marqueurs somatiques ce qui serait à la source de leur déficit de prise de décision.

En conclusion, cette étude étaye l'HMS, en assignant un rôle clé à l'alexithymie dans le déficit de prise de décision sous ambiguïté des joueurs pathologiques.

⁴⁸ Les critères en français du DSM V ne sont à ce jour pas encore publiés en français.

2. Abstract

Objective: In this study, we investigated whether alexithymia – a deficiency in emotional processing and regulation – is at the root of the decision-making deficit that is classically reported in pathological gamblers.

Background: Even though alexithymia has been evidenced i) as a recurrent personality trait of pathological gamblers and ii) as a deleterious factor in decision-making abilities of non-pathological gamblers; to our knowledge the implication of alexithymia in pathological gamblers' decision making abilities has never been investigated.

Methods: We asked three groups of pathological gamblers (6 alexithymic, 8 possible alexithymic and 6 non-alexithymic) and a group of 8 healthy control participants, recruited in an ecologic setting, to complete an adaptation of the Iowa Gambling Task (IGT).

Results: The alexithymic pathological gamblers chose less advantageously in the IGT than the non-alexithymic pathological gamblers and the normal control participants. Critically, the severity of the deficit in decision-making abilities was related to the severity of alexithymia, even when the effect of anxiety-depression was controlled for.

Conclusion: These findings provide preliminary evidence that alexithymia might be a critical personality trait regarding the understanding of pathological gamblers' decision-making deficits.

Keywords: pathological gambling; decision-making; alexithymia

3. Introduction

According to the fifth edition of the Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders DSM V (2013), pathological gambling is classified under the category of Substance Related and Addictive Disorder. Pathological gambling constitutes a prominent public health problem (Stucki & Rihs-Middel, 2007), characterized by repeated and persistent gambling behavior, which leads to negative social, professional and affective consequences in the gambler's life, and therefore, has been of increasing interest to the scientific community. This disorder has mainly been studied in experimental settings using the Iowa Gambling Task (i.e., IGT)(Bechara et al., 1994). The IGT simulates real-life decision making under conditions of ambiguity and is widely used for assessing decision-making impairments in neurological and psychiatric populations (Bechara et al., 1994; Dunn, 2007). As opposed to healthy individuals, pathological gamblers (PGs) fail to perform advantageously in this task, favoring attractive but unprofitable options in the long run over unattractive but profitable ones (Brand et al., 2005; Cavedini et al., 2002, Goudriaan et al., 2005, 2006). Although it has been suggested that pathological gambling might stem from these deficits in decision-making abilities (Bechara, 2003), the mechanism underlying them is unclear. Given that decision-making abilities require the use of emotional feedbacks (Bechara et al., 2000), the goal of the present study is to specifically test the potential implication of alexithymia, a recurrent emotional disorder in PGs (Bonnaire et al., 2012; Toneatto et al., 2009), in the decision-making deficit observed in PGs.

Previous studies have suggested that the inferior ability of PGs to make advantageous decisions in ambiguous situations might be related to either their poor cognitive or poor emotional abilities. Studies focusing on cognitive processes have demonstrated that PGs have a lower level of executive function efficiency than do healthy individuals (Ledgerwood et al., 2012; Marazziti et al., 2008). For instance, PGs have worse performance on Stroop Task and make more perseverative errors on the Wisconsin Card Sorting Test than healthy individuals

The DSM V as renamed pathological gambling to gambling disorders. Yet, as only DSM IV-TR was available at the time of this study, we used DSM-IV TR criteria for the inclusion of PGs and will refer to pathological gambling in this paper.

(Forbush et al., 2008). However, although PGs exhibit deficits in specific components of executive control, the performance of PGs in the IGT is not related to their performance on the Stroop task (Kertzman et al., 2011).

Given that deficits in executive function do not seem to be the critical factor in explaining PGs' deficits in decision making under ambiguity, some studies have focused on the possible relationship between the emotional deficits of PGs and their impaired decision-making abilities. This approach is consistent with the view that the ability to choose advantageously is based on emotional learning rather than on cognitive learning – i.e., the so-called *Somatic Marker Hypothesis* (Bechara et al., 2000). According to this view, when facing a choice between several options, the putative key mechanism at play is the development of emotional signals (i.e., the *somatic markers*) that enable participants to endorse the optimal choices. This hypothesis is supported by the finding that patients with lesions in the ventromedial prefrontal cortex (vmPFC) or the amygdala – two neural structures involved in processing emotions – possess poor decision-making abilities (Bechara et al., 1999). Interestingly, PGs display a decrease in activity in the vmPFC and the ventral striatum when experiencing financial gains, and activity within these areas was negatively correlated with the severity of pathological gambling (Reuter et al, 2005). In addition, PGs show an increased level of activity in the orbitofrontal cortex, caudate and amygdala when choosing disadvantageous options in the IGT (Power et al., 2011). These neuroimaging data suggest that PGs are more attracted to immediate larger rewards than are healthy individuals because of lower emotional responses to gains. These factors might partly explain why PGs persist in making attractive but disadvantageous choices on the IGT. Consistent with this hypothesis (Goudriaan et al., 2006), PGs experienced no heart rate increase after wins and a lower anticipatory skin conductance response to disadvantageous choices. Taken together, these data support the view that PGs deficits in decision making under ambiguity might be in part due to a faulty development of emotional signals.

The root of this faulty development of emotional signals in PGs remains unclear. Although affective guidance in decision making under conditions of ambiguity is based on the ability to make use of emotionally laden information that arises gradually from experience, few studies have investigated whether

alexithymia affects decision-making. This is surprising, given that alexithymia is a personality trait that is marked by deficits in the cognitive ability to process emotions and is characterized by difficulty in identifying and describing feelings, difficulty in differentiating feelings from bodily sensations, constricted imaginative processes and an externally/concretely oriented cognitive style (Taylor et al., 1997). Indeed, alexithymia does seem to affect decision making. For instance, alexithymic participants show slower emotion-based learning than controls do in the IGT (Ferguson et al., 2009). Similarly, individuals with alexithymia failed to choose advantageously in the IGT and this failure was associated with a decreased level of activity in the medial frontal areas of the brain (Kano et al., 2011). To the extent that alexithymia (i) is defined by faulty emotional processing and regulation (Taylor, Babgy, & Parker, 1997), (ii) has been identified as a risk factor for gambling problems (Lumley & Roby, 1995; Parker, Wood, Bond, & Shaughnessy, 2005) and (iii) is recurrent in pathological gambling (Bonnaire et al., 2012; Toneatto et al., 2009), the question of its effect on PGs' decision-making abilities is well-founded. Thus, the present study aimed to specifically address the implications of alexithymia with respect to PGs' difficulties in making use of the emotional signals that are essential in decision-making. In addition, as most previous studies have been conducted with PGs that were seeking treatment while most of PGs do not (Reilly & Smith, 2013), this study aimed at examining individuals representative of the general PGs population. For this purpose, we assessed decision-making performance on the IGT in PGs and healthy participants recruited in an ecological setting and tested the impact of alexithymia on those performances. We reasoned that if alexithymia is a key factor to understand PGs' decision-making abilities, we should find differences on IGT performances as a function of the level of alexithymia. This rationale led us to hypothesize that if the decision-making deficit usually reported in PGs is in part driven by alexithymia, then the alexithymic PGs should score lower on the IGT than the non-alexithymic PGs, whereas the performance of the non-alexithymic PGs might not differ from that of the healthy participants.

4. Materials and Method

a. Subjects

Forty gamblers (scratch cards, lotteries or sports betting) were randomly screened in Parisian sportsbooks. Participants ($n = 20$) were included in the PG groups when they (1) met the DSM-IV-TR criteria (2004) for pathological gambling and (2) scored 5 or more on the South Oaks Gambling Screen (SOGS)(Lejoyeux, 1999; Lesieur & Blume, 1987). As this study aimed to test the impact of alexithymia, we used the Toronto Alexithymia Scale (TAS-20) to categorize PGs with regard to established cut-off criteria (Parker et al., 2003). Therefore, 6 PGs with a score equal to or higher than 61 on the TAS-20 were included in the alexithymic group ($n = 6$, aged between 21 and 50, $M = 37.5$, $SD = 14.2$; 1 woman), 8 PGs with a score from 52 to 60 constituted the PGs group with possible alexithymia ($n = 8$, aged between 26 and 51, $M = 36.6$, $SD = 8.9$; 0 woman) and 6 PGs with a score equal to or lower than 51 constituted the non-alexithymic group ($n = 6$, aged between 29 and 48, $M = 38.7$, $SD = 7.3$; 1 woman). The ratio of alexithymic PGs in our sample (6 out of 20 PGs) is consistent with the ratio reported in the PGs literature (i.e., 20 to 30% of alexithymic among PGs)(Loas, Fremaux, Otmani, & Verrier, 1995; Loas, Otmani, Verrier, & Fremaux, 1995). On the remaining 20 gamblers screened only 8 participants were included in the normal control group (i.e., SOGS score equal to 0, TAS-20 score equal to or lower than 51, aged between 21 and 50, $M = 35.8$, $SD = 2.6$; 1 woman). All of the participants provided written consent and were tested in accordance with the national and international norms governing the use of human research participants.

b. Procedure and test materials

After obtaining the agreement of sportsbook's owners, three psychologists recruited participants and administered the assessment directly in the sportsbook. First, gamblers who accepted to participate completed the self-evaluation questionnaires and responded to a research interview. Then, participants who fulfilled the inclusion criteria (i.e., regarding to their SOGS score)(Lejoyeux, 1999; Lesieur & Blume, 1987), TAS-20 score (Taylor et al., 2003) and DSM-IV-TR criteria (2004) were invited to perform an iPad version of the IGT. It is of note that all

participants had played scratch cards, lotteries or sports betting at least once in the past year.

❖ Self-evaluation questionnaires

After answering a few socio-demographic questions, the participants were asked to complete the following self-evaluation questionnaires:

The French version of the South Oaks Gambling Screen (Lejoyeux, 1999; Lesieur & Blume, 1987) :

The SOGS is a 20-item self-report questionnaire that includes criterion measures of the counselor's judgment of patient's gambling and the DSM-III-R criteria for pathological gambling. The internal consistency is 0.86 in PGs (0.69 in the general population), the sensitivity rate is 0.94 and the specificity rate is 0.99 (in both the general population and in PGs).

The French version of the Toronto Alexithymia Scale (TAS-20) (Bagby et al., 1994; Loas et al., 1995, 1996)

The TAS-20 is the most frequently used scale in assessing alexithymia. It has a three-factor structure: difficulty identifying feelings, difficulty describing feelings and externally oriented thinking. It contains 20 items that are rated on a 5-point Likert scale (ranging from strongly disagree to strongly agree). Like the English version, the French version has good psychometric properties: its sensitivity rate is 0.45, its specificity rate is 0.93 and its predictive value is 0.93. TAS-20 scores allow for the identification of alexithymic (scores of 61 or more) and non-alexithymic individuals (scores less than or equal to 51).

The French version of the Hospital Anxiety and Depression Scale (HAD) (Lépine et al., 1985; Snaith, 2003):

We used the HAD to control for the effect of anxiety-depression on decision-making performance. The HAD is a 14-item self-report scale that assesses two dimensions of psychological distress: anxiety (7 items) and depression (7 items). Widely used in research, the HAD possesses good psychometrics qualities (Bjelland, Dahl, Haug, & Neckelmann, 2002): internal consistency is 0.83 for

anxiety and 0.82 for depression. Sensitivity and specificity for both depression and anxiety is approximately 0.90.

❖ *Research interviews*

To confirm the data obtained with the SOGS, which is prone to false positives in the general population (Stinchfield, 2002), we conducted a research interview with each participant. During this semi-structured interview, we assessed pathological gambling by asking each participant ten questions with binary response options (yes/no). Following the DSM-IV-TR criteria (2004), a cut-off score of five indicates a diagnosis of pathological gambling.

To assess possible alcohol dependence we conducted a semi-structured interview using DSM-IV-TR criteria (2004). Following these seven criteria, a score superior to 3 indicates alcohol dependence, a score between 1 and 3 indicates alcohol abuse and a score equal to 0 indicates no alcohol abuse. One out of the 6 non-alexithymic PGs was dependent (meeting 5 criteria), one out of the 6 alexithymic PGs presented alcohol abuse (meeting 1 criterion), one out of the 8 possible alexithymic PGs was dependent (meeting 6 criteria), while none of the control had any problem. We report no differences in alcohol consumption between each group ($\chi^2 = 5.9$; $df = 6$; $P = 0.43$).

❖ *The Iowa Gambling Task*

All participants completed an iPad version of the IGT (see Figure 42), which was adapted from Bechara et al.'s study (2000). In this task, the participants were instructed to win as much play money as possible by picking among four decks of cards (A, B, C, and D). Participants chose one card at a time using the iPad's touch-sensitive screen. The feedback following each selection reveals either a net gain (e.g., "+ \$10; - \$0") or a net loss (e.g., "+ \$6; - \$25"). The gain-loss schedule differed among the decks, leading either to a positive payoff or a negative payoff for every ten selections. Thus, participants had to learn to endorse the profitable but unattractive decks C and D (as they entailed low gains and unforeseeable low losses) while withdrawing from the attractive but unprofitable decks A and B (as they entailed large gains but unforeseeable large losses). A horizontal bar on the top of the iPad's screen depicted the total of amount won during the task. The task ended after 100 card selections and lasted approximately 15 minutes.

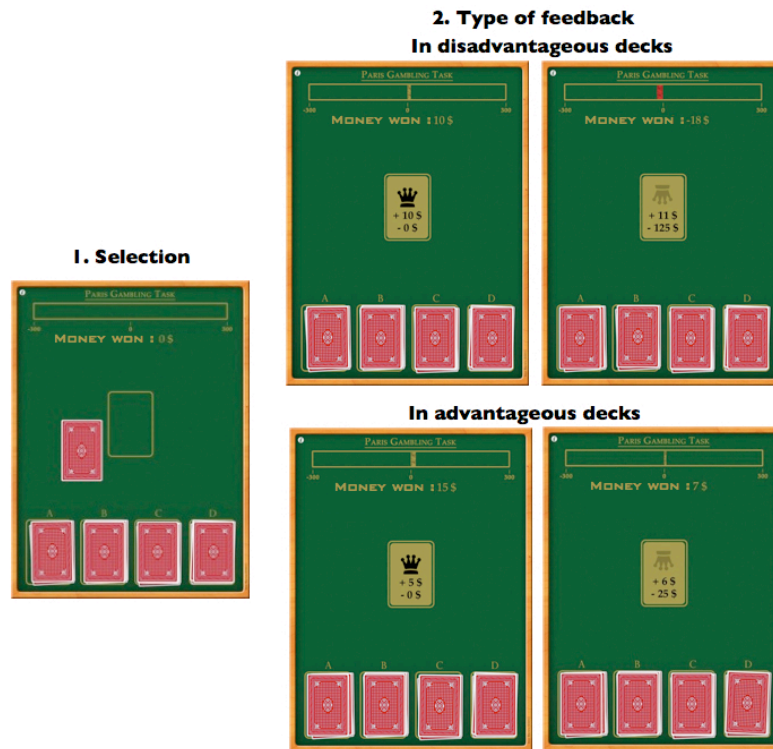


Figure 42 : Procedure used in the iPad version of the Iowa Gambling Task. Examples of cards selected (1) either in the disadvantageous decks A & B (top) or in the advantageous decks C & D that could result in feedback (2) of either a net gain (on the left) or a net loss (on the right).

5. Results

Given the small number of participants included in each group, non-parametric (χ^2) and Mann-Whitney U tests were performed to compare the different groups.

a. Socio demographic data

There were no significant differences in the socio-demographic data of the alexithymic PGs, the possible alexithymic PGs, the non-alexithymic PGs and the normal controls (all P s > 0.1). For the general sample, the mean age was 37.03 (SD = 10.22, all P s > 0.1); no sex differences were observed ($\chi^2 = 1.43$; $df = 3$; $P = 0.7$); 61% of the sample worked full-time ($\chi^2 = 6.82$; $df = 6$; $P = 0.33$); and 43% were married or

part of a live-in couple ($\chi^2 = 0.61$; $df = 6$; $P = 0.99$). The sociodemographic data of our participants are consistent with the French pathological gamblers profile described in the literature (Costes, Pousset, Eroukmanoff, & Le Nezet, 2011; Gall-Bronnec, Bouju, Landréat-Guillou, & Vénisse, 2010)

b. South Oaks Gambling Screen

All participants in the normal control group obtained a SOGS score of 0, and all participants in the PGs groups (alexithymic, possible alexithymic or not) had a SOGS score of 5 or more (see Table 1). There was no significant difference on SOGS scores between non-alexithymic PGs and possible alexithymic PGs ($U = 16.5$, $P = 0.3$), between possible alexithymic PGs and alexithymic PGs ($U = 21.5$, $P = 0.75$) and between non-alexithymic PGs and alexithymic PGs ($U = 14$, $P = 0.52$). SOGS scores were highly correlated with the DSM-IV-TR criteria for pathological gambling, $r_{(28)} = 0.91$, $P < 0.005$.

c. Toronto Alexithymia Scale-20

There were no significant differences between the normal control group and the non-alexithymic PG group in TAS-20 scores or in the subscale scores (see Table 1, all $P_s > 0.1$). Conversely, the possible alexithymic PGs group had TAS-20 scores that were higher than non the alexithymic PGs group ($P < 0.05$) but no differences were reported on subscale scores (i.e., respectively: $U = 9$, $P = 0.05$; $U = 14$, $P = 0.19$ and $U = 11.5$, $P = 0.1$ for difficulty identifying feelings, difficulty describing feelings and externally oriented thinking scores) while the alexithymic PGs group had both TAS-20 scores and subscales scores that were higher than those of the non-alexithymic PGs group (all $P_s < 0.05$). Alexithymic PGs scored higher on TAS-20 scores, identifying feelings, difficulty describing feelings than possible alexithymic PGs (all $P_s < 0.05$) but there was no significant difference between the two groups on the externally oriented thinking subscale score ($U = 20$, $P = 0.6$). Similarly, the alexithymic PG group obtained a TAS-20 score, a difficulty identifying feelings subscale score and a difficulty describing feelings subscale score that were higher than those of the normal control group (all $P_s < 0.05$) but there was no significant

difference between the two groups on the externally oriented thinking subscale score ($U = 11.5$, $P = 0.1$). Finally, we note that PGs group (i.e., both alexithymic, possible alexithymic and non-alexithymic PGs) differentiate from the normal controls group as the former had a higher score on TAS-20 scores and difficulty describing feelings subscale (all P s < 0.05).

Table 1: Psychopathological data from alexithymic PGs, possible alexithymic PGs, non-alexithymic PGs and normal controls

	Alexithymic PGs		Possible alexithymic PGs		Non alexithymic PGs		Normal controls	
	(n = 6)		(n = 8)		(n = 6)		(n = 8)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
SOGS	7.2	2.6	6.6	2.2	7.5	1.4	0	0
TAS-20	69	6.8	55.1	3.4	43.3	5.9	43.4	7.6
TAS I.E.	18	2.3	14.1	2.7	10.3	3.4	12.2	3.8
TAS D.S.	26	3.8	17.3	3.7	13	5.6	11.5	2.4
TAS P.O.	25	2.8	23.6	3.1	20	5.6	19.6	5.9
HAD	14	4.9	10.5	3.3	12.2	3.4	8.5	2.9

PGs: pathological gamblers; SD: standard deviation; SOGS: South Oaks Gambling Screen; TAS-20: Toronto Alexithymia Scale; TAS I.E.: identifying feelings subscale; TAS D.S.: difficulty describing feeling subscale; TAS P.O.: externally oriented thinking subscale; HAD: Hospital Anxiety and Depression Scale.

d. *The Hospital Anxiety and Depression Scale*

There was no significant difference between the alexithymic PG group, the possible alexithymic PGs group and the non-alexithymic PGs group with regard to HAD scores (see Table 1, all P s > 0.1). Both non alexithymic and alexithymic PGs groups had a HAD score that was higher than that of the normal control group (all P s < 0.05), whereas we report no differences between possible alexithymic PGs and normal controls ($U = 20$; $P = 0.21$).

e. IGT Score

To evaluate the participants' decision-making performance, we computed a global IGT score for each participant by subtracting the total number of cards selected from the unprofitable decks from the total number of cards selected from the profitable decks [(C+D) – (A+B)]. To test appropriately the potential correlation between the scores on the TAS-20 and the IGT scores we conducted a first analyze on the total sample of PGs recruited, including PGs with possible alexithymia (i.e., 6 alexithymic PGs, 6 non alexithymic PGs and 8 possible alexithymic PGs). Critically, TAS-20 scores were significantly correlated with the IGT scores $r_{(18)} = -0.45$, $P < 0.05$ (see Figure 43) and this correlation persisted even when the effect of anxiety-depression was controlled for, $r_{(17)} = -0.44$; $P < 0.05$.

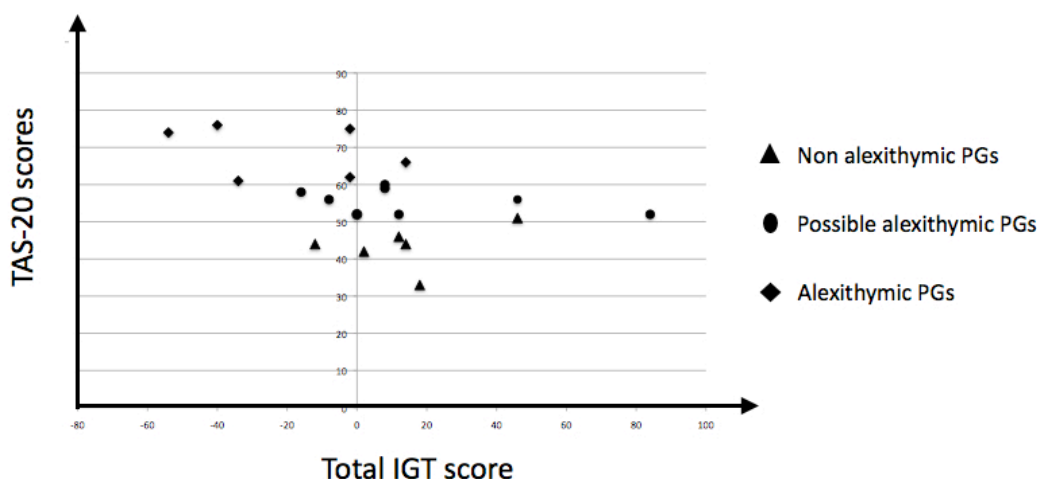


Figure 43 : Scatter-plot showing the correlation between the TAS-20 scores and the IGT scores on the twenty PGs sample $r_{(18)} = -0.45$, $P < 0.05$. Diamonds represent alexithymic PGs, circles represent possible alexithymic PGs and triangles represent non-alexithymic PGs.

Finally, to directly contrast alexithymic and non-alexithymic PGs, the following analyze was conducted on each separate sub-group (i.e., alexithymic PGs, non-alexithymic PGs, and control participants). Note that using a stem and leaf plot procedure (i.e., SPSS software), one participant of the non-alexithymic PGs was excluded from this analyze for atypical performance (i.e., global IGT score equal to 46). Alexithymic PGs ($M = -19.7$, $SD = 26.7$) scored lower on the IGT than both the non-alexithymic PGs ($M = 6.8$, $SD = 12$), $U = 5.5$, $P < 0.05$ (one-tailed), $d = -1.28$, and the control participants ($M = 21.5$, $SD = 29.2$), $U = 8$, $P < 0.05$, $d = -1.47$ (see

Figure 44). Conversely, there were no significant difference between the non-alexithymic PGs and the control group, $U = 16$, $P = 0.56$, $d = 0.67$.

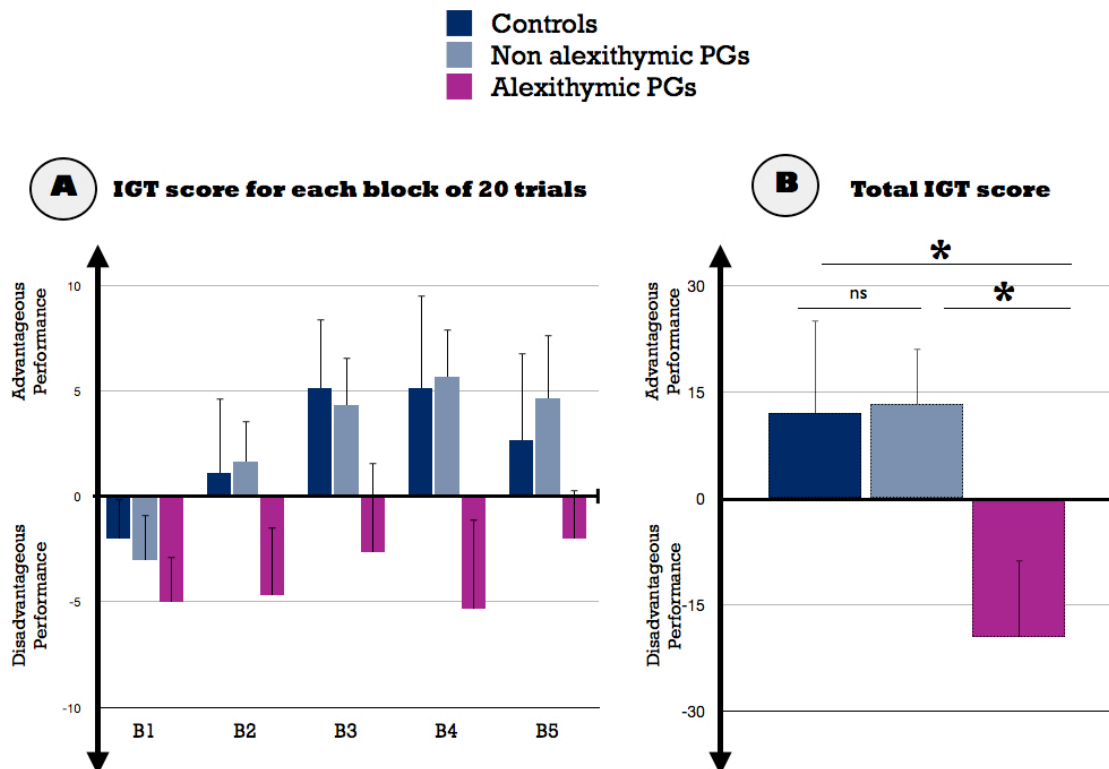


Figure 44 : A) Net scores on the Iowa Gambling Task calculated for each block of 20 trials and B) Net global score calculated from the 100 card selections of the Iowa Gambling Task in the normal control group, the non-alexithymic PG group and the alexithymic PG group. Error bars denote the SEM. * $P < 0.05$ for the Mann Whitney U Test.

6. Discussion

The goal of the present study was to determine whether alexithymia might in part explain PGs' decision-making difficulties. In agreement with previous studies conducted in alexithymic participants without gambling addictions (Ferguson et al., 2009; Kano et al., 2011), we found evidence that alexithymic participants choose disadvantageously in the IGT as compared to non-alexithymic participants. Consistent with Kano et al.'s conclusion (2011), we wish to argue that alexithymics' difficulty in withdrawing from attractive but unprofitable options originates from their difficulty with using somatic states to guide their decisions. Critically, we did not find this sub-optimal performance in non-alexithymic PGs, who learned to endorse the advantageous options. Therefore, the present findings suggest that the decision-

making deficit usually reported in PGs, might be driven by alexithymia, rather than pathological gambling per se (Brand et al., 2005; Cavedini et al., 2002; Goudriaan et al., 2005, 2006).

In addition, these results underline the existence of a sub-group of PGs (i.e., the non-alexithymic PG group) that has effective decision-making abilities similar to those of healthy participants. Studies conducted on other addictions provided similar evidence: a sub-group of substance dependent individuals (SDI) performed normally on the IGT as opposed to the majority of SDI (Bechara & Damasio, 2002; Bechara, Dolan, Hindes, 2002). Critically, difference between the two sub-groups of SDI might be related to difference in affective personality traits (i.e., as measured by the psychopathy level of the participants). Taken together, these results suggest (i) that emotional processes play a key role in decision-making under ambiguity and (ii) that differences in affective personality traits could explain differences in sub-groups of dependent individuals (i.e., regardless of the nature of the dependence).

We note that while depression is considered to influence alexithymia levels (Farges et al., 2003, 2004) we did not find any significant difference between the levels of anxiety-depression in our different PGs sub-group. Consistent with other studies (Honkalampi et al., 2001; Luminet, Bagby, Taylor, & Graeme, 2001; Sexton, Sunday, Hurt, & Halmi, 1998) alexithymia appears to be a stable trait of personality rather than a phenomenon related to depression. The present data underline the existence of comorbidity in PGs, showing high levels of anxiety-depression in alexithymic and non-alexithymic PGs groups (Lorains et al., 2011). Despite the known deleterious impact of anxiety-depression on decision-making abilities (Schmitt, Brinkley, & Newman, 1999; Murphy, Rubinsztein, & Michael, 2001), anxiety-depression is unlikely to account for the decision-making deficit reported in the present study for the alexithymic PG group, as each PG group had equivalent anxiety-depression levels but exhibited different decision-making performances.

As the experiment took directly place in Sportsbooks, one could also question the possible influence of alcohol dependence or consumption on decision-making performances. However, given (i) the absence of differences in alcohol consumption between each group and (ii) that every participant was assessed in the same condition (i.e., same place and time) it is unlikely that the differences observed in IGT

performances resulted from alcohol consumption. That said, further research is needed to more systematically control for other factors that could impact decision making, such as substance use disorders (Goudriaan et al., 2005; Bechara & Damasio, 2002, Bechara et al., 2002).

We acknowledge that these results are preliminary, given the limited number of recruited participants. However, it is of note that most of the previous research has been conducted in addiction units and, thereby, involved a specific sample of treatment-seeking PGs (Goudriaan et al., 2005, 2006). On the contrary, the present study was conducted in an ecologic setting (Roca et al., 2008), offering critical distinctions between PGs (i.e., alexithymic or not) and also with normal controls that gamble from time to time. Nonetheless, we acknowledge that this ecological setting constrained the inclusion of normal control that were recreational non-problem gamblers which might have masked some subtle decision-making deficits in the non-alexithymic PGs reported in this study. Future studies would be needed to directly compare decision-making under ambiguity abilities between recreational or frequent non-problem gamblers and non-gamblers healthy participants.

In conclusion, using the IGT, the present study provides for the first time behavioral evidence that alexithymia is a key factor in understanding the decision-making deficit of PGs. Additional studies using neuroimaging techniques should reveal complementary neurobiological insights about the underlying emotional mechanisms at play in the decision-making deficit of alexithymic PGs.

ETUDE N°2: LA CONGRUENCE DU CONTEXTE EMOTIONNEL AVEC LES FEEDBACKS INFLUENCE LA PRISE DE DECISION SOUS AMBIGUÏTE : UNE NOUVELLE PREUVE DE L'HYPOTHESE DES MARQUEURS SOMATIQUES

Aïte, A., Borst, G., Moutier, S., Varescon, I., Brown, I., Houdé, O., & Cassotti, M. (2013). Impact of emotional context congruency on decision making under ambiguity. *Emotion*, 13(2), 177–82. doi:10.1037/a0031345

1. Résumé en français

L'HMS accorde aux émotions intégrales (i.e., les émotions en réponse aux feedbacks) un rôle déterminant dans les situations de prise de décision sous ambiguïté (Bechara et al., 2000 ; Damasio, 1994). Les différences comportementales et physiologiques entre différentes populations de patients cérébro-lésés viennent confirmer en partie cette hypothèse. Ainsi, la réactivité émotionnelle primaire (i.e., RED en réponse aux gains et aux pertes) est préservée chez les patients CPFVM qui présentent une « myopie du futur » dans l'IGT alors que leur réactivité émotionnelle secondaire est altérée (i.e., absence de RED anticipatrice avant les tas désavantageux) ce qui démontre le rôle primordial de ce signal émotionnel dans la prise de décision sous ambiguïté (Bechara et al., 1994, 1997). La réactivité émotionnelle secondaire, qui nécessite dans un premier temps une réactivité émotionnelle primaire fonctionnelle, est d'autant plus importante qu'elle corrèle avec la performance avantageuse chez les individus sains (Carter & Pasqualini, 2004). Toutefois, les difficultés d'interprétation de la RED, du fait notamment qu'elle ne constitue qu'une mesure indirecte des réactions émotionnelles des participants, ont poussé certains chercheurs à remettre en cause le rôle des marqueurs somatiques dans la prise de décision sous ambiguïté (e.g., Tomb et al., 2002). Dès lors, l'objectif de cette étude est de manipuler directement le contexte émotionnel lié aux feedbacks pour déterminer si ce contexte affecte la capacité à prendre des décisions avantageuses dans une

situation d'ambiguïté. Si ce contexte affecte la capacité à prendre des décisions avantageuses, nous aurons une preuve directe que la prise de décision sous ambiguïté repose sur la mise en place d'un signal émotionnel.

Certaines études ont par le passé testé l'effet de la labellisation émotionnelle des options (i.e., des tas) de l'IGT en fonction de leur caractère avantageux ou non (Davies & Turnbull, 2011; Hinson, Whitney, Holben, & Wirick, 2006). Par exemple, dans une version modifiée de l'IGT, Davies & Turnbull (2011) associent des images à fort contenu émotionnel avec le caractère avantageux ou non des options (i.e., des tas) dans le but d'évaluer dans quelle mesure la congruence (ou l'incongruence) des images avec le caractère avantageux ou désavantageux des tas, influence la performance des individus. Si l'incongruence entre le contexte émotionnel et le caractère avantageux des tas a un effet délétère sur les scores à l'IGT, la congruence ne semble pas améliorer la prise de décision des participants. Bien que ces résultats démontrent en partie le rôle des processus émotionnels dans l'IGT, ce paradigme expérimental ne permet pas d'étudier spécifiquement le développement du signal émotionnel intégral (i.e., développement des marqueurs somatiques en réponse aux feedbacks de gains et de pertes) dans l'IGT.

Afin de déterminer si la prise de décision sous ambiguïté repose sur le développement d'un signal émotionnel (marqueurs somatiques) en réponse aux feedbacks, nous avons créé une nouvelle version de l'IGT dans laquelle le contexte émotionnel associé aux feedbacks est systématiquement manipulé par la présentation de stimuli à contenu émotionnel après chaque feedback. En accord avec la littérature (Lerner & Keltner, 2001), nous avons présenté des visages de joie pour générer un comportement d'approche et des visages de peur pour générer un comportement de retrait (issues des NimStim de Tottenham et al., 2009). Cinquante neuf sujets adultes répartis aléatoirement dans les conditions expérimentales suivantes ont participé à notre expérience : un groupe congruent (i.e., image de joie après un gain et image de peur après une perte); un groupe incongruent (i.e., image de peur après un gain et image de joie après une perte) et un groupe contrôle (i.e., sans images).

En accord avec l'HMS qui suppose le développement d'un signal émotionnel intégral en réponse aux feedbacks, critique pour choisir avantageusement, les participants choisissent de manière plus avantageuse dans le groupe congruent que dans le

groupe contrôle alors que le groupe incongruent choisit de manière désavantageuse tout au long de la tâche. Conformément aux précédentes études, ces résultats démontrent l'impact d'un contexte émotionnel sur les performances à l'IGT (Davies & Turnbull, 2011; Hinson et al., 2006). De surcroît, ces résultats sont à notre connaissance les premiers à montrer une amélioration des performances dans le cas d'un contexte émotionnel congruent avec les feedbacks. En conclusion, nos données étayaient l'HMS, montrant qu'un contexte émotionnel congruent semble faciliter la prise de décision sous ambiguïté (contrairement à un contexte incongruent) en renforçant probablement les marqueurs somatiques.

2. Abstract

In this study, we tested the *somatic marker hypothesis* (SMH) by using an adaptation of the Iowa Gambling Task (IGT) in which the emotional context associated with primary inducers was systematically manipulated. In this modified version of the IGT, a picture of either a happy face or a fearful face was presented after each feedback. Critically, the expression of the face was either congruent or incongruent with the feedback delivered. Analyses of participants' choices revealed that the congruency of the emotional context with the feedback affects performance on the IGT: the ability to choose advantageously increases when the emotional context is congruent with feedback (i.e., happy faces after rewards and fearful ones after punishments), whereas this ability is impaired with an incongruent emotional context (i.e., fearful faces after rewards and happy faces after punishments). These findings provide evidence that decision making under ambiguity is driven by emotion-related signals, as postulated by the SMH.

Keywords: somatic marker hypothesis, Iowa Gambling Task, emotional context, decision making under ambiguity

3. Introduction

According to the *somatic marker hypothesis (SMH)* (Bechara, Damasio, & Damasio, 2000; Damasio, 1994), patients with injuries to neural structures related to emotional processes present poor decision-making ability in their daily life because emotion-related signals drive decision making in situations of uncertainty. Indeed, somatic responses to the environment (so-called *somatic markers*) help individuals to choose among options by labeling these options “bad” or “good”. Somatic markers can be triggered by either *primary inducers* or *secondary inducers*, recruiting the amygdala and the ventromedial prefrontal cortex (VMPFC), respectively. Primary inducers refer to “innate or learned stimuli that cause pleasurable or aversive states”, whereas secondary inducers refer to “entities generated by the recall of a personal or hypothetical emotional event, i.e., ‘thoughts’ and ‘memories’ of the primary inducer” (Bechara & Damasio, 2005, pp 340).

Empirical support for the SMH is primarily collected through the Iowa Gambling Task (IGT), a task designed to mimic the ambiguity of daily-life situations (Bechara, Damasio, Damasio, & Anderson, 1994). In this task, participants are invited to select a card from four possible decks (labeled A, B, C, or D) for each trial. Each card is associated with a win and a loss that could result either in a reward (i.e., when the loss is equal to 0 it results in a net gain) or a punishment (i.e., when the loss outweighs the gain it results in a net loss). Participants are instructed to win as much money as possible during the task. To solve the task successfully, participants must progressively learn to avoid (or inhibit, Houdé, 2000) disadvantageous but attractive decks (A, B) and favor advantageous but less attractive decks (C, D) on the basis of the rewards and punishments delivered after each card selection.

Converging evidences demonstrate that neurological patients with VMPFC or amygdala damage fail to avoid disadvantageous decks during the course of the task, as opposed to healthy control participants, who gradually learn to choose advantageously (Bechara et al., 1994; Bechara, Tranel, Damasio, & Damasio, 1996; Bechara et al., 2000 a,b; Cassotti, Houdé, & Moutier, 2011). In addition, healthy participants generate skin conductance responses (SCRs) after a reward or a punishment and display progressively higher anticipatory SCRs before selecting a card in disadvantageous decks than in advantageous decks (Bechara & Damasio,

2005). These findings confirm that emotion-related signals (i.e., somatic markers) gradually allow one to avoid disadvantageous choices and to choose advantageously. As opposed to healthy participants, both amygdala and VMPFC patients fail to generate anticipatory SCRs during the IGT. Interestingly, VMPFC patients display SCRs after rewards or punishments, but patients with amygdala lesions do not. Interpreted within the framework of the SMH, these data suggest that VMPFC patients fail to re-activate the emotional responses (i.e., secondary inducers) associated with previous rewards and punishments received, whereas amygdala patients fail to develop somatic markers in response to primary inducers (i.e., emotional responses to rewards and punishments). Amygdala and VMPFC patients lack the ability to generate emotional signals in anticipation of future events and thus fail to consider the consequences of their choices, displaying a so-called “myopia for the future” (Bechara et al., 1994, p. 14).

Although the anticipatory SCRs seem to strongly support the SMH, some studies have recently proposed alternative interpretations for this phenomenon. For instance, Tomb, Hauser, Deldin and Caramazza (2002) argue that anticipatory SCRs, observed in healthy participants before selecting a card in disadvantageous decks, could be elicited by differences in the properties of the decks beyond their advantageous or disadvantageous nature. Indeed, disadvantageous decks in the IGT are characterized by a greater magnitude of reward/punishment than advantageous decks. Thus, SCRs might reflect participants’ expectations of higher rewards (or punishments) rather than emotion-related signals. In fact, participants displayed higher anticipatory SCRs before advantageous selection in a modified version of the IGT, in which greater rewards/punishments were received in advantageous decks than in disadvantageous ones.

These discrepancies reported on SCRs underscore the need to design experiments in which the influence of emotional processes in the IGT is directly addressed. To date few studies have investigated how pre-existing affective biases modulate emotion-based learning in the IGT (Hinson, Whitney, Holben, & Wirick, 2006; Davies & Turnbull, 2011). For instance, Davies & Turnbull (2011) designed a modified version of the IGT in which emotionally salient pictures were associated with each deck to determine whether the congruency of emotional labels with the decks’ payoff values (i.e., advantageous or disadvantageous) affects behavior in the

IGT. Critically, an incongruency between the emotional labels and the decks' payoff values impaired participants' performance while a congruent one had no significant impact on their performance. Although these results provide evidence that pre-existing affective biases associated with the decks' payoff values affect decision making, they say nothing on the role of emotional responses to rewards and punishments in decision-making processes (i.e., the role of somatic markers). Thus, in the present study, we aimed to test the SMH by using an adaptation of the IGT in which the emotional context associated with primary inducers was systematically manipulated. In this new version of the IGT, a picture of a face with either a positive or a negative expression (Tottenham et al., 2009) was presented after each feedback. Critically, the emotional context (i.e., the emotional valence of the face's expression) was either congruent or incongruent with the feedback delivered. In the congruent emotional context condition, happy faces were presented after rewards and fearful faces after punishments. In the incongruent emotional context condition, happy faces were associated with punishments and fearful faces with rewards. We reasoned that if choosing cards in advantageous decks relies on emotion-based learning, as posited by the SMH, then the manipulation of the emotional context should have an effect on participants' performance in the IGT compared with a control condition with no emotional context (i.e., no face presented after the feedback). In particular, an emotional context congruent with the feedback should improve performance by facilitating the creation of somatic markers, whereas an emotional context incongruent with the feedback should impair performance by interfering with the creation of somatic markers.

If the IGT does not rely on emotion-based learning, we expect no effect on participants' performance of the congruency of the emotional context with the feedback.

4. Method

a. Participants

Fifty-nine undergraduates from Paris Descartes University participated in this study (18 men, mean age = 19.5, SD = 3.6). Each participant was randomly assigned to one of the three experimental conditions: congruent emotional context ($n = 21$; 6 men), incongruent emotional context ($n = 20$; 6 men), and a control group with no emotional context ($n = 18$; 4 men). All of the participants provided written consent and were tested in accordance with national and international norms governing the use of human research participants.

b. Materials and procedure

All participants performed an iPad version of the IGT (See Figure 45) adapted from Bechara et al. (2000). In this task, four decks of cards (A, B, C, and D) were presented on the iPad's screen. On each trial, participants chose one card from one of the four decks using the iPad's touch-sensitive screen. After each card selection, the card flipped to reveal the feedback that could be either a reward when the amount of money won was combined to a loss equal to 0 (e.g., win \$8 combined with a \$0 loss) or a punishment when the amount of money won was smaller than the amount lost (e.g., win \$9 combined with a \$35 loss) (See Figure 45). Note that two modifications were made in the present version of the IGT in comparison to the original one: (a) the absolute amounts of wins and losses were reduced by a factor of 10 while preserving the relative proportions of wins and losses (see Cassotti et al., 2011) and (b) we deleted all neutral trials to maintain an identical gain-loss frequency schedule between advantageous and disadvantageous decks during the entire task (Lin, Chiu, & Huang, 2009; see also Aïte et al., 2012). Thus, decks A and B were disadvantageous in the long run because they were associated with large rewards (gains ranging from \$8 to \$12 leading to a cumulative gain of \$100 every 10 cards) but unpredictable large punishments (losses ranging from \$15 to \$125 leading to a cumulative loss of \$125 every 10 cards). Decks C and D were advantageous in the long run because they were characterized by low rewards (gains ranging from \$3 to \$7 leading to a cumulative gain of \$50 every 10 selections) but unpredictable low punishments

(losses ranging from \$5 to \$25 leading to a cumulative loss of \$25 every 10 selections). A horizontal bar on the top of the iPad's screen displayed the amount of money won. The task ended after 80 card selections and lasted approximately 15 minutes.

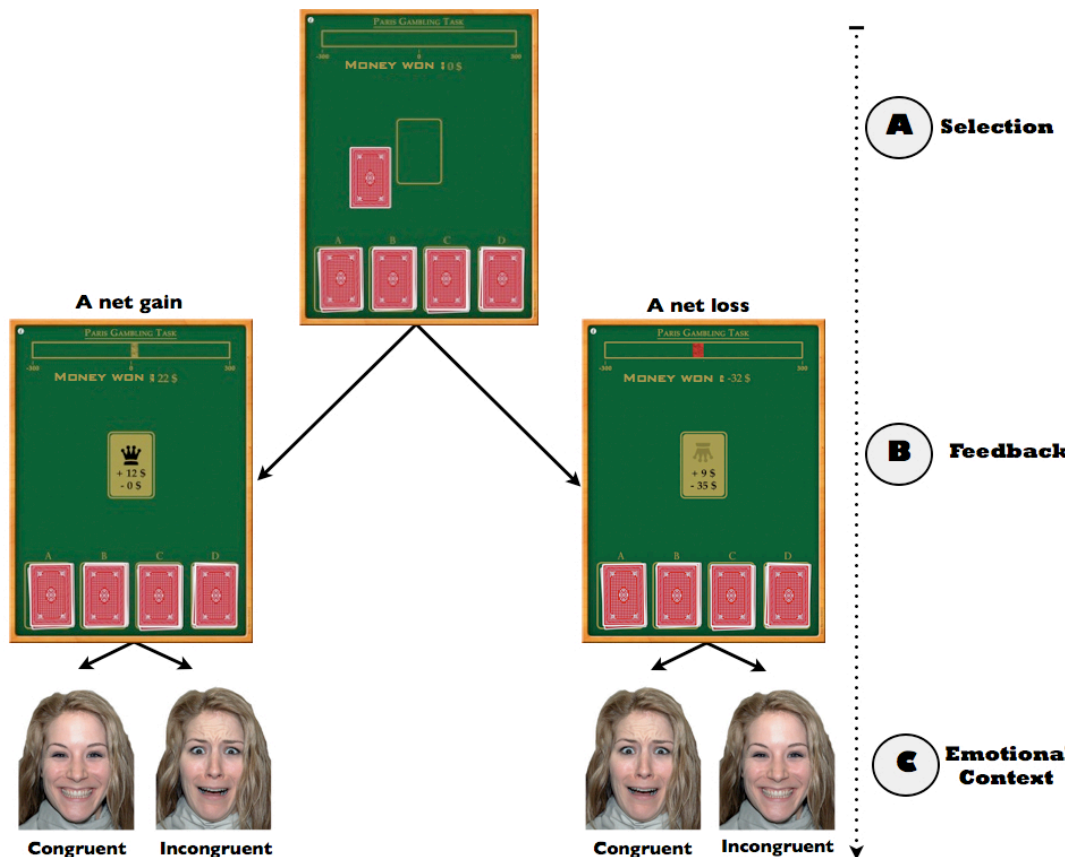


Figure 45 : Procedure used in the modified version of the Iowa Gambling Task. (A) In an example of cards selected in the disadvantageous Deck A, the card flips to reveal the feedback, either (B, left) a net gain or (B, right) a net loss. Then, (C) a face is presented with different facial expressions, depending on the emotional context condition. Note that no face is presented following the feedback in the control condition.

In the incongruent and congruent emotional context conditions, after the feedback that followed each card selection, a face was displayed on the center of the screen for 1000 ms. We selected two version of each of 20 validated pictures of faces (9 females and 11 males of different ethnicities) from the NimStim set of facial expressions for which the emotions were correctly identified by over 70% of participants (Tottenham et al., 2009); one version for the fearful expression and one for the happy expression. Previous behavioral studies using the NimStim set of facial expressions have demonstrated that these emotional stimuli increase the emotional arousal of participants (e.g., Adolph & Alpers, 2010). On a more general note, presentation of emotional faces elicits more activation in the amygdala than the

presentation of neutral faces suggesting that emotions can be triggered by the presentation of emotional faces (Gupta, Kosciak, Bechara, & Tranel, 2011; Vuilleumier & Driver, 2007). Moreover, different facial expressions elicit different level of neural activity in the human amygdala (Morris, Öhman, & Dolan, 1998; Whalen et al., 1998) and damage to the amygdala impairs the recognition of facial expressions (Adolphs, Tranel, Damasio, & Damasio, 1994). In addition, to reinforce emotional responses to rewards and punishments we chose happiness and fear as previous researches have demonstrated that the former elicits approach responses whereas the latter elicits avoidance responses (e.g., Adams, Ambady, Macrae, & Kleck, 2006; Lerner & Keltner, 2001). Association of a face to each card selection was pseudo-randomized. In the congruent emotional context condition, happy faces were displayed after rewards and fearful faces after punishments. In the incongruent emotional context condition, fearful faces were displayed after rewards and happy faces after punishments. Note that in both emotional contexts (i.e., congruent and incongruent) the same faces were presented, thus any effect on the participants' performance in the IGT are unlikely to reflect the effect of the ethnicity of the face – a variable known to affect decision-making processes (see Davies & Turnbull, 2011). In other words, all participants were submitted to the same faces although the order of apparition of these faces was function of the experimental condition and the card selection of the participant. In the control condition, no faces were presented after the feedback.

5. Results

Standard IGT Score

Consistent with previous studies, we computed net scores for blocks of 20 trials by subtracting the number of card selections in disadvantageous decks from the number of card selections in advantageous decks $[(C+D) - (A+B)]$. A negative score indicates that participants preferred the disadvantageous decks (more card selections in decks A and B), whereas a positive score indicates that participants preferred the advantageous decks (more card selections in decks C and D). A 3 (experimental condition: congruent emotional context, incongruent emotional context, and control) x 4 (block: block 1, 2, 3, 4) mixed-design analysis of variance revealed that advantageous choices in the different blocks varied in the function of the emotional

context, as demonstrated by a significant two-way interaction, $F(6, 168) = 2.81$; $p < .05$, $\eta^2 = .09$.

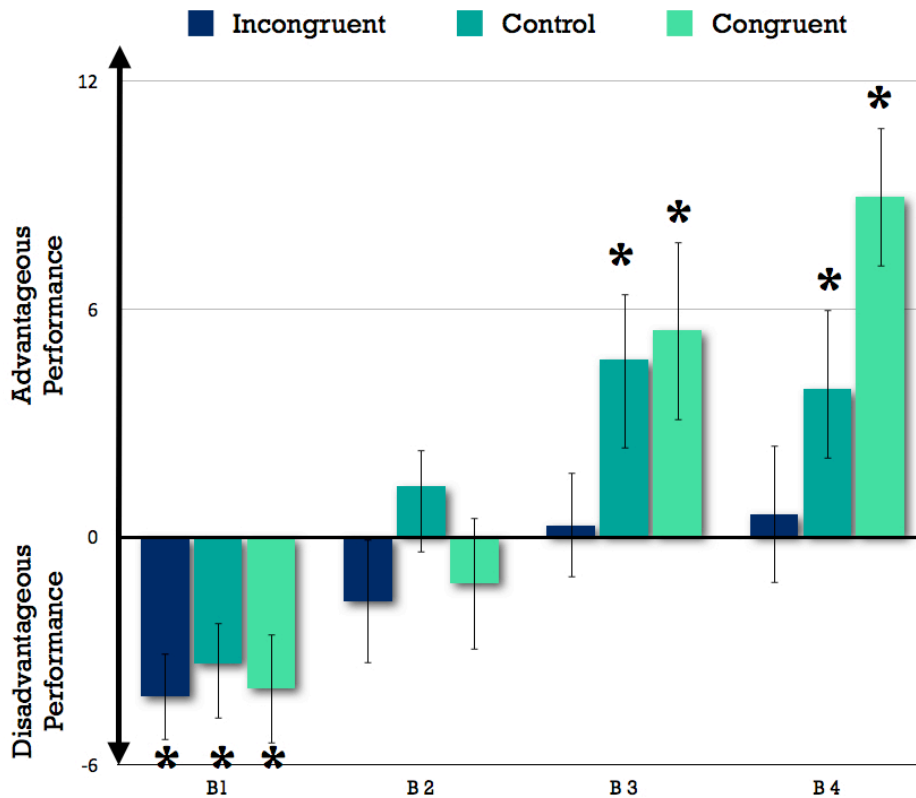


Figure 46 : Net scores on the Iowa Gambling Task in the congruent emotional context, the incongruent emotional context and the control groups in the four blocks of 20 card selections. Error bars denote the SEM. * $p < .05$ for one-sample t tests.

Planned comparisons revealed that participants' performance did not differ in the three groups on the first block of trials, (see Figure 46, all $ps > .20$). One-sample t-tests indicated that participants chose disadvantageously on the first block in all three conditions: for the incongruent group, $M = -4.2$, $SD = 5.1$, $t(19) = 3.65$, $p < .001$, $d = 1.67$; for the congruent group, $M = -4$, $SD = 6.5$, $t(20) = 2.81$, $p < .05$, $d = 1.26$; and for the control group, $M = -3.3$, $SD = 4.5$, $t(17) = 3.11$, $p < .005$, $d = 1.51$. In addition, the three groups achieved different performance on the last block of trials. The participants' performance was better in the congruent group ($M = 8.9$, $SD = 8.2$) than in the incongruent group ($M = 0.6$, $SD = 8.1$), $t(39) = 3.26$, $p < .005$, $d = 1.04$ and the control group ($M = 3.8$, $SD = 8.8$), $t(37) = 1.85$, $p < .05$, $d = 0.61$, but there was no significant difference between the control group and the incongruent group, $t(36) = 1.19$, $p = .12$. However, we note (a) that participants on the last block of items

chose advantageously in the congruent emotional context group and the control group as revealed by one-sample t-tests, $t(20) = 4.98$, $p < .0001$, $d = 2.23$ and $t(17) = 1.86$, $p < .05$, $d = .90$, respectively, and (b) that participants in the incongruent group exhibited no preference for the advantageous decks in all four blocks of trials, all $ps > .20$. Finally, post-hoc comparisons (i.e., Tukey's HSD test) revealed that the congruent group and the control group improved their performance from the first block to the last block of trials, $p < .00005$, $d = 1.74$; $p < .05$, $d = 1.03$, respectively, unlike the incongruent group, $p = .27$.

6. Discussion

The present study aimed to determine whether somatic markers are the underlying process by which individuals make decisions under ambiguity by systematically manipulating the emotional context associated with primary inducers (i.e., rewards and punishments) in the IGT. Consistent with the results reported in previous studies (Hinson, et al., 2006; Davies & Turnbull, 2011), we provided behavioral evidence that the manipulation of the emotional context in the IGT has an effect on participants decision-making abilities. However, the present study provides the first evidence that the congruency of the emotional context with feedback affects performance on the IGT. The ability to choose advantageously increases when the emotional context is congruent with the feedback (i.e., happy faces after rewards and fearful ones after punishments), whereas this ability is impaired with an incongruent emotional context (i.e., fearful faces after rewards and happy faces after punishments). We note that in the control condition without emotional context, participants showed a progressive preference for advantageous options, consistent with previous results (Bowman, Evans, & Turnbull, 2005; Cassotti & Moutier, 2010).

We argue, in line with the SMH, that the incongruent emotional context interfered with the development of somatic markers, which, in turn, impaired decision making on the IGT. Our results fit with previous findings showing that manipulation of the emotional context affects risk taking (Cassotti et al., 2012) and complex decision making under ambiguity (Davies & Turnbull, 2011). Nonetheless, given that in the current study the IGT stops after 80 card selections, one could argue

that the effect of the emotional context on decision making might be overcome with more card selections such as in the original version of the IGT. However, we note that the learning curve in the IGT reaches an asymptote on the fourth block, with no significant difference in performance reported between the fourth and the fifth blocks (Stansfield, Preston, & Bechara, 2007). That said, further researches are needed to determine whether negative bias triggered by an incongruent emotional context in decision making may be overcome with more card selection. One could argue that the incongruent emotional context impaired the learning phase of decision making by increasing working memory load. Indeed, the IGT is a complex task that may draw more upon other cognitive processes, such as the executive component of working memory, than on emotion-based learning skills (for a review, see Dunn et al., 2006). For instance, Jameson, Hinson and Whitney (2004) found that working memory load significantly disrupted both behavioral performance and the development of anticipatory SCRs in a modified version of the IGT. Nevertheless, it is unlikely that working memory load per se explains the disruptive effect of the incongruent context on decision making given that the same affective standardized pictures (i.e., faces) facilitated decision making when the emotional context was congruent with feedback delivered.

In addition, our results suggest that the influence of emotional cues -- such as tones, smiley emoticons and written feedbacks -- that could be found in some previous IGT versions should be taken into account in order to fully understand emotion-based learning in the IGT (Bowman et al., 2005). Finally, given that anger and fear have opposite effects on behaviors toward risk, respectively risk approach or risk avoidance (Lerner & Keltner, 2001), further studies are needed to determine whether emotions of similar valence affect differently emotion-based learning in the IGT.

In our view, and consistent with the SMH, the congruent emotional context facilitated emotion-based learning in decision making by reinforcing the appropriate somatic states associated with rewards and punishments. Yet, further studies measuring participants' emotional reactivity during the task (through skin conductance responses, pupil-dilation or heart rate) is necessary to determine whether the biases evidenced here originate from somatic markers' development (Crone & Van der Molen, 2007). Systematically reinforcing somatic markers by the

presentation of a congruent emotional context with feedback might offer a novel way of improving decision making under ambiguity in clinical populations. For instance, reinforcing a congruent emotional context in ambiguous situations might help pathological gamblers who are typically impaired in their decision-making ability to overcome some of the issue at the source of their addiction (Bechara, 2003; Goudriaan et al., 2005).

In conclusion, the present study provides empirical evidence that the congruency of emotional context with feedback affects decision making under ambiguity. The ability to choose advantageously improves in a congruent emotional context and decreases in an incongruent emotional context presumably via the respective effects (reinforcement vs. interference) on the development of somatic markers

ETUDE N°3 : LA PRISE DE DECISION SOUS AMBIGUÏTE EST-ELLE GUIDEE PAR LA FREQUENCE DES PERTES QUEL QU'EN SOIT LE PRIX? UNE ETUDE DEVELOPPEMENTALE UTILISANT LA SOOCHOW GAMBLING TASK

Aïte, A., Cassotti, M., Rossi, S., Poirel, N., Lubin, A., Houdé, O., & Moutier, S. (2012). Is human decision making under ambiguity guided by loss frequency regardless of the costs? A developmental study using the Soochow Gambling Task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113, 286-294. doi:10.1016/j.jecp.2012.05.008.

1. Résumé en français

L'HMS accorde un rôle crucial aux processus émotionnels dans la prise de décision sous ambiguïté, mais elle suppose également l'intervention de processus cognitifs (Reimann & Bechara, 2010). Afin de mieux définir ces processus cognitifs, la perspective développementale présente l'avantage de dissocier plus systématiquement l'influence des différents facteurs qui sont manipulés dans l'IGT sur le choix des individus. Dans l'IGT le participant - dépourvu d'information au regard des options qui lui font face - doit apprendre à choisir avantageusement par le biais des feedbacks de gains et de pertes qu'il reçoit, feedbacks qui se distinguent par leur fréquence et leur ampleur. Il est donc crucial d'évaluer quelles caractéristiques de ces feedbacks guident la prise de décision et quelles stratégies l'individu met en place en réponse à ces feedbacks. Bien qu'il existe un consensus sur le caractère lent du développement de ces capacités décisionnelles sous ambiguïté jusqu'à la fin de l'adolescence voire le début de l'âge adulte (Cassotti et al., 2011; Crone & van der Molen, 2004; Hooper et al., 2004), des questions subsistent quant aux facteurs qui guident la prise de décision sous ambiguïté. Il semble, par exemple, que chez l'enfant et l'adolescent la fréquence des pertes soit l'unique facteur qui guide leurs choix, les conduisant ainsi à une performance désavantageuse (Crone & Van der Molen, 2007; Huizenga et al., 2007). Néanmoins, une étude récente met en évidence que les adultes se focalisent également uniquement sur la fréquence des pertes pour faire leur choix dès lors qu'ils sont soumis à la *Soochow Gambling Task* - une tâche qui

permet de contraster l'influence de la fréquence des pertes et celle du caractère avantageux des différentes options proposées (Lin et al., 2009). En outre, des différences développementales fines s'observent quant aux stratégies (ou ajustements comportementaux) mis en œuvre par les participants (e.g., «je gagne-je reste» et «je perds, je change») suite aux feedbacks (Cassotti et al., 2011; Van Duijvenvoorde et al., 2011), sans pour autant déterminer le rôle précis de ces ajustements comportementaux dans le développement des capacités de prise de décision sous ambiguïté. Ainsi, notre recherche a pour objectif de mieux comprendre comment les enfants, les adolescents et les adultes choisissent progressivement de manière avantageuse dans l'IGT en étudiant plus particulièrement (1) l'influence respective de la fréquence des pertes et de leur ampleur sur les choix des participants et (2) d'évaluer le rôle des ajustements comportementaux dans l'évolution de ces choix. Pour ce faire, nous avons donc demandé à des enfants, des adolescents et des adultes de participer à une version informatisée de la Soochow Gambling Task qui contrairement à l'Iowa Gambling Task permet de contraster l'influence respective de la fréquence et de l'ampleur des pertes (Lin & al., 2009). Dans cette tâche, le sujet a pour objectif de remporter le plus d'argent possible en piochant des cartes parmi 4 tas (A, B, C & D). Les tas A & B se caractérisent par une fréquence de pertes faible (i.e. dans 20% des cas) au contraire des tas C & D qui se caractérisent par une fréquence de pertes forte (i.e. dans 80% des cas). Par ailleurs, les tas B & C sont avantageux sur le long terme (+50€) contrairement aux tas A & D qui sont désavantageux sur le long terme (-50€).

Les résultats attestent d'une nette préférence pour les tas avec une fréquence de pertes faibles (i.e., tas A & B) à la fois chez les enfants, chez les adolescents et chez les adultes. Alors que le groupe d'adultes montre une préférence pour le tas avantageux B par rapport au tas A désavantageux, aucun des trois groupes ne montre de préférence pour le tas C par rapport au tas D pourtant avantageux mais associé à des punitions fréquentes. De plus, si l'ensemble de notre échantillon met en place des stratégies de type «je gagne-je reste» et «je perds, je change», le groupe d'adulte se distingue des plus jeunes par une moindre utilisation de cette dernière, opérant alors une stratégie de type «je perds, je reste». La fréquence d'utilisation de cette stratégie «je perds, je reste» semble être critique pour choisir de manière avantageuse car, chez les adultes, elle corrèle négativement avec le nombre de sélections faites dans le

tas désavantageux A, et positivement avec le nombre de sélections faites dans le tas avantageux B.

En accord avec les études développementales précédentes, nos résultats attestent que les enfants et les adolescents semblent uniquement guidés par la fréquence des pertes (Cassotti & al, 2011; Crone & al, 2005). En revanche, contrairement aux travaux suggérant que les adultes aussi se focalisent uniquement sur la fréquence des pertes (Lin & al, 2009), nos données démontrent que les adultes parviennent également à choisir avantageusement sur le long terme mais ce uniquement lorsque la fréquence des pertes est faible (i.e., préférence pour le tas B par rapport au tas A). Notons cependant que même chez les adultes le facteur fréquence des pertes semble primer sur le facteur ampleur des pertes, puisqu'ils négligent le tas C (caractérisé par des pertes. La prépondérance d'une stratégie «je perds, je reste» chez les adultes semble témoigner de la nécessité d'inhiber une tendance à shifter après une perte (Bjorklund & Harnishfeger, 1990; Houdé, 2000) afin de permettre aux individus de dépasser l'influence unique de la fréquence des pertes et d'intégrer celui de l'ampleur pour choisir avantageusement sur le long terme.

En conclusion, nos résultats soulignent l'importance des processus cognitifs dans la prise de décision sous ambiguïté, démontrant le rôle déterminant des ajustements stratégiques faisant suite aux feedbacks pour une prise en compte non seulement de la fréquence des pertes mais aussi de leur ampleur.

2. Abstract

Converging developmental decision-making studies have demonstrated that until late adolescence, individuals prefer options for which the risk of a loss is low, regardless of the final outcome. Recent works have shown a similar inability to consider both loss frequency and final outcome among adults. The present study aimed to identify developmental changes in feedback-monitoring ability to consider both loss frequency and final outcome in decision-making under ambiguity. Children, adolescents, and adults performed an adapted version of the Soochow Gambling Task. Our results showed that children and adolescents presented an exclusive preference for options associated with infrequent punishment. In contrast, only adults seemed to consider both loss frequency and the final outcome by favoring the advantageous options when the frequency of losses was low. These findings suggest that the ability to integrate both loss frequency and final outcome develops with age. Moreover, the analysis of strategic adjustments following gains and losses reveals that adults switch less often after losses compared to children and adolescents. This finding suggests that psychological tolerance to loss may facilitate learning the characteristics of each option and improve the ability to choose advantageously.

Keywords: Gambling Task; Win-stay strategy; Loss-shift strategy; Decision-making; Development

3. Introduction

The ability to adjust behavior on the basis of the consequences of actions is central to adaptive decision-making. This is particularly true for decision-making under ambiguity, when information about outcome probabilities is missing and must be inferred from experience. Converging developmental studies have shown that feedback-monitoring ability in decision-making improves with age (Cassotti et al., 2011; Huizenga et al., 2007; van Duijvenvoorde et al., 2010). Specifically, studies have demonstrated that until late adolescence, individuals prefer options for which the risks of a loss are low, regardless of the magnitude of punishment. Recent work has shown a similar inability to consider both loss frequency and final outcome in adults' decision-making (Lin et al., 2009). The aim of the present study was to clarify developmental changes in the ability to consider both frequency of losses and final outcome in decision-making under ambiguity.

The well-known task used to assess decision-making in ambiguous circumstances is the Iowa Gambling Task (IGT), originally designed by Bechara et al., (1994) which mimics real-life decision-making. In the IGT task, individuals are invited to pick cards from four decks (A, B, C, D) to win as much money as possible. To maximize their monetary outcome, participants must avoid disadvantageous but attractive decks (A, B) and favor advantageous but less attractive decks (C, D) on the basis of positive and negative feedbacks. Although it is not obvious to the participants, decks A and B lead to an overall loss. These cards are disadvantageous in the long term because they are mostly associated with high rewards, but some of them unpredictably entail larger losses than rewards. In contrast, decks C and D are advantageous and lead to overall gains. These decks conceal smaller wins as well as smaller losses and are therefore advantageous in the long term. The four decks also differ in the frequency of punishment; two decks have a low frequency of losses (10% for decks B and D), and two decks have a medium frequency of losses (50% for decks A and C).

Many studies have shown that healthy adults gradually and implicitly learn to choose advantageously (Bechara et al., 1994; Cassotti et al., 2011; Cassotti, & Moutier, 2010; Crone, & Van der Molen, 2004; Dunn et al., 2006). Participants begin by sampling all of the decks. By the end of the task, they manage to avoid the

disadvantageous decks and primarily choose the advantageous decks. In particular, individuals progressively display higher anticipatory skin conductance responses (SCRs) before selecting disadvantageous decks compared to selecting advantageous decks (Bechara & Damasio, 2005). These findings have been interpreted as warning signals that gradually encourage the rejection of disadvantageous choices and the endorsement of advantageous choices. In line with this interpretation, neuropsychological investigations have shown deficient IGT performance and lower anticipatory SCRs in patients with amygdala or orbitofrontal cortex lesions, structures known to play key roles in providing and incorporating emotional information (Bechara & Damasio, 2005). These neurological studies have shown that patients fail to take into account the consequences of their choices and remain focused on immediate rewards, demonstrating a “myopia for the future” (Bechara et al., 1994, p. 14).

Recent child-friendly adaptations of the IGT have suggested that children and young adolescents’ inability to avoid disadvantageous choices is similar to that of orbitofrontal patients. For instance, Crone and Van der Molen (2004) demonstrated that children from 6 to 12 years old had a strong bias toward disadvantageous choices, whereas adolescents from 13 to 17 years old began to choose cards from advantageous decks, although they made more disadvantageous choices than adults. Thus, the ability to choose advantageously in the long term seems to continue to develop in late adolescence.

The IGT is a complex task, and the comparable deficit observed in both children and orbitofrontal patients may reflect impairments of different processes. In support of this idea, developmental studies have underlined that until late adolescence, the dominant strategy is to focus only on the frequency of punishment and to choose among decks with infrequent losses (Cassotti et al., 2011; Huizenga et al., 2007). In contrast to adults, who develop anticipatory-related autonomic activity prior to disadvantageous selections, higher-anticipatory SCRs were observed in adolescents preceding a choice among decks associated with frequent punishments (Crone & Van der Molen, 2007). To our knowledge, this specific sensitivity to decks with a low frequency of losses (i.e., decks B and D) has not been reported in orbitofrontal patients. Therefore, children and adolescents seem to be guided by loss frequency rather than the final outcome, and they fail to distinguish between advantageous and

disadvantageous choices.

Although the IGT is considered a valid task to assess emotional decision-making (Buelow & Suhr, 2009), some studies raise methodological issues that may have implications for the developmental pattern described above (see Dunn et al., 2006). In particular, based on a careful inspection of the gain-loss schedule of the IGT, Lin et al., (2009) indicated that the advantageous decks have significantly fewer net losses than the disadvantageous decks. Indeed, the advantageous deck C contains standoff trials (i.e., the arithmetic comparison of money received minus money lost was equal to zero), which is not the case for the disadvantageous decks. Consequently, when these standoff trials are taken into account, loss frequency in advantageous decks is lower than in disadvantageous ones. The authors developed the Soochow Gambling Task (SGT) to directly contrast the impact of loss frequency and final outcome on decision-making. This task allowed to control the asymmetric gain-loss schedule of the IGT and to manipulate two opposite loss frequencies (High *vs.* Low) and two final outcomes (Advantageous *vs.* Disadvantageous). In sharp contrast with previous results obtained using the IGT, the SGT findings revealed that adults substantially based their decisions on loss frequency rather than on final outcome. Indeed, adults not only preferred decks associated with infrequent punishment in the SGT but also failed to differentiate advantageous from disadvantageous decks. In other words, when the methodological issues of the IGT were controlled, adults did not learn to choose advantageously during the course of the task and focused on loss frequency. Critically, this response pattern was observed only in children and adolescents in developmental studies using the classical IGT (Cassotti et al., 2011). The discrepancies in these results underscore the need to focus research on the relative influence of frequency and final outcome in decision-making. To our knowledge, developmental changes have not been directly examined with the Soochow Gambling Task, which controls the asymmetric gain-loss schedule of the IGT. This lack of knowledge is regrettable considering that the results obtained by Lin et al. (2009) conflict with previous developmental investigations.

It is notable that decision-making studies have typically focused on long-term advantageous choices without considering the strategic adjustments that immediately follow gains and losses. Cassotti et al. (2011) recently showed that strategic adjustments following rewards and punishments develop with age. The most

common decision-making strategy for adolescents and adults was to continue with the same choice after a win (i.e., a “win-stay” strategy) and to shift to a new choice after a loss (i.e., a “loss-shift” strategy). However, children and adolescents had difficulties controlling a spontaneous tendency to explore the decks and switch the choice of deck following gains more frequently than adults did. The finding that adolescents used the win-stay strategy less often than adults is consistent with recent studies showing that adolescents may be more sensitive to the positive consequences of risky choices (Cauffman et al., 2010). Converging developmental neuroimaging investigations have reported that adolescents present stronger activations of the neural structures involved in reward processing, such as the nucleus accumbens and the orbitofrontal cortex (Chein et al., 2011; Galvan et al., 2006). Although substantial developmental data show that adolescents are more sensitive than adults to positive feedback, less is known about the development of sensitivity to aversive stimuli, and previous results are discrepant (Spear, 2011). On the one hand, some studies have indicated that adolescents are less avoidant than adults in response to negative feedback (Cauffman et al., 2010; Ernst et al., 2005). On the other hand, some studies have shown that adolescents exhibit greater reactivity to aversive stimuli, such as a fearful face (Spears, 2011). Critically, a recent IGT study demonstrated that adults used the “loss-stay” strategy more often than children and adolescents did (Cassotti et al., 2011). Given that successful completion of the IGT requires the inhibition of the loss-shift strategy (tolerance of loss) to learn the characteristics of each deck and improve the ability to choose advantageously, children and adolescents may have difficulties inhibiting the spontaneous tendency to shift after losses. In this context, new developmental investigations must consider both the number of long-term advantageous selections and the subject’s ability to strategically adjust his/her choices following immediate reward or punishment.

Using the Soochow Gambling Task, the present study aims to clarify whether the ability to consider both loss frequency and final outcome in decision-making develops with age. Based on previous developmental studies (Cassotti et al., 2011; Huizenga et al., 2007), we hypothesize that children and adolescents focus only on loss frequency, whereas adults are better able to consider both loss frequency and final outcome. We also expect that children and adolescents will demonstrate a preference for decks associated with infrequent punishment as well as a failure to

detect advantageous decks. In contrast, we expect a progressively advantageous pattern of choice among adults. Based on a study that showed that tolerance for loss increased with age (Cassotti et al., 2011), adults are expected to switch less often than children and adolescents after a loss. However, if adults are insensitive to final outcome, as suggested by Lin et al. (2009), we expect that children, adolescents and adults will have a strong bias in favor of decks associated with infrequent losses but no preference for advantageous decks.

4. Method

a. Participants

The current investigation included a total of 44 participants. The sample was divided into the following three groups according to age: 14 children aged 7-9 years old (7 females, mean age = 8.5, SD = .55), 16 adolescents aged 12-13 years old (10 females, mean age = 12.5, SD = .39) and 14 adults aged 18-32 years old (4 females, mean age = 25.8, SD = 3.43). All children provided parental written consent and were tested in accordance with national and international norms governing the use of human research participants. All children attended the same elementary school, and all adolescents attended the same high school. The adults were university students. Participants did not report a history of psychiatric or neurological disease or major medical problems impacting cognition.

b. Design and procedure

Each participant was presented with a computerized, child-friendly version of the SGT (see Figure 47), adapted from Lin et al. (2009). The relative proportions of wins and losses were identical to those used by Lin et al. (2009). However, in the child-friendly version, the absolute amounts were reduced by a factor of ten. Participants were informed that they would play with imaginary money.

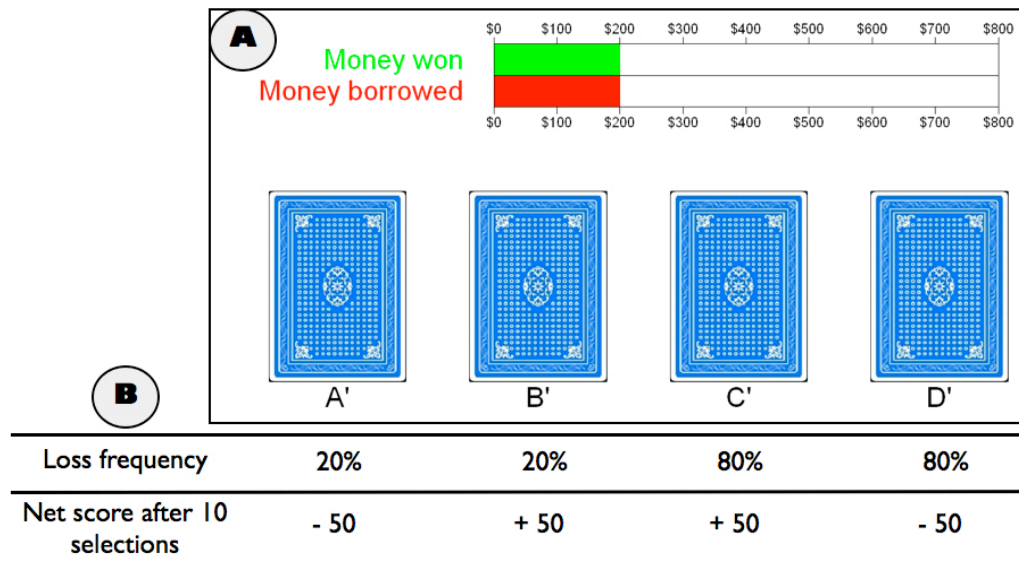


Figure 47 : A) Representative example of a stimulus display of our adapted Soochow Gambling Task. B) Characteristics by decks, including loss frequency and net score after 10 selections.

Participants were presented with four decks of cards (A, B, C, and D) on a computer screen. They were informed that they could choose cards from any deck using the mouse and that they were allowed to switch decks at any time. They were not told how many trials would be presented during the task (100 trials were presented). After selecting 10 cards from deck A, the participants received €160 but encountered two unpredictable large losses of €105, bringing the total loss to €50. After selecting 10 cards from deck B, the participants received €160 but encountered two losses of €55, bringing the total gain to €50. After selecting 10 cards from deck C, the participants received €210 but encountered eight unpredictable losses ranging from €15 to €30, which resulted in a net gain of €50. After selecting 10 cards from deck D, the participants received €110 but encountered eight unpredictable losses ranging from €15 to €30, bringing the total loss to €50. Unknown to the participants, decks A and D were disadvantageous in the long run because they were characterized by a net score of -€50 for every 10 selections. In contrast, decks B and C were advantageous because they were characterized by a positive net score of €50 for every 10 selections. A horizontal green bar at the bottom of the screen indicated the amount of money gained or lost as the task progressed. Thus, a gain was indicated by a proportionate increase in the length of the green bar and a loss by a proportionate decrease in the bar. The task lasted approximately 15 minutes and automatically ended when the 100 selection trials were completed. As in studies using the classical

IGT (see Bechara & Damasio, 2005; Cassotti & Moutier, 2010; Cassotti et al., 2011), participants were given a stake of €200. A horizontal red bar at the bottom of the screen reminded them how much money they borrowed to play the game. Participants were also instructed to win as much money as possible and that some decks were worse than others. The dependent variables were the number of card selections in each deck in blocks of 20 trials and the proportion of response switches after gains and losses.

5. Results

a. Choice pattern analysis

As is typical in the IGT literature, the one hundred card selections for each participant were divided into five blocks of twenty cards each. The mean number of selections per deck was subjected to a repeated-measures Analysis of Variance (ANOVA) with Age (7-9 years, 12-13 years or 18-32 years) and Gender (male, female) as between-subjects factors and Loss Frequency (Low or High), Final Outcome (Advantageous or Disadvantageous), and Blocks (1, 2, 3, 4, 5) as within-subjects factors. This analysis revealed a main effect of Loss Frequency ($F(1,38) = 111.14, p < .0001, \eta^2 = .74$). Interestingly, there was no main effect of Gender ($F(1, 38) = 1, p > .20, \eta_p^2 = .03$), and Gender did not interact with the other factors (all $ps > .10$). A significant interaction between Loss Frequency and Blocks was found ($F(4, 152) = 7.25, p < .0005, \eta_p^2 = .16$), indicating that participants progressively chose more decks with a low loss frequency than with a high loss frequency. Post hoc comparisons on this interaction showed that participants preferred decks with low loss frequency from the first block ($p < .005$, Tukey HSD tests).

Critically, there was a significant interaction between Final Outcome and Age, $F(2, 38) = 12.36, p < .0001, \eta_p^2 = .40$, and between Loss Frequency, Final Outcome and Age, $F(2, 38) = 5.52, p < .01, \eta_p^2 = .21$. Because main effects and two-way interactions were modulated by the three-way interaction, we focused further analysis on the latter.

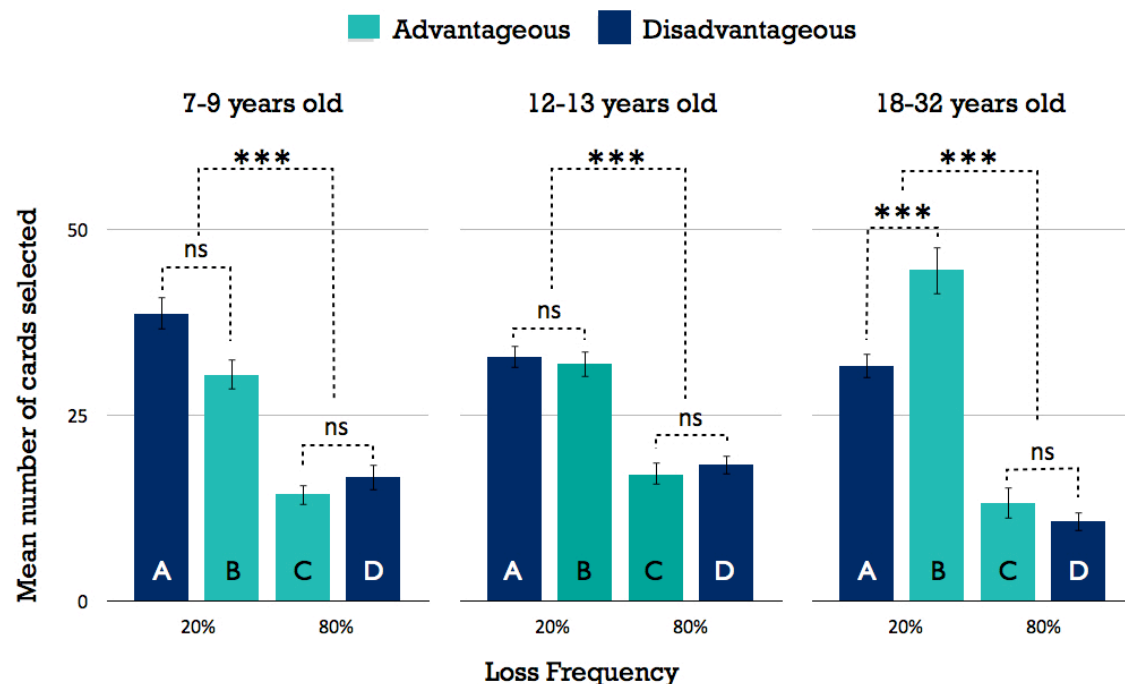


Figure 48 : Mean number of choices and standard error of the mean (SEM) in each deck of cards (A, B, C, and D) for children, adolescents, and adults. ns, nonsignificant; *** $p < .0005$.

Post-hoc comparisons revealed that the three age groups presented a strong preference for decks A and B, which were associated with less-frequent punishments (see Figure 48, all $p < .0005$, Tukey HSD tests). Moreover, the three age groups failed to choose advantageously between decks C and D, which presented a high loss frequency (children: $p > .20$, $d = 0.36$; adolescents: $p > .20$, $d = 0.24$; adults: $p > .20$, $d = 0.18$, Cohen's d test). Interestingly, the analysis of choices in decks associated with a low loss frequency also revealed age group differences. Children and adolescents picked as many cards from decks A and B (children: $p > .05$, $d = -0.15$; adolescents: $p > .05$, $d = -1.02$); however, adults preferred the advantageous deck B to the disadvantageous deck A ($p < .001$, $d = 1.33$).

b. Strategic adjustment analysis

In this analysis, we compared the frequency of response-switching following gains and losses (Cassotti *et al.*, 2011; see also van Duijvenvoorde *et al.*, 2011). The proportion of switched responses following gains was computed by dividing the number of switches following gains by the total number of gain trials. In the same way, the proportion of switched responses following losses was computed by dividing

the number of switches following losses by the total number of loss trials. The proportion of switches following gains and losses was submitted to a repeated-measures ANOVA with Age (7-9 years, 12-13 years and 18-32 years) and Gender (male, female) as between-subjects factors and gain/loss switches as a within-subjects factor. As shown in Figure 49, there was a significant main effect of Age, $F(2, 38) = 12,25, p < .0001, \eta_p^2 = .39$. Post-hoc analysis of the main effect of Age revealed that the two younger groups showed an equivalent frequency of response switching ($p > .20$), whereas adults switched their choices less frequently than children ($p < .0005$) and adolescents ($p < .0005$). There was no main effect of Gender ($F < 1$). There was a main effect of gain/loss switches ($F(1, 41) = 33,29, p < .0001, \eta_p^2 = .45$), indicating that participants elicited win-stay and loss-shift strategies, but there was no significant interaction between Age and gain/loss switches ($F < 1$).

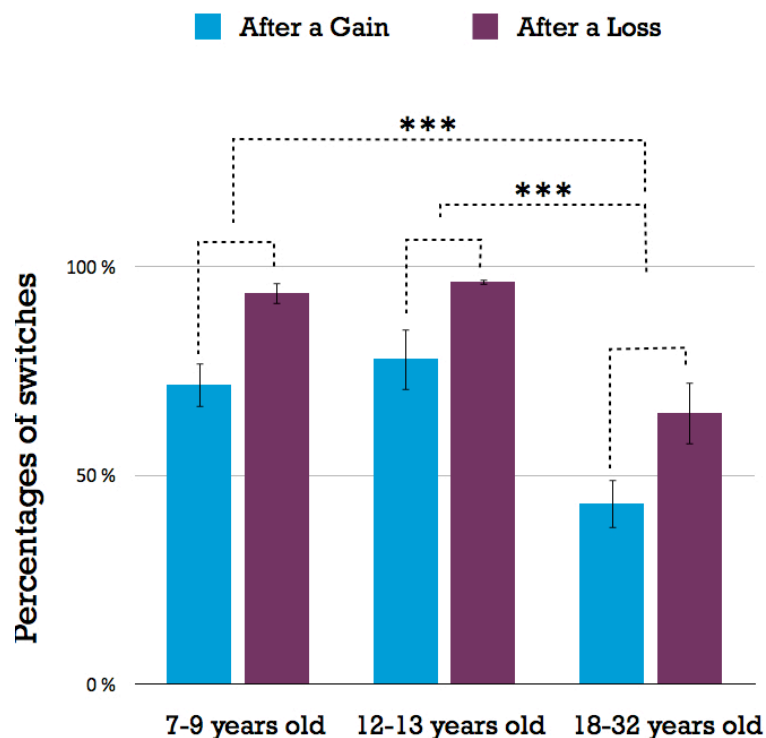


Figure 49 : Percentages of switches and SEMs following gain and loss for children, adolescents, and adults. ns, nonsignificant; *** $p < .0005$.

To further explore whether both win-shift and loss-shift strategies decrease with age, we conducted two complementary ANOVAs with a between-subjects factor of Age (7-9 years, 12-13 years or 18-32 years): the first for the win-shift strategy and

the second for the loss-shift strategy. The first ANOVA revealed a significant main effect of Age ($F(2, 41) = 8.2, p < .005, \eta_p^2 = 0.28$), and post-hoc comparisons showed that adults switched their choices following gains less frequently than children ($p < .05$) and adolescents ($p < .005$). The second ANOVA showed a significant main effect of Age ($F(2, 41) = 15.31, p < .0001, \eta_p^2 = 0.43$), and post-hoc comparisons indicated that adults switched their choices after losses less frequently than children ($p < .0005$) and adolescents ($p < .0005$). Therefore, these analyses revealed that adults used both win-stay and loss-stay strategies more often than children or adolescents.

Finally, to explore our hypothesis that psychological tolerance to loss may improve adults' ability to choose advantageously, we tested the link between the proportion of switches after losses (loss-shift strategy) and the number of advantageous and disadvantageous selections. We found a significant positive correlation between the proportion of switches after losses and the mean number of disadvantageous selections in deck A ($r = .77, N = 14, p < .005$). Thus, the more adults switched after losses, the more they picked the disadvantageous deck A. In addition, we found a negative correlation between the proportion of switches after losses and the mean number of advantageous selections in deck B ($r = -.50, N = 14, p = .07$). Thus, the less frequently adults switched after losses, the more they picked the advantageous deck B.

6. Discussion

Using the SGT, the present study aimed to identify how loss frequency and final outcome influence decision-makers throughout development. The following three major findings were identified: (i) children, adolescents and adults presented a strong preference for options associated with infrequent punishment; (ii) only adults considered the final outcome, and only for options associated with a low frequency of losses; and (iii) the analysis of strategic adjustments following gains and losses showed that adults used the “win-stay” and “loss-stay” strategies more frequently than did children and adolescents.

Consistent with previous studies (Cassotti et al., 2011; Crone & Van der Molen, 2004, 2007; Crone et al., 2005; Huizenga et al., 2007), children and adolescents' choices were heavily influenced by the frequency of punishment. Indeed, the two

youngest groups preferred the decks associated with infrequent losses. In addition, children and adolescents had difficulty making advantageous selections, as demonstrated by the lack of preference for deck B compared to deck A in the SGT. In agreement with Huizenga et al.'s study (2007), these data confirm that children and adolescents exhibit difficulties in considering both the frequency of loss and the final outcome. The current results support a recent ERP study using a child-friendly adaptation of the IGT with 8-year-old participants that revealed a stronger negative waveform before choosing among frequent rather than infrequent punishment options (Carlson, Zayas, & Guthormsen, 2009). Our finding that participants preferred decks with low loss frequency from the first block of trials is consistent with recent work that used another gambling task to assess participants' decision-making strategies (Jansen et al., 2011). This study revealed that the number of dimensions evaluated in risky decisions increased with age, but for the majority of participants, the frequency of loss was considered first. As suggested by van Duijvenvoorde, Jansen, Bredman, and Huizenga (2011), this bias in favor of decks associated with a low frequency of punishment in children and adolescents "may relate to a tendency to underweight the occurrence of low-probability events in decisions involving feedbacks" (p 9).

This tendency to avoid decks associated with a high frequency of punishment was also observed in the adult group. However, further examination of the data revealed that although adults preferred the infrequent punishment decks, they also considered the final outcome when making their decision (i.e., they picked deck B more than deck A). This result corroborates the findings of previous studies that used standard or child versions of the IGT and found that adults favored the advantageous choice (Cassotti et al., 2011; van Duijvenvoorde et al., 2010). However, these findings are in sharp contrast to the conclusion of Lin et al. (2009) that "*most decision-makers are guided by gain-loss frequency but not by final outcome*" (p. 1). These authors reported that adults present a strong bias in favor of decks associated with infrequent punishments (i.e., a preference for decks A and B compared to decks C and D) and fail to consider the final outcome. Thus, contrary to Lin et al.'s claims, the developmental pattern previously evidenced using the IGT is unchanged when the asymmetric gain-loss schedule of the IGT is controlled using the SGT.

It should be noted that we observed adults' preference for advantageous options only for decks associated with low loss frequency. This finding might be a consequence of the characteristics of the SGT, in which the frequency of loss has two extreme values (80% vs. 20%). Further developmental research is necessary to determine whether a preference for an advantageous choice in high frequency decks occurs with less extreme values.

Interestingly, the examination of strategic adjustments following losses and gains revealed strong developmental differences. In accordance with the results from previous studies (Cassotti et al., 2011), we found that adults used the “win-stay” and “loss-stay” strategies more frequently than did children and adolescents. These differences in strategic adjustments between the two younger groups and the adult group underline the role of the “loss-stay” strategy in decision-making development. We suggest that adults' tolerance to loss may help them to learn the characteristics of each deck and improve their ability to integrate both loss frequency and the final outcome. Our findings extend previous research by demonstrating that the proportion of switches after losses positively correlates with the number of disadvantageous selections in deck A and negatively correlates with the number of advantageous selections in deck B. Thus, in line with Dunn et al., (2006; see also van Duijvenvoorde et al., 2011), advantageous decision-making under ambiguous circumstances may require the ability to inhibit the spontaneous “loss-shift” strategy (Bjorklund & Harnishfeger, 1990; Houdé, 2000). Our response shift results may appear surprising with regard to the large body of developmental literature showing that cognitive flexibility improves from approximately 6 to 20 years of age (Cepeda, Kramer, & Gonzalez de Sather, 2001; Crone, Somsen, Zanolie, & Van der Molen, 2006). For example, using a child-friendly rule-change task in which sorting rules must be detected following positive and negative feedback, Crone et al. (2006) demonstrated that children made more perseverative errors (i.e., shifting less after negative feedback) compared to adolescents and young adults. Nevertheless, our results are in line with a laboratory animal study demonstrating a greater flexibility in multiple-choice reversal learning in juvenile mice compared to adults (Johnson & Wilbrecht, 2011). The authors conclude that “frontal cortex based executive function may not inevitably become more flexible with age, but rather may be developmentally tuned to optimize exploratory and exploitative behavior for each life stage”.

A possible limitation of the current study is that our adolescent group consisted of participants in early adolescence. Further work will be necessary to investigate whether the present results and conclusions are applicable to older adolescence.

In conclusion, children and adolescents' choices were heavily influenced by the frequency of punishment, whereas adults considered both the frequency of losses and the final outcome in decision-making under ambiguity. In sharp contrast to Lin et al.'s (2009) claims, the developmental pattern previously evidenced using the IGT was unchanged when the asymmetric gain-loss schedule of the IGT was controlled using the SGT. Moreover, the analysis of strategic adjustments following gains and losses revealed that adults switched less often after losses compared to children and adolescents. To our knowledge, the present study is the first to evidence a direct relation between shifts after losses and advantageous selections. This study suggests that psychological tolerance to loss may facilitate learning the characteristics of each option and improve the ability to choose advantageously. As such, the present study provides new evidence for the current debates about the key cognitive processes involved in child, adolescent and adult decision making.

Discussion Générale

L'objectif général de cette thèse était de mieux définir les processus émotionnels et cognitifs en jeu dans la prise de décision sous ambiguïté au cours du développement. Pour ce faire, nous avons réalisé trois études expérimentales selon les trois axes de recherche suivants : (i) l'évaluation de l'impact de l'alexithymie sur les capacités décisionnelles des joueurs pathologiques, (ii) l'évaluation des processus émotionnels dans le cadre d'un paradigme émotionnel chez l'adulte sain et (iii) l'analyse des processus cognitifs qui se mettent progressivement en place au cours du développement.

Notre première étude avait ainsi pour but de tester l'HMS, en examinant le déficit de prise de décision propre aux joueurs pathologiques. Alors que le jeu pathologique suscite de plus en plus d'intérêt de la part de la communauté scientifique, la compréhension du déficit décisionnel propre à cette population reste encore incomplète. En effet, ces dernières années, plusieurs études ont mis évidence l'existence de ce déficit (Cavedini et al., 2002; Goudriaan et al., 2005, 2006), tout en le désignant comme potentiellement responsable de l'addiction (Bechara, 2003; Brevers et al., 2012). En ce qui concerne la caractérisation de ce déficit décisionnel, plusieurs études l'associent à un déficit émotionnel défini par une sensibilité aux gains altérée (Power et al., 2011; Reuter et al., 2005). De plus, la mise en évidence d'une forte prévalence de l'alexithymie – un trait de personnalité caractérisé par un déficit du traitement des émotions et de leur régulation (Toneatto et al., 2009) - au sein de cette population va contribuer à orienter l'analyse de ce déficit vers l'évaluation des processus émotionnels. Dans ce cadre, nous avons choisi de tester si l'alexithymie peut en partie expliquer les performances désavantageuses à l'IGT de joueurs pathologiques recrutés en milieu écologique. En accord avec l'hypothèse d'un déficit décisionnel chez les joueurs pathologiques issu non pas de l'addiction au jeu per se mais de l'alexithymie, nos résultats soulignent le fait que l'alexithymie serait bien un facteur clef susceptible d'expliquer la mauvaise qualité des choix opérés par les joueurs pathologiques. En effet, les performances des joueurs pathologiques alexithymiques se révèlent désavantageuses et se distinguent de celles des joueurs pathologiques non alexithymiques, ces dernières étant non seulement plus avantageuses mais surtout équivalentes à celles des joueurs non pathologiques. De

plus, une corrélation négative entre les scores à l'IGT et les scores d'alexithymie sur l'ensemble de notre échantillon de joueurs pathologiques (i.e., incluant des joueurs pathologiques non alexithymiques, des joueurs pathologiques alexithymiques possibles ainsi que des joueurs pathologiques alexithymiques), confirme l'influence significative de l'alexithymie sur ces capacités décisionnelles. En accord avec les interprétations de Kano, Ito & Fukudo (2011), il est probable que l'alexithymie perturbe le développement des marqueurs somatiques nécessaires à une prise de décision optimale dans l'IGT. Cette première étude met donc en évidence l'importance des processus émotionnels dans la prise de décision sous ambiguïté, étayant ainsi l'HMS en assignant un rôle clef à l'alexithymie dans le déficit décisionnel des joueurs pathologiques.

Par ailleurs, l'identification d'un sous groupe de joueurs pathologiques présentant des capacités décisionnelles préservées n'est pas sans rappeler de précédentes études démontrant des capacités décisionnelles préservées chez un sous-groupe d'individus dépendants aux substances pourtant classiquement déficitaires (Bechara & Damasio, 2002; Bechara et al., 2002). Ce résultat est d'autant plus intéressant que ces études avaient elles aussi suggéré l'implication d'un déficit affectif (i.e., propre à la psychopathie) à la source de ces différences comportementales entre les sous groupes de patients. L'ensemble de ces données met ainsi l'accent sur le rôle capital d'un diagnostic précis des capacités de traitement émotionnel des populations étudiées dans le cadre de la prise de décision sous ambiguïté. Toutefois, les données offertes par notre étude restent préliminaires au regard du petit échantillon inclus (i.e., N= 28). Il est néanmoins important de rappeler qu'il s'agit d'une des rares études menées auprès de joueurs pathologiques recrutés dans un milieu écologique (i.e., qui ne suivent pas de traitement)(Reilly & Smith, 2013; Suurvali, Hodgins, Toneatto, & Cunningham, 2012), avec pour contrainte forte une réelle difficulté de recrutement. Une autre limite potentielle de cette étude pourrait être liée à l'inclusion d'un groupe contrôle constitué de joueurs non pathologiques recrutés dans ce même milieu écologique, et non d'un groupe contrôle d'individus qui ne jouent pas, et qui pourrait avoir masqué un déficit chez les joueurs pathologiques non alexithymiques. A terme, de nouvelles recherches, associant un examen psychopathologique, comportemental et physiologique (i.e., telle que la mesure de la RED) devraient permettre de renforcer nos données préliminaires tout en précisant les processus

spécifiquement altérés par l'alexithymie dans les situations de prise de décision sous ambiguïté.

Selon nous, cette première étude étaye l'idée d'un rôle crucial des capacités de traitement émotionnel dans la prise de décision sous ambiguïté, mais ne permet pas de vérifier précisément le rôle décisif accordé à un signal émotionnel intégral (i.e., émotions en réponse aux feedbacks de l'IGT) par l'HMS. Etant donné que la démonstration du rôle déterminant attribué aux marqueurs somatiques repose sur l'interprétation de la RED (Bechara et al., 1997; Carter & Pasqualini, 2004; Crone et al., 2004; Guillaume et al., 2009), mais que cette interprétation ne fait pas consensus (voir Dunn et al., 2006 ; Tomb et al., 2002), notre deuxième étude avait pour objectif de vérifier spécifiquement le rôle d'un signal émotionnel intégral dans l'IGT chez l'adulte. C'est la raison pour laquelle nous avons élaboré une nouvelle version de l'IGT dans laquelle le contexte émotionnel était, soit congruent avec les feedbacks (i.e., image de joie après un gain et image de peur après une perte), soit incongruent avec les feedbacks (i.e., image de peur après un gain et image de joie après une perte) soit absent (i.e., condition contrôle). Nos résultats montrent non seulement une altération des performances dans le cadre d'un contexte émotionnel incongruent mais surtout une amélioration de celles-ci dans le cadre d'un contexte émotionnel congruent. Autrement dit, il semble qu'un contexte émotionnel congruent ait facilité le développement des marqueurs somatiques, à l'inverse du contexte émotionnel incongruent qui semble l'avoir altéré. Ces données, en accord avec l'HMS (Bechara & Damasio, 2005), suggèrent donc bien le développement d'un signal émotionnel intégral, sur la base des feedbacks reçus, permettant de guider l'individu vers les choix avantageux sur le long terme dans les situations d'ambiguïté. Si l'altération des performances dans l'IGT avait déjà été démontrée dans le cadre d'une situation de stress (Preston et al., 2007) ou encore dans le cadre d'un contexte émotionnel incongruent associé au caractère avantageux ou non des options (Davies & Turnbull, 2011), notre étude est, à notre connaissance, la première démontrant également la possibilité d'une amélioration des performances. Une mesure de la réactivité émotionnelle par le biais de la RED devrait dans les études à venir permettre de vérifier si notre paradigme émotionnel a bien renforcé en contexte émotionnel congruent (ou au contraire altéré, en contexte émotionnel incongruent) le développement des marqueurs somatiques. En revanche, si Bechara (2003)

soulignait déjà la difficulté de discriminer les marqueurs somatiques primaires des marqueurs somatiques secondaires ces résultats ne nous permettent pas de savoir si le contexte émotionnel a spécifiquement renforcé le développement des premiers (i.e., renforcement des émotions associées aux premiers gains et pertes de chaque tas) ou des seconds (i.e., renforcement des émotions associées aux souvenirs des gains et des pertes reçus dans chaque tas). Une autre limite de cette étude découle du pattern de gains et de pertes spécifique à l'IGT. En effet, chaque tas étant caractérisé par une fréquence de gains de 100% et une fréquence de perte de 10 ou 50%, à la fin des 100 sélections, le participant aura rencontré une moyenne de 70% de gains et de 30% de pertes. Compte tenu de cette caractéristique méthodologique, il est alors possible d'interpréter nos résultats non pas comme issus du développement d'un signal émotionnel intégral (i.e., renforcement du développement des marqueurs somatiques) mais plutôt comme issus d'un état émotionnel incident globalement de valence positive ou négative. Effectivement, dans un contexte émotionnel congruent, où des émotions de joie font suite aux gain tandis que des émotions de peur font suite aux pertes, le participant aura logiquement rencontré environ 70% d'images de joie contre 30% d'images de peur. A l'inverse, les participants soumis au contexte émotionnel incongruent, où des émotions de peur font suite aux gain et des émotions de joie font suite aux pertes, rencontreront environ 70% d'images de peur contre 30% d'images de joie. Etant donné que l'on connaît l'effet délétère d'émotions incidentes de valence négative (e.g., Preston et al., 2007), il est alors possible que nos effets soient déterminés par la présence d'émotions incidentes globalement positives (i.e., dans le contexte congruent) ou négatives (i.e., dans le contexte incongruent). Afin de tester cette hypothèse, il serait intéressant d'évaluer l'influence d'un paradigme émotionnel associant aléatoirement dans une première condition 70% d'images de joie et 30% d'images de peur, et dans une seconde condition 70% d'images de peur et 30% d'images de joie. Si les résultats rapportés dans notre étude sont liés à l'influence d'émotions incidentes et non au développement d'un signal émotionnel intégral, nous devrions observer une amélioration des performances dans la première condition à l'inverse d'une détérioration des performances dans la seconde.

Si ces deux premières études conduisent à souligner l'existence et surtout le rôle capital d'un signal émotionnel permettant de guider l'adulte sain dans les situations de prise de décision sous ambiguïté, il nous semblait également

indispensable d'évaluer l'implication de processus cognitifs (Reimann & Bechara, 2010) et leur évolution au cours du développement. Notre troisième étude s'inscrit ainsi dans une perspective développementale propice à l'analyse fine des principaux facteurs susceptibles d'influencer le choix des individus à différents âges. Classiquement, les études développementales suggèrent un développement lent et linéaire de ces capacités décisionnelles (Cassotti et al., 2011; Crone & van der Molen, 2004; Hooper et al., 2004). Plusieurs études tendent à expliquer cette lenteur développementale par la seule prise en compte de la fréquence des pertes, et donc par une indifférence face à l'ampleur de ces pertes, chez l'enfant et l'adolescent (Crone et al., 2005; Huizenga et al., 2007). En ce qui concerne les sujets adultes, des résultats contradictoires ne permettent pas de définir clairement s'ils sont en mesure de prendre en compte conjointement la fréquence et l'ampleur des pertes dans leurs décisions (Lin et al., 2009). Compte tenu de travaux récents démontrant des changements au cours du développement dans l'utilisation de stratégies d'ajustements suite aux feedbacks (e.g., «je gagne, je reste» et «je perds, je change», Cassotti et al., 2011), il nous semblait important d'évaluer également le rôle de tels ajustements comportementaux dans le développement des capacités de prise de décision sous ambiguïté. Dans cette étude, nous avons donc plus particulièrement évalué l'influence de la fréquence et de l'ampleur des pertes ainsi que celle des ajustements stratégiques faisant suite aux feedbacks sur les capacités décisionnelles d'enfants, d'adolescents et d'adultes en utilisant la Soochow Gambling Task - une tâche créée dans le but de contraster l'impact de ces facteurs.

Nos résultats confirment la focalisation des enfants et des adolescents sur les options caractérisées par des punitions peu fréquentes (Crone et al., 2005; Huizenga et al., 2007). En revanche, bien que les adultes montrent aussi une forte préférence pour les punitions peu fréquentes, ils ne semblent pas uniquement guidés par cette fréquence comme le suggérait les travaux de Lin et ses collaborateurs (2009). En effet, les adultes parviennent à prendre en compte conjointement la fréquence et l'ampleur des pertes, choisissant avantageusement lorsque la fréquence des pertes est faible. Enfin, l'analyse des ajustements stratégiques faisant suite aux feedbacks révèle que cette capacité à prendre en compte conjointement la fréquence et l'ampleur des pertes semble reposer sur une stratégie d'ajustement de type «je perds, je reste» (présente uniquement chez les adultes). Ainsi, en accord avec d'autres travaux,

l'inhibition d'une tendance spontanée à shifter après une perte (soit une meilleure tolérance aux pertes) semble primordiale (Bjorklund & Harnishfeger, 1990; Houdé, 2000) pour une prise de décision optimale.

Bien que cette étude accorde un rôle déterminant aux processus cognitifs et exécutifs dans la prise de décision sous ambiguïté - telle que la nécessité d'inhiber une tendance systématique à shifter après une perte - il est possible d'interpréter certains résultats en termes de processus émotionnels. En effet, bien que l'HMS ne précise pas sur la base de quelles caractéristiques des feedbacks (i.e., fréquence et/ou ampleur) se développent les marqueurs somatiques, les études développementales nous renseignent sur les caractéristiques des feedbacks pris en compte par ce signal émotionnel à différents âges. Notamment, si les enfants tout comme les adolescents ne développent pas de réponse anticipatrice distinguant les options désavantageuses des options avantageuses, contrairement à ce qui est observé chez l'adulte (e.g., Crone et al., 2004), la performance intermédiaire des adolescents, s'accompagne d'une RED anticipatrice plus prononcée pour des tas caractérisés par des punitions fréquentes par rapport à ceux caractérisés par des punitions peu fréquentes (Crone & Van der Molen, 2007). Autrement dit, il semble que le signal émotionnel soit essentiellement caractérisé par la fréquence des pertes à l'adolescence, alors qu'il se caractérise par une combinaison de la fréquence et de l'ampleur des pertes à l'âge adulte. Ainsi, les données de notre étude nous conduisent à penser que la capacité à inhiber une tendance systématique à shifter après une perte serait primordiale pour le développement d'un signal émotionnel adéquat (i.e., qui intègre conjointement la fréquence et l'ampleur des pertes).

Selon nous, ces résultats suggèrent que le développement des capacités de prise de décision sous ambiguïté résulte de la mise en place progressive d'une interaction entre processus cognitifs exécutifs et processus émotionnels. Au regard du rôle clé de l'inhibition dans le développement cognitif (Bjorklund & Harnishfeger, 1990; Dempster & Brainerd, 1995; Dempster, 1992; Diamond & Lee, 2011; Diamond, 2013; Houdé, 1995, 2000, 2007), l'étude du rôle de l'inhibition dans le développement des capacités décisionnelles sous ambiguïté constitue un objectif majeur des recherches à venir. Par ailleurs, il serait intéressant d'évaluer également si de telles interactions cognitivo-émotionnelles se mettent en place, dans les diverses situations de jugement sur l'incertitude, comme les situations de prise de décision à risque ou encore de

jugement moral (Buon, Jacob, Loissel, & Dupoux, 2013).

Conclusion Générale

Afin de mieux définir les processus en jeu dans le développement des capacités décisionnelles sous ambiguïté, nous avons choisi de tester l'HMS. Si nos résultats valident pour partie l'élément clef de cette hypothèse qui suppose un guidage de nature émotionnelle dans la prise de décision sous ambiguïté (Aïte et al., 2013; Aïte et al., in press), notre perspective développementale nous a permis d'enrichir celle-ci en démontrant également le rôle clé de certains processus cognitifs et leur mise en place progressive chez l'enfant, l'adolescent et l'adulte (Aïte et al., 2012).

En étudiant le cas particulier du jeu pathologique, nous avons pu étayer indirectement l'HMS, en démontrant que l'alexithymie pouvait être à la source du déficit décisionnel observé au sein de cette population (Aïte et al., in press). De plus, en réponse aux critiques persistantes quant au rôle des marqueurs somatiques (voir Dunn et al., 2006), nos données conduisent à penser que la prise de décision sous ambiguïté reposerait bien sur le développement d'un signal émotionnel intégral (i.e., en réponse aux feedbacks), en montrant pour la première fois la possibilité de renforcer ce signal pour une meilleure prise de décision (Aïte et al., 2013). Enfin, la perspective développementale, nous a permis de mieux définir les processus cognitifs essentiels à cette prise de décision sous ambiguïté en suggérant la nécessité d'inhiber une tendance spontanée à shifter après une perte afin de permettre l'apprentissage émotionnel au cœur de la prise de décision sous ambiguïté (Aïte et al., 2012).

L'ensemble des données présentées dans ce manuscrit suggère ainsi que le développement des capacités de prise de décision sous ambiguïté repose en partie sur une interaction accrue entre des processus émotionnels et des processus cognitifs. Cette notion d'interaction constructive entre des processus émotionnels et cognitifs s'oppose aux théories dualistes de la prise de décision qui considèrent que l'émotion interfère avec la cognition (Evans & Over, 1996). Bien que nous ne remettons pas en cause le fait que les émotions puissent être par ailleurs source de biais décisionnels tout au long du développement (Martino et al., 2006; Schlottmann & Tring, 2005), nous considérons qu'elles peuvent également permettre de prendre des décisions de manière avantageuse (Aïte et al., 2013; Cassotti et al., 2012). C'est pourquoi, dépassant les débats sur le primat de l'émotion ou le primat de la cognition (Keltner

& Gross, 1999), nous nous inscrivons dans une conception résolument intégrée des émotions et de la cognition. Selon nous, l'adoption de cette perspective intégrée permettra de mieux comprendre le rôle des interactions entre processus cognitifs et émotionnels, interactions d'autant plus complexes, qu'elles semblent tantôt opérer de l'émotion vers la cognition (Houdé et al., 2000, 2001; Houdé, 2007 ; Spiess et al., 2007) et tantôt de la cognition vers l'émotion (Aïte et al., 2012 ; Aïte et al., 2013), dans tous les domaines cognitivo-émotionnels. Par conséquent, si à l'instar des nouveaux modèles neurocognitifs de la décision, nous accordons un rôle primordial à ces interactions entre processus cognitifs et émotionnels (Galvan et al., 2006; Somerville, Hare, & Casey, 2011), nous nous distinguons de ceux-ci en suggérant que l'émotion ne doit pas seulement être régulée par des processus de contrôle exécutif top-down (tel que l'inhibition) mais qu'elle peut aussi agir comme un déclencheur de processus de contrôles exécutifs (Houdé et al., 2000, 2001; Houdé, 2007 ; Spiess et al., 2007) et guider l'inhibition, pour une meilleure efficacité.

En conclusion, en combinant les approches de la psychologie cognitive expérimentale, psychopathologique et développementale cette thèse a permis d'enrichir l'HMS, en mettant en évidence l'influence majeure d'une interaction complexe entre des processus émotionnels et cognitifs et sa mise en place progressive de l'âge scolaire jusqu'à l'âge adulte, dans le cadre de la prise de décision sous ambiguïté.

Références

- Acredolo, C., Connor, J. O., Banks, L., & Horobin, K. (1989). Children's Ability to Make Probability Estimates : Skills Revealed through Application of Anderson 's Functional Measurement Methodology. *Child Development*, *60*, 933–945.
- Adams, R. B., Ambady, N., Macrae, C. N., & Kleck, R. E. (2006). Emotional expressions forecast approach-avoidance behavior. *Motivation and Emotion*, *30*(2), 177–186. doi:10.1007/s11031-006-9020-2
- Adolph, D., Alpers, G. W., (2010). Valence and arousal: a comparison of two sets of emotional facial expressions. *The American Journal of Psychology*, *123*(2), 209–219.
- Aïte, A., Barrault, S., Cassotti, M., Borst, G., Bonnaire, C., Houdé, O., Varescon, I., & Moutier, S. (in press). The impact of alexithymia in pathological gamblers' decision-making skills: a preliminary study on pathological gamblers recruited in an ecological setting. *Cognitive and Behavioral Neurology*.
- Aïte, A., Borst, G., Moutier, S., Varescon, I., Brown, I., Houdé, O., & Cassotti, M. (2013). Impact of emotional context congruency on decision making under ambiguity. *Emotion*, *13*(2), 177–82. doi:10.1037/a0031345
- Aïte, A., Cassotti, M., Rossi, S., Poirel, N., Lubin, A., Houdé, O., & Moutier, S. (2012). Is human decision making under ambiguity guided by loss frequency regardless of the costs ? A developmental study using the Soochow Gambling Task. *Journal of Experimental Child Psychology*, *113*, 286-294.
- Albert, D., Chein, J., & Steinberg, L. (2013). The Teenage Brain: Peer Influences on Adolescent Decision Making. *Current Directions in Psychological Science*, *22*(2), 114–120. doi:10.1177/0963721412471347
- Allais, M. (1953). Le Comportement de l'Homme Rationnel devant le Risque : Critique des Postulats et Axiomes de l'Ecole Americaine. *Econometrica*, *21*(4), 503.
- American Psychiatric Association (2004). *DSM-IV-TR : Manuel diagnostic et statistique des troubles mentaux*. Paris : Masson.
- American Psychiatric Association (2013). *DSM V: Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)*. Washington: DC.
- Anderson, S. W., Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1999). Impairment of social and moral behavior related to early damage in human prefrontal cortex. *Nature neuroscience*, *2*(11), 1032–7. doi:10.1038/14833
- Anderson, S. W., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (2000). Long-term sequelae of prefrontal cortex damage acquired in early childhood. *Developmental neuropsychology*, *18*(3), 281–96. doi:10.1207/S1532694202
- Anderson

- Bagby, R. M., Taylor, G. J., Parker, J. D. A., (1994). The twenty-item Toronto Alexithymia Scale: Convergent, discriminant and concurrent validity. *Journal of Psychosomatic Research*, 38(1), 33-40.
- Barkley-Levenson, E. E., Van Leijenhorst, L., & Galván, A. (2013). Behavioral and neural correlates of loss aversion and risk avoidance in adolescents and adults. *Developmental cognitive neuroscience*, 3, 72–83. doi:10.1016/j.dcn.2012.09.007
- Barrett, L. F., Mesquita, B., Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2007). The experience of emotion. *Annual review of psychology*, 58, 373–403. doi:10.1146/annurev.psych.58.110405.085709
- Batteau, P., & Marciano, P. (1976). *Probabilités et décision dans l'incertain*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Baumann, J., & DeSteno, D. (2012). Context explains divergent effects of anger on risk taking. *Emotion*, 12(6), 1196–9. doi:10.1037/a0029788
- Bechara, A. (2003). Risky business: emotion, decision-making, and addiction. *Journal of gambling studies*, 19(1), 23–51.
- Bechara, A. (2007). *Iowa gambling task professional manual*. Lutz: Psychological Assessment Resources.
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50(1-3), 7–15.
- Bechara, A., Damasio, H., Damasio, A. R., & Lee, G. P. (1999). Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making. *The Journal of neuroscience*, 19(13), 5473–81.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (2005). The Iowa Gambling Task and the somatic marker hypothesis: some questions and answers. *Trends in cognitive sciences*, 9(4), 159–62; discussion 162–4. doi:10.1016/j.tics.2005.02.002
- Bechara, A., Tranel, D., & Damasio, H. (2000). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain*, 123(1), 2189–202.
- Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., & Damasio, A. R. (1996). Failure to respond autonomically to anticipated future outcomes following damage to prefrontal cortex. *Cerebral cortex*, 6(2), 215–25.
- Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. R. (2000). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral cortex*, 10(3), 295–307.
- Bechara, A., & Damasio, A. R. (2005). The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. *Games and Economic Behavior*, 52(2), 336–372. doi:10.1016/j.geb.2004.06.010

- Bechara, A., & Damasio, H. (2002). Decision-making and addiction (part I): impaired activation of somatic states in substance dependent individuals when pondering decisions with negative future consequences. *Neuropsychologia*, *40*(10), 1675–89.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Anderson, S. W. (1998). Dissociation Of working memory from decision making within the human prefrontal cortex. *The Journal of neuroscience*, *18*(1), 428–37.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1997). Deciding Advantageously Before Knowing the Advantageous Strategy. *Science*, *275*(5304), 1293–1295.
- Bechara, A., Dolan, S., & Hinds, A. (2002). Decision-making and addiction (part II): myopia for the future or hypersensitivity to reward? *Neuropsychologia*, *40*(10), 1690–705.
- Bechara, A., & Martin, E. M. (2004). Impaired decision making related to working memory deficits in individuals with substance addictions. *Neuropsychology*, *18*(1), 152–62. doi:10.1037/0894-4105.18.1.152
- Bjelland, I., Dahl, A. A., Haug, T. T., Neckelmann, D. (2002). The validity of the Hospital Anxiety and Depression Scale: an updated review. *Journal of Psychiatric Research*, *52*, 69-77.
- Bjorklund, D. F., & Harnishfeger, K. K. (1990). The resources construct in cognitive development: Diverse sources of evidence and a theory of inefficient inhibition. *Developmental Review*, *10*, 48-71.
- Bier, V. M., & Connell, B. L. (1994). Ambiguity Seeking in Multi-attribute Decisions : Effects of Optimism and Message Framing. *Journal of Behavioral Decision Making*, *7*, 169-182.
- Blakemore, S. J. (2008). The social brain in adolescence. *Nature reviews. Neuroscience*, *9*(4), 267–77. doi:10.1038/nrn2353
- Blanchette, I., & Richards, A. (2010). The influence of affect on higher level cognition: A review of research on interpretation, judgement, decision making and reasoning. *Cognition & Emotion*, *24*(4), 561–595. doi:10.1080/02699930903132496
- Bonnaire, C., Bungener, C., & Varescon, I. (2012). Alexithymia and Gambling: A Risk Factor for All Gamblers? *Journal of gambling studies*, *29*(1):83-96. doi:10.1007/s10899-012-9297-x
- Bornovalova, M. A., Cashman-Rolls, A., O'Donnell, J. M., Ettinger, K., Richards, J. B., deWit, H., & Lejuez, C. W. (2009). Risk taking differences on a behavioral task as a function of potential reward/loss magnitude and individual differences in impulsivity and sensation seeking. *Pharmacology, biochemistry, and behavior*, *93*(3), 258–62. doi:10.1016/j.pbb.2008.10.023

- Bowman, C. H., Evans, C. E. Y., & Turnbull, O. H. (2005). Artificial time constraints on the Iowa Gambling Task: the effects on behavioural performance and subjective experience. *Brain and cognition*, *57*(1), 21–5. doi:10.1016/j.bandc.2004.08.015
- Bowman, C. H., & Turnbull, O. H. (2003). Real versus facsimile reinforcers on the Iowa Gambling Task. *Brain and Cognition*, *53*(2), 207–210. doi:10.1016/S0278-2626(03)00111-8
- Boyer, T. (2006). The development of risk-taking: A multi-perspective review. *Developmental Review*, *26*(3), 291–345. doi:10.1016/j.dr.2006.05.002
- Brand, M., Kalbe, E., Labudda, K., Fujiwara, E., Kessler, J., & Markowitsch, H. J. (2005). Decision-making impairments in patients with pathological gambling. *Psychiatry research*, *133*(1), 91–9. doi:10.1016/j.psychres.2004.10.003
- Brener, N. D., Kann, L., Shanklin, S., Kinchen, S., Eaton, D. K., Hawkins, J., & Flint, K. H. (2013). Methodology of the Youth Risk Behavior Surveillance System. *Centers for Disease Control and Prevention*, *62*(RR-1), 1–20.
- Brenner, E. (2000). Mood induction in children: Methodological issues and clinical implications. *Review of General Psychology*, *4*(3), 264–283. doi:10.1037//1089-2680.4.3.264
- Brevers, D., Cleeremans, A., Goudriaan, A. E., Bechara, A., Kornreich, C., Verbanck, P., & Noël, X. (2012). Decision making under ambiguity but not under risk is related to problem gambling severity. *Psychiatry research*, *200*(2-3), 568–74. doi:10.1016/j.psychres.2012.03.053
- Buelow, M. T., & Suhr, J. A. (2009). Construct validity of the Iowa Gambling Task. *Neuropsychology review*, *19*(1), 102–14. doi:10.1007/s11065-009-9083-4
- Bunge, S. A., Dudukovic, N. M., Thomason, M. E., Vaidya, C. J., & Gabrieli, J. D. E. (2002). Immature Frontal Lobe Contributions to Cognitive Control in Children: Evidence from fMRI. *Neuron*, *33*, 301–311.
- Buon, M., Jacob, P., Loissel, E., & Dupoux, E. (2013). A non-mentalistic cause-based heuristic in human social evaluations. *Cognition*, *126*(2), 149–55. doi:10.1016/j.cognition.2012.09.006
- Burnett, S., Bault, N., Coricelli, G., & Blakemore, S. J. (2010). Adolescents' heightened risk-seeking in a probabilistic gambling task. *Cognitive development*, *25*(2), 183–196. doi:10.1016/j.cogdev.2009.11.003
- Cadet, B., & Chasseigne, G. (2009). *Psychologie du jugement et de la décision : Des modèles aux applications*. Bruxelles : De Boeck Université.
- Camerer, C. & Weber, M. (1992). Recent Developments in Modeling Preferences : Uncertainty and Ambiguity. *Journal of Risk and Uncertainty*, *5*, 325-370.
- Cannon, W. B. (1927) The James-Lange theory of emotions. A critical examination and alternative theory. *American Journal of Psychology*, *39*.

- Carlson, S. M., Zayas, V., & Guthormsen, A. (2009). Neural correlates of decision making on a gambling task. *Child Development, 80*, 1076-1096.
- Carter, S., & Pasqualini, M. S. (2004). Stronger autonomic response accompanies better learning: A test of Damasio's somatic marker hypothesis. *Cognition & Emotion, 18*(7), 901-911. doi:10.1080/02699930341000338
- Casey, B. J., Galvan, A., & Hare, T. A. (2005). Changes in cerebral functional organization during cognitive development. *Current opinion in neurobiology, 15*(2), 239-44. doi:10.1016/j.conb.2005.03.012
- Casey, B., Jones, R. M., & Somerville, L. H. (2011). Braking and Accelerating of the Adolescent Brain. *Journal of research on adolescence, 21*(1), 21-33. doi:10.1111/j.1532-7795.2010.00712.x
- Cassotti, M., Habib, M., Poirel, N., Aïte, A., Houdé, O., & Moutier, S. (2012). Positive emotional context eliminates the framing effect in decision-making. *Emotion, 12*(5), 926-31. doi:10.1037/a0026788
- Cassotti, M., Houdé, O., & Moutier, S. (2011). Developmental changes of win-stay and loss-shift strategies in decision making. *Child neuropsychology, 17*(4), 400-11. doi:10.1080/09297049.2010.547463
- Cassotti, M., & Moutier, S. (2010). How to explain receptivity to conjunction-fallacy inhibition training: evidence from the Iowa gambling task. *Brain and cognition, 72*(3), 378-84. doi:10.1016/j.bandc.2009.11.004
- Cauffman, E., Shulman, E. P., Steinberg, L., Claus, E., Banich, M. T., Graham, S., & Woolard, J. (2010). Age differences in affective decision making as indexed by performance on the Iowa Gambling Task. *Developmental psychology, 46*(1), 193-207. doi:10.1037/a0016128
- Cavalca, E., Kong, G., Liss, T., Reynolds, E. K., Schepis, T. S., Lejuez, C. W., & Krishnan-sarin, S. (2013). A preliminary experimental investigation of peer influence on risk-taking among adolescent smokers and non-smokers. *Drug and Alcohol Dependence, 129* (1), 163-166. doi: 10.1016/j.drugalcdep.2012.09.020.
- Cavedini, P., Riboldi, G., D'Annuncci, A., Belotti, P., Cisima, M., & Bellodi, L. (2002). Decision-making heterogeneity in obsessive-compulsive disorder: ventromedial prefrontal cortex function predicts different treatment outcomes. *Neuropsychologia, 40*(2), 205-11.
- Cepeda, N. J., Kramer, A. F., & Gonzalez de Sather, J. C. M. (2001). Changes in executive control across the life span: Examination of task switching performance. *Psychological Science, 37*, 715-730.
- Chateaufneuf A., Cohen M., Jaffray J., (2006). Décision dans l'incertain: les modèles classiques. Dans D. Bouyssou, D. Dubois, M. Pirlot, H. Prade, *Concepts et méthodes pour l'aide à la décision 2: risque et incertain*. Hermès, Lavoisier: Paris.

- Chein, J., Albert, D., O'Brien, L., Uckert, K., & Steinberg, L. (2011). Peers increase adolescent risk taking by enhancing activity in the brain's reward circuitry. *Developmental science, 14*(2), F1–10. doi:10.1111/j.1467-7687.2010.01035.x
- Clark, L., Manes, F., Antoun, N., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2003). The contributions of lesion laterality and lesion volume to decision-making impairment following frontal lobe damage. *Neuropsychologia, 41*(11), 1474–1483. doi:10.1016/S0028-3932(03)00081-2
- Clark, L., & Robbins, T. (2002). Decision-making deficits in drug addiction. *Trends in cognitive sciences, 6*(9), 361.
- Costes, J. M., Pousset, M., Eroukmanoff, V., & Le Nezet, O. (2011). Les niveaux et pratiques de jeux de hasard et d'argent en 2010. *Tendances, 77*, 1-8.
- Crone, E. A., Bunge, S. A., Latenstein, H., & Van der Molen, M. W. (2005). Characterization of children's decision making: sensitivity to punishment frequency, not task complexity. *Child neuropsychology, 11*(3), 245–63. doi:10.1080/092970490911261
- Crone, E. A., & Dahl, R. E. (2012). Understanding adolescence as a period of social-affective engagement and goal flexibility. *Nature Reviews Neuroscience, 13*(9), 636–50. doi:10.1038/nrn3313
- Crone, E. A., Jennings, J. R., & Van der Molen, M. W. (2004). Developmental change in feedback processing as reflected by phasic heart rate changes. *Developmental psychology, 40*(6), 1228–38. doi:10.1037/0012-1649.40.6.1228
- Crone, E. A., Somsen, R. J. M., Van Beek, B., & Van Der Molen, M. W. (2004). Heart rate and skin conductance analysis of antecedents and consequences of decision making. *Psychophysiology, 41*(4), 531–40. doi:10.1111/j.1469-8986.2004.00197.x
- Crone, E. A., Somsen, R. J. M., Zanolie, K., & Van der Molen, M. W. (2006). A heart rate analysis of developmental change in feedback processing and rule shifting from childhood to early adulthood. *Journal of Experimental Child Psychology, 95*, 99-116.
- Crone, E. A., & Van der Molen, M. W. (2004). Developmental changes in real life decision making: performance on a gambling task previously shown to depend on the ventromedial prefrontal cortex. *Developmental neuropsychology, 25*(3), 251–79. doi:10.1207/s15326942dn2503_2
- Crone, E. A., & Van der Molen, M. W. (2007). Development of decision making in school-aged children and adolescents: evidence from heart rate and skin conductance analysis. *Child development, 78*(4), 1288–301. doi:10.1111/j.1467-8624.2007.01066.x
- Cunningham, J.A. (2005). Little use of treatment among problem gamblers. *Psychiatric Services, 56*, 1024–1025.

- Cunningham-Williams, R. M., Gattis, M. N., Dore, P. M., Shi, P., & Spitznagel, E. L. (2009). Towards DSM-V: considering other withdrawal-like symptoms of pathological gambling disorder. *International Journal of Methods in Psychiatric Research*, 18(1): 13–22 (2009)13–22. doi:10.1002/mpr
- Dahl, R. E. (2004). Adolescent Brain Development: A Period of Vulnerabilities and Opportunities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1021, 1–22.
- Damasio, A. R. (1994). *L'erreur de Descartes: La raison des émotions*. Paris : Odile Jacob (1995).
- Damasio, A. R. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 351(1346), 1413-1420.
- Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A. M., & Damasio, A. R. (1994). The return of Phineas Gage: Clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science*, 264(5162), 1102–1105.
- Damasio, H., Bechara, A., & Damasio, A. R. (2002). Letters to the editor. *Nature neuroscience*, 5(11), 1104. doi:10.2460/javma.242.7.912
- Darwin, C. (1872/1981). *L'expression des émotions chez l'homme et l'animal*. Bruxelles : Editions complexes.
- Davies, J. L., & Turnbull, O. H. (2011). Affective bias in complex decision making: Modulating sensitivity to aversive feedback. *Motivation and Emotion*, 35(2), 235–248. doi:10.1007/s11031-011-9217-x
- De Finetti, B. (1937). La prévision: ses lois logiques, ses sources subjectives. *Annales de l'Institut Henri Poincaré*, 1, 1–68.
- De Martino, B., Kumaran, D., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2006). Frames, biases, and rational decision-making in the human brain. *Science*, 313(5787), 684–7. doi:10.1126/science.1128356
- Desteno, D., Petty, R. E., Wegener, D. T., & Rucker, D. D. (2000). Beyond Valence in the Perception of Likelihood: The Role of Emotion Specificity. *Journal of Personality and Social Psychology*, 78(3), 397-416. doi: 10.1037//0022-3514.78.3.397 78
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135–68. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Dretsch, M. N., & Tipples, J. (2008). Working memory involved in predicting future outcomes based on past experiences. *Brain and cognition*, 66(1), 83–90. doi:10.1016/j.bandc.2007.05.006
- Descartes R. (1641). *Méditations métaphysiques. 6e Méditation*. Paris: Bibliothèque de la Pléiade, 2d Gallimard; 1953.

- Dunn, B. D., Dalgleish, T., & Lawrence, A. D. (2006). The somatic marker hypothesis: a critical evaluation. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, *30*(2), 239–71. doi:10.1016/j.neubiorev.2005.07.001
- Durston, S., Thomas, K. M., Yang, Y., Ulu, A. M., Zimmerman, R. D., & Casey, B. J. (2002). A neural basis for the development of inhibitory control. *Developmental Science*, *4*, 9–16. doi: 10.1111/1467-7687.00235
- Eaton, D. K., Kann, L., Kinchen, S., Shanklin, S., Flint, K. H., Hawkins, J., Harris, W. a, et al. (2012). Youth risk behavior surveillance - United States, 2011. Morbidity and mortality weekly report. *Surveillance summaries*, *61*(4), 1–162.
- Edwards, W. (1962). Subjective probabilities inferred from decisions. *Psychological review*, *69*, 109–35.
- Edwards, W. (1954). The theory of decision-making. *Psychological Bulletin*, *51*(4), 380–417.
- Ellsberg, D. (1961). Risk, Ambiguity and the Savage axioms. *Quarterly Journal of Economics*, *75*(4), 643–669. doi: 10.2307/1884324
- Ernst, M., Nelson, E. E., Jazbec, S., McClure, E. B., Monk, C. S., Leibenluft, E., Blair, J., et al. (2005). Amygdala and nucleus accumbens in responses to receipt and omission of gains in adults and adolescents. *NeuroImage*, *25*(4), 1279–91. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.12.038
- Ernst, M., Nelson, E. E., McClure, E. B., Monk, C. S., Munson, S., Eshel, N., Zarah, E., et al. (2004). Choice selection and reward anticipation: an fMRI study. *Neuropsychologia*, *42*(12), 1585–97. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2004.05.011
- Eshel, N., Nelson, E. E., Blair, R. J., Pine, D. S., & Ernst, M. (2007). Neural substrates of choice selection in adults and adolescents: development of the ventrolateral prefrontal and anterior cingulate cortices. *Neuropsychologia*, *45*(6), 1270–9. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.10.004
- Evans, C. E. Y., Bowman, C. H., & Turnbull, O. H. (2005). Subjective Awareness on the Iowa Gambling Task: The Key Role of Emotional Experience in Schizophrenia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *27*, 656–664. doi:10.1080/13803390490918354
- Evans, J. St. B. T. (1972). Reasoning with negatives. *British Journal of Psychology*, *63*, 213–219.
- Evans, J. St. B. T. (2011). Dual-process theories of reasoning: Contemporary issues and developmental applications. *Developmental Review*, *31*(2-3), 86–102. doi:10.1016/j.dr.2011.07.007
- Evans, J. St. B. T., & Over, D. E. (1996). *Rationality and reasoning*. Hove: Psychology Press.

- Evans, J. St. B. T., & Over, D. E. (1997). Rationality in reasoning: The problem of deductive competence. *Current Psychology of Cognition*, 16(1-2), 3–38.
- Falk, R., & Wilkening, F. (1998). Children's construction of fair chances: adjusting probabilities. *Developmental Psychology*, 34(6), 1340–1357.
- Farges, F., Corcos, M., Loas, G., Perez-Diaz, F., Speranza, M., Guilbaud, O., et al. (2003). Alexithymie et dépression dans la toxicomanie. In M. Corcos, M. Flament, & P. Jeammet (Eds.), *Les conduites de dépendance. Dimensions psychopathologiques communes* (pp. 192–199). Paris: Masson.
- Farges, F., Corcos, M., Speranza, M., Loas, G., Perez-Diaz, F., Venisse, J. L., et al. (2004). Alexithymie et toxicomanie: lien avec la dépression. *L'Encéphale*, 30(3), 201–211.
- Fellows, L. K., & Farah, M. J. (2003). Ventromedial frontal cortex mediates affective shifting in humans: evidence from a reversal learning paradigm. *Brain*, 126, 1830–1837. doi:10.1093/brain/awg180
- Fellows, L. K., & Farah, M. J. (2005). Different underlying impairments in decision-making following ventromedial and dorsolateral frontal lobe damage in humans. *Cerebral cortex*, 15(1), 58–63. doi:10.1093/cercor/bhh108
- Ferguson, E., Bibby, P. A., Rosamond, S., Grady, C. O., Parcell, A., Amos, C., McCutcheon, C., et al. (2009). Alexithymia, cumulative feedback, and differential response patterns on the Iowa Gambling Task. *Journal of personality*, 77(3), 883–902. doi:10.1111/j.1467-6494.2009.00568.x
- Figner, B., Mackinlay, R. J., Wilkening, F., & Weber, E. U. (2009). Affective and deliberative processes in risky choice: age differences in risk taking in the Columbia Card Task. *Journal of experimental psychology*, 35(3), 709–30. doi:10.1037/a0014983
- Forbush, K. T., Shaw, M., Graeber, M. A., Hovick, L., Meyer, V. J., Moser, D. J., Bayless, J., et al. (2008). Neuropsychological characteristics and personality traits in pathological gambling. *CNS Spectrums*, 13(4), 306–15.
- Fox, C. R., Tversky, A. (1995). Ambiguity Aversion and Comparative Ignorance. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(3), 585–603.
- Fox, C. R., & Weber, M. (2002). Ambiguity Aversion, Comparative Ignorance, and Decision Context. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 88(1), 476–498. doi:10.1006/obhd.2001.2990
- Frijda, N. H. (1993). Moods, emotion episodes, and emotions. Handbook of emotions. In M. Lewis & J. M. Haviland (Eds.), *Handbook of emotions* (pp. 381–403), Guilford.
- Frisch, D., & Baron, J. (1988). Ambiguity and Rationality. *Journal of Behavioral Decision Making*, 1, 149–157.

- Fukui, H., Murai, T., Fukuyama, H., Hayashi, T., & Hanakawa, T. (2005). Functional activity related to risk anticipation during performance of the Iowa Gambling Task. *NeuroImage*, *24*(1), 253–9. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.08.028
- Gall-Bronnec, M., Bouju, G., Landréat-Guillou, M., Vénisse, J. L. (2010). Evaluation sociodémographique, clinique et du parcours de jeu d'un échantillon de joueurs pathologiques français. *L'Encéphale*, *36*, 452-460.
- Galvan, A. (2013). The Teenage Brain: Sensitivity to Rewards. *Current Directions in Psychological Science*, *22*(2), 88–93. doi:10.1177/0963721413480859
- Galvan, A., Hare, T. A., Parra, C. E., Penn, J., Voss, H., Glover, G., & Casey, B. J. (2006). Earlier development of the accumbens relative to orbitofrontal cortex might underlie risk-taking behavior in adolescents. *The Journal of neuroscience*, *26*(25), 6885–92. doi:10.1523/JNEUROSCI.1062-06.2006
- Gardner, M., & Steinberg, L. (2005). Peer influence on risk taking, risk preference, and risky decision making in adolescence and adulthood: an experimental study. *Developmental psychology*, *41*(4), 625–35. doi:10.1037/0012-1649.41.4.625
- Garon, N., & Moore, C. (2004). Complex decision-making in early childhood. *Brain and cognition*, *55*(1), 158–70. doi:10.1016/S0278-2626(03)00272-0
- Gerrards-Hesse, A., Spies, K., & Hesse, F. (1994). Experimental inductions of emotional states and their effectiveness: A review. *British journal of psychology*, *85*, 55–78.
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., Nugent, T. F., et al. (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), 8174–9. doi:10.1073/pnas.0402680101
- Goudriaan, A. E., Oosterlaan, J., De Beurs, E., & Van den Brink, W. (2005). Decision making in pathological gambling: a comparison between pathological gamblers, alcohol dependents, persons with Tourette syndrome, and normal controls. *Cognitive brain research*, *23*(1), 137–51. doi:10.1016/j.cogbrainres.2005.01.017
- Goudriaan, A. E., Oosterlaan, J., De Beurs, E., & Van den Brink, W. (2006). Psychophysiological determinants and concomitants of deficient decision making in pathological gamblers. *Drug and alcohol dependence*, *84*(3), 231–9. doi:10.1016/j.drugalcdep.2006.02.007
- Guillaume, S., Jollant, F., Jaussent, I., Lawrence, N., Malafosse, A., & Courtet, P. (2009). Somatic markers and explicit knowledge are both involved in decision-making. *Neuropsychologia*, *47*(10), 2120–4. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.04.003
- Gupta, R., Koscik, T. R., Bechara, A., & Tranel, D. (2011). The amygdala and decision-making. *Neuropsychologia*, *49*(4), 760–6. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.09.029

- Habib, M., Cassotti, M., Moutier, S., Houdé, O. & Borst, G. (en révision). Fear and anger have opposite effects on on risk seeking in the gain frame. *Cognition*.
- Hacking, I. (1975). *The Emergence of Probability*. London & New-York : Cambridge University Press.
- Hare, T. A, Tottenham, N., Galvan, A., Voss, H. U., Glover, G. H., & Casey, B. J. (2008). Biological substrates of emotional reactivity and regulation in adolescence during an emotional go-nogo task. *Biological psychiatry*, 63(10), 927–34. doi:10.1016/j.biopsych.2008.03.015
- Heath, C., & Tversky, A. (1991). Preference and belief: Ambiguity and competence in choice under uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 4(1), 5–28. doi:10.1007/BF00057884
- Hinson, J. M., Jameson, T. L., & Whitney, P. (2002). Somatic markers, working memory, and decision making. *Cognitive, affective & behavioral neuroscience*, 2(4), 341–53.
- Hinson, J. M., Whitney, P., Holben, H., & Wirick, A. K. (2006). Affective biasing of choices in gambling task decision making. *Cognitive, affective & behavioral neuroscience*, 6(3), 190–200.
- Hoemann, H. W., & Ross, B. M. (1971). Children's Understanding of Probability Concepts. *Child Development*, 42(1), 221. doi:10.2307/1127077
- Hoffrage, U., Weber, A., Hertwig, R., & Chase, V. M. (2003). How to keep children safe in traffic: find the daredevils early. *Journal of experimental psychology. Applied*, 9(4), 249–60. doi:10.1037/1076-898X.9.4.249
- Honkalampi K, Koivumaa-Honkanen H, Tanskanen A, Hintikka, J., Lehtonen, J., & Viinamäki, H. (2001). Why do alexithymic features appear to be stable? *Psychotherapy and Psychosomatic*, 70(5), 247-253.
- Hooper, C. J., Luciana, M., Conklin, H. M., & Yarger, R. S. (2004). Adolescents' performance on the Iowa Gambling Task: implications for the development of decision making and ventromedial prefrontal cortex. *Developmental psychology*, 40(6), 1148–58. doi:10.1037/0012-1649.40.6.1148
- Houdé, O. (1995). *Rationalité, développement et inhibition*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Houdé, O. (1997). Rationality in reasoning: The problem of deductive competence and the inhibitory control of cognition. *Current Psychology of Cognition*, 16, 108–113.
- Houdé, O. (1998). L'esprit, le cerveau et le corps : Descartes face aux sciences cognitives. In A. Bitbol-Hespériès, J. Bouveresse, J. Frézal, E. Giusti, O. Houdé, & G. Rodis-Lewis (Eds.), *Descartes et son oeuvre aujourd'hui* (pp. 63–81). Liège: Mardaga.

- Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive Development, 15*, 63–73.
- Houdé, O. (2007). First insights on “neuropedagogy of reasoning”. *Thinking & Reasoning, 13*(2), 81–89. doi:10.1080/13546780500450599
- Houdé, O. (2013). *Psychologie du développement cognitif*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Houdé, O., & Moutier, S. (1996). Deductive reasoning and experimental inhibition training: The case of the matching bias. *Current Psychology of Cognition, 15*, 409–434.
- Houdé, O., Zago, L., Crivello, F., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2001). Access to deductive logic depends on a right ventromedial prefrontal area devoted to emotion and feeling: evidence from a training paradigm. *NeuroImage, 14*(6), 1486–92. doi:10.1006/nimg.2001.0930
- Houdé, O., Zago, L., Mellet, E., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2000). Shifting from the perceptual brain to the logical brain: the neural impact of cognitive inhibition training. *Journal of cognitive neuroscience, 12*(5), 721–8.
- Hsu, M., Bhatt, M., Adolphs, R., Tranel, D., & Camerer, C. F. (2005). Neural systems responding to degrees of uncertainty in human decision-making. *Science, 310*(5754), 1680–3. doi:10.1126/science.1115327
- Huettel, S. A., Stowe, C. J., Gordon, E. M., Warner, B. T., & Platt, M. L. (2006). Neural signatures of economic preferences for risk and ambiguity. *Neuron, 49*(5), 765–75. doi:10.1016/j.neuron.2006.01.024
- Huizenga, H. M., Crone, E. A., & Jansen, B. J. (2007). Decision-making in healthy children, adolescents and adults explained by the use of increasingly complex proportional reasoning rules. *Developmental science, 10*(6), 814–25. doi:10.1111/j.1467-7687.2007.00621.x
- Humphreys, K. L., Lee, S. S., & Tottenham, N. (2013). Not all risk taking behavior is bad: Associative sensitivity predicts learning during risk taking among high sensation seekers. *Personality and individual differences, 54*(6), 709–715. doi:10.1016/j.paid.2012.11.031
- Isen, A. M., & Geva, N. (1987). The influence of positive affect on acceptable level of risk: The person with a large canoe has a large worry. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 39*(2), 145–154. doi:10.1016/0749-5978(87)90034-3
- Isen, A. M., & Patrick, R. (1983). The effect of positive feelings on risk taking: When the chips are down. *Organizational Behavior and Human Performance, 31*(2), 194–202. doi:10.1016/0030-5073(83)90120-4
- James, W. (1884/1968). What is an Emotion ? *Mind, 9*(34), 188–205.

- Jameson, T. L., Hinson, J. M., & Whitney, P. (2004). Components of working memory and somatic markers in decision making. *Psychonomic bulletin & review*, *11*(3), 515–20.
- Jansen, B. R. J., van Duijvenvoorde, A., & Huizenga, H. M. (2011). Development of decision-making: Sequential versus integrative rules. *Journal of Experimental Child Psychology*, *111*, 87–100.
- Johnson, C., & Wilbrecht, L. (2011). Juvenile mice show greater flexibility in multiple choice reversal learning than adults. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *1*, 540–555.
- Johnson, E. J., & Tversky, A. (1983). Affect, generalization, and the perception of risk. *Journal of Personality and Social Psychology*, *45*(1), 20–31. doi:10.1037//0022-3514.45.1.20
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, *47*(2), 263–291.
- Kano, M., Ito, M., & Fukudo, S. (2011). Neural substrates of decision making as measured with the Iowa Gambling Task in men with alexithymia. *Psychosomatic medicine*, *73*(7), 588–97. doi:10.1097/PSY.ob013e318223c7f8
- Karni, E. (2005). “Savages’ Subjective Expected Utility Model”. John Hopkins University, mimeo.
- Keltner, D., & Lerner, J. S. (2010). Emotion. In G. Gilbert, D. T., Fiske, S. T., Lindzey (Ed.), *The handbook of social psychology* (pp. 317–352). New-York: Wiley.
- Keltner, Dacher, & Gross, J. J. (1999). Functional Accounts of Emotions. *Cognition & Emotion*, *13*(5), 467–480. doi:10.1080/026999399379140
- Keren, G., & Gerritsen, L. E. M. (1999). On the robustness and possible accounts of ambiguity aversion. *Acta Psychologica*, *103*(1-2), 149–172. doi:10.1016/S0001-6918(99)00034-7
- Kerr, A., & Zelazo, P. D. (2004). Development of “hot” executive function: the children’s gambling task. *Brain and cognition*, *55*(1), 148–57. doi:10.1016/S0278-2626(03)00275-6
- Kertzman, S., Lidogoster, H., Aizer, A., Kotler, M., & Dannon, P. N. (2011). Risk-taking decisions in pathological gamblers is not a result of their impaired inhibition ability. *Psychiatry research*, *188*(1), 71–7. doi:10.1016/j.psychres.2011.02.021
- Knight, F. H. (1921). *Risk, uncertainty and profit*. Boston: Houghton Mifflin.
- Kreitler, S., & Kreitler, H. (1986). Development of Probability Thinking in Children 5 to 12 Years Old. *Cognitive Development*, *1*(4), 365–390. doi:10.1016/S0885-2014(86)80009-0

- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (2008). *International affective picture system(IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical Report A-8*. University of Florida, Gainesville, FL.
- Lazarus, R. S. (1981). A Cognitivist's Reply on Emotion and Cognition. *American Psychologist*, 222–223.
- Lazarus, R. S. (1984). On the primacy of cognition. *American Psychologist*, 39(2), 124–129. doi:10.1037//0003-066X.39.2.124
- Ledgerwood, D. M., Orr, E. S., Kaploun, K. A., Milosevic, A., Frisch, G. R., Rupcich, N., & Lundahl, L. H. (2012). Executive function in pathological gamblers and healthy controls. *Journal of gambling studies*, 28(1), 89–103. doi:10.1007/s10899-010-9237-6
- Ledoux, J. E. (1996). *The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotionnal Life*. Simon & Schuster, New-York.
- Ledoux, J. E. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual Review Neuroscience*, 23,155–184.
- Lejoyeux, M. (1999). Echelles de dépistage du jeu pathologique. *Neuro-psy*, 14, 67-71.
- Lejuez, C. W., Aklin, W. M., Zvolensky, M. J., & Pedulla, C. M. (2003). Evaluation of the Balloon Analogue Risk Task (BART) as a predictor of adolescent real-world risk-taking behaviours. *Journal of Adolescence*, 26(4), 475–479. doi:10.1016/S0140-1971(03)00036-8
- Lejuez, C. W., Read, J. P., Kahler, C. W., Richards, J. B., Ramsey, S. E., Stuart, G. L., Strong, D. R., et al. (2002). Evaluation of a behavioral measure of risk taking: The Balloon Analogue Risk Task (BART). *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(2), 75–84. doi:10.1037//1076-898X.8.2.75
- Lépine, J. P., Godchau, M., Brun, P., Lemperiere, T. (1985). Evaluation de l'anxiété et de la dépression chez des patients hospitalisés dans un service de médecine interne. *Annales Medico Psychologiques*, 143, 175-89.
- Lerner, J. S., & Keltner, D. (2001). Fear, anger, and risk. *Journal of personality and social psychology*, 81(1), 146–59.
- Lerner, J. S., Gonzalez, R. M., Small, D. A., & Fischhoff, B. (2003). Effects of fear and anger on perceived risks of terrorism: a national field experiment. *Psychological science*, 14(2), 144–50.
- Lerner, J. S., & Keltner, D. (2000). Beyond valence: Toward a model of emotion-specific influences on judgement and choice. *Cognition & Emotion*, 14(4), 473–493. doi:10.1080/026999300402763
- Lerner, J. S., Small, D. A., & Loewenstein, G. (2004). Heart strings and purse strings: Carryover effects of emotions on economic decisions. *Psychological science*, 15(5), 337–41. doi:10.1111/j.0956-7976.2004.00679.x

- Lesieur, H., Blume, S. (1987). The South Oaks Gambling Screen (SOGS): a new instrument for the identification of pathological gamblers. *American Journal of Psychiatry*, 144,1184–8.
- Levin, I. P., Weller, J. A., Pederson, A. A., & Harshman, L. A. (2007). Age-related differences in adaptive decision making: Sensitivity to expected value in risky choice. *Judgment and Decision Making*, 2(4), 225–233.
- Levy, I., Snell, J., Nelson, A. J., Rustichini, A., & Glimcher, P. W. (2010). Neural representation of subjective value under risk and ambiguity. *Journal of neurophysiology*, 103(2), 1036–47. doi:10.1152/jn.00853.2009
- Li, X., Lu, Z. L., D’Argembeau, A., Ng, M., & Bechara, A. (2010). The Iowa Gambling Task in fMRI images. *Human brain mapping*, 31(3), 410–23. doi:10.1002/hbm.20875
- Lin, C. H., Chiu, Y. C., & Huang, J. T. (2009). Gain-loss frequency and final outcome in the Soochow Gambling Task: A Reassessment. *Behavioral and brain functions*, 5, 45. doi:10.1186/1744-9081-5-45
- Linnet, J., Møller, A., Peterson, E., Gjedde, A., & Doudet, D. (2010). Dopamine release in ventral striatum during Iowa Gambling Task performance is associated with increased excitement levels in pathological gambling. *Addiction*, 106(2), 383–90. doi:10.1111/j.1360-0443.2010.03126.x
- Liston, C., Watts, R., Tottenham, N., Davidson, M. C., Niogi, S., Ulug, A. M., & Casey, B. J. (2006). Frontostriatal microstructure modulates efficient recruitment of cognitive control. *Cerebral cortex*, 16(4), 553–60. doi:10.1093/cercor/bhj003
- Loas, G., Fremaux, D., Otmani, O., Verrier, A. (1995). Prévalence de l’alexithymie en population générale. Etude chez 183 sujets « tout venant » et chez 263 étudiants. *Annales Médico-Psychologiques*, 153(5), 355-357.
- Loas, G., Otmani, O., Verrier, A., Fremaux, D., Marchand, M. P. (1996). Factor analysis of the French version of the 20-item Toronto Alexithymia Scale (TAS-20). *Psychopathology*, 29, 139-144.
- Loewenstein, G. F., Weber, E. U., Hsee, C. K., & Welch, N. (2001). Risk as feelings. *Psychological Bulletin*, 127(2), 267–286. doi:10.1037//0033-2909.127.2.267
- Loewenstein, G., Rick, S., & Cohen, J. D. (2008). Neuroeconomics. *Annual review of psychology*, 59, 647–72. doi:10.1146/annurev.psych.59.103006.093710
- Loomes, G., & Sugden, R. (1982). Regret Theory: An Alternative Theory of Rational Choice Under Uncertainty. *The Economic Journal*, 92(368), 805-824.
- Lopes, L. L. (1994). Psychology and Economics: Perspectives on Risk, Cooperation, and the Marketplace. *Annual Review of Psychology*, 45(1), 197-227.
- Lorains, F. K., Cowlishaw, S., & Thomas, S. A. (2011). Prevalence of comorbid disorders in problem and pathological gambling: systematic review and meta-

- analysis of population surveys. *Addiction*, 106(3), 490–8. doi:10.1111/j.1360-0443.2010.03300.x
- Luminet, O., Bagby, M., Taylor, M., Graeme, J. (2001). An evaluation of the absolute and relative stability of alexithymia in patients with major depression. *Psychotherapy & Psychosomatics*, 70(5), 254-260.
- Lumley, M. A., & Roby, K. J. (1995). Alexithymia and pathological gambling. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 63, 201–6.
- Luna, B., Paulsen, D. J., Padmanabhan, A., & Geier, C. (2013). The Teenage Brain: Cognitive Control and Motivation. *Current Directions in Psychological Science*, 22(2), 94–100. doi:10.1177/0963721413478416
- MacLean, P. D. (1949). Psychosomatic disease and the “visceral brain”: Recent developments bearing on the Papez theory of emotion. *Psychosomatic Medicine*, 11, 338–353.
- Maia, T. V., & McClelland, J. L. (2004). A reexamination of the evidence for the somatic marker hypothesis: what participants really know in the Iowa gambling task. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(45), 16075–80. doi:10.1073/pnas.0406666101
- Manes, F., Sahakian, B., Clark, L., Rogers, R., Antoun, N., Aitken, M., & Robbins, T. (2002). Decision-making processes following damage to the prefrontal cortex. *Brain*, 125(3), 624–39.
- Marazziti, D., Catena, M., Osso, D., Conversano, C., Consoli, G., Vivarelli, L., Mungai, F., et al. (2008). Executive function abnormalities in pathological gamblers. *Clinical Practice and Epidemiology in Mental Health*, 6, 1–6.
- Mellers, B. A. (2000). Choice and the relative pleasure of consequences. *Psychological bulletin*, 126(6), 910–24.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (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. doi:10.1006/cogp.1999.0734
- Morris, J. S., Öhman, A., & Dolan, R. J. (1998). Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature*, 393, 467-470.
- Morris, J., Ohman, A., & Dolan, R. (1999). A subcortical pathway to the right amygdala mediating “unseen” fear. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(4), 1680–1685.
- Murphy, F. C., Rubinsztein, J. S., Michael, A., Rogers, R. D., Robbins, T. W., Paykel, E. S., Sahakian, B. J. (2001). Decision-making cognition in mania and depression. *Psychological Medicine*, 31, 679 – 693.
- Nau, R. F. (2002). De Finetti was right: Probability does not exist. *Theory and Decision*, 51, 89–124.

- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Niedenthal, P. M., & Brauer, M. (2012). Social functionality of human emotion. *Annual review of psychology*, *63*, 259–85. doi:10.1146/annurev.psych.121208.131605
- Northoff, G., Grimm, S., Boeker, H., Schmidt, C., BERPohl, F., Heinzl, A., Hell, D., et al. (2006). Affective judgment and beneficial decision making: ventromedial prefrontal activity correlates with performance in the Iowa Gambling Task. *Human brain mapping*, *27*(7), 572–87. doi:10.1002/hbm.20202
- Oatley, K., & Johnson-Laird, P. N. (2011). Basic Emotions in Social Relationships, Reasoning, and Psychological Illnesses. *Emotion Review*, *3*(4), 424–433. doi:10.1177/1754073911410738
- Oatley, K., Parrott, G., Smith, C., & Watts, F. (2011). Cognition and Emotion over twenty-five years Cognition and Emotion over twenty-five years. *Cognition & Emotion*, *25*, 1341–1348.
- Overman, W. H. (2004). Sex differences in early childhood, adolescence, and adulthood on cognitive tasks that rely on orbital prefrontal cortex. *Brain and cognition*, *55*(1), 134–47. doi:10.1016/S0278-2626(03)00279-3
- Overman, W. H., Frassrand, K., Ansel, S., Trawalter, S., Bies, B., & Redmond, A. (2004). Performance on the IOWA card task by adolescents and adults. *Neuropsychologia*, *42*(13), 1838–51. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2004.03.014
- Padmanabhan, A., Geier, C. F., Ordaz, S. J., Teslovich, T., & Luna, B. (2011). Developmental changes in brain function underlying the influence of reward processing on inhibitory control. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *1*(4), 517–529. doi:10.1016/j.dcn.2011.06.004.Developmental
- Papez, J. W. (1937). A proposed mechanism of emotion. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*, *7*(1), 103-12.
- Pareto, V. (1906/1909). *Manuel d'économie politique*. Traduit sur l'édition italienne. Paris, V. Giard & E. Brière.
- Parker, J. D., Taylor, G. J., & Bagby, R. M. (2003). The 20-Item Toronto Alexithymia Scale. *Journal of Psychosomatic Research*, *55*(3), 269–275. doi:10.1016/S0022-3999(02)00578-0
- Parker, J. D., Wood, L. M., Bond, B. J., Shaughnessy, P. (2005). Alexithymia in young adulthood: a risk factor for pathological gambling. *Psychotherapy and Psychosomatics*, *74*, 51–5.
- Pascal, B. (1670/1974). *Pensées*. Paris: Le Livre de Poche.

- Paulsen, D. J., Platt, M. L., Huettel, S. A., & Brannon, E. M. (2012). From risk-seeking to risk-averse: the development of economic risk preference from childhood to adulthood. *Frontiers in psychology*, 3(313), 1-6. doi:10.3389/fpsyg.2012.00313
- Peper, J. S., & Dahl, R. E. (2013). The Teenage Brain: Surging Hormones--Brain-Behavior Interactions During Puberty. *Current Directions in Psychological Science*, 22(2), 134–139. doi:10.1177/0963721412473755
- Persaud, N., Mcleod, P., & Cowey, A. (2007). Post-decision wagering objectively measures awareness. *Nature neuroscience*, 10(2), 257–61. doi:10.1038/nn1840
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1974). *La Genèse de l'idée de hasard chez l'enfant, 2e édition*. Paris : Presses Universitaires de France - PUF
- Piatelli-Palmarini, M., & Raude, J. (2006) *Choix, décisions et préférences: Quatre leçons au Collège de France*. Odile Jacob, Paris.
- Pfeifer, J. H., & Allen, N. B. (2012). Arrested development? Reconsidering dual-systems models of brain function in adolescence and disorders. *Trends in cognitive sciences*, 16(6), 322–9. doi:10.1016/j.tics.2012.04.011
- Pham, M. T. (2007). Emotion and rationality: A critical review and interpretation of empirical evidence. *Review of General Psychology*, 11(2), 155–178. doi:10.1037/1089-2680.11.2.155
- Pleskac, T. J., Wallsten, T. S., Wang, P., & Lejuez, C. W. (2008). Development of an automatic response mode to improve the clinical utility of sequential risk-taking tasks. *Experimental and clinical psychopharmacology*, 16(6), 555–64. doi:10.1037/a0014245
- Power, Y., Goodyear, B., & Crockford, D. (2011). Neural Correlates of Pathological Gamblers Preference for Immediate Rewards During the Iowa Gambling Task: An fMRI Study. *Journal of gambling studies*, 28(4):623-36. doi:10.1007/s10899-011-9278-5
- Prencipe, A., Kesek, A., Cohen, J., Lamm, C., Lewis, M. D., & Zelazo, P. D. (2011). Development of hot and cool executive function during the transition to adolescence. *Journal of experimental child psychology*, 108(3), 621–37. doi:10.1016/j.jecp.2010.09.008
- Preston, S. D., Buchanan, T. W., Stansfield, R. B., & Bechara, A. (2007). Effects of anticipatory stress on decision making in a gambling task. *Behavioral neuroscience*, 121(2), 257–63. doi:10.1037/0735-7044.121.2.257
- Raghunathan, R., & Pham, M. (1999). All Negative Moods Are Not Equal: Motivational Influences of Anxiety and Sadness on Decision Making. *Organizational behavior and human decision processes*, 79(1), 56–77. doi:10.1006/obhd.1999.2838
- Ramsey, F. (1931). Truth and probability. In *Foundations of Mathematics and other Logical Essays*. London: K. Paul, Trench, Trubner and Co. Reprinted in H.E.

- Kyburg and H.E. Smokler (eds.) (1980), *Studies in Subjective Probability*, 2nd edn (pp. 25–52) New York: Robert Krieger
- Reilly, B. C., & Smith, N. (2013). The Evolving Definition of Pathological Gambling in the DSM-5. *National center for responsible gaming*, 1–6.
- Reimann, M., & Bechara, A. (2010). The somatic marker framework as a neurological theory of decision-making: Review, conceptual comparisons, and future neuroeconomics research. *Journal of Economic Psychology*, 31(5), 767–776. doi:10.1016/j.joep.2010.03.002
- Reuter, J., Raedler, T., Rose, M., Hand, I., Gläscher, J., & Büchel, C. (2005). Pathological gambling is linked to reduced activation of the mesolimbic reward system. *Nature neuroscience*, 8(2), 147–8. doi:10.1038/nn1378
- Reyna, V. F. (1995). Interference effects in memory and reasoning: A fuzzy trace theory analysis. In F.N.Dempster, C. J. Brainerd, F. N. Dempster, & C. J. Brainerd (Eds.), *Interference and inhibition in cognition* (pp. 29-59). San Diego, CA US: Academic Press
- Reyna, V. F. & Ellis, S. C. (1994). Fuzzy-trace theory and framing effects in children's risky decision making. *Psychological Science*, 5, 275-279.
- Reyna, V. F. & Farley, F. (2006). Risk and Rationality in Adolescent Decision Making: Implications for Theory, Practice, and Public Policy. *Psychological Science in the Public Interest*, 7, 1-44.
- Ritov, I., & Baron, J. (1990). Reluctance to Vaccinate : Omission Bias and Ambiguity, *Journal of Behavioral Decision Making*, 3, 263-277.
- Roca, M., Torralva, T., López, P., Cetkovich, M., Clark, L., & Manes, F. (2008). Executive functions in pathologic gamblers selected in an ecologic setting. *Cognitive and behavioral neurology*, 21(1), 1–4.
- Rolls, E. T., Hornak, J., Wade, D., & McGrath, J. (1994). Emotion-related learning in patients with social and emotional changes associated with frontal lobe damage. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 57(12), 1518–24.
- Rubaltelli, E., Rumiati, R., & Slovic, P. (2010). Do ambiguity avoidance and the comparative ignorance hypothesis depend on people's affective reactions? *Journal of Risk and Uncertainty*, 40(3), 243–254. doi:10.1007/s11166-010-9091-z
- Sander, D., & Scherer, K. (2009). La psychologie des émotions: survol des théories et débats essentiels. Dans Sander, D., & Scherer, K. *Traité de psychologie des émotions*. Dunod: Paris.
- Savage, L. J. (1954). *Foundations of statistics*. Oxford, England: Wiley.
- Sanfey, A. G., Loewenstein, G., McClure, S. M., & Cohen, J. D. (2006). Neuroeconomics: cross-currents in research on decision-making. *Trends in cognitive sciences*, 10(3), 108–16. doi:10.1016/j.tics.2006.01.009

- Saver, J. L., & Damasio, A. R. (1991). Preserved access and processing of social knowledge in a patient with acquired sociopathy due to ventromedial frontal damage. *Neuropsychologia*, *29*(12), 1241-1249.
- Schel, M. A., & Crone, E. A. (2013). Development of response inhibition in the context of relevant versus irrelevant emotions. *Frontiers in psychology*, *4*(383), 1-10. doi:10.3389/fpsyg.2013.00383
- Schlottmann, A. (2001). Children's probability intuitions: Understanding the expected value of complex gambles. *Child Development*, *72*(1), 103-122.
- Schlottmann, A., & Anderson, N. H. (1994). Children's Judgment of expected value. *Developmental Psychology*, *30*(1), 56-66.
- Schlottmann, A., & Tring, J. (2005). How children reason about gains and losses: Framing effects in judgment and choice. *Swiss Journal of Psychology*, *64*(3), 153-171.
- Schmitt, W. A., Brinkley, C. A., Newman, J. P. (1999). Testing Damasio's somatic marker hypothesis with psychopathic individuals: risk takers or risk averse? *Journal of Abnormal Psychology*, *108* (3), 538-543.
- Schwarz, N. (2000). Emotion, cognition, and decision making. *Cognition & Emotion*, *14*(4), 433-440. doi:10.1080/026999300402745
- Schwarz, N., Clore, G. (1983). Mood, misattribution, and judgments of well-being: Informative and directive functions of affective states. *Journal of Personality and Social Psychology*, *45*, 513-523.
- Sexton, M., Sunday, S., Hurt, S., & Halmi, K. (1998). The relationship between alexithymia, depression, and axis II psychopathology in eating disorder inpatients. *International Journal of Eating Disorders*, *23*(3), 277-286.
- Skinner, B. F. (1938). *The behavior of organisms*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Slovic, P. (1966). Risk-taking in children: Age and sex differences. *Child Development*, *37*, 169-176
- Slovic, P., & Tversky, A. (1974). Who accepts savages axiom. *Behavioral Science*, *19*(6), 368-373.
- Smith, A. (1776/1999), *Recherches sur la nature et les causes de la richesse des nations*. Paris: Garnier-Flammarion.
- Smith, D. G., Xiao, L., & Bechara, A. (2012). Decision making in children and adolescents: impaired Iowa Gambling Task performance in early adolescence. *Developmental psychology*, *48*(4), 1180-7. doi:10.1037/a0026342
- Snaith, R. P. (2003). The hospital anxiety and depression scale. *Health and quality of life outcomes*, *1* (29), 1-4.

- Somerville, L. H., Hare, T., & Casey, B. J. (2011). Frontostriatal maturation predicts cognitive control failure to appetitive cues in adolescents. *Journal of cognitive neuroscience*, *23*(9), 2123–34. doi:10.1162/jocn.2010.21572
- Somerville, L. H., Jones, R. M., & Casey, B. J. (2010). A time of change: behavioral and neural correlates of adolescent sensitivity to appetitive and aversive environmental cues. *Brain and cognition*, *72*(1), 124–33. doi:10.1016/j.bandc.2009.07.003
- Spear, L. P. (2011). Rewards, aversions and affect in adolescence: Emerging convergences across laboratory animal and human data. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *4*, 390–403.
- Spiess, J., Etard, O., Mazoyer, B., Tzourio-Mazoyer, N., & Houdé, O. (2007). The skin-conductance component of error correction in a logical reasoning task. *Current Psychology Letters*, *3*, 1–9.
- Stanovich, K. E., & West, R. F. (2000). Individual differences in reasoning: implications for the rationality debate? *The Behavioral and brain sciences*, *23*(5), 645–65; discussion 665–726.
- Steinberg, L. (2008). A Social Neuroscience Perspective on Adolescent Risk-Taking. *Developmental review*, *28*(1), 78–106. doi:10.1016/j.dr.2007.08.002
- Steinberg, L. (2010). A dual systems model of adolescent risk-taking. *Developmental psychobiology*, *52*(3), 216–24. doi:10.1002/dev.20445
- Steinberg, L., Albert, D., Cauffman, E., Banich, M., Graham, S., & Woolard, J. (2008). Age differences in sensation seeking and impulsivity as indexed by behavior and self-report: evidence for a dual systems model. *Developmental psychology*, *44*(6), 1764–78. doi:10.1037/a0012955
- Stinchfield, R. (2002). Reliability, validity and classification accuracy of the South Oaks Gambling Screen (SOGS). *Addictive behaviors*, *27*, 1-1.
- Stucki, S., & Rihs-Middel, M. (2007). Prevalence of adult problem and pathological gambling between 2000 and 2005: an update. *Journal of gambling studies*, *23*(3), 245–57. doi:10.1007/s10899-006-9031-7
- Suurvali, H., Hodgins, D. C., Toneatto, T., & Cunningham, J. A. (2012). Motivators for seeking gambling-related treatment among Ontario problem gamblers. *Journal of gambling studies*, *28*(2), 273–96. doi:10.1007/s10899-011-9268-7
- Tavares, H., Zilberman, M. L., Hodgins, D. C., & el-Guebaly, N. (2005). Comparison of Craving Between Pathological Gamblers and Alcoholics. *Alcoholism: Clinical & Experimental Research*, *29*(8), 1427–1431. doi:10.1097/01.alc.0000175071.22872.98
- Taylor, G. J., & Bagby, R. M. (2004). New trends in alexithymia research. *Psychotherapy and psychosomatics*, *73*(2), 68–77. doi:10.1159/000075537

- Taylor, J., Bagby, M., & Parker, A. (1997). *Disorders of Affect Regulation: Alexithymia in Medical and Psychiatric Illness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tomb, I., Hauser, M., Deldin, P., & Caramazza, A. (2002). Do somatic markers mediate decisions on the gambling task? *Nature neuroscience*, *5*(11), 1103–4; author reply 1104. doi:10.1038/nm1102-1103
- Toneatto, T., Lecce, J., & Bagby, M. (2009). Alexithymia and pathological gambling. *Journal of addictive diseases*, *28*(3), 193–8. doi:10.1080/10550880903014775
- Toplak, M. E., Sorge, G. B., Benoit, A., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2010). Decision-making and cognitive abilities: A review of associations between Iowa Gambling Task performance, executive functions, and intelligence. *Clinical psychology review*, *30*(5), 562–81. doi:10.1016/j.cpr.2010.04.002
- Tottenham, N., Hare, T. A., & Casey, B. J. (2011). Behavioral assessment of emotion discrimination, emotion regulation, and cognitive control in childhood, adolescence, and adulthood. *Frontiers in psychology*, *2*(39), 1-9. doi:10.3389/fpsyg.2011.00039
- Tottenham, N., Tanaka, J. W., Leon, A. C., McCarry, T., Nurse, M., Hare, T. A., Marcus, D. J., et al. (2009). The NimStim set of facial expressions: judgments from untrained research participants. *Psychiatry research*, *168*(3), 242–9. doi:10.1016/j.psychres.2008.05.006
- Turnbull, O. H., Evans, C. E. Y., Bunce, A., Carzolio, B., & O'connor, J. (2005). Emotion-based learning and central executive resources: an investigation of intuition and the Iowa Gambling Task. *Brain and cognition*, *57*(3), 244–7. doi:10.1016/j.bandc.2004.08.053
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The Framing of Decisions and the Psychology of Choice. *Science*, *211*(4481), 453–458.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1983). Extensional versus Intuitive reasoning: The conjunction fallacy in probability judgment. *Psychological Review*, *90*(4), 293–315.
- Tymula, A., Rosenberg Belmaker, L. A., Roy, A. K., Ruderman, L., Manson, K., Glimcher, P. W., & Levy, I. (2012). Adolescents' risk-taking behavior is driven by tolerance to ambiguity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *109*(42), 17135–40. doi:10.1073/pnas.1207144109
- Van Duijvenvoorde, A. C. K., Jansen, B. R. J., Bredman, J. C., & Huizenga, H. M. (2011). Age-related changes in decision making: comparing informed and noninformed situations. *Developmental psychology*, *48*(1), 192–203. doi:10.1037/a0025601
- Van Duijvenvoorde, A. C. K., Jansen, B. R. J., Visser, I., & Huizenga, H. M. (2010). Affective and Cognitive Decision-Making in Adolescents. *Developmental Neuropsychology*, *35*(5), 539–554. doi:10.1080/875656412010494749

- Van Leijenhorst, L., Gunther Moor, B., Op de Macks, Z. A, Rombouts, S. A. R. B., Westenberg, P. M., & Crone, E. A. (2010). Adolescent risky decision-making: neurocognitive development of reward and control regions. *NeuroImage*, *51*(1), 345–55. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.02.038
- Van Leijenhorst, L., Westenberg, P. M., & Crone, E. A. (2008). A developmental study of risky decisions on the cake gambling task: age and gender analyses of probability estimation and reward evaluation. *Developmental neuropsychology*, *33*(2), 179–96. doi:10.1080/87565640701884287
- Vicig, P., & Seidenfeld, T. (2012). Bruno de Finetti and imprecision: Imprecise probability does not exist! *International Journal of Approximate Reasoning*, *53*, 1115–1123.
- Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behavior*. Princeton: Princeton University Press.
- Vuilleumier, P., & Driver, J. (2007). Modulation of visual processing by attention and emotion: windows on causal interactions between human brain régions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, *362*, 837–855.
- Weber, M., & Camerer, C. (1987). Recent Developments in Modelling Preferences under Risk. *OR Spektrum*, *9*, 129–151.
- Whalen, P. J., Rauch, S. L., Etcoff, N. L., McInerney, S. C., Lee, M. B., & Jenike, M. A. (1998). Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *Journal of Neurosciences*, *18*, 411–41.
- Zajonc, R. B. (2000). Mere Exposure: A Gateway to the subliminal. *Current Direction in Psychological Science*, *10*(6), 224–228.
- Zajonc, R. B. (1980). Preferences Need No Inferences. *American Psychologist*, *35*(2), 151–175.
- Zeelenberg, M., & Pieters, R. (2006). Feeling is for doing: A pragmatic approach to the study of emotions in economic behavior. In D. DeCremer, M. Zeelenberg & J. K. Murnighan (Eds.), *Social psychology and economics* (pp. 117–137). Mahwah: Erlbaum.
- Zottoli, T. M., & Grose-Fifer, J. (2012). The feedback-related negativity (FRN) in adolescents. *Psychophysiology*, *49*(3), 413–20. doi:10.1111/j.1469-8986.2011.01312.x

Processus émotionnels et cognitifs dans le développement des capacités de prise de décision sous ambiguïté

Résumé

La prise de décision sous ambiguïté est au cœur de notre existence. En effet, nous devons sans cesse effectuer des choix sans pour autant en connaître les conséquences potentielles, ni les probabilités qui régissent ces conséquences. Afin de mieux définir les processus en jeu dans le développement de ces capacités décisionnelles sous ambiguïté, nous avons choisi de tester la théorie incontournable dans ce domaine, à savoir : L'Hypothèse des Marqueurs Somatiques (HMS). Cette hypothèse accorde un rôle adaptatif aux émotions et suppose que l'individu réalise au cours de sa vie un apprentissage de nature émotionnelle qui guiderait ses choix dans des conditions d'ambiguïté. Nous avons réalisé trois études expérimentales issues de l'association des approches de la psychopathologie, de la psychologie cognitive et de la psychologie du développement. Dans une première étude nous avons ainsi vérifié l'implication de l'alexithymie, un trouble spécifique de l'identification et de la régulation des émotions, dans le déficit décisionnel observé chez les joueurs pathologiques. En étudiant le cas particulier du jeu pathologique, nous avons pu étayer indirectement l'HMS, en démontrant que l'alexithymie pouvait être à la source du déficit décisionnel observé au sein de cette population. Dans une deuxième étude réalisée chez le sujet sain, nous avons développé un nouveau paradigme expérimental d'amorçage émotionnel afin de répondre aux critiques persistantes quant au rôle des processus émotionnels dans la décision sous ambiguïté. Nos données conduisent à penser que la prise de décision sous ambiguïté reposerait bien sur le développement d'un signal émotionnel intégral (i.e., en réponse aux feedbacks), en montrant pour la première fois la possibilité de renforcer ce signal pour une meilleure prise de décision. Dans une troisième étude nous avons examiné le développement, de l'enfance à l'âge adulte, des capacités de prise de décision sous ambiguïté sous l'angle des processus émotionnels mais également des processus cognitifs, et en particulier les stratégies d'ajustement suite aux feedbacks. Cette perspective développementale nous a permis de mieux définir les processus cognitifs essentiels à cette prise de décision sous ambiguïté en suggérant la nécessité d'inhiber une tendance spontanée à modifier son choix après une perte afin de permettre l'apprentissage émotionnel au cœur de la prise de décision sous ambiguïté. En conclusion, les résultats de cette thèse nous ont permis d'enrichir l'HMS, en soulignant la nécessité de prendre en compte les processus émotionnels et cognitifs dans le cadre de la prise de décision sous ambiguïté.

Mots-clés : Prise de décision sous ambiguïté ; Processus émotionnels ; Processus cognitifs ; Développement cognitif

Abstract:

Decision-making under ambiguity is critical in our everyday life. Indeed, we make most of our choices with no information on the potential consequences of these choices or on the probabilities that govern these consequences. To better characterize the underlying mechanisms engaged in this complex ability, we tested the Somatic Marker Hypothesis (SMH), a key theory in this field. This theory posits that decision-making under ambiguity relies on the development of emotional responses to the world (i.e., an integral emotional signal) that bias people toward advantageous choices in ambiguous circumstances. Thus, the goal of this thesis was to test (i) the role of emotional processes and (ii) the possible implication of cognitive processes in our ability to choose advantageously in ambiguous context. In our first study, we investigated the factors at the root of the decision-making deficit of pathological gamblers by assessing the impact of alexithymia – a recurrent emotional disorder in this population – on their decision-making skills. In line with the SMH, we found that alexithymia was a key factor to understand pathological gamblers' decision-making deficit. In a second study, we designed an emotional priming paradigm to provide direct evidence that decision making relies on the creation of an integral emotional signal in healthy adults. Our data supports the SMH by evidencing that decision-making can be improved when the integral emotional signal is reinforced. Finally, in our third study, we investigated the development of decision-making abilities by focusing on the strategic adjustments in children, adolescents and adults. Our data suggest that the inhibition of a spontaneous tendency to shift after a loss might be critical to choose advantageously. In conclusion, the results of this thesis broadened the scope of the HMS by emphasizing the need to study both emotional and cognitive processes to better understand decision making under ambiguity.

Keywords: Decision-making under ambiguity; emotional processes; Cognitive Processes; Cognitive development